

平成13年度～平成17年度私立大学学術研究高度化推進事業
「オープン・リサーチ・センター整備事業」研究成果報告書

実験経済学：

経済学教育の新しい方法と、 それによる経済学教育の社会的効果の研究

平成18年3月



はじめに

本報告書は、京都産業大学大学院経済学研究科が私立大学学術研究高度化推進事業（オープン・リサーチ・センター整備事業）として2001-2005年度に実施した『実験経済学：経済学教育の新しい方法と、それによる経済学教育の社会的効果の研究』の活動と研究成果を報告する。

本報告書は6部からなる。第1部は、プロジェクト・リーダーによる本事業の活動と研究成果の概要である。本事業の目的・計画・活動・成果が概説されており、付録として活動記録と研究成果の一覧が付されている。お読みいただければ、多くの実験（実験日数は200日を超え、のべ参加者は4000人を超える）を中心とする本事業の概略を知ることができるであろう。

第2部から第6部は、本事業の研究成果として24編の論文を収める。うち6編は学術誌などに掲載または掲載予定のものから選ばれたものであり、残りは最近の研究の成果あるいは経過を述べる未発表のものである。これらの論文のなかには、実験研究の仕方について本事業の経験をまとめたものも、個別の研究課題を各研究者の問題意識と方法によって追求したものも含まれている。いずれも本事業と現在の実験経済学研究の多様性を反映するものであり、読者の興味に応じてお読みいただきたい。興味をもたれた読者は該当する論文の著者に連絡されれば、関連する研究やその後の研究成果などを知ることができるであろう。

実験経済学による研究と研究者養成という新しい事業を、私立大学学術研究高度化推進事業として選定・補助をいただいた文部科学省に厚く謝意を表す。本事業は文字通り「オープン」リサーチ・センターとして、京都産業大学の枠をこえ、内外の多くの大学や研究機関に属するさまざまな専門分野の多くの大学院生や若手研究者の参加によって運営された。この事業形態に賛同と支援をいただいた多くの方々と組織にお礼を申し上げる。さらに国内会議や国際会議や公開教育活動に共催あるいは協力をいただいた多くの組織・資金・参加者に感謝するとともに、本事業の主催した実験や授業に真剣に参加してくれた本学および他大学・高等学校・中学校の学生・生徒諸君に感謝する。

最後に、研究組織を代表して、京都産業大学学内に対して感謝の言葉を述べるのをお許しいただきたい。日本の私立大学では初めての経済実験室を建設し、PDやRAを雇用して経済実験を大規模に進めるという事業を、私立大学学術研究高度化推進事業として応募することを支援していただいた学長および理事会に謝するとともに、通常の理工系プロジェクトとも人文社会系プロジェクトとも異なる本事業を円滑に進めるために尽力いただいた事務組織に感謝する。最後に本プロジェクトを献身的に指導された小田宗兵衛教授および研究活動に従事した才能あるプロジェクト・メンバーの労をねぎらうとともに、多くの研究教育成果とともにこのプロジェクトを終えられることを共に心から喜ぶたい。

本事業は今年度で終了するが、京都産業大学大学院経済学研究科は、プロジェクトの設備、教育経験、研究成果を活かして、今後も実験経済学および様々な分野での教育と研究をいっそう強力で推進していく所存である。今後ともご支援をたまわれれば幸いである。

2006年3月27日

事業代表者：八木三木男（京都産業大学経済学部教授）

第1部 プロジェクトの概要

1. 私立大学学術研究高度化事業（オープン・リサーチ・センター整備事業）『実験経済学：経済学教育の新しい方法と、それによる経済学教育の社会的効果の研究』（2001-2005年度）の活動と研究の概要 小田宗兵衛

..... 1

第2部 経済実験のハードウェアとソフトウェア

2. 経済実験室の設計と運営

岩崎敦・野澤孝之

『京都産業大学論集社会科学系列』第22号（2005），pp.147-170.

.....135

3. 実験参加者募集の実際

門田智則

『京都産業大学論集社会科学系列』第22号（2005），pp.129-145.

.....158

4. z-Tree 入門講座

飯田善郎

.....175

第3部 経済実験と経済学教育

5. 経済実験の教育効果：実験参加者が実験から学ぶことと学ばないこと

灰谷綾平・小田宗兵衛

.....236

6. 経済学教育の効果：協調行動分析からの検証

飯田善郎・小田宗兵衛

.....250

第4部 市場の実験

7. A Middleman in an Ambiguous Situation—Experimental Evidence

Kazuhito Ogawa, Yuhsuke Koyama, Sobei H. Oda

to appear in Journal of Socio-Economics

.....268

8. Price Competition Between Middlemen: An Experimental Study

Kazuhito Ogawa, Kouhei Iyori, and Sobei H. Oda

.....295

9. リサイクルシステムにおける行動主体の意思決定と制度設計：使用済み製品の回収市場における分析
 西野成昭・小田宗兵衛・上田完次
 『電気情報通信学会誌』vol. J88-D1, no. 9, pp. 1312-1320.
306

10. 耐久消費財のリサイクルシステムにおける行動主体の意思決定：リサイクル製品の普及に関する分析
 中山広基・西野成昭・小田宗兵衛・上田完次
 『日本機械学会第15回設計工学・システム部門講演会講演論文集』(2005) pp. 197-200
316

11. How to Use Private Information in a Multi-person Zero-sum Game?
 Hiroyasu Yoneda, Gen Masumoto, and Sobei H. Oda
318

12. U-Mart プロジェクトの概要
 中島義裕・松井啓明
 『計測と制御』特集号 vol. 43 (2003), no. 12, pp. 956-961.
324

第5部 非戦略的意思決定の理論と実験

13. 体系からの脱出と回り道のない推論
 八杉満利子・小田宗兵衛
330

14. A Laboratory Study of Bayesian Updating in Small Feedback-Based Decision Problems
 Takemi Fujikawa and Sobei H. Oda
 American Journal of Applied Sciences, vo. 2 (2005), no. 7, pp. 1129-1133
339

15. Separation of Intertemporal Substitution and Time Preference Rate from Risk Aversion:
 Experimental Analysis with Reward Designs
 Ryoko Wada and Sobei H. Oda
347

第6部 戦略的意思決定の理論と実験

16. The Effect of Inter-group Competition in the Prisoner's Dilemma Game
 Yoshio Iida
353

| | |
|--|-----|
| 17. Superman and under-achievers: An experimental study on heterogeneous productivity in voluntary public good provision Gerlinde Fellner, Yoshio Iida, Sabine Kroger, and Erika Seki | 377 |
| 18. リーニエンシー・プログラムの経済分析：実験 石本将之・木村友二・鈴木淑子・丹野忠晋・濱口泰代 | 409 |
| 19. Does Observation of Others Affect People's Cooperative Behavior? An Experimental Study on Threshold Public Goods Games Yasuyo Hamaguchi 『大阪大学経済学』vol. 54 (2004), no. 2, pp. 46-81. | 411 |
| 20. An Experimental Study of Leniency Programs Yasuyo Hamaguchi and Toshiji Kawagoe | 449 |
| 21. 利得レベル，均衡選択と学習：鹿狩りゲームの実験 岩崎敦 | 475 |
| 22. How Players with Reinforcement Learning Play in Cheap-talk Games: Comparison between Simulations and Experiments Atsushi Iwasaki | 499 |
| 23. ネットワーク型囚人のジレンマにおける行動情報の影響 井寄幸平・小田宗兵衛 | 507 |
| 24. 多人数の社会的ジレンマ状況における人間行動と評判の役割 鈴木真介・綿引智美・秋山英三・小田宗兵衛 | 515 |

第1部
プロジェクトの概要

私立大学学術研究高度化推進事業（オープン・リサーチ・センター整備事業）『実験経済学：経済学教育の新しい方法と、それによる経済学教育の社会的効果の研究』（2001-2005年度）の活動と研究の概要

小田宗兵衛

2006年3月26日

目次

| | | |
|-------|----------------|----|
| 第1章 | はじめに | 5 |
| 第2章 | プロジェクトの活動 | 7 |
| 2.1 | 研究計画 | 7 |
| 2.1.1 | プロジェクトの目的と研究課題 | 7 |
| 2.1.2 | 当初計画 | 7 |
| 2.1.3 | 研究計画の変更と実績 | 8 |
| 2.2 | 研究組織 | 8 |
| 2.2.1 | プロジェクトに参加する研究者 | 8 |
| 2.2.2 | PD・RA・共同研究者 | 9 |
| 2.2.3 | 学外組織との連携 | 10 |
| 2.3 | 実験環境 | 10 |
| 2.3.1 | 経済実験室 | 10 |
| 2.3.2 | 実験謝金 | 11 |
| 2.3.3 | 実験アプリケーション | 11 |
| 2.3.4 | 実験支援態勢 | 11 |
| 2.4 | 活動実績 | 12 |
| 2.4.1 | 実験 | 12 |
| 2.4.2 | 公開教育活動 | 13 |
| 2.4.3 | 研究会 | 15 |
| 2.4.4 | 国内会議など | 15 |
| 2.4.5 | 国際会議 | 15 |
| 第3章 | プロジェクトの研究 | 17 |
| 3.1 | 概要 | 17 |
| 3.2 | 市場の実験 | 20 |
| 3.2.1 | プロジェクトの市場実験の背景 | 20 |
| 3.2.2 | プロジェクトの市場実験 | 22 |
| 3.3 | 非市場の実験 | 30 |
| 3.3.1 | 戦略的意思決定 | 30 |
| 3.3.2 | 非戦略的意思決定 | 42 |
| 3.4 | 経済学教育法の開発 | 45 |
| 3.4.1 | 実験による教育の可能性と現実 | 45 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 3.4.2 | プロジェクトの教育：学生を被験者ではなく実験者に | 47 |
| 3.5 | 経済学教育の効果の測定 | 50 |
| 3.5.1 | 経済学を学ぶと利己的になるか | 50 |
| 3.5.2 | プロジェクトの研究：学生は経済学をどう学ぶか | 50 |
| 3.6 | まとめ | 55 |
| 第4章 | まとめと今後の展望 | 59 |
| 4.1 | プロジェクトとして成果をあげたこと | 59 |
| 4.1.1 | 実験経済学のプロジェクトとして | 59 |
| 4.1.2 | 経済学教育のプロジェクトとして | 59 |
| 4.1.3 | 研究者養成のプロジェクトとして | 59 |
| 4.2 | 今後の展望 | 60 |
| 4.2.1 | 研究成果のいっそうの公開 | 60 |
| 4.2.2 | 新しい研究方法の導入 | 61 |
| 付録A | プロジェクトの活動記録 | 67 |
| A.1 | 実験 | 67 |
| A.2 | 公開教育活動 | 73 |
| A.3 | 研究会 | 75 |
| A.4 | 国内会議など | 79 |
| A.5 | 国際会議 | 84 |
| A.5.1 | The Experimental Economics in Honour of Dr Vernon L. Smith 週間予定 | 84 |
| A.5.2 | スミス教授一般講演プログラム | 84 |
| A.5.3 | 国際会議 Experiments in Economic Science: New Approaches to Solving Real-world Problems プログラム | 84 |
| A.5.4 | 参加者 | 93 |
| A.5.5 | その他 | 96 |
| A.6 | 支出 | 97 |
| A.6.1 | 支出実績の概要 | 97 |
| A.6.2 | 施設と設備の概要 | 99 |
| A.6.3 | 年度別支出実績 | 101 |
| 付録B | プロジェクトの研究成果 | 107 |
| B.1 | 図書 | 107 |
| B.2 | 論文（図書に収録） | 107 |
| B.3 | 論文（学術誌に収録） | 108 |
| B.4 | 論文（予稿集に収録） | 112 |
| B.5 | 論文（本報告書に収録） | 117 |
| B.6 | プロジェクトの印刷物 | 119 |
| B.7 | 発表（海外） | 119 |
| B.8 | 発表（国内） | 123 |

第1章 はじめに

京都産業大学大学院経済学研究科は、私立大学学術研究高度化推進事業（オープン・リサーチ・センター整備事業）として、2001年度から2006年度まで『実験経済学：経済学教育の新しい方法と、それによる経済学教育の社会的効果の研究』を実施した。本稿は、この事業の活動と成果の概要である。内容は昨年秋（2005年10月）¹に提出した本プロジェクトの『研究成果報告書概要』と重なるが、所定の書式にとらわれずプロジェクトの活動と成果をまとめた。これによって、(a) 実験経済学と経済学教育の研究と研究者養成を目指して、(b) 事業主体（京都産業大学大学院経済学研究科）を超えて様々な専門と所属の若手研究者と大学院生が主体的に研究するという、本プロジェクトの特色がいつそう分かりやすく示されたと思う。

第2章は5年間のプロジェクトの活動の要約、第3章はその研究成果の概説、第4章は両者を総合してのまとめである。プロジェクトの研究の詳細を知りたい読者は、第2部に各々の研究課題の中心となる論文が収められているので、それを参考にされたい。付録Aと付録Bは、それぞれ第2章と第3章の形式的な記録（実験や研究会の記録と、学会報告や雑誌論文の情報）である。

プロジェクトの Web サイト：<http://www.kyoto-su.ac.jp/project/orc/execo/>

謝辞

本プロジェクトを私立大学学術研究高度化推進事業として選定・補助いただいた文部科学省に感謝する。実験室を建設してPD・RAを雇用して実験経済学の研究と人材養成を進めるという計画に価値を認め補助金を交付いただいたことに深く感謝する。

本プロジェクトに属する京都産業大学の専任教員は3名にすぎないのに、これだけの規模のプロジェクトが実現できたのは、多くの学外の組織や人々のおかげである。

まず西條辰義大阪大学社会経済研究所教授には、本プロジェクトの申請書類作成のときから教授の学識と経験に基づく親切で適切な助言をいただいた。日本の実験経済学研究を牽引してこられた教授の支援がなければ、本プロジェクトは開始はおろか構想さえされなかったであろう。プロジェクト開始後も実験経済学研究の経験のない本プロジェクトの研究にご助言いただくとともに、優秀な人材も紹介いただいた。深く感謝する。

林原共済会には、2004年12月の国際会議の共催者として、資金ばかりでなく国際会議を開催するための見識と経験を提供いただいた。林原健理事長および広中平祐博士をはじめとする林原フォーラム顧問委員の方々からの適切な助言は会議の性格づけのみならず、プロジェクトの研究についても常に現状の反省と目標の設定

をもたらした。また同会議が滞りなく開催できたのは、政木和也氏をはじめとする共済会の有形無形の貢献によるものである。顧問委員会と事務組織に厚くお礼を申し上げる。

上田完次東京大学人工物工学研究センター教授には、プロジェクト開始前も開始後も様々な共同研究で新たな問題意識と方法を供給いただいている。さらに本プロジェクトの実験室の建設や計算機実験の実験経済学への応用は、教授が神戸大学工学部教授の頃から要請されてきた若手研究者によるものである。教授の活発な研究と研究者養成がなければ本プロジェクトは実行不可能であった。厚く感謝する。

さらに、山地秀俊神戸大学経済経営研究所教授、上田完次東京大学人工物工学研究センター教授、生天目章防衛大学校情報工学科教授、長瀬勝彦首都大学都市教養学部教授には国際会議の組織委員として会議の準備と運営に協力いただき、横尾真九州大学システム情報科学院教授、三宅美博東京工業大学大学院総合理工学研究科助教授、池上高志東京大学大学院総合文化研究科助教授には、本プロジェクトの人材募集にご協力いただいた。厚く謝意を述べる。そのほか内外の多くの研究者と組織から助言や助力をいただいた。

プロジェクト・リーダーとして学内の理解と協力に感謝する。学長・理事会には、本事業の申請と活動に理解と支援をいただき、経済学学部長および経済学部の同僚にはプロジェクト・メンバーがプロジェクトに最大限の時間を使えるように配慮いただいた。研究を構想調書どおりに進められたのは、大学および研究科の安定的な支援があったからである。効率的な研究支援をいただいた事務組織にも感謝する。シドニー長期滞在中の申請作業から始まって最終年度末の本報告書の作製に至るまで、全ての業務を完璧にこなしていただいたばかりでなく、時々適切な助言をいただき、新しいプロジェクト運営のあり方を共に作ることができた。

さらに学内先輩方の理解と協力にも感謝する。八木三男京都産業大学経済学部教授には本事業の代表として学内外に対して様々な働きかけや調整をいただいた。プロジェクト・リーダーとして至らないために、苦勞をおかけしたことを謝するとともにお礼を申し上げる。後藤文彦京都産業大学経営学教授には国際会議にご尽力いただいた。教授の努力がなければ林原共済会との共催はなく、国際会議はあのような形では実現できなかった。八杉満利子京都産業大学理学部教授には、プロジェクト・リーダーとともに研究に参加いただくとともに、研究活動と若手研究者の育成の両面においてプロジェクト・リーダーの足りない点を適切に補っていただいた。

最後に飯田善郎京都産業大学経済学部助教授および様々な立場から本プロジェクトに参加していただいた学内外の若手研究者や大学院生諸君にお礼の言葉を申し上げる。プロジェクト・リーダーに研究と業務分担の両面で試行錯誤が続き、必ずしも最善の環境でなかったにもかかわらず、プロジェクトに積極的に関わって成果を上げてくれたことに感謝する。本プロジェクトは研究者養成を目指すものであり、諸君の研究者としての出発や成長が本譜プロジェクトの最大の成果である。今後も本プロジェクトの経験を活かして、いっそうの努力を重ねて成果を上げることを期待する。

第2章 プロジェクトの活動

2.1 研究計画

2.1.1 プロジェクトの目的と研究課題

本プロジェクトは、2001年1月に提出された構想調書に基づいて2001年6月に開始された。プロジェクトは、研究成果公開型プロジェクトと研究者養成型プロジェクトを兼ねるものとして、以下の2つを目的とした。

研究成果公開型プロジェクトとしての目標 実験経済学研究の推進

研究者養成型プロジェクトとしての目標 実験経済学研究者の養成

さらに以上の目的を実現するため、以下の3つの研究課題を追求するものとした。

実験による経済研究 人間の意思決定や様々な市場あるいは非市場における取引を実験によって調べる。特に実験室の情報環境を活用する実験や計算機による実験の分析を進める。

実験による経済学教育法の開発 経済行動の過程と結果を体験できる実験（ゲーム）を開発し、学生に正確かつ容易に経済学を学習させる。

経済学教育の実験による評価 経済学の学習が学生たちの思考や行動にどう影響するか（たとえば経済学を勉強するほど利己的になるか）を実験により確認する。

2.1.2 当初計画

構想調書は、以上の研究課題を以下の計画で実現させることを目指した。

2001年度 プロジェクトの基礎づくり。プロジェクトのための人、物、知識の基礎を作る：PDとRAを採用し、研究組織を作る；経済実験室を設計・建設する；経済実験を継続的に行うための方法を確立する。

2002年度 プロジェクト前半第1年。経済実験室の運用を開始する。実験経済学研究、経済学教育法の開発、経済学教育の評価の研究を本格化させる。

2003年度 プロジェクト前半第2年。国内会議を主催する。プロジェクトの研究活動と成果を報告し、評価を求める。

2004年度 プロジェクト後半第1年。前年度までの成果と評価に応じて研究計画の修正と実験室の整備を行い、研究を発展させる。

2005年度 プロジェクト後半第2年。研究をまとめ、国際会議を主催してプロジェクトの研究成果を発表する。

2.1.3 研究計画の変更と実績

目的にも研究課題にも変更はなく、プロジェクトは順調に進捗した。プロジェクトの研究活動の拠点となる経済実験室は2002年3月に完成し、同年5月から運用を開始した。プロジェクトは実験室と付属する準備室をあわせて Kyoto Experimental Economics Laboratory (KEEL) と名づけたが、KEEL は文字どおり竜骨としてプロジェクトの研究活動を支えた。

ただし当初計画は1年目が基盤作り、2年目と3年目が前半で成果を3年目に国内会議で発表、4年目と5年目が後半で成果を5年目に国際会議で発表であったが、プロジェクトは—『研究進捗状況報告書』(2003年)で報告したように—前半を2003年5月の「第7回実験経済学コンファランス」の主催で終了させ、国際会議の開催を2005年度から2004年度に前倒した。この変更の理由は、プロジェクト前半の進捗が順調であったことと、最終年度に国際会議でプロジェクトの研究を報告し評価を求めても、それをプロジェクトの研究に反映させる時間がないからであった。

さいわい計画の変更は目論みどおりの効果を生み、2004年12月に国際会議 Experiments in Economic Sciences: New Approaches to Solving Real-world Problems を開催し、最終年度は会議の論文集を出版作業とプロジェクトの成果をまとめるための活動に従事した。

2.2 研究組織

2.2.1 プロジェクトに参加する研究者

プロジェクト終了時(2006年3月)にプロジェクトに参加する研究者は以下の8名である。

小田宗兵衛 (京都産業大学経済学部教授)

八杉満利子 (京都産業大学理学部教授)

飯田善郎 (京都産業大学経済学部助教授)

中島義裕 (大阪市立大学大学院経済学研究科助教授、京都産業大学客員研究員)

野澤孝之 (大学評価・学位授与機構助手、京都産業大学客員研究員)

井寄幸平 (日本学術振興会特別研究員 PD、京都産業大学客員研究員)¹

岩崎敦 (九州大学大学院システム情報科学研究所助手、京都産業大学客員研究員)

濱口泰代 (名古屋市立大学大学院経済学研究科専任講師、京都産業大学客員研究員)

以上のうち、プロジェクト開始時から研究者として参加したのは小田(プロジェクト・リーダー)、八杉、飯田、中島の4名であり、他の4名は2003-5年度からの参加である。参加の経緯は、野澤と濱口は、2002年度に京都産業大学特定研究員 PD として本プロジェクトに参加し、他機関に転出後もプロジェクトの活動を継続するためであり、井寄と岩崎は、大学院生の頃から小田と共同研究の実績があり、それをいっそう進めるためである(いっぼう2001年度のプロジェクト開始時点の参加者には、日本学術振興会特別研究員 PD として京都産業大学にいた篠原修二と小山友介が含まれていたが、日本学術振興会特別研究員 PD としての任期を終えて2002-4年度からプロジェクトを離れた)。

¹2006年4月1日から広島修道大学経済科学部講師。

2.2.2 PD・RA・共同研究者

プロジェクトに参加していたのは前節の研究者 8 名だけではなく、プロジェクトのポスト・ドクター (PD) またはリサーチ・アシスタント (RA) として

舛本現 (京都産業大学特定研究員 PD)

小林洋平 (京都産業大学特定研究員 PD)

門田智則 (京都産業大学大学院理学研究科博士後期課程 RA)

廣瀬哲也 (京都産業大学大学院理学研究科博士後期課程 RA)

米田紘康 (京都産業大学大学院経済学研究科博士後期課程 RA)

の 5 名がプロジェクトの研究と業務に携わり、共同研究者として

和田良子 (敬愛大学経済学部助教授)

秋山英三 (筑波大学大学院システム情報工学研究科助教授)

小川一仁 (広島市立大学国債学部講師)

西野成昭 (東京大学人工物工学研究センター研究機関研究員)

藤川武海 (Ph.D student, University of Western Sydney)

鈴木真介 (筑波大学大学院システム情報工学研究科社会システム・マネジメント専攻博士後期課程)

川村哲也 (京都大学大学院経済学研究科修士課程経済システム分析専攻)

の 7 名が、プロジェクトの研究に参加した。

すなわち、プロジェクト終了時で、プロジェクトに参加する京都産業大学の専任教員は 3 名 (うちプロジェクトの主体となる大学院経済学研究科に所属するのは 2 名) だけであるが、合計 20 名がプロジェクトに継続的に関わった。構想調書で認められた PD と RA の関与は言うまでもなく、京都産業大学以外の研究機関に所属する若手研究者と大学院生のプロジェクトへの参加は、プロジェクト開始時点で予定されたことであり、プロジェクト期間を通じて維持された。すなわちプロジェクトは、所属や専門分野を超えて研究組織を広げ、文字通りオープン・リサーチ・センターとして機能した。

多くの学外の若手研究者および大学院生がプロジェクトの研究活動に参加したことは、研究成果公開だけではなく研究者養成を目指すプロジェクトの趣旨にかなうものである。すなわち、経済実験に興味はあっても環境に恵まれなかった研究者や大学院生に KEEL での実験の機会を与えたのは、プロジェクトの京都産業大学を超える大学院教育と若手研究者の養成への貢献であるいっぽう、プロジェクトの研究と京都産業大学の大学院教育は、多様な知識と関心をもつ院生と研究者の参加から利益を得た。

プロジェクトは、プロジェクト・リーダーの統括のもとでプロジェクトの方向性を保ちつつ、各参加者の研究課題を追求した。すなわち、プロジェクトは特に固有の構成員と研究課題をもつ下位組織には分割されず、個人あるいは数人のグループで様々な研究課題が追求されるいっぽう、プロジェクト・リーダーを中心に各グループの研究は相互に関連され、プロジェクト全体として研究の効率化が統一化が進められた。じっさいプロ

プロジェクトは、あるグループの被験者実験のデータを別のグループが計算機実験で再現する、独占の実験と複占の実験を2つのグループが並行して進める、あるグループの基礎理論の実験に基づいて別のグループがその応用を設計するなど、プロジェクト・リーダーを中心に連携して研究の幅を広げ方向性を保った（各々の研究とプロジェクトでの位置づけは、第3章で述べられる）。

2.2.3 学外組織との連携

University of Western Sydney（オーストラリア）小田は、同大学の R. N. Junankar 教授の協力を受けて、同大学学生と近隣の中学生を対象に UWS で2度の実験を実施した（2001年度）。その後も小田は、同大学の実験経済学研究の立ち上げプロジェクトに参加するとともに同大学の大学院生の副指導教授を務め、UWS の Partha Gangopadhyay 博士や Steve Keen 博士と American Journal of Applied Science の実験経済学と計算機経済学の特集号の編集にあたるなど、教育と研究の両面で協力を続けている。

University of Zurich（スイス）飯田は、実験経済学の汎用アプリケーション z-Tree の開発者である Fischbacher の協力を受けて、共同研究者とともに同アプリケーションの日本語版を開発し説明書を翻訳した。これは、プロジェクトだけでなく日本の他研究機関（東京大学、早稲田大学など）でも導入され、経済実験の教育と研究に貢献している。

Max-Planck-Institute for Research into Economic Systems（ドイツ）飯田は、同研究所の研究者とともに協力ゲームの研究を続けている。

東京大学人工物工学研究センター 小田が客員研究員を務める同センターと研究と人材の両面で交流を行っている。具体的には同研究所の経済実験室の建設に協力するとともに、耐久消費財のリサイクル・システムを設計・運用するための研究を上田完次教授の研究室と共同で進めている。

公正取引委員会 濱口は、公正取引委員会・競争政策研究センターのリニエンシー制度研究チームに属して談合防止システムの設計のための実験研究を2005年度から初めた。

2.3 実験環境

2.3.1 経済実験室

プロジェクトの実験拠点は KEEL である。経済実験を正しく行うためには、実験参加者の情報構造（誰が何を知り何を知らないか）を厳密に管理しなければならない。KEEL は、このための専用施設であり、実験参加者が互いに他人のコンピューターの画面を見られないように各人ごとにブースで仕切られている実験室と、実験室のコンピューターを制御する準備室からなる（図2.1）。すなわち、個人への私的情報をブース内の個人画面に、全員への共通情報（共有知識）を実験室の前面のスクリーンに与えることで実験参加者の情報構造を制御する。²

²KEEL の設計は優秀で、様々な実験に対応できた。とくに実験室に隣接して十分な広さをもつ準備室は、実験中に参加者の意思決定を妨げることなく実験の監視や実験謝金の計算と袋詰めを行うことを可能にし、実験と実験後の活動を円滑にした。ただし KEEL は研究用実験だけを考慮して設計されていたため、KEEL を教育にも使うようになると固定仕切り、実験室前面のホワイトボードとスクリーンの重複、サーバーが実験室後方の準備室にあって教卓の PC での制御に限られることなどが不都合となった。ただしこれらは実験室の最小限の改装で完全に解決できるので、機会を見て教育施設としても使い勝手の良い施設にしたい。



図 2.1: KEEL。左は実験室（後方のカーテンのかかっているガラス窓のむこうが準備室）であり、右はブースの内側である（教室の前面のホワイトボードの位置にスクリーンが降りる）。実験室の定員は、完成時には構想調書どおり 25 名であったが、2003 年 3 月にブースを増設して 28 名となった。

2.3.2 実験謝金

経済実験においては、実験参加者の選好を制御するために、実験参加者に実験（ゲーム）での得点に応じて謝金を支払う。プロジェクトは、事務組織の協力を得て、謝金を実験終了直後に現金で支払う態勢を整えた。これにより実験参加者の募集と動機づけが（後日に口座に入金するなどの方法に比べ）容易で確実に became のに加え、時間選好の実験（即金で貰うのと後日に割増しつきで貰うのとどちらを好むか）などの実験が可能になった。

なお実験謝金については、実験参加者が学生であることを考慮して、拘束時間（2-3 時間）に対して 800 円から 1600 円の謝金になるように実験を設計した。実験結果によってはこの上限を少し超えるときがあったが、極端な逸脱は起らなかった。

2.3.3 実験アプリケーション

プロジェクトは、経済実験の汎用アプリケーションである Z-tree を日本語化して KEEL にインストールするとともに、日本語の解説書 [F4] と入門書 [E1*] を作製した。これによって実験者は、プログラミングとネットワークについて最小限の知識さえあれば、情報環境を利用する実験を設計・実施できるようになった。じっさい KEEL の実験は、初めは実験者ごとに異なる言語でプログラムを作っていたが、プロジェクト後半ではほとんどが z-Tree によって実現されるようになった（プロジェクトの開発した z-Tree の日本語版は東京大学や早稲田大学など他の研究教育機関でも利用されている）。³

2.3.4 実験支援態勢

KEEL で経済実験を行うためには、実験者は (a) 情報技術一般と KEEL 固有の情報環境の知識をもち、(b) 実験参加者の募集から実験結果の管理までの多くの仕事をしなければならない。実験者が最小限の知識と負担で

³プロジェクトの研究成果は [F4] や [E1*] のように示す。ただし [A1] と [A2] は図書（付録 B.1）、[B1] から [B7] は学術書に収録された論文（付録 B.2）[C1] から [C46] は学術誌に収録された論文（付録 B.3）、[D1] から [D58] は会議論文集に収められた論文（付録 B.4）、[E1*] から [E15*] は本報告書『私立大学学術研究高度化推進事業（オープン・リサーチ・センター整備事業）『実験経済学：経済学教育の新しい方法と、それによる経済学教育の社会的効果の研究』（2001-2005 年度）最終報告書』に収録の論文（付録 B.5）、[F1] から [F5] はプロジェクトによる印刷物（付録 B.6）、[G1] から [G34] は海外での報告（付録 B.7）、[H1] から [H119] は国内での報告（付録 B.8）である。なお [E1*] や [C37*] のように、*のついているものは本報告書の第 2 部に収録（E 番号以外は再録）されている。

実験を実施できるように、プロジェクトは、研究のための組織とは別に、実験支援のための組織をプロジェクト採用のPDとRAで作った。この組織の構成員と役割は年度ごとに变化したが、プロジェクト最終年度には、情報技術の専門知識を持ちKEELに常駐するPD(舩本・小林)が実験室の情報環境の管理と実験者への技術支援を担当し、RA(門田・廣瀬・米田)が実験参加者の募集と参加履歴の管理を行った。

まず「実験支援組織」のKEEL管理によって、実験者はプログラミングとネットワークの最小限の知識があれば情報環境を利用する実験をKEELで確実に実施できた。上述のようにZ-treeの日本語化は実験者に要求される情報技術の知識を大幅に減らしたが、全ての実験をZ-treeの標準的な利用で行えるとは限らない上に、ハードウェアとソフトウェアの予期せぬ不具合が思わぬ理由で生じることもある。専門知識をもちKEELの環境を熟知している「実験のための組織」はプロジェクトの実験研究に不可欠であった(KEELの設計と運用については[C35*]を参照)。

さらに「実験支援組織」の参加者募集と参加履歴の管理は、実験者を実験参加者を集めるための業務から解放した。じっさい実験者が独力で実験参加者を必要人数だけ集めるのは大変であるうえに、しばしば様々な実際的问题: 実験日時の設定、被験者の募集と選定、遅刻者や欠席者の予防、実験室の情報環境の整備、実験中の故障、思わぬ高得点や低得点を得た被験者に対する謝金の支払(経済理論の想定する各主体の動機づけに応じて実験(ゲーム)の得点構造を定め、各被験者に実験の得点に応じて現金を支払う)、被験者の実験参加履歴の管理などが発生する。「実験支援組織」は、インターネットを利用する被験者募集などの手順を確立するとともに各種書式を定型化することで、実験者が実験に集中して実験を実現できる体制を作り上げた。そのため実験者は、希望する参加者の数と属性(たとえば特定の実験の経験者を除くなど)を実験のための組織に伝えさえすれば、実験の参加者募集から実験後の参加者への謝金の支払までの業務をすべてこの組織に任せて実験の準備と実施に集中できた(プロジェクトによる参加者募集の方法については[C38*]を参照)。

いっぽう「実験支援組織」に属するPDとRAは、様々な工夫と経験によって業務を合理化し、本来の勉強と研究(そのなかには研究グループの一員としてプロジェクトの研究を進めることも含まれる)のための時間を十分にとることができた。

2.4 活動実績

2.4.1 実験

プロジェクトは合計186日の実験をのべ3943人に対し実施したが、実験室が稼働し始めてからは、被験者数が実験室の定員を超えたときを除き、すべて実験室で情報環境を利用して行った(表2.1)。これは、KEELの能力の高さに加え、KEELが経済実験の専用施設として利用されたために実験者が実験アプリケーションの開発と動作確認を実験当日の環境で好きなときに好きなだけできたためである。じっさいKEEL完成前に情報処理教室で実験を行ったときには、授業の合間をぬって情報環境を授業環境から実験環境にかえ実験準備をして授業環境にもどすことを何度も繰り返さなければならず大変であったが、KEEL完成後にはこのような面倒はなくなった。

プロジェクトは、第2.3節で述べた工夫によって実験を能率よく進められた。実験参加者が予定通り集まらなかったことは一度もなく、実験プログラムが途中で動かなくなって実験を中止したことも一回あっただけであった。

表 2.1: プロジェクトによる経済実験

| 年度 | 実験室以外 | | 実験室 | | 合計 |
|--------------|-------|---------|-----|---------|--------|
| | 手実験 | 計算機利用実験 | 手実験 | 計算機利用実験 | |
| 2001 年度 (日数) | 13 日 | 6 日 | | | 19 日 |
| (人数) | 401 人 | 99 人 | | | 500 人 |
| 2002 年度 (日数) | 0 日 | 1 日 | 0 日 | 27 日 | 28 日 |
| (人数) | 0 人 | 7 人 | 0 人 | 514 人 | 521 人 |
| 2003 年度 (日数) | 0 日 | 0 日 | 0 日 | 37 日 | 37 日 |
| (人数) | 0 人 | 0 人 | 0 人 | 932 人 | 932 人 |
| 2004 年度 (日数) | 0 日 | 0 日 | 0 日 | 52 日 | 52 日 |
| (人数) | 0 人 | 0 人 | 0 人 | 858 人 | 858 人 |
| 2006 年度 (日数) | 0 日 | 0 日 | 0 日 | 50 日 | 50 日 |
| (人数) | 0 人 | 0 人 | 0 人 | 1132 人 | 1132 人 |
| 合計 (日数) | 13 日 | 7 日 | 0 日 | 166 日 | 186 日 |
| (人数) | 401 人 | 106 人 | 0 人 | 3436 人 | 3943 人 |

2.4.2 公開教育活動

プロジェクトは、単独または他の資金とともに、公開教育活動を合計 16 日のべ 373 人の中学生と高校生に対して行った。具体的には、中学生あるいは高校生を公募して大学に集めたりこちらから中学校を訪問して、1 日または 2 日のプログラムで、経済実験とその解説の授業を行った。これらの催し（まったく無報酬の教育用実験あるいは現金ではなく文房具や菓子を得点に応じて選択させる研究実験と、その背後にある経済現象や経済学の解説の組合せ）は、大学における研究と教育にも直接間接に役立つうえに、中学生や高校生への教育としても価値があったと思う。この教育的効果を客観的に述べることは難しいが、経済学の興味を喚起するだけでなく、文科系の暗記科目と思っていた社会科で「実験」が行われ計算機や数学が用いられていることに驚きの感想を述べる中学生もいたので、参加者たちが勉強や自分の将来について考える材料のひとつになったと期待している。⁴⁵

⁴公開教育活動の参加者は初年度には 202 名を数えたが、その後は減少した。これはプロジェクトの研究活動が活発になり、公開教育活動に時間をかけられなくなったからである。公開教育活動（実験と授業）そのものの準備と実施はさほど大変ではないが、参加者募集の負担が大きい。中学生 1 人の参加を公募で得るためには 100 枚のピラを配布しなければならず、中学校に行事として参加してもらおうとしても中学校のカリキュラムには「ゆとり」がなく（平日の授業時間は教科科目でいっぱい、放課後と休日には課外活動があるうえに）日程の調整ができなかった。そのため初年度の活動など参加者募集に精一杯で、肝心の実験と授業の準備ができない有様であった。しかし、公開教育活動で実施できる内容は質・量ともに向上しているため、公開教育活動実施者が参加者募集の仕事から解放されるなら、経済実験による公開教育活動を今後も継続したい。

⁵プロジェクトは研究のための実験（参加者 3943 名）と公開教育活動（参加者 373 名）に加え、経済学部における各学年の演習および講義のなかで多くの実験を行った。演習においては、後述のように学生は実験に被験者として参加するだけでなく実験の設計・実施・分析・報告が求められ、講義科目においては多人数の実験が教員によって行われた（[2005 年度春学期の「ミクロ経済学 A」では、受講者に対して市場実験が屋外および KEEL で合計 3 回のべ 329 名に対して行われ、実験による教育の効果が調べられた [E2*]）。授業における実験参加者数の記録をとっていないが、数百人の学生たちが様々なかたちで授業で経済実験を経験したのである。



図 2.2: UWS における実験前の説明（左）と四日市大学における実験後の授業（右）



図 2.3: 京都産業大学情報処理教室での実験（左上）と一般教室での口頭市場実験（右上）; 京都市立西賀茂中学校での実験（左下）と授業（右下）

2.4.3 研究会

プロジェクトは、のべ 24 回 43 人の報告者によるセミナーまたはワークショップを開いた。セミナーの報告者は、プロジェクト参加者や国内の研究者だけではなくプロジェクトの研究費または他の資金によって招聘した海外の研究者 (Prof. Bram Cadsby (University of Guelph, Canada; Prof. Nick Feltovich (University of Houston, USA; Dr Urs Fischbacher (University of Zurich, Switzerland); Prof. Ido Erev, Technion, Israel; Prof. Christiane Schwioren (Universitat Pompeu Fabra, Spain)) のこともあり、活発な議論が行われた。

2.4.4 国内会議など

プロジェクトは、以下の研究集会・国内会議・国際会議の部会を 2001-3 年に単独または共同で主催した。

- 実験経済学と知識の構造 (京都産業大学、2002 年 1 月 26-30 日)
- 実験ラボラトリ・オープニング・ワークショップ (京都産業大学、大阪大学、2002 年 6 月 29-30 日)
- The Session of Experimental Economics of The Sixth International Conference on Complex Systems (中央大学、2002 年 9 月 9-11 日)
- 第 7 回実験経済学コンファレンスおよびプレフォーラム・ポストフォーラム・セミナーズ (京都産業大学 2003 年 5 月 22-26 日)

プロジェクトは、Prof. James Cox (University of Arizona, USA) を第 7 回実験経済学コンファレンスの基調講演者として招聘した。

2.4.5 国際会議

プロジェクトは、2004 年度に以下の国際会議を林原共済会と共催した。

- International Conference Experiments in Economic Sciences: New Approaches to Solving Real-world (岡山国際ホテル、京都産業大学、2004 年 12 月 14-17 日)

この会議は、“The Experimental Economics in Honour of Dr Vernon L. Smith” として、実験経済学の創始者であり 2002 年のノーベル経済学賞受賞者の Vernon L. Smith 教授 (George Mason University) による一般講演 “Markets, Capital Markets and Globalization” (京都産業大学神山ホール 12 月 13 日) とともに行われたものであり、基調講演者の Smith 教授に加え、Prof. Paul Bourguin (Ecole Polytechnique), Prof. James Cox (University of Arizona), Prof. Ido Erev (Israel Institute of Technology), Prof. Daniel Friedman (University of California, Santa Cruz), Prof. Robin Hogarth (Universitat Pompeu Fabra, Barcelona), Prof. Shyam Sunder (Yale University)、西條辰義教授 (大阪大学) の 7 名を招聘した。

会議には国内から 54 名と海外 13 カ国から 34 名の参加があり、8 つの招待講演と 47 の分科会報告がなされ、実験経済学とそれに関連する分野 (実験経営学、実験会計学、工学など) の新しい研究が発表され活発な議論が行われ、参加者から高い評価を得た。

この会議は最終年度に予定されていた最終成果報告を兼ねる国際会議を前倒したものであり、プロジェクトからも 9 つの報告をした。現在は、そのときに招聘した研究者や参加者との意見交換を参考にプロジェクト

の成果をまとめつつ、会議の論文集の編集をしている（Springer Verlag 社から（*Experiments in Economic Sciences: New Approaches to Solving Real-world Problems*（仮題）として出版予定）。

第3章 プロジェクトの研究

3.1 概要

本プロジェクトは、経済実験による研究と教育の推進を目指した。プロジェクトの活動は、この目的にそって経済研究と経済教育研究に大別され、さらに前者は売買を扱う市場研究と売買以外の経済活動を調べる非市場研究に、後者は教育方法の開発と教育効果の測定に分類される。以下、本稿の構成に従って各活動の概略を述べる（図 3.1）。¹

市場実験（第 3.2 節）。市場実験には様々なものがあるが、プロジェクトは売手と買手だけでなく売買を組織する主体に注目するマーケット・マイクロストラクチャー理論に基づく実験を行っている。既存の市場実験のほとんどは実験者が市場を作り被験者に売手や買手を演じさせて市場の性能を調べるものであるが、プロジェクトは売手や買手を計算機エージェントとして被験者には売買を組織づける仲介業者を演じさせる。具体的には、マーケット・マイクロストラクチャー理論の基本実験として [1] 仲介業者実験を仲介業者が 1 人のときと [2] 2 人のときについて実験を行い、応用としてマーケット・マイクロストラクチャー理論に基づくリサイクル・システムの設計と実験を [3] リサイクルされる財が非耐久財のときと [4] 耐久財のときについて取りくんでいる。いずれも方法（計算機エージェントと人間の複合体系の実験）と内容（組織された体系内での意思決定ではなく体系を組織するための活動に注目する実験）の両面でプロジェクトの実験を特徴づけるものである。

さらにプロジェクトは、関連する実験として [5] 異なる私的情報をもつ多数主体間の取引を調べている。これは仲介業者のいない市場の実験であるが、誰が仲介業者の役をひきうけるかについての理論化を進めるための基礎研究である。

非市場実験（第 3.3 節）。非市場実験は市場実験以上に多様であるが、被験者に戦略的意思決定（他主体の意思決定を考慮してしなければならない意思決定）を求めるものと非戦略的意思決定（自分以外の意思決定者の行動を考慮しないでできる意思決定）を求めるものがある。

戦略的意思決定の実験としては、プロジェクトは公共財供給実験を追求した。これは、「各人にとって自分は税金を払わずに公共サービスを受けるのが最も都合だが、誰も税金を払わなければ公共サービスは供給されない」という状況での各被験者の行動を見る実験である。ところがこのような状況における被験者の行動は—被験者がゲームの内でどう考えるかだけでなく—他者への信頼や公平についてゲームの外でどう考えているかに依存し、多くの被験者に対する慎重な実験を要求する。そこでプロジェクトは公共財供給実験を様々な設定で国内と（海外の研究教育機関の協力を得て）海外で継続的に実施した。具体的には、[6] 各人からの供出の合計がある一定量に達しないと公共サービスを供給できないとき、[7] 各人の所得に差があるとき、[8] 集団間

¹本文では実験経済学そのものについて詳しく説明しない。この分野に興味はあるが知識のない読者には Miller (2002) が有益であろう。経済学の知識があって代表的な経済実験と結果について知りたい学生・院生・研究者には、Davis and Holt (1993) と Kagel and Roth (1995) がよい教科書である。実験経済学の方法については、Friedman and Sunder (1994) が簡明な解説を与える。ただしいずれも出版後 10 年を超えているので、最近の研究を知るためには経済企画協会 (2003) を参照されたい。

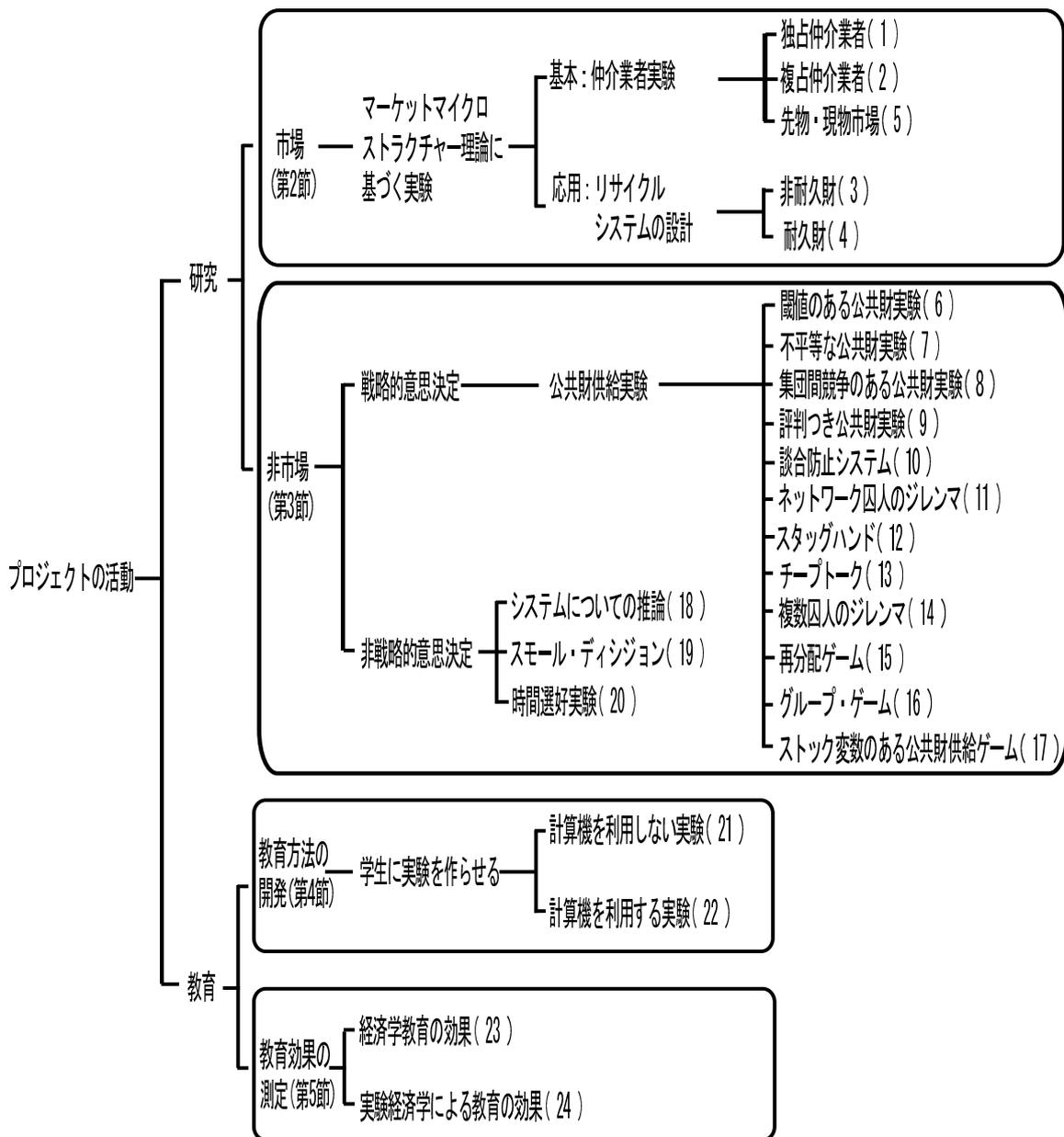


図 3.1: プロジェクトの活動と本項目の構成

本項はプロジェクトの実施した研究の全てについて1つずつ簡単に説明する(記号 [1] から [24] は特定の論文ではなく、上の研究課題 [1]、[2]、...、[24] を表す)。論文としては学術誌または学術書に収められているもの(付録 B.3 の [C1] から [C47] および付録 B.2 の [B1] から [B7]) を優先し、まだそのようなかたちで研究が確立していないものを除き、関連する学会報告(付録 B.7 の [G1] から [G35] および付録 B.8 の [H1] から [H119]) や会議論文集の論文(付録 B.4 の [D1] から [D58]) をあげない。ただし本報告書に収録の論文や原稿(*のついているもの)については未定稿でも全てをあげた。個々の研究とプロジェクトによる実験との対応は、付録 A.1 にまとめられている。いっぽう Smith (1962) などは参考文献であり、関連図書(pp. 63 - 65) に書誌情報がある。

競争があるとき、[9] 被験者の過去の行動記録が公開されるときについて被験者の属性と情報構造を変えながら調べた。公共財供給実験をこのように豊富な設定と被験者集団に対してできたのは長期プロジェクトならではの成果であり、人間の協力についての研究と政策提言のための基礎的な資料を得た。

関連する研究として、逆に多人数の協力を妨げるための政策指向の研究として [10] 談合防止のための新しい制度であるリニエンシーの実験と、多人数ゲームで調べるには複雑すぎる対戦者選択・情報交換・報酬構造の問題を考えるための理論研究として、[11] 対戦相手を選べる囚人のジレンマの実験、[12] 対戦者間の情報交換による協力への影響を調べる実験、[13] 報酬構造の変化の協力への影響を知るための実験、[14] 同じ対戦相手と2つの囚人のジレンマを同時に対戦させる実験も行った。さらに最終年度には [15] 所得再分配のある公共財供給、[16] 個人ではなく集団を代表して参加する公共財供給、[17] 非協力の影響が次回以降にも残るストック変数のある公共財供給の実験を始めた。これらの実験は、それぞれの価値に加えてプロジェクトの非市場実験に有益な知見を与えている。

非戦略的意思決定の研究としては、プロジェクトは [18] 推論体系の内での推論だけでなく推論体系についてのメタ推論をとりこむ人間の推論についての論理学研究、[19] 各選択肢からの得点の確率分布が未知あるいは既知のときの行動、[20] 時間選好についての実験（回答に応じて現金を支払う）と質問紙調査（回答を求めただけ）の比較を行った。いずれも最近の経済理論上の争点に関わる研究として新しさと独自の貢献をもつ研究である。

経済学教育法の開発（第 3.4 節）。実験経済学と経済学教育の関係は深い。じっさい初期の実験 (Chamberlin 1948, Smith 1962) はもともと教育用に開発されたものである上に、その後の実験経済学の発展もあって、いまや実験を通じて経済学を教えるという教科書 (Bergstro and Miller 2000) もある。けれども教員がゲームを作って学生にプレイさせても、学生たちはゲームの内ですればよいかを学ぶだけで必ずしもゲームについて学ばない。

プロジェクトは、ゲームを学生自身に作らせる教育を初年度から導入し、[21] カードやチップを使う実験と [22] プロジェクトが製作した z-Tree 日本語版 [F4] による実験プログラムの作成のための教材開発とカリキュラムの完成に努めている。教員がゲームで学生に経済学を教えるのは日本ではまだ普及していない上に学生にゲームを作らせる教育は国際的にも新しい試みであるが、学生自身に実験を作らせるのは経済学教育としても学生の一般的能力開発としても効果がある。

経済学教育の効果の測定（第 3.5 節）。経済学とりわけ利己的人間像に基づく経済理論を教えると学生が利己的になるという研究 (Marwell and Ames 1981, Frank, Gilovich and Regan 1993) があり、本当にそうかを実験で確かめることが構想調書の研究目的の一つである。研究計画に従って [23] 多数の学生たちに対して実験と質問紙調査をプロジェクトの全期間に渡って行ったが、学部や学年による協調性の差は確認されなかった。これは、経済学教育が学生を利己的することはないという研究 (Seguino, Stervens and Lutz 1996) を支持する。プロジェクトの実験結果の解釈は一通りではないが、経済学教育のための貴重な基礎資料となるであろう。

プロジェクトは、さらに実験による経済学教育の効果の研究を始めた。この研究は、構想調書では予定されていなかったが、実験を作らせる教育の前提となる「実験に参加するだけではゲームの内ですべてで必ずしもゲームについて学ばない」が主観的印象ではなく客観的事実として確認できるかを調べるために最終年度から始められた。具体的には、[24] 学生に基礎的教育用実験をさせてからその実験についての試験を行い、実験での得点と試験での得点の相関を調べている。まだ確定的なことは言えないが、ゲームの内ですべてをあげる学習とゲームについて理解することは別のことと示唆する結果を得ている。

プロジェクトの特色と今後の展望（第 3.6 節）。プロジェクトは以上で概観したように様々な研究・教育活動を行っているが、統一的な視点と共通する方法に導かれている。統一的視点は、既に明らかであろうが「体系・市場・集団などの内での推論や行動など」と「体系・市場・集団などについての（外からの）考察や制御」の区別と相互作用である。方法の特色については本節では述べなかったが、「体系の挙動を理解するための計算機エージェントと人間を含む実験」と「人間の戦略を理解するための計算機実験による行動の再現」が 2 つの主要な方法である。これらの方法は、情報環境の整備された実験室をもち優秀な理科系の学生や院生が参加する本プロジェクトだからとれる方法である。これらの視点や方法について再考し、プロジェクトの今後の発展を考えることで「プロジェクト活動の概要」の結びとする。

3.2 市場の実験

3.2.1 プロジェクトの市場実験の背景

市場の実験は経済実験の基礎であり、プロジェクトの市場実験はもちろん非市場実験にも関係する。そこでプロジェクトの実験を説明する前に、市場実験の歴史とプロジェクトの市場実験の基礎となるマーケット・マイクロストラクチャー理論を概説する。²

競売人のいる市場の理論。どの経済学の初級教科書も、市場供給曲線 $X = S(P)$ と市場需要曲線 $X = D(P)$ の交点として市場均衡を定義するが、均衡点はいうまでもなく両曲線を取引の観察から描くことはできない。なぜなら、市場供給曲線も市場需要曲線も個々の売手と買手の「計画」に基づいて定義されるのに対し、外部から観察されるのは売手の「行動」だけだからである。実現しなかった様々な価格に対して売手と買手がいくつ取引したかったのかを知らなければ、供給曲線を描けない。

もちろん現実経済で観察できなくても、ある条件のもとで市場供給曲線と市場需要曲線の交点で取引の数量と価格が決まるという理論的説明は可能で、なかでもワルラスの競売人を仮定する説明はよく知られている。しかしこの説明に対しては、普通の商品は競売人なしに取引されているという現実経済からの批判と、競売人のサービスのための費用と動機づけが無視されているという経済理論からの批判が可能である。後者は、ワルラスの説明では取引の数量と価格を決めるために働いているのは売手でも買手でもなく競売人なのに、この競売人が何の報酬も求めず何の資源も使わず売手と買手の利益のために奉仕すると想定することに対する疑問である。競売人の動機づけと競売のための費用を全て無視して、市場は取引参加者に単純な利己的意思決定しか要求しないにもかかわらず効率的と主張するのは、市場の正当な評価ではない。

競売人のいない市場の実験。競売人のいない市場の性能を調べるために、Chamberlin (1948) は、教室で学生たちを売手と買手に分けて自由に取引相手を求めては口頭で価格交渉をさせる実験を行った。この実験では、売手は、自分の生産費を知っていて、その費用で商品を最大 1 個まで作って売ることができ、買手は、自分の消費からの価値を知っていて、その価値を得るために商品を最大 1 個まで買うことができる。たとえば費用 50 円の売手と価値 300 円の買手が価格 100 円での取引に合意すると、売手は 50 円の利益を、買手は 200 円の利益を得る（取引相手が見つからなかった売手または買手の利益は 0）。Chamberlin の実験は、売手と買手がフロアではなく 2 人ずつピットで交渉するという意味で、現在ではピット・マーケットと呼ばれている。

²マーケット・マイクロストラクチャー理論は統一的理論ではなく、分析の目的も対象も方法も研究者ごとに異なるが、Spulber (1999) が実物市場と企業を対象とする理論の研究所であり、O'Hara (1995) が金融市場を対象とする理論の教科書である。

Chamberlin の実験は、経済学の歴史で初めての実験と見なされている。それは、彼が「環境を制御して観察することで、あるがままの世界を観察するのでは不明瞭なことを知る」という方法を経済学研究では初めてとったからである。じっさい実験では市場供給曲線と市場需要曲線は明確に定義され実験者に既知だから、実験者は取引が市場均衡で決まるかどうか調べることができる。Chamberlin は、実験では取引価格はばらつき取引量も市場供給曲線と市場需要曲線の交点の取引量とは異なること、つまり競売人がいない市場では一物一価の法則も需要と供給の均衡も実現しないことを報告している。

ただし Chamberlin の得た結果は、情報を管理する競売人がいなかったからではなく、参加者間の情報伝達が不十分だったためかもしれない。たとえばある売手と買手が「200 円で買ってくれ」「100 円なら買おう」「170 円でどう?」「もう 20 円まけて」などと互いに提案を繰り返しても、(近くの人たちには聞かれるかもしれないが)他の参加者には伝わらない。そのために、教室の前の方で売手 S_1 と買手 B_1 が 100 円か 110 円かで駆け引きをしているときに、後ろの方では売手 S_2 と買手 B_2 が 110 円か 120 円かを交渉していることもありうる。しかし、もしこれら 4 人がまとまって交渉していれば、たとえ競売人がいなくても、110 円で売ってもよいという売手 S_1 と 110 円でも買ってほしいという買手 B_2 の間で取引がすぐ成立するかもしれない。

Smith (1962) は、競売人はいないけれども全ての取引情報が全ての売手と買手に共有される実験を開発した。具体的には、Chamberlin は取引が成立することに価格を黒板に公開していただけだったのに対し、Smith は売手または買手から提案 (P 円で売りたいまたは買いたい)があるたびに、それを黒板に書いていった。これによって、どの売手または買手の提案も全ての買手または売手に対するものになり、その提案を受けたいと思う買手または売手は誰でも (早い者勝ちで)それを宣言できる。この実験は、現在では (売手からも買手からも価格を提案できるという意味で)ダブル・オークションと呼ばれている。

ダブル・オークションは、多くの研究者によって色々な設定で様々な参加者に対し実験されているが、どれも良い成績を残している。特に同じ設定で数回の繰り返しの行くと、取引の数量も価格も均衡値にほとんど一致する。さらに Gode and Sunder (1993) は、推論も学習もまったくできないエージェントにダブル・オークションをさせたが、費用より安く売ったり評価額より高く買ったりしないという制約を課すだけで取引価格は均衡価格へと収束した。どのような設定でどのような主体にさせてもかなりの成績を残させる点にダブル・オークションの頑健性があり、「すべての取引情報が瞬時に全ての取引参加者に公開されるならば、競売人がいなくても市場均衡が実現する」と一般に理解されている。³

取引所におけるザラ場は、取引の提案が瞬時に全ての取引参加者に伝えられるから、ピット・マーケットではなくダブル・オークションである。しかもかつては取引所でしかできなかったダブル・オークションも、ネットワークを通じれば為替取引のように世界全体を 1 つの市場として組織される。さらにインターネットの進歩と普及のおかげで、取引所で取引されないどんな商品についても誰でも自分の取引条件 (自分が売買したいものの数量と価格)を世界中に示すことも世界中で示されている取引条件を見て条件の最もよいものに応じることできる。じっさい「ヤフー・オークション」や「楽天市場」に代表されるネットワーク・オークションも年々盛んになっている上に、情報検索技術の進歩によって「価格コム」などでオークションに出品されていないものも含めてインターネット上で売買される商品の価格を知ることができる。情報環境の進歩と普及は、すくなくとも各市場ごとの均衡をダブル・オークションで実現させつつあるように思われる。⁴

仲介業者のいる市場の理論：マーケット・マイクロストラクチャー理論。ダブル・オークションが近年の情報

³もちろん実験室でダブル・オークションが機能するのは、実験室の情報環境に加えて実験者が手順を決めて被験者に取引規則を丁寧に説明しているからで、現実世界で競売人なしに市場取引を成立させるためには実験室と実験者に相当する環境と主体が必要であろう。

⁴デリバティブを含む多数の財が存在するときには、各財の価格収束が実現しなかったり遅れたりすることよりも、各財の価格が整合性のない水準に急速に収束してバブルを発生・拡大させる恐れのほうが生起する確率も生起するときの被害も大きそうである。この問題への対応としてのスマート・マーケットと実験経済学との関係については Miller (2002)。

環境の進歩とともに理論的虚構から現実的存在になっているという印象が正しいかどうかは後で検討するとして、今度は情報の公開と伝達がない状況での取引を考えよう。取引の提案どころか成立した取引さえ取引参加者に即時無料には広がらない環境では、取引を望む主体は自分で取引相手を探して相対交渉をしなければならない。これは、売手と買手の双方に取引相手の発見と取引価格の交渉の両面で不確実性を課す。

このとき、取引の不確実性を引き受けることで所得を得ようという仲介業者が現れる可能性がある。仲介業者は、売手には「私は1個 Q 円でいくつでも買います」と宣言し、買手には「私は1個 $P(> Q)$ 円でいくつでも売ります」と宣言する。売手と買手は、取引相手を発見しそこねたり他の売手や買手よりも不利な価格で取引をする危険を避けるために、仲介業者の示す価格で仲介業者と売買するかもしれない。そうなれば仲介業者は、1つ転売するごとに利鞘 $P - Q$ を稼げる。ただし価格づけを誤れば、単に利益が小さくなるだけでなく売れ残りを抱えたり品切れになったりする。そうなれば機会利益を失うだけでなく違約金を要求されるかもしれない。仲介業者は、なにも生産も消費もしないで利鞘を稼ぐが、本人は仲介による破産の危険を引き受けるといふ費用を払い、社会的には取引の不確実性を減らすという役割を果たしているので、仲介業者の所得は個人から見ても社会から見ても正当性がある。

Spulber (1999) は、仲介業者の理論の基本として独占仲介業者の利益最大化行動を図 3.2 で説明する。もし売手と買手が独占仲介業者を通してしか売買をできず、独占仲介業者が市場供給曲線と市場需要曲線を知っているとすれば、独占仲介業者は売手全体に対して買取価格 Q を示して $S(Q)$ 個を買い、買手全体に対して転売価格 P を示して $D(P)$ 個を売ることができる。在庫をもたない前提で利益の最大化をはかれば、独占仲介業者は図のように $Q = Q^*$ と $P = P^*$ を選んで $(P^* - Q^*)X^*$ の利益を得る。この独占仲介業者の理論は単純であるが、様々な発展や応用が Spulber 自身と他の研究者によってなされ、新たな市場と企業の研究が理論と実証の両面で進められている。

3.2.2 プロジェクトの市場実験

既存の市場実験のほとんどは実験者が取引を秩序づけて参加者に売手と買手をさせるが、プロジェクトは「市場は売手と買手が集まるだけの広場ではなく組織である」[C38] という観点から、取引に秩序を与える主体を含む市場の実験とそれに基づく理論化の努力を続けている。

[1] 独占仲介業者の実験

[C46] は、仲介業者のいる市場の実験の基本実験として、市場供給曲線と市場需要曲線を知らない独占仲介業者が第 3.2 図のように買取価格 Q と転売価格 P を決められるかどうかを調べるものである。具体的には、売手と買手は市場供給曲線と市場需要曲線としてプログラムに実装され、実験参加者（京都産業大学の学部学生たち）が独占仲介業者としてどのように行動するかが調べられた（図 3.3）。

本研究は最初の仲介業者実験であり、マーケット・マイクロストラクチャー理論の基本となる独占仲介業者の理論が現実的な想定のもとで機能することを確かめた点に意義がある。じっさい大多数の被験者は、市場供給曲線と市場需要曲線の形状をまったく知らされていなかったにもかかわらず、「まず購入量 $S(Q)$ と販売量 $D(P)$ が等しくなる価格を見つけ、それから価格を微調整しながら利益を増やす」という2段階戦略によって、数回の試行で少なくとも局所的に利益を最大化する買取価格と転売価格の組合せを発見した（図 3.4）。これによって、マーケット・マイクロストラクチャー理論の妥当性の確認と発展の展望が与えられた。

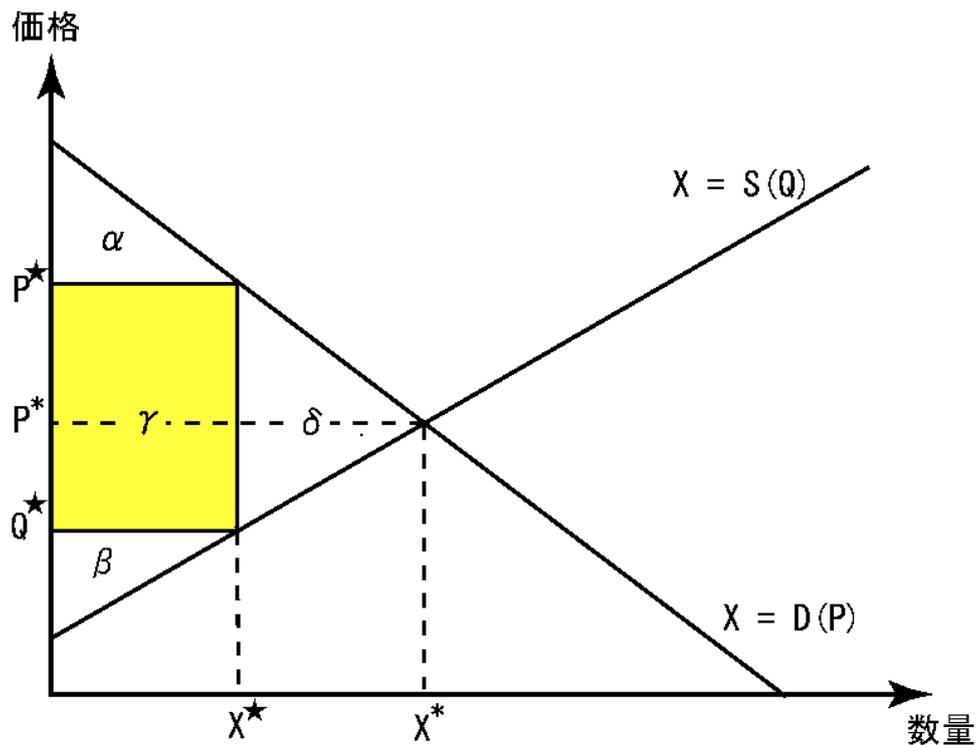
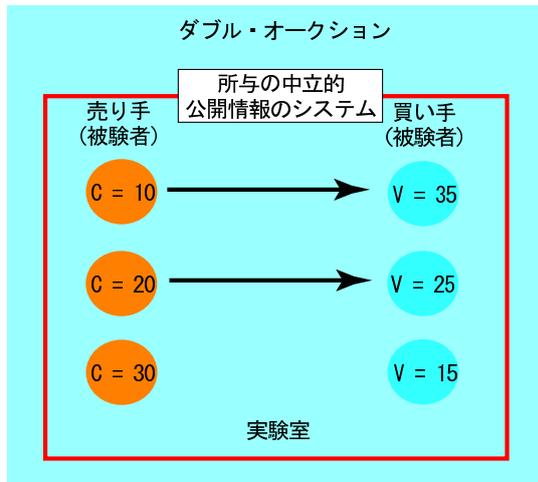


図 3.2: 独占仲介業者の価格決定

独占仲介業者が自分の利益を最大にするように生産者からの購入価格と消費者への転売価格を決めると、総余剰 (=買手余剰 α + 売手余剰 β + 仲介業者余剰 γ) は、市場需要曲線の交点 E で決まるときよりの総余剰よりも死荷重 δ だけ小さい。ただし E を実現させるためには、利他的競争人あるいはダブル・オークションを機能させる環境が必要である。誰が何のためにその役割を引き受けたり環境を整備するのか、またそのためには直接間接にどれだけの費用が必要なのか。これらの疑問を無視して仲介業者がいないときのほうが取引は効率的と主張するのは公平ではない。実際ワルラスの競売人は、自分の利益を 0 にして売手と買手の余剰を最大化しないで、売手には Q^* を買手には P^* を示して γ の利益をあげることもできるはずである。

ダブル・オークション



独占仲介業者実験

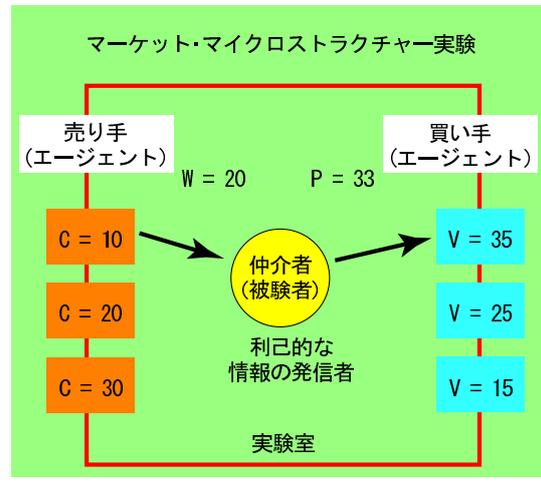


図 3.3: ダブル・オークション実験 (左) と独占仲介業者実験 (右) の概念図

[2] 複占仲介業者の実験

[B5] ([E4*] はこの拡大版) は、上の独占仲介業者実験の発展として仲介業者が 2 人いるときの仲介業者の行動と市場の性能を調べる実験である。この実験でも売手と買手は市場供給曲線と市場需要曲線としてプログラムに実装され、実験参加者は 2 人ずつ組になって複占仲介業者を演じた。実験の詳細は省略するが、仲介業者間の競争あるいは協調は競売人あるいは仲介業者なしにゲーム理論的に相手の行動を読みあいながら行われる。

ゲームの構造は基本的には繰りかえし囚人のジレンマ (仲介業者が 2 人とも安い値段で仕入れて高い価格で転売すれば 2 人とも大儲けだが、片方が裏切ると裏切られる方は大損) であるが、普通の繰りかえし囚人のジレンマよりも多様で不安定な行動が観察されている (図 3.5)。これは取引が複雑なため、被験者たちがその基本構造をすぐには見抜けなかったり、市場供給曲線や市場需要曲線の形状や取引規則の細部に影響を受けるためである。裏切の可能性のあるときの協力や不確実性下での意思決定とも関係をもつので、プロジェクトの非市場実験の結果と分析 (第 3.3 節) を参考にしながら分析を続けている。⁵

⁵[D51] は仲介業者をエージェント・ベースの経済学に導入する試みである。自分の在庫状況だけを見て買取価格と転売価格を決定する仲介業者をランダムな注文を出す 10 名のエージェントの市場に導入すると、取引の成立は 3 倍に増えて仲介業者も継続的に利益を得ることを計算機実験で示している。将来的にはマーケット・メーカーのプログラムとマーケット・メーカー・キラーのプログラムを公募して、実践的なマーケット・メーカーの開発を行うことを予定している。

The Fish Market Problem-3 Subject No.9

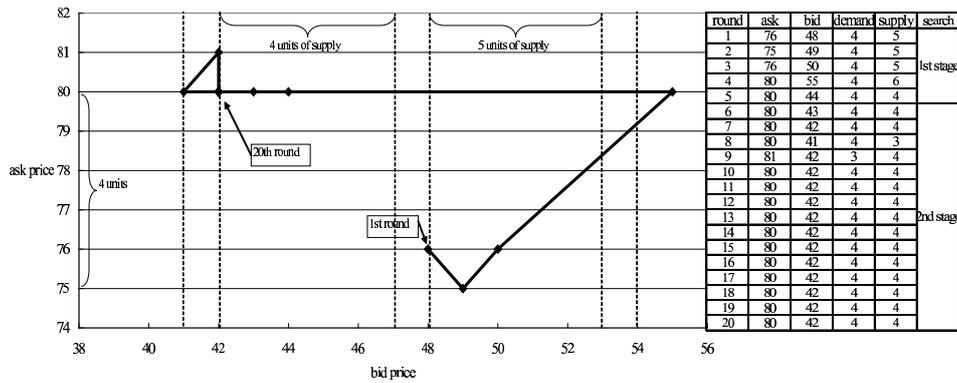


図 3.4: 2 段階探索の例

第 1 段階 (1-5 回): まず仕入価格 (bid price) と転売価格 (ask price) を調整して仕入数量と転売数量を一致させる (この例では 4 個)。

第 2 段階 (6-10 回): 第 1 段階で達成した仕入数量と転売数量の一致を保ちながら仕入価格と転売価格を微調整することで一すなわち仕入価格を仕入数量が 4 より小さくなるまで少しずつ下げ、転売数量が 4 より小さくなるまで転売価格を少しずつ上げることで一局所最大の利益を実現する。異なる数量 (たとえば 5 個あるいは 3 個) で仕入数量と転売数量を一致させるほうが利益は大きくなるかもしれないが、ゲームの回数 (20 回) を考慮して、そこで探索をやめる。

すなわち本実験を市場の性能からではなく個人の意思決定の観点から眺めると、実験結果は「探索の回数や情報が限られているときには、人間は自主的に問題を分割して (中間目標を自分で決めて) 危険を避けながら満足のいく利益水準を目指す (からなずしも最大化を追求しない) こと」を示唆する。なお図 3.2 では仲介業者の利益関数 $f(P, Q)$ は 1 点 (P^*, Q^*) でしか極大にならないが、実験では価格と数量の変化量に最小単位 (1 個、1 円) があるため市場供給曲線と市場需要曲線が階段関数になるので、 $f(P, Q)$ は複数の極大値をもつことがある。関数が不連続になる実験では微分可能な関数を前提にする理論が想定していないことが起こることがある。

[3] 非耐久財の回収市場の実験

仲介業者とは市場取引に秩序を与える役割を果たす主体のことであり、必ずしも仲買人や問屋など転売を生業とする者に限られない。一見すると仲介業者に見えない主体が理論的には仲介業者と見られることもありうる。たとえば2001年4月1日施行の「特定家庭用機器再商品化法」など生産者に自社製品の回収を義務づける法律は、企業に回収の負担を一方的にかけているように見えるが、マーケット・マイクロストラクチャー理論の観点からは、企業に中古製品を消費者から処理業者に引きわたす独占仲介業者として振るまって利益をあげることを保証する政策である。プロジェクトは以上の観点から、マーケット・マイクロストラクチャー理論の応用としてリサイクル制度の設計と分析を行っている。

[A15] は、売手と買手が直接取引もできるときの仲介業者の理論の応用として、製造業者の自社製品回収を分析する。具体的には、消費者が自分で処理業者を探してゴミを渡すか（うまくよい業者を発見できれば安く引きとってもらえるが、時間と費用をかけて探索しても適切な業者を見つけられない可能性もある）仲介業者に渡すか（割高でも確実にゴミを捨てられる）を選択できる設定で、消費者と処理業者をエージェントとし、実験参加者に製造業者あるいは回収業者あるいは製造・回収業者を演じさせた。実験の設定を理論分析すると、中古品の回収が義務づけられていないときに比べると確かに企業の利益は減るが、独占仲介業者として新たな利益機会を得るため、回収を他者（自治体あるいは回収業者あるいは消費者から回収業者への直接引渡し）に任せるよりも企業の利益は大きいことを証明できる。

ただし独占企業がそのような行動（生産量と価格の決定）を現実的な不完全情報のもとでとるかは別問題なので、様々な設定で実験を行った。たとえば図3.6の設定で実験すると、図3.7の結果を得た。このように必ずしも理論通りの行動が観察されないため、理論的には最も効率のよい制度よりも冗長な制度ときのほうが製造業者などの行動の揺れに対して頑健な性能を示している。プロジェクトは、理論が実現するかしないか、しないとすればその理由はなにかを各々の場合について実験で確かめながら自社製品回収市場の研究を続けている。

[4] 耐久財の回収市場の実験

[A32] は、上の発展として「耐久消費財の生産 → 消費 → 回収 → 処理または整備して再使用」の理論模型を作り、その分析と実験と理論研究を進めている。生産者は相応の費用をかければ製品の寿命をのばすことも再使用を容易にすることもできるが、利益を最大にするためには技術と消費者の行動を考慮して、新製品と再生品の性能と価格を決めなければならない。そのために生産者の最善の意思決定は複雑であるが、生産者を演じた被験者は一般に良い成績を残している（図3.8）。

この耐久財の回収市場の模型は、東京大学人工物工学センターにおけるリサイクル研究の基礎として様々な応用・発展させられている。具体的にはこの基礎模型を基に、技術進歩の方向づけ（と実験の結果を考慮すると、リサイクル費用をまず下げてから新製品の製造費を減らすのがリサイクル推進のためは有効）、耐久財消費者の行動の分析（生産者よりも簡単な意思決定に思われるが、被験者が消費者を演じると意外に正しい消費計画をたてられないばかりか、いつまでもそれに気づかない）、生産者だけでなく消費財の回収業者も再生品の製造・販売をできる場合の分析（理論的均衡における余剰はほとんど同じだが、実験ではずっと頑健な結果を出す）などに取りくんでいる。プロジェクトがこのような工学研究の基礎を提供できたのは、プロジェクトが計算機実験との様々な組合せを考慮しながら理論研究と被験者実験を進めてきた成果と考える。

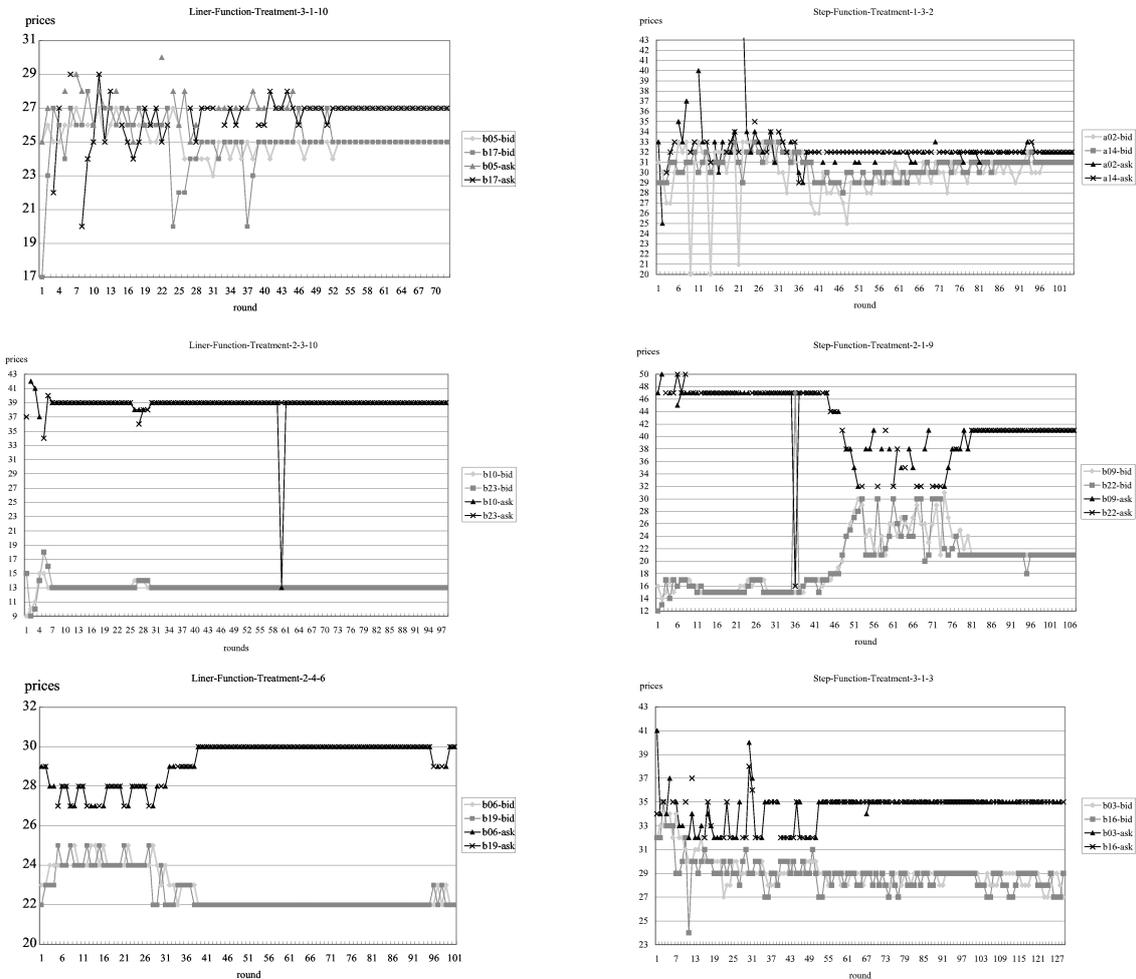


図 3.5: 複占仲介業者実験の結果

n -bid と n -ask は、それぞれ被験者番号 n の仕入価格と転売価格を示す。各図の 4 つの値: m -bid, m -ask, n -bid, n -ask は複占仲介業者を演じた 2 人の被験者の価格づけが対戦回数 (横軸) とともに、どう動いたかを表す。価格の動学は被験者の戦略の組合せ、実験規則の細部とりわけ仕入れた商品を売りきれなかったときの扱い、被験者に対する情報の与えられ方に依存するが、上は典型的な場合である。ただし左列の 3 例は市場供給曲線と市場需要曲線の階段が十分に小さくて複数の均衡をもたない設定のときであり、右列の 3 例は階段が大きくて複数の均衡をもつときの結果である。

上段は競争均衡に収束する (利益は 2 人とも正だが最小) とき; 中段は独占状態 (2 人で独占仲介業者の利益を折半する) とき; 下段はそれら以外のとき (左下は均衡ではないが、右下はじつはサブゲーム完全ナッシュ均衡に収束している)。

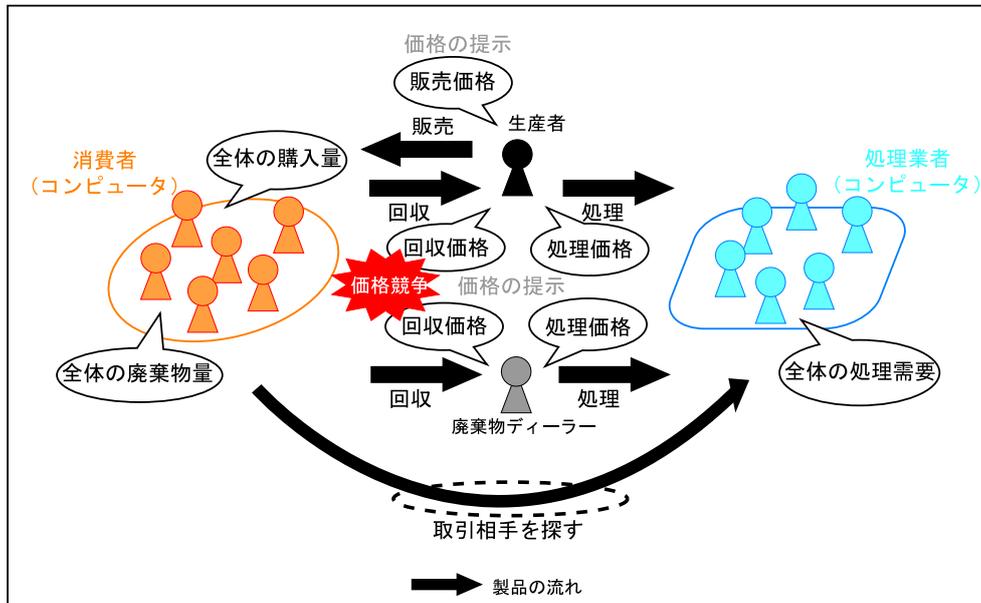


図 3.6: 自社製品（非耐久財）回収市場の実験設定

使用済み製品は、消費者たち（図左側）から、生産者または廃棄物仲介者を通じてか（上または中の経路）直接に（下の経路）処理業者たち（図右側）に引きわたされる。実験では、各消費者と各処理業者は最適行動を組みこまれたエージェントであり、2人の仲介業者（生産者または廃棄物仲介業者）を2人の被験者が演じる。

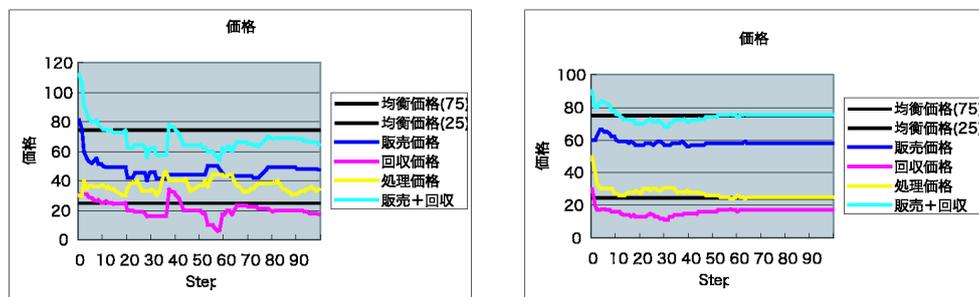


図 3.7: 自社製品（非耐久財）回収市場の実験結果

取引量と価格が理論値に速やかに収束する場合（右）もあれば、そうでないとき（左）もある。

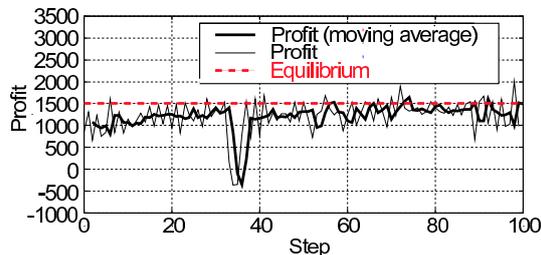
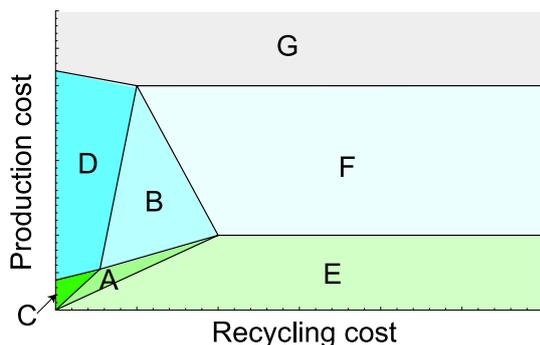


図 3.8: 耐久財のリサイクル・モデル

左：新製品の生産費（縦軸）と再生品の生産費（横軸）の組合せに応じて、企業が利益最大のために作らなければならない行動は変化する。右：非耐久財市場では消費者がもつ製品の在庫が消費者の次の行動に影響するため、生産者（被験者）の利益は波をうちやすい。ただし長期的には、この例のように最大利益をほぼ達成する被験者が多い。

[5] 階層的私的情報をもつ主体間のゼロサムゲームの実験

第 3.2.1 節で述べたように、仲介業を成立させる根拠を一般の売手や買手が自分で取引相手を探すことの困難に求めるのは時代遅れかもしれない。情報社会で仲介業を成立させる要因は、いまや取引相手を探索する費用（取引主体の外側の情報環境の制約）ではなく取引主体間の情報格差（各人の知識がそれぞれに限定されていること）に求めるべきであろう。じっさい情報公開がどんなに進んでも、私的情報は残る上に公開情報を理解するための専門知識が社会の全構成員に共有されることもないだろう。私的情報あるいは専門知識に基づく仲介業は今後も成りたつであろう。じっさい Biglaiser and Freidman (1994) は、生産者が製品の品質を偽る可能性のあるときにそれを見破ることのできる仲介業者がどのように自分の所得をあげつつ社会に貢献できるかを分析しているが、彼らの研究は専門知識にもとづく仲介業の成立条件を明らかにするものと見なされる。⁶

さらにマーケット・マイクロストラクチャー理論も、探索費用ばかりではなく全ての取引主体が完全な情報をもって合理的に行動するときには価格は全ての情報を瞬時に反映するから誰も仲介業で利鞘を稼げない (Grossman and Stiglitz 1980) という認識に基づいて、Kyle (1985) 以降さまざまな設定で完全情報をもつ取引主体と情報を何もたずランダムに取引をする主体が混在する設定での仲介業を分析している (O'Hara 1995)。結果は理論模型に依存するが、情報主体との取引による損失を非情報主体との取引からの利益で埋めあわせることで仲介業が可能となることがあり、私的情報をもつものともたないもの間での仲介業の可能性を示唆する。⁷

⁶私的情報と専門知識に基づく仲介業者の考えを押しすすめると、Spulber (1999) のように、すべての企業は仲介業者であると見なすことさえできる。つまり、企業は商品の売手から買ってそのまま買手に転売するのではなく、社会に共有されていない独自の知識に基づいて商品に新たな価値を加えて転売すると考えられる。たとえば図 3.2 において $S(P)$ を原油の市場供給曲線で $D(P)$ をガソリンに対する市場需要曲線とすれば、企業は原油からガソリンを生産することで $(Q - P)Y^*$ と石油精錬費用の差額を利潤として得ることができる（もちろん企業の技術知識と経営能力が高いほど費用は小さく利益は大きくなる）。プロジェクトの回収市場の分析においても、製造業者が仲介業者として利益をあげられる理由は制度だけでなく専門知識に基づく（たとえば回収品を無害化する能力をもつ）場合もあるであろう。

⁷市場の情報環境や取引主体間の私的情報格差のほかに仲介業を成立させる要因としては、匿名の取引主体間の相互信頼の難しさがある。じっさいインターネットを通じて契約はできても普通の商品は別途引渡したから、売手も買手も相手は契約を履行するだろうという確信がなければ契約できない。個人が自分のウェブ・ページではなく特定のマーケット・サイトで取引するのは、取引相手の探索に自分の出品や注文がかかりやすくするためだけではなく、マーケット・サイトには過去の取引やそれに対する取引相手の評価などが公開されていて取引相手の信頼度を判断するための情報があるからである。つまり売手と買手が直接に相手の信頼性を調べるのが非常に困難、あるいは信頼が裏切られたことときの損害が個別主体には大きすぎるときには、第三者が危険を負担して売買を仲介する可能性がある。金融

ただし以上の諸研究では、仲介業者が情報中位であることは説明されるのではなく前提されている。確かに仲介業をするためには一般の取引者よりも情報優位でなくてはならないと思われるいっぽうで、非常に優位であれば仲介業で利鞘を稼ぐより普通に取引して儲けられそうなので、情報中位の取引者が仲介業者という設定はもっともらしい。これを説明する根拠と考えられるのは、Huber and Kirchler (2004) の研究である。彼らは、簡単な先物市場のゲームを作り、様々な水準の私的情報をもつ取引主体（人間あるいは計算機エージェント）たちに先物取引（零和ゲーム）をさせると、情報優位の主体は確実に利益をあげるいっぽうで情報劣位の主体はランダムに行動して利益を長期的に零にするため、情報中位の主体は損失を被りやすいことを示している。

[D40] ([E5*] はこの縮約版) は、Huber and Kirchler (2004) の基本的枠組のなかで、理論分析と実験を行っている。実験結果と分析の詳細は省略するが、中位の私的情報をもつ主体のとるべき戦略は他主体の戦略に複雑に依存するうえに、適切な戦略をとるのは実際的にも理論的にも難しく、しばしば情報劣位よりも利益をあげられないことを確認している（図 3.9）。これは、情報中位の取引者が自主的に仲介業者になる可能性を示唆する。

3.3 非市場の実験

3.3.1 戦略的意思決定

プロジェクトの戦略的意思決定実験の背景：公共財供給実験の略史

囚人のジレンマ（2 人とも協力するときのほうが 2 人とも裏切るときよりも 2 人とも利益が大きいにもかかわらず、片方だけが裏切ると裏切った方が得をし裏切られた方が損をするために 2 人とも裏切る）についての研究の歴史は長い（Pruitt and Kimmel(1977)）。このなかで Axelrod (1985) の繰り返しかえし囚人のジレンマの研究（Tit for Tat（相手が裏切らないかぎり裏切らないが、裏切られれば裏切りかえす）戦略に従えば、協力を維持できる）は大きな影響力をもったが、その後の多くの研究はプレイヤーが 2 人という条件は本質的で、プレイヤーの数が多くなると協力の維持は困難なことを報告している。じっさい人数が多いと（全員裏切が唯一の均衡である）囚人のジレンマどころか（全員協力も均衡になる）コーディネーション・ゲームでさえ協力は実現しにくい。

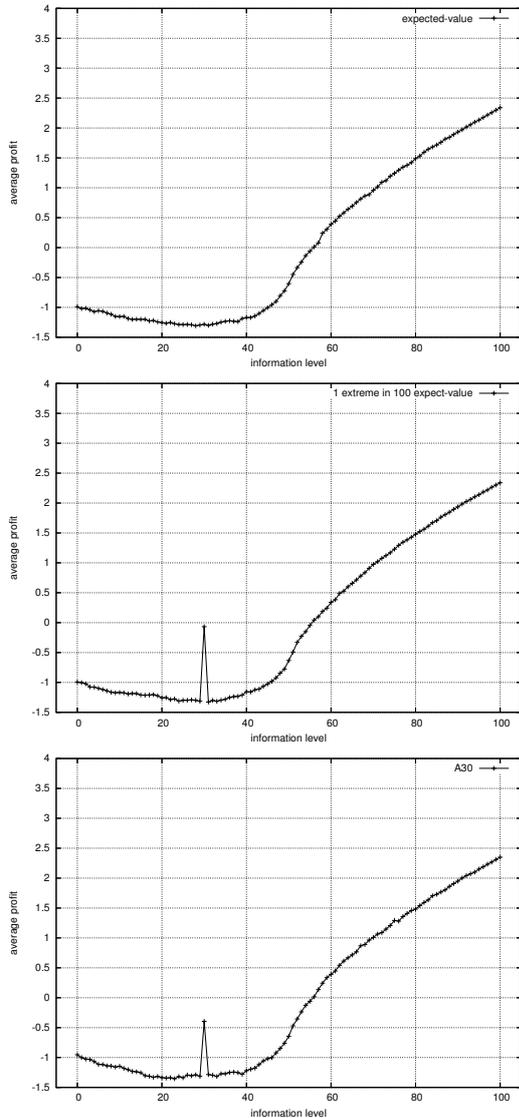
公共財供給実験は、各プレイヤーは最大限の協力（持ち点を全て供出する）と全くの非協力（持ち点を全て手許に残す）だけでなく中間の行動を許す点で多人数の囚人のジレンマの一般化である。

公共財供給実験（基本形）。各プレイヤーは各人の持ち点のうち一部または全部を公共のために供出することができる。各人が公共のために供出した点は 2 倍されて各人に平等に分配され、各人の得点はこの分配分に自分が手許に残した点の和になる。たとえば各人の持ち点が 5 の 5 人ゲームで、各プレイヤーの供出が 0, 1, 2, 3, 4 なら、供出される点は合計で 10 で各人への配当はその 2 倍の $\frac{1}{5}$ の 4 となるから、各プレイヤーの得点は、順に 9, 8, 7, 6, 5 となる。

中間的貢献の導入は、しかしながら多人数囚人のジレンマの基本的性質を変えない。1 回かぎりのときには中間的貢献が可能になることで全面裏切ではなくある程度の協力（各人が所得の全部ではないまでも一部を全体のために供出する）が実現することが多いが、協力の維持は難しい。たとえ初回は各人がある程度協力的に

業はこの例で、銀行は資金の供給者と需要者に異なる価格（借入金利と貸出金利）を示して利鞘を稼ぐ。プロジェクトはこの方向への研究をまだ具体化していないが、第 3.3 節の非市場実験の実験の多くは取引者間の相互信頼に関わるものである。

zero-ten strategy



extreme strategy

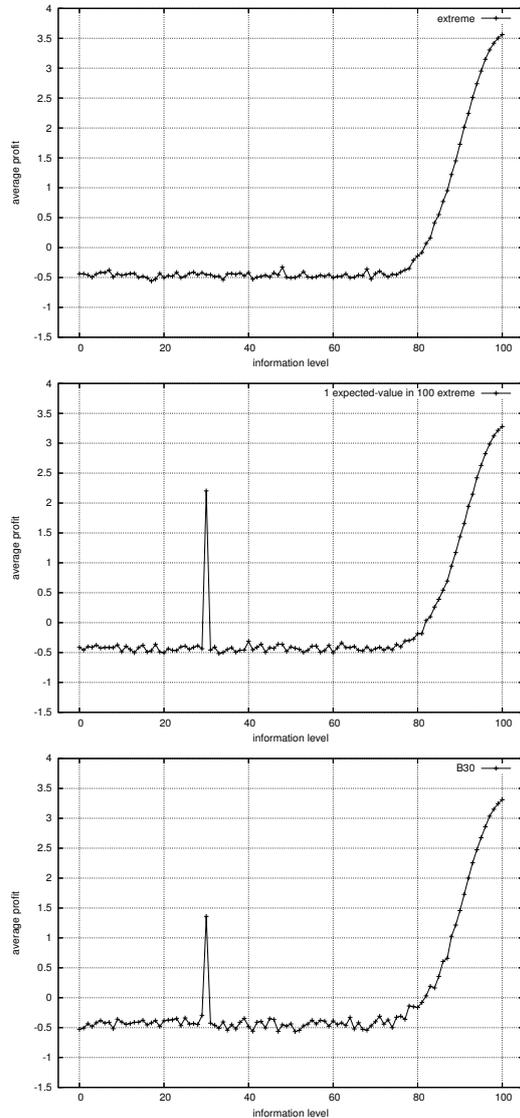


図 3.9: 先物市場の所得分配

横軸は取引主体の番号 ($0 \leq n \leq 100$) を示し、縦軸は各主体の長期平均利益を表す。ただし番号の大きい主体ほど優位な私的情報をもっている (現物価格の価格をいっそう小さい誤差で予測できる)。

第 1 段 (計算機実験): もし各主体が各主体の現物価格の期待値を指値として先物取引の注文を出すと、本文で説明されている理由で情報中位の主体は情報劣位の主体よりも損をするが (左)、各主体が (各主体が確実に予想できる) 現物価格の最大値または最小値のいずれかを基準に先物取引の注文を出すと、(理由の詳細は省略するが) 情報優位の主体以外の得点は平均化される (右)。

第 2 段 (計算機実験): 1 主体だけが戦略を入れ替えると、その主体の利益は大きくなる。

第 3 段 (被験者実験): 1 主体だけを人間が演じると、(人間は他の主体の戦略に応じて自分の戦略を変えられるので) エージェントよりも好成績をあげられる。

ふるまっても、各人は徐々に供出単位数を減らして、最終的には誰も 1 単位も供出しない状態になることが多い。そこで現在では、多人数の公共財供給実験における協力は難しいという認識に基づいて、協力できるようにするのはどのように被験者集団やゲームの規則を変えればいいのかを調べる研究がなされている。⁸

プロジェクトも、多人数の公共財供給実験では協力は難しいことを確認し、(a) 被験者の属性と (b) 被験者間の情報と利得の分配の構造を変えながら一連の公共財供給実験とそれに関連する実験を行って、協力のための環境と戦略を考察した。

[6] 閾値のある公共財供給実験

供出の合計がある閾値（たとえば 10）に達しないときには各人への配当は 0 と利得構造を修正する。この工夫は Marwell and Ames (1979, 1980) によって導入されたもので、容易に確かめられるように、もともとの誰もまったく供出しない場合に加えて、各人の供出する得点の和が 10 となる各人の戦略の組みあわせは全てナッシュ均衡となる。すなわち閾値のある公共財供給ゲームは 1 つの非協力均衡と多数の協力均衡をもつコーディネーション・ゲームに近いものになり、分析の枠組も均衡か不均衡かではなく均衡選択の可能性が生まれる。

[C22*] は、この閾値のある公共財ゲームを 2001 年から 2004 年にかけて様々な被験者に対して行った。以下にその概略を示す。

- 中学生を被験者に、実験を行った。様々な中学校の生徒を数名ずつ集めて実験をしたところ公共財の供出はかなり低かったが、同一中学校の同一クラブに属する生徒たちを対象に行った実験では高い供給量が観察された。被験者間の社会的な距離が彼らの意思決定に影響することが確認された。
- 京都産業大学のクラブに所属する学生を対象に、各クラブごとに公共財供給実験を行なった。結果はクラブごとに異なり、同一クラブに属していれば強力度が高いとは限らないことが分かった。これは社会的距離だけが強力度を決める要因ではないことを意味する。
- ゲームの規則を変更して、各プレイヤーは自分がこれから行う公共財への投資量を他のプレイヤーに事後的に公表するか否かを決定できるとした。この変更はゲームの利得構造にも均衡にもまったく影響しないが、Marks and Croson (1999) らが報告しているように、プレイヤーたちの戦略を変化させる可能性がある。実験結果は、公共財から得られる配当の構造によって異なる—意思表示が協力均衡（供出の合計が閾値）へ導く場合と非協力均衡（供出の合計が 0）に陥りやすくなる場合がある—ことを示している。とくに他者の行動が自分の利得に影響しやすい利得構造のときには、集団の協力の程度は単調に減少することが確認された。

ようするに、閾値があるときには閾値がないときよりも公共財供給は増えるが、回を重ねるにつれ協力は失われ結局は非協力均衡に陥る。もちろん沢山のなかには例外的なグループもあったが、この母集団だけは最後まで協力を維持したと積極的に主張できる集団はなく、協力がだんだん失われるのは普遍的で、ただその速い

⁸ (実験) 経済学の歴史に即して述べれば、公共財から得られる限界利益が公共財の限界費用を上回っていても供給者の限界費用に達する量までしか供給されないため公共財の供給が過小になるという経済理論に対し、心理学者 (Daws and Shaklee 1977, Marwel and Ames 1977) が被験者実験に基づいて人々は経済学者が予測するほど非協力的ではないと主張したことが公共財供給実験の始まりである。しかし彼らの実験では被験者の意思決定の回数が 1 回かぎりであったため、McCue and Plott (1985) は被験者に公共財への投資決定を繰り返し行なわせ、被験者たちははじめのうちは公共財へ高めの投資を行うが、その量は意思決定を繰り返すに従って減少していくことを明らかにした。この後はこの教材供給実験は繰り返しかえしのあるものが主体となり、色々な設定の実験が様々な被験者に対して行われているが、協力が回を重ねるにつれ失われることは普遍的に観察されている。

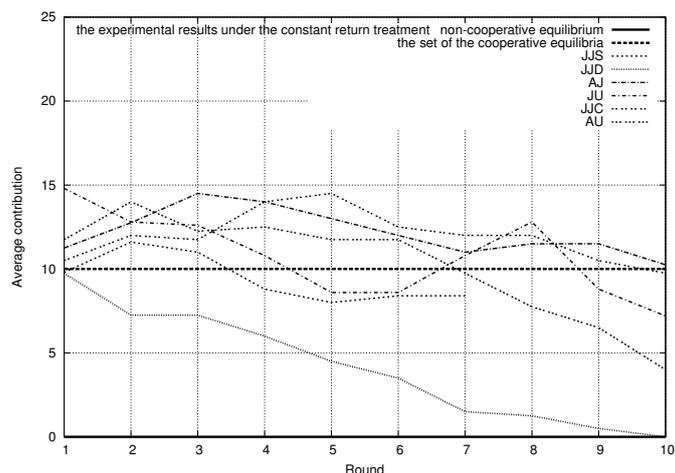
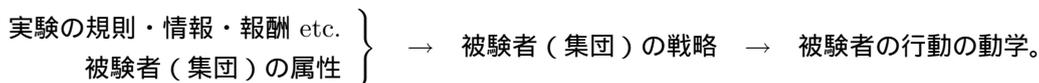


図 3.10: 閾値のある公共財供給実験（変動報酬）における供出量の合計（被験者集団ごとの比較）。
 JJS, JJD, JJC: 中学生（京都） AJ: 中学生（シドニー） JU: 大学生（京都） AU: 大学生（シドニー）。ただし JJD 以外は全員が同じ学校・大学に所属する生徒・学生；とくに JJC は同一運動クラブの部員。どの集団も初回は協力均衡に必要な公共財供出（閾値 10 以上の供出）からゲームを始めるが、徐々に公共財供給は減っていく。7 つの集団のうち 2 つは協力均衡以上の水準を 10 回まで維持したが、初対面の中学生たち（JJD）は全員平等な協力均衡（全員 2 単位ずつ）から始めて 10 回目には非協力均衡（全員 0 単位ずつ）に陥った。

遅いにおいて集団ごとに差がただであった（図 3.10）。この結果は、多くの先行研究とほとんど変わらないが、利得の構造の違いや情報構造によっては行動がかなり変化し、協力的均衡が継続的に選ばれる確率が高まることも示唆される。

様々な設定と被験者集団に対し計画的に実験を行うことで豊富なデータを得たことがプロジェクトの成果であるが、まだ被験者や規則を説明変数として結果（協力均衡が選ばれるか非協力均衡が選ばれるか）を説明しているにすぎない。しかし被験者集団や情報構造の相違は、直接にはなく被験者の戦略を変えることで実験結果に影響する：



実験結果とゲーム理論を結びつけるためには、被験者の戦略の推定と、推定される戦略の組合せがどのように相互作用して実験結果をもたらすのかが研究されなければならない。

[C15] は、初回の総供出が 10 以上か否かが 2 回目以降の供給量の低下傾向に影響していることに注目し、それを強化学習により再現した。強化学習のエージェントは、初期時点において各選択肢（供出 0 から供出 5 までの 6 つ）の選択確率をもち、それを経験すなわち過去において自分の得点を高く（低く）した選択肢の選択確率を少しずつ増す（減らす）ことにより、徐々に変更していく。この研究は、エージェントの各選択肢選択確率の初期値を、(a) すべて $\frac{1}{6}$ にするときと (b) 被験者が各選択肢を初回に選んだ割合とするときを比較し、前者のほうが被験者の行動をよく再現していることを見いだした。図 3.11 は、固定報酬で最初の供出量合計が 10 未

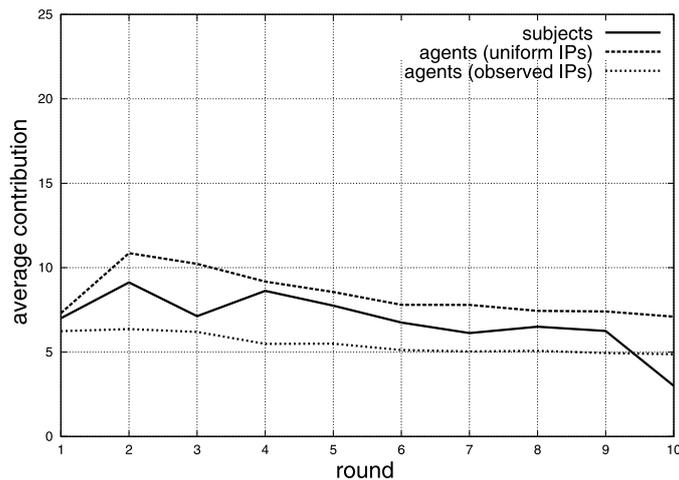


図 3.11: 閾値のある公共財供給実験（固定報酬）における供出量の合計（被験者実験と計算機実験の比較）。

満のときの被験者の行動とエージェントの行動を比較するものであるが、uniform IP (a) のグラフが observed IP (b) のグラフよりも、位置と形状の両面でよく被験者の行動を再現している。⁹

この計算機実験は、初回に観察される各選択肢の選択割合が、かならずしもエージェントのそのときの内部確率に対応していないことを示唆する。いいかえれば、初回の協力均衡の平等な選択が偶然やとりあえずの焦点になっているだけで、強化された信念ではなくゲーム内での学習により徐々に失われていく可能性を示唆する。じっさい図 3.10 の JJD の中学生たちも、実験後の質問に対して公平性に対する意識がだいに薄れていったことを示唆する回答をしている。実験結果は微妙で安易な定式化を許さないが、この方法の発展や新たな手法の導入によって公共財供給実験における戦略の研究を続けたい。

[7] 各人に生産能力の差があるときの公共財供給実験

第 3.3.1 節の実験では各プレイヤーはあらゆる意味で平等であるが、プロジェクトは各人の生産性に差があるとき（各人ごとに毎回の所得の大きさが異なるとき）の公共財供給実験もしている。これは後述のように各プレイヤーに他のプレイヤーの行動を知らせることによって協力のあり方がどのように変化するかを調べる実験でもあるので、情報構造の協力行動への影響を調べる実験でもある。

[E9*] は、各プレイヤーの初期保有が不平等のときの公共財供給実験 (Issac and Walker 1991) を発展させて、各プレイヤーに生産能力のある場合の公共財供給実験を行い、図 3.12 の結果を得た。この結果の解釈は単純ではないが、被験者たちは「全員の協力度があがるほど、集団全体の得点が大きくなるだけでなく所得格差は減少する」ことや「生産性の高い者が率先して協力的にふるまわなければ、生産性の低い者は協力しないだろう；それは生産性の高いものにとっても集団全体にとっても得ではない」ことなどを考慮して行動したのであろう。発見をいっそう確実に明瞭にするため実験を重ねるとともに、適切な解釈を求めて研究を続けている。

⁹被験者実験において供出量が 10 回目に急落するのは、被験者が 10 回で終了することを知っているためと思われる。計算機実験のエージェントは毎回おなじ強化学習をするので、このような最終回効果は観察されない。なお被験者とエージェントの最初の供出量合計が 10 未満のときに限らずにグラフを描いても（これほど明瞭ではないが）同様の傾向が観察される。

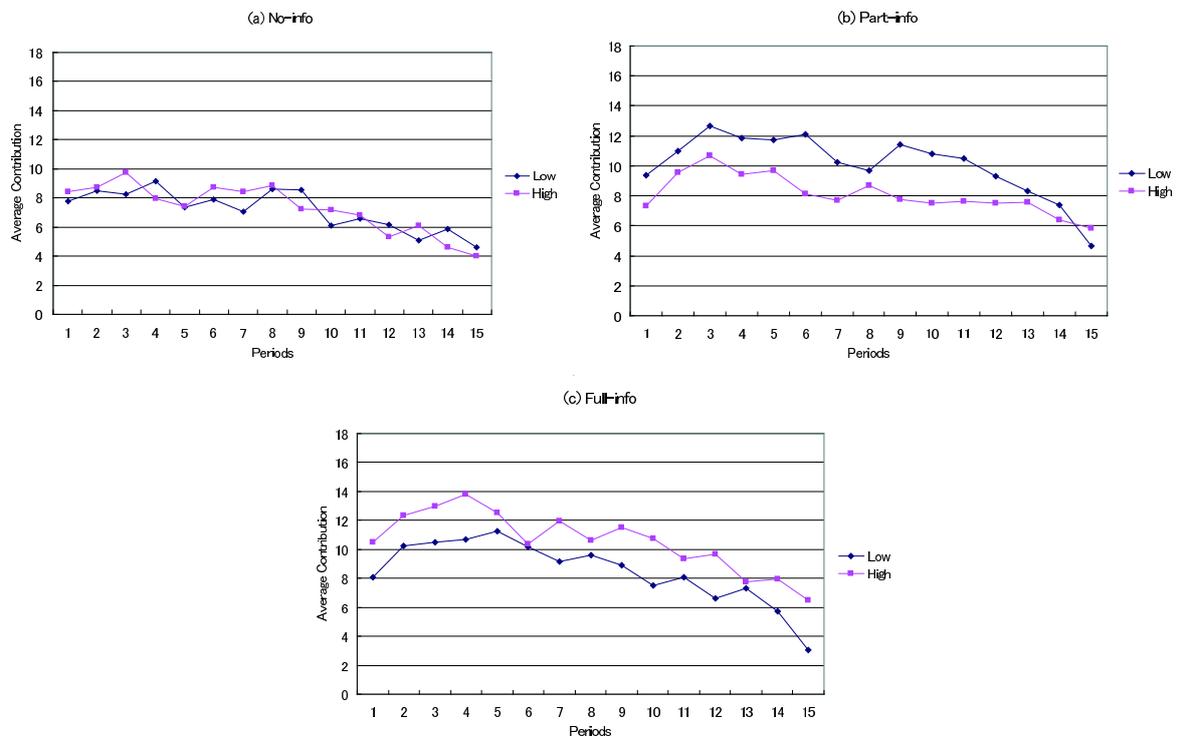


図 3.12: 各人の生産性に差があるときの公共財供給実験。

(a) 生産性が各人ごとに異なることが誰にも知らされないとき。生産性が高い主体も低い主体も同じように少しずつ公共財供給を減らしていく。(b) 生産性が各人ごとに異なることがグループ全員に知られるとき。生産性の低い被験者たちは生産性の高い被験者たちよりも公共財を多く供給する。(c) 各人の生産性と各人の前回の公共財供出量がグループ全員に知られるとき。生産性の高い被験者たちは生産性の低い被験者たちよりも公共財を多く供給する。

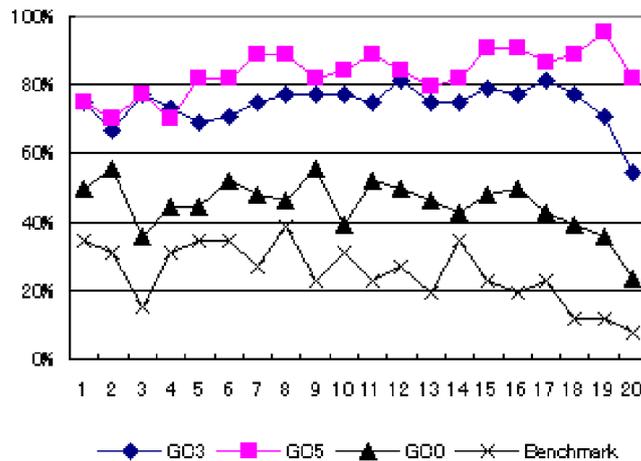


図 3.13: 集団間競争にさらされている所属集団への公共財供給率 (= 公共財供給合計 / 所得合計)

Benchmark: 集団間競争をしていない集団における公共財供給率；GC0: 報酬のない集団間競争（各集団の総得点が毎回公表されるが、それに応じて集団の所得が増減されることはない）をしている集団における公共財供給率；GC3: 集団間競争に勝った集団の構成員が追加的に得る利益が小さくて各人の支配戦略（自分の所得から所属集団に何も供出しない）を変えないときの、所属集団に対する公共財供給率；GC5: 集団間競争に勝った集団の構成員が追加的に得る利益が大きくて各人の支配戦略を変えるとき、所属集団に対する公共財供給率。

[8] 集団間競争のあるときの公共財供給実験

[E8*] は、Bornstein and Ben-Yossef (1994) や Nalbantian and Schotter(1997) の研究を発展させて、集団間競争のあるときの公共財供給実験を行っている。他の集団との競争に勝つあるいは負けないために集団内で協力する（あるいは集団内の協力を維持するために他の集団と争う）のは現実世界でよく見られる現象であるが、一般的なゲーム理論に基づく分析が可能になるように設計された一連の実験を行っている。研究は継続中であるが、競争による利益が小さくて各主体の支配戦略を変えないときでも高水準の協力を引きだすだけでなく、競争による利益がないとき（勝敗は知られるが、勝った集団に得点は与えられないとき）でも競争がないときよりも協力度が有意に高いことを確認している（図 3.13）。これは、ある集団での協力度を決める要因は集団の内（集団に属する各人の属性や集団内の情報構造）だけではなく集団の外とくに他集団との競争のありかたにもあるかもしれないことを示唆する。

[9] 評判のあるときの公共財供給実験

[E15*] は、Nowak and Sigmund (1998) に始まる一連の研究を発展させて、評判（各人の行動履歴の公開）を明示的に含む公共財供給実験を始めた。まだ初期段階であるが、評判が協調を導くという予想された結果だけではなく、全主体が平均的に協力的でないときよりも極端に評判が悪い主体と非常に評判の良い主体の両方が集団に含まれているときのほうが人間は協力しにくいなどの興味深い観察も得ている。

[10] カルテル防止制度の実験

[E11*] ([E10*] はその補足と解説) は、カルテル防止制度の実験を行っている。この研究では、いかにプレイヤー間の協力を壊すかが政策課題であり、その一つの方法として導入の予定されているリニエンシー制度に関する実験を行っている。ただしリニエンシー制度とは、「カルテルに参加した企業でも、公正取引委員会がその証拠を調査に入る前にその証拠を提出すれば、カルテル行為に対する課徴金を免除あるいは減免される」というものである。

実験は、課徴金を免除される企業の数(1社だけか、当局に協力した企業すべてか)とカルテルを構成する企業数(2社あるいは7社)をかえて行われた。実験によれば、減免制度はカルテルの取締に影響せず、カルテルの規模が結果を決める。すなわち、カルテルが7社で構成されるときにはリニエンシー制度によってカルテルは容易に壊されるが、カルテルが2社で構成されるときにはリニエンシー制度が導入されてもカルテルは強固に維持されうる。

[11] ネットワーク囚人のジレンマの被験者実験と計算機実験

[C18] ([E14*] はこの発展) は、対戦相手を選べる繰返し囚人のジレンマ・ゲームを独自の「信頼性モデル」でよく再現している。これは囚人のジレンマに対戦相手の選択を導入するものである。現実世界では所与の相手とどう対戦するか以上に誰を対戦相手に選ぶか(誰に対戦相手に選ばれるか)が大切なことを思えば、様々な囚人のジレンマの一般化のなかでも重要なものである。

被験者は、まず図 3.14 で匿名の3名(緑、黄、赤)のうち1人を囚人のジレンマ・ゲームの対戦相手として選ぶよう促される。もし自分の選んだ相手も自分を対戦相手に選べば対戦が実現し、そうでなければ対戦できない(PDN α ゲームの場合)か強制的に対戦相手を割りふられる(PDN β ゲームの場合)。対戦相手が決まれば、(図の左列に表示されている)自分の過去の経験を参考に手(協力Aまたは裏切B)を選び、相手と自分の手に応じて(図の右下の表の)得点を得る。

このゲームを各被験者ごとに100回以上くり返させ、被験者ごとに毎回の平均得点(縦軸)と対戦で協力を選んだ割合(横軸)を整理したのが、図 3.15 の左側の2つの図である。左上図(PDN α)では、右上がりの直線上の(協力性向が高いほど得点が高い)被験者たちと水平線上の(協力性向と無関係に得点が低い被験者たち)被験者がいるが、右下図(PDN β)では右上がりの直線上にしか被験者が分布していないことが分る。いっぽう右上図と右下図は「信頼性モデル」(最も信頼できる相手を選び、相手の信頼度に応じて協力と裏切の割合を制御する戦略)に基づくPDN α とPDN β の計算機実験の結果であるが、対応する被験者実験の結果をよく再現している。異なる2つのゲームを同一の初期条件とパラメータで再現する信頼性モデルの説明力は高く、さらに(ここでは述べないが)パラメータや初期条件を動かしたり被験者実験の規則と報酬構造を変えて実験を繰り返すことで、被験者の行動をいっそう精緻に分析できる。

[12] 利得水準の効果を知るための実験

表 3.1 の利得行列は、準随戦略の範囲で同じナッシュ均衡(左上)と(右下)をナッシュ均衡としてもつ(混合戦略の範囲では、いずれもさらに混合戦略(いずれのプレイヤーも協力を $\frac{2}{3}$ の確率で選ぶ)をもつことが容易に確認される)。行プレイヤーにとっても列プレイヤーにとっても協力しあうのが非協力しあうよりも望ましいが、非協力を選べば相手が協力しようとしまいと一定の得点をあげられるのに対し、協力を選べると相手が非協力のときに自分にとって最悪の結果となる。もちろん相手は自分が協力を選ぶと信じれば囚人のジレン

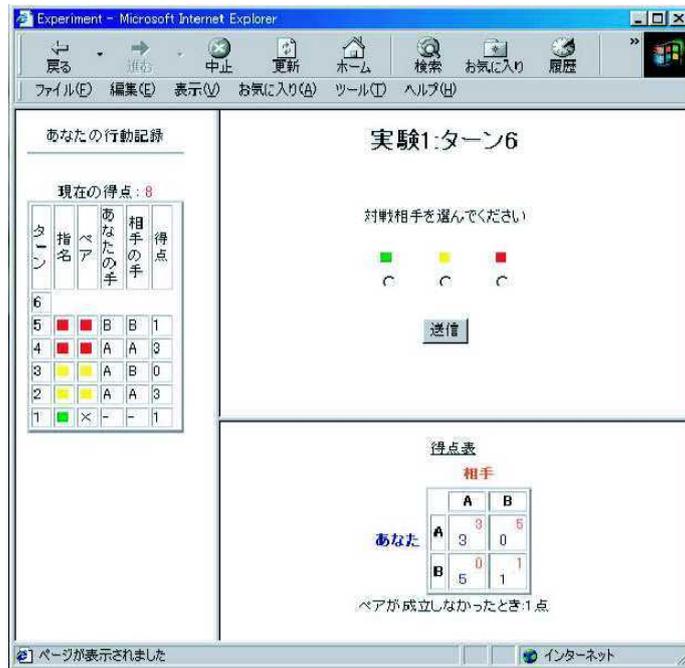


図 3.14: ネットワーク型囚人のジレンマ・ゲームの被験者の画面

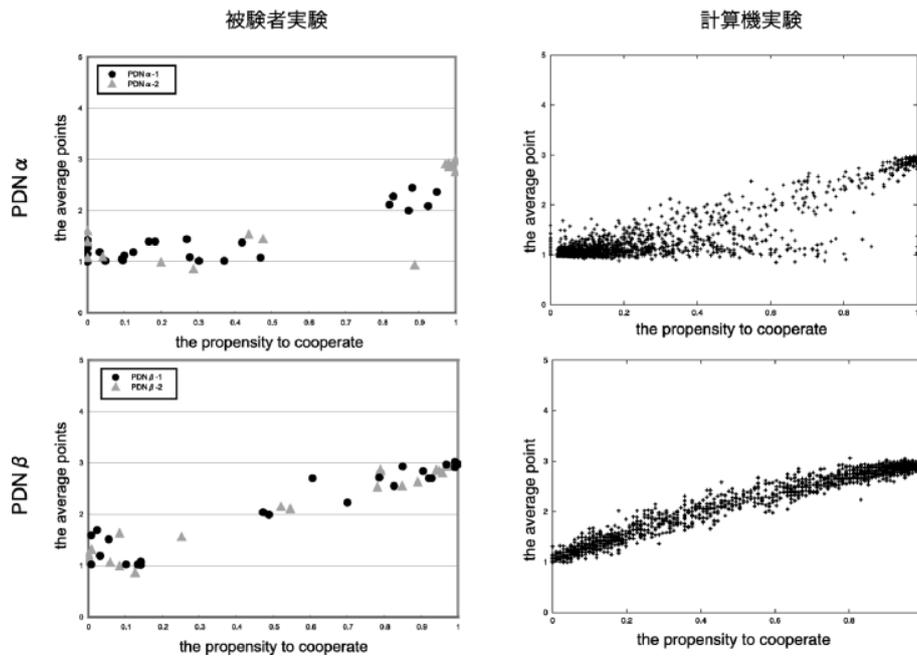


図 3.15: ネットワーク型囚人のジレンマ・ゲームの結果 (左: 被験者実験, 右: 計算機実験)

表 3.1: 表：スタッグ・ハント・ゲームの利得表

利得の正負に注目して各図の特徴を述べれば、左図は常に正の利得が期待できる場合、中図は自分が協力して相手がしないときだけ利得が負になる場合；右図は互いに協力しあうときしか正の利得をどちらも得られない場合。ナッシュ均衡は3つの場合に共通だが、利得の絶対値とくに正負がプレイヤーの行動に影響する (and/or) 相手がそう思うと思うときには、非協力を選ぶ割合が変化するであろう。

| | | |
|-----|------|------|
| | 協力 | 非協力 |
| 協力 | 7, 7 | 1, 5 |
| 非協力 | 5, 1 | 5, 5 |

Stag Hunt High

| | | |
|-----|-------|-------|
| | 協力 | 非協力 |
| 協力 | 5, 5 | -1, 3 |
| 非協力 | 3, -1 | 3, 3 |

Stag Hunt Medium

| | | |
|-----|--------|--------|
| | 協力 | 非協力 |
| 協力 | 1, 1 | -5, -1 |
| 非協力 | -1, -5 | -1, -1 |

Stag Hunt Low

マとは異なって—自分も協力する方が得だから協力するであろう。しかし相手が自分は非協力を選ぶと思うと思えば相手は非協力を選ぶだろうから、自分は非協力を選ぶべきである。つまり表 3.1 の利得行列においては、相手を疑う根拠は何もないのに相手は自分を疑うのでは疑うことが協力の失敗を導く。

[E12*] は、表 3.1 の 3 つの利得行列に対する被験者の行動を様々な条件下で調べている。現時点ではまだ実験を継続中で確定的なことを言えないが、ゲームの定性的性質をかえない利得構造の絶対水準の変更がどのようにプレイヤーの行動に影響するかを調べている。

[13] チープ・トーク実験

ゲームにおいて、発信者も受信者も何も行動に制約が生じず利得も変化しない情報交換をチープ・トークとよぶ。チープ・トークはしかしながらゲームの結果に影響するときがある。たとえばマッチング・ペニー（2人ゲームで各人が独立に表または裏を出して、両方とも表または裏のときには2人ともお金をもらえるが、そうでないときにはどちらも何ももらえない）は双方にとって無差別な均衡を2つ（両方とも表を選ぶ；両方とも裏を選ぶ）もつが、プレイヤーが情報交換をできないと均衡の実現は偶然にしか起らない。しかし、もし事前に最低限の情報伝達が可能なら—たとえば片方がもう片方に「私は表を選ぶつもり」と伝えられれば—均衡は直ちに実現するだろう。

チープ・トークがゲームに影響するのはプレイヤーが「ゲームの外から」意味をもちこむからである。たとえば上の例で伝えられる情報が「私は 表 を選ぶつもり」または「私は 裏 を選ぶつもり」であれば、自分の選ぼうとする手を伝えることは難しい。しかしその場合でも、何度か情報伝達と行動を繰り返すうちに、この意味が「ゲームの内」で確定して均衡が実現するかもしれない。

[E13*] は、このような想定に基づいて、チープ・トークのあるいくつかのゲーム（マッチング・ペニーおよびプレイヤー間の利害が部分的または全面的に対立ゲーム）を、対戦相手が固定されているときと毎回確率的に代わる場合について調べるとともに、その結果を強化学習によって再現した。この研究は、プロジェクトにとって最初の計算機環境での実験であると同時に人間の行動を計算機実験で再現する最初の研究であった。初期条件に偏りを与える（たとえば 表 を表とみなす確率を 0.5 より大きくする）ことで人間の行動の再現を目指したが、改良の余地があると考えている。

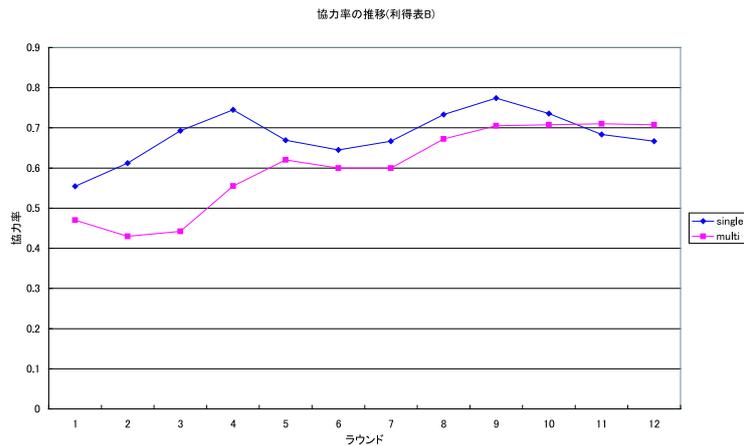


図 3.16: 1つの囚人のジレンマを同じ相手と何度も対戦するときと、2つを同時に同じ相手と何度も対戦するときの協力率。協力率が徐々に上昇していることは、被験者たちがトリガー戦略でなく TFT 戦略に類似する行動をとっていることを示唆する

[14] 複数囚人のジレンマ

繰返し囚人のジレンマで TFT 戦略あるいはトリガー戦略（一度でも裏切られれば 2 度と協力しない）をとるプレイヤーが裏切りを選ぶとすれば、そのプレイヤーにとっての将来利得の割引率 α が、（自分が裏切り相手が協力するときを得られる）1 回だけの大きな利益が、その後の（自分が非協力を選ばなければ協力のしあいが続くはずなのに、自分の裏切りによって裏切りあいが続くことによる）機会損失の現在価値を等しくする将来利得の割引率 β を上回るからである。もちろん β の値は毎回の囚人のジレンマの利得表しだいであり、裏切りの利益が相対的に大きいときほど β の値は小さい。いっぽう α の値は、現実世界では時間割引率であり、（[20] で見るように）観察可能ではないうえに理論的にも実証的にも安定しているとは限らないが、謝金がまとめて実験終了後に支払われる実験では、実験の終了確率（ n 回目の囚人のジレンマのあと $n+1$ 回目が行われる確率）がどの被験者にとっても共通の基準となるであろう。

[H118] は、このような想定に基づいて、 α が小さい囚人のジレンマだけを繰返しプレイする集団と、その囚人のジレンマと同時に α の大きい囚人のジレンマを同時に同じ相手と対戦させる集団を比較し、後者のほうが協調的に行動するかを調べる実験についての報告である。まだ予備的実験なので確定的なことはいえないが、2つの集団で協力度に有意な差が観察されていない一方で、2つのゲームを同時にプレイする集団のほうが（協力するにせよしないにせよ）安定的な行動が導かれることなどが発見された。これらが（Bernheim and Whinston 1990）に始まるマルチ市場モデルの妥当性を検証するとともに、複雑な戦略が可能なき（たとえば被験者は、片方のゲームで裏切られると、別のゲームで仕返しを大きくあるいは小さくして応えるときがある）の人間の協調についての考察を深めることを期待している。

[15] 再分配ゲーム

ひとは「個人個人に能力差があるとき、どのような所得分配の規則が望ましいか」について何らかの意見をもっているであろうが、自分自身が関わる問題では「自分にとってどのような規則が有利か」を離れて抽象的に再分配について自分の意見を述べないであろう。そこでプロジェクトは以下の実験を昨年末（2005年11月から）している。

まず参加者に「各自にある課題をしてもらいます。その成績に応じて謝金が支払われますが、参加者間で謝金の再分配が可能です。」と説明し、各人にどのような再分配を望むか、まったく再分配をしない水準0から再分配をして全員の所得を平等にする水準10までのなかか選ばせた。そして課題（文章中の漢字の間違いの指摘）をさせ、終了後に各人に各人の課題のできの自己評価と各人の除く再分配の水準を再度たずねた。

実験結果は、課題をしてからの方が全体として高い水準の再分配を望み、この傾向は性別や学年に依存しなかった。いずれも欧米における類似の先行研究の結果とは異なっている。

[16] グループ・ゲーム

現実世界では、人はしばしば労働組合、会社、地域社会など集団の代表として意思決定を行う。プロジェクトはスペインの共同研究者とともに、代表者としての意思決定を知るために以下の実験をスペインと日本で開始した（KEELでの実験は2006年1月から）。

まず参加者を3人ずつ集め、3人のうち誰かが集団の代表として他集団の代表とゲームをして代表の得た報酬がそのまま残りの2人の代表になることを知らせ、しばらく自由に話させる。そして3集団ごとに公共財供給ゲームさせる。

まだ被験者の人数が少なすぎて確定的なことを言えないが、日本の大学生とスペインの大学生で公共財への貢献度に有意な差は見られない。またいずれの被験者集団においても、個人として意思決定を求められるときよりも集団の代表として意思決定を求められるときのほうが公共財供給が少ない。公共財への貢献が既存研究ではかなり高いにもかかわらず、現実世界では非常に低いことを説明するかもしれない。

[17] スtock変数のある公共財供給ゲーム

一般の繰返し公共財供給ゲームでは各人の行動はゲームの得点構造に影響しないが、今回の非協力的な行動（たとえば環境を破壊する）が次回以降の協力の成果を小さくする（協力して環境保護をしても環境が回復しない）ゲームも考えられる。プロジェクトは、東京大学人好物工学研究センターと共同で以下の実験を始めた（KEELでの実験は2006年1月から）。

参加者の得点は通常の公共財供給ゲームのように決められるが、公共財供給が全体として小さいと集団全体の環境を表すstock変数が減少し、ゲームの終了確率が高まる。

まだ被験者の人数が少なすぎて確定的なことを言えないが、集団の公共財供給はstock変数がないときよりも小さい傾向が観察されている。

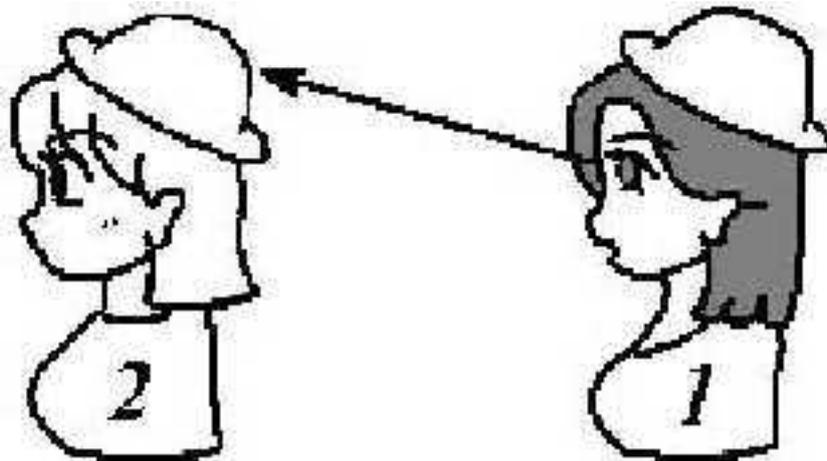


図 3.17: 帽子の色当てパズル：人 2 は自分の視点だけから問題を解くことができるが、人 1 は自分の視点だけではなく、自分が人 2 を見ている状況を第 3 者の視点から（つまり、この図を見ている読者の視点から）眺められないと結論を得られない。

3.3.2 非戦略的意思決定

[18] 体系からの脱出の研究

[C3][C8][C17] は、人間の推論の特徴としての体系からの脱出能力に基づく推論（推論体系のなかで推論規則に従って推論するだけでなく、推論体系について考察してメタ定理を導き、それを体系内にとりこんで推論をすること）を定式化している。

図 3.17 は、上記の研究の扱う体系からの脱出能力を説明するパズルである。いま人 1 と人 2 が白い帽子をかぶっている。人 1 は人 2 が白い帽子をかぶっていることを知っているが、人 2 は「人 2 が白い帽子をかぶっているかいないを人 1 は知っている」ことを知っている。ここで、あるひとが「君たちのうち少なくとも 1 人は白い帽子をかぶっています。自分が白い帽子をかぶっているかいないか分りますか」と人 1 に尋ねると、人 1 は「分りません」と答えるが、その瞬間に人 2 は自分が白い帽子をかぶっていることが分る。ここで人 2 は体系内推論（人 2 の知識を推論規則に従って変形すること）をして「私は私が白い帽子をかぶっていることを知っている」を得るが、人 1 はこのようにして「私は私が白い帽子をかぶっていることを知らない」を得ることはできない。人 1 は、『私は「私が白い帽子をかぶっていることを私は知っている」を演繹できない』というメタ定理を証明して、「私は私が白い帽子をかぶっていることを知らない」と分る。

このメタ定理を様相論理（「知る」を表す作用素を含む論理）で厳密に証明し含意を検討したのが上述の研究の成果であるが、自分を含む体系について外から考察する能力は人間にとって—それができない環境では発狂してしまうほど（ドストエフスキー『死の家の記録』）—本質的であり、人間なら誰でも「体系からの脱出」（Hofstadter 1979）を意識することなく行う。いっぽうこれはエージェントにはできないことであり、被験者の行動とエージェントの行動の差の理由のひとつは、この点に求められる。

本節の研究はその理論的基礎を与えるもので、プロジェクトの実験と理論研究の多くに直接間接に関係している。実験参加者は、平等や道徳などゲームの外の世界の概念をゲームに持ちこみ（第 3.3.1 節の全ての実験

表 3.2: small decisions: 選択肢 H のほうが選択肢 L よりも期待値が大きい。

| 選択肢 | 問題 1 | 問題 2 | 問題 3 | 問題 4 |
|-----|-----------|---------|----------|----------|
| H | 3.2 (1.0) | 4 (0.8) | 4 (0.2) | 32 (0.1) |
| L | 3.0 (1.0) | 3 (1.0) | 3 (0.25) | 3 (1.0) |

に関連する)、ゲーム外でゲームについての理解を形成してゲーム内で利用する(情報伝達のために簡単なシンボルの送信(チープ・トーク)の許されているゲーム [13] では、被験者のシンボルへの意味づけが重要な役割を果たす)。さらにプロジェクトの市場についての研究は—第 3.2 節で述べたように—市場の中で売買する主体ばかりでなく市場の売買を秩序づける主体の行動に注目するものであり、プロジェクトの教育実験についての研究は—第 3.4 節で見るように—経済学を学ぶことが外の世界の見方に与える意味 [23] や経済ゲームの中で上手にプレイすることと経済ゲームについて考えることの落差 [24] を問題にする。体系からの脱出の観点から理論・被験者実験・計算機実験を組み合わせる研究を進めるのは、プロジェクトの研究の重要な特色である。

[E6*] は、図 3.17 のパズルの分析についての補注である。具体的には、「体系からの脱出」がこのパズルでは「誰にでも可能」であることと、このパズルに限らず論理学の応用において重要な役割を果たす cut-elimination theorem を解説する。

[19] 不確実性のあるときの探索と選択

消費者の日常的な意思決定は、不完全な知識に基づいて短時間で意思決定をするものである。たとえば自動販売機の前でどの飲料を飲むかを決めるのは、かけている時間(数十秒)を思えば、いっぽうでは住宅を購入するときのような慎重な意思決定ではないが、他方では急に飛びだしてきた自動車を避けるような自動的なものでもない。Erev and Roth (1998) や Greg and Erev (2003) は、このような意思決定を small decisions と呼んで実験研究を行い、人々は小さな確率を過小に評価する傾向のあることを主張している。

[C28*] は、上の著者たちの実験では被験者は探索(選択肢ごとの得点の確率分布が未知のときの選択肢の選択)において不確実性の評価(選択肢ごとの得点の確率分布)を正しく改訂しないのか、それとも選択(選択肢ごとの得点の確率分布が既知のときの選択肢の選択)において期待利得を最大化しないのかが不明瞭であったので、各人に表 3.2 の 4 つの問題について探索と選択を 400 回ずつさせた。

実験結果は、確率が未知のときには必ずしも期待値の高い方を選ぶようにならないが、それは人間の事後確率の改訂が正しくないからでも危険中立でもないからでもなく、正しい確率の改訂に従って正しくない結論に導かれている場合が多いことを示唆する結論を得ている(図 3.18)。つまり小さな確率の差に基づく期待利得の差が正しく認識されるためには非常に多くの試行が必要であり、数百回の試行では正しい推定に基づいて正しくない結論を得る確率がかなり大きい。この観点から既存研究の主張は見直されなければならないが、いっぽうで確率が既知の場合でも期待値の大きい方だけを選ばない理由が不明である。これを期待効用理論に基づいて説明するためにはかなり大きな危険回避を想定しなければならないが、現実的とは思われない。現在これについて考察中である。

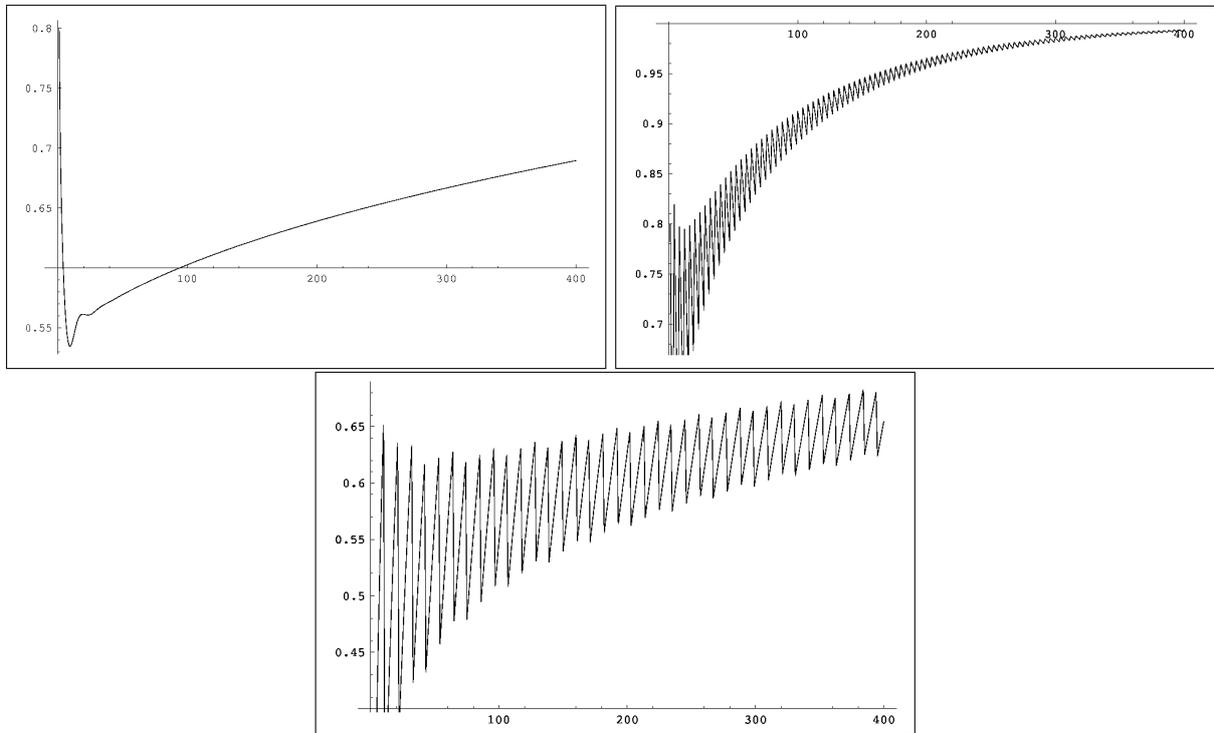


図 3.18: 表 3.2 の問題において、 H からの平均利得が L からの平均利得を上回る確率。

左上図：問題 2 において H を横軸の回数だけ選ぶとき、平均得点が 3.0 (L を選ぶときの毎回の得点) を超える確率。

右上図：問題 3 において H と L をそれぞれ横軸の回数だけ選ぶとき、 H からの得点が L からの得点を上回る確率。

下図：問題 4 において H を横軸の回数だけ選ぶとき、平均得点が 3.0 (L を選ぶときの毎回の得点) を超える確率。

表 3.3: 時間選好についての回答

回答は、順に問 1 から問 5 に対する答を並べたもの。たとえば AAAAA は全ての問に対して即金を好んだ被験者であり、A...B は、ABBBB、AABBB、AAABB、AAAAB のいずれかを答えた被験者であり、金額が十分に大きくなるなら待ってもよいという選好をもつ。「その他」は、AABBA など ABA または BAB の逆転が少なくとも 1 回あるもの。

| 回答 | AAAAA | BBBBB | A ... B | B ... A | その他 |
|---------------|--------|--------|---------|---------|--------|
| 時間選好実験 (52 名) | 21.2 % | 38.5 % | 36.6 % | 3.8 % | 0.0 % |
| 質問紙調査 (144 名) | 16.0 % | 24.3 % | 41.0 % | 7.7 % | 11.2 % |

[20] 時間選好の実験と質問紙調査

多くの経済理論は人間の時間割引率を一定と仮定するが、Ainslie (1975) など心理学研究者は 1960 年代からそうではないという調査結果を示している。その後の研究で、いまでは双曲線形割引 (最近の異時点間選択ほど時間割引率が高い) などが定型的事実として受け入れられている (Benzion, Rapoport and Yagil 1989)。

ただし時間選好の調査は、本当に遅れをとともう支払いを確実にするのは大変なため、質問紙調査に頼ることが多く実験研究は限られている。そこでプロジェクトは、プロジェクトの実験を利用して、通常であれば実験終了後にすぐに支払う謝金を希望者には割増をつけて後日に支払う実験を始めた。これによってプロジェクトは—割増分の追加支出だけで—十分な数の同一被験者集団 (大学生) の時間選好を同じ条件の所得 (自分の稼いだ所得) について知ることができる。さらに同じ集団に支払いをとともなわない (仮想的所得に対する報酬をとともなわない) 質問紙調査をすることで、時間選好に対する実験での選択と質問紙調査での回答がどの程度まで整合的かを調べることもできる。

[D38] ([E7*] はその縮約版) は、時間選好の実験と質問紙調査を行っている。実験は、プロジェクトの実験の追加実験として実験終了後に図 3.19 の質問: 「いまの実験の謝金 (実験での得点に応じて被験者ごとに異なるが、2000 円から 4000 円程度) をすぐに受けとりますか、それとも後日に割増された金額を受けとりますか」を各被験者に回答させる。この質問は、実験者が「みなさん全員が全ての質問に回答を終えてから、私がサイコロをふって質問を 1 つ選び、それに対するみなさん一人一人の回答に応じて支払います」と約束して行われた (実際にそのように支払われた)。いっぽう対照実験として、授業中に出席記録を兼ねて同じ質問紙調査を行った。ただしこのときの質問紙では、謝金は 3000 円と仮定され、現金はいっさい支払われないことが明言されていた (実際に謝金は何も支払われなかった)。

結果は図 3.3 の通りである。まだデータ数が十分ではないので確定的なことは言えないが、実験と質問紙調査との回答の相違や時間割引率の時間的变化などに検討すべき題材が多く含まれている。

3.4 経済学教育法の開発

3.4.1 実験による教育の可能性と現実

経済実験は、経済と経済学を体験的に教えるよい方法となる可能性をもつ。いまや経済実験による研究は経済学の多くの分野に及び、様々な発見と研究がなされている。それらをもとに教育用実験を開発すれば、学生たちは体

時間選好についての質問

1. 今すぐ謝金を現金で受け取るのと、3日後に3パーセント増しの金額を現金書留で受け取るのとどちらがよいですか？

A: いますぐ B: あとで

2. 今すぐ謝金を現金で受け取るのと、1週間後に5パーセント増しの金額を現金書留で受け取るのとどちらがよいですか？

A: いますぐ B: あとで

3. 今すぐ謝金を現金で受け取るのと、2週間後に10パーセント増しの金額を現金書留で受け取るのとどちらがよいですか？

A: いますぐ B: あとで

4. 今すぐ謝金を現金で受け取るのと、3週間後に15パーセント増しの金額を現金書留で受け取るのとどちらがよいですか？

A: いますぐ B: あとで

5. 今すぐ謝金を現金で受け取るのと、4週間後に20パーセント増しの金額を現金書留で受け取るのとどちらがよいですか？

A: いますぐ B: あとで

図 3.19:

験的に経済学の基本理論から最新理論の論争点までを体験して確実に理解することができるであろう。じっさいこのような理解に基づいて、多くの教育用実験が教科書やインターネットで公開されている（Bergstro and Miller 2000, Charles Holt's Classroom Games Papers <<http://www.people.virginia.edu/%7Ecah2k/papers.html>>, Economic Science Lab <<http://www.econlab.arizona.edu/>>）。

ただし教育用実験は、研究用実験の簡略版ではない。両者の本質的相違は、実験が行われるのは実験室か教室かや実験参加者にゲームでの得点に応じて現金が支払われるか否かにではなく、実験から新たな知識を獲得するのは実験者か実験参加者かにある。たとえ実験者（教員）が満足する実験結果が得られても、参加者（学生）たちが何も学ばなければ、教育実験は失敗である。

上の見地からは教育実験を成功させることは難しい。一般に授業で実験をすると学生たちは講義や演習よりも熱心に参加し、実験後に感想を求めると「楽しく勉強になった」と感想を述べるが、学生たちが教員の期待することを学ぶとはかぎらない。じっさい実験後に丁寧に解説してからでも、感想が「取引ではハツリをきかせることが効果的だと思いました」など実験のなかでの個人的体験にとどまる学生は思いのほか多く、「各人がばらばらに取引をしても、取引価格が公開されていれば、価格は需要曲線と供給曲線の交点に近づくことが分かりました」など実験についての客観的理解を示す学生は教師が期待するほどは増えない。それでも簡単な実験のときには多くの学生たちは実験を理解するが、実験が複雑になるにつれ—実験での取引をいっそう楽しむようになるが—実験後の授業を理解するのが難しくなり実験を理解することに興味を失う（実験には参加しても、解説の講義には出席しなくなる）。

3.4.2 プロジェクトの教育：学生を被験者ではなく実験者に

学生に実験について考えさせる一つの方法は、学生自身に実験を設計・実施・分析させることである。ゲームをさせるだけでは、学生はゲームのなかでうまく儲けることに没頭してゲームについて考えない。実験動物がする学習ではなく実験をする科学者の思考を学生に経験させるためには、学生に参加者ではなく実験者をさせて、その実験が参加者に教えたいことを自覚させなければならない。

じっさい学生に実験結果を無批判に受け入れさせるのは、教育効果がないうえに危険である。ここで教育効果がなのは環境を制御して原因と結論を明確に結びつける実験の長所をいかせないからであり、危険なのは設定しだいでどのような結論でも実現させられる—たとえば市場がどんなに効率的かを納得させる実験もどんなに不公平かを実感させる実験もできる—からである。教員が誠実であろうとすれば、結果がなぜ得られたのか学生たちに実験の設定を批判的に検討させなければならない。このためにも学生たちに実験の内だけで考えさせるのではなく外から実験について考えさせることが必要で、そのためには学生に実験をさせるのが効果的である。

[21] 学生に手実験を作らせる

[D27]（[B7]はその概説）は、学生たちに実験を作らせる授業として以下を提案する。

1. 学期初めに担当グループと順番を決め、実験のための資料を指示する。
2. 実験の1週間前までに担当グループは教員に実験計画を報告し、助言をうけて実験の準備をする。
3. 実験当日、担当グループは他の演習参加者に対して実験をする。

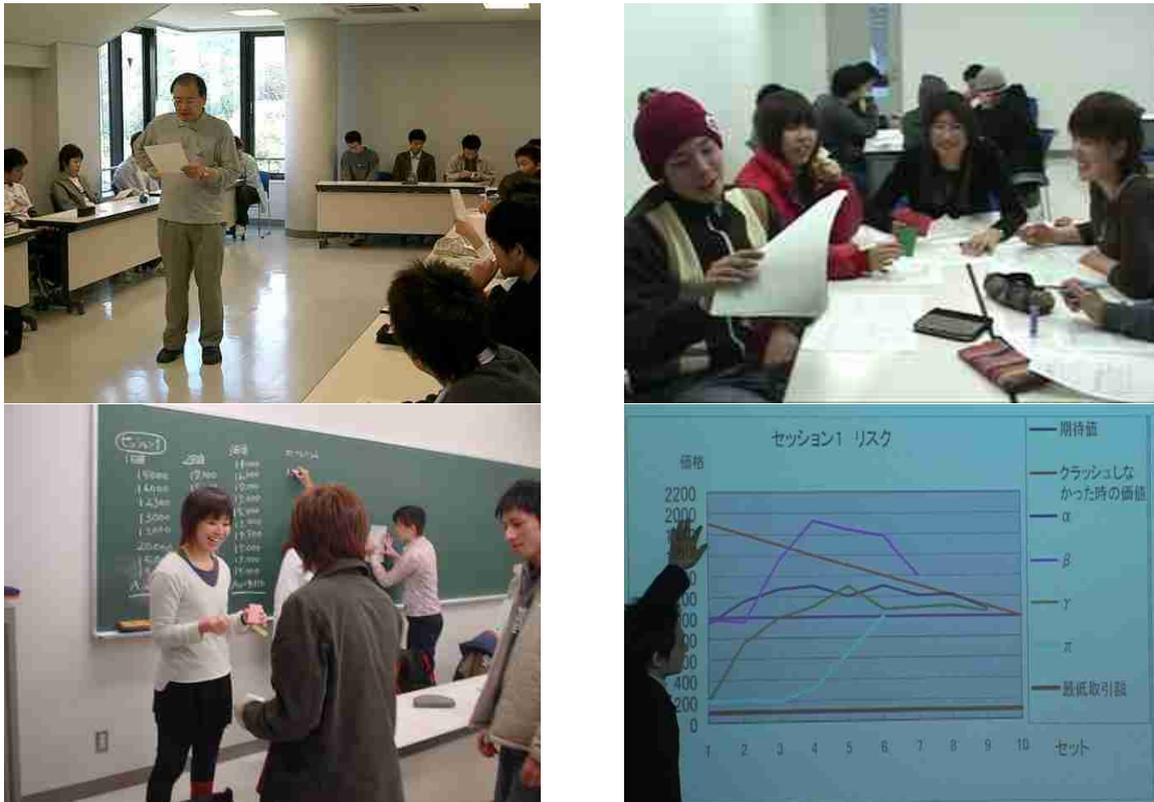


図 3.20: 学生による実験

左上 (参考): 教員による 1 年生のためのオール・ピット・マーケット

左下: 2 年生による麻薬取引に対する警察の取締の実験

右列: 3 年生によるパブルの発生と崩壊の実験 (上) と翌週の報告 (下)

4. 次週の授業で、担当グループは実験の目的と結果を演習参加者に説明する。

5. 学期末までに、担当グループは実験報告書を提出する。

プロジェクトは、以上の方法で 2-4 年生の演習を運営している (図 3.20) 学生たちは 1 学期に実験を 6 回 (各人は 2 回担当して 4 回参加) 程度の進度を望むが、京都産業大学では 1 つの演習が 1 学期に 4 実験 (各人は 1 回担当して 3 回参加) が教員 (演習 3 つで合計 12 実験) の負担の限界である。

実験を学生にさせるのは、学生の教室外での勉強時間を増やし、演習のなかでの勉強から演習のためへの勉強へと学生の勉強を変化させる。実験グループは、実験動物ではなく実験科学者の立場から実験を準備・実施・分析するように動機づけられ、自主的な勉強に導かれる。たとえば実験で予想通りの結果を得なければ、すぐに原因を考えて追加実験をしたり、報告までにその理由を考える。実験中に臨機応変の対応をしたり実験結果を適切に解釈できるのは、実験準備の過程で実験をきちんと理解していたためである。このような経済学への熱意と理解は、教員の一方的説明や教員の作ったゲームをさせるだけでは期待できないことであり、学生に実

験を作らせる教育法の効果が確認される。

さらに実験グループは、実験という一つのプロジェクトの企画・実行・分析・報告を一通り体験することで、経済学だけでなく色々なことを学ぶ。とりわけ口頭での説明と文書での発表に対する意識が向上する。現実経済や経済理論の話題は学部学生にとっては情報収集の対象になっても考察の素材としては難しすぎるが、経済実験は小さなものとはいえ自分たちの実験結果という1次情報を学生たちに与える。それをどのように得て、どのように分析して、どのような結論を得たかを手順に従って報告することは、学生たちにとって読書感想文とは異なる文章を書くよい練習になる。じっさい実験報告は、経済学部でもレポートの書き方(小田1994)を身につけさせるためのルーティンとなる。

経済学部は経済とそれを分析する経済学を教える教育機関であるが、経済は2つの意味をもっている：(1)人間の共同生活の基礎をなす財・サービスの生産・分配・消費の行為・過程、ならびにそれを通じて形成される人と人との社会関係の総体；(2)費用・手間のかからないこと。以上は「広辞苑」による経済の語義であるが、英語Economyが2つの意味を持つことは、この形容詞形が(1)の意味ではeconomic、(2)の意味ではeconomicalと使い分けられることで明らかである。

経済に2つの意味があるのに応じて、経済学を使う能力にも2種類が考えられる。じっさいAnthony(1965)は、上位では経済学の、中位では社会心理学の、下位では経済学の思考法が重要と主張しているが、上位と下位の経済学の意味は異なっている。すなわちアッパー・マネジメントの意思決定は社会のなかでの企業の責任や貢献を考えるeconomicな思考で、ロウアー・マネジメントの経済的意思決定は所与の目的をどうeconomicalに実現するかの技術に関わる。

経済学部卒業生はこれらの2つの能力をもつことが期待される。経済(2)のための方法を道具として実用に耐える水準で身につかせると同時に、経済(1)の洞察力の涵養も望まれる。実験をさせるだけではなく作らせることは、両方の能力を高めるために有効である。

[22] 学生に実験プログラムを作らせる

プロジェクトは、z-Treeの日本語化に並行して、日本語の説明書[F4]を作製した。そこで2005年度からは学生たちにz-Treeを使って実験を作らせる演習を始めた。

プロジェクトの経験では、ほぼ半学期(6-8回)の授業でz-Treeプログラミングの基礎を学生たちに教えられる。その後は、学生たちは配布されるCD-Romを用いて自宅でプログラムを作り、それぞれのプログラムを順番に実験室のネットワーク環境で実際に動かす授業ができる。

この授業は学生たちに好評であるが、問題点は学生たちのプログラミング能力の不足ではなく学生たちの経済学の知識が不十分なことである。第3.4節の手実験では90分かかる実験でも、情報環境を利用すれば15分で終わってしまう。しかも手実験では1学期に1回友人たちと実験を作るだけなのに、情報環境を利用する実験は各人が1人で毎週実験を作ることを要求される。もちろん以上は本来は望ましいことであるが、学生の負担が大きすぎるうえに学生の能力をこえている。じっさい情報環境を活用する実験は、経済学の知識とりわけゲーム理論とミクロ経済学の知識なしには(たとえプログラミングはできても)設計も分析もできない上に、手実験にくらべて実験で得られるデータが多くなるため統計学の知識も必要になる。そのため授業が進むにつれて必要な経済学や統計学の授業の時間がどんどん長くなり、実験間隔が手実験の演習以上に開いて実験を作る演習ではなくなってしまう。残念ながら京都産業大学経済学部の現状では情報環境での実験は教員が作って

経済理論を教えるために使うのが現実的であり、今後の経済学教育のカリキュラム全体の改革とあわせて導入されるべきものというのが 2005 年度の授業を終えての感想であった。

ただし意欲のある学生は実験プログラム作りを通じて経済学を独習できるかもしれない。この見込みに基づいてプロジェクトは z-Tree の日本語の入門書 [E1*] を作製した。完成が 2005 年度秋学期の終了後になったためまだ試用していないが、適切な演習科目で利用しながら新たな経済学教育法を開発したい。

3.5 経済学教育の効果の測定

3.5.1 経済学を学ぶと利己的になるか

経済学教育が学生にあたえる影響については、1990 年代から「各経済主体の利己的な行動を前提とする経済学を教えることが、個人の行動をいっそう利己的にするのではないか」という問題意識から、公共財供給ゲームや最後通牒ゲームなど個人の利己的意思決定がグループ全体の利益につながらなかつたり公平性に反するゲームで実験されている。これらの実験の結果は、研究ごとに異なり、経済学教育を受けると利己的になるともならないとも断言できないのが現状である。

3.5.2 プロジェクトの研究：学生は経済学をどう学ぶか

[23] 協力度を調べる実験

[E*3] は、プロジェクトによる経済学教育の効果の調査をまとめている：様々な学部・学年の学生に対し同一の囚人のジレンマ・ゲーム（匿名の相手と協力しあえば 2 人とも 300 円を、裏切りあえば 2 人とも 200 円を、それ以外のときは協力した方が 100 円で裏切った方が 400 円を得る）の実験を合計 399 名に対して行ったが、経済学部学生と他学部学生の間で協力を選ぶ割合に統計的に有意な差は見られなかった。さらにゲームの後で行っている他者への信頼や公平性についての質問に対する回答にも、学生の所属学部による差は見られない（図 3.21）、海外での先行研究で一般的に観察されている学生の年齢や性別による差も極めて小さい（図 3.22）。これが何を意味するか結論づけるのは早計であるが、調査を継続してデータを蓄積すれば、日本の大学生の意識についての基礎的な資料になるであろう。

[24] 実験に参加すると経済学について学ぶか

経済実験は、いまや経済研究の有力な方法の一つとして認められているが、経済学教育との関わりも深い。じっさい Smith (1962) の市場実験は、もともと学部教育のために開発されたものであった。しかし教育実験への参加は、学生たちの満足（面白かった）と主観的な習得感（勉強になった）を高めるが、経済学の客観的理解を必ずしも高めない。プロジェクトは、このことを経験的に学んでいたが、これを確実な知識とするために 2005 年度春学期の「ミクロ経済学 A」（経済学部 2 年生配当科目）で、組織的に実験による経済学教育を行うとともに、学生たちの意識と理解を確かめるための質問紙調査と試験を行った。

[E2*] は、この実験による経済学教育の効果の分析である。

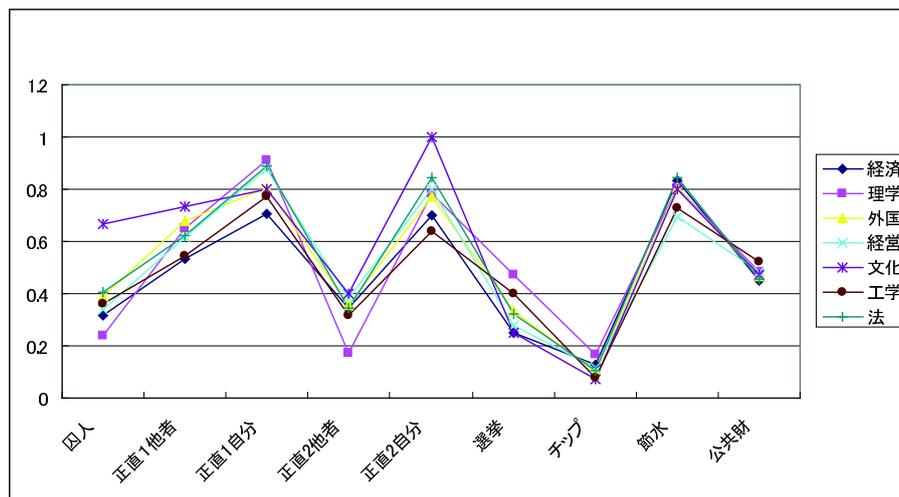


図 3.21: 協力度調査

学部ごとの比較 (上図): 1 番左の囚人は本文で述べられている囚人のジレンマの実験で協力を選んだ人の割合であり、他は質問紙調査の各 2 者択一問題に対して協力的あるいは正直な選択肢を選んだ被験者の割合である。ただし問題 1 他人と問題 2 他人は「他のひとたちは正直あるいは協力的に振るまうと思いますか」という質問で、他は「あなたは正直あるいは協力的に行動しますか」という質問である。たとえば正直 1 他人は「10 個配達されたのに請求書には 9 個分しか書かれていなかったら、他の人たちは正直に 1 個未請求ですよと請求者に伝えると思いますか?」、正直 1 自分は「10 個配達されたのに請求書には 9 個分しか書かれていなかったら、あなたは正直に 1 個未請求ですよと請求者に伝えますか?」、正直 2 他人は「誰かが封筒を拾いました。封筒の表にはあなたの名前と連絡先が書かれ、内には 1 万円が入っています。拾った人はあなたに封筒と 1 万円を返すと思いますか?」、正直 2 自分は「あなたは封筒を拾いました。封筒の表には誰かの名前と連絡先が書かれ、内には 1 万円が入っています。あなたはその人に封筒と 1 万円を返しますか?」である。学部ごとに顕著な差は認められない。

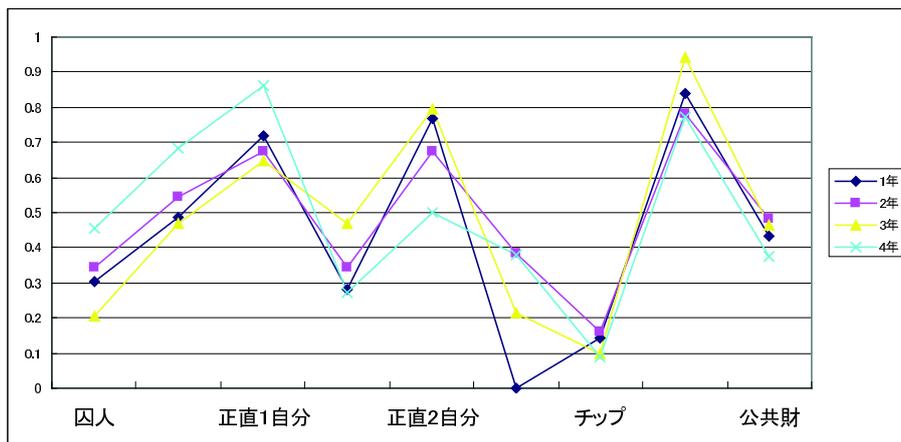


図 3.22: 経済学部学生の学年別回答 (下図): 選挙についての質問 (最近の選挙で投票しましたか) は低学年ほどまだ選挙権がなくて NO と答える人が多いのは当然であることを思えば、学年ごとの相違が目立つのは、(a) 囚人のジレンマの実験で協力度が学年があがるにつれ高まることと、(b) 正直 1 他人と正直 1 自分に対して協力的回答をした人の割合は 4 年生が最も高いが、正直 2 他人と正直 2 自分に対して協力的回答をした人の割合は 4 年生が最も低い。前者は一般に観察されること (学年があがるにつれ協力できるときにはしようとする) であるが、後者は就職活動を続けるうちに「当事者以外の人たちは互いに非協力的であり、自分も協力しない」という「常識」を身につけたのかもしれない。

実験はいずれも市場実験であり、経済学部 2 年生を主体とする 100 余名の学生たちに、屋外での多人数のオーラル・ピット・マーケット (図 3.23) と経済実験室の情報環境を利用するダブル・オークションを、設定を少しずつ複雑にしなが合計 3 回おこなった。実験結果は既存の市場実験の結果と一致し、学生たちが通常期待される程度に実験を理解して真面目に取りくんだことが確認された。

各実験の翌週の授業で、学生たちに学生たちが体験した実験の設定と結果を教え、実験における市場供給曲線と市場需要曲線を描かせる試験を行った。実験のなかで取引の仕方を学習することが自動的に実験についての考察を深めることにはならないため、学生たちの解答には様々な誤りが見られた。たとえば最初の実験の設定は表 3.4 で与えられ、実験結果は表 3.5 となった。このときの市場供給曲線と市場需要曲線は図 3.24 となるが、正答者は 118 名中 3 名にすぎず、図 3.25 に見るような様々な誤答が見られた。

実験直後または翌週に、学生たちが実験中に何を考えていたかを知るための質問紙調査を行った。毎回の調査と試験を総合すると、以下の 2 点が明らかになった。(a) 実験のなかで得点をあげようと努力することは、実験での高得点を導くが、実験についての理解にも試験での高得点には必ずしもつながらない、(b) 実験の体験から実験についての考察に思考を広げる学生たちもいるが、経済学の専門知識が不十分だとそれを正確に表現できず、試験での得点につながらない。¹⁰

¹⁰ 実験を経験するだけでは経済学の勉強にならないが、講義だけでも経済学の理解につながらない。じっさい「ミクロ経済学 A」の受講生の多くは 1 年生配当の「ミクロ経済学入門」の単位を取得しているにもかかわらず、市場供給曲線と市場需要曲線を数値例から描くことができない。「ミクロ経済学入門」の試験問題は両曲線についての理解を問うものがかなりあり正答率も高いにもかかわらず、たとえば市場需要曲線の定義を尋ねると「右下がりの曲線」以上のことを答えられない学生がかなりいる。経済学教育の効果が特に見られないことも、この現状を考えると「経済学部の学生は経済学を身につけていないから経済学教育によって影響されない」からなのかもしれない。



図 3.23: 「ミクロ経済学 A」の授業として神山コロシウム（京都産業大学の野外劇場）で実施した参加者 110 名のピット・マーケット実験

表 3.4: 第 1 回実験の費用と指定価格の分布

| 売手（費用） | | 買手（指定価格） | |
|--------|------|----------|------|
| 230 円 | 4 名 | 300 円 | 4 名 |
| 210 円 | 1 名 | 260 円 | 10 名 |
| 170 円 | 18 名 | 220 円 | 18 名 |
| 130 円 | 9 名 | 180 円 | 12 名 |
| 90 円 | 14 名 | 140 円 | 8 名 |
| 50 円 | 10 名 | 100 円 | 2 名 |

表 3.5: 第 1 回実験の結果

| 取引 | 1 回目 | 2 回目 | 3 回目 | 4 回目 |
|------|-------|-------|-------|------|
| 1 | 100 | 200 | 180 | 180 |
| 2 | 200 | 130 | 160 | 130 |
| 3 | 220 | 200 | 150 | 200 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 40 | 220 | 180 | 175 | 150 |
| 41 | 100 | 260 | 180 | 215 |
| 42 | 160 | 180 | 200 | 180 |
| 43 | 200 | 200 | 180 | 200 |
| 44 | 200 | 180 | 170 | |
| 45 | 200 | | | |
| 最大価格 | 250 | 260 | 260 | 215 |
| 平均価格 | 167.4 | 158.4 | 158.3 | 156. |
| 最小価格 | 90 | 90 | 80 | 90 |

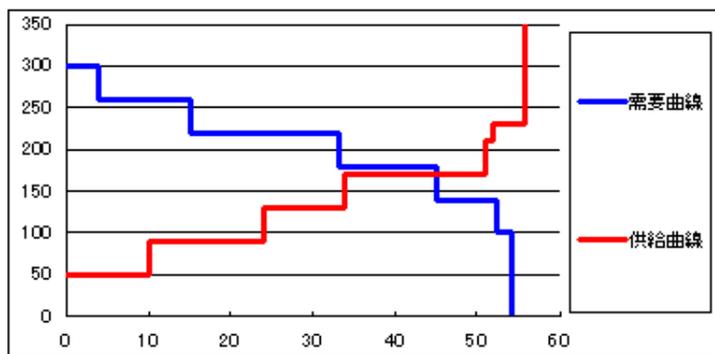


図 3.24: 第 1 回実験の市場供給曲線と市場需要曲線 (横軸: 個数、縦軸: 価格)。均衡: (44 個, 170 円)。

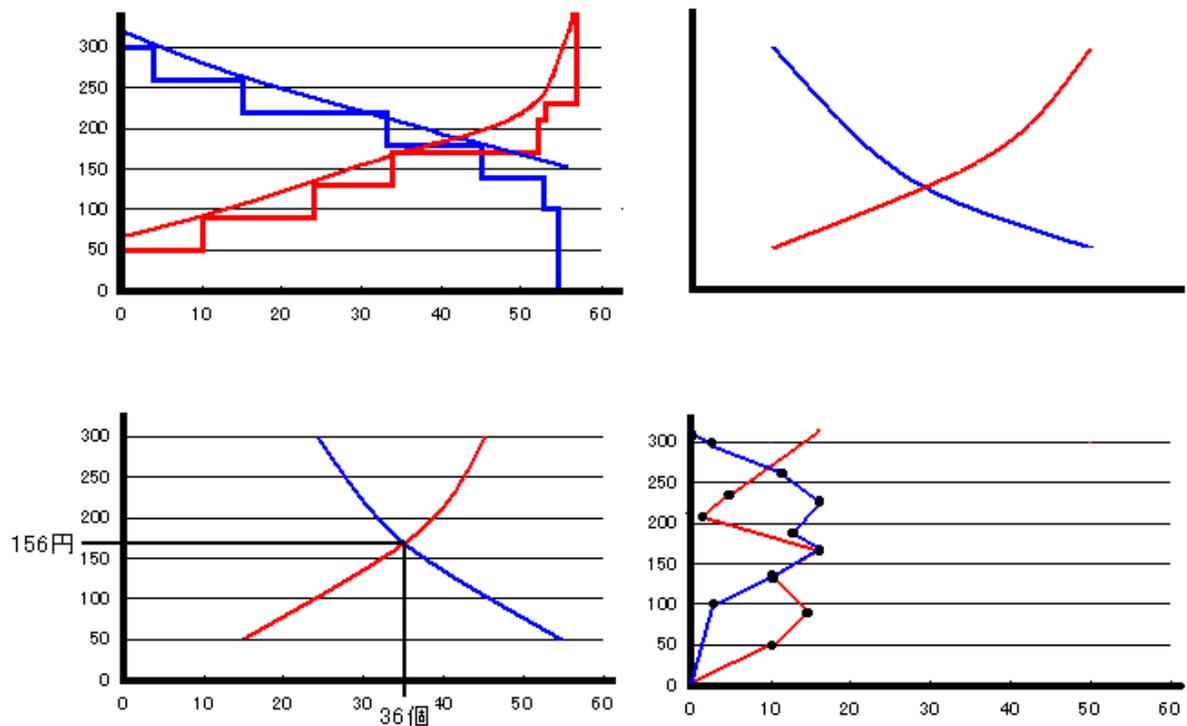


図 3.25: 第 1 回実験の誤答例。左上図では表 3.4 の数値から市場供給曲線と市場需要曲線が通るべき点が正しく求められているが、それらが正しく階段関数で結ばれずに滑らかな曲線で結ばれている。右下図では表 3.4 の値がそのまま図に写されている（たとえば市場需要曲線は (10, 50), (14, 90), (9, 130) を通るジグザグの曲線になる）。いっぽう左下図では、売手と買手の計画（表 3.4）からではなく行動の結果（表 3.5）から均衡点が求められ、それを交点として右上がりの市場供給曲線と右下がりの市場需要曲線が描かれている。右上図では横軸にも縦軸にも数値が記入されていない。

3.6 まとめ

経済実験と教育

プロジェクトの基本的接近法。プロジェクトは、市場実験では売手と買手だけではなく買手に市場を提供する仲介業者を含む実験を、非市場実験では集団内の協力だけでなく集団の作られ方や他集団との関係を含む実験を、教育実験では実験の内での学習ではなく実験について理解させる方法を主に考察してきた。既存の理論あるいは実験の内側での思考を十分にしないで外側をとりこむことばかりに目を向けることは避けるべきであるが、既存の体系の内での思考を体系についての考察に深めるためという意識をもって慎重に行うのは可能で望ましい方法だと信じる。

プロジェクトの方法的特徴。経済実験の目的は実験と実験者しだいであろうが、プロジェクトは、(a) 被験者の行動、(b) 実験の表す経済体系の挙動、および (c) 両者の関係の 3 つがあると考え。たとえば非戦略的意思

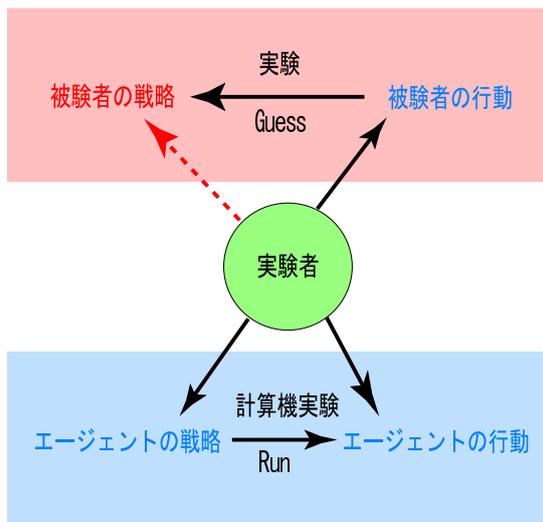


図 3.26: 計算機実験による人間の行動の再現と戦略の推定

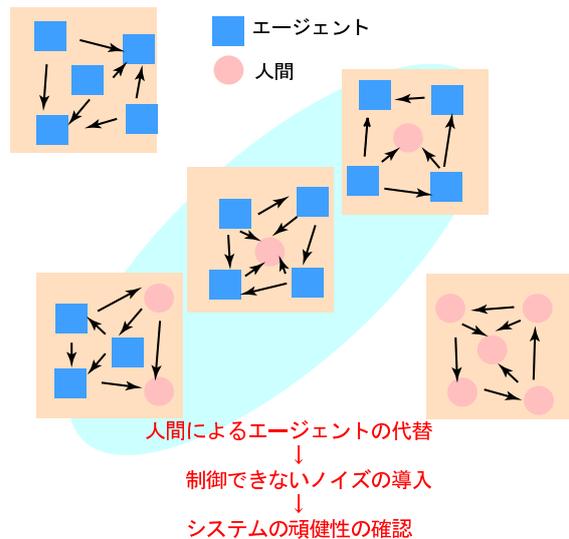


図 3.27: 人間とエージェントの複合体系

決定の実験はもっぱら (a) を目的とするのに対し、市場実験は (b) がまず重要（たとえばダブル・オークションは、取引参加者の戦略がどのようなものであれ良い性能を示すことが大切）であり、戦略的意思決定の実験では (c) が注目される（どのような戦略なら協力を維持できるかなど）。プロジェクトは、以上の 3 つの目的のために計算機実験を活用している。

まず (a) のためには被験者の行動を再現する計算機実験を開発している。実験で知りたいのは被験者の戦略（行動を決める規則）であるが、実験ではときどきの状況下での行動しか観察できない。いっぽう計算機エージェントは実験者の作るプログラムだから、その戦略は透明である。したがって計算機実験と被験者実験をうまく組みあわせることで、被験者の戦略を推定できるときがある（図 3.26）。

次に (c) のために、少数の人間と多数のエージェントの複合体系の実験を実施している。全ての意思決定者を被験者とししないのは、多人数ゲームをすべて人間にプレイさせると、体系全体の挙動のが誰のどのような戦略によってもたらされたのか分からない恐れがあるからである。しかし、実験者はエージェントを実験者の望む戦略に従って行動させることができる。中心的役割を果たす主体以外の意思決定主体をエージェントで順番に代替すれば、問題の主体を演じる個々の被験者の行動とその全体への影響を同じ条件で比較できる（図 3.27）。

人間と計算機の複合体系の実験は (b) のためにも行われる。エージェント・ベースの経済学の視点から眺めれば、エージェントを人間に置きかえることは実験者の制御できない不確実性をモデルに入れて、モデルの頑健性を調べるためにも理解されよう。実験室での実験は、(a) の観点からは実験室での実験の利点は被験者の環境を実験室の外におけるよりも統制できることが利点であるが、(b) の立場からは逆にエージェントだけの実験よりも制御できないことが意味をもつ。エージェントだけの計算機実験では実験者が意図した不確実性や限定合理性しかモデルに入れられないが、被験者をエージェントに代替することで実験者が制御できない要因を導入できる。じっさいプロジェクトの市場実験は、ほとんどがこの目的で行われている。¹¹

¹¹ただし、大きな対象を実験するときには被験者は個人ではなく企業や政府の役割を演じざるをえないが、被験者がもちこむ認知や行動の揺れがこれらの組織の意思決定の揺らぎと同じかには疑問が残る。これは経済実験に共通する問題であり（じつは企業の意思決定を簡単な数式で表す理論も免れない難点でもあるが）、組織の意思決定についてのいっそうの研究が必要である。

さらに複合体系の実験は、(a)の観点からはエージェントの相互作用が生み出す複雑な環境における人間の行動を調べることでもある。じっさいリサイクル・モデルを使っての消費者行動の実験がこのことを意識して行われたのに加え、仲介業者の実験は一面でこの性格をもっている。

体系内での思考と体系についての考察という観点から経済を分析できたのは数学・論理学の研究者との共同研究の成果であり、情報環境での実験と多様な計算機実験という方法をとれたのは理工系の若者たちのおかげである。もちろん実験経済学プロジェクトとして成果を上げるうえで、経済理論や経済実験の才能のある若手研究者の参加が本質的だったのは言うまでもない。この環境で実験経済学の研究と教育のために5年間をすごせたことを幸せに思う。

第4章 まとめと今後の展望

4.1 プロジェクトとして成果をあげたこと

プロジェクトの研究と意義については第3章で述べたので、以下では個々の研究を離れてプロジェクト全体の特色についてだけ述べる。

4.1.1 実験経済学のプロジェクトとして

経済実験プロジェクトの方法論の確立。プロジェクトは、経済実験を継続的に行うためのソフトウェアとハードウェアの知識と経験を蓄積し、わが国における実験経済学研究の水準を確立した。特にプロジェクトの実験室の設計・運用と実験実施のための手順と組織は満足のいくものであり、研究者が実験に集中できる環境を効率的に実現している。

さらにプロジェクトはプロジェクトの経験を他の実験経済学プロジェクトの規範となるように一般化する努力をしている。実験室の設計と運営を具体的に述べる [C35*]、被験者募集の実際を説明する [C38*]、実験経済学アプリケーション *z-Tree* の日本語化とその説明書 [F4] と入門書 [E1*] は、これから実験室の建設や経済実験を組織的に行おうとする研究グループに有益であろう。実際にプロジェクトは東京大学や早稲田大学の実験室建設や実験経済学プロジェクトの協力しているほか、*z-Tree* の日本語版は上記大学や慶応大学や敬愛大学などで利用されている。日本における最初の大規模な実験経済学プロジェクトとして実験経済学研究の方法論を確立し公開していることは、プロジェクトの誇りとするところである。

4.1.2 経済学教育のプロジェクトとして

学生に実験で何を学ばせたいか明確に意識して教育を工夫すること。プロジェクトは、プロジェクトの研究活動と教育実践に基づいて教材と教育法を開発している。経済学は抽象的なので学生たちにいかに実感をもって教えるかが経済学教育の課題と言われるが、どう実感させるかよりも何を実感させるかが重要である。学生に実験を作らせる教育は、取引ではなく取引を支えるもの、あるいは経済学が何をどのように想定して取引を描写しているかを実感させることを目指している。実際に実験を作ろうとすれば、市場や需要などの抽象的な概念を具体化しなければならず、この過程で学生たちは多くを学ぶ。既存の経済学をただゲームや e-learning にするのではなく、何を学生に理解させたいことを明確に意識して教育内容を向上させる点に教育プロジェクトとしての特色がある。

4.1.3 研究者養成のプロジェクトとして

所属と専門をこえる共同研究による研究者養成。プロジェクトは、専門と所属を超えて研究者を育成している。

研究組織をこえて様々な専門と所属の研究者が共同で研究を進めるのはオープン・リサーチ・センターの趣旨に沿うものであり、研究者の養成は本プロジェクトの目的のひとつである。優秀な若者たちが所属と専門の垣根を越えて協力して新しい科学に取りくんで実力をつけていっているのは、本プロジェクトの最大の特徴であり最も誇りとするところである。

これを具体的に示せば、まず京都産業大学大学院経済学研究科への直接の効果は、実験研究で修士論文3編が生産されたことである。

- 藤川武海 (2003): 『Search and Choice under Uncertainty』
- 米田紘康 (2005): 『ゼロサムゲームにおける情報の限界的寄与』
- 灰谷綾平 (2006): 『実験経済学による教育効果の検証』

京都産業大学の大学院生たちは、プロジェクトによって実験経済学という新しい分野を勉強する機会を与えられたことに加え、(在籍者の少ない京都産業大学の大学院では不足しがちな)意見と情報の交換の機会をプロジェクトに参加する他大学の若手研究者や大学院生によって日常的に与えられた。

プロジェクトは京都産業大学以外の大学院の教育にも貢献している。プロジェクトの研究として単独あるいは共同で行われた実験を学位論文の主要な一部として、以下の5名が他大学大学院から博士号を授与された。

- 岩崎敦 (2002): 『人工物消費体系における行動主体の意思決定に関する研究』(神戸大学自然科学研究科機械工学専攻)博士(学術)
- 井寄幸平 (2003): 『意思決定主体間の協力的行動創発に関する研究』(神戸大学大学院自然科学研究科機械工学専攻)博士(学術)
- 西野成昭 (2004): 『リサイクル体系における行動主体の意思決定における研究』(東京大学大学院工学系研究科)博士(工学)
- 濱口泰代 (2005): 『Experimental Studies on Economies with Externality』(大阪大学大学院経済学研究科)博士(経済学)
- 小川一仁 (2005): 『実物市場における仲介業者の価格形成過程に関する実験経済学的考察』(京都大学大学院経済学研究科)博士(経済学)

以上の諸君は、いまは大学の常勤職あるいはPDとして実験経済学の研究と教育にあたっている。以上の修士論文と博士論文のための貢献に加え、プロジェクトは実験経済学に関心をもつ若手研究者と大学院生に実験の機会を与えるなど、実験経済学研究の発展に貢献した(第2.2節)。新しい分野の研究者の養成というプロジェクトの目的は高い水準で達成されたと信じる。

4.2 今後の展望

4.2.1 研究成果のいっそうの公開

本プロジェクトは文科系(経済学)プロジェクトとしては大規模なものであるが、プロジェクトに属する京都産業大学の専任教員は3名にすぎず、研究者養成型プロジェクトとして学外の様々な分野の若者たちをPDあ

るいは共同研究者として受け入れることによって実験経済学研究を推進をはかるものである。この目的は上述のように高い水準で達成されたが、若者たちの業績をまず学位論文としてまとめることを優先したため、研究を査読論文として確定させるのがやや遅れている。これを具体的に述べれば、学内研究者による数学的理論研究（第 3.3.2 節）のほとんどは既に査読論文として確定しているが、若者たちとの共同研究が主体の実験研究については初期の研究の一部が査読論文になっているだけで、まだ国内学会や国際会議での報告を重ねながら追加実験や分析の深化のための努力を続けている段階である。内外の学術誌に投稿中あるいは投稿準備中の論文もいくつかあるので、できるだけ早くプロジェクトで実施した研究の完成と成果の確定をさせたい。

4.2.2 新しい研究方法の導入

本プロジェクトの開始時点（2001 年）から現在（2005 年）までに生じた経済学研究における最も大きな変化は、ニューロエコノミクスの導入である（Camerer, Loewenstein and Prelec 2005）。これは経済的意思決定をする人間の脳内活動を研究する方法であり、脳科学と fMRI などの機器の進歩によって 21 世紀に入って急速に発展しはじめた。我々も人間の意思決定の結果だけではなく過程も知りたいという思いを実験を重ねるにつれ深くしている。この秋からは島津製作所の協力を受けて fNIRS による経済実験研究のための基礎研究を開始する予定である。京都産業大学には脳科学の優秀な研究者がいるので、この基礎研究で見通しをたてて、彼らと協力しつつ研究環境を整備して研究をいっそう発展させたい。

関連図書

- [1] G. Ainslie (1975): “Specious reward: A behavioral theory of impulsiveness and impulse control. *Psychological Bulletin*”, 82 (4), pp.463-496.
- [2] Robert Axelrod (1985): “The Evolution of Cooperation”, *Basic Books*; 松田裕之 (訳) 『つきあい方の科学』 (1998)、ミネルヴァ書房.
- [3] Uri Benzion, Amnon Rapoport, and Joseph Yagil (1989). “Discount Rates Inferred from Decisions: An Experimental Study”, *Management Science*, 35, March. 270-284
- [4] G. Bornstein, and M. Ben-Yossef (1994): “Cooperation in intergroup and single-group social dilemmas”, in *Journal of Experimental Social Psychology*, 30, 52-67.
- [5] Robert N. Anthony (1965): *Planning and Control Systems: A Framework for Analysis*, Harvard University, Division of Research ; 高橋吉之助 (訳)、『経営 管理システムの基礎』 (1968)、ダイヤモンド社 .
- [6] Theodore C. Bergstrom and John H. Miller (2000): *Experiments with Economic Principles Microeconomics*, MacGraw-Hill.
- [7] Douglas B. Bernheim and Michael D. Whinston (1990): “Multi Market Contact and Collusive Behavior”, *Rand Journal of Economics*, vol. 21.
- [8] Gary Biglaiser and Jame W. Freidman (1994): “Middlemen as Guarantors of Quality”, *International Journal of Industrial Organization*, vol.12, pp. 509-531.
- [9] Gary Bornstein and Mayrav Ben-Yossef (1994): “Cooperation in intergroup and single-group social dilemmas”, *Journal of Experimental Social Psychology*, 30, pp. 52-67.
- [10] Colin Camerer, George Loewenstein and Drazen Prelec (2005): “Neuroeconomics: How Neuroscience Can Inform Economics”, in *Journal of Economic Literature*, vol. 43, pp.9-64.
- [11] Edward H. Chamberlin (1948): “An Experimental Imperfect Market” *Journal of Political Economy*, vol. 56, no. 2, pp. 95-108.
- [12] Douglas Davis and Charles A. Holt (1993): *Experimental Economics*, Princeton University Press, Princeton, USA..
- [13] R. Dawes, J. McTavish and H. Shaklee (1977): “Behavior, Communication, and Assumptions about Other People ’s Behavior in a Commons Dilemma Situation. ” *Journal of Personality and Social Psychology*, 35(1), pp.1-11.

- [14] Ido Erev and Albin E. Roth (1998): “Predicting How People Play Games: Reinforcement Learning in Experimental Games with Unique, Mixed Strategy Equilibria”, *American Economic Review*, vol.88, no. 4, pp. 848-881.
- [15] Daniel Friedman and Shyam Sunder (1994): *Experimental Methods A Primer for Economists*, Cambridge University Press; 川越敏司・内木哲也・森徹・秋永利明 (訳) 『実験経済学の原理と方法』 (1999), 同文館.
- [16] Robert Frank, Thomas Gilovich and Dennis Regan (1993) “Does Studying Economics Inhibit Cooperation?”, *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 10, No.1, pp.187-192.
- [17] Dhananjay K. Gode and Shyam Sunder (1993): “Allocative Efficiency of Markets with Zero-Intelligence Traders: Markets as a Partial Substitute for Individual Rationality”, *Journal of Political Economy*, vol. 101, pp. 119-137.
- [18] Barron Greg and Ido Erev (2003). “Small Feedback-Based Decisions and Their Limited Correspondence to Description-Based Decisions.” *Journal of Behavioral Decision Making*, 16(3), pp. 215-33.
- [19] Douglas R. Hofstadter (1979): *Gödel, Escher, Bach: A Eternal Golden Braid*, Basic Books, New York; 野崎昭弘・はやしはじめ・柳瀬尚紀 (訳) 『ゲーデル・エッシャー・バッハ』 (1985), 白揚社.
- [20] Jüergen Huber and Michael Kirchler (2004): “The Value of Information in Markets with Heterogeneously Informed Traders - and Experimental and a Simulation Approach”, presented at the 9th Workshop on Economics and Heterogeneous Interacting Agents, Kyoto University, Kyoto, Japan, 27-29 May 2004.
- [21] R. Mark Issac, Kenneth F. McCue and Charles R. Plott (1985): “ Public Goods Provision in and Experimental Environment. ” *Journal of Public Economics* 26, pp. 51-74.
- [22] R. Mark Isaac and James M. Walker (1991): “On the suboptimality of voluntary public goods provision: Further experimental evidence ” Isaac R. M. and Greenwich C.T. ed. *Resrch in experimental economics Volume 4*, JAI Press Inc.
- [23] John H. Kagel and Albin E. Roth . ed. (1995): *the Handbook of Experimental Economics*, Princeton University Press, Princeton, U.S.A.
- [24] Albert S. Kyle (1985): “Continuous Auctions and Insider Trading”, *Econometrica*, vol. 53, pp. 1315-1336.
- [25] 経済企画協会 (2003): 『—実験経済学リファレンス—実験経済学手法の革新とその成果』, 経済企画協会.
- [26] Melanie B. Marks and Rachel T. A. Croson (1999): “The Effect of Incomplete Information in a Threshold Public Goods Experiment,” *Public Choice*, Springer, vol. 99(1-2), pp. 103-118.
- [27] Gerald Marwell and Ames E. Ruth (1979): “Experiments on the Provision of Public Goods I: Resources, Interest, Group Size, And the Free-rider Problem. ” *American Journal of Sociology* 84(6), pp. 1335-60.

- [28] Gerald Marwell and Ames E. Ruth (1980): "Experiments on the provision of public goods II: Provision points, stakes, experience, and the free-rider problem," *American Journal of Psychology* 85(4), pp. 926-37.
- [29] Gerald Marwell and Ames E. Ruth (1981): "Economists Free Ride, Does Anyone Else?", *Journal of Public Economics*, Vol. 15, pp. 295-310.
- [30] Ross M. Miller (2002): *Paving Wall Street: Experimental Economics and the Quest for the Perfect Market*, John Wiley and Sons, New York, U.S.A. 川越敏司 (監訳) 望月衛 (訳) 『実験経済学入門』 (2006), 日経 BP 社.
- [31] Haig R. Nalbantian and Andrew Schotter (1997): "Productivity Under Group Incentives: An Experimental Study", *American Economic Review* Vol. 87, No. 3, pp. 314-341.
- [32] Martin A. Nowak and Karl Sigmund (1998): "Evolution of indirect reciprocity by image scoring", *Nature*, 393, pp. 573-577.
- [33] 小田宗兵衛 (1994): 「レポートの書き方」, <http://www.kyoto-su.ac.jp/oda/essay1.frame.html>.
- [34] Maureen O'Hara (1995): *Market Microstructure Theory*, Blackwell, Oxford, U.K.; 大村敬一, 宇野淳, 宗近肇 (訳) 『マーケット・マイクロストラクチャー』 (1996), 金融財政事情研究会.
- [35] Dean G. Pruitt and Melvin J. Kimmel (1977): "Twenty years of experimental gaming: Critique, synthesis, and suggestions for the future", *Annual Review of Psychology*, vol. 28, pp. 363-392
- [36] Sanford Jay Grossman and Joseph E. Stiglitz (1980): "On the Impossibility of Informationally Efficient Markets", *American Economic Review*, vol. 70, pp. 393-408.
- [37] Stephanie Seguino, Stevens Thomas and Mark Lutz (1996): "Gender and Cooperative Behavior: Economic Man Rides Alone" *Feminist Economics*, 2(1), pp. 1-21.
- [38] Vernon L. Smith (1962): "An Experimental Study of Competitive Market Behavior" in *Journal of Political Economy*, vol. 70, no. 3, pp. 111-137.
- [39] Daniel F. Spulber (1999): *Market Microstructure: Intermediaries and the Theory of the Firm*, Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

付録A プロジェクトの活動記録

A.1 実験

実験内容の欄の最初の数字は、表1(9頁)の表の研究番号(1から24)である。ただし、6は、教育公開活動を通じても実施されている(付録A.2)。

7は、Max-Plank-institute for Research into Economic Systemsで同研究所の資金で行われている。18は理論研究であり、関連する実験は行われなかった。21と22の教育方法を開発と24の経済実験の効果についての実験は、授業中に研究費の支出なしに行われた。

2001年度

| 実験日 | 実験場所 | 被験者 | 実験内容 | 参加人数 |
|-------------|------------|-------|----------------|------|
| 2001年11月28日 | 10号館情報処理教室 | 本学学生 | 13. チープ・トーク | 48人 |
| 2001年12月19日 | 旧5号館教室 | 本学学生 | 6. 公共財供給 | 89人 |
| 2002年1月31日 | 旧5号館教室 | 本学学生 | 1. マッチング・マーケット | 72人 |
| 2002年1月31日 | 旧5号館教室 | 本学学生 | 6. 公共財供給 | 10人 |
| 2002年1月31日 | 旧5号館情報処理教室 | 本学学生 | 1. 仲介業者 株式市場 | 5人 |
| 2002年1月31日 | 旧5号館情報処理教室 | 本学学生 | 1. 仲介業者 魚市場 | 6人 |
| 2002年2月6日 | 旧5号館情報処理教室 | 本学学生 | 6. 公共財供給 | 20人 |
| 2002年2月6日 | 旧5号館情報処理教室 | 本学学生 | 1. 仲介業者 株式市場 | 7人 |
| 2002年2月6日 | 旧5号館情報処理教室 | 本学学生 | 1. 仲介業者 魚市場 | 7人 |
| 2002年2月13日 | 旧5号館情報処理教室 | 本学学生 | 1. 仲介業者 株式市場 | 5人 |
| 2002年2月19日 | 旧5号館情報処理教室 | 本学学生 | 1. 仲介業者 株式市場 | 7人 |
| 2002年2月25日 | 旧5号館情報処理教室 | 本学学生 | 1. 仲介業者 魚市場 | 2人 |
| 2002年3月15日 | UWS | UWS学生 | 6. 公共財供給 | 20人 |

公共財供給とマッチング・マーケットは手実験、その他は計算機を利用する実験。

UWS: University of Western Sydney, Campbelltown, New South Wales, Australia.

2002 年度

| 実験日 | 実験場所 | 被験者 | 実験内容 | 参加人数 |
|------------------|--------------|------|--------------------|------|
| 2002 年 5 月 22 日 | KEEL | 本学学生 | 1. 仲介業者 株式市場 | 25 人 |
| 2002 年 6 月 5 日 | KEEL | 本学学生 | 1. 仲介業者 魚市場 | 26 人 |
| 2002 年 6 月 8 日 | KEEL | 本学学生 | 13. チープ・トーク | 24 人 |
| 2002 年 6 月 13 日 | KEEL | 本学学生 | 13. チープ・トーク | 24 人 |
| 2002 年 6 月 14 日 | KEEL | 本学学生 | 13. チープ・トーク | 23 人 |
| 2002 年 6 月 15 日 | KEEL | 本学学生 | 13. チープ・トーク | 24 人 |
| 2002 年 7 月 24 日 | KEEL | 本学学生 | 11. ネットワーク型囚人のジレンマ | 24 人 |
| 2002 年 7 月 27 日 | KEEL | 本学学生 | 11. ネットワーク型囚人のジレンマ | 26 人 |
| 2002 年 9 月 26 日 | KEEL | 本学学生 | 19. スモール・デシジョン | 15 人 |
| 2002 年 10 月 25 日 | KEEL | 本学学生 | 2. 仲介業者 ベルトラン競争 | 22 人 |
| 2002 年 10 月 29 日 | KEEL | 本学学生 | 2. 仲介業者 ベルトラン競争 | 26 人 |
| 2002 年 11 月 28 日 | KEEL | 本学学生 | 6. 公共財供給 | 20 人 |
| 2002 年 11 月 28 日 | KEEL | 本学学生 | 19. スモール・デシジョン | 5 人 |
| 2002 年 11 月 30 日 | KEEL | 本学学生 | 6. 公共財供給 | 20 人 |
| 2002 年 11 月 30 日 | KEEL | 本学学生 | 19. スモール・デシジョン | 7 人 |
| 2002 年 12 月 14 日 | KEEL | 本学学生 | 2. 仲介業者 Gehrig モデル | 26 人 |
| 2002 年 12 月 14 日 | 旧 5 号館情報処理教室 | 本学学生 | 2. 仲介業者 Gehrig モデル | 7 人 |
| 2002 年 12 月 17 日 | KEEL | 本学学生 | 2. 仲介業者 Gehrig モデル | 21 人 |
| 2003 年 1 月 16 日 | KEEL | 本学学生 | 23. 教育効果評価 | 16 人 |
| 2003 年 1 月 17 日 | KEEL | 本学学生 | 23. 教育効果評価 | 16 人 |
| 2003 年 1 月 18 日 | KEEL | 本学学生 | 2. 仲介業者 Gehrig モデル | 12 人 |
| 2003 年 1 月 22 日 | KEEL | 本学学生 | 2. 仲介業者 ベルトラン競争 | 15 人 |
| 2003 年 1 月 22 日 | KEEL | 本学学生 | 23. 教育効果評価 | 6 人 |
| 2003 年 1 月 31 日 | KEEL | 本学学生 | 2. 仲介業者 ベルトラン競争 | 26 人 |

2003 年度

| 実験日 | 実験場所 | 被験者 | 実験内容 | 参加人数 |
|-----------------|------|------|--------------------|------|
| 2003 年 4 月 7 日 | KEEL | 本学学生 | 23. 教育効果評価 | 10 人 |
| 2003 年 4 月 10 日 | KEEL | 本学学生 | 23. 教育効果評価 | 59 人 |
| 2003 年 4 月 11 日 | KEEL | 本学学生 | 23. 教育効果評価 | 22 人 |
| 2003 年 4 月 12 日 | KEEL | 本学学生 | 11. ネットワーク型囚人のジレンマ | 17 人 |
| 2003 年 4 月 23 日 | KEEL | 本学学生 | 11. ネットワーク型囚人のジレンマ | 28 人 |
| 2003 年 4 月 23 日 | KEEL | 本学学生 | 23. 教育効果評価 | 10 人 |
| 2003 年 4 月 28 日 | KEEL | 本学学生 | 23. 教育効果評価 | 8 人 |

| | | | | |
|-------------|------|--------------|------------------|-----|
| 2003年5月26日 | KEEL | 本学学生 | 19. スモール・デジジョン | 13人 |
| 2003年5月28日 | KEEL | 本学学生 | 19. スモール・デジジョン | 22人 |
| 2003年6月28日 | KEEL | 本学学生 | 4. リサイクルマーケット | 21人 |
| 2003年6月28日 | KEEL | 本学学生 | 23. 教育効果評価 | 21人 |
| 2003年6月30日 | KEEL | 本学学生 | 4. リサイクルマーケット | 8人 |
| 2003年6月30日 | KEEL | 本学学生 | 23. 教育効果評価 | 8人 |
| 2003年7月2日 | KEEL | 本学学生 | 2. 仲介業者 ベルトラン競争 | 21人 |
| 2003年7月2日 | KEEL | 本学学生 | 23. 教育効果評価 | 21人 |
| 2003年7月19日 | KEEL | 本学学生 | 8. チームゲーム 特殊利益理論 | 28人 |
| 2003年7月19日 | KEEL | 本学学生 | 23. 教育効果評価 | 28人 |
| 2003年7月23日 | KEEL | 本学学生 | 8. チームゲーム 特殊利益理論 | 23人 |
| 2003年7月23日 | KEEL | 本学学生 | 23. 教育効果評価 | 23人 |
| 2003年7月25日 | KEEL | 本学ヨット部学生 | 6. 公共財供給 | 20人 |
| 2003年7月25日 | KEEL | 本学ヨット部学生 | 8. チームゲーム 特殊利益理論 | 15人 |
| 2003年7月30日 | KEEL | 本学学生 | 4. リサイクルマーケット | 25人 |
| 2003年8月2日 | KEEL | 本学馬術部学生 | 6. 公共財供給 | 20人 |
| 2003年9月9日 | KEEL | 本学ラクロス部学生 | 6. 公共財供給 | 25人 |
| 2003年9月22日 | KEEL | 本学神山祭実行委員会学生 | 6. 公共財供給 | 20人 |
| 2003年9月24日 | KEEL | 本学企業会計&健保部学生 | 6. 公共財供給 | 8人 |
| 2003年9月24日 | KEEL | 本学健保部学生 | 6. 公共財供給 | 20人 |
| 2003年9月30日 | KEEL | 本学映画研究部学生 | 6. 公共財供給 | 20人 |
| 2003年10月8日 | KEEL | 本学ギター部学生 | 6. 公共財供給 | 20人 |
| 2003年10月18日 | KEEL | 本学学生 | 4. リサイクルマーケット | 23人 |
| 2003年10月22日 | KEEL | 本学学生 | 4. リサイクルマーケット | 22人 |
| 2003年10月25日 | KEEL | 本学合唱部学生 | 6. 公共財供給 | 15人 |
| 2003年11月12日 | KEEL | 本学学生 | 6. 公共財供給 | 25人 |
| 2003年11月26日 | KEEL | 本学学生 | 6. 公共財供給 | 25人 |
| 2003年11月29日 | KEEL | 本学学生 | 6. 公共財供給 | 25人 |
| 2003年12月10日 | KEEL | 本学学生 | 2. 仲介業者ベルトラン競争 | 26人 |
| 2003年12月13日 | KEEL | 本学学生 | 6. 公共財供給 | 26人 |
| 2003年12月18日 | KEEL | 本学小田ゼミ学生 | 5. 耐久消費財実験 | 20人 |
| 2003年12月20日 | KEEL | 本学学生 | 5. 耐久消費財実験 | 7人 |
| 2003年12月25日 | KEEL | 本学学生 | 5. 耐久消費財実験 | 25人 |
| 2004年1月29日 | KEEL | 本学学生 | 2. 仲介業者ベルトラン競争 | 19人 |
| 2004年1月30日 | KEEL | 本学学生 | 2. 仲介業者ベルトラン競争 | 21人 |
| 2004年2月17日 | KEEL | 本学学生 | 2. 仲介業者ベルトラン競争 | 20人 |

| | | | | |
|------------|------|------|----------------|-----|
| 2004年2月18日 | KEEL | 本学学生 | 2. 仲介業者ベルトラン競争 | 27人 |
|------------|------|------|----------------|-----|

2004年度

| 実験日 | 実験場所 | 被験者 | 実験内容 | 参加人数 |
|-------------|------|----------|-----------------------------|------|
| 2004年4月21日 | KEEL | 本学学生 | 2. 仲介業者ベルトラン競争 | 25人 |
| 2004年4月24日 | KEEL | 本学学生 | 2. 仲介業者ベルトラン競争 | 25人 |
| 2004年5月19日 | KEEL | 本学学生 | 10. リニエンシー制度 | 28人 |
| 2004年5月19日 | KEEL | 本学学生 | 23. 教育効果評価 | 27人 |
| 2004年5月22日 | KEEL | 本学学生 | 10. リニエンシー制度 | 28人 |
| 2004年5月22日 | KEEL | 本学学生 | 23. 教育効果評価 | 27人 |
| 2004年5月28日 | KEEL | 本学小田ゼミ学生 | 12. スタッグハント | 17人 |
| 2004年6月4日 | KEEL | 本学学生 | 8. チームゲーム 特殊利益理論 | 24人 |
| 2004年6月5日 | KEEL | 本学学生 | 8. チームゲーム 特殊利益理論 | 27人 |
| 2004年6月23日 | KEEL | 本学学生 | 8. チームゲーム 特殊利益理論 | 29人 |
| 2004年6月26日 | KEEL | 本学学生 | 12. スタッグハント | 27人 |
| 2004年7月9日 | KEEL | 本学学生 | 12. スタッグハント | 28人 |
| 2004年7月10日 | KEEL | 本学学生 | 12. スタッグハント | 20人 |
| 2004年7月17日 | KEEL | 本学学生 | 6. 公共財供給 | 25人 |
| 2004年7月17日 | KEEL | 本学学生 | 19. Small decision problems | 11人 |
| 2004年7月21日 | KEEL | 本学学生 | 6. 公共財供給 | 25人 |
| 2004年7月21日 | KEEL | 本学学生 | 19. Small decision problems | 7人 |
| 2004年8月2日 | KEEL | 本学学生 | 3. 先物市場 | 21人 |
| 2004年8月2日 | KEEL | 本学学生 | 12. スタッグハント | 21人 |
| 2004年8月2日 | KEEL | 本学学生 | 19. Small decision problems | 21人 |
| 2004年8月3日 | KEEL | 本学学生 | 12. スタッグハント | 25人 |
| 2004年8月3日 | KEEL | 本学学生 | 19. Small decision problems | 25人 |
| 2004年10月13日 | KEEL | 本学学生 | 3. 先物市場 | 26人 |
| 2004年10月13日 | KEEL | 本学学生 | 12. スタッグハント | 26人 |
| 2004年10月16日 | KEEL | 本学学生 | 3. 先物市場 | 23人 |
| 2004年10月16日 | KEEL | 本学学生 | 12. スタッグハント | 23人 |
| 2004年10月23日 | KEEL | 本学学生 | 10. リニエンシー制度 | 28人 |
| 2004年10月23日 | KEEL | 本学学生 | 23. 教育効果評価 | 28人 |
| 2004年10月23日 | KEEL | 本学学生 | 3. 先物市場 | 11人 |
| 2004年10月27日 | KEEL | 本学学生 | 10. リニエンシー制度 | 28人 |

| | | | | |
|-------------|------|----------|------------------|-----|
| 2004年10月27日 | KEEL | 本学学生 | 3. 先物市場 | 10人 |
| 2004年11月15日 | KEEL | 本学学生 | 3. 先物市場 | 22人 |
| 2004年11月16日 | KEEL | 本学学生 | 3. 先物市場 | 19人 |
| 2004年11月17日 | KEEL | 本学学生 | 3. 先物市場 | 23人 |
| 2004年11月17日 | KEEL | 本学学生 | 23. 教育効果評価 | 23人 |
| 2004年11月19日 | KEEL | 本学小田ゼミ学生 | 5. 耐久消費財実験 | 7人 |
| 2004年11月26日 | KEEL | 本学学生 | 9. 評判つき社会的ジレンマ | 24人 |
| 2004年11月27日 | KEEL | 本学学生 | 9. 評判つき社会的ジレンマ | 24人 |
| 2004年11月27日 | KEEL | 本学学生 | 3. 先物市場 | 9人 |
| 2004年12月22日 | KEEL | 本学学生 | 8. チームゲーム特殊利益理論 | 28人 |
| 2004年12月22日 | KEEL | 本学学生 | 3. 先物市場 | 12人 |
| 2004年12月22日 | KEEL | 本学学生 | 23. 教育効果評価 | 28人 |
| 2004年12月25日 | KEEL | 本学学生 | 8. チームゲーム特殊利益理論 | 28人 |
| 2004年12月25日 | KEEL | 本学学生 | 3. 先物市場 | 2人 |
| 2004年12月25日 | KEEL | 本学学生 | 23. 教育効果評価 | 28人 |
| 2005年1月19日 | KEEL | 本学学生 | 12. スタッグハント | 16人 |
| 2005年1月21日 | KEEL | 本学学生 | 12. スタッグハント | 6人 |
| 2005年1月21日 | KEEL | 本学学生 | 12. スタッグハント | 14人 |
| 2005年1月22日 | KEEL | 本学学生 | 12. スタッグハント | 10人 |
| 2005年2月2日 | KEEL | 本学学生 | 12. チームゲーム特殊利益理論 | 20人 |
| 2005年2月2日 | KEEL | 本学学生 | 3. 先物市場 | 2人 |
| 2005年2月3日 | KEEL | 本学学生 | 8. チームゲーム特殊利益理論 | 25人 |

2005年度

| 実験日 | 実験場所 | 被験者 | 実験内容 | 参加人数 |
|------------|------|------|-----------------|------|
| 2005年4月20日 | KEEL | 本学学生 | 6. 公共財供給 | 25人 |
| 2005年4月23日 | KEEL | 本学学生 | 6. 公共財供給 | 25人 |
| 2005年5月14日 | KEEL | 本学学生 | 12. スタッグハント | 20人 |
| 2005年5月14日 | KEEL | 本学学生 | 20. 時間選好 | 20人 |
| 2005年5月17日 | KEEL | 本学学生 | 12. スタッグハント | 10人 |
| 2005年5月17日 | KEEL | 本学学生 | 20. 時間選好 | 10人 |
| 2005年5月18日 | KEEL | 本学学生 | 12. スタッグハント | 24人 |
| 2005年5月18日 | KEEL | 本学学生 | 20. 時間選好 | 24人 |
| 2005年6月1日 | KEEL | 本学学生 | 14. 繰り返し囚人のジレンマ | 26人 |

| | | | | |
|-------------|------|------|--------------------------------|-----|
| 2005年6月4日 | KEEL | 本学学生 | 14. 繰り返し囚人のジレンマ | 22人 |
| 2005年6月4日 | KEEL | 本学学生 | 20. 時間選好 | 21人 |
| 2005年6月15日 | KEEL | 本学学生 | 10. リニエンシー制度 | 26人 |
| 2005年6月15日 | KEEL | 本学学生 | 20. 時間選好 | 26人 |
| 2005年6月18日 | KEEL | 本学学生 | 10. リニエンシー制度 | 28人 |
| 2005年6月18日 | KEEL | 本学学生 | 20. 時間選好 | 28人 |
| 2005年7月6日 | KEEL | 本学学生 | 14. 繰り返し囚人のジレンマ | 16人 |
| 2005年7月8日 | KEEL | 本学学生 | 14. 繰り返し囚人のジレンマ | 18人 |
| 2005年7月20日 | KEEL | 本学学生 | 11. ネットワーク型囚人のジレンマ | 24人 |
| 2005年7月20日 | KEEL | 本学学生 | 12. スタッグハント | 24人 |
| 2005年7月23日 | KEEL | 本学学生 | 11. ネットワーク型囚人のジレンマ | 18人 |
| 2005年7月23日 | KEEL | 本学学生 | 12. スタッグハント | 18人 |
| 2005年7月23日 | KEEL | 本学学生 | 23. 教育効果評価 | 18人 |
| 2005年8月2日 | KEEL | 本学学生 | 9. 評判つき社会的ジレンマ | 22人 |
| 2005年8月2日 | KEEL | 本学学生 | 12. スタッグハント | 22人 |
| 2005年8月3日 | KEEL | 本学学生 | 9. 評判つき社会的ジレンマ | 20人 |
| 2005年8月3日 | KEEL | 本学学生 | 12. スタッグハント | 20人 |
| 2005年10月12日 | KEEL | 本学学生 | 14. 繰り返し囚人のジレンマ (利得表2つ) | 18人 |
| 2005年10月12日 | KEEL | 本学学生 | 20. 時間選好実験 | 18人 |
| 2005年10月15日 | KEEL | 本学学生 | 14. 繰り返し囚人のジレンマ (利得表2つ) | 18人 |
| 2005年10月15日 | KEEL | 本学学生 | 20. 時間選好実験 | 18人 |
| 2005年10月26日 | KEEL | 本学学生 | 5. 耐久消費財実験 | 22人 |
| 2005年10月29日 | KEEL | 本学学生 | 5. 耐久消費財実験 | 22人 |
| 2005年11月16日 | KEEL | 本学学生 | 12. スタッグハント実験 | 26人 |
| 2005年11月18日 | KEEL | 本学学生 | 12. スタッグハント実験 | 18人 |
| 2005年11月19日 | KEEL | 本学学生 | 12. スタッグハント実験 | 16人 |
| 2005年11月19日 | KEEL | 本学学生 | 15. 所得再分配の選好 | 14人 |
| 2005年12月3日 | KEEL | 本学学生 | 9. 評判付き社会的ジレンマ | 24人 |
| 2005年12月7日 | KEEL | 本学学生 | 9. 評判付き社会的ジレンマ | 24人 |
| 2005年12月17日 | KEEL | 本学学生 | 10. 第1封印価格オークション | 22人 |
| 2005年12月17日 | KEEL | 本学学生 | 14. 繰り返し囚人のジレンマ | 22人 |
| 2005年12月20日 | KEEL | 本学学生 | 10. 第1封印価格オークション | 20人 |
| 2005年12月21日 | KEEL | 本学学生 | 10. 第1封印価格オークション | 24人 |
| 2006年1月27日 | KEEL | 本学学生 | 16. グループゲーム | 27人 |
| 2006年1月27日 | KEEL | 本学学生 | 15. 個人が許容する所得再分配と自己の稼得能力の相関の調査 | 27人 |
| 2006年1月27日 | KEEL | 本学学生 | 17. グリーン購入ゲーム (初期値5000) | 27人 |

| | | | | |
|------------|------|------|-------------------------------|-----|
| 2006年1月28日 | KEEL | 本学学生 | 16 グループゲーム | 27人 |
| 2006年1月28日 | KEEL | 本学学生 | 15 個人が許容する所得再分配と自己の稼得能力の関連の調査 | 27人 |
| 2006年1月28日 | KEEL | 本学学生 | 17 グリーン購入ゲーム(初期値1000) | 26人 |
| 2006年3月3日 | KEEL | 本学学生 | 16 グループゲーム | 14人 |
| 2006年3月3日 | KEEL | 本学学生 | 15 個人が許容する所得再分配と自己の稼得能力の関連の調査 | 14人 |
| 2006年3月3日 | KEEL | 本学学生 | 14 繰り返し囚人のジレンマ(利得表2つ) | 14人 |
| 2006年3月4日 | KEEL | 本学学生 | 16 グループゲーム | 16人 |
| 2006年3月4日 | KEEL | 本学学生 | 15 個人が許容する所得再分配と自己の稼得能力の関連の調査 | 16人 |
| 2006年3月4日 | KEEL | 本学学生 | 14 繰り返し囚人のジレンマ(利得表2つ) | 16人 |

A.2 公開教育活動

実験内容の欄に記号のある実験は、参加者に景品(得点に応じた金額まで大学の売店の文具や菓子類を選べる)を出した実験で、研究用実験を兼ねる。いっぽう無印の実験では参加者に報酬あるいは謝金を出していない。いずれの場合も、実験の後に実験についての授業を行い、参加者に実験の意味を丁寧に説明した。

2001年度

| 実験日 | 実験場所 | 参加者の在籍中学校 | 実験内容 | 参加人数 |
|------------|-----------|---|------------|------|
| 2001年7月13日 | 京都成安中学校 | 京都成安中学校 | 6. 公共財供給 | 73人 |
| 2001年8月10日 | UWS | HAHS | 6. 公共財供給 | 40人 |
| 2001年11月3日 | 10号館会議室など | 京都市立加茂川中学校 京都市立下鴨中学校 長岡市立第3中学校 京都市立西賀茂中学校 東山中学校 守口市立守口第2中学校 洛南高等学校附属中学校 | 6. 公共財供給など | 25人 |
| 2001年11月4日 | 同上 | 同上 | 6. 同上 | 29人 |
| 2002年2月9日 | 西賀茂中学校 | 西賀茂中学校 | 6. 公共財供給 | 23人 |
| 2002年3月4日 | 1号館情報処理教室 | 華頂中学校 | 6. 公共財供給など | 12人 |

3月4日のもの以外は、すべて手実験。

UWS: University of Western Sydney, Campbelltown, NSW, Australia.

HAHS: Hurlstone Agricultural High School, Sydney, NSW, Australia.

11月4-5日の活動は、「こどもゆめ基金」(独立行政法人国立オリンピック記念青少年総合センター)助成金『ゲームで経済学を体験しよう』(代表:小田秀典)による。

2002 年度

| 実験日 | 実験場所 | 参加者の在籍中学校 | 実験内容 | 参加人数 |
|-----------------|------|--|------------|------|
| 2002 年 8 月 1 日 | KEEL | 京都市立西賀茂中学校 洛南高等学校付属中学校 京都市立加茂川中学校 京都市立洛南中学校 | 6. 公共財供給など | 22 人 |
| 2002 年 8 月 2 日 | KEEL | 京都市立西賀茂中学校 洛南高等学校付属中学校 京都市立洛南中学校 京都市立下鴨中学校 | 6. 公共財供給など | 15 人 |
| 2002 年 11 月 2 日 | KEEL | 京都市立西賀茂中学校 東山中学校 | 6. 公共財供給 | 12 人 |

8 月 1-2 日の活動は、「こどもゆめ基金」(独立行政法人国立オリンピック記念青少年総合センター)
助成金 『経済実験室で経済を体験しよう』 (代表：小田秀典) による。

2003 年度

| 実験日 | 実験場所 | 被験者の出身中学 | 実験内容 | 参加人数 |
|-----------------|------|------------|-------|------|
| 2003 年 6 月 10 日 | KEEL | 京都市立西賀茂中学校 | 公共財供給 | 10 人 |
| 2003 年 6 月 11 日 | KEEL | 京都市立西賀茂中学校 | 公共財供給 | 5 人 |
| 2003 年 6 月 12 日 | KEEL | 京都市立西賀茂中学校 | 公共財供給 | 7 人 |

2004 年度

| 実験日 | 実験場所 | 参加者 | 実験内容 | 参加人数 |
|-----------------|-------|-------------------------------|-----------|------|
| 2004 年 6 月 2 日 | KEEL | 京都市立西賀茂中学校 | リニエンシー | 4 人 |
| 2004 年 6 月 3 日 | KEEL | 京都市立西賀茂中学校 | リニエンシー | 4 人 |
| 2004 年 8 月 19 日 | 四日市大学 | 三重県立久居農林高等学校 三重県立四日市農芸高等学校 | 市場実験 | 46 人 |
| 2004 年 8 月 20 日 | 四日市大学 | 三重県立久居農林高等学校 三重県立四日市農芸高等学校 | コーディネーション | 46 人 |

四日市大学での実験は、同大学の「エネルギー教育調査及普及事業 (経済産業省資源エネルギー庁
の委託事業)」の一部として行われた。

A.3 研究会

プロジェクトの研究会などの主催（共催）について年度ごとに示す。なお直接の経費が当事業以外から支出されている活動でも、プロジェクトと密接な関係があるものは、それを明記の上で記載されている。

TF4E Seminar 7 (京都産業大学；2001年10月8日～9日)

| | |
|------|---------------------------------|
| 報告者 | 秋山英三 (筑波大学社会工学系講師、前サンタフェ研究所 PD) |
| 報告論題 | サンタフェ研究所の最近の研究 |
| 報告者 | 飯田善郎 (京都産業大学経済学助教授) |
| 報告論題 | オランダの実験研究 |

TF4E Seminar 8 (Harvard Business School, Cambridge, Massachusetts, USA, 2002年3月25日)

科学研究費補助金 (基盤 B2) 「マーケットマイクロストラクチャー理論に基づくリサイクル市場への戦略設計」 (代表：小田秀典；課題番号：13480115) 海外活動

| | |
|------|---|
| 報告者 | 岩崎敦 |
| 報告論題 | “Does reinforcement learning simulate threshold public goods games?: A comparison with subject experiments” |
| 報告者 | 井寄幸平 |
| 報告論題 | “The emergence of cooperative behaviour in the prisoners’ dilemma network” |
| 報告者 | 西野成昭 |
| 報告論題 | “The role of intermediaries in recycling market” |

TF4E Seminar 9 (KEEL; 2002年4月25日)

| | |
|------|------------------------|
| 報告者 | 安田豊 (京都産業大学一般教育センター講師) |
| 報告論題 | 「インターネットのプライシング・モデル」 |

TF4E Workshop 10 (KEEL; 2002年9月13日～20日)

Prof. Cadsby の招聘は学術振興野村基金により、Prof. Feltovich の招聘は本プロジェクトによる。

| | |
|------|--|
| 報告者 | Prof. Bram Cadsby (University of Guelph, Canada) |
| 報告論題 | “Moral Suasion, Anonymity, Home Decision-Making and Tax Compliance: A New Experimental Approach” |
| 報告者 | Prof. Nick Feltovich (University of Houston, USA) |
| 報告論題 | “Words, Deeds, and Lies” |

| | |
|------|--|
| 報告者 | 八杉満利子 (京都産業大学理学部教授) |
| 報告論題 | “The application of logics to economics and game theory” |
| 報告者 | 飯田善郎 (京都産業大学経済学部助教授) |
| 報告論題 | “The Effect of the Group Competition in a Public Goods Experiment” |
| 報告者 | 濱口泰代 (京都産業大学 PD) |
| 報告論題 | “Familiarity breeds cooperation: Threshold public goods games with Japanese and Australian university and junior high school students” |

TF4E Seminar 11 (KEEL, 2003 年 5 月 15 日)

| | |
|------|-----------------|
| 報告者 | 舩本現 (京都産業大学 PD) |
| 報告論題 | 「ラムダ・ゲーム」 |

TF4E Workshop 12 (KEEL; 2003 年 7 月 1 日 ~ 4 日)

Dr Urs Fischbacher の招聘は、本プロジェクトによる。

| | |
|------|---|
| 報告者 | Dr Urs Fischbacher (チューリッヒ大学) |
| 報告論題 | z-Tree Seminar |
| 報告者 | Dr Urs Fischbacher (チューリッヒ大学) |
| 報告論題 | Local Political Decisions and Global Public Goods |
| 報告者 | 井寄幸平 (日本学術振興会特別研究員 PD・京都産業大学客員研究員) |
| 報告論題 | “Prisoner’s Dilemma Network: its experiments and simulations” |
| 報告者 | 濱口泰代 (京都産業大学 PD) |
| 報告論題 | “Does the Varian Mechanism Work?: Emissions Trading as an Example” |
| 報告者 | 飯田善郎 (京都産業大学経済学部助教授) |
| 報告論題 | “Should Superman know that he is super?: A study of a public good experiment with heterogeneous productivity” |
| 報告者 | Dr Urs Fischbacher (チューリッヒ大学) |
| 報告論題 | z-Tree advanced seminar |

TF4E Seminar 13 (4KB08 教室 ; 2003 年 7 月 31 日)

Prof. Erev の招聘は、本プロジェクトによる。

| | |
|------|--|
| 報告者 | Sobei H. Oda (Kyoto Sangyo University) |
| 報告論題 | “The First Two Years of the Open Research Centre at Kyoto Sangyo University” |
| 報告者 | Ryuichi Kitamura (Kyoto University) |
| 報告論題 | “Heterogeneity in Commuter Departure Time Decision: A Prospect Theoretic Approach” |

| | |
|------|--|
| 報告者 | Prof. Ido Erev (Technion, Israel) |
| 報告論題 | “On the weighting of rare events and the economics of small decisions” |

TF4E Seminar 14 (第4研究室棟1階会議室1; 2003年9月11日)

| | |
|------|----------------------------------|
| 報告者 | 篠原修二(日本学術振興会特別研究員PD、京都産業大学客員研究員) |
| 報告論題 | 強化学習主体からなる経済システムにおける貨幣の生成・崩壊 |

TF4E Seminar 15 (第4研究室棟1階会議室1; 2003年9月24日)

| | |
|------|--|
| 報告者 | Prof. Juergen Mimkes (Physics Department, Paderborn University, Germany) |
| 報告論題 | Lagrange Statistic (Thermodynamics) in Economic Systems |

TF4E Seminar 16 (KEEL; 2003年10月3日)

| | |
|------|--|
| 報告者 | 濱口泰代(京都産業大学特定研究員PD) |
| 報告論題 | Does the Varian Mechanism Work?: Emissions Trading as an Example |
| 報告者 | 小田宗兵衛(京都産業大学経済学部教授) |
| 報告論題 | 経済学における実験研究の有効性 |

TF4E Seminar 17 (第4研究室棟1階会議室1; 2004年1月28日)

| | |
|------|----------------------------------|
| 報告者 | 橋本敬(北陸先端科学技術大学院大学・知識科学研究科) |
| 報告論題 | 社会的個人による情報伝達と制度形成 |
| 報告者 | 佐藤尚(北陸先端科学技術大学院大学・知識科学研究科) |
| 報告論題 | 内部ダイナミクスを持つエージェントによる動的社会シミュレーション |

TF4E Seminar 18 (KEEL; 2004年2月16日)

| | |
|------|--|
| 報告者 | Uri Ben-Zion (Technion - Israel Institute of Technology) |
| 報告論題 | Risk attitude, Win Loving and the Evaluation of Lotteries? An Experimental Study. |
| 報告者 | 濱口泰代(京都産業大学特定研究員PD) |
| 報告論題 | Does observation of others affect people's cooperative behavior? An experimental study on threshold public goods games |

TF4E Seminar 19 (KEEL ; 2004 年 3 月 19 日)

| | |
|------|--|
| 報告者 | 岩崎敦 (NTT コミュニケーション科学基礎研究所) |
| 報告論題 | Stability of the Truth-telling Strategy in Multi-unit Option Allocation Auctions: Laboratory Experimentation |
| 報告者 | 野澤 孝之 (大学評価・学位授与機構) |
| 報告論題 | Effect of indirect profit on prisoners' dilemma in network |

TF4E Seminar 20 (KEEL, 2004 年 11 月 16 日)

| | |
|------|--|
| 報告者 | 濱口泰代 (京都産業大学特定研究員 PD) |
| 報告論題 | Does Observation of Others Affect People's Cooperative Behavior? An Experimental Study on Threshold Public Goods Games |

TF4E Seminar 21 (KEEL, 2005 年 2 月 28 日)

| | |
|------|--|
| 報告者 | 岩崎敦 (九州大学大学院システム情報科学研究院) |
| 報告論題 | Loss Aversion, Equilibrium Selection, and Learning: An Experimental Study of the Stag Hunt |
| 報告者 | 秋山英三 (筑波大学大学院システム情報工学研究科) |
| 報告論題 | 評判付き N 人ジレンマの被験者実験 (鈴木、綿引、秋山、小田) の結果の紹介 |

TF4E Seminar 22 (KEEL, 2005 年 4 月 16 日)

| | |
|------|---------------------|
| 報告者 | 小川一仁 (広島市立大学国際学部) |
| 報告論題 | 仲介業者の価格競争実験 |

TF4E Seminar 23 (KEEL, 2005 年 5 月 16 日)

| | |
|------|--|
| 報告者 | 岩崎敦 (九州大学大学院システム情報科学研究院) |
| 報告論題 | Payoff Levels, Equilibrium Selection, and Learning: An Experimental Study of the Stag Hunt |

TF4E Seminar 24 (KEEL, 2005 年 7 月 22 日)

| | |
|------|-------------------------------|
| 報告者 | 田中省作 (立命館大学文学部) |
| 報告論題 | “Web as corpus” を活用した言語学習について |

TF4E Seminar 25 (KEEL, 2005 年 8 月 2 日)

| | |
|------|----------------------------|
| 報告者 | 鈴木真介 (筑波大学大学院 システム情報工学研究科) |
| 報告論題 | 社会的ジレンマにおける評判の役割 |

TF4E Seminar 26 (KEEL, 2005 年 9 月 16 日)

| | |
|------|-------------------------------|
| 報告者 | 小林洋平 (京都産業大学経済学研究科) |
| 報告論題 | 階層化された相互引き込みモデルを用いたアンサンブルシステム |

TF4E Seminar 27 (KEEL, 2005 年 12 月 3,4 日)

| | |
|------|-------------------|
| 報告者 | 高橋泰城 (北海道大学文学研究科) |
| 報告論題 | 実験経済学と神経科学的アプローチ |

TF4E Seminar 28 (KEEL, 2006 年 1 月 14 日)

| | |
|------|--|
| 報告者 | Takashi Hayashi(テキサス大学オースティン校) |
| 報告論題 | Information, Subjective Belief and Preference, Regret Aversion and Opportunity Dependence |

TF4E Seminar 29 (KEEL, 2006 年 2 月 9 日)

| | |
|------|--|
| 報告者 | Christiane Schwioren |
| 報告論題 | Competition - a cure without side-effects? |

TF4E Seminar 30 (KEEL, 2006 年 2 月 27 日)

| | |
|------|-------------------------------------|
| 報告者 | 西野成昭 |
| 報告論題 | 資源の長期共有を考慮した社会的ジレンマモデルによる環境配慮型行動の創発 |

A.4 国内会議など

ワークショップ「実験経済学と知識の構造」(京都産業大学 中央図書館 102 演習室; 2002 年 1 月 26 日 ~ 30 日)

科学研究費補助金 (萌芽) 「限定合理性の情報構造:証明論およびセラ・オートマタによる特徴づけ」(代表: 八杉満利子; 課題番号: 12878061) および科学研究費補助金 (基盤 B2) 「マーケットマイクロストラクチャー理論に基づくリサイクル市場への戦略設計」(代表: 小田秀典; 課題番号: 13480115) 研究集会

| | |
|------|--|
| 報告者 | 三好博之 (京都産業大学理学部) |
| 報告論題 | 「リフレクションと計算のメタフィジックス」 |
| 報告者 | 門田智則 (京都産業大学理学研究科 D2) |
| 報告論題 | 「保型形式への誘い」 |
| 報告者 | 飯田善郎 (京都産業大学経済学部助教授) |
| 報告論題 | 「ORC4E プロジェクトについて」 |
| 報告者 | 野澤孝之 (東京工業大学総合理工学研究科 D3) |
| 報告論題 | 「まとまりの抽出を志向した、力学モデルの振舞いの記述」 |
| 報告者 | 小田宗兵衛 (京都産業大学経済学部教授) |
| 報告論題 | 「エージェント・ベースの経済学」 |
| 報告者 | 山本章博 (北海道大学工学研究科)・Eric Martin (University of New South Wales, Australia) |
| 報告論題 | 「論理から帰納学習へのアプローチ」 |
| 報告者 | 秋山英三 (筑波大学社会工学系講師) |
| 報告論題 | 「Minority Game と Market Structure」 |
| 報告者 | 肥前洋一 (北海道大学経済学研究科) |
| 報告論題 | 「選挙制度分析へのゲーム理論の応用」 |
| 報告者 | 草川孝夫 (大阪大学経済学研究科 D1) |
| 報告論題 | “Two Patterns of Price Dynamics were Observed in Greenhouse Gases Emission Trading Experiments: An Application of Point Equilibrium” |
| 報告者 | 中島義裕 (大阪市立大学経済学研究科助教授) |
| 報告論題 | 「相関次元とボラティリティによる市場の分類」 |
| 報告者 | 岩崎敦 (神戸大学自然科学研究科 D3) |
| 報告論題 | 「チープ・トークの計算機実験」 |
| 報告者 | 八杉満利子 (京都産業大学理学部) |
| 報告論題 | “On Finite and Infinite Dialogue” |
| 報告者 | 小林聡 (京都産業大学理学部) |
| 報告論題 | 「『価に関する知識』の論理」 |
| 報告者 | 濱口泰代 (京都産業大学特別研究員 PD) |
| 報告論題 | 「閾値のある公共財供給の被験者実験」 |
| 報告者 | 篠原修二 (日本学術振興会特別研究員 PD・京都産業大学客員研究員) |
| 報告論題 | 「パラドクシカルな状況におけるヤドカリの問題解決能力について」 |
| 報告者 | 小山友介 (日本学術振興会特別研究員 PD・京都産業大学客員研究員) |
| 報告論題 | 「エージェントベースアプローチの経済学的基礎」 |
| 報告者 | 井村修一 (神戸大学工学部機械工学科 4 年) |
| 報告論題 | 「閾値のある公共財供給の計算機実験」 |

| | |
|------|---------------------------------------|
| 報告者 | 小川一仁 (京都大学経済学研究科 M2) |
| 報告論題 | 「実物市場におけるマーケット・マイクロストラクチャー理論の現状と展望」 |
| 報告者 | 西野成昭 (神戸大学自然科学研究科 D1) |
| 報告論題 | 「マーケット・マイクロストラクチャー理論の工学 (リサイクル) への応用」 |
| 報告者 | 井寄幸平 (神戸大学自然科学研究科 D2) |
| 報告論題 | 「ネットワーク囚人のジレンマの計算機実験」 |

実験ラボラトリ・オープニング・ワークショップ (京都産業大学神山ホール第 1 セミナー室、KEEL、大阪大学社会経済研究所、大阪大学コンベンションホール；2002 年 6 月 29 日～30 日)

科学研究費補助金 (基盤研究 B2) 「マーケットマイクロストラクチャー理論に基づくリサイクル市場への戦略設計」 (代表:小田秀典; 課題番号:13480115) 主催、創成科学フォーラム (第 38 回) 協賛

| | |
|------|---|
| 報告者 | 西條辰義 (大阪大学) |
| 報告論題 | 「協力の創発:「いじわる」は協力の源泉になりえるのか?」(Timothy N. Cason, Tatsuyoshi Saijo, and Takehiko Yamato, “Emergence of Cooperation: Is Spitefulness a Source of Cooperation?”) |
| 報告者 | 小田宗兵衛 (京都産業大学) |
| 報告論題 | 「市場実験の体験と、TF4E グループの実験経済学研究の紹介」 |
| 報告者 | 飯田善郎, 野澤孝之 (京都産業大学), 岩崎敦 (NTT コミュニケーション科学基礎研究所), 西野成昭 (神戸大学自然科学研究科), 小川一仁 (京都大学経済学研究科) |
| 報告論題 | 「実験室見学と実験体験」 |
| 報告者 | パネラー:上田完次 (東京大学), 小田宗兵衛 (京都産業大学), 川越敏司 (はこだて未来大学), 西條辰義 (大阪大学), 生天目章 (防衛大学校), 西村直子 (信州大学), 船木由喜彦 (早稲田大学), 森徹 (名古屋市立大学), 大和毅彦 (東京工業大学) |
| 報告論題 | パネル・ディスカッション「経済理論の想定する人間行動と、実験で観察される行動」(仮題) |
| 報告者 | 大石善雄 (学際計算科学研究会), 草川孝夫 (大阪大学), 玉田正樹 (構造計画研究所), 長尾篤志 (大阪大学) |
| 報告論題 | 「排出権取引実験システムを用いた実験の体験」 |
| 報告者 | 草川孝夫 (大阪大学) |
| 報告論題 | Takao Kusakawa and Tatsuyoshi Saijo, “Emissions Trading Experiments: Investment Uncertainty and Liability” |
| 報告者 | 井村修一 (神戸大学), 濱口泰代 (京都産業大学) |
| 報告論題 | 「閾値のある公共財供給ゲーム:実験とシミュレーション」(Yasuyo Hamaguchi, Sobei H. Oda, Yoshio Iida and Mariko Yasugi, P.N. Rajar Junankar and Steve Keen, “Familiarity breeds cooperation: Threshold public goods games experiments with Japanese and Australian university and junior high school students.”) |

| | |
|------|---|
| 報告者 | 青柳雅 (三菱総研), 大河原透 (電中研), 小田宗兵衛 (京都産業大学), 西條辰義 (大阪大学), 平工奉文 (経済産業省) |
| 報告論題 | パネル・ディスカッション「実験研究における産・官・学の連携の可能性」 |

The 6th International Conference on Complex Systems (中央大学、2002年9月9～11日)

本プロジェクトは The Session on Experimental Economics を共催し、以下のプログラムを組織した。

| | |
|------|--|
| 報告者 | Nick Feltovich |
| 報告論題 | John Duffy and Nick Feltovich , “Words, Deeds and Lies” |
| 報告者 | Koichiro Matsuno |
| 報告論題 | Koichiro Matsuo, “Optimizing a Portfolio Management from the Internalist Perspective” |
| 報告者 | Kazuhito Ogawa |
| 報告論題 | Kazuhito Ogawa, Yuhsuke Koyama and Sobei H. Oda, “An Experimental Approach to Market Microstructure - Search and Market Efficiency” |
| 報告者 | Kouhei Iyori |
| 報告論題 | Kouhei Iyori, Itsuo Hatono, Sobei H. Oda and Kanji Ueda, “The Emergence of Cooperative Behaviour in the Prisoner’s Dilemma Network: Simulations and Experiments” |

第7回実験経済学コンファレンスおよびプレフォーラム・ポストフォーラム・セミナーズ (京都産業大学 (4KB08 大学院講義室、KEEL、神山ホール第1セミナー室); 2003年5月22日～26日)

本プロジェクトが主催し、基調講演者として Prof. Cox を招聘した。

| | |
|------|--|
| 報告者 | 小田宗兵衛 |
| 報告論題 | 小田宗兵衛 (2003): 『役にたつ経済学教育を目指して:学生に経済実験を作らせる』(第8回大学コンソーシアム京都ファカルティ・ディベロップメント・フォーラム, 報告論文集掲載予定. |
| 報告者 | 井寄幸平 |
| 報告論題 | K. Iyori and S. H. Oda (2003): “Prisoner’s Dilemma Network: its experiments and simulations,” to be presented at the International ESA meeting, Pittsburgh, PA USA, 19-22 June 2003. |
| 報告者 | 西野成昭 |
| 報告論題 | K. Ueda, N. Nishino and S. H. Oda (2003): “Integration of Economics into Engineering with an Application to the Recycling Market,” to be presented at the 53rd General Assembly of CIRP, Montreal, Canada, 24-30 August, 2003. |
| 報告者 | 濱口泰代 |
| 報告論題 | Y. Hamaguchi, S. Mitani and T. Saijo: “Does the Varian Mechanism Work?: Emissions Trading as an Example” |

| | |
|------|--|
| 報告者 | 八杉満利子 |
| 報告論題 | M. Yasugi and S. H. Oda (2003): “Notes on Bounded Rationality,” in <i>Scientiae Mathematicae Japonicae</i> vol. 57, pp.129-138. M. Yasugi and S. H. Oda (2002): “A note on the wise girls puzzle,” in <i>Economic Theory</i> , vol.19, pp.145-156. |
| 報告者 | 飯田善郎 |
| 報告論題 | Y. Iida, Y. Hamaguchi, S. H. Oda (2003): “The Effect of the Group Competition in a Public Goods Experiment” Y. Iida S. H. Oda (2003): “Does Studying Economics Affect Cooperation?: A Brief Report” |
| 報告者 | 小川一仁 |
| 報告論題 | K. Ogawa, Y. Koyama and S. H. Oda (2003): “Middleman in Ambiguous Situations: an experiment based on the market microstructure theory,” to be presented at the International ESA meeting, Pittsburgh, PA USA, 19-22 June 2003. |
| 報告者 | 藤川武海 |
| 報告論題 | T. Fujikawa and S. H. Oda (2003): “Search and Choice under Uncertainty,” to be presented at the International ESA meeting, Pittsburgh, PA USA, 19-22 June 2003. |
| 報告者 | James Cox (Department of Economics, University of Arizona) |
| 報告論題 | “Decision Theory and Risk Averse Behavior” |
| 報告者 | 森徹 (名古屋市立大学大学院経済学研究科)・曾山典子 (天理大学人間学部) |
| 報告論題 | “How anomalous behaviors affect performance of the Pivotal mechanism?: An experimental study on the problem of providing an indivisible public good in the case of 2 subjects with 3 strategies” |
| 報告者 | 川越敏司 (はこだて未来大学システム情報学部)・瀧澤弘和 (独立行政法人経済産業研究所) |
| 報告論題 | “Instability of Babbling Equilibria in Cheap Talk Games: Some Experimental Results” |
| 報告者 | 門田智則 (京都産業大学大学院理学研究科院生, ORC リサーチアシスタント) |
| 報告論題 | 『被験者募集の実際』 |
| 報告者 | James Cox (Department of Economics, University of Arizona) |
| 報告論題 | “EconPort: An Active Object-based Digital Library For Microeconomics Education” |
| 報告者 | 岩崎敦 (NTT コミュニケーション科学基礎研究所)・野澤孝之 (大学評価・学位授与機構) |
| 報告論題 | 『経済実験室の設計と運営』 |
| 報告者 | 井澤裕司 (立命館大学経済学部) |
| 報告論題 | “An Experimental Test of the Separation Theorem” |
| 報告者 | 藤川武海 (京都産業大学大学院経済学研究科, 院生)・小田宗兵衛 (京都産業大学経済学部) |
| 報告論題 | “Decision making under uncertainty and ambiguity” |
| 報告者 | 飯田善郎 (京都産業大学経済学部)・舛本現 (京都産業大学経済学部, PD) |
| 報告論題 | 『被験者実験と z-Tree の解説と体験』 |

| | |
|------|---|
| 報告者 | 小田宗兵衛 (京都産業大学経済学部) |
| 報告論題 | A. Iwasaki, S. Imura, S. H. Oda and K. Ueda (2003): "Accidental Initial Outcomes and Learning in Experimental Games with Multiple Equilibria," to be presented at the International ESA meeting, Pittsburgh, PA USA, 19-22 June 2003. |
| 報告者 | 藤川武海 (京都産業大学大学院経済学研究科, 院生) |
| 報告論題 | 実験公開 (KEEL) |

A.5 国際会議

A.5.1 The Experimental Economics in Honour of Dr Vernon L. Smith 週間予定

2004年12月13日 スミス教授一般講演 Markets, Capital Markets, and Globalization (京都産業大学)

2004年12月14-15日 国際会議 Experiments in Economic Science: New Approaches to Solving Real-world Problems (岡山国際ホテル)

2004年12月16日-17日 国際会議 International Conference Experiments in Economic Science: New Approaches to Solving Real-world Problems 招待講演 (京都産業大学)

A.5.2 スミス教授一般講演プログラム

Monday, December 13, Kyoto Sangyo University

| | |
|-------------|--|
| 15:15-15:30 | Welcome Remarks from Prof. Toyoh Sakai, the President of Kyoto Sangyo University |
| 15:30-16:30 | Prof. Smith's Public Speech: Markets, Capital Markets, and Globalization |
| 16:30-17:00 | Questions and Answers |
| 17:00-17:15 | Ceremony: the presentation of an honorary degree to Prof. Smith |

A.5.3 国際会議 Experiments in Economic Science: New Approaches to Solving Real-world Problems プログラム

Tuesday, December 14, Okayama International Hotel

| | |
|-------------|---|
| 12:00-13:00 | Registration |
| 13:00-13:30 | Opening Remarks of the Conference |
| 13:30-15:00 | Invited Session 1: Ido Erev (Chair: S. H. Oda) |
| 15:00-15:30 | Coffee Break |
| 15:30-17:00 | Invited Session 2: James Cox (Chair: Y. Iida) |
| 17:00-17:30 | Coffee Break |
| 17:30-19:00 | Invited Session 3: Robin Hogarth (Chair: K. Nagase) |
| 19:00-20:30 | Buffet Supper |

Wednesday, December 15, Okayama International Hotel

| | |
|-------------|---|
| 8:30-10:00 | Invited Session 4: Shyam Sunder (Chair: H. Yamaji) |
| 10:00-10:30 | Coffee Break |
| 10:30-12:00 | Invited Session 5: Daniel Friedman (Chair: A. Namatame) |
| 12:00-13:00 | Lunch |
| 13:00-14:30 | Invited Session 6: Paul Bourguine (Chair: K. Ueda) |
| 14:30-14:45 | Closing Remarks of the Okayama Sessions |

Thursday, December 16, Kyoto Sangyo University

| | | | | | | |
|-------------|--|----------------|---|---------------|--|--------------|
| 9:00-10:00 | Registration | | | | | |
| 10:00-10:30 | Opening Remarks of the Kyoto Sessions | | | | | |
| 10:45-12:15 | 1A: Market 1 Chair: A. Namatame Room: Ia | | 1B: Public Goods 1 Chair: Y. Iida Room: Ib | | 1C: Co-Creative Decision Making 1* Chair: K. Ueda Room: II | |
| | C. B. Cadsby | U. Dasgupta | F. Song | R. F. Veszteg | K. Ueda | P. Bourguine |
| | E. Fisher | N. Nishino | J. Vyrastekova | E. Akiyama | T. Kito | L. Gulyas |
| | K. Ogawa | C. Kaskiris | Y. Hamaguchi | M. E. Price | S. Takeuchi | P. Bourguine |
| 12:15-13:15 | Lunch | | | | | |
| 13:15-14:45 | 2A: Market 2 Chair: K. Iyori Room: Ia | | 2B: Public Goods 2 Chair: Y. Hamaguchi Room: Ib | | 2C: Co-Creative Decision Making 2* Chair: S. Takeuchi Room: II | |
| | J. Huber | T. Kato | F. Song | S. Sasaki | L. Gulyas | T. Kaihara |
| | M. Senbil | R. Wada | A. Pinter | G. Masumoto | T. Kaihara | S. Takeuchi |
| | C. B. Cadsby | J. L. Rulliere | Y. Iida | A. Schram | | |
| 14:45-15:00 | Break | | | | | |
| 15:00-16:30 | Keynote Speech: "Foundations of Experimental Economics, Economic Design and Applications" Vernon L. Smith | | | | | |
| 16:30-16:45 | Break | | | | | |
| 16:45-18:15 | Buffet Supper | | | | | |

Friday, December 17, Kyoto Sangyo University

| | | | | | | |
|-------------|---|--------------|---|---------------|--|--------------|
| 9:00-10:30 | 3A: Market 3 Chair: A. Iwasaki Room: Ia | | 3B: Public Goods 3 Chair: G. Masumoto Room: Ib | | 3C: Accounting and Economics 1** Chair: K. Shimomura Room: II | |
| | U. Dasgupta | D. Zeng | R. F. Veszteg | F. Song | S. Sunder | |
| | N. Nishino | A. Schram | M. E. Price | T. Fujikawa | K. Hamada | |
| | R. Deloche | K. Iyori | E. Akiyama | P. P. Doudov | P. Bossaerts | |
| 10:30-10:45 | Break | | | | | |
| 10:45-12:15 | 4a: Monitoring Chair: N. Nishino Room: Ia | | 4B: Decision Making 1 Chair: E. Akiyama Room: Ib | | 4C: Accounting and Economics 2** Chair: H. Yamaji Room: II | |
| | J. L. Rulliere | T. Takahashi | S. Sasaki | R. Deloche | R. King | N. Sawabe |
| | T. Kato | H. J. Holm | A. Schram | S. Mizutani | H. Yamaji | |
| | | | H. Yoneda | C. Schwierien | | |
| 12:15-13:15 | Lunch | | | | | |
| 13:15-14:45 | 5A: Mechanism Design Chair: F. Song Room: Ia | | 5B: Decision Making 2 Chair: K. Nagase Room: Ib | | 5C: Artificial Market Chair: H. Kita Room: II | |
| | D. Zeng | A. Iwasaki | K. Ushiwaka | C. B. Cadsby | Y. Nakajima | T. Kawagoe |
| | A. Schram | T. Nozawa | P. P. Doudov | Y. Hamaguchi | Y. Nakajima | |
| | C. Kaskiris | E. Fisher | T. Fujikawa | J. Vyrastekva | J. Ueki | H. Matsui |
| 14:45-15:00 | Break | | | | | |
| 15:00-16:30 | | | 6B: Decision Making 3 Chair: T. Fujikawa Room: Ib | | 6C: Psychology Chair: Y. Nakajima Room: II | |
| | | | R. Wada | J. Huber | T. Takahashi | C. B. Cadsby |
| | | | C. Schwierien | Y. Iida | H. J. Holm | M. Senbil |
| | | | S. Mizutani | A. Pinter | | |
| 16:30-16:45 | Break | | | | | |
| 16:45-18:15 | Closing Speech: "Design Science: A Prelude" Tatuyoshi Saijo | | | | | |
| 18:15-18:30 | Closing Remarks of the Conference | | | | | |

| | |
|---------------------------|-------------------|
| Sessions Chair Room | |
| First speaker | First Discussant |
| Second speaker | Second Discussant |
| Third speaker | Third Discussant |

* For convenience only one author is mentioned as the author of the paper to be presented; all the authors are shown in the programme of each session.

Sponsorship

- Dr. Smith is honorably invited by Kyoto Sangyo University.
- The conference is organised and sponsored by the Hayashibara Foundation and Kyoto Sangyo University; it is a joint activity of Hayashibara Forum and the Open Research Centre Project "Experimental Economics: A new method of teaching economics and the research on its impact on society".
- Sessions 1C* and 2C* are supported with the cooperation of Research into Artifacts Center for Engineering, The University of Tokyo.
- Sessions 3C** and 4C** are supported with the cooperation of Research Institute for Economics and Business Administration, Kobe University and a part of Kobe Forum.

分科会プログラム

Session1A : Market 1 Chair : A. Namatame Room : Ia

- "Competitive Burnout in the Laboratory: Equilibrium Selection in a Two-Stage Sequential Elimination Game"
J. Atsu amegashie (University of Guelph)
C. Bram Cadsby (University of Guelph)
Yang Song (University of Guelph)
Discussant : Utteeyo Dasgupta
- "Exploring Elements of Exchange Rate Theory in a Controlled Environment"
Eric O'N Fisher (The Ohio State University)
Discussant : Nariaki Nishino
- "Price Competition between Price Setting Middlemen in the Laboratory Setting"
Kazuhito Ogawa(Kyoto University)
Kouhei Iyori (Kyoto Sangyo University)
Sobei H. Oda (Kyoto Sangyo University)
Discussant : Chairs Kasliris

Session1B : Public Goods 1 Chair : Y. Iida Room : Ib

- "Trust and Reciprocity: The Differing Norms of Individuals and Group Representatives"
Fei Song (York University)
Discussant: Robert F. Veszteg

- “Economic ties and social dilemmas”
Daan van Soest (Tilburg University)
Jana Vyrastekova (University of Amsterdam)
Discussant: Eizo Akiyama
- “Does Observation of Others Affect People’s Cooperative behavior? An Experimental Study on Threshold public Good Games”
Yasuyo Hamaguchi(Kyoto Sangyo University)
Discussant: Michael E. Price

Session1C : Co-Creative Decision Making 1 Chair : K. Ueda Room : II

- “Co-Creative Decision Making in Artifactual Systems in Consideration of Bounded Rationality ”
Tomomi Kito(The University of Tokyo)
Nobutada Fujii (The University of Tokyo)
Kanji Ueda (The University of Tokyo)
Discussant:
- “Verification Process of the Investment Option of Common Goods by a New City Management(Medi-Square) Model Based on Next-Generation Technology ”
Sawako Takeuchi (The University of Tokyo)
Atsushi Doi (Mitsubishi Electric Corporation)
Mari Tanaka (The University of Tokyo)
Discussant:

Session2A : Market 2 Chair : K. Iyori Room : Ia

- “Experimental Studies on the Value of Information in Financial Markets with Heterogeneously Informed Agents”
Jurgen Huber (University of Innsbruck)
Michael Kirchler (University of Innsbruck)
Matthias Sutter (Jena)
Discussant: Tatsuhiko Kato
- “Willingness- to- pay for Expressways ”
Metin Senbil (Hiroshima University)
Ryuichi Kitamura (Kyoto University)
Discussant: Ryoko Wada
- “The Effects of Compensation Schemes on Self-Selection and Work Productivity: An Experimental Investigation”
C. Bram Cadsby (University of Guelph)
Fei Song (York University)
Francis Tapon (University of Guelph)
Discussant: Jean Louis Rulliere

Session2B : Public Goods 2 Chair : Y. Hamaguchi Room : Ib

- “Trust and Reciprocity: Groups versus Individuals and Behavior versus Perceptions”
Fei Song (York University)
Discussant: Shunichiro Sasaki
- “The Way Out of the Trap Experiments on Dynamic Coordination Games”
Jordi Brandts (Center of the Spanish Council for Scientific Research) Agnes Pinter (Universitat Autònoma de Barcelona)
Discussant: Gen Masumoto
- “The Effect of Group Competition in the Prisoner’s Dilemma Game”
Yoshio Iida (Kyoto Sangyo University)
Discussant: Arthur Schram

Session2C : Co-Creative Decision Making 2 Chair : S. Takeuchi Room : II

- “Charting the Market: Fundamental and Chartist Strategies in a Participatory Stock Market Experiment”
Laszlo Gulyas (Hungarian Academy of Sciences)
Discussant:
- “A study on Virtual Market for Pareto Optimal Mediation”
Toshiya Kaihara (Kobe University)
Susumu Fujii (Kobe University)
Discussant:
- Kanji Ueda (University of Tokyo)

Session3A : Market 3 Chair : A. Iwasaki Room : Ia

- “Minding Your Own Business”
Utteeyo Dasgupta (University of Arizona)
Discussant: Dao-Zhi Zeng
- “Recycling of Durable Goods: modeling and Experiments”
Nariaki Nishino (The University of Tokyo)
Hiroki Nakayama (The University of Tokyo)
Sobei. H. Oda (Kyoto Sangyo University)
K. Ueda (The University of Tokyo)
Discussant: Arthur Schram
- “Game theory and history of economic thought: The Cournot-Walras Correspondence as a test of the effectiveness of cheap talk in achieving efficient outcomes.”
Regis Deloche (Universite de France-Comte)
Discussant: Kouhei Iyori

Session3B : Public Goods 3 Chair : G. Masumoto Room : Ib

- "Experimental Evidence on the Multibidding Mechanism"
David Perez-Castrillo (Universitat Autònoma de Barcelona)
Robert F. Veszteg (Universitat Autònoma de Barcelona)
Discussant: Fei Song
- "Monitoring, reputation, and "greenbeard" reciprocity in a real-life public good game among the Shuar of Ecuador"
Michael E. Price (Indiana University Workshop in Political Theory and Policy Analysis)
Discussant: Takemi Fujikawa
- "Robustness against Longer Memory Strategies in Evolutionary Games"
Eizo Akiyama (University of Tsukuba)
Discussant: Plamen P. Doudov

Session3C : Accounting and Economics 1 Chair : K. Shimomura Room : II

- "The Roles of Transfers and Participation Constraints in Trade Negotiations"
Shyam Sunder (Yale University)
Koichi Hamada (Yale University)
- "Why Do Economists Favor Free Trade but Politicians Don't ?"
Koichi Hamada (Yale University)
Shyam Sunder (Yale University)
- "Equilibration of Real Financial Markets: Theory and Experimental Evidence"
Peter Bossaerts (California Institute of Technology)

Session4A : Monitoring Chair : N. Nishino Room : Ia

- "Never Seek that by Foul Means - Monitoring-, Which You May Have by Fair '- Financial Reporting: An Experimental Study"
Jean Louis Rulliere (Group d'Analyse et de Theorie Economique and CNRS)
Hind Sami (Group d'Analyse et de Theorie Economique and CNRS)
Discussant: Taiki Takahashi
- "Audit Credibility and the Audit Purchasing Costs: A Theory and an Experimental Investigation"
Tatsuhiko Kato (Meiji University)
Discussant: Hakan J. Holm

Session4B : Decision Making 1 Chair : E. Akiyama Room : Ib

- "Signal Qualities, Order of Decisions, and Informational" Cascades: Experimental Evidences
Shunichiro Sasaki (Osaka University)
Discussant: Regis Deloche
- "Neighborhood Information Exchange and Voter Participation: An Experimental Study"
Dean Karlan Princeton University
Jens Grosser (CREED)

Arthur Schram (CREED)

Discussant: Satoru Mizutan

- "Marginal Contribution of Information to Profit in a Zero-sum Game"

Hiroyasu Yoneda (Kyoto Sangyo University)

Gen Masumoto (Kyoto Sangyo University)

Sobei H. Oda (Kyoto Sangyo University)

Discussant: Christiane Schwieren

Session4C : Accounting and Economics 2 Chair : H. Yamaji Room : II

- "Independence in Appearance and in Fact: An Experimental Investigation"

Nick Dopuch (Washington University)

Ronald R. King (Washington University)

Rachel Schwertz (Washington University)

Discussant: Norio Sawabe (Kyoto University)

- Hidetoshi Yamaji (Kobe University)

Session5A : Mechanism Design Chair : Fei Song Room : Ia

- "Amended Final Offer Arbitration is Promising: Evidence from the Laboratory "

Cary Deck (University of Arkansas)

Amy Farmer (University of Arkansas)

Dao-Zhi Zeng (Kagawa University)

Discussant: Atsushi Iwasaki

- "Competition with Forward Contracts: A Laboratory Analysis Motivated by Electricity Market Design"

Jordi Brandts (Center of the Spanish Council for Scientific Research)

Paul Pezanis-Christou (Center of the Spanish Council for Scientific Research)

Arthur Schram (CREED)

Discussant: Takayuki Nozawa

- "Combinatorial Auction Design for Bandwidth Trading: An Experimental Study "

Chairs Kaskiris (University of California, Berkeley)

Rahul Jain (University of California, Berkeley)

Ram Rajagopal (University of California, Berkeley)

Pravin Varaiya (University of California, Berkeley)

Discussant: Eric O'N Fisher

Session5B : Decision Making 2 Chair : K. Nagase Room : Ib

- "Commuters' Perception of Travel Time and Uncertainty Under Congestion Pricing: Results of Six-Week Field Experiment "

Kengo Ushiwaka (Kyoto University)

Akira Kikuchi (Kyoto University)
Ryuichi Kitamura (Kyoto University)

Discussant: C. Bram Cadsby

- "How Does Overconfidence Affect Individual Decision Making"

Volha Baranova (CERGE-EI)
Zvezda Dermendzhieva (CERGE-EI)
Plamen P. Doudov (CERGE-EI)
Vitaliy Strohush (CERGE-EI)

Discussant: Yasuyo Hamaguchi

- "Bayesian Updating in Experiment: Good News and Bad News in Small Feedback-Based Decision Problems"

Takemi Fujikawa (University of Western Sydney)
Sobei H. Oda (Kyoto Sangyo University)

Discussant: Jana Vyrastekova

Session5C : Artificial Market Chair : H. Kita Room : II

- "Introducing Virtual Futures Market System "U-Market""

Yoshihiro Nakajima (Osaka City University)
Isao Ono (University of Tokushima)
Hiroshi Sato (National Defense Academy)
Naoki Mori (Osaka Prefecture University)
Hajime Kita (Kyoto University)
Hiroyuki Matsui (Kyoto University)
Kazuhisa Taniguchi (Kinki University)
Hiroshi Deguchi (Tokyo Institute of Technology)
Takao Terano (University of Tsukuba)
Yoshinori Shiozawa (Osaka City University)

Discussant: Toshiji Kawagoe

- "Usefulness and feasibility of market maker in a thin market"

Yoshihiro Nakajima (Osaka City University)
Yoshinori Shiozawa (Osaka City University)

Discussant:

- "Analyse the complexity of the financial time series using artificial market"

Jungo Ueki (Osaka City University)
Yoshihiro Nakajima (Osaka City University)

Discussant: Hiroyuki Matui

Session6B : Decision Making 3 Chair : T. Fujikawa Room : Ib

- "Separation of Intertemporal Substitution and Time Preference Race from Risk Aversion: Experimental Analysis"

Ryoko Wada (Keiai University)
 Sobei H. Oda (Kyoto Sangyo University)
Discussant: Jurgen Huber

- "FRAMES AND GAMES"

Jordi Brandts (Center of the Spanish Council for Scientific Research)
 Christiane Schwieren (Universitat Pompeu Fabra)

Discussant: Yoshio Iida

- "A Regression Model of Group Rationality by Member Rationality and Characteristics: Group Decision-making under Limited Rationality by Problem-solving and Persuasion"

Satoru Mizutani (Kyoto Sangyo University)
 Fumihiko Goto (Kyoto Sangyo University)

Discussant: Agnes Pinter

Session6C : Psychology Chair : Y. Nakajima Room : II

- "Neuroendocrine modulation of social memory and economic decision making"

Taiki Takahashi (Hokkaido University)

Discussant: C. Bram Cadsby

- "Biases in Bluffing - Theory and Experiments economic Decision-making"

Hakan J. Holm (Lund University)

Discussant: Metin Senbil

A.5.4 参加者

| | 参加者 | 所属 (大学) | 国 | 分類 |
|----|-----------------------|--|---------|-------|
| 1 | Vernon Smith | George Mason University | USA | 基調講演者 |
| 2 | Candace Smith | | USA | ご令室 |
| 3 | Geoffrey S. Underwood | George Mason University | USA | 秘書 |
| 4 | Tatsuyoshi Saijo | Osaka University | Japan | 招待講演者 |
| 5 | Daniel Friedman | University of California, Santa Cruz | USA | 招待講演者 |
| 6 | Ido Erev | Israel Institute of Technology | Israel | 招待講演者 |
| 7 | James C. Cox | University of Arizona | USA | 招待講演者 |
| 8 | Paul Bourguine | Ecole Polytechnique | France | 招待講演者 |
| 9 | Robin M. Hogarth | Universitat Pompeu Fabra, Barcelona | Spanish | 招待講演者 |
| 10 | Shyam Sunder | Yale University | USA | 招待講演者 |
| 11 | Akira Namatame | National Defense Academy | Japan | 組織委員 |
| 12 | Hidetoshi Yamaji | Kobe University | Japan | 組織委員 |
| 13 | Kanji Ueda | The University of Tokyo | Japan | 組織委員 |

| | 参加者 | 所属(大学) | 国 | 分類 |
|----|----------------------------|------------------------------------|-----------------|------|
| 14 | Katsuhiko Nagase | Tokyo Metropolitan University | Japan | 組織委員 |
| 15 | Sobei H. Oda | Kyoto Sangyo University | Japan | 組織委員 |
| 16 | Yoshio Iida | Kyoto Sangyo University | Japan | 組織委員 |
| 17 | Agnes Pinter | Universitat Autònoma de Barcelona | Spain | 報告者 |
| 18 | Arthur J.H.C. Schram | University of Amsterdam | The Netherlands | 報告者 |
| 19 | C. Bram Cadsby | University of Guelph | | 報告者 |
| 20 | Charis Andreou Kaskiris | University of California | USA | 報告者 |
| 21 | Christiane Schwieren | Universitat Pompeu Fabra | Spain | 報告者 |
| 22 | Dao-Zhi Zeng | Kagawa University | Japan | 報告者 |
| 23 | Eizo Akiyama | University of Tsukuba | Japan | 報告者 |
| 24 | Eric O'N. Fisher | The Ohio State University | U.S.A | 報告者 |
| 25 | Fei Song | York University | Canada | 報告者 |
| 26 | Hakan J. Holm | Lund University | Sweden | 報告者 |
| 27 | Hiroyasu Yoneda | Kyoto Sangyo University | Japan | 報告者 |
| 28 | Jungo Ueki | Osaka City University | Japan | 報告者 |
| 29 | Gen Masumoto | Kyoto Sangyo University | Japan | 報告者 |
| 30 | Taiki Takahashi | Hokkaido University | Japan | 報告者 |
| 31 | Jana Vyrastekova | Tilburg University | The Netherlands | 報告者 |
| 32 | Jurgen Huber | University of Innsbruck | Austria | 報告者 |
| 33 | Kazuhito Ogawa | Kyoto University | Japan | 報告者 |
| 34 | Kengo Ushiwaka | Kyoto University | Japan | 報告者 |
| 35 | Koichi Hamada | Yale University | USA | 報告者 |
| 36 | Laszlo Gulyas | MTA SZTAKI, ELTE | Hungary | 報告者 |
| 37 | Metin Senbil | Hiroshima University | Japan | 報告者 |
| 38 | Michael E. Price | Indiana University | USA | 報告者 |
| 39 | Nariaki Nishino | The University of Tokyo | Japan | 報告者 |
| 40 | Peter L. Bossaerts | California Institute of Technology | USA | 報告者 |
| 41 | Plamen P. Doudov | CERGE-EI | Czech | 報告者 |
| 42 | Regis Deloche | Université de Franche-Comté | France | 報告者 |
| 43 | Robert F. Veszteg | Universidad de Navarra | Spain | 報告者 |
| 44 | Ronald R. King | Washington University | USA | 報告者 |
| 45 | Ryoko Wada | Keiai University | Japan | 報告者 |
| 46 | Satoru Mizutani | Kyoto Sangyo University | Japan | 報告者 |
| 47 | Sawako Takeuchi | The University of Tokyo | Japan | 報告者 |

| | 参加者 | 所属（大学） | 国 | 分類 |
|----|--------------------|---|-----------|-----|
| 48 | Shunichiro Sasaki | Osaka University | Japan | 報告者 |
| 49 | Takemi Fujikawa | University of Western Sydney | Australia | 報告者 |
| 50 | Tatsuhiko Kato | Meiji University | Japan | 報告者 |
| 51 | Tomomi Kito | The University of Tokyo | Japan | 報告者 |
| 52 | Toshiya Kaihara | Kobe University | Japan | 報告者 |
| 53 | Utteeyo Dasgupta | University of Arizona | USA | 報告者 |
| 54 | Yasuyo Hamaguchi | Kyoto Sangyo University | Japan | 報告者 |
| 55 | Yoshihiro Nakajima | Osaka City University | Japan | 報告者 |
| 56 | Atsushi Doi | Mitsubishi Electric Corporation | Japan | 参加者 |
| 57 | Atsushi Iwasaki | Kyushyu University | Japan | 参加者 |
| 58 | Hiroyuki Goto | Kobe University | Japan | 参加者 |
| 59 | Iyori Kohei | Kyoto Sangyo University | Japan | 参加者 |
| 60 | Kaoru Takase | keio University | Japan | 参加者 |
| 61 | Kazuo Yamasaki | Tohoku Gakuin University | Japan | 参加者 |
| 62 | Kenichi Amaya | Kobe University | Japan | 参加者 |
| 63 | Ken-Ichi Shimoura | Kobe University | Japan | 参加者 |
| 64 | Mariko Yasugi | Kyoto Sangyo University | Japan | 参加者 |
| 65 | Mayumi Tamura | Kobe University | Japan | 参加者 |
| 66 | Miyake Yasuhisa | Kyoto University | Japan | 参加者 |
| 67 | Naoki Tsujikawa | Kagawa University | Japan | 参加者 |
| 68 | Naoko Nishimura | Shinsyu University | Japan | 参加者 |
| 69 | Nobutada Fujii | The University of Tokyo | Japan | 参加者 |
| 70 | Nobuyuki Takahashi | Hokkaido University | Japan | 参加者 |
| 71 | Noriko Ishikawa | Kobe University | Japan | 参加者 |
| 72 | Norio Sawabe | Kyoto University | Japan | 参加者 |
| 73 | Ryohei Haitani | Kyoto Sangyo University | Japan | 参加者 |
| 74 | Tadashi Sekiguchi | Kyoto University | Japan | 参加者 |
| 75 | Takayuki Nozawa | National Institution for Academic Degrees and University Evaluation | Japan | 参加者 |
| 76 | Tatsuhiko Shichijo | Osaka Prefecture University | Japan | 参加者 |
| 77 | Tetsuya Hirose | Kyoto Sangyo University | Japan | 参加者 |
| 78 | Toshihisa Toyoda | Hiroshima Shudo University | Japan | 参加者 |
| 79 | Toshiji Kawagoe | Future University - Hakodate | Japan | 参加者 |
| 80 | Tsunehiko Nakamura | St. Andrew's University | Japan | 参加者 |
| 81 | Yukihiko Funaki | Waseda University | Japan | 参加者 |
| 82 | Hatsuko Oda | | | 参加者 |
| 83 | Hikaru Taketani | Keio University | | 参加者 |

| | 参加者 | 所属（大学） | 国 | 分類 |
|----|--------------------------|-----------------------------|--------|-------|
| 84 | Joel J. Legendre-Koizumi | Groupe RTL | France | 報道機関 |
| 85 | Kamal Gaballa | Al-Ahram | Egypt | 報道機関 |
| 86 | H. K. Kang | Life & Dream Publishing Co. | Korea | 報道機関 |
| | Kazuya Masaki | Hayashibara Foundation | Japan | 林原共済会 |
| | Nobuhide Hayashihara | Hayashibara Foundation | Japan | 林原共済会 |
| | Keiko Sakurai | Hayashibara Foundation | Japan | 林原共済会 |
| | Ryoko Nakagawa | Hayashibara Foundation | Japan | 林原共済会 |
| | Yuko Nakamura | Hayashibara Foundation | Japan | 林原共済会 |
| | Yoshimi Kenmotsu | Hayashibara Foundation | Japan | 林原共済会 |
| | Kana Morishita | Hayashibara Foundation | Japan | 林原共済会 |
| | Masaatsu Akiyama | Hayashibara Foundation | Japan | 林原共済会 |
| | Gen'ichi Itani | Hayashibara Foundation | Japan | 林原共済会 |
| | Atsuko Tatehata | Hayashibara Foundation | Japan | 林原共済会 |
| | Hiroe Takahashi | Hayashibara Foundation | Japan | 林原共済会 |

A.5.5 その他

広報広報

- 京都産業大学作成のチラシをDM送付（他大学 80 通、企業・企業団体 1,016 通、一般市民 1,773 通 DM 発送合計 2,869 通）し、大学ホームページ掲載に案内と講演概要を掲載。
- 日本経済新聞 2004 年 11 月 25 日（朝刊）
- 朝日新聞 2004 年 12 月 5 日（朝刊）
- 京都新聞 2004 年 12 月 7 日（朝刊）
- 山陽新聞 2004 年 12 月 6 日
- 日本経済新聞 2004 年 12 月 13 日（夕刊）
- Foreign Press Center Japan

印刷物

- Markets, Capital Markets, and Globalization ¹
- Abstracts of the Papers Presented at International Conference Experiments in Economic Sciences: New Approaches to Solving Real-world Problems ²
- The Experimental Economics Week in Honour of Dr Vernon L. Smith (Vol. One, Two) ³

*10, Smith 教授の略歴、論文要旨、京都産業大学における実験経済学の研究と教育を収録し、一般講演会当日に配布。

*11, 会議プログラム、招待講演者および分科会での全報告者のアブストラクトを収録。全 69 ページ

*12, Smith 教授の講演、会議プログラム、招待講演、分科会での全報論文を収録。この論文集は 4 冊作り、国会図書館、林原共済会、京都産業大学図書館、京都産業大学オープン・リサーチ・センター実験経済学プロジェクトに所蔵した。さらに、CDROM にしたものを招待講演者全員に贈呈し、希望する報告者、参加者は林原共済会から郵送した。Vol. One は全 499 ページ、Vol. Two は全 625 ページ。ISBN: 4-9902423-1-9(volume 1)、4-9902423-2-7(volume 2)、4-9902423-0-0(CDROM)。出版社：Hayashibara Foundation。

関連出版物

International Conference Experiments in Economic Sciences: New Approaches to Solving Real-world Problems [edited by S. H. Oda, to be published by Springer-Verlag, Germany]

A.6 支出

A.6.1 支出実績の概要

(千円)

¹Smith 教授の略歴、論文要旨、京都産業大学における実験経済学の研究と教育を収録し、一般講演会当日に配布。

²会議プログラム、招待講演者および分科会での全報告者のアブストラクトを収録。全 69 ページ

³Smith 教授の講演、会議プログラム、招待講演、分科会での全報論文を収録。この論文集は 4 冊作り、国会図書館、林原共済会、京都産業大学図書館、京都産業大学オープン・リサーチ・センター実験経済学プロジェクトに所蔵した。さらに、CDROM にしたものを招待講演者全員に贈呈し、希望する報告者、参加者は林原共済会から郵送した。Vol. One は全 499 ページ、Vol. Two は全 625 ページ。ISBN: 4-9902423-1-9(volume 1)、4-9902423-2-7(volume 2)、4-9902423-0-0(CDROM)。出版社：Hayashibara Foundation。

| 年度・区分 | 支出額 | 内訳 | | | | | | 備考 | |
|--------|---------|---------|---------|----------|-------|-----|--------|----|--|
| | | 法人負担 | 私学助成 | 共同研究機関負担 | 受託研究等 | 寄付金 | その他() | | |
| 平成13年度 | 施設 | 145,111 | 73,062 | 72,049 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 装置 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 設備 | 13,071 | 6,536 | 6,535 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 研究費 | 15,137 | 7,569 | 7,568 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 平成14年度 | 施設 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 装置 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 設備 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 研究費 | 14,336 | 8,496 | 5,840 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 平成15年度 | 施設 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 装置 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 設備 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 研究費 | 16,321 | 8,772 | 7,549 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 平成16年度 | 施設 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 装置 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 設備 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 研究費 | 23,587 | 12,369 | 11,218 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 平成17年度 | 施設 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 装置 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 設備 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 研究費 | 19,361 | 10,001 | 9,360 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 総額 | 施設 | 145,111 | 73,062 | 72,049 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 装置 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 設備 | 13,071 | 6,536 | 6,535 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 研究費 | 88,742 | 47,207 | 41,535 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 総計 | 246,924 | 126,805 | 120,119 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |

平成17年度は予定額。

A.6.2 施設と設備の概要

第4研究室棟にオープン・リサーチ・センター（657m²）を建設し、実験室とプロジェクトに参加する専任研究者4名の研究室などを整備した（事業経費：145,111,783円、うち私学助成72,049,000円）。特に実験室（75m²）と付随する実験準備室（25m²）は、本プロジェクトの中心的な施設として整備された（事業経費：13,071,660円、うち私学助成6,535,000円）。実験室および実験準備室の主な研究装置は以下の通り。

ハードウェア仕様

| 品名 | 型番 | 数量 |
|--------------------|------------------------------------|----|
| 被験者用 PC | IBM IntelliStation E Pro | 26 |
| 被験者用液晶モニタ | Mitsubishi RDT 152X | 26 |
| 被験者用 PC（2003年追加分） | IBM IntelliStation E Pro | 3 |
| 被験者用 PC（2003年追加分） | Mitsubishi RDT 152E | 3 |
| 実験用サーバー | IBM @Server xSeries 232 | 2 |
| 作業用 PC | IBM NetVista NV M41-416012840G | 2 |
| サーバー・作業用 PC 用液晶モニタ | Mitsubishi RDT 183S | 4 |
| スイッチングハブ | WS-C2950-24 | 2 |
| プリンタ複合機 | Fuji Xerox DocuCentre Color 320 CP | 1 |

什器（実験室）

| 品名 | 型番 | 数量 |
|---------|------------------|----|
| 実験専用デスク | オカムラ DS20LN-MB51 | 28 |
| デスクパネル | オカムラ DS00P | 28 |
| 実験専用椅子 | オカムラ CG14GZ-FM36 | 28 |
| 教卓 | オカムラ 9304HZ-MB51 | 1 |
| 教卓用椅子 | オカムラ CS25GS-FM16 | 1 |

什器（実験準備室）

| 品名 | 型番 | 数量 |
|----------|------------------|----|
| OA テーブル | オカムラ D388EP-MB51 | 2 |
| 椅子 | オカムラ CG14GZ-FM36 | 6 |
| 片袖デスク | オカムラ DS16LD-MB51 | 2 |
| ホワイトボード | オカムラ 4380FB-H01 | 1 |
| 丸テーブル | オカムラ 8176BT M937 | 1 |
| 書架（単式1連） | オカムラ 6L52DA-Z13 | 1 |
| パーティション | | 2 |

AV 機器

| 品名 | 型番 | 数量 |
|-----------------|------------------|----|
| 液晶プロジェクタ | 横河 MAT D-3100 | 1 |
| 書画カメラ | 横河 MAT DMC-27X | 1 |
| ビデオデッキ | ビクター HR-DVS2 | 1 |
| アップコンバーター | デジタルアーツ DSC-06U | 1 |
| カセットデッキ | 松下電器 RS-BX4010 | 1 |
| RGB スイッチャー | ALTINEX MX2416RM | 1 |
| ハイパワーアンプ | 松下電器 WA-H120 | 1 |
| ワイヤレスユニット | 松下電器 WA-XU01 | 1 |
| チューナーユニット | 松下電器 WA-D4000 | 1 |
| ワイヤレスアンテナ | 松下電器 WA-4950 | 2 |
| ワイヤレスマイク（ハンド型） | 松下電器 WA-4100 | 1 |
| ワイヤレスマイク（タイピン型） | 松下電器 WA-4900 | 1 |
| スピーカー（天井吊り下げ） | 松下電器 WS-A35H | 2 |
| スピーカー（天井埋め込み） | 松下電器 WS-6500A | 4 |
| 100 インチ電動スクリーン | オーエス ET-V100S | 1 |
| 機器収納サイドキャビネット | （特注） | 1 |
| RGB 分配器 | ALTINEX DA1907SX | 1 |

A.6.3 年度別支出実績

(千円)

| 年度 | 平成 13 年度 | | | |
|---|----------|-----------------|-------|------------------------------------|
| 小科目 | 支出額 | 積算内容 | | |
| | | 主な用途 | 金額 | 主な内容 |
| 教育研究経費支出 | | | | |
| 消耗品費 | 2,992 | 実験用消耗品 | 2,992 | デジタルビデオカセット, タフガード, 封筒他 |
| 光熱水費 | 0 | | 0 | |
| 通信運搬費 | 89 | 宅配便 | 89 | 実験用資料送付 |
| 印刷製本費 | 0 | | 0 | |
| 旅費交通費 | 1,302 | 海外実験他 | 1,302 | 海外旅費(シドニー他)・国内旅費 |
| 報酬・委託料 | 2,733 | 翻訳, 機器設置, 被験者謝金 | 2,733 | 翻訳, 機器搬入, 調整, 配線費用, 被験者実験謝金 |
| (賃借料) | 20 | 海外でのバス賃借 | 20 | 海外実験に伴うバスリース料 |
| 計 | 7,136 | | 7,136 | |
| アルバイト関係支出 | | | | |
| 人件費支出 (兼務職員) | 2,347 | 実験補助 | 1,149 | 時給 900 円, 年時間数 1277 時間 |
| | | | 1,198 | 時給 900 円, 年時間数 1332 時間 実人数 31 人 |
| 教育研究経費支出 | 0 | | 0 | |
| 計 | 2,347 | | 2,347 | |
| 設備関係支出 (1 個又は 1 組の価格が 500 万円未満のもの) | | | | |
| 教育研究用機器備品 | 3,866 | 研究用機器 | 3,866 | マルチメディアプレゼンテーションシステム他 |
| 図書 | 0 | | 0 | |
| 計 | 3,866 | | 3,866 | |
| 研究スタッフ関係支出 | | | | |
| リサーチ・アシスタント | 606 | 被験者募集業務, 実験補助等 | 606 | 学内 1 人 |
| ポスト・ドクター | 1,182 | 実験記録管理, 謝金関係業務等 | 1,182 | 学内 1 人 |
| 研究支援推進経費 | 0 | | 0 | |
| 計 | 1,788 | | 1,788 | 学内 2 人 |

| 年度 | 平成 14 年度 | | | |
|------------------------------------|----------|---------------------------|-------|------------------------------------|
| 小科目 | 支出額 | 積算内容 | | |
| | | 主な使途 | 金額 | 主な内容 |
| 教育研究経費支出 | | | | |
| 消耗品費 | 417 | 実験用消耗品 | 417 | 実験参加者への景品，他消耗品 |
| 光熱水費 | 0 | | 0 | |
| 通信運搬費 | 0 | | 0 | |
| 印刷製本費 | 0 | | 0 | |
| 旅費交通費 | 1,096 | 資料収集 | 1,096 | 海外実験・サマースクール参加・ 専門家招聘 |
| 報酬・委託料 | 1,399 | 被験者謝金，保守料等 | 1,399 | 実験参加者への謝礼，実験用ハードウェア保守料，プリンター使用料 |
| () | | | | |
| 計 | 2,912 | | 2,912 | |
| アルバイト関係支出 | | | | |
| 人件費支出 (兼務職員) | 1,395 | 実験補助 | 1,395 | 時給 900 円，年間時間数 1550 時間 実人数 15 人 |
| 教育研究経費支出 | 0 | | 0 | |
| 計 | 1,395 | | 1,395 | |
| 設備関係支出 (1 個又は 1 組の価格が 500 万円未満のもの) | | | | |
| 教育研究用機器備品 | 974 | 研究用備品 | 974 | 実験用クライアント (本体) 他 |
| 図書 | 0 | | 0 | |
| 計 | 974 | | 974 | |
| 研究スタッフ関係支出 | | | | |
| リサーチアシスタント | 1,612 | 被験者募集業務，実験補助等 | 1,612 | 学内 2 人 |
| ポスト・ドクター | 7,443 | 実験室情報環境の管理，実験記録管理，謝金関係業務等 | 7,443 | 学内 2 人 |
| 研究支援推進経費 | 0 | | 0 | |
| 計 | 9,055 | | 9,055 | 学内 4 人 |

| 年度 | 平成 15 年度 | | | |
|---|----------|-------------------|--------|----------------------------------|
| 小科目 | 支出額 | 積算内容 | | |
| | | 主な使途 | 金額 | 主な内容 |
| 教育研究経費支出 | | | | |
| 消耗品費 | 1,007 | 実験費用, 一般消耗品等 | 1,007 | カード・プリンター使用料・トナー |
| 光熱水費 | | | | |
| 通信運搬費 | | | | |
| 印刷製本費 | 192 | 中間報告書印刷費 | 192 | 中間報告書の作成 |
| 旅費交通費 | 832 | 調査研究・学会発表・海外研究者招聘 | 832 | 国内旅費・海外旅費 |
| 報酬・委託料 | 2,664 | 謝金及び業務委託料 | 2,664 | 実験参加者への報酬, 実験室ハードウェアの保守 |
| (諸会費) | 3 | 参加費 | 3 | 参加費 |
| 計 | 4,698 | | 4,698 | |
| アルバイト関係支出 | | | | |
| 人件費支出 (兼務職員) | 874 | 実験補助 | 874 | 時給 900 円, 年時間数 972 時間 実人数 4 人 |
| 教育研究経費支出 | | | | |
| 計 | 874 | | 874 | |
| 設備関係支出 (1 個又は 1 組の価格が 500 万円未満のもの) | | | | |
| 教育研究用機器備品 | 371 | パソコン | 371 | パソコン |
| 図書 | 0 | | 0 | |
| 計 | 371 | | 371 | |
| 研究スタッフ関係支出 | | | | |
| リサーチアシスタント | 2,756 | | 2,756 | 学内 3 人 |
| ポスト・ドクター | 7,622 | | 7,622 | 学内 2 人 |
| 研究支援推進経費 | 0 | | 0 | |
| 計 | 10,378 | | 10,378 | 学内 5 人 |

| 年度 | 平成 16 年度 | | | |
|---|----------|-----------------------|--------|---|
| 小科目 | 支出額 | 積算内容 | | |
| | | 主な用途 | 金額 | 主な内容 |
| 教育研究経費支出 | | | | |
| 消耗品費 | 904 | プリンタ使用料金, 一般消耗品 | 904 | プリンタ使用料金・一般消耗品など |
| 光熱水費 | | | | |
| 通信運搬費 | 262 | 講演会案内発送等 | 262 | 講演会案内発送等 |
| 印刷製本費 | 178 | 国際会議予稿集・z-Tree マニュアル等 | 178 | 国際会議予稿集・z-Tree マニュアル・経済学教育テキスト作成・ポスター作成 |
| 旅費交通費 | 3,567 | 国内出張・海外出張・専門家の招聘費用等 | 3,567 | 国内旅費・外国旅費・基調講演者招聘費 |
| 賃借料 | 827 | 機器の借用 | 827 | 講演会用同時通訳機器 |
| 報酬・委託料 | 6,217 | 謝金・専門知識の提供・業務委託費 | 6,217 | 実験参加者への謝金、講演謝金 |
| (その他) | 38 | 学会参加費等 | 38 | 学会参加費等 |
| 計 | 11,993 | | 11,993 | |
| アルバイト関係支出 | | | | |
| 人件費支出 (兼務職員) | 1,644 | 実験補助 | 1,644 | 時給 900 円, 年間時間数 1827 時間 実人数 5 人 |
| 教育研究経費支出 | | | | |
| 計 | 1,644 | | 1,644 | |
| 設備関係支出 (1 個又は 1 組の価格が 500 万円未満のもの) | | | | |
| 教育研究用機器備品 | | | | |
| 図書 | | | | |
| 計 | | | | |
| 研究スタッフ関係支出 | | | | |
| リサーチ・アシスタント | 2,400 | | 2,400 | 学内 2 人 |
| ポスト・ドクター | 7,550 | | 7,550 | 学内 2 人 |
| 研究支援推進経費 | 0 | | 0 | |
| 計 | 9,950 | | 9,950 | 学内 4 人 |

| 年度 | 平成 17 年度 | | | |
|------------------------------------|----------|------------------|--------|-----------------------------------|
| 小科目 | 支出額 | 積算内容 | | |
| | | 主な用途 | 金額 | 主な内容 |
| 教育研究経費支出 | | | | |
| 消耗品費 | 900 | 一般消耗品 | 900 | プリンタ使用料金・パソコン関連消耗品他 |
| 光熱水費 | | | | |
| 通信運搬費 | | | | |
| 印刷製本費 | 1,000 | 報告書・経済学教育教材印刷 | 1,000 | 最終報告書作成、経済学教育教材印刷 |
| 旅費交通費 | 2,791 | 調査研究・客員出張費 | 2,791 | 国内旅費・外国旅費・専門家の招聘費用 |
| 賃借料 | | | | |
| 報酬・委託料 | 2,953 | 機器の保守料・実験参加者への謝金 | 2,953 | 実験室ハードウェア保守料、実験参加者への謝礼 |
| () | | | | |
| 計 | 7,644 | | 7,644 | |
| アルバイト関係支出 | | | | |
| 人件費支出 (兼務職員) | 897 | 実験補助 | 897 | 時給 900 円,年間時間数 997 時間 実人数 11 人 |
| 教育研究経費支出 | | | | |
| 計 | 897 | | 897 | |
| 設備関係支出 (1 個又は 1 組の価格が 500 万円未満のもの) | | | | |
| 教育研究用機器備品 | 500 | パソコン | 500 | パソコン |
| 図書 | | | | |
| 計 | 500 | | 500 | |
| 研究スタッフ関係支出 | | | | |
| リサーチ・アシスタント | 3,600 | | 3,600 | 学内 3 人 |
| ポスト・ドクター | 6,720 | | 6,720 | 学内 2 人 |
| 研究支援推進経費 | 0 | | 0 | |
| 計 | 10,320 | | 10,320 | 学内 5 人 |

付録B プロジェクトの研究成果

この付録には、京都産業大学の教員または客員研究員またはPDまたはRAとして正式にプロジェクトに所属した研究者および大学院生の（所属した期間における）全ての研究業績を収める。ただし は査読を受けたものである。

B.1 図書

- A1 八杉満利子, 林晋 (著), 『お話・数学基礎論』, ブルーバックス, 講談社, 2002.
- A2 Mariko Yasugi and Nicholas Passell(translation), *Memoirs of a proof theorist*, by Gaisi Takeuti, World Scientific, 2003.

B.2 論文（図書に収録）

2001年

- B1 Yoshiki Tsujii, Mariko Yasugi and Takakazu Mori, “Some properties of the effectively uniform topological space”, *Computability and Complexity in Analysis, Lecture Notes in Computer Science* 2064, eds. Jens Blanck, Vasco Brattka, Peter Hertling, Springer, pp. 336–356, 2001.

2002年

- B2 Mariko Yasugi and Masako Washihara, “A note on Rademacher functions and computability”, *Words, Languages and Combinatorics III: Proceedings of the Third International Conference on Words, Languages and Combinatorics*, eds. Masami Ito, Teruo Imaoka, World Scientific Pub Co Inc, pp. 466–475, 2002.

2003年

- B3 Masahiro Nakata, Norimichi Saneto and Mariko Yasugi, “An application of NDJ_{prop} to the catch and throw mechanism”, *Proceedings of the 7th and 8th Asian Logic Conferences*, eds. Rod Downey, Qiu Yu Hui, Tung Shih Ping, Ding Decheng, Mariko Yasugi, World Scientific Pub Co Inc, pp. 328–342, 2003.
- B4 Kazuteru Miyazaki, Masaaki Ida, Fuyuki Yoshikane, Takayuki Nozawa and Hajime Kita, “On development of a course classification support system using syllabus data”, *Computational Engineering I: Advances in Continuum Mechanics and Electromagnetics*, eds. Toshimasa Honma, Masa Tanaka,

Hajime Igarashi, Takashi Matsumoto, Japan Society for Computational Methods in Engineering (JASCOM), pp. 311–318, 2004.

2004 年

- B5 Kazuhito Ogawa, Kouhei Iyori, and Sobei H. Oda, “Price Competition Between Middlemen: An Experimental Study”, *Gaming, Simulations, and Society: Research Scope and Perspective*, eds. R. Shiratori, K. Arai, F. Kato, Springer Verlag, pp. 59–68, 2004.
- B6 Kazuhisa Taniguchi, Yoshihiro Nakajima and Fumihiko Hashimoto, “A Report of U-Mart Experiments by Human Agents”, *Gaming, Simulations, and Society: Research Scope and Perspective*, eds. R. Shiratori, K. Arai, F. Kato, Springer Verlag, pp. 49–57, 2004.
- B7 小田宗兵衛「2.3 章：経済学における共創」, 上田完次 (編著)『共創とは何か』, 培風館, pp. 108–133, (2004) .

B.3 論文 (学術誌に収録)

2001 年

- C1 中島義裕, 「計算機による発見」, 『大阪市立大学経済学雑誌別冊』, Vol. 102, pp. 27–33, 2001 .
- C2 Shuji Shinohara, Yukio-Pegio Gunji, “Emergence and collapse of money through reciprocity”, *Applied Mathematics and Computation*, 117, pp. 131–150, 2001.
- C3 八杉満利子, 小田宗兵衛, 「体系からの脱出：証明論による解析」, *科学基礎論研究*, 第 96 号 (第 28 巻 2 号), pp. 33–38, 2001.

2002 年

- C4 Yoshihiro Nakajima, “Nonlinear properties found in actual markets”, *Journal of the Korean Physical Society*, Vol. 40, No. 6, pp. 1096–1099, 2002.
- C5 Yoshihiro Nakajima and Yukio Pegio Gunji, “The dynamically changing model of exchange as interaction between cone-relation and equivalent-relation”, *Applied mathematics and computation*, Vol. 126, No. 2–3, pp. 299–318, 2002.
- C6 Takayuki Nozawa and Yoshihiro Miyake, “Description of systematicity intrinsic to the dynamics of complex-system models”, *Chaos, Solitons & Fractals*, Vol. 14, Issue 7, pp. 1095–1115, 2002.
- C7 Mariko Yasugi, Vasco Brattka and Masako Washihara, “Computability aspects of some discontinuous functions”, *Scientiae Mathematicae Japonicae*, Vol. 55, No. 3, pp. 405–419 (*Scientiae Mathematicae Japonicae Online*, Vol. 5(2001), pp. 405–419), 2002.

- C8 Mariko Yasugi and Sobei H. Oda, “A Note on the Wise Girls Puzzle”, *Economic Theory*, Vol. 19, No. 1, pp. 145–156, 2002
- C9 Mariko Yasugi, Yoshiki Tsujii and Takakazu Mori, “Metriization of the uniform space and effective convergence”, *Mathematical Logic Quarterly*, 48, Suppl. 1, pp. 123–130, 2002.
- C10 Mariko Yasugi and Yoshiki Tsujii, “Two notions of sequential computability of a function with jumps”, *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, Vol. 66, No. 1, (Article number 17), pp. 1–11, 2002.
- C11 小田宗兵衛・西野成昭・上田完次, 「経済学における実験」, 『統計数理研究所共同研究レポート 163 : 動的システムの情報論 (2)』, pp. 35–57, 2002 .
- C12 篠原修二, 「貨幣はどのように生成するのか - ヤドカリ実験による考察 - 」, 『経済セミナー』, 日本評論社, Vol. 572, pp. 85–90, 2002.
- C13 中島義裕, 「JAVA によるプログラミングの基礎」, 『大阪市立大学経済学雑誌別冊』, Vol. 103, pp. 38–46, 2002 .

2003 年

- C14 Yasuyo Hamaguchi, Satoshi Mitani and Tatsuyoshi Saijo, “Does the Varian Mechanism Work?–Emissions Trading as an Example”, *International Journal of Business and Economics*, Vol. 2, No. 2, pp. 85–96, 2003.
- C15 Atsushi Iwasaki, Shuichi Imura, Sobei H. Oda, Itsuo Hatono and Kanji Ueda, “Does Reinforcement Learning Simulate Threshold Public Goods Games?: A Comparison with Subject Experiments”, *the Special Issue on Software Agent and Its Applications of the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, Transaction on Information and Systems*, Vol. E86-D, No. 8, pp. 1335–1343, 2003
- C16 Kanji Ueda, Nariaki Nishino and Sobei H. Oda, “Integration of Economics into Engineering with an Application to Recycling Market”, *Annals of CIRP* vol. 52(no. 1), pp. 33–36, *The 53rd CIRP General Assembly*, Hilton Montreal Boaventure Hotel, Montreal, Canada, 24–30 August 2003.
- C17 Mariko Yasugi and Sobei H. Oda, “Notes on bounded rationality”, *Scientiae Mathematicae Japonicae*, Vol. 57, No. 1, pp. 83–92, 2003
- C18 井寄幸平, 鳩野逸生, 小田宗兵衛, 上田完次, 「ネットワーク型囚人のジレンマにおける協調行動の創発に関する研究」, 『システム制御情報学会論文誌』, Vol. 16, No. 9, pp. 468–475, 2003.
- C19 小田宗兵衛, 「経済学における実験: オープン・リサーチ・センターの最初の 2 年間の研究を振りかえって」, 『物性研究』, Vol. 80, No. 6, pp. 831–845, 2003.
- C20 中島義裕, 松井啓之, 「U-Mart プロジェクトの概要」, 『計測と制御』, 特集号, Vol. 43, No. 12, pp. 956–961, 2003.

- C21 八杉満利子, 「不連続関数の極限計算可能性 - 意義と問題点」, 『科学基礎論研究』, Vol. 30, No. 2, pp. 13-18, 2003.

2004年

- C22 Yasuyo Hamaguchi, “Does Observation of Others Affect People’s Cooperative Behavior? An Experimental Study on Threshold Public Goods games”, 『大阪大学経済学』, Vol. 54, No. 2, pp. 46-81, 2004.
- C23 岩崎敦, 横尾真, 寺田堅二, 「架空名義入札に頑健な公開競上げ式複数同一財オークションプロトコル」, 『人工知能学会誌』, Vol. 19, No. 4 SP-G, pp. 334-342, 2004.
- C24 岩崎敦, (書評) 『ゲーム理論と進化ダイナミクス』, 生天目章 (著), 森北出版, 『人工知能学会誌』, 2004.
- C25 中島義裕, (書評) 『人工市場 市場分析の複雑系アプローチ』, 和泉 潔 (著), 森北出版, 『シミュレーション&ゲーミング』, Vol. 14, No. 2, pp. 196-197, 2004.
- C26 舛本現, 「ルールの記述とゲーム」, 『数理科学』, サイエンス社, No. 494, pp. 70-77, 2004.
- C27 宮崎和光, 井田正明, 芳鐘冬樹, 野澤孝之, 喜多一, 「電子化シラバスに基づく学位授与のための科目分類システムの検討」, 『大学評価・学位授与機構研究紀要「学位研究」』, No. 18, pp. 133-150, 2004.

2005年

- C28 Takemi Fujikawa and Sobei H. Oda, “A Laboratory Study of Bayesian Updating in Small Feedback-Based Decision Problems”, *American Journal of Applied Sciences*, Vol. 2, No. 7, pp. 1129-1133, 2005
- C29 Atsushi Iwasaki, Makoto Yokoo and Kenji Terada, “A Robust Open Ascending-price Multi-unit Auction Protocol against False-name Bids”, *Decision Support Systems*, Vol. 39, Issue 1, pp. 23-39, 2005.
- C30 Gen Masumoto and Takashi Ikegami, “A new formalization of a meta-game using the lambda calculus”, *Biosystems*, Vol. 80, No. 3, pp. 219-231, 2005.
- C31 Yoshiki Tsujii, Mariko Yasugi and Takakazu Mori, “Sequential computabilities of a function – diagonal space and limiting recursion –”, *Proceedings of CCA2004, Electronic Notes on Computer Science* 120, pp. 187-199, 2005.
- C32 Kanji Ueda, Nariaki Nishino, Hiroki Nakayama and Sobei H. Oda, “Decision Making and Institutional Design for Product Recycling Management”, *Annals of CIRP*, Vol. 54, No. 1, pp. 407-412, 2005.
- C33 Mariko Yasugi and Yoshiki Tsujii, “Computability of a function with jumps – Effective uniformity and limiting recursion –”, *Topology and its Applications (Elsevier Science)*, No. 146-147, pp. 563-582, 2005.

- C34 井田 正明, 野澤 孝之, 芳鐘 冬樹, 宮崎 和光, 喜多 一, 「シラバスデータベースシステムの構築と専門教育課程の比較分析への応用」, 『大学評価・学位研究』, No. 2, pp. 87-97, 2005.
- C35 岩崎敦, 野澤孝之, 「経済実験室の設計と運営」, 『京都産業大学論集社会科学系列第 22 号』, 京都産業大学, pp. 147-170, 2005.
- C36 岩崎敦, 松田昌史, 横尾真, 「複数同一財権利配分型オークションの安定性: 被験者実験による検証」, 『電子情報通信学会誌』, Vol. J88-D1, No. 9, pp. 1321-1330, 2005.
- C37 小田宗兵衛, 「市場はどのような組織か」, 『組織科学』, Vol. 39, No. 1, pp. 26-35, 2005.
- C38 門田智則「実験参加募集の実際」『京都産業大学論集社会科学系列第 22 号』, 京都産業大学, pp. 129-145, 2005.
- C39 西野成昭, 小田宗兵衛, 上田完次, 「リサイクルシステムにおける行動主体の意思決定と制度設計: 使用済み製品の回収市場における分析」, 『電子情報通信学会誌』, Vol. J88-D1, No. 9, pp. 1312-1320, 2005.
- C40 野澤孝之, 井田正明, 喜多一, 「教育支援情報システムの現状 - 明治大学の事例調査報告 - 」, 『大学評価・学位研究』, No. 1, pp. 145-153, 2005.
- C41 野澤孝之, 井田正明, 芳鐘冬樹, 宮崎和光, 喜多一, 「シラバスの文書クラスタリングに基づくカリキュラム分析システムの構築」, 『情報処理学会論文誌』, Vol. 46, No. 1, pp. 289-300, 2005.
- C42 野澤 孝之, 井田 正明, 芳鐘 冬樹, 宮崎 和光, 喜多 一, 「シラバス-専門用語の相互クラスタリングを用いたカリキュラム分析システムの改善」, 『日本知能情報ファジィ学会誌』, Vol. 17, No. 5, in press, 2005.
- C43 宮崎和光, 井田正明, 芳鐘冬樹, 野澤孝之, 喜多一, 「大学評価・学位授与機構における学位授与のための科目分類支援システムの試作」, 『情報処理学会論文誌』, Vol. 46, No. 3, pp. 782-791, 2005.
- C44 宮崎 和光, 井田 正明, 芳鐘 冬樹, 野澤 孝之, 喜多 一, 「分類候補数の能動的調整を可能にした学位授与事業のための科目分類支援システムの提案と評価」, 『日本知能情報ファジィ学会誌』, Vol. 17, No. 5, in press, 2005.
- C45 芳鐘冬樹, 井田正明, 野澤孝之, 宮崎和光, 喜多一, 「ウェブ文書からの情報抽出に関する研究の概観: シラバスデータへの適用に向けて」, 『大学評価・学位研究』, No. 1, pp. 133-143, 2005.

2006 年

- C46 Kazuhito Ogawa, Yusuke Koyama and Sobei H. Oda, "A Middleman in An Ambiguous Situation: Experimental Evidence", *Journal of Socio-Economics*, Vol. ???, No. ???, pp. ???, to appear

B.4 論文（予稿集に収録）

2001 年

- D1 Kouhei Iyori, Itsuo Hatono, Sobei H. Oda and Kanji Ueda, “An Application of the Market Microstructure Theory to Markets for Recyclable Products”, *The Proceedings of EcoDesign 2001: Second International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing ???*, pp. 595–600, *EcoDesign 2001: The Second International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, Tokyo Big Sight, Tokyo, Japan, 12–15 December 2001.
- D2 篠原修二, 「オカヤドカリの殻交換における交換媒体の萌芽」, 信学技報, AI2000-61: pp. 31–36, 2001.
- D3 Kanji Ueda, Nariaki Nishino, Atsushi Iwasaki, Sobei H. Oda and Itsuo Hatono, “Design and Evaluation of the Recycle of Home Appliances: An Application of Market Microstructure Theory”, *The Proceedings of EcoDesign 2001: Second International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing ???*, pp. 678–683, *EcoDesign 2001: The Second International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, Tokyo Big Sight, Tokyo, Japan, 12–15 December 2001.

2002 年

- D4 Kouhei Iyori, Itsuo Hatono, Sobei H. Oda and Kanji Ueda, “The Emergence of Cooperative Behaviour in the Prisoners’ Dilemma Network: Simulations and Experiments”, *The Proceedings of the Sixth International Conference on Complex Systems (CS02)* edited by Akira Namatame, D. Green, Yuji Aruka and Hiroshi Sato, pp. 134–140, *The 6th International Conference on Complex Systems (CS02)*, Chuo University, Tokyo, Japan, 9–11 September 2002.
- D5 Atsushi Iwasaki, Shuichi Imura, Sobei H. Oda, Itsuo Hatono and Kanji Ueda, “Does Reinforcement Learning Simulate Threshold Public Goods Games?: A Comparison with Subject Experiments”, 『エージェント合同シンポジウム (Joint Agent Workshop 2002) 講演論文集』, pp. 182–187; 『エージェント合同シンポジウム』, 函館プリンスホテル, 2002 年 11 月 13–15 日.
- D6 Atsushi Iwasaki, Sobei H. Oda, Nariaki Nishino, Itsuo Hatono and Kanji Ueda, “How Players with Reinforcement Learning Play in Cheap-talk Game: Comparison Between Simulations and Experiments”, *The Proceedings of The 4th International Workshop on Emergent Synthesis (IWES’02) ???*, pp. 209–215, *The 4th International Workshop on Emergent Synthesis*, Kobe University, Kobe, Japan, 9–10 May 2002.
- D7 Kazuhito Ogawa, Yusuke Koyama and Sobei H. Oda, “An Experimental Approach to Market Microstructure”, *The Proceedings of the Sixth International Conference on Complex Systems (CS02)* edited by Akira Namatame, D. Green, Yuji Aruka and Hiroshi Sato, pp. 124–133, *The 6th International Conference on Complex Systems (CS02)*, Chuo University, Tokyo, Japan, 9–11 September 2002.

- D8 Takao Terano, Yoshinori Shiozawa, Hiroshi Deguchi, Hajime Kita, Hiroyuki Matsui, Hiroshi Sato, Isao Ono and Yoshihiro Nakajima, “U-Mart: An artificial market testbed for economics and multi-agent systems”, *The Proceedings of the 2nd International Workshop on Agent-based Approaches in Economics and Social Complex Systems*, pp. 55–62, 2002.
- D9 小川一仁・小山友介・小田宗兵衛, 「市場の価格形成機能への実験経済学的接近」 in 『エージェント合同シンポジウム (Joint Agent Workshop 2002) 講演論文集』 pp. 169–176; 『エージェント合同シンポジウム』, 函館プリンスホテル, 2002年11月13–15日.

2003年

- D10 Takemi Fujikawa and Sobei H. Oda, “Decision Making Under Uncertainty and Ambiguity”, *The Proceedings of the Seventh Experimental Economics Conference of Japan*, pp. 130–148; 『第7回実験経済学コンファレンス』, 京都産業大学, 2003年5月24–25日.
- D11 Yasuyo Hamaguchi, Satoshi Mitani and Tatsuyoshi Saijo, “Does the Varian Mechanism Work?: Emissions Trading as an Example”, *The Proceedings of the Seventh Experimental Economics Conference of Japan*, pp. 169–199, 2003.
- D12 Atsushi Iwasaki, Shuichi Imura, Sobei H. Oda and Kanji Ueda, “Accidental Initial Outcomes and Learning in Experimental Games with Multiple Equilibria”, *The Proceedings of the Seventh Experimental Economics Conference of Japan*, pp. 256–279; 『第7回実験経済学コンファレンス・ポストフォーラム・セミナー』, 京都産業大学, 2003年5月26日.
- D13 Kouhei Iyori and Sobei H. Oda, “Prisoner’s Dilemma Network: Its Experiments and Simulations”, *The Proceedings of the Seventh Experimental Economics Conference of Japan*, pp. 150–161; 『第7回実験経済学コンファレンス・プレフォーラム・セミナーズ』, 京都産業大学, 2003年5月22–23日.
- D14 Nariaki Nishino, Sobei H. Oda and Kanji Ueda, “An Experimental Approach to the Recycling Market”, *The Proceedings of EcoDesign 2003: Third International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing ???*, pp. 48–55, *EcoDesign 2003: Third International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, National Olympics Memorial Youth Center, Tokyo, Japan, 8–11 December 2003.
- D15 Kazuhito Ogawa, Kouhei Iyori and Sobei H. Oda, “Price Competition Between Middlemen: An Experimental Study”, *International Simulation and Gaming Association, The 34th Annual Conference* edited by Rei Shiratori, Kiyoshi Arai, Fumitoshi Kato, pp. 607–616, *International Simulation and Gaming Association, The 34th Annual Conference*, Kazusa Akademia Park, Chiba, Japan, 25–29 August 2003.
- D16 Kazuhito Ogawa, Yusuke Koyama and Sobei H. Oda, “Middleman in Ambiguous Situations: An Experiment Based on the Market Microstructure Theory”, *The Proceedings of the Seventh Experimental Economics Conference of Japan*, pp. 235–254; 『第7回実験経済学コンファレンス・プレフォーラム・セミナーズ』, 京都産業大学, 2003年5月22–23日.

- D17 篠原修二, 「強化学習主体からなる経済システムにおける貨幣的秩序の形成」, Joint Agent Workshops & Symposium (JAWS 2003) 講演論文集, pp. 95–102, 2003.
- D18 篠原修二, 「ジレンマ的状况におけるヤドカリの学習」, 進化経済学論集 第7集:pp. 115–122, 2003.
- D19 篠原修二, 「強化学習主体による貨幣の生成」, 第36回数理社会学会大会研究報告要旨集: pp. 14-17, 2003.
- D20 Kanji Ueda, Nariaki Nishino and Sobei H. Oda, “Integration of Economics into Engineering with an Application to the Recycling Market”, *The Proceedings of the Seventh Experimental Economics Conference of Japan*, pp. 162–167; 『第7回実験経済学コンファレンス・プレフォーラム・セミナーズ』, 京都産業大学, 2003年5月22–23日.
- D21 Mariko Yasugi, “Computability problems on the continuum”, *The Proceedings of “The Symposium on Mathematical Logic ’03”*, pp. 33–43, 2003.
- D22 飯田善郎, 小田宗兵衛, 「経済学教育の効果: 協調行動分析からの検証」, *The Proceedings of the Seventh Experimental Economics Conference of Japan*, pp. 231–234, 2003.
- D23 飯田善郎, 濱口泰代, 小田宗兵衛, 「公共財実験におけるグループ間競争の有効性」, *The Proceedings of the Seventh Experimental Economics Conference of Japan*, pp. 222–230, 2003.
- D24 岩崎敦, 野澤孝之, 「経済実験室の設計と運営」, *The Proceedings of the Seventh Experimental Economics Conference of Japan*, pp. 90–109, 2003.
- D25 小川一仁, 井寄幸平, 小田宗兵衛, 「仲介業者間の価格競争 - 実験的アプローチ - 」, 『進化経済学論集』, Vol. 7, pp. 28–37, 2003.
- D26 小田宗兵衛, 「役にたつ経済学教育を目指して: 学生に経済実験を作らせる」, 『第8回大学コンソーシアム京都ファカルティ・ディベロップメント・フォーラム報告論文集』, CD-ROM, 2003.
- D27 小田宗兵衛, 「役にたつ経済学教育を目指して: 学生に経済実験を作らせる」, *The Proceedings of the Seventh Experimental Economics Conference of Japan*, pp. 45–53, 2003.
- D28 門田智則, 「被験者募集の実際」, *The Proceedings of the Seventh Experimental Economics Conference of Japan*, pp. 78–88, 2003.
- D29 篠原修二, 「ジレンマ的状况におけるヤドカリの学習」, 『進化経済学論集』, Vol. 7, pp. 115–122, 2003.
- D30 野澤孝之, 「ネットワーク構造とその上で行われるジレンマゲームの相互作用」, 『計測自動制御学会システムインテグレーション部門 (SI2003) 講演論文集』, pp. 1012–1013, 2003
- D31 八杉満利子, 「極限計算可能性—不連続点における計算の認識について—」, 『JST 異分野研究者交流促進事業フォーラム「数理の世界」報告書』, 独立行政法人 科学技術振興機構, pp. 17–20, 2003.

2004年

- D32 Takemi Fujikawa and Sobei H. Oda, “Bayesian Updating in Experiment: Good News and Bad News in Small Feedback-Based Decision Problems”, *The Experimental Economics Week in Honour of Dr Vernon L. Smith (volume two)*, Hayashibara Foundation, pp. 956–992, *International Conference Experiments in Economic Sciences: New Approaches to Solving Real-world Problems*, Okayama International Hotel and Kyoto Sangyo University, Okayama and Kyoto, Japan, 14–17 December 2004.
- D33 Yasuyo Hamaguchi, “Does Observation of Others Affect People’s Cooperative Behavior? An Experimental Study on Threshold Public Goods Games”, *The Proceedings of the International Conference Experiments in Economic Sciences*, pp. 250–302, 2004.
- D34 Atsushi Iwasaki, Masafumi Matsuda and Makoto Yokoo, “Stability of the Truth-telling strategy in Multi-unit Option Allocation Auctions: Laboratory Experimentation”, *the Proceedings of the Sixth Workshop on Game Theoretic and Decision Theoretic Agents (GTDT 2004) at the Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2004)*, pp. 57–65, 2004.
- D35 Atsushi Iwasaki, Masafumi Matsuda and Makoto Yokoo, “Stability of the Truth-telling strategy in Multi-unit Option Allocation Auctions: Laboratory Experimentation”, *the Proceedings of the Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2004)*, pp. 1282–1283, 2004.
- D36 Atsushi Iwasaki, Masafumi Matsuda and Makoto Yokoo, “Stability of the Truth-telling strategy in Multi-unit Option Allocation Auctions: Laboratory Experimentation”, *the Ninth Workshop for Economics and Heterogeneous Interacting Agents (WEHIA 2004)*, (CD-ROM), 2004.
- D37 Nariaki Nishino, Hiroki Nakayama, Sobei H. Oda and Kanji Ueda, “Recycling of Durable Goods: Modeling and Experiments”, *The Experimental Economics Week in Honour of Dr Vernon L. Smith (volume two)*, Hayashibara Foundation, pp. 521–536, *International Conference Experiments in Economic Sciences: New Approaches to Solving Real-world Problems*, Okayama International Hotel and Kyoto Sangyo University, Okayama and Kyoto, Japan, 14–17 December 2004.
- D38 Ryoko Wada and Sobei H. Oda, “Separation of Intertemporal Substitution and Time Preference Rate from Risk Aversion: Experimental Analysis”, *The Experimental Economics Week in Honour of Dr Vernon L. Smith (volume two)*, Hayashibara Foundation, pp. 1009–1026, *International Conference Experiments in Economic Sciences: New Approaches to Solving Real-world Problems*, Okayama International Hotel and Kyoto Sangyo University, Okayama and Kyoto, Japan, 14–17 December 2004.
- D39 Mariko Yasugi and Yoshiki Tsujii, “Computability problems of piecewise continuous functions”, 『数理解析研究所講究録 1381, 数学解析の理論的展開の計算機による支援・遂行可能性』, pp. 118–127, 2004.

- D40 Hiroyasu Yoneda, Gen Masumoto and Sobei H. Oda, “Marginal Contribution of Information to Profit in a Zero-sum Game”, *The Experimental Economics Week in Honour of Dr Vernon L. Smith (volume two)*, Hayashibara Foundation, pp. 770–786, *International Conference Experiments in Economic Sciences: New Approaches to Solving Real-world Problems*, Okayama International Hotel and Kyoto Sangyo University, Okayama and Kyoto, Japan, 14–17 December 2004.
- D41 井田正明, 芳鐘冬樹, 野澤孝之, 宮崎和光, 喜多一, 「シラバスXMLデータベースの試作」, 『情報処理学会 第66回全国大会』, Vol. 4, pp. 373–374, 2004.
- D42 岩崎敦, 松田昌史, 横尾真, 「複数同一財権利配分型オークションの安定性: 被験者実験による検証」, 『エージェント合同シンポジウム (Joint Agent Workshop) 講演論文集』, pp. 133–140, 2004.
- D43 井田正明, 野澤孝之, 芳鐘冬樹, 宮崎和光, 喜多一, 「シラバスデータベースの構築と利用」, 『第3回情報科学技術フォーラム』, pp. 347–348, 2004.
- D44 中山広基・西野成昭・小田宗兵衛・上田完次, 「耐久消費財のリサイクルシステムにおける行動主体に関する研究」 in 『日本機械学会第14回設計工学・システム部門講演会講演論文集』 pp. 197–200; 『日本機械学会第14回設計工学・システム部門講演会』, 九州大学, 2004年11月29日–12月1日.
- D45 中山広基・西野成昭・小田宗兵衛・上田完次, 「耐久消費財のリサイクルシステムにおける行動主体に関する研究」 in 『日本機械学会第14回設計工学・システム部門講演会講演論文集』 pp. 197–200; 『日本機械学会第14回設計工学・システム部門講演会』, 九州大学, 2004年11月29日–12月1日.
- D46 野澤孝之, 井田正明, 芳鐘冬樹, 宮崎和光, 喜多一, 「シラバスデータのクラスタリングに基づく教育コース分析システムの構築」, 『情報処理学会 第66回全国大会』, Vol. 4, pp. 377–378, 2004.
- D47 芳鐘冬樹, 井田正明, 宮崎和光, 野澤孝之, 喜多一, 「シラバスからの専門用語抽出手法の検討」, 『情報処理学会 第66回全国大会』, Vol. 4, pp. 375–376, 2004.
- D48 芳鐘冬樹, 野澤孝之, 辻慶太, 影浦峯, 「ウェブからの関連語・下位語の収集手法の検討と検索システムへの応用」, 『第52回日本図書館情報学会研究大会』, pp. 113–116, 2004.
- D49 舛本現, 「ラムダゲーム: メタゲームへのアプローチ」, 『数理解析研究所講究録 1381, 数学解析の理論的展開の計算機による支援・遂行可能性』, pp. 65–79, 2004.
- D50 宮崎和光, 井田正明, 芳鐘冬樹, 野澤孝之, 喜多一, 「科目分類支援システムの改善とその応用」, 『第3回情報科学技術フォーラム』, pp. 291–292, 2004.
- D51 渡辺将尚, 絹川博之, 井田正明, 芳鐘冬樹, 野澤孝之, 喜多一, 「Web上のシラバス情報の収集と変換」, 『第3回情報科学技術フォーラム』, pp. 121–122, 2004.
- D52 渡辺将尚, 絹川博之, 井田正明, 芳鐘冬樹, 野澤孝之, 喜多一, 「シラバスHTML文書からの情報抽出」, 『情報処理学会 第66回全国大会』, Vol. 4, pp. 487–488, 2004

2005年

- D53 Takayuki Ito, Makoto Yokoo, Atsushi Iwasaki and Shigeo Matsubara, “A New Strategy-Proof Greedy-Allocation Combinatorial Auction Protocol and Its Extension to Open Ascending Auction Protocol”, *Twentieth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-2005)*, pp. 261–268, 2005.
- D54 Makoto Yokoo, Vincent Conitzer, Tuomas Sandholm, Naoki Ohta and Atsushi Iwasaki, “Coalitional Games in Open Anonymous Environments”, *Twentieth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-2005)*, pp. 509–515, 2005.
- D55 Fuyuki Yoshikane, Takayuki Nozawa and Keita Tsuji, “Comparative analysis of co-authorship networks considering authors’ roles in collaboration: differences between the theoretical and application areas”, *Proceedings of the 10th International Conference of the International Society for Scientometrics and Informetrics*, Vol. 2, pp. 509–516, 2005.
- D56 金子陽平・西野成昭・小田宗兵衛・上田完次, 「ネットワーク外部性を伴う製品市場における不完全情報下での意思決定」 in 『日本機械学会第15回設計工学・システム部門講演会講演論文集』 pp. 156–159; 『日本機械学会第15回設計工学・システム部門講演会』, 北海道大学, 2005年8月3–5日.
- D57 西野成昭・中山広基・小田宗兵衛・上田完次, 「耐久消費財のリサイクルシステムにおける行動主体の意思決定：リサイクル製品の普及に関する分析」 in 『日本機械学会第15回設計工学・システム部門講演会講演論文集』 pp. 166–167; 『日本機械学会第15回設計工学・システム部門講演会』, 北海道大学, 2005年8月3–5日.
- D58 野澤孝之, 「『自然なシステム』創発条件探究のテストベッドとしてのシンプレクティブ・セルラ・オートマタ」, 『自律分散システムシンポジウム講演論文集』, 東京工業大学すずかけ台キャンパス, pp. 207–212, 2005.

B.5 論文（本報告書に収録）

- E1 飯田善郎, 「z-Tree 入門講座」, 『私立大学学術研究高度化事業（オープン・リサーチ・センター整備事業）』『実験経済学：経済学教育の新しい方法と、それによる経済学教育の社会的効果の研究』（2001-2005年度）研究成果報告書』, pp. 175–235.
- E2 灰谷綾平・小田宗兵衛, 「経済実験の教育効果：実験参加者が実験から学ぶことと学ばないこと」, 『私立大学学術研究高度化事業（オープン・リサーチ・センター整備事業）』『実験経済学：経済学教育の新しい方法と、それによる経済学教育の社会的効果の研究』（2001-2005年度）研究成果報告書』, pp. 236–249.
- E3 飯田善郎・小田宗兵衛, 「経済学教育の効果：協調行動分析からの検証」, 『私立大学学術研究高度化事業（オープン・リサーチ・センター整備事業）』『実験経済学：経済学教育の新しい方法と、それによる経済学教育の社会的効果の研究』（2001-2005年度）研究成果報告書』, pp. 250–267.
- E4 Kazuhito Ogawa, Kouhei Iyori, and Sobei H. Oda, “Price Competition Between Middlemen: An Experimental Study”, 『私立大学学術研究高度化事業（オープン・リサーチ・センター整備事業）』『実

- 験経済学：経済学教育の新しい方法と、それによる経済学教育の社会的効果の研究』(2001-2005年度研究成果報告書), pp. 295-305.
- E5 Hiroyasu Yoneda, Gen Masumoto, and Sobei H. Oda, “How to Use Private Information in a Multi-person Zero-sum Game?”, 『私立大学学術研究高度化事業(オープン・リサーチ・センター整備事業)』『実験経済学：経済学教育の新しい方法と、それによる経済学教育の社会的効果の研究』(2001-2005年度)研究成果報告書, pp. 318-323.
- E6 八杉満利子・小田宗兵衛, 「体系からの脱出と回り道のない推論」, 『私立大学学術研究高度化事業(オープン・リサーチ・センター整備事業)』『実験経済学：経済学教育の新しい方法と、それによる経済学教育の社会的効果の研究』(2001-2005年度)研究成果報告書, pp. 330-338.
- E7 Ryoko Wada and Sobei H. Oda, “Separation of Intertemporal Substitution and Time Preference Rate from Risk Aversion: Experimental Analysis with Reward Designs”, 『私立大学学術研究高度化事業(オープン・リサーチ・センター整備事業)』『実験経済学：経済学教育の新しい方法と、それによる経済学教育の社会的効果の研究』(2001-2005年度)研究成果報告書, pp. 347-352.
- E8 Yoshio Iida, “The Effect of Inter-group Competition in the Prisoner’s Dilemma Game”, 『私立大学学術研究高度化事業(オープン・リサーチ・センター整備事業)』『実験経済学：経済学教育の新しい方法と、それによる経済学教育の社会的効果の研究』(2001-2005年度)研究成果報告書, pp. 353-376.
- E9 Gerlinde Fellner, Yoshio Iida, Sabine Kroger, and Erika Seki, “Superman and under-achievers: An experimental study on heterogeneous productivity in voluntary public good provision”, 『私立大学学術研究高度化事業(オープン・リサーチ・センター整備事業)』『実験経済学：経済学教育の新しい方法と、それによる経済学教育の社会的効果の研究』(2001-2005年度)研究成果報告書, pp. 377-408.
- E10 石本将之・木村友二・鈴木淑子・丹野忠晋・濱口泰代, 「リーニエンシー・プログラムの経済分析：実験」, 『私立大学学術研究高度化事業(オープン・リサーチ・センター整備事業)』『実験経済学：経済学教育の新しい方法と、それによる経済学教育の社会的効果の研究』(2001-2005年度)研究成果報告書, pp. 409-410.
- E11 Yasuyo Hamaguchi and Toshiji Kawagoe, “An Experimental Study of Leniency Programs”, 『私立大学学術研究高度化事業(オープン・リサーチ・センター整備事業)』『実験経済学：経済学教育の新しい方法と、それによる経済学教育の社会的効果の研究』(2001-2005年度)研究成果報告書, pp. 449-474.
- E12 岩崎敦, 「利得レベル, 均衡選択と学習：鹿狩りゲームの実験」, 『私立大学学術研究高度化事業(オープン・リサーチ・センター整備事業)』『実験経済学：経済学教育の新しい方法と、それによる経済学教育の社会的効果の研究』(2001-2005年度)研究成果報告書, pp. 475-498.
- E13 Atsushi Iwasaki, “How Players with Reinforcement Learning Play in Cheap-talk Games: Comparison between Simulations and Experiments”, 『私立大学学術研究高度化事業(オープン・リサーチ・センター整備事業)』『実験経済学：経済学教育の新しい方法と、それによる経済学教育の社会的効果の研究』(2001-2005年度)研究成果報告書, pp. ...

- E14 井寄幸平・小田宗兵衛, 「ネットワーク型囚人のジレンマにおける行動情報の影響」, 『私立大学学術研究高度化事業(オープン・リサーチ・センター整備事業)『実験経済学: 経済学教育の新しい方法と、それによる経済学教育の社会的効果の研究』(2001-2005年度)研究成果報告書』, pp. 507-514.
- E15 鈴木真介・綿引智美・秋山英三・小田宗兵衛, 「多人数の社会的ジレンマ状況における人間行動と評判の役割」, 『私立大学学術研究高度化事業(オープン・リサーチ・センター整備事業)『実験経済学: 経済学教育の新しい方法と、それによる経済学教育の社会的効果の研究』(2001-2005年度)研究成果報告書』, pp. 515-528.

B.6 プロジェクトの印刷物

- F1 『第7回実験経済学コンファレンスおよびプレフォーラム・ポストフォーラムセミナー報告論文集』, *The Proceedings of the Seventh Experimental Economics Conference of Japan*, 279 pages, 2003.
- F2 ノーベル賞受賞者講演会「Market, Capital Market, and Globalization」, — 資本, 資本市場, グローバリゼーション —, 14 ページ, 2004.
- F3 “Abstracts of the Papers Presented at International Conference Experiments in Economic Sciences: New Approaches to Solving Real-world Problems”, 69 pages, 2004.
- F4 『z-Tree チュートリアルマニュアル』, Urs Fischbacher(著), 飯田善郎, 岩崎敦, 西野成昭(訳), 61 ページ, 2005.
- F5 “The Experimental Economics Week in Honour of Dr Vernon L. Smith” (全2巻), Hayashibara Foundation, 1118 pages, 2005.

B.7 発表(海外)

2001年

- G1 Mariko Yasugi, Yoshiki Tsujii and Takakazu Mori, “Metriization of the uniform space and computability”, *Dagstuhl Seminar (Computability and Complexity in Analysis)*, *The International Conference and Research Center for Computer Science in Schloss Dagstuhl*, 11-16 November, 2001.

2002年

- G2 Yasuyo Hamaguchi, Sobei H. Oda, Yoshio Iida, Mariko Yasugi, P. N. Rajar Junankar and Steve Keen, “Familiarity Breeds Cooperation: Threshold Public Goods Games Experiments with Japanese and Australian University and Junior High School Students”, *Annual Meeting of the Public Choice Society and Economic Science Association*, US Grant Hotel, San Diego, CA, U.S.A., 22-24 March 2002

- G3 Kouhei Iyori, Itsuo Hatono, Sobei H. Oda and Kanji Ueda, “The Emergence of Cooperative Behaviour in the Prisoners’ Dilemma Network”, *The 9th international Joseph A. Schumpeter Society Conference*, The University of Florida, Gainesville, FL, U.S.A., 27-30 March 2002
- G4 Nariaki Nishino, Sobei H. Oda and Kanji Ueda, “The Role of Intermediaries in Recycling Markets”, *The 9th international Joseph A. Schumpeter Society Conference*, The University of Florida, Gainesville, FL, U.S.A., 27-30 March 2002
- G5 Mariko Yasugi, Yoshiki Tsujii, “Two notions of sequential computability of a function with jumps”, *CCA2002*, School of Computer Science, Malaga University, Malaga, Spain, 12 July, 2002.
- G6 Mariko Yasugi and Sobei H. Oda, “Notes on Bounded Rationality”, *The 8th Asian Logic Conference (ALC) 2002*, Southwest China Normal University, Chongqing, China, 31 August 2002
- G7 Yasuyo Hamaguchi, Shinichi Hirota, Toshiji Kawagoe and Tatsuyoshi Saijo, “Bounded rationality mitigates the free-rider problem: an experimental study on corporate takeovers”, *Review of Financial Studies Conference*, Mannheim University, Germany, 13–14 December, 2002.

2003 年

- G8 Takemi Fujikawa and Sobei H. Oda, “Search and Choice under Uncertainty”, *The International Economic Science Association (ESA) Meeting*, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA, U.S.A., 19-22 June 2003
- G9 Atsushi Iwasaki, Shuichi Imura, Sobei H. Oda and Kanji Ueda, “Accidental Initial Outcomes and Learning in Experimental Games with Multiple Equilibria”, *The International Economic Science Association (ESA) Meeting*, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA, U.S.A., 19-22 June 2003
- G10 Kouhei Iyori and Sobei H. Oda, “The Emergence of Cooperative Behaviour in the Prisoners’ Dilemma Network”, *The International Economic Science Association (ESA) Meeting*, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA, U.S.A., 19-22 June 2003
- G11 Kazuhito Ogawa, Yusuke Koyama and Sobei H. Oda, “Middleman in Ambiguous Situations: An Experiment Based on the Market Microstructure Theory”, *The International Economic Science Association (ESA) Meeting*, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA, U.S.A., 19-22 June 2003
- G12 Hiroshi Deguchi, Takao Terano, Hajime Kita, Yoshinori Shiozawa, Robert Axtell, Kathleen M. Carley, Maksim Tsvetovat, Hiroshi Sato, Hiroyuki Matsui, Isao Ono, Yoshihiro Nakajima and Naoki Mori, “U-Mart international experiment 2003”, *North American Computational Social and Organization Science (NAACSOS)*, Omni William Penn, Pittsburgh, PA, USA, June 22–25, 2003,
- G13 Hiroshi Deguchi, Takao Terano, Hajime Kita, Yoshinori Shiozawa, Robert Axtell, Kathleen M. Carley, Maksim Tsvetovat, Hiroshi Sato, Hiroyuki Matsui, Isao Ono, Yoshihiro Nakajima and Naoki Mori, “Report of UMIE 2002 – strategy and rank order of submitted machine agents – ”, *North American Computational Social and Organization Science (NAACSOS)*, Omni William Penn, Pittsburgh, PA, USA, June 22–25, 2003,

- G14 Yoshihiro Nakajima and Tomomi Ueda, “Analysis of submitted agents to UMIE2002 -influence of spot data and opponents on agents’ rank orders - ”, *North American Computational Social and Organization Science(NAACSOS)*, Omni William Penn, Pittsburgh, PA, USA, June 22–25, 2003,
- G15 Kanji Ueda, Nariaki Nishino and Sobei H. Oda, “Integration of Economics into Engineering with an Application to Recycling Market”, *The 53rd CIRP General Assembly*, Hilton Montreal Boaventure Hotel, Montreal, Canada, 24-30 August 2003
- G16 Gerlinde Fellner, Yoshio Iida, Sabine Kroger and Erika Seki, “Should Superman Know That He is Super? An Experimental Study of Intrinsic Motivation to Contribute to Public Good by Heterogeneous agents”, *2003 North American Meeting of the Economic Science Associations(NAACSOS)*, Westward Look Resort, Tucson, Arizona, USA, 1 November, 2003.
- G17 Nariaki Nishino, Sobei H. Oda and Kanji Ueda, “An Experimental Approach to the Recycling Market”, *EcoDesign 2003: Third International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, ???, ???, ???, 8-11 December 2003

2004 年

- G18 Gerlinde Fellner, Yoshio Iida, Sabine Kroger and Erika Seki, “Should Superman know that he is super? An experimental study of intrinsic motivation to contribute to public good by heterogeneous agents”, Tucson Interdisciplinary Workshop OnDecision Making, number 4 (TIWODM 4), University of Arizona, Tucson, Arizona, USA, 5–7 March, 2004.
- G19 Atsushi Iwasaki, Masafumi Matsuda and Makoto Yokoo, “Stability of the Truth-telling strategy in Multi-unit Option Allocation Auctions: Laboratory Experimentation”, *the sixth workshop on game theoretic and decision theoretic agents (GTDT 2004) at the third international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems (AAMAS 2004)*, Columbia University, New York, USA, 19–23 July, 2004.
- G20 Isao Ono, Naoki Mori, Hiroshi Sato, Hajime Kita, Hiroyuki Matsui and Yoshihiro Nakajima, “U-Mart System Version 2: A Multi-Purpose Artificial Market Simulator”, *The Third International Workshop on Agent-based Approaches in Economic and Social Complex Systems*, 27–29 May, 2004.
- G21 Hiroyuki Matsui, Yoshihiro Nakajima and Hiroshi Sato, “Performance of Machine Agents Submitted to U-Mart International Experiment 2004 (UMIE2004)”, *The Third International Workshop on Agent-based Approaches in Economic and Social Complex Systems*, 27–29 May, 2004.
- G22 Hiroshi Deguchi, Takao Terano, Hajime Kita, Yoshinori Shiozawa, Robert Axtell, Kathleen Carley, Maksim Tsvetovat, Hiroshi Sato, Hiroyuki Matsui, Isao Ono, Naoki Mori and Yoshihiro Nakajima, “Report of U-Mart International Experiment (UMIE2003 and UMIE 2004) – Strategy and Rank Order of Submitted Machine Agents”, *North American Association for Computational Social and Organizational Science(NAACSOS)*, Carnegie Mellon University, Pittsburgh PA, USA, 27–29 June, 2004,

- G23 Jungo Ueki and Yoshihiro Nakajima, “Analysis of Time Series Behaviors in High-Frequency Area Using Artificial Market”, *North American Association for Computational Social and Organizational Science (NAACOS)*, Carnegie Mellon University, Pittsburgh PA, USA, 27–29 June, 2004,
- G24 Yoshiki Tsujii, Mariko Yasugi and Takakazu Mori, “Sequential computability of a function — Diagonal computability and limiting recursion —”, *The 6th Workshop on Computability and Complexity in Analysis*, Academy Leucorea, Wittenberg, Germany, 19 August, 2004.
- G25 Kazuhito Ogawa, Kouhei Iyori and Sobei H. Oda, “Price Competition between Price Setting Middlemen in the Laboratory Setting”, *International Simulation and Gaming Association 2004*, Ludwig Maximilians University, Munich, Germany, 6-10 September 2004
- G26 Yasuyo Hamaguchi (invited lecture), “Does Observation of Others Affect People’s Cooperative Behavior? An Experimental Study on Threshold Public Goods Games”, *Visiting Speakers Seminars*, Department of Economics, University of Guelph, Canada, 19 November, 2004.
- G27 Yasuyo Hamaguchi, “Does Observation of Others Affect People’s Cooperative Behavior? An Experimental Study on Threshold Public Goods Games”, *Southern Economic Association 74th Annual Meeting*, New Orleans, Louisiana, USA, 20–23 November, 2004.

2005 年

- G28 Nick Feltovich, Atsushi Iwasaki and Sobei H. Oda, “Loss Aversion, Equilibrium Selection, and Learning: An Experimental Study of the Stag Hunt”, *Public Choice Society Annual Meeting*, ???, New Orleans, Louisiana, U.S.A., 22–24 March 2005
- G29 Yasuyo Hamaguchi, Toshiji Kawagoe and Aiko Shibata, “An Experimental Study of Leniency Programs”, *Asia Decentralized Conference*, Seoul National University, Seoul, Korea, 27–30 May, 2005.
- G30 Nick Feltovich, Atsushi Iwasaki and Sobei H. Oda, “Payoff Levels, Equilibrium Selection, and Learning: An Experimental Study of the Stag Hunt”, *The Economic Science Association International Meeting*, McGill University, Motreal, Canada, 23–26 June 2005
- G31 Makoto Yokoo, Vincent Conitzer, Tuomas Sandholm, Naoki Ohta and Atsushi Iwasaki, “Coalitional Games in Open Anonymous Environments”, *Twentieth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-2005)*, University of Pittsburgh, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 9–13 July, 2005.
- G32 Takayuki Ito, Makoto Yokoo, Atsushi Iwasaki, and Shigeo Matsubara, “A New Strategy-Proof Greedy-Allocation Combinatorial Auction Protocol and Its Extension to Open Ascending Auction Protocol”, *Twentieth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-2005)*, University of Pittsburgh, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 9–13 July, 2005.
- G33 Fuyuki Yoshikane, Takayuki Nozawa and Keita Tsuji, “Comparative analysis of co-authorship networks considering authors’ roles in collaboration: differences between the theoretical and application areas”, *the 10th International Conference of the International Society for Scientometrics and Informetrics*, Karolinska Institute, Stockholm, Sweden, 24–28 July, 2005.

- G34 Yoshio Iida, “The Effect of Group Competition in the Prisoners’ Dilemma Game”, *Economic Science Association (ESA) European Regional Meeting*, University of Piemonte Orientale, Italy, 15–19 September, 2005.

B.8 発表（国内）

2001 年

- H1 中島義裕, 「株価変動は予想外か?」, 『電子情報通信学会「人工知能と知能処理」研究会 (AI)』, はこだて未来大学, 11 January, 2001.
- H2 岩崎敦・小田宗兵衛・上田完次: 「Estimating the Effect of Initial Expectation in Cheap-talk Games: Comparison Between Experiments and Simulation」, 『社会組織のマルチエージェントシステム分析-数理とシミュレーションからのアプローチ (計測自動制御学会とシステム工学部会 (知能工学部会) の共催研究会)』東京???, 2001 年 3 月 27 日
- H3 中島義裕, 「金融市場にみられる予想外」, 『進化経済学会』, 福岡大学, 30–31 March, 2001.
- H4 Mariko Yasugi, “Computability problems of some discontinuous functions” (invited talk) *Symposium on Proving, Solving and Computing*, つくば国際会議場, 28 June, 2001.
- H5 八杉満利子・小田宗兵衛: 「Solving a Puzzle by Decidable Meta-theory」, 『第 10 回 ALGI (代数, 論理, 幾何と情報科学) 研究集会と日本数理科学協会年会 (論理数学分科会) の合同研究会』大阪教育大学天王寺キャンパス, 2001 年 9 月 6-7 日
- H6 中島義裕, “Nonlinear Property Seemed in Actual Markets”, *Society for Information Display 2001 International Symposium*, 国士舘大学, 10–12 September, 2001.
- H7 西野成昭・小田宗兵衛・鳩野逸生・上田完次: 「マーケットマイクロストラクチャー理論による家電リサイクル法に基づいた市場モデルへの理論的アプローチ」, 『2001 年度精密工学会秋季大会学術講演会』大阪大学, 2001 年 9 月 22-25 日
- H8 井寄幸平・小田宗兵衛・鳩野逸生・上田完次: 「ネットワーク型囚人のジレンマを用いた協調行動の創発に関する研究」, 『2001 年度精密工学会秋季大会学術講演会』大阪大学, 2001 年 9 月 22-25 日 item
- H9 Kouhei Iyori, Itsuo Hatono, Sobei H. Oda and Kanji Ueda, “An Application of the Market Microstructure Theory to Markets for Recyclable Products”, *EcoDesign 2001: The Second International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, Tokyo Big Sight, Tokyo, Japan, 12-15 December 2001
- H10 Kanji Ueda, Nariaki Nishino, Atsushi Iwasaki, Sobei H. Oda and Itsuo Hatono, “Design and Evaluation of the Recycle of Home Appliances: An Application of Market Microstructure Theory”, *EcoDesign 2001: The Second International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, Tokyo Big Sight, Tokyo, Japan, 12-15 December 2001

2002年

- H11 中島義裕,「人工市場と現実の市場」,『電子情報通信学会「人工知能と知識処理」,情報処理学会「知能と複雑系」合同研究会』,ラフォーレ修善寺,9-10 January, 2002.
- H12 Yoshihiro Nakajima and Yusuke Koyama, “Attempt to design constitutions of market by using U-Mart System -a practice of interdisciplinary research-”, 『計測自動制御学会 第25回システム工学部会研究会』, 学術総合センター, 20 March, 2002.
- H13 植木潤吾, 森直樹, 甲斐啓仁, 深瀬真澄, 佐藤浩, 後藤岳, 上田智巳, 桑井淳子, 中島義裕,「U-Martと現実の先物市場との比較」,『第6回進化経済学会大阪千里山大会』, 関西大学, 29-30 March, 2002.
- H14 中島義裕,「金融市場にみられる不確実性と挙動の安定性」,『第6回進化経済学会大阪千里山大会』, 関西大学, 29-30 March, 2002.
- H15 中島義裕,「U-Martを用いたこれからの研究計画」,『第6回進化経済学会大阪千里山大会』, 関西大学, 29-30 March, 2002.
- H16 小川一仁・小山友介・小田宗兵衛:「実物市場マーケットマイクロストラクチャー (MMC) 理論と実験経済学」,『第6回進化経済学会大阪千里山大会』 関西大学, 2002年3月29-30日
- H17 篠原修二,「ジレンマの状況におけるヤドカリの殻選択」,『第6回進化経済学会大阪千里山大会』, 関西大学, 29-30 March, 2002.
- H18 Atsushi Iwasaki, Sobei H. Oda, Nariaki Nishino, Itsuo Hatono and Kanji Ueda, “How Players with Reinforcement Learning Play in Cheap-talk Game: Comparison Between Simulations and Experiments”, *The 4th International Workshop on Emergent Synthesis*, Kobe University, Kobe, Japan, 9-10 May 2002
- H19 Mariko Yasugi, “Computability problems of some discontinuous functions and the uniform space”, (invited talk), *Topology in Matsue 2002*, Shimane University, 28 June, 2002.
- H20 井村修一, 濱口泰代,「閾値のある公共財供給ゲーム: 実験とシミュレーション」,『実験ラボラトリ・オープニング・ワークショップ』, 京都産業大学, 大阪大学社会経済研究所, 29-30 June, 2002.
- H21 岩崎敦, 野澤孝之,「実験ラボラトリの設計とそのシステム構成」,『実験ラボラトリ・オープニング・ワークショップ』, 京都産業大学, 大阪大学社会経済研究所, 29-30 June, 2002.
- H22 小田宗兵衛,「市場実験の体験と, TF4E グループの実験経済学研究の紹介」,『実験ラボラトリ・オープニング・ワークショップ』, 京都産業大学, 大阪大学社会経済研究所, 29-30 June, 2002.
- H23 小田宗兵衛,「経済理論の想定する人間行動と, 実験で観察される行動」,『実験ラボラトリ・オープニング・ワークショップ』, 京都産業大学, 大阪大学社会経済研究所, 29-30 June, 2002.
- H24 小田宗兵衛, パネル・ディスカッション「実験研究における産・官・学の連携の可能性」,『実験ラボラトリ・オープニング・ワークショップ』, 京都産業大学, 大阪大学社会経済研究所, 29-30 June, 2002.

- H25 飯田善郎, 野澤孝之, 岩崎敦, 西野成昭, 小川一仁, 「実験室見学と実験体験」, 『実験ラボラトリ・オープニング・ワークショップ』, 京都産業大学, 29-30 June, 2002.
- H26 西野成昭・小田宗兵衛・鳩野逸生・上田完次: 「廃棄物回収市場における仲介の機能と役割」, 『精密工学会関西地方定期学術講演会』近畿大学, 2002年8月1-2日
- H27 Kouhei Iyori, Itsuo Hatono, Sobei H. Oda and Kanji Ueda, “The Emergence of Cooperative Behaviour in the Prisoners’ Dilemma Network: Simulations and Experiments”, *The 6th International Conference on Complex Systems (CS02)*, Chuo University, Tokyo, Japan, 9-11 September 2002
- H28 Kazuhito Ogawa, Yusuke Koyama and Sobei H. Oda, “An Experimental Approach to Market Microstructure”, *The 6th International Conference on Complex Systems (CS02)*, Chuo University, Tokyo, Japan, 9-11 September 2002
- H29 小山友介・濱口泰代・小田宗兵衛: 「閾値付き公共財供給ゲームにおける行動原理の探索」, 『第34回数理社会学会大会』???, 2002年10月20日
- H30 飯田善郎・濱口泰代・小田宗兵衛: 「公共財実験におけるグループ間競争の効果」, 『第6回実験経済学コンファレンス』敬愛大学, 2002年10月20日
- H31 小田宗兵衛: 「経済主体の学習行動と実験経済学」, 『動的システムの情報論2』統計数理研究所, 2002年11月7-8日
- H32 篠原修二, 「ヤドカリ実験を通して見た間接交換の起源」, 日本社会学会, 大阪大学, 16 November, 2002.
- H33 小田宗兵衛: 「被験者実験と計算機実験の総合: 実験経済学プロジェクトの1年半の経験と今後の展望」, 『AEEセミナー』東京大学先端経済工学研究センター, 2002年12月9日
- H34 野澤孝之, 「『自然なシステム』の抽出に向けての試論」, 『計測自動制御学会 (SICE) SI2002 講演会』, 神戸産業振興センター, 19-21 December, 2002.

2003年

- H35 小田宗兵衛: 「実験を経済学教育に活かす: 学生を被験者ではなく実験者に」, 『第8回ファカルティ・ディベロップメント・フォーラム: 学びのスクラム; 第4分科会「人文・社会科学の学力向上を目指して」』立命館大学衣笠キャンパスおよびキャンパスプラザ京都, 2003年3月8-9日
- H36 西野・小田宗兵衛・上田完次: 「人工物生産における経済学的視点の導入手法に関する研究: リサイクル問題における一考察」, 『精密工学会春季大会学術講演会』東京農工大学, 2003年3月26-28日
- H37 篠原修二, 「ジレンマ的状况におけるヤドカリの学習」, 『進化経済学会』, 29-30 March, 2003.
- H38 小田宗兵衛: 「経済主体の共創的意思決定」, 『第6回人工物工学コロキウムー共創工学の展開ー』東京大学駒場リサーチキャンパス, 2003年5月21日
- H39 小田宗兵衛: 「パネル討論「共創の理論と実践」」, 『第6回人工物工学コロキウムー共創工学の展開ー』東京大学駒場リサーチキャンパス, 2003年5月21日

- H40 藤川武海・小田宗兵衛: 「Decision Making Under Uncertainty and Ambiguity」, 『第7回実験経済学コンファレンス』京都産業大学, 2003年5月24-25日
- H41 小田宗兵衛: 「経済学における実験: オープン・リサーチ・センターの最初の2年間の研究を振り返って」, 『第7回実験経済学コンファレンス』京都産業大学, 2003年5月24-25日
- H42 小田宗兵衛: 「役にたつ経済学教育を目指して: 学生に経済実験を作らせる」, 『第7回実験経済学コンファレンス・プレフォーラム・セミナーズ』京都産業大学, 2003年5月22-23日
- H43 井寄幸平・小田宗兵衛: 「Prisoner's Dilemma Network: Its Experiments and Simulations」, 『第7回実験経済学コンファレンス・プレフォーラム・セミナーズ』京都産業大学, 2003年5月22-23日
- H44 上田完次・西野成昭・小田宗兵衛: 「Integration of Economics into Engineering with an Application to the Recycling Market」, 『第7回実験経済学コンファレンス・プレフォーラム・セミナーズ』京都産業大学, 2003年5月22-23日
- H45 八杉満利子・小田宗兵衛: 「Notes on Bounded Rationality」, 『第7回実験経済学コンファレンス・プレフォーラム・セミナーズ』京都産業大学, 2003年5月22-23日
- H46 飯田善郎・濱口泰代・小田宗兵衛: 「公共財実験におけるグループ間競争の有効性」, 『第7回実験経済学コンファレンス・プレフォーラム・セミナーズ』京都産業大学, 2003年5月22-23日
- H47 飯田善郎・小田宗兵衛: 「経済学教育の効果: 協調行動からの分析」, 『第7回実験経済学コンファレンス・プレフォーラム・セミナーズ』京都産業大学, 2003年5月22-23日
- H48 小川一仁・小山友介・小田宗兵衛: 「Middleman in Ambiguous Situations: An Experiment Based on the Market Microstructure Theory」, 『第7回実験経済学コンファレンス・プレフォーラム・セミナーズ』京都産業大学, 2003年5月22-23日
- H49 岩崎敦・井村修一・小田宗兵衛・上田完次: 「Accidental Initial Outcomes and Learning in Experimental Games with Multiple Equilibria」, 『第7回実験経済学コンファレンス・ポストフォーラム・セミナー』京都産業大学, 2003年5月26日
- H50 岩崎敦, 野澤孝之, 「経済実験室の設計と運営」, 『第7回実験経済学コンファレンス』, 京都産業大学, 24-25 May, 2003.
- H51 門田智則, 「被験者募集の実際」, 『第7回実験経済学コンファレンス』, 京都産業大学, 24-25 May, 2003.
- H52 小田宗兵衛, 「ORC プロジェクトの紹介」, 『第7回実験経済学コンファレンス』, 京都産業大学, 24-25 May, 2003.
- H53 Tomomi Ueda, Kazuhisa Taniguchi and Yoshihiro Nakajima, "An analysis of U-Mart experiments by machine and human agents", *IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation (CIRA)*, Kobe Portopia Hotel, Kobe, Japan, July 16-20, 2003.

- H54 Hiroyuki Matsui, Kazuhisa Taniguchi, Yoshihiro Nakajima, Isao Ono, Hiroshi Sato, Naoki Mori, Hajime Kita, Takao Terano, Hiroshi Deguchi and Yoshinori Shiozawa, “U-Mart project: new research and education program for market mechanism”, *International Simulation And Gaming Association, The 34th Annual Conference*, Kazusa Akademia Park, Chiba, Japan, 25–29 August, 2003.
- H55 Yoshihiro Nakajima, Isao Ono, Naoki Mori, Hiroyuki Matsui and Hiroshi Sato, “Elementary property of U-Mart found by submitted agents to U-Mart international experiment”, *International Simulation And Gaming Association, The 34th Annual Conference*, Kazusa Akademia Park, Chiba, Japan, 25–29 August, 2003.
- H56 Kazuhito Ogawa, Kouhei Iyori and Sobei H. Oda, “Price Competition Between Middlemen: An Experimental Study”, *International Simulation and Gaming Association, The 34th Annual Conference*, Kazusa Akademia Park, Chiba, Japan, 25-29 August 2003
- H57 小田宗兵衛: 「実験経済学を用いた教育実践」, 『第 34 回国際シミュレーション&ゲーミング学会大会・社会貢献活動プログラム』 かずさアカデミアパーク, 2003 年 8 月 27 日
- H58 舩本現, 「ラムダゲーム」, 『第 14 回 ALGI (代数, 論理, 幾何と情報科学研究集会) 及び日本数理科学協会年会 論理数学分科会 合同研究会』, 大阪府立大学, 4–5 September, 2003.
- H59 舩本現, 「ラムダゲーム: メタゲームへのアプローチ」, 『数理解析研共同利用研究集会「数学解析の理論的展開の計算機による支援・遂行可能性」』, 京都大学数理解析研究所, 16–19 September, 2003.
- H60 篠原修二, 「強化学習主体からなる経済システムにおける貨幣の生成・崩壊」, 『2003 年日本経済学会秋季大会』, 明治大学, 12 October, 2003.
- H61 Yasuyo Hamaguchi, Satoshi Mitani and Tatsuyoshi Saijo, “Does the Varian Mechanism Work?—Emissions Trading as an Example”, 『2003 年日本経済学会秋季大会』, 明治大学, 13 October, 2003.
- H62 篠原修二, 「学習主体による貨幣的秩序の形成」, 日本社会学会, 中央大学, 13 October, 2003.
- H63 八杉満利子, 「極限計算可能性 不連続点における計算の認識について」, 『JST 異分野研究者交流促進事業フォーラム「数理の世界」』, 幕張プリンスホテル, 7 December, 2003.
- H64 Mariko Yasugi (invited talk), “Computability problems on the continuum”, *The Symposium on Mathematical Logic '03*, 神戸大学百年記念館, 18 December, 2003.
- H65 Mariko Yasugi, “50 years of Takeuti’s conjecture (パネルディスカッション・パネラー)”, *The Symposium on Mathematical Logic '03*, 神戸大学百年記念館, 18 December, 2003.
- H66 野澤孝之, 「ネットワーク構造とその上で行われるジレンマゲームの相互作用」, 『計測自動制御学会システムインテグレーション部門 (SI2003) 講演会』, 東海大学 代々木キャンパス, 19–21 December, 2003.

2004 年

- H67 井田正明, 芳鐘冬樹, 野澤孝之, 宮崎和光, 喜多一, 「シラバスXMLデータベースの試作」, 『情報処理学会 第66回全国大会』, 慶應義塾大学 湘南藤沢キャンパス, 9-11 March, 2004.
- H68 野澤孝之, 井田正明, 芳鐘冬樹, 宮崎和光, 喜多一, 「シラバスデータのクラスタリングに基づく教育コース分析システムの構築」, 『情報処理学会 第66回全国大会』, 慶應義塾大学 湘南藤沢キャンパス, 9-11 March, 2004.
- H69 芳鐘冬樹, 井田正明, 宮崎和光, 野澤孝之, 喜多一, 「シラバスからの専門用語抽出手法の検討」, 『情報処理学会 第66回全国大会』, 慶應義塾大学 湘南藤沢キャンパス, 9-11 March, 2004.
- H70 渡辺将尚, 絹川博之, 井田正明, 芳鐘冬樹, 野澤孝之, 喜多一, 「シラバスHTML文書からの情報抽出」, 『情報処理学会 第66回全国大会』, 慶應義塾大学 湘南藤沢キャンパス, 9-11 March, 2004.
- H71 中山広基・西野成昭・上田完次・小田宗兵衛: 「耐久消費財のリサイクルにおける耐久度とリサイクル率に関する社会工学的研究」, 『2004年度精密工学会春季大会学術講演会』精密工学会, 2004年3月16-18日
- H72 中島義裕, 小野功, 森直樹, 出口弘, 石山洸, 松井啓之, 「U-Mart Version2.0 を利用したヒューマン・エージェントによる株式先物取引実験, ゲーミングの手法を利用した体験型学習と制度研究 - 」, 『進化経済学会 福井大会』, 福井県立大学, 27-28 march, 2004.
- H73 小野功, 森直樹, 佐藤浩, 喜多一, 松井啓之, 中島義裕, 「U-Mart システム 新サーバーの紹介」, 『進化経済学会 福井大会』, 福井県立大学, 27-28 march, 2004.
- H74 岡本格治, 中島義裕, 「内集団ひいき行動はなぜ起きるのか?」, 『進化経済学会 福井大会』, 福井県立大学, 27-28 march, 2004.
- H75 井田正明, 芳鐘冬樹, 野澤孝之, 宮崎和光, 喜多一, 「シラバスデータベースシステムの検討と応用」, 『第48回システム制御情報学会講演会』, 京都テルサ, 19-21 May, 2004.
- H76 Atsushi Iwasaki, Masafumi Matsuda and Makoto Yokoo, “Stability of the Truth-telling strategy in Multi-unit Option Allocation Auctions: Laboratory Experimentation”, *WEHIA2004: The 9th Workshop on Economics with Heterogeneous Interacting Agents*, Kyoto University, Kyoto, Japan, 27-29 May, 2004.
- H77 Kazuhito Ogawa, Kouhei Iyori and Sobei H. Oda, “Price Competition Between Price Setting Middlemen in the Laboratory Setting”, *The 9th Workshop on Economics with Heterogeneous Interacting Agents (WEHIA2004)*, Kyoto University, Kyoto, Japan, 27-29 May 2004
- H78 Yoshio Iida, “The Effect of Group Competition in the Prisoners’ Dilemma Game”, *The Seventh International Meeting of the Society for Social Choice and Welfare*, Osaka University, Osaka, Japan, 22-25 July, 2004.
- H79 Yasuyo Hamaguchi, “Does Observation of Others Affect People’s Cooperative Behavior? An Experimental Study on Threshold Public Goods Games”, *Seventh International Meeting of the Society for Social Choice and Welfare*, Osaka University, Japan, 22-25 July, 2004.

- H80 井田正明, 野澤孝之, 芳鐘冬樹, 宮崎和光, 喜多一, 「シラパスデータベースの構築と利用」, 『第3回情報科学技術フォーラム』, 同志社大学, 7-9 September, 2004.
- H81 宮崎和光, 井田正明, 芳鐘冬樹, 野澤孝之, 喜多一, 「科目分類支援システムの改善とその応用」, 『第3回情報科学技術フォーラム』, 同志社大学, 7-9 September, 2004.
- H82 渡辺将尚, 絹川博之, 井田正明, 芳鐘冬樹, 野澤孝之, 喜多一, 「Web上のシラパス情報の収集と変換」, 『第3回情報科学技術フォーラム』, 同志社大学, 7-9 September, 2004.
- H83 Yoshiki Tsujii, Mariko Yasugi and Takakazu Mori, “Sequential computability of a function — diagonal space and limiting recursion —”, 『日本数理科学協会年会論理数学分科会』, 神戸大学 神大会館, 15-16 September, 2004.
- H84 Yasuyo Hamaguchi, “Does Observation of Others Affect People’s Cooperative Behavior? An Experimental Study on Threshold Public Goods Games”, 『2004年日本経済学会秋季大会』, 岡山大学, 25-26 September, 2004.
- H85 西野成昭・小田宗兵衛・上田完次: 「リサイクルシステムにおける行動主体の意思決定と制度設計: 使用済み製品の回収市場における分析」, 『合同エージェントワークショップ&シンポジウム (Joint Agent Workshop2004)』 ホテルメゾン軽井沢, 2004年10月27-29日
- H86 岩崎敦, 松田昌史, 横尾真, 「複数同一財権利配分型オークションの安定性: 被験者実験による検証」, 『合同エージェントワークショップ&シンポジウム (Joint Agent Workshop2004)』, ホテルメゾン軽井沢, 27-29 October, 2004.
- H87 芳鐘冬樹, 野澤孝之, 辻慶太, 影浦峯, 「ウェブからの関連語・下位語の収集手法の検討と検索システムへの応用」, 『第52回日本図書館情報学会研究大会』, 関西大学, 6-7 November, 2004.
- H88 井田正明, 野澤孝之, 芳鐘冬樹, 宮崎和光, 喜多一, 「シラパスデータベースとシステム工学教育」, 『計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会』, アクトシティ浜松, 18-20 November, 2004.
- H89 岩崎敦, 松田昌史, 横尾真, 「複数同一財権利配分型オークションの安定性: 被験者実験による検証」, *the ninth Experimental Economics Conference of Japan*, 大阪大学, 28 november, 2004.
- H90 中山広基・西野成昭・小田宗兵衛・上田完次: 「耐久消費財のリサイクルシステムにおける行動主体に関する研究」, 『日本機械学会第14回設計工学・システム部門講演会』???, 2004年11月29日 - 12月1日
- H91 Kazuhito Ogawa, Kouhei Iyori and Sobei H. Oda, “Price Competition Between Price Setting Middlemen in the Laboratory Setting”, *International Conference Experiments in Economic Sciences: New Approaches to Solving Real-world Problems*, Okayama International Hotel and Kyoto Sangyo University, Okayama and Kyoto, Japan, 14-17 December 2004
- H92 Nariaki Nishino, Hiroki Nakayama, Sobei H. Oda and Kanji Ueda, “Recycling of Durable Goods: Modeling and Experiments”, *International Conference Experiments in Economic Sciences: New Approaches to Solving Real-world Problems*, Okayama International Hotel and Kyoto Sangyo University, Okayama and Kyoto, Japan, 14-17 December 2004

- H93 Hiroyasu Yoneda, Gen Masumoto and Sobei H. Oda, “Marginal Contribution of Information to Profit in a Zero-sum Game”, *International Conference Experiments in Economic Sciences: New Approaches to Solving Real-world Problems*, Okayama International Hotel and Kyoto Sangyo University, Okayama and Kyoto, Japan, 14–17 December 2004
- H94 Takemi Fujikawa and Sobei H. Oda, “Bayesian Updating in Experiment: Good News and Bad News in Small Feedback-Based Decision Problems”, *International Conference Experiments in Economic Sciences: New Approaches to Solving Real-world Problems*, Okayama International Hotel and Kyoto Sangyo University, Okayama and Kyoto, Japan, 14–17 December 2004
- H95 Ryoko Wada and Sobei H. Oda, “Separation of Intertemporal Substitution and Time Preference Rate from Risk Aversion: Experimental Analysis”, *International Conference Experiments in Economic Sciences: New Approaches to Solving Real-world Problems*, Okayama International Hotel and Kyoto Sangyo University, Okayama and Kyoto, Japan, 14–17 December 2004
- H96 Yasuyo Hamaguchi, “Does Observation of Others Affect People’s Cooperative Behavior? An Experimental Study on Threshold Public Goods Games”, *International Conference Experiments in Economic Sciences*, Kyoto Sangyo University, Kyoto, Japan, 14–17 December, 2004.
- H97 Yoshio Iida, “The Effect of Group Competition in the Prisoners’ Dilemma Game”, *International Conference Experiments in Economic Sciences*, Kyoto Sangyo University, Kyoto, Japan, 14–17 December, 2004.
- H98 Yoshihiro Nakajima and Yoshinori Shiozawa, “Usefulness and feasibility of market maker in a thin market”, *International Conference Experiments in Economic Sciences*, Kyoto Sangyo University, Kyoto, Japan, 14–17 December, 2004.
- H99 Yoshihiro Nakajima, Isao Ono, Hiroshi Sato, Naoki Mori, Hajime Kita, Hiroyuki Matsui, Kazuhisa Taniguchi, Hiroshi Deguchi, Takao Terano and Yoshinori Shiozawa, “Introducing Virtual Futures market System “U-Mart””, *International Conference Experiments in Economic Sciences*, Kyoto Sangyo University, Kyoto, Japan, 14–17 December, 2004.
- H100 Jungo Ueki and Yoshihiro Nakajima, “Analyse the complexity of the financial time series using artificial market”, *International Conference Experiments in Economic Sciences*, Kyoto Sangyo University, Kyoto, Japan, 14–17 December, 2004.

2005 年

- H101 野澤孝之, 『『自然なシステム』創発条件探究のテストベッドとしてのシンプレクティブ・セルラ・オートマタ』, 『自律分散システムシンポジウム』, 東京工業大学すずかけ台キャンパス, 27–28 January, 2005.
- H102 小田宗兵衛: 「一部の人しか知らないことを知っている人は、何も知らない人より必ず儲かるか?」, 『第 5 回共創プラットフォーム定例会』東京大学駒場リサーチキャンパス, 2005 年 2 月 18 日

- H103 井田正明, 芳鐘冬樹, 野澤孝之, 宮崎和光, 喜多一, 「シラバスデータベースシステムの実用化」, 『情報処理学会第 67 回全国大会』, 電気通信大学, 2-4 March, 2005.
- H104 井田正明, 野澤孝之, 芳鐘冬樹, 宮崎和光, 喜多一, 「シラバスデータによる教育課程の分析と視覚化に関する考察」, 『情報処理学会第 67 回全国大会』, 電気通信大学, 2-4 March, 2005.
- H105 芳鐘冬樹, 井田正明, 野澤孝之, 宮崎和光, 喜多一, 「シラバスからの関連用語収集手法の検討と検索システムへの応用」, 『情報処理学会第 67 回全国大会』, 電気通信大学, 2-4 March, 2005.
- H106 渡辺将尚, 絹川博之, 芳鐘冬樹, 井田正明, 野澤孝之, 喜多一, 「シラバス文書からの情報抽出支援システムの試作」, 『情報処理学会第 67 回全国大会』, 電気通信大学, 2-4 March, 2005.
- H107 井寄幸平, 「ネットワーク型囚人のジレンマにおける協調行動: 被験者実験と計算機実験」, 『21 世紀 COE ユースワークショップ「社会科学における実験研究の現在」』, 京都大学, 7-8 March, 2005.
- H108 鈴木真介・綿引智美・秋山英三・小田宗兵衛: 「社会的ジレンマにおける評判の役割」, 『21 世紀 COE ユースワークショップ「社会科学における実験研究の現在」』 京都大学, 2005 年 3 月 7-8 日
- H109 小川一仁・岩崎敦・小田宗兵衛・横尾真: 「独占的仲介業者の価格形成過程に関する分析 - 計算機実験による被験者実験の再現を軸に」, 『進化経済学会』 東京工業大学, 2005 年 3 月 26-27 日
- H110 Yasuyo Hamaguchi, Toshiji Kawagoe and Aiko Shibata, “An Experimental Study of Leniency Programs”, 『2005 年日本経済学会春季大会』, 京都産業大学, 4-5 June, 2005.
- H111 松谷俊宏, 横尾真, 岩崎敦, 「架空名義入札に頑健な組合せオークションプロトコルの評価」, 『第 19 回人工知能学会全国大会』, 北九州国際会議場, 15-17 June, 2005.
- H112 大田直樹, 横尾真, Vincent Conitzer, Tuomas Sandholm, 岩崎敦, 「開環境での協力ゲームにおける解概念の提案」, 『第 19 回人工知能学会全国大会』, 北九州国際会議場, 15-17 June, 2005.
- H113 田中保行, 岩崎敦, 横尾真, 「オークション事例を用いた需要関数推定に関する研究」, 『第 19 回人工知能学会全国大会』, 北九州国際会議場, 15-17 June, 2005.
- H114 小田宗兵衛: 「How to Use Private Information in a Zero-sum Game」, 『行動経済学ワークショップ』 武蔵大学, 2005 年 7 月 2 日
- H115 Atsushi Iwasaki, Kazuhito Ogawa, Makoto Yokoo, and Sobei H. Oda, “Reinforcement Learning on Monopolistic Intermediary Games: Subject Experiments and Simulation”, *The Fourth International Workshop on Agent-based Approaches in Economic and Social Complex Systems (AESCS-2005)*, Tokyo Institute of Technology, Japan. 9-13 July, 2005.
- H116 西野成昭・中山広基・小田宗兵衛・上田完次: 「耐久消費財のリサイクルシステムにおける行動主体の意思決定: リサイクル製品の普及に関する分析」, 『日本機械学会第 15 回設計工学・システム部門講演会』 北海道大学, 2005 年 8 月 3-5 日
- H117 金子陽平・西野成昭・小田宗兵衛・上田完次: 「ネットワーク外部性を伴う製品市場における不完全情報下での意思決定」, 『日本機械学会第 15 回設計工学・システム部門講演会』 北海道大学, 2005 年 8 月 3-5 日

- H118 小川一仁・川村哲也・菊谷達弥・小田宗兵衛: 「接触の増加は協力を容易にするか? - 実験による検証 - 」, 『京都大学 COE ワークショップ』北海道大学, 2005 年 9 月 8-9 日
- H119 舛本現「ゼロサムゲームと情報階層」, 『進化経済学会サマースクール』, 北海道大学, 8-9 September, 2005.

第2部

経済実験のハードウェアとソフトウェア

経済実験室の設計と運営*

Designing and Maintaining a Laboratory for Economic Experiments

岩崎 敦 (九州大学大学院システム情報科学研究院)†

野澤 孝之 (大学評価・学位授与機構)‡

2004年9月15日

要約

本稿はコンピュータ化された経済実験専用の実験室の設計および運用システムの構築に資することを目的とする。2002年度ノーベル経済学賞に見られるように被験者実験による経済学研究(実験経済学)は国際的には経済学の一分野として認知されている。しかし、国内においては専門とする研究者はそれほど多くない。1つは資金面の問題が挙げられるが、もう1つ重要な理由として経済実験室のための計算機システムの設計や運用に関する文献やそのシステムに通じた人材が非常に限られることが挙げられる。そこで本稿では京都産業大学経済実験室を例にあげ、経済実験室の設計およびその運用について解説する。加えて約2年間の経験から今後経済実験室を設計する上での改良点についてまとめる。

Abstract

This article describes designing and maintaining a laboratory specialized for economic experiments. As the 2002 Nobel Prize in Economics has been awarded to Danny Kahneman and Vernon Smith who are the pioneers in Experimental Economics, it has been very popular for economists in the U.S., Europe, and other countries. However, there are very few laboratories for economic experiments in Japan. It is certain that launching such a laboratory requires a lot of funds, but this paper focuses on another difficulty and we provides economists with know-how and tips for designing and maintaining such a laboratory from our experiences in about two years.

キーワード：実験経済学，経済実験室，計算機システム

keyword: Experimental Economics, Laboratory for Economics Experiments, Computer Systems

* 京都産業大学経済実験室 (Kyoto sangyo university Experimental Economics Laboratory, KEEL) の設計および運用システムの構築にあたっては国内外の研究者，研究グループの助言を受けた。とくに，はこだて未来大学の川越敏司氏には実験室設計の助言以外にも筆者 (岩崎敦) がアリゾナ大学およびカリフォルニア工科大学の経済実験室を見学する機会を提供して頂いた。ここに感謝したい。

† 知能システム学部門助手，iwasaki@lang.is.kyushu-u.ac.jp

‡ 評価研究部評価情報研究開発部門助手，京都産業大学客員研究員，nozawa@niad.ac.jp

1 はじめに

本稿はコンピュータ化された経済実験専用の実験室（以下、経済実験室）の設計および運用システムの構築に資することを目的とする。我々の京都産業大学経済実験室 (Kyoto sangyo university Experimental Economics Laboratory, 以下 KEEL) はカリフォルニア工科大学, アリゾナ大学, ポンペイファブラ大学, はこだて未来大学, アムステルダム大学などの経済実験室を参考に設計され, 2002年4月より運用されている。また [Friedman and Sunder(1994)] も KEEL 設計において参考にした。本稿では設計時と約2年間の運用の経験から, 経済実験室の構築に必要な設備や仕様をまとめ, 今後新たに経済実験室を設計する際に参考になるとと思われる点を述べている。

経済実験室 (Experimental Economics Laboratory) とは一般にコンピュータ化された実験設備を備えた経済実験専用の施設のことを指す。もちろん, コンピュータ化された実験設備がなくとも経済実験は可能であるし, 必ずしも経済実験専用の施設である必要はない。しかし, 以下の理由から経済実験室を新設する際には, コンピュータ化された実験設備を備えた専用の施設であることが望ましい。

実験を行なう頻度, その設定にもよるが, 経済実験は専用の設備を必ずしも必要としない。実際, 紙と鉛筆だけを使った手作業による実験でも十分な結果をえることができる。しかし, ある程度多数のスタッフが継続した実験を行なう場合や, さらに手作業では困難なほど複雑な設定の実験を行なう場合はコンピュータを利用した実験が, 均一な実験条件を実現し, 後のデータ解析を容易にする点で有効である。

いっぽう経済実験の頻度が十分小さければ, 一般の情報処理教室を実験室として共用することは可能であり, 実際に共有している研究グループも存在する。しかし, 経済実験を実施するには, 実施時に加えて, 実験ソフトウェアの検証や事前準備, 後片付けに時間を要する。このため, これらの作業中には一般の学生は実験室にいないようにしたい。したがって, 日程調整やその管理・運用を考慮すれば, 規模を多少小さくしても専用の実験室を設ける方が望ましい。

さらに実験室と隣り合った実験準備室は実験の準備, 実施において大いに役に立つ設備となる。準備室の用途は多岐に渡る。じっさい, KEEL で継続的に行なうようになって初めて気がついたことも多い。例えば, 被験者の目に触れさせたくない実験資料や, 実験ソフトウェアの管理画面, 謝金の管理と準備作業などがそれにあたる。また, 謝金に用意した現金の盗難!!やハードウェアやソフトウェア的な問題はいつでも起こりうる。盗難はともかく, 実験中のトラブルにおいて, 右往左往している姿を被験者にさらさずに済む点でも準備室は有効である。ただし, 実験室に隣接した準備室のある経済実験施設は世界的にも少ない。筆者の知る限りではアリゾナ大学のラボだけで, その他のほとんどのラボでは被験者と隣合わせの状態では謝金を準備し, 実験用ソフトウェアの管理者画面を走らせている。このため, 準備室は経済実験室において付加的な設備であるが, 設置できるにこしたことはない。

実験室および準備室に設置するハードウェアとそのネットワーク構成は, 実験設定だけでなくプロジェクトの予算, 学内の事情に左右される。後で詳しく述べるが, 一般の情報処理教室と同じハードウェアおよびネットワーク構成を揃えるようにしたい。

ソフトウェアについては, 経済実験に直接関わるソフトウェアについて簡単に説明するとともに, サーバマシン, クライアントマシン自体を管理するソフトウェアについて言及する。とくに Windows 系の OS を採用する (大抵の場合採用せざるを得ない) 場合, 定期的なフォーマット, 再インストールなどの作業は必須となる。このため, 何らかのメンテナンスシステムは最初から導入するようにし

たい。

本書は三つの節から構成される。第2節では、経済実験室の設計や設備について、実験室と隣接する準備室を中心に説明する。第3節では実験システムを構成するコンピュータについて述べる。第4節では、被験者へのインストラクションなどに使用するAV機器について述べる。

2 経済実験室

経済実験室を設計する場合、その設備やシステムに気をとられがちになるが、誰がシステムを管理するかは、誰が被験者を集めて管理するかと同じくらい重要な問題である。実験の準備や実施におけるトラブルに対応できるようにするには普段からPCやネットワークを管理している技術者が必要となる。このような専門の管理者を雇う予算がなければ、管理を研究者や学生に任せざるを得ない。実際、PC管理能力のある常勤の研究者や熱心な学生がいれば実験室を滞りなく運用できる。しかし、こうした管理作業はそれなりのスキルを要するだけでなく労働集約的な側面をもつ。このため、海外の実験室では専門の管理者や技官 (technician) がこの役割を担っている。日本の研究機関においてこうした人材を雇用する予算を確保することは難しい。しかし、研究者が教育・研究のかたわらに、こうした管理の仕事もこなすのは相当な負担になる。このため、KEELではプロジェクト申請時に2名のポスドクを雇用する予算を計上し、その内1名に専任のシステム管理者としての役割を任せている。また、被験者の募集や管理を専任のリサーチアソシエイトに任せている。以上のように実験室を設置するにあたっては、設備以外の管理者などの人材面に留意することが、実験室を継続的に運営していく上で重要とある。

KEELはこうした研究を補助する人材を含めて、実験室とその準備室から構成される。実験室には28台のPCクライアントと1台の教師用PC、そして実験の手順説明や授業などにも活用できるAV機器が設置されている。被験者のワークスペースは1人1人で区切られ、仕切りにより他の被験者とのコミュニケーションを防ぐようになっている。また、実験室のPCはセキュリティの問題から学外からは閉じたLANで繋がられ、隣接する準備室に設置されている2台のサーバにより管理されている。準備室には実験室のPCを管理するサーバとともに実験準備に必要な作業用PC2台、コピー・プリンタ複合機などを設置している。

2.1 実験室

予算や学内での折衝が終われば、経済実験室を業者に発注することになる。KEELの設計者は施工業者に仕様を正確に伝えるための仕様書を作成している。この仕様書にもとづいて、施工業者は見積もりやスケジュールを立てることになる。また、実験室建設後、設計者の想定した仕様と異なる仕様になっていることもありえる。この場合、お互いの責任を明確にするためにも、実験室の仕様はきちんと仕様書にまとめることをすすめたい。仕様書の書き方は任意であるが、一般の情報処理教室に通じる部分が多いので、学内の情報センターなどから情報処理教室の仕様書を参考にさせてもらえば、施工業者側もわかりやすい。

実験室の規模は、プロジェクト予算や学内の事情が許す限り、大きくしたいだろう。もちろん、設計者や実験室を利用する研究者に十分な経済実験の経験があるなら、それに合わせた規模を想定できるだろう。それでも、募集した通りに被験者が当日きちんと来るとは限らない。また多めに参加者を見込んだ結果、必要以上の人数が集まる可能性がある。このため、想定する実験の規模より2、3人多めに設

備を設置した方がよい(もしくは設備の規模から2,3人少なめに実験を設計する)。KEELでは,1回の実験規模を24人,予備に1人を想定し,25人分の被験者用机を設置した。これでも被験者が余ることは起きうる。このような余った被験者の扱いは色々考えられるが,KEELでは別途1人用の実験やさくらの被験者をおくことで対応している。また,くじを引いてもらった上で一定額の謝金を渡して帰ってもらう方法もある。

規模が決定すれば,次に機の配置や白板,教卓などの備品の配置を考えることになる。KEELの場合,京都産業大学情報センターに大体の仕様を伝えて,設計上注意すべき点を指摘して頂いた。設計図面はAdobe Illustratorを用いて作成した(図1)。

この図面には書かれていないが,実際の教室には柱や窓,ブラインド,カーテンを設けるためスペースが存在する。このため,実際の教室が正確に長方形である場合はほとんどない。このため,実際の設計の経験がない限り,それらまで考慮した設計図面を書くことは非常に困難である。しかし,この点は業者に依頼することができる。KEELの場合,図1にもとづいて,CADによる図面を施工業者に作成してもらい,設計者との間で確認しながら設計の細部をつめていった。

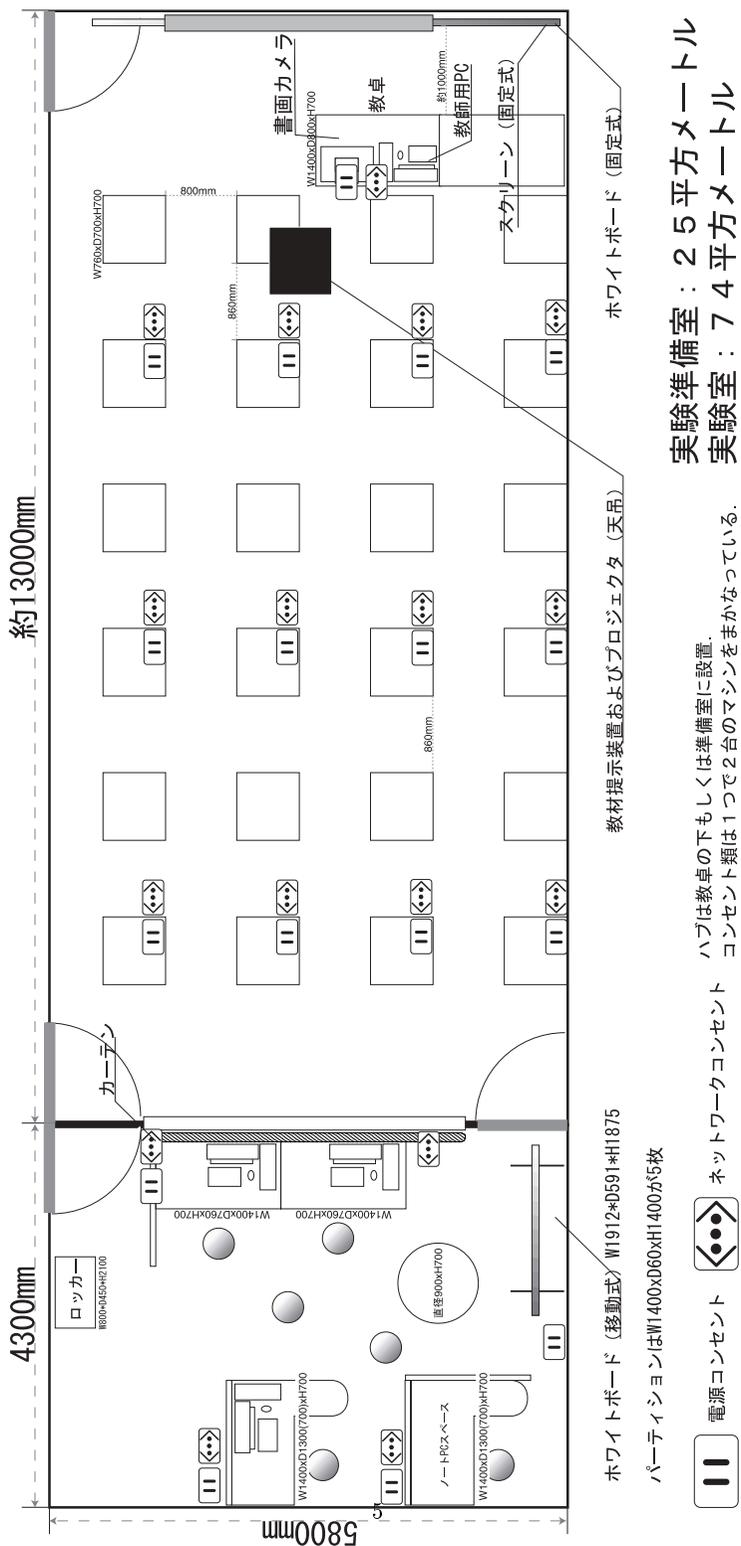
KEELは手作業による実験も行なえるようかなりの余裕を持たせて設計されている。被験者のワークスペースを個別に設けるいっぽうで,ワークスペース間の通路は約760mmを確保している。若干狭いが実験者が作業するには十分である。また,被験者のワークスペースの前後幅を800mmを想定し,25台のワークスペースを設置した。しかし,実際に運用してみると,この前後幅にはかなりの余裕があったため,現在では28台(4×7台)に増設している。ただ,奥行きがかなり広がったため,最後尾のスペースからスクリーンを視認しにくいという欠点があり,今後の設計にはスクリーンの視認性には注意されたい。

実験室の設計前,設計後と比較すると,図面でイメージした幅や奥行きと実際に感じる幅は大きく異なる。このため,設計には専門の業者からアドバイスを受けるとともに,可能であればこちらが説明した概要にもとづいて,実験室のスペースにあったプランを作成してもらうこともできる。また,余裕をもった設計をとった場合,プロジェクトの2年目もしくは3年目において,実験室の設備を更新するための予算につけておくとうまいだろう。KEELの場合,当初この予算を計上していなかったため,追加設備の導入にかなりの事務手続きが必要となった。

被験者のワークスペースに設置する机(図4)には,近くの被験者と会話したり,その画面を覗き見るといった許可されないコミュニケーションを防ぐ仕切りを設けている。これが経済実験室と情報処理教室を異なるものにする最大の設備である。KEELでは,仕切りをは取り外すことは不可能だが,手実験や実験を用いた授業における利便性の点では,大阪大学社会経済研究所やHarvard Business Schoolの実験室のように,取り外し可能の方が好ましいかもしれない(図7および8)。ただ,仕切りの取り外しはできるだけ簡便なものを採用し,取り外した時の置き場所も実験に支障のないよう工夫するようになりたい。

仕切りのサイズを決定する際の注意点はいくつかあるが,とくに仕切りの高さは実験室の広さによって変わってくるだろう。さらに,左右の突き出しは被験者間を確実に隔離するのに役に立つ。

仕切りは高ければ高いほど被験者間を隔離しやすくなる一方で,インストラクションや実験中に提供する共有情報が伝えにくくなる。また被験者の身長や体型は様々であるので,ちょうどいい高さを決めるのは難しい。KEELでは,実際に納入業者のショールームを訪問し,様々な仕切りの高さを検討した結果,500mmとし,実験室の白板やスクリーンはこの高さにあうように設置するよう業者に依頼した。そのため,白板はかなり高い位置に設置され使いづらくなっている。この問題はある程度の高さの教壇



実験準備室：25平方メートル
 実験室：74平方メートル

- 電源コンセント
- ネットワークコンセント
- ホワイトボード (移動式) W1912*H1875
- パーティションはW1400xD60*H1400が5枚
- 教材提示装置およびプロジェクタ (天吊)
- ホワイトボード (固定式)

図1 実験室図面



図2 準備室から見た実験室



図3 準備室から見た実験室（実際）

を設置すれば解決するが、現在はそのままだ用いている。

左右に突き出しのない仕切りでも、左右の被験者の様子を覗くことを十分防ぐが、斜め前の被験者の画面は以外と簡単に覗くことができる。このため、KEELでは左右に200mm程の突き出しを仕切りに設けている。これによりよほど体勢を動かさない限り、他人の画面を見ることができないようになっている。筆者が知っている限りでは、心理実験用のラボではこうした左右の突き出しがある。また、もともと左右の突き出しのないラボでも設備に更新されつつある。

被験者のワークスペースを確保する上で仕切りの厚さも重要な要素である。KEELでは45mmの厚さを設け、かなりしっかりした仕切りになっている。しかし、結果として左右で90mmも机のスペースを削っているため、当初想定していたよりは机上の作業スペースは狭く感じる。

被験者の計算機を機のどこに設置するかは、机の仕様に影響を与えるのでしっかり考えておきたい。実際、計算機を机の上に置くと、その分被験者のワークスペースを狭くしてしまう。机を大きくできない場合には、机の前や横にラックを設置し、被験者のワークスペースを確保するという事も考えられ

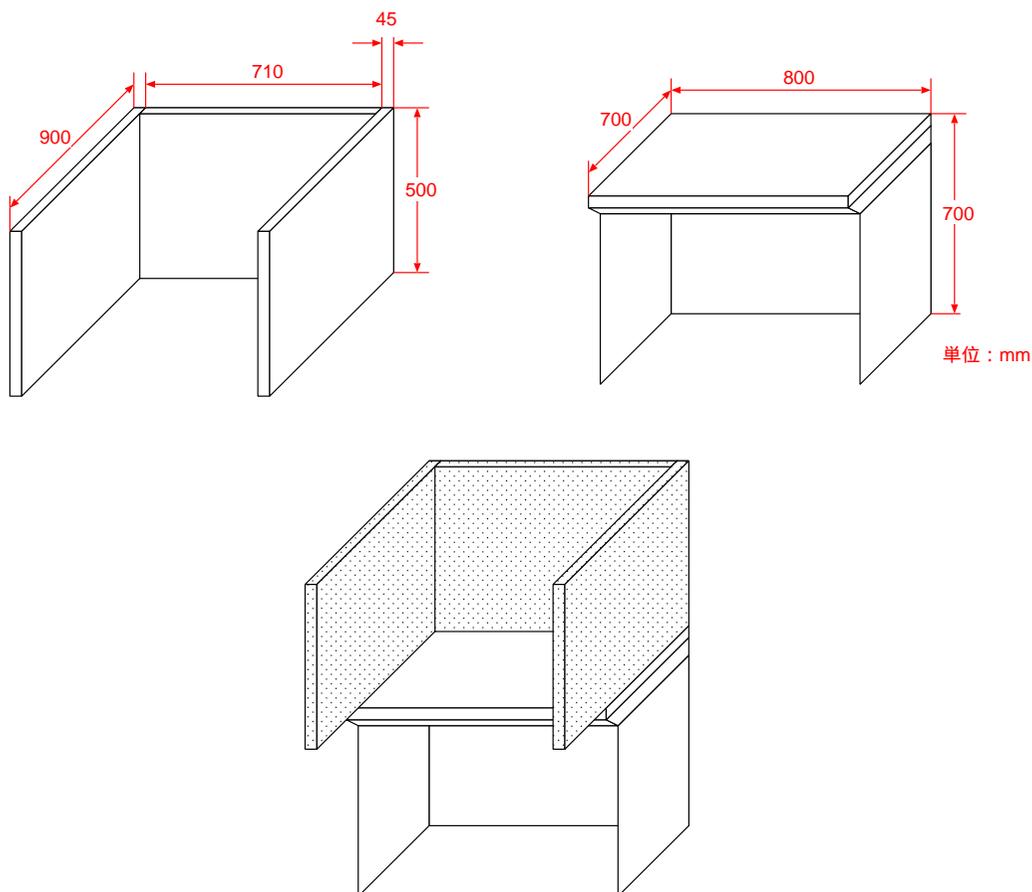


図4 実験専用机と仕切り

る。また、マウスしか使わない実験の場合は、キーボードをディスプレイの後ろに立てかけておくことで、被験者が余計な操作をする可能性を減らすことができる(図7)。

またラボの設計を詰める段階において、机を固定して設置するか否かを決めなければならないかもしれない。この場合、基本的に固定せずに設置することをすすめる。KEELでもそうだったように、実際に運用しなければ、ワークスペース間の幅などの好不都合がわからないため、できるだけ柔軟に配置が変更できるよう設計している。

余談になるが、机への番号の割り振りも意外と迷う要素であった。実際には、配置するPCのIPアドレスと揃えて机の番号を割り振ることで、解決した。

2.2 準備室

先に述べたように準備室の用途は様々である。経済実験には被験者に見せられない作業を伴うため、実験室の実験者とのコミュニケーションがとることが容易な準備室は必須ではないが、実験者の労力をかなり軽減する。KEELの準備室の主な用途は以下の通りである。

- インストラクションなどの作成
- 被験者への謝金の保管・準備



図5 KEEL: 28 台の PC クライアントが設置されている。奥に見える窓の向うが準備室。

- 被験者用の計算機を管理するためのサーバールーム
- 実験用ソフトウェアの検証
- 今までの実験データ（アンケートなど）の保管（簡易製本機）
- 普段のディスカッション

注意すべき点としては実験中でも実験室と準備室との連絡をしやすいようにすることと、逆に準備室の様子を実験室からわからないようにすることの2点である。

実験中における実験室と準備室の連絡については、準備室側から実験室の様子が一枚窓により一目でわかるようになっている。ただ、図1の通りの設計では最後尾の被験者から、準備室側が丸見えになっている。それゆえ、こちらから被験者の画面が見やすくなることは被験者に余計な心理的負担を与えかねない。この点において、この窓はもう少し小さく設計するべきであった。具体的には床から約1400mmの所から高さ約800mmの窓くらいがちょうどよいだろう。

実験室に装備しているマイクのスピーカーは実験室にしかなく、実験室から準備室へのメッセージが伝えにくい。このためスピーカーを準備室にも設置するべきであった。逆に準備室からもマイクなどで実験室にメッセージを送れるようにする方が好ましい。



図6 PCを設置した実験用机: 見たためにはスペースに余裕があるように見えるがA4版のインストラクションなどを置くとそれほど余裕はない。

一方、準備室の様子が実験室からわからないようにした方がよい場合がある。このため、準備室と実験室を仕切る窓にはカーテンを設けている。ただし、KEELでは壁や窓の防音性は考慮しなかったため、準備室の会話は意識して静かにしないと実験室に聞こえてしまうことになってしまった。もちろん実験中に準備室で大声で話すべきではないのは当然だが、普通の会話が聞こえないよう防音処理をするべきであった。以下にKEELの実験準備室の運用から気がついた点について述べる。

- 外線電話の設置

大学では一般的に教官の部屋にしか外線電話を設置できない。しかし、実験の実施には当日の遅刻者、欠席者への連絡などが不可欠であるため、外線電話の設置を大学側と交渉したい。また遠隔地との同時実験を行なう場合にも外線電話は必要となるだろう。z-Tree [Fischbacher(1999)]はTCP/IPによる実験が可能であり、Zurich大学では刑務所の囚人と大学生の間の実験を行っている。

- サーバの騒音

KEELでは実験室の28台のマシンを管理するためのサーバを2台設置している。これらのサーバは高スペックであればあるほど、騒音が激しくなる。こうしたサーバは24時間稼働が基本で

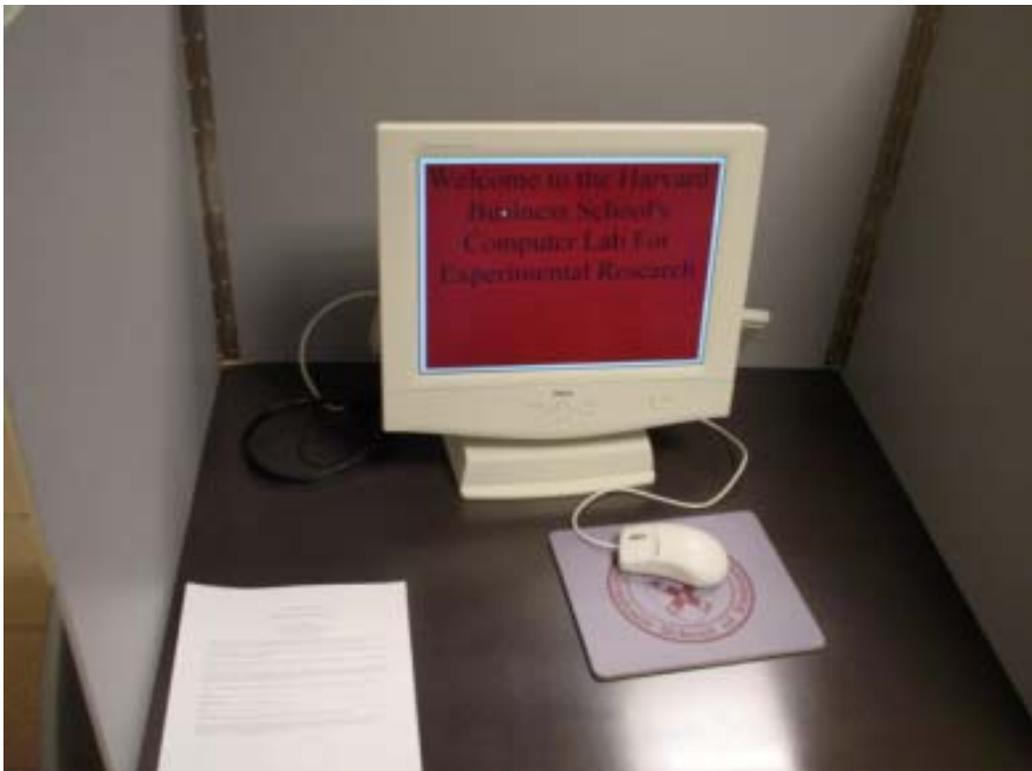


図7 ハーバード大学の実験専用機：ディスプレイの後ろにキーボードが立ってかけてある。

あるが、サーバ稼働させた状態の騒音下では準備室での打ち合せや作業ができなくなるので、やむなく実験実施時以外は電源を落している。いずれにせよ準備室にサーバを設置する場合は専用の CPU ボックスなどを用意して騒音に備えたい。

- クライアントと同仕様のマシン

これは実験中の急な故障や実験用ソフトウェアの検証に有用である。またハードウェアの進歩のサイクルは非常に早く、最初に導入したハードウェアと同スペックのマシンはすぐに入手できなくなるので、作業用 PC に同スペックのマシンを用意しておきたい。

- 受付と部屋の鍵

経済実験室を建設する際は被験者がやってきたときの受付をどこにするかも決めておかなければならない。実験室の教卓ですることはそれほど問題はない。しかし、KEEL は実験室の鍵が電子式になっており、一定時間開け放しておくくとブザーが鳴る仕様となっている。このため、入口を開け放しにして被験者を待つことができない。この結果、実験室のある建物の 1 階ロビーにおいて受付を行っている。このように実験室の施設形式は受付や見学の際に問題になるので、前もって事務側と調整しておきたい。これは建設してからでは、他の施設とは異なるルールにする



図 8 ハーバード大学の実験室：手前が見えるのが仕切りのない状態の机，奥に見えるのが仕切りを設置した机である。

ことはほとんど不可能であるためである。

- 被験者への配慮と掃除

被験者に気持ちよく実験に参加してもらうためにも、被験者への配慮は十分するべきである。とくに KEEL に 20 人以上の被験者を集めるので、空調を適切に設定しないと被験者、実験者ともに気分を悪くする者が出てくるかもしれない。しかし、通常の教室扱いで実験室を建設すると、空調が集中管理になり、実験中に調整することができなくなる場合がある。このため、空調に関しても前もって事務側と相談しておきたい。

また、細かいことであるが、傘立てやコートかけなども実験室に用意したい。とくに、スペースの少ない実験室では被験者の傘やコートは実験を妨げるし、実験室を汚す原因にもなる。さらに実験室の掃除に関しても大学側が定期的にしてくれるのか、スタッフや学生でなければいけないのかを確認しておきたい。

3 計算機（コンピュータ）関連

KEEL には 2 台の PC サーバ、28 台^{*1}の PC クライアント、1 台の教師（実験者）用マシンで実験システムを構築している。そのほか隣接する準備室に、作業用マシンを 2 台置いている。

3.1 ハードウェア仕様

本節ではコンピュータのハードウェア仕様について述べる。我々の経済実験室に導入しているマシンの詳細な仕様については、付録 A を参照されたい。

3.1.1 サーバ

サーバに必要な機能は、どんな基本ソフトウェアの上で、どんな実験ソフトウェアを実行させるかに応じて変わってくるため、必要な性能について一般的なことはあまり言えない（そもそもサーバ自体を必要としない状況すらありえる）。しかしサーバの役割から考えて、高い安定性と十分な性能を兼ね備えた機器を選択することが大切である。

KEEL では、実験サーバに CPU Intel Pentium III 1GHz（Linux サーバはデュアルプロセッサ）で、RAID5+ ホットスワップに対応したハードウェア RAID を搭載した PC サーバを使用している。コンピュータの性能進化は早く、すでにこの機器は最高性能とは言えないが、我々の実験を実施する上では、このマシンで性能の不足を感じたことは無い。

失敗が許されない実験を行う環境で、突然の停電などによりサーバが停止することを心配するならば、UPS（無停電電源装置）の導入を検討したい。

3.1.2 クライアント仕様

サーバの場合と同様、クライアントに要求される性能も実験内容に依存するため、あまり一般的なことは言えない。しかしサーバほどの性能を必要としないのは確かで、また数十台を必要とするため、廉価な PC をクライアントに利用すれば十分である。廉価な PC 以外には X 端末や種々のディスクレス

^{*1} 設計時には 25 台。その後追加した。

クライアントも考えられる。このあたりの選択は、実験ソフトウェア開発者が使用するプラットフォームと汎用性に左右されるだろう。

KEEL では、実験クライアントに CPU Intel Pentium III 1GHz の省スペースデスクトップ PC^{*2} を利用している。このマシンで性能が不足することは将来的にも当分ないと考えている。

また我々の環境では、日常管理の利便性を考え、サーバからの操作により一括でクライアントのブート・シャットダウンを行える実験システムを採用している。このようなシステムを利用するためには、クライアントは WakeOnLan 機能^{*3} をサポートしたネットワークインターフェース (NIC) を搭載している必要がある。

3.1.3 教師（実験者）用マシン，作業用マシン

実験インストラクションや実験進捗状況の確認のため、実験者が実験中に常駐している位置（ふつうは実験室前部）に教師（実験者）用マシンを備えておきたい。

そのマシン上で高負荷の実験サーバソフトウェアを実行するなどの事情が無い限り、この教師用マシンもクライアントマシンと同じものを用いたい。そうすれば、テスト時や実施当日にクライアントと同じ環境で実験ソフトウェアを実行でき、クライアントと同じ運用システムでサーバから一元管理できる。さらにクライアント PC の故障時には代替機としても利用できる（クライアントの予備については次節 3.1.4 も参照されたい。).

また、準備室には実験結果データの分析や謝金計算のための作業用マシンがあると便利である。これも性能に不足がなければ、クライアント用マシンと同じ機種を選択したい。

3.1.4 予備のクライアントマシンの確保

実験実施日が迫ったときにクライアントが故障したら、サポートサービス契約があっても代替機の搬入やソフトウェア設定が間に合わないかもしれない。また、クライアントを追加導入して実験室の規模拡大を検討した時、コンピュータのモデル更新は早いので、同じ構成のマシンはすぐ入手できなくなる（じっさい KEEL では、1 年間の運用の後にクライアント PC の追加を行ったが、同じ機種は入手できなかった）。しかし、クライアントマシンが被験者毎に異なるのは、実験条件の統一という観点から望ましくないし、ソフトウェアの更新などの日常管理を行う上でも余計な手間を生じさせる。

こうした状況に備えて、教師用マシンや作業用マシンにクライアントマシンと同じ機種を使用しておきたい。また、クライアントの機種選定において、後々の調達のしやすさを念頭におきたい例えば、大学の情報教室等で大量に納入させているのと同じ機種を選んでおけば、補修部品は長期間にわたり入手しやすくなるだろう。

3.2 ソフトウェア仕様

本節では実験に必要なソフトウェアの機能要件について述べる。我々の経済実験室で利用している具体的なソフトウェア構成については、付録 B を参照されたい。

^{*2} 選択する PC の形状については、その配置を考慮して決定する必要がある。実験デスクの節 2.1 を参照のこと。

^{*3} <http://gsd.di.uminho.pt/jpo/software/wakeonlan/mini-howto/>

3.2.1 サーバ

[実験サーバソフトウェア]

コンピュータを使った実験システムで被験者間の相互作用を実現するには、実験サーバソフトウェアをサーバマシン上で動かす、その実験サーバソフトウェアにクライアント上から起動した実験クライアントソフトウェアが接続する、サーバ・クライアント方式が一般的である。サーバマシンの第一目的は実験サーバソフトウェアを実行することであるから、サーバにはそのためのソフトウェア環境を導入しておく必要がある。

サーバ・クライアント方式の実験ソフトウェアについては、*z-Tree* などの経済学実験専用アプリケーション、`http+CGI`、独自ソフトウェアによる実験などが考えられる。KEEL で利用している実験ソフトウェア構成は、付録 B.1 を参照されたい。

実験サーバソフトウェアの実行の他に、サーバマシンは実験システムを支える補助的なサービスも提供する。以下に、運用と管理を容易にするための補助的なサービスのソフトウェア機能要件を挙げる（この各機能要件に対する具体的なソフトウェア構成については付録 B.1 を参照されたい）。

[被験者設定（アカウント）の共有]

まず、各クライアント毎に被験者のための設定を行っていくのは非常に手間がかかる作業である。実験時の被験者に必要な設定の大部分は共通していることを考えると、サーバ上で被験者の設定（共通部分）を保持し、それをネットワーク上で共有すればよい。これにネットワーク上のファイル共有を組み合わせることで、実験実施のための設定の手間を大きく軽減できる。さらにサーバのファイル共有機能は、実験ソフトウェアの設計において簡単な通信機能としても利用できる。

[ソフトウェア構成の一元化]

また、被験者の実験条件を揃えるためにはクライアントのハードウェアだけでなく、ソフトウェアも均一に保つ必要がある。数十台というクライアントにソフトウェアをインストール・設定・アップデートして、かつそれを均一なままに維持し続ける手間を考えると、クライアントのソフトウェア構成を一元管理するシステムを導入したい。

ソフトウェア構成を一元管理するシステムは、次の流れで動作しクライアントのディスク内容を均一に保つ；

1. クライアントのうちある 1 台を雛型とする。この雛型マシンで、新たなソフトウェアの導入、設定の変更、アップデートなどを手動で行う。
2. 雛型マシンのハードディスクのイメージをサーバ上に取得する。
3. 取得したイメージを、サーバから全てのクライアントへ送り、ハードディスクに書き出させる。細かくは各マシン固有の情報を反映させるステップが必要となる。

このシステムを利用するためには、クライアントのハードウェア構成も均一に揃えておく必要があることに注意したい。

[ネットワーク設定]

節 3.3 で説明するように、実験システムはプライベートネットワーク上につくられるのが一般的であ

る。この実験の行われるプライベートネットワークと、グローバルネットワーク（大学内 LAN を通じてインターネットへ）を接続するには、ルータが必要になる。またネットワークセキュリティを考慮したファイアウォール機能（プロキシ、NAT など）も必要となる。KEEL では、これらの機能をまとめて 1 台のサーバで提供している。

また、上記のソフトウェア構成一元管理システムを利用するには、クライアントマシンのネットワーク（TCP/IP）環境の自動割当て機能も必要になる。

3.2.2 クライアント

実験を行うためだけを考えるなら、クライアントには実験ソフトウェアの実行環境だけが整っていればよい。具体的には、実験ソフトウェアの開発環境に合ったランタイムライブラリや、実験ソフトウェアが http を用いたものである場合にはユーザインターフェースとしてのウェブブラウザなどである。実験ソフトウェア本体は多くの場合、サーバの共有機能を利用することで各クライアントにインストールする必要はなくなる。KEEL でのクライアントのソフトウェア構成を付録 B.2 に示す。また、インストラクションを実験室前方のスクリーン上ではなく、各クライアントの画面上で表示するために、教師用マシンの画面を全てのクライアントに表示する TV 会議用のソフトウェアを導入することも考えられる。

3.2.3 教師用マシン、作業用マシン

教師用マシンには、インストラクションに用いるプレゼンテーションソフトを導入したい。インストラクションを、作成したソフトウェアやビューワでそのまま表示することも多いので、そのためのソフトウェアも必要となる。その他、被験者が教師用マシンからサーバをコントロールするために、Virtual Network Computing (VNC) ^{*4} のような Thin サーバ/クライアントを利用することも考えられる。準備室の作業用マシンには、謝金の計算や実験データ分析のためのソフトウェアを導入する。KEEL では教師用マシンのソフトウェア構成はクライアントマシンと同じである。作業用マシンの主要ソフトウェア構成は付録 B.3 のようになっている。

3.3 ネットワーク仕様

LAN でコンピュータを接続する。典型的な接続形態は、プライベートネットワークをつくり、その中にサーバ、クライアント、教師用マシンを置いたネットワーク（図 9）である。ネットワークをプライベート化しておけば、クライアントに対する外部からの不正アクセスが防げる。また必要に応じてルータの外部経路を閉じることで、実験中に被験者が暇潰しに Web サーフィンするなどの行為も抑止できる。

作業用マシンについては、KEEL ではルータを兼用しているサーバが常時起動していないため、プライベートネットワークの外に置いている。ルータが常時起動している環境ならば、作業用マシンも内部に置いたほうが管理などの面では便利になる。

ネットワークに関して検討すべき事柄と、KEEL での選択を次に示す；

- 有線 LAN か、無線 LAN か

^{*4} <http://www.realvnc.com/>

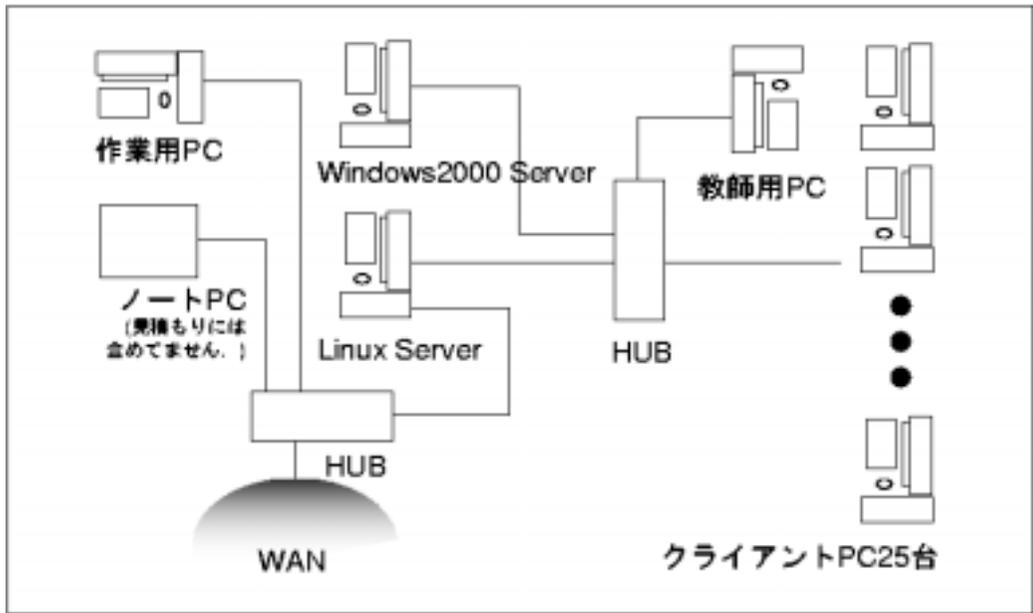


図9 ネットワーク配置

KEEL では有線 LAN を用いている .

- 通信速度

KEEL では 100Base-Tx/10Base-T の auto 設定に対応した機器を用い、普段は 100Base で動作させている。マルチメディアデータをやりとりするなど、実験の内容によっては、GBit 通信の可能な機器を検討する必要があるだろう。

- 配線

無線 LAN の場合には配線の問題は生じない。有線 LAN の場合には、我々の実験室のようにフリーアクセスの床下を通して配線するのが現実的である。

3.4 実験実施時の設定

3.4.1 被験者用アカウントの設定

実験システムでは、各実験で被験者がクライアントマシンを利用するための設定はシステム利用のアカウントに対応して行われる。このアカウントは、節 3.2.1 の中で述べたように、サーバ上でまとめて管理される。これにより、ログオン時に自動起動する実験ソフトウェアや画面設定が均一になるよう一元管理できる。

設定を簡略化するためのポイントは、各実験においてアカウントを一つ（または少数）だけ作成し、被験者の識別 ID などの被験者毎の違いは、可能なかぎり実験ソフトウェアの側で応答するようにさせる（たとえば被験者に入力させる座席番号の違いや、クライアントマシンの IP アドレスの違いによっ

て設定を変えるような実験ソフトウェアを書く)ことである。

3.4.2 実験ソフトウェアの設定

以下の点に留意して実験ソフトウェアを設定すると、実施時に便利である;

- 実験クライアントソフトウェアは、サーバ上の共有領域に置き、クライアントはその共有領域からソフトウェアを実行する(いちいちクライアント毎にインストールしない)。
- 被験者の意思決定履歴やその結果得られた利得を含む結果ファイルも、サーバ上の共有領域に置かれるようにする。
- 被験者の ID と払うべき謝金額が結果ファイル名に含まれるように実験プログラムを作成する。その結果、ファイルの一覧を見るだけで、個々の中身を見なくても謝金額が確認でき、謝金準備をスムーズに行える。

3.5 日常の運用に関する仕様

3.5.1 バックアップ

サーバはバックアップをとり、作成したバックアップから障害発生時に復旧できるようにする。実験システムは常時立ち上げているわけではないので定期的なバックアップは必要ないが、重要な更新をした際には忘れずにバックアップをとることが大切である。

クライアントに関しては、先に述べたソフトウェア構成を一様化するシステムを利用すれば、各クライアントに配信する雛型マシンのディスクイメージがそのままバックアップとなる。

3.6 保守契約

ハードウェアについては、故障時に速やかに代替器を提供してもらい保守契約を締結しておきたい。経済学実験は多くの被験者を募集して行われるため、故障などのトラブルが起きてもいったん確定・通知した実施日を変更するのは難しいためである。ソフトウェアについては、少なくとも納入時の状態への初期化が依頼できるようにしておきたい。そうすれば、追加設定を行ったため生じたトラブルにも対応しやすくなる。

3.7 専属の管理者の重要性

実験室を運営していくうえでは、経済実験特有の事情をよく理解した専属の管理者を雇用したい。なお大学には情報センターが存在するが、彼らは大学全体の情報システムの管理で忙しいため、実験室の管理を全面的に委託するのは難しいかもしれない。ただし随時相談しておくことは大切であり、大学の情報システムとの接続を考えるためにも、関係はしっかりとっておきたい。そのために、こちらから積極的に実験室の事情を説明し、こちらが何をやっているかを理解してもらおうように心がけたい。

4 AV 機器

実験インストラクション等のため、実験室の前面に上げ降ろしできるスクリーンが設置しており、各種の情報を表示できるようにしている。このために必要または有効と思われる AV 機器を以下にまとめる。KEEL で利用している AV 機器とその接続については図 10 を参照されたい。

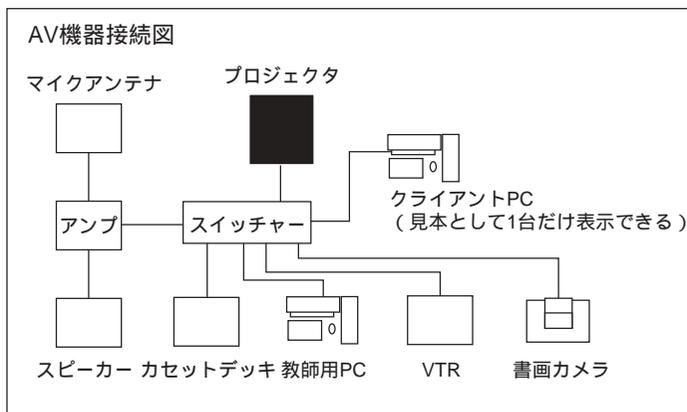


図 10 AV 機器接続図

4.1 ビデオプロジェクタ

後列からの視認性を十分に考慮したうえで、機種やスクリーンからの距離を決めていきたい。

4.2 アンプ、マイク、スピーカー

明確なインストラクションを行うために、アンプ、マイク、スピーカーが必要である。無線マイクを使用するならばそのためのチューナーも必要になる。

KEEL には、実験室のアンプからの音を出すスピーカーが準備室側にないため、実験室で行われているインストラクションなどの音声が準備室には聞こえない。しかし、準備室にいる補助者が実験の進捗状況を確認する上で、準備室へのスピーカー設置も考慮したい^{*5}。

また、実験者がサーバ上の実験結果を確認しながら被験者に指示を出すなどの際に、準備室から実験室のスピーカーに出力できると便利である。KEEL では無線マイクで準備室から実験室へアナウンスを行うことができる。

^{*5} 実験室の実験者と準備室の補助者間の連絡には内線を使える。発声することが望ましくない場合には、携帯やポケベルのバイブレーション機能を使うことが考えられる。

4.3 書画カメラまたはスライド，OHP

我々の準備室では書画カメラを備えている．紙にプリントアウトした配布用インストラクション等をそのまま表示できる．

4.4 ビデオ，DV，DVD

過去に行ったのと全く同じ実験を行う場合や，多地点にわたって分散的に同じ実験を行う際に，ビデオ等で記録した映像をインストラクションに利用することが可能になる．

4.5 オーディオカセット機器

上のビデオ等の場合と同じ目的に供されるが，利用できるのは音声だけとなる．また，インストラクションの録音は，実験後などに指示内容の確認を行うための簡便な手段としても利用できる．

4.6 コンピュータからの出力

教師用マシンの画面をプロジェクタへ出力可能とすることで，プレゼンテーションソフトを利用したインストラクションを行うことができる．

またインストラクション時に，実験ソフトウェアを実際に操作しているところを被験者に例示できるよう，クライアントの画面もプロジェクタへ出力できるようにしている．KEELの場合，最前列のクライアントマシン1台の画面がプロジェクタに出力できる．

4.7 切替え機（スイッチャー）

以上の機器からのスクリーン・スピーカへの出力を切り替えるために，スイッチャーが必要となる．スイッチャーは実験者の操作しやすい位置に設置したい．KEELでは以上の他の機器と一緒に実験用マシンのあるデスクにまとめてある．

4.8 電源キーの処遇

KEELでは，AV機器の利用には電源キーが必要である．キーは所属学部の事務室に管理してもらっている．

設備管理は実験室を所有する個々の機関によりポリシーが異なるので注意したい．

付録 A コンピュータ ハードウェアの詳細

以下の IBM マシンのさらに詳細なスペックについては、[IBM 製品情報 (2002)] を参照。

A.1 サーバマシン

IBM @server xSeries232 (型番 86684BJ) × 2 台 . 1 台を Windows2000 Server , もう 1 台を Linux で運用 .

| | |
|-------------|--|
| 筐体 | タワー型 |
| CPU | Pentium III 1.26GHz (Linux サーバーは Dual CPU) |
| メモリ | Linux: 1280MB (128 × 2 + 512 × 2), Win: 1024MB (128 × 2 + 256 + 512) |
| SCSI | Adaptec AIC-7899 Ultra160 SCSI |
| RAID カード | IBM ServeRAID 4Lx Controller |
| HDD | 36.4 × (4-1-1)=72.8GB (36.4GB Ultra160 SCSI 10krpm × 4) |
| | (RAID5+Hot スペア, Hot スタンバイ装備) |
| CD-R (SCSI) | PLEXTOR CD-RW PX-W2410A |
| DAT | IBM 20/40GB, DDS/4 4mm Internal Tape Drive (SEAGATE DAT 06240-XXX SCSI Sequential Device) |
| ビデオチップ | S3 Savage4 ビデオメモリ 8MB |
| NIC | IBM Netfinity 10/100 Ethernet Adapter (WakeOnLan 対応, 内蔵) GW をやる Linux サーバーは加えて Intel PRO/100 S Management Adapter |
| マウス | IBM PS/2 マウス |
| キーボード | 104 キーボード・プリファード (英語/白). |
| 特長 | APM に対応しシステム終了操作で Windows2000, Linux 共に電源断が可能 WakeOnLAN に対応したネットワークインターフェイスを持ち, ネットワークから遠隔操作で起動可能. |

A.2 クライアントマシン, 教師用マシン

IBM IntelliStation E Pro (型番 6845-GN2) × 26 台 . Windows2000 で利用 (Windows2000 ライセンス).

| | |
|--------|---|
| 筐体 | デスクトップ型（縦置き可） |
| CPU | Pentium III 1GMHz |
| メモリ | 128+ 増設 256=384MB |
| HDD | 27.8GB (IDE) |
| 補助記憶 | CD-ROM (IDE) |
| ビデオチップ | Matrox Millenium G450 DualHead PCI - Japanese |
| NIC | Intel PRO/100 VE Desktop Connection |
| 音源カード | SoundMAX Integrated Digital Audio |
| マウス | PS/2 接続 ホイールマウス |
| キーボード | 104 キーボード・プリファード（英語/白）. |
| 特長 | APM に対応しシステム終了操作で Windows2000 で電源断が可能 WakeOnLAN に対応したネットワークインターフェイスを持ち、ネットワークから遠隔操作で起動できる。 本体、モニタ、キーボード、マウスの盗難防止ケーブル。 |

追加クライアント . IBM IntelliStation E Pro （型番 6216-20J）× 3 台 .

| | |
|--------|------------------------------------|
| CPU | Pentium4 2.0GMHz |
| メモリ | 256MB |
| HDD | 40GB (IDE) |
| ビデオチップ | Matrox Millenium G450 DVI |
| キーボード | 104 キーボード（プリファードの白が無いため、他メーカーの予定）. |
| ほか | これ以外の項目は上の 6845-GN2 マシンと共通 . |

A.3 作業用マシン

IBM NetVista NV M41-416012840G/W2N/NMNCWH/ （型番 679235J） × 2 台 .

| | |
|--------|-------------------------------------|
| 筐体 | デスクトップ型（縦置きは未対応） |
| CPU | Pentium 4 1.6GHz |
| メモリ | 128+ 増設 256=384MB |
| HDD | 36.4GB |
| CD-R | PLEXTOR CD-R PX-W2410A |
| ビデオチップ | NVIDIA Vanta (IBM) |
| NIC | Intel PRO/100 VE Desktop Connection |
| 音源カード | SoundMAX Integrated Digital Audio |
| マウス | PS/2 マウス |
| キーボード | US101 キーボード . |

付録 B コンピュータ ソフトウェアの詳細

B.1 サーバ

[実験サーバソフトウェア]

KEEL では、これまでに経済学実験専用ソフトウェアとして Urs Fischbacher による z-Tree^{*6}を利用している。これは Windows NT/2000/XP 上で動作するサーバ・クライアント方式のソフトウェアである。Windows サーバ上で実験サーバソフトウェア z-Tree を走らせ、クライアントマシン上でクライアントソフトウェア z-leaf を実行する。

また、スクリプト言語 Perl を用いて CGI 実験ソフトウェアを作成している。この場合は Linux サーバ上で動作させているフリーの http サーバ Apache を利用している。

独自ソフトウェアとしては、ソフトウェア言語 Java を用いてサーバ・クライアント方式のソフトウェアを作成した実験がある。また、RMI や CORBA など更に新しい分散実行方式の利用も検討している。

[被験者設定 (アカウント) の共有]

KEEL では、Windows 2000/XP Server が提供する Active Directory を用いて被験者アカウントを一元管理している^{*7}。Windows サーバはクライアントが属する Windows ネットワークドメインのサーバとなっており、ユーザアカウントを一元管理する。

[ソフトウェア構成の一様化]

KEEL では、クライアントのソフトウェア構成を一元管理するためのシステムは Windows サーバ上にある。それは、IBM Remote Deployment Manager (RDM)^{*8}、Norton Ghost^{*9}、Windows sysprep 機能といったソフトウェアを組み合わせたシステムである^{*10}。

| ソフトウェア名 | 機能 |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| IBM Remote Deployment Manager (RDM) | クライアントをネットワーク越しにブートし特定のソフトウェアを実行させる。 |
| Norton Ghost | クライアントのディスクイメージの作成・展開。 |
| Windows sysprep 機能 (Windows2000) | クライアントマシンの固有パラメータを削除。 |
| ディスク復元ツール ミニセットアップ機能 (Windows2000) | 固有パラメータの各マシンへの復元・適用。 |

^{*6} 現在 z-Tree において日本語を適切に扱うことはできないが、Urs Fischbacher と KEEL のスタッフ (飯田善郎, 岩崎敦, 西野成昭) との共同作業により、非公式なバージョンでは日本語が使えるようになっている。

^{*7} 同等の機能を Unix-like な環境で提供するシステムとして、NIS+NFS が考えられる。

^{*8} <http://www-6.ibm.com/jp/pc/migration/rdm/>

^{*9} <http://www.norton-ghost.com/>

^{*10} 同等の機能を Unix-like な環境で提供するシステムとして、tftp+NFS+dd の利用などが考えられる。または、クライアントをディスクレスにすることも可能である。

[ネットワーク設定]

ルータ, ファイアウォールの諸機能は Linux サーバが担っている。
クライアントマシンの TCP/IP 環境割当ては, Windows サーバの PXE(DHCP)^{*11}サービスを利用している。

B.2 クライアント

| ソフトウェア名 | 備考 |
|--------------------------|--------------------|
| Windows2000 Professional | |
| MS Office XP | |
| SAS | 統計ソフト . 大学がライセンス保有 |
| Norton AntiVirus | ウイルス対策 |

B.3 作業用マシン

| ソフトウェア名 | 備考 |
|--------------------------|--------------------|
| Windows2000 Professional | |
| Office XP | |
| SAS | 統計ソフト . 大学がライセンス保有 |
| STATISTICA Pro | 統計ソフト |
| Adobe Acrobat | |
| Norton AntiVirus | ウイルス対策 |

参考文献

- [Fischbacher(1999)] U. Fischbacher. z-tree: A toolbox for readymade economic experiments. Working Paper No. 21, University of Zurich, 1999.
- [Friedman and Sunder(1994)] D. Friedman and S. Sunder. *Experimental Method: A Primer for Economists*. Cambridge University Press, 1994. 「実験経済学の原理と方法」川越敏司・内木哲也・森徹・秋永利明訳, 同分館.
- [IBM 製品情報 (2002)] IBM 製品情報, 2002.
<http://www-6.ibm.com/jp/pc/support/product.html>.

^{*11} <http://www.kegel.com/linux/pxe.html>

実験参加者募集の実際

門田 智則*

2004年11月24日

概要

京都産業大学大学院経済学研究科オープン・リサーチ・センターが京都産業大学の学生を用いて実験を行う際の実験参加者の募集方法と現状について報告する。

1 はじめに

我々「実験経済学プロジェクト」(以下, EXECO という) が京都産業大学 (以下, KSU という) において, KSU の学生を用いて実験^{*1}を行う際の実験参加者 (以下, 単に参加者という) の募集方法と現状について報告する. この報告は, 2004年8月現在の状況に基づくものである.

各節の内容は次の通りである. 2節では, この方法が達成すべき目標と, その達成により得られた実績を述べる. 3節では参加者募集の具体的方法を述べる. 4節では管理すべき参加者情報とその管理方法について述べる. 5節では現状に至った開発経緯を述べる. 6節では現在抱えている問題点と今後の課題を述べる. 最後に7節には付録として, 参加者内訳データおよび参加者募集で現在用いている web ページの本文と画像を付した.

2 目標と実績

これから説明する方法は, 次の目標の達成を目的として計画された.

(1) 主目標 -実験者が実験に集中できる- 参加者募集担当者 (以下, 単に募集担当者とい

* 京都産業大学大学院経済学研究科 私立大学学術研究高度化推進事業「オープン・リサーチ・センター」(2001-2005年度) 『実験経済学: 経済学教育の新しい方法と, それによる経済学教育の社会的効果の研究』 リサーチアシスタント cheechan@cc.kyoto-su.ac.jp

^{*1} EXECO では, 「経済学実験」という名称を用いて実験参加者を募集している.

う) が、募集から実験当日の集合およびその後のデータの管理を一手に引き受けることができれば、実験者は実験の計画と遂行にのみ注力すればよく、スムーズに実験を進めることができる。

- (2) 信頼度が高い (欠席率の低さ) 募集方法を制度として定着化させれば、実験当日の欠席率を低くし、実験の成立をより確実なものにできる。
- (3) 低コストである 募集方法をルーチンワークとなるようにできれば、募集担当者の労働時間は、一つの実験あたり (募集から実験終了時まで) 10 時間程度で行うことができる^{*2}。
- (4) 必要な道具や技術が少ない 専用の技術者を必要とせず、特殊な設備に依存しない方法にすれば、必要な道具や技術が少ない状態でも運用できる^{*3}。
- (5) 引継ぎが容易である、複数の担当者でも分担できる 募集方法を複数のステップに分けることができれば、引継ぎも容易であり、複数の担当で作業を分担して運用することができる。

以下に述べるように、これらの目標は実現された。2001 年 11 月から 2004 年 8 月までで、104 回の実験^{*4} を行い、のべ 2192 人の参加があった。後述する「参加者リスト」には、現在 1087 人^{*5} が登録されている。時期や条件により左右するが、実験の必要人数が 28 人 (EXECO 専用実験室の定員) の場合、応募者は 20 人 ~ 50 人、実験当日までの棄権者が 2 人 ~ 5 人である。しかし、電話などで追加募集を行った上では、当日の出席率は約 95 %^{*6} である。そのためには募集担当者が多少手間をかけることになる^{*7} が、参加者の人数

^{*2} しかし、この方法の開始当初や現状に到達するまでには、参加者募集にもっと多くの時間を費やしてきた。

^{*3} 実際、この方法で必要とする道具は、専用 web ページとメールソフトとデータベースソフトのみであり、必要とする技術は HTML と CGI (フォームへの入力データをメールで送ること) の知識のみでよい。

^{*4} 各実験ごとに人数が異なったり、同一日に複数の実験を行うことがあるので、厳密に回数を定義することは難しい。

^{*5} 卒業者 303 人を含む。

^{*6} 辞退および無断欠席をあわせた欠席者が平均で 1, 2 人程度である (ただし、無断欠席は現在までの通算で 10 人程度である)。データがないため他との厳密な比較はできないが、この出席率は高いと考えられる。

^{*7} 「不十分な参加者数による実験中止で生じる費用は高いので、ほとんどの研究者は欠席率を高く見積もる過ちを犯す。その結果時間通りに出席した余分な被験者に対して、将来の募集の際に彼らに再び応募してもらうために相当な額の支払いをする羽目になる。」という記述が [1] の p.79 にある。3 節で述べる通り、EXECO では定員以上の参加者を集めることは行っていない。そのためには、端数を補うダミーの被験者を事前に手配しておく必要や、主たる実験とは別に開催できる追加実験 (別室で行う 1 人実験など) を用意することになる。しかしながら、前者の場合は、日数を増やして後日再び同種の実験を開催することで目標の人数を確保することが容易であり、後者の場合は、複数の実験が同一日に実施可能になるメリット (1 人実験も複数回行えば、ひとつの実験として結果を得ることができる) もあるので、結果としては甚大な損害を被るものではない。また、3 節で述べる「案内メール」という仕組みを導入し、4 節で述べる通り、落選者の管理も行っているため、「再び応募してもらうために」という目的のためだけに金銭の

不足による実験不成立という深刻なダメージを与えたことは、これまでに一度も無い。

3 募集方法

次に、参加者募集の具体的方法について述べる。これは、実験開催ごとにほぼ毎回のよう
に微調整を行った結果で得られた方法である。

3.1 手順

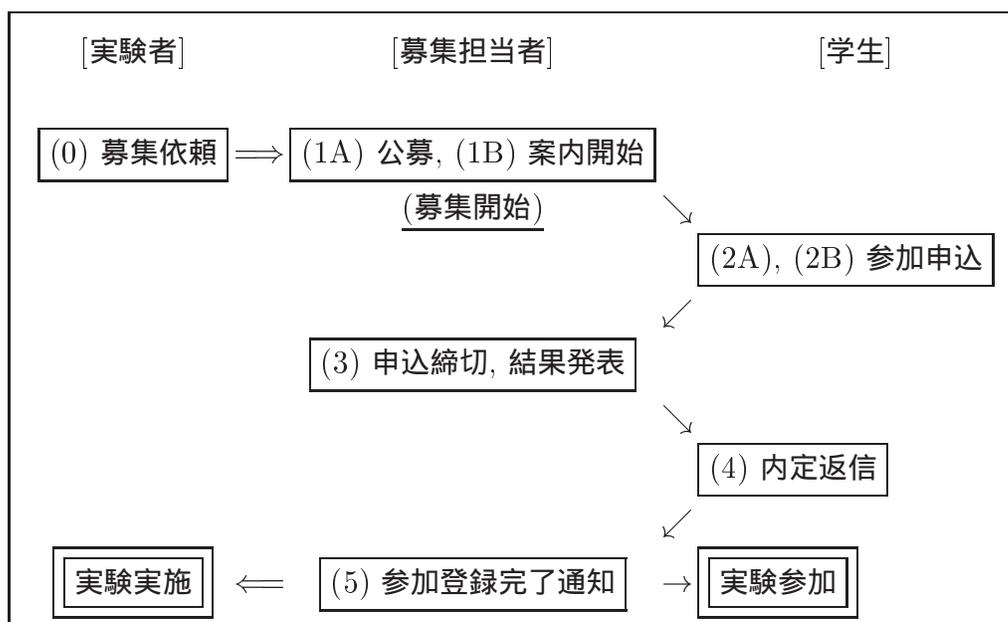


表 1 参加者募集から実験まで

参加者募集には、実験参加経験の無い学生を用いる場合 (Type A: (1A), (2A), (3) ~ (5)) と、実験参加経験のある学生を用いる場合 (Type B: (1B), (2B), (3) ~ (5)) がある (表 1)。募集開始から実験までの期間は約半月である。どちらの場合においても、学生と募集担当者間で「やりとり (往復)」が 2 回ある。(1A), (2A) 以外はすべてメールで行う。すなわち、メールが利用できない学生は実験に参加できない*⁸。なお、諸事情 (5 節参照) から「携帯電話のメール」の利用は認めていない。

支払いを行うことは一切必要としない。

*⁸ KSU では学生全員にメールアカウントをもれなく発行しているため、大きな制約とはならない。

3.2 各ステップの詳細

- (0) 募集依頼 実験者が実験を計画したとき、募集担当者は、「開催日時、拘束時間、必要人数、参加者の属性」を聴取し、行動を開始する。ここで、参加者の「属性」とは、
- 学年、学部、性別などの情報
 - 実験参加経験の有無
 - (経験者を用いる場合) 抽出もしくは除外する過去参加実験の種類
- を表わす。実験には2時間コース(謝金 1,500 円～3,000 円程度)と3時間コース(謝金 2,500 円～5,000 円程度)がある。実験の内容および試行回数により参加者の拘束時間が定まるので、どちらかのコースを採択する。

これより募集を開始する。まず、Type A (未経験者募集) の各ステップの詳細を述べる。

- (1A) 公募開始(実験半月前) 募集依頼で得られた情報に基づいた「開催日時、開催場所、募集人数、謝金」を明記の上、
- KSU の web ページ内の掲示板(電子媒体)
 - 各学部掲示板、バス停留所掲示板など(紙媒体)
- に掲示を行って参加者を募集する。過去に実験参加経験のある学生の応募は、その参加実験の種類によらず一切受け付けない。募集期間は1週間～10日間である。
- (2A) 参加申込 参加申込は、実験専用の web ページの入力フォームから行う。

<http://www.kyoto-su.ac.jp/project/orc/execo/Jikken/> (常時開設)^{*9}

ここには実験参加にあたっての注意事項を記述している。氏名、学部学科、学年、性別、メールアドレス、電話番号を入力し、送信させる。メールアドレスは携帯電話以外のメールアドレスを要請し、電話番号は(本人への直接連絡および実験当日の連絡の容易さから)携帯電話の電話番号を優先的に希望している。実験が複数日行われる場合は、複数選択を可能として参加希望日を選択させる。入力内容に不備があるものは無効とし、未記入項目があれば送信できない。申込があれば、申込内容が参加者募集用メーリングリストにメールで送信され、それと同時に CSV 形式(カンマ区切りテキスト)の申込者一覧表が自動生成される。

- (3) 申込締切、結果発表(実験1週間前) 締切になったら、申込者一覧表を参加者リスト(4節参照)に統合する。不備が無いか、過去の実験に参加経験がないかをチェック

^{*9} ただし、入力フォームのページは募集期間のみの公開である。7節にその本文および画像がある。

し、定員を超えている場合は抽選を行う。当選者（参加内定者）には、「参加できません」という旨のメールを送信する。これを「内定通知」と呼んでいる（図 1）。

今回は経済学実験に参加をお申込み頂き、誠にありがとうございます。あなたに今回の経済学実験に参加して頂くことが内定致しましたので、ご連絡申し上げます。

【参加内定日】2004年 月 日（ ）：～：頃
【集合場所】棟 階ロビー：集合（時間厳守）
【携行品】（朱肉を使う）印鑑、学生証、筆記具（インクのもの）
【注意事項】
・実験への参加が不可能になった場合、早急にご連絡ください。
実験前日まで：*****@cc.kyoto-su.ac.jp 宛にメールにて
実験当日のみ：090-****-**** までお電話でも可能
・この内定通知に対し（出席・欠席に関わらず）一切のお返事をいただけない場合、「注意点」の対象となります。また、当日の遅刻および無断欠席は厳禁です。

【参加方法】
以上を確認の上、下記内容を返信してください（内定返信）。それをもって、参加登録と致します（参加登録完了通知をお送りします）。締切までに返信の無い方は参加いただけません。
内定返信締切：2004年 月 日（ ）13:30 必着
-----8<-----8<-----8<-- 切り取り線 --8<-----8<-----8<-----
1) 月 日開催の「 経済学実験」に、出席 or 参加不可能
2) 氏名（フルネーム）：
3) 学生証番号：

図 1 「内定通知」の例

当選人数は、次のようにする。追加実験（主実験に対し、別室で開催可能な 1 人実験など）を用意できる場合は、定員以上を当選として、当日に定員を超えた端数の参加者には追加実験に参加してもらうようにする。または定員ちょうどを当選として、当日欠員が出た場合は、実験関係者がダミーの参加者を演じて端数を補うようにする。

- (4) 内定返信, (5) 参加登録完了通知 実験への参加を明確に意識させるため、設定した締切（実験前日の昼）までに「参加します」という旨のメールを、内定者から必ず返信させる。これを「内定返信」と呼んでいる。たとえ当選しても、内定返信を怠った学生には実験への参加の権利はない。これにより、実験参加人数をより正確に把握でき、申込以降に参加の都合がつかなくなった学生が発生すれば、落選者へ追加募集の電話をかけることも可能となる。

内定返信を行った学生には「参加登録完了通知」を返信する（図 2）。それと同時に参加者として登録し、当日の出席表を作成、これを実験者に引き渡す。

期日までに内定返信を行っていただきましたので、今回の参加者として登録いたしましたことをご連絡申し上げます。当日のご来場をお待ちしております。

【注意事項】

- ・ 集合時間，集合場所，携行品の持参をお忘れなく！

(先にお送りしました「内定通知」をご覧ください)

- ・ 実験への参加が不可能になった場合，早急にご連絡ください。

実験前日まで：*****@cc.kyoto-su.ac.jp 宛にメールにて
実験当日のみ：090-****-**** までお電話でも可能

図2 「参加登録完了通知」の例

次に，Type B (経験者募集) の各ステップの詳細を述べる。ここでいう「経験者」とは，過去にいずれかの実験に参加したことがある，という学生を指す。

- (1B) 案内開始 (実験半月前) 一度でも実験に参加した学生は，参加者リスト (4 節参照) に登録する。この参加者リストから，募集依頼で得られた参加者の属性をもとにして学生を抽出し，公募の掲示物と同内容の本文のメールを送る。これを「案内メール」と呼んでいる (図 3)。事前に告知を行わずに送信するため，定員の 4 倍程度の人数に案内を送る。このうち，1/3 ~ 1/2 の人数から参加希望もしくは不参加という返事があり，そのさらに 2/3 ~ 3/4 が「参加希望」の返事である。
- (2B) 参加申込 (2A) と異なり，基本的なデータはすべて保持しているのので，案内メールに対して「参加を希望する」というメールを締切までに返信することにより，申込とする。申込があったら，リストに手作業でチェックをいれる。
- (3), (4), (5) これらについては，Type A と同様である。

実験の開催において，未経験者のみで必要人数を募集することは，やや困難である^{*10}。このため，「未経験者と経験者混合で募集」もしくは「経験者のみで募集」のいずれかの方法を取り，「未経験者のみで募集」ということは，あまり行わない。

3.3 運用上の注意

この方法で参加者を募集する場合の注意事項を述べる。

複数の募集担当者での運用，募集担当者の引継ぎ この募集方法は数ステップの組み合わせであり，これらはほぼ独立している。このため，複数の募集担当者で各ステップ

^{*10} ただし，3 時間コースの場合は，未経験者のみでも必要人数が集まりやすい (6 節参照)。

経済学実験参加経験者の皆様に、次の実験のお知らせです。

「 経済学実験 」

【開催日時】(いずれか一日のみの参加, 時間程度)

2004 年 月 日 () : ~ : 頃

2004 年 月 日 () : ~ : 頃

【開催場所】京都産業大学 棟

【募集人数】各日程とも, 定員 名 (定員を超えた場合のみ抽選)

【謝金】 円 ~ 円程度 (ゲームでの得点に応じ, 各人で異なる)

【実験参加まで】

実験は複数日開催されますので, 参加可能日に 印, 参加できない日に×印を記入してください。もし参加可能日が一日のみのお申込みでも, 優先決定は致しません。申込締切後, 抽選を行い, 抽選にはずれた方には「参加いただけません」という旨のメールをお送りします。当選者 (参加内定者) の方には「内定通知」をお送りします。実験に参加いただける方はメールを返信してください (内定返信)。

【各種日程】

申込締切: 2004 年 月 日 () 23:00 必着

抽選結果発表: 2004 年 月 日 () 16:00 までにメールで送信

内定返信締切: 2004 年 月 日 () 13:30 必着 (参加内定者のみ)

【申込方法】参加を希望される方は, 下記内容をメールで送信してください。

-----8<-----8<-----8<-- 切り取り線 --8<-----8<-----8<-----

1) 「 経済学実験 」に, 参加希望 or 欠席

2) 氏名 (フルネーム):

3) 学生証番号:

4) (参加希望の方のみ) 参加希望日

月 日 ():

月 日 ():

図3 「案内メール」の例

を分担して作業をすることが可能である。さらに, 引継ぎの際も各ステップごとに徐々に行うことができる。しかし, 参加者リストに関する作業を行う場合, ファイルが一つであるため, 更新状況を明確にして管理しなければならない*¹¹。

複数の実験の参加者同時募集 複数の実験を行う場合, 表1の各ステップをずらして複数重ねることは, 募集担当者の負担が増え, 各実験に最善を尽くすことが難しくなる。このため, たとえば「1ヶ月間で100人分の実験データの取得」を実験者が希望する場合, 「毎週25人ずつ4週間の実験」ではなく, 「月末最終週に4回まとめて実験」などとする。

*¹¹ マスターファイルと更新用のファイルを用意し, 後者を担当者間で受け渡して作業をすることで, 運用に支障はきたさない。

4 参加者管理

参加者のデータは、一覧表^{*12}の状態で開催担当者が所持している。これを「参加者リスト」と呼ぶ。参加者リストには、参加者の個人データ（氏名、学生証番号、学部学科、学年、性別、メールアドレス、電話番号）や実験参加履歴だけではなく、その他の情報、さらには実験未経験者の情報も記録されている。募集担当者が記録すべきと思われる各種情報について述べる。

4.1 実験参加履歴

実験終了後、実験の種類を表す英字と通し番号により生成される「実験番号」を作成^{*13}、参加者リストの当該実験参加者の該当欄に明記する。これは案内メール送信時および応募者チェックの際に活用される（表 2）。

| 実験番号 | 実験名称 | 実験番号 | 実験名称 |
|------|-------------------|------|----------------|
| CT* | チープ・トーク | MS* | 仲介業者実験 株式市場 |
| DR* | 耐久消費財実験 | MM* | マッチング・マーケット |
| ED* | 教育実験 | NP* | ネットワーク型囚人のジレンマ |
| EU* | 期待効用仮説 | PG* | 公共財供給 |
| LN* | リニエンシー制度実験 | RM* | リサイクルマーケット |
| MB* | 仲介業者ベルトラン競争 | SD* | スモールデジジョン |
| MF* | 仲介業者実験 魚市場 | SH* | スタッグハンド実験 |
| MG* | 仲介業者実験 Gehrig モデル | TG* | チームゲーム 特殊利益理論 |

表 2 「実験番号」の例（* には通し番号が入る）

4.2 内定無回答、遅刻、欠席、失格

内定返信が無ければ実験の参加者数を事前に把握しがたい。また、当日の遅刻や欠席は実験の成立を危うくする。よって、実験を長期にわたり安定して継続するため、これらの学

^{*12} EXECO では、Microsoft Access を用いて管理している。

^{*13} 同種の実験の参加経験者が混同することを避けるために、単なる通し番号ではなく、アルファベットを用いたものを使っている。「個々の被験者の実験参加記録を作成することで、経験のある被験者を後で募集することが可能になる。」とのアドバイスが [1] の p.79 にある。実験番号の管理により、任意の実験の未経験者と経験者を明確に区別することが容易に可能である。

生にはペナルティを課す。この制度を「注意点制度」*¹⁴と呼び、注意点を加算することでペナルティとする。ペナルティに該当する行為とその注意点は以下の通りである。

内定無回答： 締切までに内定返信を行わないこと。注意点 0.5 点を課す。

内定無回答の場合、実験への参加資格は失われる（実験には参加できない）。実験前日に発生するため、該当者多数の場合は即座に落選者を中心に電話で追加募集を試みる。

遅刻： 実験開始予定時刻を過ぎて来場すること。注意点 1 点を課す。

当日の人数の集まり具合（人数不足）によっては、注意点を課した上で実験に参加を許す場合がある。ただし、5 分以上の遅刻の場合は、時間通りに来た参加者を待たせすぎることになるので、受付を終了し、遅刻者は実験に参加させない。

無断欠席： 実験開始までに一切の連絡が無く欠席すること。注意点 1 点を課す。

たとえ実験当日であっても、欠席の連絡を事前に入れた学生に対しては、ペナルティは課さない。これは「辞退」と呼び、区別する。

注意点が適用された場合は、本人にその旨をメールで伝え、参加者リストには注意点を明記する*¹⁵。さらに、上記行為を繰り返し行った学生に対しては、実験への参加意思が希薄であると判断し、次を適用する。

失格： 注意点が 2 点に達した学生に対し、参加者リストからその学生を抹消する。実験への参加経験有無に関わらず、今後二度と実験には参加できない。その旨を本人にメールで伝える。

ただし、参加者リストから完全に抹消するのではなく、連絡先のみを消去する。これにより、参加者リストはブラックリストの役割もかねる。

4.3 辞退者、落選者、返信状況

効率よく参加者を募集するため、次の情報も記録している。これらは学生には公表していない。

辞退者 ペナルティを課すことはできないが、辞退は内定無回答同様、実験の成立を危うくする。よって、実験実施日より逆算して 3 日以内の辞退者は、その日数を明記す

*¹⁴ 2002 年 11 月より運用を開始した。

*¹⁵ 初めて実験に応募した学生に対しても適用される。結果として、未経験者でも参加者リストに登録されている、ということである。

る。この情報は、抽選時や案内メール送信者の抽出時に同じ条件の学生が集中した場合の採否の判断材料として用いることがある^{*16}。

落選者 連続して落選すれば実験への興味が薄れるので、後々の応募が難しくなる。よって、落選者にはチェックを入れておき、この学生から次回申込があった場合には当選とする^{*17}。これが多数のリピーターを生む大きな要因であると思われる。

案内メールへの返信状況 案内メールに対し、欠席の場合の返信義務は無い。しかし、欠席の返信は

- メールをチェックを行っている（すなわち、案内メールの送信が有効な）学生であることがわかる
- 応募期間において、残りの期間で期待できる最大の申込者の人数がわかる
- 追加募集の際には電話をかける必要が無い（すなわち、無駄足が省ける）ことがわかる

などの利点があり、募集担当者にとって有用なものである。よって、案内メールへの返信状況も参加者リストに記録する。この情報は、案内メール送信者抽出時の参考にする^{*18}。あまり多くの落選者を出さずに、かつ必要人数を集めるために必要な案内メール送信者数の算出には欠かせない情報となる。

4.4 卒業生, 削除希望者

学年からの判断では、その学生が卒業したかどうかはわからない。休学・留年などで在籍し、経験者であるのに（注意事項を守らず）未経験者のように応募してくる場合もある。よって、それを防ぐために参加者リストからの削除は行わず、連絡先のみを抹消し、「卒業」と明記する。

案内メールは、本人が送信停止を希望しない限り送り続ける。本人から送信停止（リストからの削除）の希望があった場合は、「卒業生」同様の理由から、連絡先のみを抹消し、「削除」と明記する^{*19}。

^{*16} 辞退が1回程度ならば、抽選結果に偏りが生じてしまうため用いないが、繰り返し辞退した学生に対しては、有効な情報として用いる。

^{*17} ただし、落選経験者が多数を占める場合は、再び落選となることもある。

^{*18} 抽選の判断材料としては用いない。

^{*19} 削除希望者は、本人からの希望により、参加者リストへの「再登録」を行うことができる。

5 開発経緯

現状に至るまでに行った試みとその結果をいくつか述べる。

携帯電話のメールアドレス: 申込に際して、以下の理由により携帯電話のメールアドレスの使用は認めていない。

- 受信文字数制限がある
- 着信拒否設定の解除の必要性がある
- メールアドレスの変更が容易である
- 送信時刻の考慮の必要性がある

携帯電話の普及率を考えると無視できない問題ではあるが、

- 相手がパソコンか携帯電話かを区別してメールを送信するには手間がかかる
- 携帯電話にあわせたメールの本文は、パソコンには不向きである
- 携帯電話からでは(本文の参照、文字の入力などの点から)返信が難しい

などの理由から、一切認めない方針をとり続ける予定である。パソコン普及率や、KSU の計算機環境から、現状でも募集には深刻な影響は出ていない。

遅刻、無断欠席: 2001 年末の開始当初、遅刻や無断欠席に対する明確な規準はなく、実験ごとに対処に差が生じていた可能性がある。また、遅刻は 2 回、無断欠席は 1 回で「失格」としていた。無断欠席が 1 回で失格は厳しすぎることで、遅刻か無断欠席かの区別がつきにくい^{*20}ことから、ペナルティ対象行為と具体的な注意点を明示することにした。これにより、無断欠席と遅刻は若干ながら減少し、学生への対処が行いやすくなった。

公募・案内開始: 開始当初、公募・案内開始は実験 1 ヶ月前であったが、

- 初期に申し込んだ学生が「申し込んだことすら忘れる」ことが多かった
- 早期の募集依頼を必要とするため、実験者の研究計画に支障をきたす恐れがある

などの理由により、実験 3 週間前として期間を短縮した。期間がこれより短ければ、実験の開催を学生に周知させることが難しくなると考えたからである。さらに最近(2004 年 4 月頃から)では、半月前からとして短縮した。定期的の実験を行うため、学生に実験のことが知れ渡ったようで、募集に支障は無いように思われる。

^{*20} 学生が実験に間に合わないと判断し、引き返した(遅刻)か、最初から忘れるなどして来なかった(無断欠席)かは明確に判断できない。

実験実施時期: 定期考査近くや就職活動最盛期には、応募人数が通常の半数程度にまで落ち込むことがある。また、1 回生はメールの利用を 5 月中旬頃に習うため、4 月および 5 月には 1 回生の申込はあまり見込めない。1 年以上通して実験を行ってはっきりと判明した。これらの時期の実験では、募集担当者は特に注意が必要である。

掲示物: 2002 年 5 月の実験において、開始当初に最も広告効果のあった「KSU の web ページ内の掲示板」のみで未経験者の募集を試みた。しかし定員の半数しか集まらず、急遽ビラ（紙媒体）を掲示、関係者経由による勧誘等で人数を確保した。これ以降は、安全のために逆に掲示を追加するようにした。以前行ったアンケートによると、実は経験者による口コミでの効果がもっとも大きい様子である。

申込締切: 開始当初、申込締切は実験 10 日前であった。しかし、クラブの予定が直前しかわからないので実験への申込を躊躇している、という意見があった。このことから申込締切を実験 1 週間前にしたところ、締切直前に申込が殺到する傾向が見られるようになった。締切をこれ以上短くすると、内定返信の段階において、大学でのみメールの送受信が可能という学生にとっては支障をきたすので、これが限度であると考えていたが、最近では、実験 6 日前としてテストを継続中である。

参加登録完了通知: 募集担当者の負担を軽減するため、2001 年末の開始当初に行っていた参加登録完了通知の送信を一旦廃止した。しかし、内定無回答の制度を設けたことに加えて、学生からの要望もあったので、2003 年 4 月から再び送信を開始した。

6 問題点と今後の課題

現状のシステムでも、抱えている問題はある。そのうちいくつかを述べて、この報告を終えたい。

辞退者 無断欠席ではない以上、直前の辞退であっても学生を責めることができない。この場合の電話での追加募集が、募集担当者にとって最大の負担である^{*21}。また、辞退に関して制約を設ければ、応募数の減少も容易に察しがつく。したがって、辞退者の発生にどう対処するかが現状での最大の課題と言える。

実験のコース 開始当初は手実験が多く、3 時間コースのみであった。しかし、EXECO 専用実験室での実験が開始されると、実験がスムーズに進行するので 2 時間コース

^{*21} 電話での追加募集をやめてしまえば、必要人数の 7 割程度の集まりにしかならない場合がある。また、授業の休み時間を目安に電話をかけるため、追加すべき人数が多い場合は、断続的ではあるが数時間を必要とすることもある。

の必要性が発生した。ところが、3 時間コースに慣れた学生は、2 時間コースの募集では集まりにくい傾向がある*²²。拘束時間が 1 時間増えても、得られる可能性のある金額が多いほうが好まれるようである。実際、2004 年 8 月初旬に開催した 5 時間実験では、夏休み前という時期のせいもあるが、定員以上の申込があった。

内定無回答 開始当初は、応募の手順がわからず、(現行の内定無回答にあたる) 内定返信忘れになる学生が多かった。そこで、募集の時点で手順や日程をすべて予め明記することにした。その結果、経験者では内定無回答はあまり見られなくなったが、未経験者ではいまだに多い(毎回 1~6 人いる)。理由は「日程を忘れていた」が大半である。

申込不備 注意事項の記述は極力少なくするように努力しているが、なかなか読んでもらえないのか、不備が絶えない(全角半角入力間違い、携帯電話のメールアドレス入力など)。前項も併せて、「いかに読みやすい説明文を載せるか」は、継続的に改善する努力を欠かせない問題対象である。

例外処理 毎回、入力項目の不備や注意事項の無視がある。しかし、実験成立のために人数確保を優先するので、例外処理が多発する。具体的には、全角半角の訂正、(KSU のメールアドレス利用者なら) 正しいメールアドレスの調査などが該当する。このため、作業においては、複雑な一括自動処理を行わず、臨機応変に対応できるように、あえて手作業で既存の機能の組み合わせのみを利用している。改善のためには新たな技術や道具が必要となり、それらに依存しすぎると、汎用性が低くなってしまふ。

7 付録

7.1 参加者内訳データ

2001 年 11 月から 2004 年 8 月までに開催された実験への参加者、すなわち「参加者リスト」への登録人数(卒業生も含む)の一覧を表 3 に示す。ここで、「総人数」は 2004 年 5 月 1 日現在の KSU の在籍学生数を表わす。比率の参考にしていただきたい。

参加者の学年は、3 回生を中心に 4 回生・2 回生の順に多い。これは授業やクラブ、就職活動などによる時間的な制約が影響している。男女比は男性/女性 = 1.61 である。KSU

*²² 前者では大抵定員を超える応募があるが、後者では定員割れをすることがある。特に未経験者の集まり具合がこの原因である。

| 学部・学科 | | 登録人数 | | 総人数 | |
|-------|-----------|----------------|--------------|-----------------|-------------------|
| 経済学部 | | 278 (201/77) | 25.6 % | 2955 (2551/404) | 22.8 % |
| 経営学部 | | 207 (138/69) | 19.0 % | 3011 (2187/824) | 23.3 % |
| 法学部 | | 208 (134/74) | 19.1 % | 2890 (2156/734) | 22.3 % |
| 外国語学部 | 英米語学科 | 53 (11/42) | 148 (33/115) | 13.6 % | 1909 (684/1225) |
| | ドイツ語学科 | 17 (4/13) | | | |
| | フランス語学科 | 18 (3/15) | | | |
| | 中国語学科 | 23 (4/19) | | | |
| | 言語学科 | 37 (11/26) | | | |
| 文化学部 | | 75 (18/57) | 6.9 % | 916 (328/588) | 7.1 % |
| 理学部 | 数理科学科 | 13 (11/2) | 107 (94/13) | 9.8 % | 691 (601/90) |
| | 物理科学科 | 23 (19/4) | | | |
| | コンピュータ科学科 | 71 (64/7) | | | |
| 工学部 | 情報通信工学科 | 40 (35/5) | 64 (52/12) | 5.9 % | 575 (475/100) |
| | 生物工学科 | 24 (17/7) | | | |
| 合計 | | 1087 (670/417) | | | 12947 (8982/3965) |

表3 参加者内訳データ (単位は人. 括弧内の数字は, 男性数/女性数)

の全学生の男女比は 男性/女性 = 2.27 であるから, 若干ながら女性の参加傾向が高いことになる. 学部については, 実験開始当初の募集に際して経済学部および理学部の教員による補助が受けられた影響があり, 同学部の登録人数の割合が高い. しかしながら, ほぼKSUの学部生の比率に近い形が得られている. 以上により, ここで報告した方法が, いずれかの学部・性別・学年に極端に偏っているわけではないことがわかる^{*23}.

また, KSU において初めて実験を行った際の参加者内訳を表4に示す. 募集方法は基

| 学部 | 人数 | 割合 | 学年 | 人数 | 割合 | 性別 | 人数 | 割合 |
|-------|----|------|------|----|------|----|----|------|
| 経済学部 | 9 | 19 % | 1 回生 | 7 | 15 % | 男性 | 32 | 67 % |
| 経営学部 | 11 | 23 % | 2 回生 | 18 | 38 % | 女性 | 16 | 33 % |
| 法学部 | 4 | 8 % | 3 回生 | 12 | 25 % | 合計 | 48 | |
| 外国語学部 | 4 | 8 % | 4 回生 | 11 | 23 % | | | |
| 文化学部 | 2 | 4 % | 合計 | 48 | | | | |
| 理学部 | 12 | 25 % | | | | | | |
| 工学部 | 6 | 13 % | | | | | | |
| 合計 | 48 | | | | | | | |

表4 初実験 (2001年11月28日開催) の参加者内訳

本的には現状の原型となるものであった. 大きく異なるところは, 「過去参加経験者」が

*23 ただし, 実験1回あたりでは, これらの偏りは大きいことがある.

一切おらず、よって口コミによる宣伝効果がなかった点、告知は紙媒体のビラのみであった点である。学年および性別比は、現状に近い。学部比については次のような理由による影響が出ている。理学部が多いのは、教員による募集の補助を受けられたことがある。文化学部については、2000年4月開設のために当時2回生までしかいなかったことがある。外国語学部については、当時授業数が非常に多く、また宣伝が行き届いていなかったこともある。

7.2 参加者募集 web ページ



図4 参加者募集 web ページの例 (未経験者対象)

参加者募集 web ページの画像 (図4) と、そこに記述されている内容を述べる。下記は、複数日程開催、3時間コースのものである。

「 経済学実験 」参加者募集

経済学ゲームに参加しませんか？

京都産業大学の学部学生であれば、学部・学年・性別を問わず参加できます。参加者はパソコンの前に座って、マウスをクリックすることによって、簡単な意思決定を何度か求められるだけです。さらに、ゲームでの得点に応じて謝金が支払われます (高得点を得るほど、謝金も高くなります)。ふるってご参加ください。

主催

私立大学学術研究高度化推進事業オープン・リサーチ・センター

『実験経済学：経済学教育の新しい方法と、それによる経済学教育の社会的効果の研究』

開催日時

2004年 月 日 () 13:30 ~ 16:30 頃

2004年 月 日 () 13:30 ~ 16:30 頃

(いずれか一日のみの参加、各日程とも3時間程度)

開催場所
京都産業大学 棟
募集人数
京都産業大学の学部学生および学部留学生 名
先着順ではありません。定員を越えた場合のみ抽選を行います。
謝金
2,500 円～5,000 円程度（ゲームでの得点に応じ、各人で異なる）
申込締切
2004 年 月 日（ ）23 時

経済学実験 申込要項

1. 参加資格について
 - 京都産業大学の学部学生（学部・学年・性別不問）。
または、日本語の reading と hearing が可能な学部留学生（交換留学生含む）
大学院生，科目等履修生，聴講生の方は参加いただけません。
 - 携帯電話のメール以外で電子メールの送受信が可能な方
 - 以前の「経済学実験」に参加経験が無い方
2. 実験について
ご本人による事前申込が必要です。謝金の金額は、ゲームでの得点に応じ、各人で異なります（アルバイト代とは異なり、人により差が生じます）。ゲームでの得点が高得点であるほど、多くの謝金を得ることが出来ます。
3. 申込から参加まで
申込者には、実験参加の可否を「抽選結果発表日」までにメールで送ります。当選者（参加内定者）には「内定通知」をお送りします。落選者にはその旨お知らせします。内定者の方には、「参加できます」という意思表示のメールを返信していただきます（内定返信）。内定返信が無いと実験に参加できません。また、内定返信忘れは「注意点制度」によるペナルティの対象（内定無回答）となります。
4. 各種日程一覧
 - 抽選結果発表日： 2004 年 月 日（ ）16 時までまでに通知
 - 内定返信締切（参加内定者のみ）： 2004 年 月 日（ ）13 時 30 分必着
5. 申込フォームへの入力について
 - 入力内容に不備があるお申込みは無効となることがあります。
 - 実験は複数日開催されますので、参加希望日を選択してください。ただし、希望日が一日のみのお申込みでも優先決定は致しません。
 - 携帯電話番号を「電話番号」欄に入力して下さい。お持ちでない場合は、連絡可能な電話番号を入力して下さい。電話は欠席者発生による追加募集に用います。
 - メールアドレスは携帯電話のメールアドレスはご利用いただけません。また、友人同士のかけもちなど、他人名義のメールアドレスの使用は厳禁です（必ずご本人にのみ連絡がとれるアドレスを使用して下さい）。
6. 以下の場合には、すぐに *****@cc.kyoto-su.ac.jp へ連絡して下さい。
 - 申込フォームにて、エラーで送信できないとき（その際には、必要事項をすべて記載願います）
 - 抽選結果発表日になっても参加の可否を伝えるメールが来ないとき
 - 実験に参加できなくなりそうなとき（遅刻、無断欠席は厳禁です。抽選結果発表の前後に関わらずお早めをお願いします）

参考文献

- [1] 川越敏司, 内木哲也, 森徹, 秋永利明, 中島朝彦 (訳), ‘実験経済学の原理と方法’, 同文館出版, 1999 年.
- [2] 船木由喜彦, 川越敏司, 瀧澤弘和, 濱口泰代, ‘実験経済学手法の革新とその成果’, 経済企画協会, 2003 年.

謝辞 小田宗兵衛教授 (京都産業大学経済学部) には, 募集方法の企画開始当初からこの報告の作成まで, 多くの貴重なご意見をいただきました. また, 井寄幸平氏 (日本学術振興会特別研究員, 京都産業大学客員研究員) には, この報告の作成にあたって技術的な援助をいただきました. 厚くお礼申し上げます.

さらに, 2002 年 4 月よりリサーチアシスタントとして従事している廣瀬哲也氏 (京都産業大学大学院理学研究科) には, 現在この方法を主として運用し, 日々改善の努力をされていることに感謝します.

最後に, オープン・リサーチ・センターのメンバーの方々にも, 深く感謝の意を表します.

z-Tree 入門講座

飯田善郎

2005年4月

目次

| | | |
|-----|-----------------------------|----|
| 1 | 実験を行う | 4 |
| 1.1 | 起動：教卓マシンをサーバとして使う場合 | 4 |
| 1.2 | 起動：準備室のサーバを直接使う場合 | 5 |
| 1.3 | ゲームの呼び出し | 5 |
| 1.4 | 実験の開始 | 5 |
| 1.5 | 実験前、実験中の被験者のモニター | 6 |
| 1.6 | 実験の継続 | 6 |
| 1.7 | 実験の終了 | 6 |
| 2 | 実験結果の整理と分析 | 7 |
| 2.1 | XLS ファイル | 7 |
| 2.2 | SeparateTable でファイルを分割する | 7 |
| 2.3 | データの見方の例1 公共財実験の場合 | 8 |
| 2.4 | マクロ機能を用いたデータの整理 | 9 |
| 2.5 | データの見方の例2 ダブルオークション | 13 |
| 3 | z-Tree プログラム講習のための準備 | 16 |
| 3.1 | 教室での準備 | 16 |
| 3.2 | 各自のコンピュータでの準備 | 17 |
| 4 | z-Tree プログラムのテストラン | 18 |
| 5 | プログラムの改造 | 22 |
| 5.1 | 日本語環境への移行 | 22 |
| 5.2 | 利得関数の改造 | 25 |
| 6 | 1からのプログラム | 29 |
| 6.1 | 準備 | 29 |
| 6.2 | 数値の初期設定をする | 30 |
| 6.3 | 入力ステージを作る | 30 |
| 6.4 | 結果の計算と表示 | 32 |
| 6.5 | エラーが出たら | 34 |
| 6.6 | アレのパラドックス | 36 |
| 7 | 被験者の管理：被験者番号とグループ分け | 38 |
| 7.1 | 被験者管理とグループ分け | 39 |
| 7.2 | グループ内の相手の選択を見つけ出す：テーブル関数の活用 | 40 |
| 8 | 参考資料1：変数の扱い | 43 |

| | | |
|-----|---------------------------|----|
| 8.1 | テーブルの概念と変数の属性 | 43 |
| 8.2 | データのアクセス | 45 |
| 8.3 | Summary テーブル | 47 |
| 8.4 | Parameters テーブル | 47 |
| 9 | 参考資料 2 : 関数・ステートメントなど | 49 |
| 10 | 参考資料 3 : 実験のインストラクション | 52 |

1 実験を行う

京都産業大学の実験室で z-Tree を用いて実験する手順について説明します。

1.1 起動：教卓マシンをサーバとして使う場合

・サーバの起動

1. 準備室のサーバの電源を入れる。(これは教員が行う。サーバへのログインは不要)
2. 教卓マシンの電源を入れる。
3. ユーザー名：ztree2
パスワード：*教員から指示があります
ログイン先：ORC
でログインする。
4. デスクトップ上の「z-Tree」フォルダのショートカットをクリックしてフォルダをあける。
5. 結果を入れるフォルダ "results" フォルダを作る。フォルダの新規作成 フォルダ名を "results" に変える。
注意:既に "results" フォルダがある場合は、中を確認します。空ならそのまま使ってください。中身がある場合、適当な名前(中のファイルを見てそのファイルの日付にするのがいいでしょう)に名前を付け替え、新たに "results" フォルダを作ります。
6. "z-Tree のショートカット" アイコンをダブルクリック。
注意:ショートカットでない方はクリックしないこと!

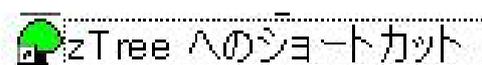


図1 ショートカットの方をクリックして起動する

・クライアントの起動

1. サーバで z-Tree が起動していることを確認する。
2. 必要数のクライアントの電源を入れる。
3. ユーザー名：zleaf2
パスワード：*教員から指示があります
ログイン先：ORC
でログインする。
ログインしたら画面上の z-Leaf へのショートカットをダブルクリックして z-Leaf を起動する。

1.2 起動：準備室のサーバを直接使う場合

注意：基本的に授業での実験は教卓マシンをサーバとして使います。準備室のサーバを使う場合も以下に説明しますが基本的には何かトラブルでもない限りは教卓マシンを使ってください。

・サーバの起動

1. 準備室の Windows および Linux サーバの電源を入れる。
2. Windows サーバに
ユーザー名：ztree
パスワード：*教員から指示があります
でログインする。
3. デスクトップ上の「z-Tree」フォルダのショートカットをクリックしてフォルダをあける。
4. 結果を入れるフォルダ " results " フォルダを作る。フォルダの新規作成 フォルダ名を " result " に変える。
5. "z-Tree のショートカット " アイコンをダブルクリック。

・クライアントの起動

1. サーバで z-Tree が起動していることを確認する。
2. 必要数のクライアントの電源を入れる
3. ユーザー名：zleaf
パスワード：*教員から指示があります
ログイン先：ORC
でログインする。

1.3 ゲームの呼び出し

1. File Open でファイルを呼び出す。

1.4 実験の開始

1. 画面上の木形のアイコン「Background」をダブルクリックする。「General Parameters」のダイアログボックスが開くので、Number of subjects にその日の参加人数（zleaf を起動しているクライアントの数）を入れます。Number of groups は一人当たりのグループの数を入れます。Practice period に練習セッションの回数、Paying period に本番のセッションの回数を入れます。
2. 参加者がグループ数で割り切れない場合、端数の人たちは端数同士で組まされます。その場合 zleaf を立ち上げた順番が遅い順に端数扱いされます。
3. メニューから「Run」「Start Treatment」を選択すると実験が開始されます。

1.5 実験前、実験中の被験者のモニター

- 実験前

Run Client 's Table で z-Tree に接続している z-Leaf を確認できます。開始前に必要な人数のクライアントが接続しているか確認します。

- 実験中

Run Subjects Table で各被験者がどのステージにいるかや被験者の意思決定などが確認できます。

1.6 実験の継続

全セッションが終了した後でまた実験する場合は、クライアントの画面がすべて「お待ちください」の表示になっているのを確認した上で、もう一度 Run Start Treatment を選択すると再開されます。

1.7 実験の終了

実験が終了したら File Open で z-Tree フォルダ内の「BasicGames」内の Question ファイルを呼び出して Run Start Questionnaire を実行します。氏名と学生証番号を入力する画面になるのでそれを入力させれば終了です。ここでは日本語入力ができないので、氏名などはローマ字で入力させてください。この Questionnaire を実行しないと z-Tree の処理が終わらないので注意してください。Questionnaire を実行すると

XXYYZZQQ . pay

というファイルが作られます。ここにはクライアントのコンピューターの番号、z-Tree が割り振った被験者 ID、被験者が入力した自分の名前、被験者の得点が一覧になってテキストファイル形式で記録されます。後で被験者が誰かを確認したり、得点を成績等に反映させるときに便利でしょう。

2 実験結果の整理と分析

2.1 XLS ファイル

実験結果は result フォルダに入っています。実験が終わったら result フォルダは名前を変えてください。自分たちのグループの名前にするのが望ましいでしょう。(もし名前を変えようとするエラーが出るようなら、Ctrl+Alt+Del で「タスクマネージャ」を出し、「プロセス」のタブをクリックし、「イメージ名」から z-Tree を選択して「タスクの終了」をクリックしてください。)

実験結果は次のようなファイル名で、エクセルファイルとして "result" フォルダに入っています。それ以外のファイルも生成されていますが、結果を見るだけならこれだけで十分です。

XXYYZZQQ.xls

“XXYYZZ” はそれぞれ西暦、月、日で、QQ は実験の開始時刻で決まるアルファベットか数字です。ここには z-Tree で使われたほぼすべての変数がセッションごとにどうなったかが記録されています。あまり重要でないデータも書き込まれていますので、次のようにして整理することを薦めます。

1. エクセルで読み込み、C の列に注目する。
2. C 列のセルが「subjects」となっている行が被験者の行動にかかわる部分です。被験者の行動の分析にはこれだけあれば十分ですので、これ以外の行はすべて削除するか、別のところに移してしまいます。ただし、ダブルオークション実験の場合は「contract」となっている行も残してください。

2.2 SeparateTable でファイルを分割する

必要な部分だけ切り分ける方法として、SeparateTable という機能があります。次のようにしてください。

1. z-Tree 上の全てのトリートメントを閉じ、z-Tree も一旦終了する
2. 結果の xls ファイルを適当なフォルダに移動させる (もし移動をしようするとエラーが出るようなら、Ctrl+Alt+Del で「タスクマネージャ」を出し、z-Tree を選択して「タスクの終了」をクリックしてください。)
3. z-Tree を起動しメニューから Tools Separate Tables を選択する。
4. 「ファイルを開く」のダイアログボックスが開くので、結果の xls ファイルをクリックして「OK」を押す
5. 結果のファイル名の後に global, session, subjects, summary がそれぞれついた新しいファイルが 4 つ生成される。

オークションの実験でなければ一般に subjects の結果だけを見ればいいでしょう。

実験で注目すべき列は次のようになります。

- D 列 Period 実験が何回目か
- E 列 Subject 被験者番号 zleaf を立ち上げた順に割り振られます
- F 列 Group グループ番号です。誰が誰と組んだかが分かります。

- G 列 Profit 各セッションで各被験者がどれだけ利益を上げたか。

無論、各主体の入力を記録した列もあるはずですが、それはプログラムごとに違うのでそれも残してください。次の節で具体的にデータの見方を説明します。

2.3 データの見方の例 1 公共財実験の場合

トリートメントの例「公共財実験」の場合、実験結果が結果ファイルにどのように記録されていて、どこに注意してみたらよいかを確認しましょう。

まずは結果の xls ファイルを SeparateTable で分割してできる”XYZZQ__ subjects.xls”を開いてみてください。次のようになっています。

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M |
|----|--|-----------|----------|--------|---------|-------|----------|-------------|------------|------------|----------|------|--------------|
| 1 | **** Thank you for using z-Tree. Please do not forget to mention in your paper that you used z-Tree. For instance as follows: The experiment | | | | | | | | | | | | |
| 2 | SessionID | Treatment | subjects | Period | Subject | Group | Profit | TotalProfit | Participat | Efficiency | Endowmer | SumC | Contribution |
| 3 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 1 | 1 | 8 | 8 | 1 | 2 | 5 | 9 | 3 |
| 4 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 2 | 1 | 6 | 6 | 1 | 2 | 5 | 9 | 5 |
| 5 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 3 | 1 | 10 | 10 | 1 | 2 | 5 | 9 | 1 |
| 6 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 4 | 2 | 6.333333 | 6.333333 | 1 | 2 | 5 | 5 | 2 |
| 7 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 5 | 2 | 5.333333 | 5.333333 | 1 | 2 | 5 | 5 | 3 |
| 8 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 6 | 2 | 8.333333 | 8.333333 | 1 | 2 | 5 | 5 | 0 |
| 9 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 7 | 3 | 9.666667 | 9.666667 | 1 | 2 | 5 | 7 | 0 |
| 10 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 8 | 3 | 7.666667 | 7.666667 | 1 | 2 | 5 | 7 | 2 |
| 11 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 9 | 3 | 4.666667 | 4.666667 | 1 | 2 | 5 | 7 | 5 |
| 12 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 10 | 4 | 7 | 7 | 1 | 2 | 5 | 3 | 0 |
| 13 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 11 | 4 | 4 | 4 | 1 | 2 | 5 | 3 | 3 |
| 14 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 12 | 4 | 7 | 7 | 1 | 2 | 5 | 3 | 0 |
| 15 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 13 | 5 | 8.666667 | 8.666667 | 1 | 2 | 5 | 10 | 3 |
| 16 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 14 | 5 | 9.666667 | 9.666667 | 1 | 2 | 5 | 10 | 2 |
| 17 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 15 | 5 | 6.666667 | 6.666667 | 1 | 2 | 5 | 10 | 5 |
| 18 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 16 | 6 | 7 | 7 | 1 | 2 | 5 | 5 | 3 |
| 19 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 17 | 6 | 8 | 8 | 1 | 2 | 5 | 5 | 2 |
| 20 | 050406KG | 1 | subjects | 2 | 1 | 1 | 7 | 15 | 1 | 2 | 5 | 9 | 4 |
| 21 | 050406KG | 1 | subjects | 2 | 2 | 1 | 8 | 14 | 1 | 2 | 5 | 9 | 3 |
| 22 | 050406KG | 1 | subjects | 2 | 3 | 1 | 9 | 19 | 1 | 2 | 5 | 9 | 2 |
| 23 | 050406KG | 1 | subjects | 2 | 4 | 2 | 4.666667 | 11 | 1 | 2 | 5 | 1 | 1 |
| 24 | 050406KG | 1 | subjects | 2 | 5 | 2 | 5.666667 | 11 | 1 | 2 | 5 | 1 | 0 |
| 25 | 050406KG | 1 | subjects | 2 | 6 | 2 | 5.666667 | 14 | 1 | 2 | 5 | 1 | 0 |
| 26 | 050406KG | 1 | subjects | 2 | 7 | 3 | 9 | 18.66667 | 1 | 2 | 5 | 6 | 0 |
| 27 | 050406KG | 1 | subjects | 2 | 8 | 3 | 7 | 14.66667 | 1 | 2 | 5 | 6 | 2 |
| 28 | 050406KG | 1 | subjects | 2 | 9 | 3 | 5 | 9.666667 | 1 | 2 | 5 | 6 | 4 |
| 29 | 050406KG | 1 | subjects | 2 | 10 | 4 | 5 | 12 | 1 | 2 | 5 | 0 | 0 |
| 30 | 050406KG | 1 | subjects | 2 | 11 | 4 | 5 | 9 | 1 | 2 | 5 | 0 | 0 |
| 31 | 050406KG | 1 | subjects | 2 | 12 | 4 | 5 | 12 | 1 | 2 | 5 | 0 | 0 |
| 32 | 050406KG | 1 | subjects | 2 | 13 | 5 | 7.666667 | 16.33333 | 1 | 2 | 5 | 4 | 0 |
| 33 | 050406KG | 1 | subjects | 2 | 14 | 5 | 7.666667 | 17.33333 | 1 | 2 | 5 | 4 | 0 |
| 34 | 050406KG | 1 | subjects | 2 | 15 | 5 | 3.666667 | 10.33333 | 1 | 2 | 5 | 4 | 4 |
| 35 | 050406KG | 1 | subjects | 2 | 16 | 6 | 6 | 13 | 1 | 2 | 5 | 4 | 3 |
| 36 | 050406KG | 1 | subjects | 2 | 17 | 6 | 8 | 16 | 1 | 2 | 5 | 4 | 1 |

図 2 実験結果のデータ

重要なのは D 列の回数 Period、E 列の被験者番号 Subject、F 列のグループ番号 Group、そして M 列の被験者のグループへの投資量 Contribution です。図では分かりやすくするためこれらの列を太字にしています。

青の枠線の中を見てください。青の枠内の Period は全て 1 です。ここには各被験者の 1 回目のピリオドの状態や行動が記録されています。(この枠線も説明のためにつけたもので、実際には表示されません。) Subjects には 1 から 17 の数値があり、この実験に 17 人の被験者が参加していたことがわかります。Group の欄を見ればどの被験者同士が同じグループなのかわかります。各被験者の状態や行動は列を見てゆくことでわかります。例えばワークシートの 3 行目を見てください。図 2 では青の枠の中の、水色のセルの箇所です。これは 1 回目のピリオド (Period) では被験者番号 (Subject) 1 番の被験者はグループ番号 1 番のグループ (Group) に属し、グループへの投資額 (Contribution) は 3 だった、ということを表しています。

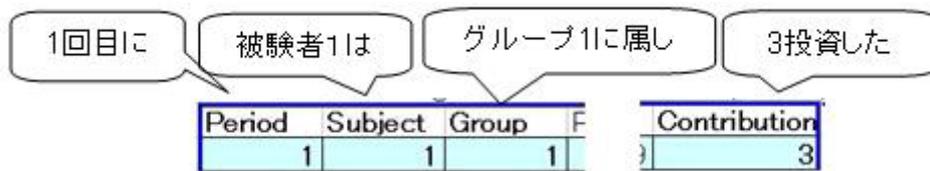


図3 データの読み方

他の被験者の行動も同様に読んでゆくことができます。赤い枠内の Period は全て 2 です。ここには 2 回目のピリオドの内容が記録されています。先ほどの被験者番号 1 番が 2 回目のピリオドでなにをしたかはピンク色のセルを見てください。

このようにピリオドごとの行動が上から下へと記録されています。このままだと被験者が全ピリオドを通じてどのように行動したか、一覧性があまりよくありません。データをコピー・ペーストして被験者の投資額だけを図4のように整理するとのちのち扱いやすくなるでしょう。

| | | 被験者のグループへの投資額 (Contribution) | | | | | | | | | |
|--------------------|-------------------|------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 被験者番号 (Subject) | グループ番号 (Group) | 回数 (Period) | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | 1 | 3 | 4 | 5 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 2 | 1 | 5 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 4 | 1 | 2 | 3 | 1 | 4 | 2 |
| 4 | 2 | 2 | 1 | 0 | 5 | 4 | 3 | 2 | 5 | 4 | 5 |
| 5 | 2 | 3 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 6 | 2 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | 5 | 5 |
| 7 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| 9 | 3 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 0 | 1 | 2 |
| 10 | 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 4 | 3 | 0 | 0 | 2 | 3 | 3 | 4 | 2 | 0 | 0 |
| 12 | 4 | 0 | 0 | 3 | 2 | 4 | 3 | 4 | 0 | 0 | 1 |
| 13 | 5 | 3 | 0 | 1 | 5 | 2 | 0 | 1 | 5 | 4 | 5 |
| 14 | 5 | 2 | 0 | 2 | 4 | 0 | 3 | 1 | 5 | 3 | 0 |
| 15 | 5 | 5 | 4 | 1 | 5 | 5 | 0 | 0 | 5 | 5 | 0 |
| 16 | 6 | 3 | 3 | 4 | 2 | 1 | 3 | 2 | 3 | 3 | 4 |
| 17 | 6 | 2 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 3 | 2 | 1 |

図4 整理した実験データ

2.4 マクロ機能を用いたデータの整理

エクセルの機能を使ってデータを手っ取り早く整理する方法を以下に示します。慣れれば 5 分ほどで作業が終わるので、実験の結果をその場で被験者に見てもらいたいような場合にも使えるでしょう。

1. まず、結果の xls ファイルを SeparateTable で分割します。結果のファイルをエクセルで開くと図5のようになっています。重要なのは E 列の被験者番号 Subject, F 列のグループ番号 Group, そして

M 列の被験者の公共財への投資量 Contribution です。これらを抽出し、整理してゆくわけです。

2. 被験者番号「Subject」とグループ番号「Group」部分を選択して他のワークシートにコピーします。
(図 5 参照)

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M |
|----|---|-----------|----------|--------|---------|-------|----------|-------------|-------------|------------|-----------|------|--------------|
| 1 | ***** Thank you for using z-Tree. Please do not forget to mention in your paper that you used z-Tree. For instance as follows: The experi | | | | | | | | | | | | |
| 2 | SessionID | Treatment | subjects | Period | Subject | Group | Profit | TotalProfit | Participate | Efficiency | Endowment | SumC | Contribution |
| 3 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 1 | 1 | 8 | 8 | 1 | 2 | 5 | 9 | 3 |
| 4 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 2 | 1 | 6 | 6 | 1 | 2 | 5 | 9 | 5 |
| 5 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 3 | 1 | 10 | 10 | 1 | 2 | 5 | 9 | 1 |
| 6 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 4 | 2 | 6.333333 | 6.333333 | 1 | 2 | 5 | 5 | 2 |
| 7 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 5 | 2 | 5.333333 | 5.333333 | 1 | 2 | 5 | 5 | 3 |
| 8 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 6 | 2 | 8.333333 | 8.333333 | 1 | 2 | 5 | 5 | 0 |
| 9 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 7 | 3 | 9.666667 | 9.666667 | 1 | 2 | 5 | 7 | 0 |
| 10 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 8 | 3 | 7.666667 | 7.666667 | 1 | 2 | 5 | 7 | 2 |
| 11 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 9 | 3 | 4.666667 | 4.666667 | 1 | 2 | 5 | 7 | 5 |
| 12 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 10 | 4 | 7 | 7 | 1 | 2 | 5 | 3 | 0 |
| 13 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 11 | 4 | 4 | 4 | 1 | 2 | 5 | 3 | 3 |
| 14 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 12 | 4 | 7 | 7 | 1 | 2 | 5 | 3 | 0 |
| 15 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 13 | 5 | 8.666667 | 8.666667 | 1 | 2 | 5 | 10 | 3 |
| 16 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 14 | 5 | 9.666667 | 9.666667 | 1 | 2 | 5 | 10 | 2 |
| 17 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 15 | 5 | 6.666667 | 6.666667 | 1 | 2 | 5 | 10 | 5 |
| 18 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 16 | 6 | 7 | 7 | 1 | 2 | 5 | 5 | 3 |
| 19 | 050406KG | 1 | subjects | 1 | 17 | 6 | 8 | 8 | 1 | 2 | 5 | 5 | 2 |
| 20 | 050406KG | 1 | subjects | 2 | 1 | 1 | 7 | 15 | 1 | 2 | 5 | 9 | 4 |
| 21 | 050406KG | 1 | subjects | 2 | 2 | 1 | 8 | 14 | 1 | 2 | 5 | 9 | 3 |
| 22 | 050406KG | 1 | subjects | 2 | 3 | 1 | 9 | 19 | 1 | 2 | 5 | 9 | 2 |
| 23 | 050406KG | 1 | subjects | 2 | 4 | 2 | 4.666667 | 11 | 1 | 2 | 5 | 1 | 1 |
| 24 | 050406KG | 1 | subjects | 2 | 5 | 2 | 5.666667 | 11 | 1 | 2 | 5 | 1 | 0 |

図 5 実験結果の整理 (1) : 必要箇所の選択コピー

3. Contribution の列もコピーしてワークシートに貼り付けます。(図 6 参照)
4. 被験者の意思決定は縦一列に並んでいるので横に並べなおすためにカットとペーストを繰り返す必要があります。ピリオドが 10 回ある場合は 10 回、同じ作業を繰り返します。同じ作業の繰り返しは、次のようにマクロを使用することで手間を省くことができます。
 - (a) 2 回目の最初の被験者のデータのセル(この例では C19)をクリックしてアクティブセルにし、ツール マクロ 新しいマクロの記録をクリックする。(図 7 参照)
 - (b) ダイアログボックスが出てきたら、(図 8 参照) C T R L + 」の右側のテキストボックスの中に「 a 」(半角小文字)をタイプし、OK ボタンを押す。
 - (c) 記録終了ボックスが出てきたら、相対参照ボタンをクリックしておく。(図 9 参照)
注意：記録終了ボックスが出てこない場合、ツールバーの余白部分にマウスポインタを持っていて右クリックしてください。出てくるメニューの中の「記録終了」にチェックを入れると記録終了ボックスが出ます。
 - (d) C19 のセルから下の最後のセルまで範囲指定する。
 - (e) 編集 切り取り 貼り付けで D2 のセルに貼り付ける。
 - (f) 3 回目の最初の被験者のデータのセル(この例では D19)をクリックしてアクティブにし、記録終了ボックスの終了ボタンを押す。(図 10 参照)
 - (g) C T R L キーを押しながら「 a 」キーを押すと 3 回目以降のデータが自動的にカット・ペーストされる。ピリオドの回数だけこれを繰り返す。
注意：マクロの処理が終わったら、あるいはマクロに失敗してやり直す前にはツール マクロ マ

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|----|---------|-------|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Subject | Group | Contribution | | | | | | | | | |
| 2 | | 1 | 1 | 3 | | | | | | | | |
| 3 | | 2 | 1 | 5 | | | | | | | | |
| 4 | | 3 | 1 | 1 | | | | | | | | |
| 5 | | 4 | 2 | 2 | | | | | | | | |
| 6 | | 5 | 2 | 3 | | | | | | | | |
| 7 | | 6 | 2 | 0 | | | | | | | | |
| 8 | | 7 | 3 | 0 | | | | | | | | |
| 9 | | 8 | 3 | 2 | | | | | | | | |
| 10 | | 9 | 3 | 5 | | | | | | | | |
| 11 | | 10 | 4 | 0 | | | | | | | | |
| 12 | | 11 | 4 | 3 | | | | | | | | |
| 13 | | 12 | 4 | 0 | | | | | | | | |
| 14 | | 13 | 5 | 3 | | | | | | | | |
| 15 | | 14 | 5 | 2 | | | | | | | | |
| 16 | | 15 | 5 | 5 | | | | | | | | |
| 17 | | 16 | 6 | 3 | | | | | | | | |
| 18 | | 17 | 6 | 2 | | | | | | | | |
| 19 | | | | 4 | | | | | | | | |
| 20 | | | | 3 | | | | | | | | |
| 21 | | | | 2 | | | | | | | | |
| 22 | | | | 1 | | | | | | | | |
| 23 | | | | 0 | | | | | | | | |
| 24 | | | | 0 | | | | | | | | |
| 25 | | | | 0 | | | | | | | | |
| 26 | | | | 2 | | | | | | | | |
| 27 | | | | 4 | | | | | | | | |
| 28 | | | | 0 | | | | | | | | |
| 29 | | | | 0 | | | | | | | | |
| 30 | | | | 0 | | | | | | | | |
| 31 | | | | 0 | | | | | | | | |

図 6 実験結果の整理 (2) : Contribution のコピー・ペースト

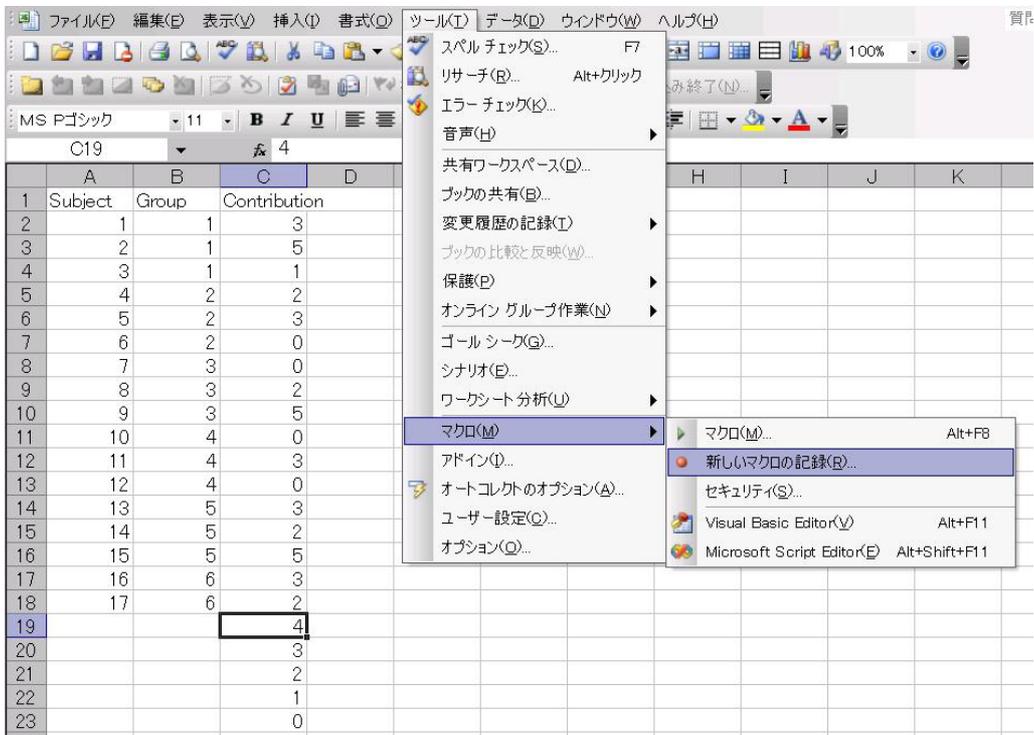


図 7 実験結果の整理 (3) : マクロの記録

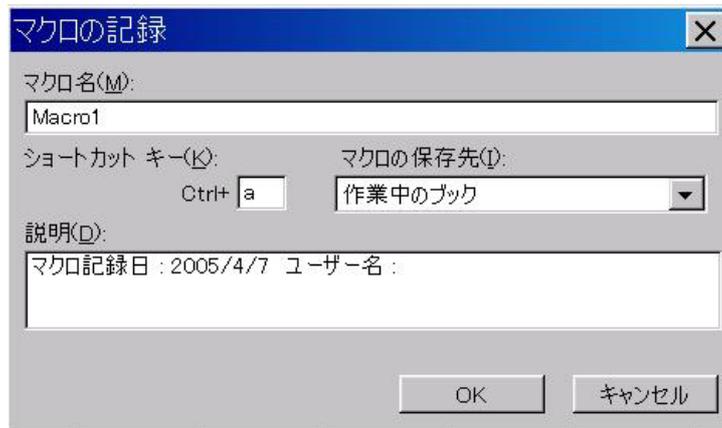


図 8 実験結果の整理 (4) : マクロの記録ダイアログボックス

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|----|---------|-------|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Subject | Group | Contribution | | | | | | | | | |
| 2 | | 1 | 3 | 4 | | | | | | | | |
| 3 | | 2 | 5 | 3 | | | | | | | | |
| 4 | | 3 | 1 | 2 | | | | | | | | |
| 5 | | 4 | 2 | 1 | | | | | | | | |
| 6 | | 5 | 2 | 0 | | | | | | | | |
| 7 | | 6 | 2 | 0 | | | | | | | | |
| 8 | | 7 | 3 | 0 | | | | | | | | |
| 9 | | 8 | 3 | 2 | | | | | | | | |
| 10 | | 9 | 3 | 5 | | | | | | | | |
| 11 | | 10 | 4 | 0 | | | | | | | | |
| 12 | | 11 | 4 | 3 | | | | | | | | |
| 13 | | 12 | 4 | 0 | | | | | | | | |
| 14 | | 13 | 5 | 3 | | | | | | | | |
| 15 | | 14 | 5 | 2 | | | | | | | | |
| 16 | | 15 | 5 | 5 | | | | | | | | |
| 17 | | 16 | 6 | 3 | | | | | | | | |
| 18 | | 17 | 6 | 2 | | | | | | | | |
| 19 | | | | 5 | | | | | | | | |
| 20 | | | | 2 | | | | | | | | |
| 21 | | | | 1 | | | | | | | | |
| 22 | | | | 0 | | | | | | | | |
| 23 | | | | 0 | | | | | | | | |
| 24 | | | | 3 | | | | | | | | |
| 25 | | | | 0 | | | | | | | | |
| 26 | | | | 2 | | | | | | | | |
| 27 | | | | 4 | | | | | | | | |
| 28 | | | | 0 | | | | | | | | |
| 29 | | | | 0 | | | | | | | | |
| 30 | | | | 3 | | | | | | | | |
| 31 | | | | 1 | | | | | | | | |

図 9 実験結果の整理 (5) : マクロの記録終了ボックス

クログでマクロボックスを出し、作成したマクロを削除する。

- データのコピーとペーストが終わったらラベルを入れたり行の幅を調節したりして見やすく整理してください。これでデータを扱いやすくなったはずですが。

注意:SPSS などの統計処理ソフトでデータを処理する場合はオリジナルのデータの方が扱いやすい場合があります。オリジナルのデータを消さないようにしましょう。

2.5 データの見方の例2 ダブルオークション

ダブルオークションのデータは次の図のようになっています。ここではデータの分割を使わないでおいた方が便利なので分割しないでおきます。図では見やすくするために一部のセルを表示していません。また説明のために先ほどと同様にここでは一部のセルを枠で囲ったり、字に色をつけてあります。

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T | U | V | W |
|----|----------|---|-----------|---------|-------------|-----------|------------|-------------|------------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---------------|
| 1 | 050408UE | 1 | globals | Period | NumPeriod | RepeatTre | SELLERTYPE | BUYERTYPE | AuctionNo | Stop | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 050408UE | 1 | globals | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 050408UE | 1 | subjects | Period | Subject | Group | Profit | TotalProfit | | | | | | | | | | | | | | | Type |
| 4 | 050408UE | 1 | subjects | 1 | 1 | 1 | 350 | 350 | | | | | | | | | | | | | | | 2 |
| 5 | 050408UE | 1 | subjects | 1 | 2 | 1 | 180 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| 6 | 050408UE | 1 | subjects | 1 | 3 | 1 | 220 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | 2 |
| 7 | 050408UE | 1 | subjects | 1 | 4 | 1 | 220 | 220 | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| 8 | 050408UE | 1 | summary | Period | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 050408UE | 1 | summary | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 050408UE | 1 | contracts | Period | Buyer | Seller | Price | Creator | | | | | | | | | | | | | | | TimeWueBuyerA |
| 11 | 050408UE | 1 | contracts | 1 | 1 | 2 | 200 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | 050408UE | 1 | contracts | 1 | 3 | 4 | 180 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | 050408UE | 1 | contracts | 1 | -2 | 4 | 210 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | 050408UE | 1 | contracts | 1 | -1 | 2 | 190 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 050408UE | 1 | contracts | 1 | 1 | 4 | 180 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 050408UE | 1 | session | Subject | FinalProfit | ShowUpFe | ShowUpFex | MoneyAdde | MoneyEamed | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 050408UE | 1 | session | 1 | 350 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 050408UE | 1 | session | 2 | 180 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 050408UE | 1 | session | 3 | 220 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 050408UE | 1 | session | 4 | 220 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |

図 10 ダブルオークションの実験結果

このデータをどのように見てゆけばいいのか確認しましょう。

まずは赤い枠の部分ですがこれは Globals テーブルと言う実験全体に共通する設定が記録されている表です。赤字になっている部分を見てください。SELLERTYPE が 1、BUYERTYPE が 2 となっています。この実験では売り手は 1、買い手は 2 という識別のための番号が与えられています。これはどの被験者でも同じ扱いなので Global テーブルに記述されているのです。

次に青枠を見てください。この部分は Subjects テーブルといい、各被験者それぞれの設定や行動が記録されます。公共財や囚人のジレンマ実験では Subjects テーブルに被験者の行動も記録されますが、オークション実験では被験者の行動は次に述べる Contracts テーブルに記録されます。Subjects テーブルの青字になっている部分を見てください。Subjects の欄に 1,2,3,4 とあります。これは 4 人の被験者がこの実験に参加していてそれぞれ 1 から 4 の被験者番号を与えられていることを意味します。Type の欄に 2,1,2,1 とあります。これは先ほど Globals テーブルで定義された売り手と買い手の識別番号です。つまり被験者 1 と 3 は Type が 2 なので買い手、被験者 2 と 4 は Type が 1 なので売り手であることがわかります。

ダブルオークションのデータを検証するときに最も重要なのが緑の枠で囲まれた Contracts テーブルです。ここではどのように取引が推移したか見ることができます。一般には Creator, Price, Buyer, Seller この 4 つの項目を見れば良いでしょう。これらの項目は次のように解釈できます。

「Buyer と Seller の間で Price で取引が成立した。その Price は Creator が提示した」

たとえば緑枠内のセルの2行目を見てください。Creatorが2、Priceが200、Sellerが2、Buyerが1になっています。これは「被験者番号2番の売り手が価格200を提示し、被験者番号1番がそれに応じたため、2番の売り手と1番の買い手の間で価格200で取引が成立した」ことを意味します。

| Buyer | Seller | Price | Creator |
|-------|--------|-------|---------|
| 1 | 2 | 200 | 2 |

図 11 成立した取引の記録の例

3行目を見てみましょう。Creatorが3、Priceが180、Sellerが4、Buyerが3になっています。これは「被験者番号3番の買い手が価格180を提示し、被験者番号4番の売り手がこれに応じて販売したため、3番の買い手と4番の売り手の間で取引が成立した」ことを意味します。

4行目、5行目では買い手の欄がマイナスになっています。マイナスは成立しなかった価格提示を意味します。-1の「1」や-2の「2」はここでは被験者番号ではないので気をつけてください。-1は取引が成立しなかったことを意味します。緑の枠内の5行目を見てください。2番の売り手は190の価格を提示したのですが時間切れになるまで誰も購入しなかったため、提示が受け入れられなかった印として-1が買い手の欄についています。

| Buyer | Seller | Price | Creator |
|-------|--------|-------|---------|
| -1 | 2 | 190 | 2 |

図 12 成立しなかった取引の記録の例

-2は、本人が値段を下げ、下げた値段が受け入れられたため無意味になった下げる前の価格提示につけられる印です。

従って4行目から6行目にかけて次のようなことが起きたことが読み取れます。まず、4番の売り手が価格210を提示しました。それに対して2番がより低い価格190を提示しました。4番は対抗してさらに低い180という価格をつけました。この提案に買い手1番が応じました。この取引は6行目で4番の売り手と1番の買い手の間で価格180で取引が成立したという形で記録されています。4行目で4番が提示した価格210は無効となり、その印として-2が買い手欄につけられました。5行目で2番が提示した価格は最後まで受け入れられなかったため-1が買い手欄につけられています。

今は売り手の提案が受け入れられなかった例だけを説明しましたが、当然買い手の側の提案が受け入れられない場合もあります。その場合は売り手の欄の方に-1や-2がつきます。

成立した取引の価格の推移だけを見たい場合は、SellerやBuyerの欄に-1や-2がある行を除外してみても

けばよいでしょう。

3 z-Tree プログラム講習のための準備

3.1 教室での準備

z-Tree を学習のため実験室のクライアント PC で使う場合は次のようにしてから始めてください。実験室のクライアント PC は定期的にメンテナンスが入って初期状態に戻されるため、個人で作成したファイルなどは削除されます。必要なファイルやデータは実験室の PC の中には残さないでフロッピーなどに移しておいてください。

1. 実験室の PC の電源を入れる。
2. ユーザー名 : student
パスワード : student
ログイン先 : このコンピュータ
でログインする
3. デスクトップ上のフォルダ b「z-Tree」のショートカットをクリック。
4. フォルダ内の z-Tree のアイコンをダブルクリック
・これで z-Tree が起動するはずですが
5. 使用言語を日本語にしておきます。
 - (a) Untitled Treatment 1 というウインドウが開いているはずですが。右上の [×] を押して消してください。
 - (b) メニューから Treatment Language Nihongo と選択してください。
 - (c) メニューから File New Treatment を選択してください。
 - (d) 新しく開いたウインドウの一番下の行が「しばらくお待ちください」になっていたら OK です。
6. z-leaf のショートカットのアイコンをダブルクリック

CD-ROM のフォルダには 2 個の z-Leaf 用のショートカットアイコンが用意されています。それぞれ z-leaf1、z-leaf2 と名づけられています。授業で使うときはこのショートカットアイコンの方を使ってください。一つのゲームに 2 人以上の参加する場合 2 つ以上の z-Leaf が必要です。その場合は次のようにしてください。

例 : 3 つ目のショートカットアイコン「zleaf3」を作る場合

- z-leaf 1 か z-leaf2 のショートカットアイコンをコピー。
- 名前を右クリックしてアイコンの名前を zleaf3 に変更。
- アイコンを右クリック プロパティを選択
- リンク先を次のように変更。変更部分を太字で示します。
変更前 C:¥z-TreeCDrom¥zLeaf.exe /name zleaf1 /size 900x700 /Language Nihongo
変更後 C:¥z-TreeCDrom¥zLeaf.exe /**name zleaf3** /**size 925x675** /Language Nihongo
/name のオプションで名前を変更し、/size オプションで横×高さの大きさを変更します。
大きさは他の zleaf の画面とぴったり重なってしまわないように少しずつ変えましょう。上の例では zleaf3 は zleaf1 よりも少し横長で縦に短くしています。
- 「OK」を押して終了

3.2 各自のコンピュータでの準備

各自が自習できるよう z-Tree とプログラムの雛形が入った CD - ROM を渡しています。CD - ROM は「z-TreeCDrom」フォルダと「treatments」のフォルダを C ドライブにコピーすれば教室とほぼ同じ環境になります。

注意: この CD-ROM に入っている z-Tree は京都産業大学内で使用する許諾だけを得ています。決して人に譲渡したり Web 上などで公開してはいけません。

4 z-Tree プログラムのテストラン

プログラムを呼び出してテストランをしてみましょう。

1. File Open で「treatments」のフォルダをあげ、「pd」のファイルを呼び出してください。
これは囚人のジレンマと呼ばれるゲームのプログラムです。このプログラムは z-Tree の開発者である Urs Fichbacher の Web ページ (<http://www.iew.unizh.ch/ztree/index.php>) で公開されているものです。囚人のジレンマがどのようなゲームかは以下に説明します。

囚人のジレンマ

2 人の容疑者が別々に取調べを受けています。警察はこの 2 人がある重大事件の容疑者であるにとらんでいますが決定的証拠がありません。そこで別件の犯罪で逮捕し、重大犯罪についても自白させようとしています。今捕まっている別件の犯罪は免れようがなくこのまま黙秘を続けても 2 年の服役は免れないことは容疑者もわかっています。警察は重大事件のほうを自白させようと 2 人にこのような取引を個別に持ちかけています。

「重大事件について、お前の相棒が黙秘しているうちにお前が自白したら捜査協力をしたということで司法取引で 1 年の服役で済むようにしてやろう。そのときには相棒は 4 年の服役になるだろう。しかしお前が黙秘を続けている間に相棒が自白したらお前が 4 年で相棒が 1 年の服役になる。二人ともが重大事件について自白したら 3 年の服役だ。」

この二人の置かれている状況は次のように整理できます。服役は二人にとって楽しくないことなので服役年数をマイナスで示します。

| | | 相 棒 | |
|-----|----|---------|---------|
| | | 黙秘 | 自白 |
| 自 分 | 黙秘 | -2 \ -2 | -4 \ -1 |
| | 自白 | -1 \ -4 | -3 \ -3 |

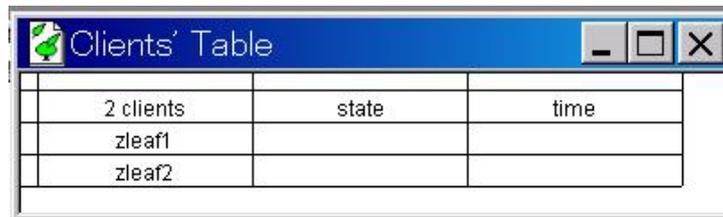
表 1 囚人のジレンマ：利得表（1）

セルの中の数字は「自分の服役年数 \ 相棒の服役年数」です。あなたがこの容疑者だとしたらどのように行動するのが正しいでしょうか。相棒が黙秘するだろうと思うなら自白すれば刑はたった 1 年で済みます。しかし相棒も自白したら 3 年の刑です。それなら二人とも黙秘をして受ける 2 年の刑の方がましです。しかし自分が黙秘としているうちに相手が自白してしまったら自分はなんと 4 年も服役しなくてはなりません！ この例ではマイナスの利得を減らすためにどうするかを考えるゲームになっていますが、上の表の数字に全部 5 を足すことでプラスの利得を増やすためのゲームに置き換えることが出来ます。二人の選択肢も相手への協力と裏切りと言い換えると囚人のジレンマは次のような表で表されるゲームになります。

| | | 相 棒 | |
|-----|----|-------|-------|
| | | 黙秘 | 自白 |
| 自 分 | 黙秘 | 3 \ 3 | 1 \ 4 |
| | 自白 | 4 \ 1 | 2 \ 2 |

表 2 囚人のジレンマ：利得表（2）

2. zleaf1 と zleaf2 を立ち上げてください。ここではテストランなので実験者の役割と同時に自分で被験者役もやらなくてはなりません。
3. z-Tree が立ち上げた 2 つの z-Leaf を認識しているか確認してみましょう。メニューから Run Clients ' Table を選択してください。今接続している z-leaf が表示されます。



| 2 clients | state | time |
|-----------|-------|------|
| zleaf1 | | |
| zleaf2 | | |

図 13 Clients ' Table で接続している z-Leaf を確認する

4. ゲームに何人参加して、同じゲームを何回繰り返すかを決めなくてはなりません。トリートメントの一番最初にある、木の形のアイコン「Background」をダブルクリックしてください。

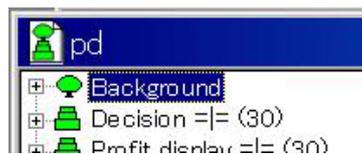
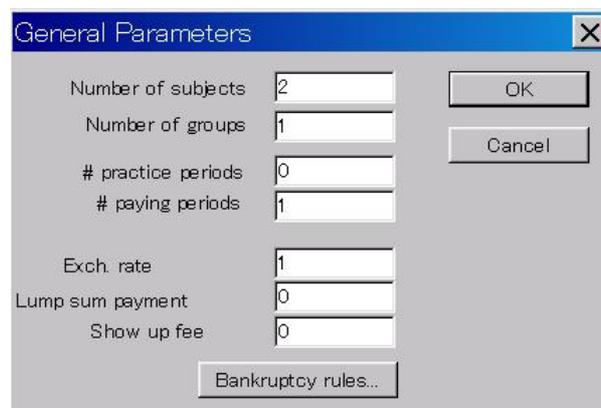


図 14 Background アイコンをダブルクリックする

図 15 のような General Parameters のダイアログボックスが現れます。Number of subjects には被験者数 2 を入れます。Number of Groups にはグループ数を入れますが囚人のジレンマは 2 人一組なのでここでは 1 のままで結構です。# paying periods には実験を何回繰り返すかを入れます。ここも今は 1 のままで結構です。入力が終わったら「OK」を押してダイアログボックスを閉じます。



| | | |
|--------------------|---|---------------------|
| Number of subjects | 2 | OK |
| Number of groups | 1 | |
| # practice periods | 0 | Cancel |
| # paying periods | 1 | |
| Exch. rate | 1 | Bankruptcy rules... |
| Lump sum payment | 0 | |
| Show up fee | 0 | |

図 15 General Parameters を設定する

5. ではプログラムを実行してみましょう。メニューから Run Start Treatment を選択します。スクリーンには図 16 のような表示が現れます。

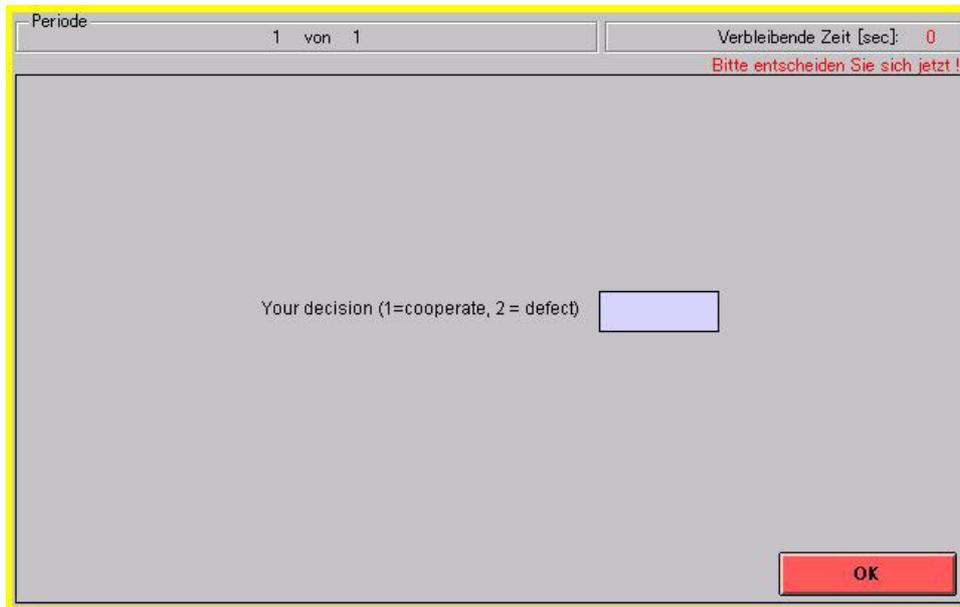


図 16 実験のスクリーン (1) 意思決定の入力画面

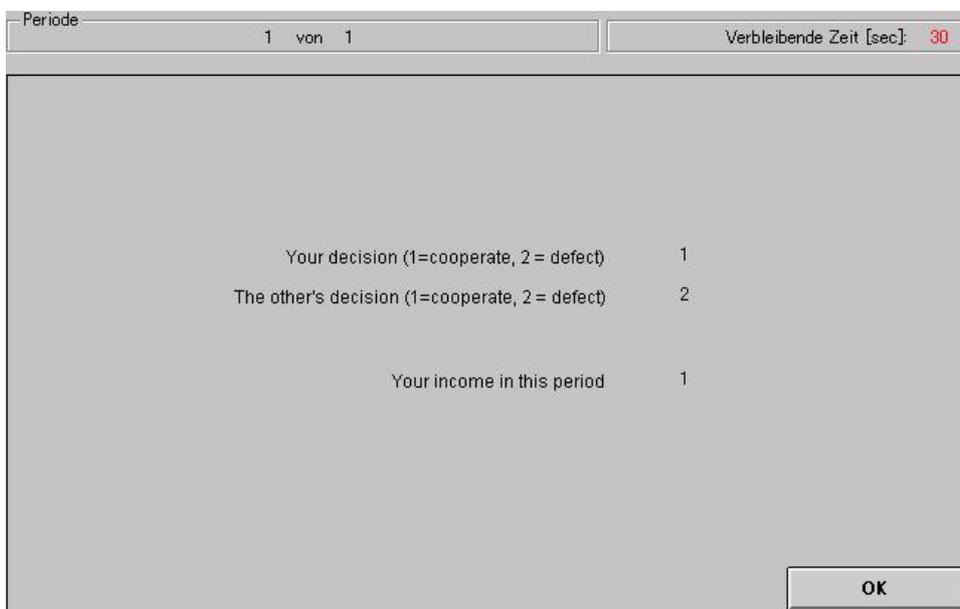


図 17 実験のスクリーン (2) 結果表示の画面

協力するなら 1、裏切るなら 2 を入力して OK を押します。z-Leaf は 2 つ起動していますので両方の z-Leaf 上で入力します。画面に表示される z-Leaf は [Alt]+[Tab] で切り替えることが出来ますが、

2つの z-Leaf は少しずつ縦と横のサイズが違うので、どちらかが手前にあってももう一方が完全に隠れてしまうことはないはずです。見えている一部をクリックすることで一番手前に表示させることができます。

画面の上部の表記がドイツ語になっているのに気づかれたでしょうか。これはこのトリートメントのプログラムがドイツ語環境に設定された z-Tree 上で作られたからです。後でこれを含めて表記を全て日本語に直してみましょう。

2つの z-Leaf に入力が入ると図 17 のような結果の出力画面に変わります。これもあとで日本語表記に直してみましょう。

6. 結果を確認してみましょう。ウィンドウの右上の [x] を押して z-Tree を終了します。警告メッセージが出ますが、実験本番でない限り無視しても問題ありません。z-Leaf は Alt を押しながら F4 を押すと終了します。

実験結果のファイルは、z-Tree が置かれたフォルダに作成されています。ファイルは z-Tree と z-Leaf の接続のためや実験が途中で不具合に陥った場合に復帰させるために作成されるものなど実験結果とは無関係のものも作成されます。一般には 1 回の実行につき一つだけ作成される xls ファイルに結果が記述されていますので、それ以外は削除してしまってもかまわないでしょう。実験結果のファイルの見方は 2 章を参照してください。被験者の行動は「Decision」の行に記述されています。

5 プログラムの改造

5.1 日本語環境への移行

4章でテストランした囚人のジレンマの実験の画面表示を日本語に直してみましょう。まず 3.1 章の 3 で説明したとおりメニューで Treatment Language Nihongo を選択し、メニューから File New Treatment を選択してください。新しいウィンドウが開きます。(すでに開いているならこの操作は不要です) 4章でテストランした pd のファイルも開いてください。その二つのファイルのウィンドウを並べて、pd の内容をコピーして新しいファイルに移していきます。

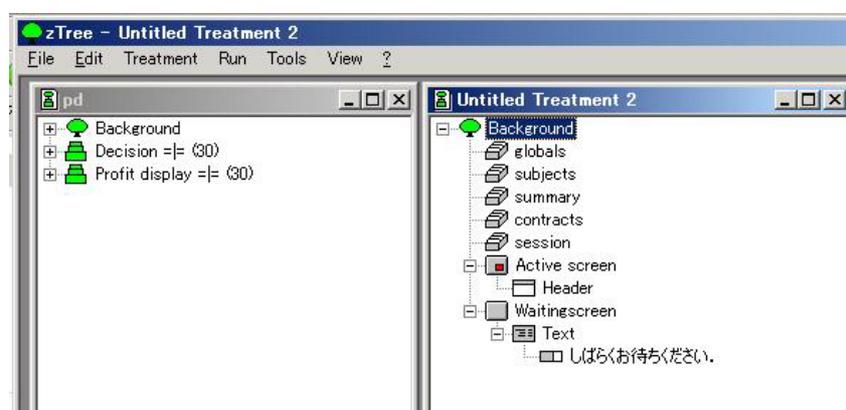


図 18 日本語環境への移行 (1)

木の形のアイコンがバックグラウンドアイコンと呼ばれることは先に説明したとおりです。その下の階段状の緑のアイコンはステージアイコンと呼ばれます。pd には Decision と Profit display という二つのステージがあります。このステージを新しいファイルにコピーしましょう。

1. Decision のアイコンをクリック
2. メニューから Edit Copy を選択
3. 新しいファイルのバックグラウンドアイコンをクリック
4. メニューから Edit Paste を選択

これで Decision のアイコンがコピーできたはずですが、同様に Profit display のアイコンもコピーします。その際 3. の手順のところでは Background ではなく Decision のアイコンをクリックしてから貼り付けてください。新しいステージは現在選択されているアイコンのすぐ後ろに貼り付けられます。

これで各ステージが移植されましたが、まだ終わりではありません。バックグラウンドの中に各種の設定やプログラムが組み込まれているのでそれも移植します。各アイコンの左の [+] はステージの中身が折りたたまれて表示されていない状況にあることを示します。pd のファイルのバックグラウンドの [+] をクリックしてください。バックグラウンドの内容が表示されます。pd のファイルの方には新しいファイルの方にはない Globals.do... というスパナの形のアイコンがあります。これをコピーして新しいファイルのほうに貼り付けます。

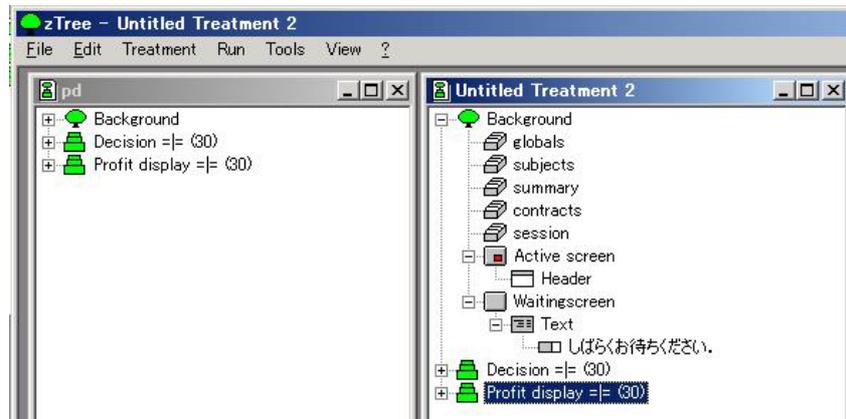


図 19 日本語環境への移行 (2) ステージアイコンのコピー

1. Globals.do...のアイコンをクリック
2. メニューから Edit Copy を選択
3. 新しいファイルの session のアイコンをクリック
4. メニューから Edit Paste を選択

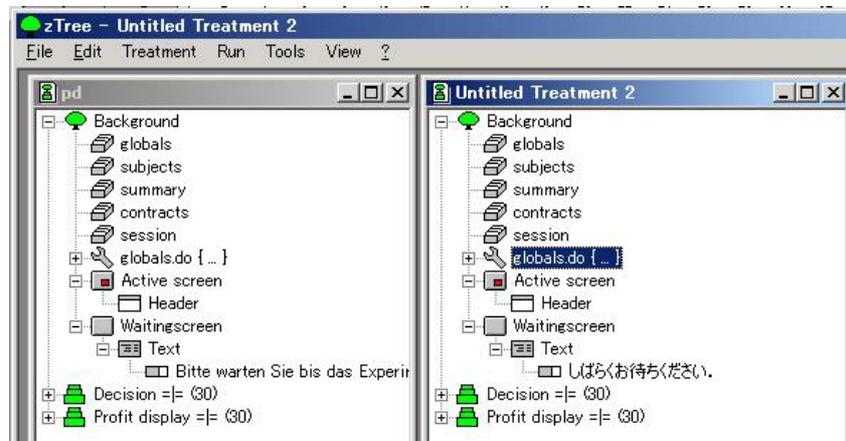


図 20 日本語環境への移行 (3) プログラムアイコンのコピー

これで日本語環境のファイルに内容を移すことができました。ここからは実際に表記を日本語に直しますが、その前にファイル名をつけて保存しておきましょう。File Save As...で適当な名前をつけて保存してください。ここで試しに再びテストランしてみてください。画面の上部の「Period」が「回数」に、「Verbleibende Zeit」が「残り時間」に変わっていることが確認できるでしょう。

意思決定の入力画面のメッセージを日本語に直してみましょう。「Decision」ステージの [+] をクリックして展開してみてください。ひとつのステージは大きく分けて Active Screen と Waiting Screen からなります。Active Screen は情報を表示したり被験者の入力を受け付ける画面です。Waiting Screen は表示や入力が終わった後次の画面に進むまでの待機状態のときに表示する画面です。Active Screen はボックスという小画面

を並べて構成されます。ボックスは何種類かありますが、一番基本となるのが Standard Box です。この例でもメインの画面は Standard Box で構成されています。



図 21 日本語環境への移行 (4) スタンダードボックスとアイテム

Standard ボックスのアイコンの下層にある四角いアイコンはアイテムと呼ばれます。Your decision のアイテムをダブルクリックしてください。アイテムの内容を表示するダイアログボックスが開きます。Label の欄にある「Your decision(1=cooperate, 2=defect)」を「あなたの意思決定 (1=協力, 2=裏切り)」に書き換えます。

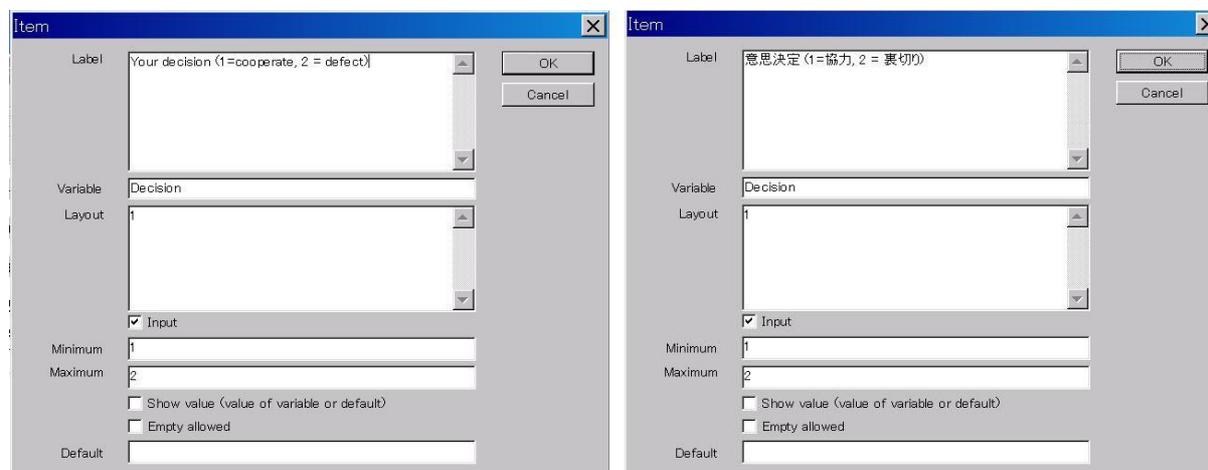


図 22 日本語環境への移行 (5) アイテム内の書き換え

同様にして、一つ下のステージ Profit display の [+] をクリックして展開し、中のアイテムの Label を図 23 のように直します。

これで画面表示が日本語になりました。上書き保存の上でテストランしてみましょう。z-leaf を二つ起動し、トリートメント上の Background をダブルクリックしてパラメータを適切にセットして走らせてみてください。画面上のメッセージが日本語で表示されていれば成功です。

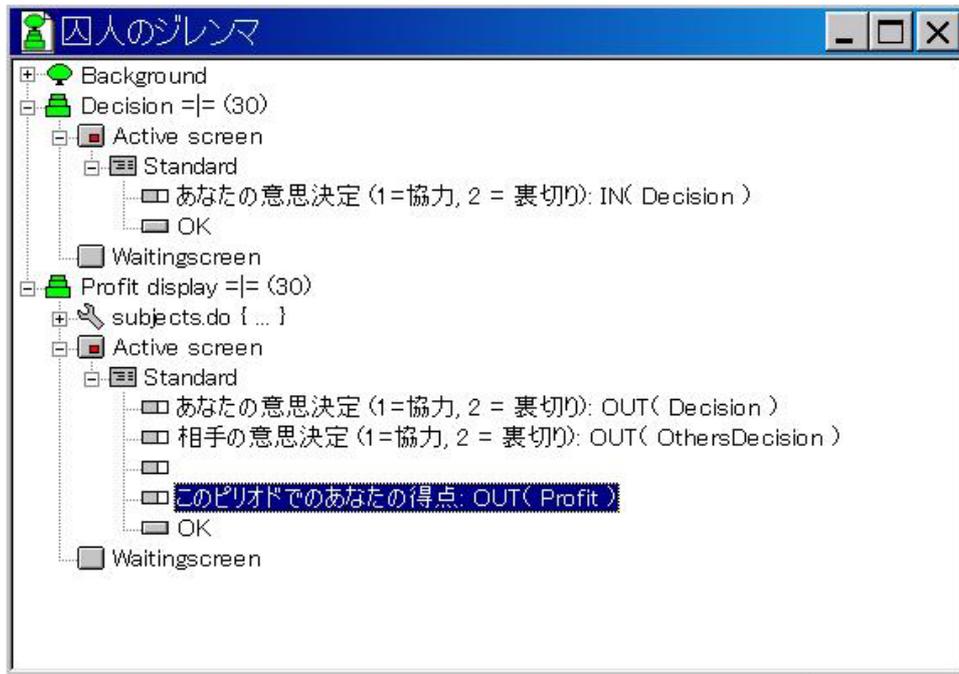


図 23 日本語環境への移行 (6) 完成

5.2 利得関数の改造

この囚人のジレンマのトリートメントは簡単に別のゲームに作り変えることができます。ここでは「鹿狩りゲーム」に改造してみましょう。「鹿狩りゲーム」については以下に説明します。

鹿狩りゲーム (Stag Hunt Game)

2人の狩人が鹿とウサギのいる山に出かけます。鹿は2人でかかれば捕らえることができますが、1人では捕らえられず骨折り損になります。ウサギは1人でも捕らえられます。鹿は10の、ウサギは3の価値があり、一日働くと1の費用がかかります。このとき二人の利得は次のようにまとめることができます。

| | | 相 棒 | |
|--------|-----|--------|--------|
| | | 鹿 | ウサギ |
| 自 分 | 鹿 | 4 \ 4 | -1 \ 2 |
| | ウサギ | 2 \ -1 | 2 \ 2 |

表 3 鹿狩りゲーム：利得表

このゲームは基本的には利得を書き換えるだけで可能です。ステージツリーのバックグラウンド内のスパナ型のアイコンを見てください。

これはプログラムアイコンと呼ばれ、数値の設定や計算でこのアイコンを使います。これをダブルクリックしてください。中に書かれたプログラムを編集できるダイアログボックスが開きます。



図 24 プログラムアイコン

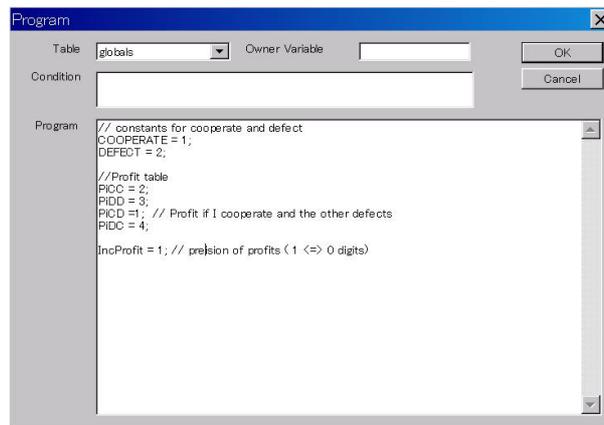


図 25 プログラムダイアログボックス

この中で注目すべきは Pi = 数値; となっている 4 つの行です。これは自分が、相手が を選択した場合の自分の利得を表します。例えば $PiCD = 1$; は自分が C (協力) 相手が D (裏切り) を選択した場合の利得が 1 であることを表します。鹿狩りゲームでは C を鹿、D をウサギに読み替えて数値を変えることにしましょう。すると利得は次のように書き換えればよいことになります。

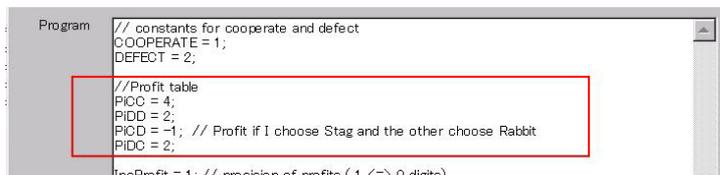


図 26 利得表の設定プログラム

「//」より右の部分はコメントと言ってプログラムにつけることができる注釈です。実行内容には影響しないのでここではあまり気にする必要はありません。

英語を日本語に直したときの要領で入力や結果表示のラベルをゲームの内容に合わせて変えれば「鹿狩りゲーム」のトリートメントプログラムの出来上がりです。出来上がりを図 27 に示します。

出来上がったら保存してテストランをしてみてください。利得表どおりの結果が出るなら成功です。

このゲームの更なる応用として「両性の戦い」があります。「両性の戦い」は次のようなゲームです。

```

Background
  globals
  subjects
  summary
  contracts
  session
  globals do { ... }
    // constants for cooperate and defect
    COOPERATE = 1;
    DEFECT = 2;

    //Profit table
    PIOC = 4;
    PIDD = 2;
    PICD = -1; // Profit if I choose Stag and the other choose Rabbit
    PIDC = 2;

    IncProfit = 1; // precision of profits (1 <=> 0 digits)
  Active screen
    Header
    Waitingscreen
    Text
    しばらくお待ちください。
  Decision != (30)
  Active screen
    Standard
    あなたの意思決定 (1=鹿, 2 = ウサギ): IN( Decision )
    OK
    Waitingscreen
  Profit display != (30)
  subjects do { ... }
    OthersDecision = find( same ( Group ) & not ( same ( Subject ) ), Decision);
    Profit = if ( Decision == COOPERATE,
      if( OthersDecision == COOPERATE, PIOC, PICD),
      if( OthersDecision == COOPERATE, PIDC, PIDD));
  Active screen
    Standard
    あなたの意思決定 (1=鹿, 2 = ウサギ): OUT( Decision )
    相手の意思決定 (1=鹿, 2 = ウサギ): OUT( OthersDecision )
    このどりオドでのあなたの得点: OUT( Profit )
    OK
    Waitingscreen

```

図 27 鹿狩りゲーム

両性の戦い (Battle of Sex)

マイケルとメアリーはデートにボクシングを見に行くか、バレエを見に行くか相談しています。マイケルはボクシングが好きなのでバレエはあまり楽しくありません。メアリーはバレエが好きなのでボクシングはあまり楽しめません。では二人が別々にボクシングとバレエを見に行くことにしたら？これは二人にとってはデートと言う最も重要な目的を果たしていないので、二人はまったく楽しくないこととなります。この二人の選択肢と満足の度合いは次のようにまとめることができます。

| | | 女 | |
|---|-------|-------|-------|
| | | ボクシング | バレエ |
| 男 | ボクシング | 2 \ 1 | 0 \ 0 |
| | バレエ | 0 \ 0 | 1 \ 2 |

表 4 両性の戦い：利得表

アメリカでは性差別に敏感な人たちに配慮しているのか、男性がボクシング、女性がバレエを好むといういわゆる典型的な男女の好みの差を明確に出さないストーリーで説明されることが多くなっているようです。

このゲームをプログラムしようとするすると男と女で利得が異なるのでプレイヤーを2つのタイプに分け、それぞれ違った利得を定義してやる必要が出てきます。その技法はここでは扱わないことにしますが、どう実現するかはチュートリアルマニュアルの 3.3.2 から 3.3.6 にありますので興味のある方はトライしてみてください。

6 1からのプログラム

非常に基本的なプログラムを一つ、1から作ってみましょう。ここではまず期待効用仮説を確認する実験のプログラムを作ります。つぎにアレのパラドックスと呼ばれる、期待効用仮説に対する反例として有名な事象を検証するプログラムを作ってみましょう。

期待効用仮説

ここに2つのくじAとBがあるとしましょう。Aはひと確実に1000円が当たります。Bはひと50%の確率で2000円が当たり、50%の確率で0円になります。どちらかのくじを選ぶとしたらみなさんはどちらを選びますか？

期待効用仮説によると人はBよりAを選択すると考えられます。くじを引く前の状況を考えると、Aは確実に1000円を得られるのでくじから期待できる所得は1000円です。Bは0.5の確率で2000円、また0.5の確率で0円なのでくじから期待できる所得は $0.5 \times 2000 + 0.5 \times 0 = 1000$ 円でくじAと変わらないはずですが。

それでもくじAの方が好まれるのは、不確実な所得から期待できる効用(満足)よりも確実な所得から得られる効用の方を高く評価する、危険回避の傾向が人々にあるからだと説明されます。

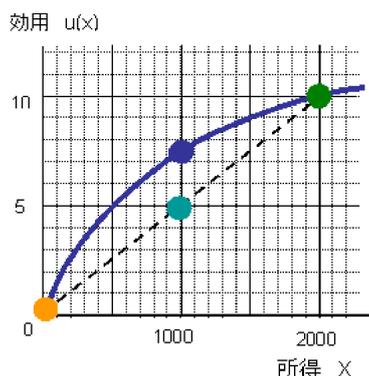


図 28 期待効用仮説

この図はこのような所得と効用の関係を横軸を所得、縦軸を効用にしたグラフから説明するものです。所得が0のときの効用を $u(0)$ 、2000のときの効用を $u(2000)$ とします。 $u(0)$ は図上の黄色の点、 $u(2000)$ は図上の緑の点で表されます。それらがそれぞれ0.5の確率で得られるので、くじBの効用は $0.5u(0) + 0.5u(2000)$ となります。これは図上の水色の点に相当します。危険回避傾向は、図上での青色の点にあたる、確実に1000円が得られるときの効用 $u(1000)$ がこの水色の点より上にあるという形で表されます。

実際に上記の例のような選択肢が与えられた場合、人々は期待効用仮説に従って行動するでしょうか。実験のためのプログラムを作ってみましょう。

6.1 準備

- z-Tree を起動します。

- Untitled Treatment 1 というウインドウが開いているはずですが、右上の×を押して消してください。
- メニューから Treatment Language Nihongo と選択してください。
- メニューから File New Treatment を選択してください。
- 新しく開いたウインドウの一番下の行が「しばらくお待ちください」になっていたら OK です。

z-Tree で実験者が作るプログラムはステージツリーと呼ばれます。実験者はエレメントと呼ばれる、画面表示や入力受付、計算などを実現するステージツリーの部品を実験の流れに沿って配置することでステージツリーを作ります。ステージツリーの頭にはかならずバックグラウンドと呼ばれる木の形のアイコンがあります。ここで参加人数や被験者の初期条件など、実験全体にかかわる設定を行います。New Treatment を開くとこのバックグラウンドが自動的に生成されます。

6.2 数値の初期設定をする

くじ A と B の賞金の金額をバックグラウンドで設定しておきます。数値の設定や計算はプログラムというエレメントを適切な位置においてそこに書き込みます。

1. Background の session をクリックします。メニューから Treatment New Program を選択するとプログラムを入力するダイアログボックスが開きます。
2. くじ A の賞金を LotA, くじ B の当たった場合の賞金を LotBWin, 外れた場合の賞金を LotBLose とします。Program のボックスの中に次のように書き込みます。

```
LotA=1000;
LotBWin=2000;
LotBLose=0;
```

3. 入力が済んだら「OK」を押してダイアログボックスを閉じます。

あとで賞金額を変えたい場合はこの部分だけ変えればよいことになります。LotA や LotBWin, LotBLose のような中に数値を代入する文字列を変数といい、変数に数値を代入する式を割り当て構文といいます。割り当て構文を書くときは最後にセミコロン「;」を付けなくてはなりません。

バックグラウンドに初期設定を集めて記述しておくのは、その方があとで実験の設定を変えたいときに便利だからです。

これで基本の設定が出来上がりました。プログラムはステージツリー上ではスパナの形のアイコンで表示されます。プログラムダイアログボックスは今後もよく使いますが、同時にエラーで悩まされる事も多くなるでしょう。エラーが出たら 6.5 章を参照してください。

6.3 入力ステージを作る

被験者にはくじ A かくじ B かを選んでもらう必要があります。そのためのステージを作りましょう。

1. Background の木の形のステージをクリックします。メニューから Treatment NewStage を選択すると新しいステージが追加され、その設定を決めるダイアログボックスが開きます。設定はデフォルトでいいので name のところだけ InputDecision と変えておきましょう。

注意:メニューに NewStage が現れない場合は、Background がクリックされているかどうかを確認してください。Background の「中」の要素がクリックされているときには、Background の「中」に追加できるものしかメニューには出ません。Background と Stage はステージツリーの中で一番大きいプログラム上の単位です。Background の「中」に Stage は作れません。Background そのものをクリックしてあれば、Stage は Background の下に挿入されます。Stage の下に新たに Stage を作る場合も、かならず新しい Stage のひとつ上のステージアイコンをクリックしてから挿入してください。

2. Active screen をクリックします。Treatment New Box Standard Box を選択します。Standard box のアイコンがステージツリー上に挿入されます。z-Tree の画面はボックスと言う単位で構成されます。Standard Box は最も基本的なボックスです。
3. Standard box をクリックします。Treatment New Item を選択します。ダイアログボックスには図 29 のように入力します。画面に何か文章を表示したいときはこのアイテムの Label 欄に書き込みます。Label の欄に「くじ 1 は確実に 1000 円が当たります。くじ 2 は 50 % の確率で 2000 円があたり、50 % の確率で 0 円が当たります」と書き込んでおきましょう。

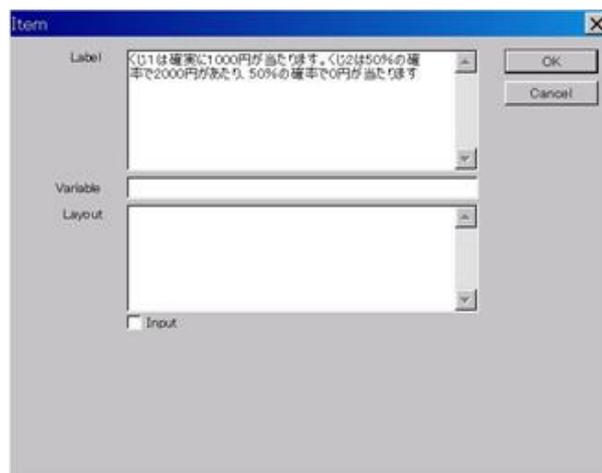


図 29 アイテムダイアログボックスをメッセージ表示に使用する

4. 被験者が自分の決定を入力するためのアイテムを作ります。まず今作ったアイテムをクリックします。Treatment New Item を選択すると新しいアイテムが作られます。ダイアログボックスの「Input」の項目にチェックを入れ、あとは図 30 のように入力します。ダイアログボックスの項目は次のようになっています。
 - Variable 変数。ここでは Decision としているので被験者が入力した数値がこの Decision に代入されます。
 - Layout 桁数。1 となっている場合、入力が許されるのは 1 の倍数だけです。0. や 1.33 といった小数点以下の数値を入力しようとするとエラーメッセージが出ます。
 - Input このチェックボックスにチェックを入れるかいないかで、このアイテムをメッセージや数値を表示する出力アイテムにするか、入力を受け付ける入力アイテムにするかを定めることができます。

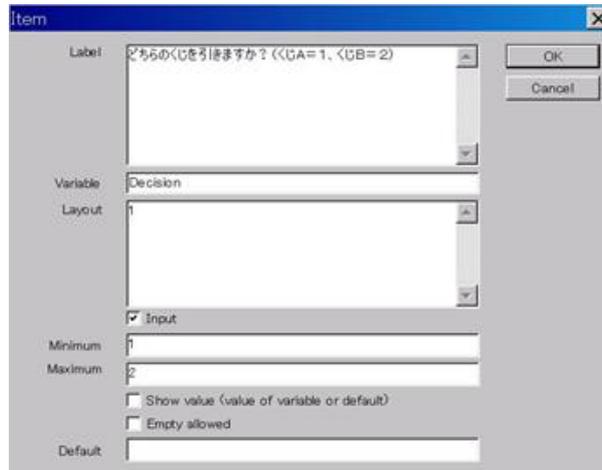


図 30 アイテムダイアログボックスを入力受け付けに使用する

Minimum 入力 が許容される最小値をここで設定します。

Maximum 入力 が許容される最大値をここで設定します。

5. ステージの最後には被験者がそのステージでの入力や結果の確認が終わって、次の画面に行くために押すボタンをつける必要があります。(このボタンがないと基本的に次の画面に行けません。)メニューから Treatment New Button を選択します。ボタンのダイアログボックスがでできます。そのまま OK を押してください。

これで入力ステージは完成です。次に結果を計算して表示するステージを作りましょう。

6.4 結果の計算と表示

被験者がくじ 2 を引いた場合は確率 50 % で 2000 円、50 % で 0 円を提供しなくてはなりません。このためのプログラムを書きましょう。

- 新しいステージを挿入します。Input Decision のステージのアイコンをクリックし、メニューから Treatment New Stage を選択します。ダイアログボックスではステージの名前を ShowResults にしておきます。
- この新しいステージをクリックし、Treatment New Program を選択します。

くじは次のような形で実現させます。

- 1) 0 から 1 までの乱数 (でたらめな数) を発生させる。
- 2) 乱数が 0.5 より大きいならくじ 2 の結果は LotBWin にし、0.5 以下なら LotBLOSE にする。

まず 1) から作ってゆきましょう。z-Tree には random() という関数があります。これは 0 から 1 までの乱数を発生させます。出来たでたらめな数は Random という変数に代入することにします。従ってプログラムダイアログボックスに次のように書きます。

```
Random = random();
```

この数値が 0.5 より大きかったらくじ B の結果を LotBWin にし、低かったら LotBLose にするわけですが、このような条件判断には if 構文を使います。if 構文は次のような構造を持ちます。

```
if( 条件 ) { 割り当て構文 1 } else { 割り当て構文 2 } ;
```

条件が満たされていれば割り当て構文 1 が実行され、そうでなければ割り当て構文 2 が実行されます。else 以降を省略することも出来ます。その場合は条件が満たされていれば構文 1 が実行され、条件が満たされていなければ何もおきません。

if 構文を使ってくじ B の結果を決めましょう。くじ B の結果を LotB とします。

```
if (Random>0.5) {LotB=LotBWin; } else { LotB=LotBLose; }
```

これで Random の値が 0.5 より大きいなら LotB には LotBWin の値が代入され、そうでないなら LotBLose の値が代入されます。

次に引いたくじによって得点を決めてやります。もし被験者がくじ A を引いているなら被験者の得点 (Profit) に LotA を、くじ B を引いているなら被験者の得点に LotB を代入してやればいいわけです。これも条件文ですから同じようにしてやれば OK です。

```
if (Decision==1) {Profit=LotA; } else { Profit=LotB; }
```

Decision==1 のところでイコールが 2 つ重なっていることに注意してください。割り当て構文の中ではイコール (=) は「右辺の値を左辺に代入する」という意味で使われます。一般的な数学での意味である「左辺と右辺が等しい」という意味では用いられません。if 構文の条件の中で左辺と右辺が等しいときという条件を作るためにイコールを使いたいときは、イコールを二つ重ねる (==) 必要があります。

この行ではもし被験者の入力 (Decision) が 1 だったら被験者の利益 (Profit) には LotA の値を代入し、そうでなければ LotB の値を代入します。

ちなみに割り当て構文の中に条件を入れることも出来ます。そのときの構文は次のようになります。

```
変数 = if (条件, 値 1, 値 2) ;
```

このように書くと、条件が満たされていれば変数に値 1 が代入され、満たされていなければ値 2 が代入されます。従ってさっきの行は次のように書いても結果は同じです。

```
Profit=if(Decision==1,LotA,LotB);
```

適宜使いやすいほうを使ってやればいいでしょう。

こうして決まった被験者の得点を表示する画面を作りましょう。Active screen をクリックしてメニューから Standard box を挿入し、その下に Item を挿入します。手順は 6.3 章の入力ステージと同じです。ただし今回は結果の表示だけなので Input チェックボックスにチェックを入れる必要はありません。Label の欄に説明を、Variable の欄には表示させたい変数である Profit を、Layout の欄に 1 を入れます。同様にして被験者の意思決定を表示するアイテムも作って見ましょう。最後にメニューからボタンを呼び出して挿入してやれば完成です。完成すると図 31 のようなステージツリーが出来上がるはずですが、テストランをしてうまく動くか確認してみてください。今回は被験者同士の相互取引がないので z-leaf は一つ立ち上げれば十分です。



図 31 期待効用仮説検証プログラム

6.5 エラーが出たら

プログラムボックス内でプログラムを書いて「OK」を押すとエラーが出る場合がありますが、原因はほとんどの場合文法が間違っているか、関数が未定義であるかのどちらかです。

6.5.1 文法エラーの場合

文法が間違っている場合、次のようなエラーメッセージが出ます。

```
syntax error;
```

この場合次の事をチェックしてみてください。

- 各行の最後はセミコロン「;」になっているか
- 括弧やカンマ、イコールが全角になっていないか（日本語入力のまま数式を入力していないか）
- 代入の「=」と左辺右辺が等しいという条件の「==」を間違えていないか
- や は「<=」や「>=」と書くべきところを「<」や「>」と書いていないか
- 関数のつづりを間違っていないか

手本どおりに入力しているはずなのにエラーが出る場合は大抵上記のような単純な入力ミスです。注意して見直してみてください。

文法の様式は全てのリストがリファレンスマニュアルの7章、44ページに載っています。自分でプログラムを書くとき文法に自信がない場合はそちらを参考にしましょう。

6.5.2 変数未定義のエラー

変数が未定義だと言うエラーもよく出ます。この場合、次のようなエラーメッセージが出ます。

```
Unknown variabler; XXXXXX
```

これは、あなたが計算に使えとっている XXXXX はまだ中身が定義されていないので計算に使えない、というメッセージです。もし単に初期値を設定し忘れていたのであれば、そのプログラムより前のところに XXXXXX=10; などのように数値を代入してやるプログラムを書く事で解決します。しかし手本どおりに入力しているはずで、事前に定義もしているはずなのにエラーが出る場合があります。これはたいていの場合

- つづりの間違い。「Decision」を「Desicion」と書き違えるなど。
- 大文字・小文字の不統一。変数名は大文字小文字の差を認識します。例えば「Profit」と「profit」、
「LotBWin」と「LotbWin」はそれぞれ違う関数とみなされます。

どちらも既に定義してある変数とちょっと違うつづりになっているのに気がつかなかったり、大文字小文字が違っているのに気がつかないと生じるエラーです。起きないはずのエラーが起きるとき、ほとんどの場合それはごく小さなミスに起因します。注意して見直してみてください。

6.5.3 どうしても原因が分からないとき：コメントアウト

エラーが出ているけれども、どこが間違っているのかわからないということが時々あります。このような時はコメントアウトを使って間違っている箇所を絞り込みます。プログラムダイアログボックス内では「//」と書くとそこからその行の終わりまではプログラムではなく、コメントであるとみなされ、z-Tree は実行のときこの部分を無視します。コメントは通常自分が書いたプログラムの内容を忘れないようにするメモ書きとして使うものですが、z-Tree がコメントを無視するという機能を使う事でエラーのある場所を絞り込む事ができます。例えば次のプログラムはどこかが間違っているためエラーがでてしまいます。

```
Random=round(random()*100,0)+1; //random from 1 to 100
if (Random>Boundary) { Lot2=Lot2Win; } else { Lot2=Lot2Lose; }
Profit=if(Input==1,Lot1,Lot2);
```

どこが間違っているか絞り込むためあやしいと思う行の最初に//を入れてコメント化します。これをコメントアウトといいます。どこがあやしいかも見当がつかない場合は最後の行からコメントアウトして見ましょう。(最初の行からやると別の問題を引き起こしやすくなります、例えばこの例では1行目で定義している変数 Random を2行目で使うため、1行目をコメントアウトすると文法エラーのほかに変数未定義エラーが出てしまうので面倒です。)

```
Random=round(random()*100,0)+1; //random from 1 to 100
if (Random>Boundary) { Lot2=Lot2Win; } else { Lot2=Lot2Lose; }
//Profit=if(Input==1,Lot1,Lot2);
```

これで「OK」ボタンを押してみます。まだエラーがでるなら下から2行目もコメントアウトしましょう。

```
Random=round(random()*100,0)+1; //random from 1 to 100
//if (Random>Boundary) { Lot2=Lot2Win; } else { Lot2=Lot2Lose; }
//Profit=if(Input==1,Lot1,Lot2);
```

ここでエラーが出なかったら、この行があやしいということになります。よく見直してみると、「else」を「else」と書き違えている事に気づくでしょう。このようにして間違っているところを絞り込んで直します。

文法の誤りだけでなく、プログラムを書きかけのままいったんダイアログボックスを閉じて別の箇所を確認したいというようなときも、このコメントアウトが使えます。

6.6 アレのパラドックス

さらに応用としてアレのパラドックスを確認する実験を作ってみましょう。

アレのパラドックス

つぎのような2つのくじがあるとします。これをセットXと呼びます。

くじ1: 確実に1000円を得る

くじ2: 1%の確率で0円、10%の確率で5000円、89%の確率で1000円を得る。

さらに次のようなくじを考えます。こちらはセットYと呼びましょう。

くじ3: 11%の確率で1000円、89%の確率で0円

くじ4: 10%の確率で5000円、90%の確率で0円

あなたはセットXではどちらのくじを選び、セットYではどちらのくじを選びますか？

アレのパラドックスについての詳しい説明は実際に実験をしてみてからの方がよいかもしれませんが。とりあえずこの二つの実験のプログラムを考えましょう。

セットXで悩ましいのは確率によって結果が三つあるということですね。それぞれの結果をLotB1=0、LotB2=5000、LotB3=1000として、Randomが0.01以下ならLotB1、0.01より大きくて0.11以下ならLotB2、0.11より大きいならLotB3を入れてやればよいわけです。この場合結果が3つあるので先ほどのように1行で結果を書き表すことができなさそうです。そこでif文の構造を次のように3行にしてやります。

```
if (Random<=0.01){LotB=LotB1;}
if (Random>0.01 & Random<=0.11){LotB=LotB2;}
if (Random>0.11){LotB=LotB3;}
```

プログラムでは「<」を「<=」と書き、「>」を「>=」と書くことに注意してください。また2行目のif文のように、条件を&で繋いで二つの条件が同時に成立するときのみ実現する内容を作ることができる点にも注意してください。

セットYに関してはどちらのくじを引いても結果が二つあるわけですから、LotAの結果もLotBと同じようにプログラムしてやる必要があります。

このセットXとセットYに関しては課題とすることにしましょう。各自プログラムしてみてください。入力ステージを二つ作り、それぞれセットXとセットYの意思決定を入力させます。どちらも入力の手続きですが同じステージ名にならないようにInputDecisionXとInputDecisionYのように、それぞれ違う名前を

つけてください。意思決定の入力が代入される変数もそれぞれのセットごとに違う変数を用意してやる必要があります。セット X の意思決定は DecisionX、セット Y の意思決定は DecisionY などとしてやりましょう。ProfitDisplay のステージでは両方の結果を計算しましょう。その際にも得点を表す変数が二つ必要ですので X の得点は ProfitX、Y の得点は ProfitY として、それぞれ計算して表示させてください。最後に

```
Profit = ProfitX+ProfitY;
```

と言う行を付けて総得点を出してやればいいでしょう。これも最後に表示させましょう。プログラムができたならテストランをしながら、自分ならどのような選択をするか、よく考えてみてください。

7 被験者の管理：被験者番号とグループ分け

沢山の被験者を相手に実験をする場合、実験者は被験者に被験者番号をわりふり、適当な大きさのグループに分ける必要があります。また被験者間でのゲームを行うためには同じグループ内の適切な相手と情報や戦略をやり取りさせることも必要です。z-Tree でこれらをどうやって実現するかを、公共財実験を下敷きにしながら確認してゆきましょう。

公共財実験

ここに5人の村人で構成される村があるとしましょう。その村では人々は手持ちの資源を使って所得を得ます。ここでは1日8時間働くことができるという、8時間分の労働力を手持ちの資源としましょう。村人はその資源を自分のためだけに使うこともできますし、公共財と呼ばれる、その村に住む人全員にとって役に立つなにか（例としては村の観光収入が増えるように村の美化のために働いたり、村の財政に補助金を出してくれるように国に陳情するなどの活動が考えられます。）を実現するためにも使うことができます。

その村では自分のために1時間働くと1,000円の収入が得られます。公共財のために1時間使うと村全体では1,500円の収入増になります。しかし公共財からの収入は個人の懐に直接入るわけではなくて、村全体での収入なのでその1,500円を村の構成員全員で割った値が個人の収入となります。村人が置かれている状況は次の式のように整理できます。

$$\text{収入} = 1000 \times (8 - \text{村のために使った時間}) + 1500 \times (\text{村人が村のために使った時間の合計}) \div 5$$

1項目は手持ちの8時間から村のために使う時間をひいた残りに1,000円をかけたもので、これは自分のために時間を使って得られる収入です。2項目は村人全員の働きから得られる自分の収入です。この村人にとって手持ちの8時間をどう使うのが賢い選択でしょうか。

- もし5人全員が8時間を自分のために使ったら、皆の収入はそれぞれ、 $8 \times 1,000 = 8,000$ です。
- もし5人全員が8時間を村全体のために使ったら、延べ40時間が村全体のための活動に使われま
す。つまり村全体では $40 \times 1,500 = 60,000$ の収入があります。これを5人で分けると皆の収入
はそれぞれ12,000です。

こうしてみると村全体のために全ての時間を使うのがよい選択と思われるでしょう。しかしそうでしょうか。今、手持ちの1時間を収入に変えるとき、自分のために使うなら1,000円が確実に手に入ります。しかし村全体のために1時間を使うとき、確実に手に入るのは自分の働きで増える村の収入1,500円を人数分で割った300円だけです。他の人が村のために働いてくれず、自分だけが村のために1時間使った場合、その1時間分の労働で1,000円稼げたはずがたった300円になってしまうのです。あなたはこの状況で、手持ちの8時間をどのように自分のためと村のために分配しますか？

公共財実験は被験者実験でもよく行われており、その研究成果は人間が必ずしも理論的な予言に従って合理的に行動しない例の宝庫になっています。まずはz-Treeを使ってこの実験のプログラムを作りましょう。プログラム自体は42ページに載っています。確認しながら進めてください。

7.1 被験者管理とグループ分け

被験者番号

この実験を可能にするためには被験者を 5 人ずつのグループに分ける必要があります。グループ分けをするためには z-Tree から見て被験者の一人一人の区別がつくように被験者に識別番号をつけてやる必要があります。

被験者に番号を割り振る作業は z-Tree が自動的に行います。z-Tree を起動した後で z-Leaf を起動すると両者の間の接続が行われますが、1 番最初に接続した z-Leaf に z-Tree は 1 という被験者番号を与え、それを Subject という変数に代入して保持します。つまりその席の被験者の被験者番号は 1 で、それは Subject という変数を見ることで確認できます。2 番目に接続した z-Leaf の Subject 変数の中身は 2 になります。以降 3 番目 4 番目も同じです。ですから A 君の席の被験者番号を 1 に、B 君の席の被験者番号を 2 にしたい場合は z-Leaf の立ち上げの順番に気をつける必要があります。

ただし一旦立ち上げたからといってもう変えられない訳ではありません。被験者番号はメニューの Run Client 's Table で見られるクライアントテーブルに並んでいる順でもあります。一番上が被験者番号 1、次が被験者番号 2 となります。テーブル上のクライアントをドラッグ&ドロップしたり、メニューからソートを選んで並べ替えると被験者番号も連動して変わります。

グループ分け：ダイアログボックスを使う

被験者を適当なグループに分けるには BackGround のアイコンをダブルクリックして出てくるダイアログボックスを使います。Number of groups の欄に数値を入れることでその数に相当する人数のグループに分けられます。もし人数に端数が出る場合はその端数になった人たちだけで一つのグループを作ります。グループ番号は Group という変数に格納されます。これがマニュアルどおりの手続きですが、(なぜか)うまく機能しないこともしばしばあります。従ってグループ分けでは次に説明するようなプログラムによるグループ分けを行うことを強くお勧めします。

グループ分け：プログラム上でグループ分けを行う。

バックグラウンドでのグループ分けが機能しないことがあるので、プログラム上でグループ分けを行うほうがより安全です。グループ分けのためには各被験者のもつ Group という変数に適当なグループ番号を代入してやればよいのです。プログラム上ではそれは図 32 のようなプログラムエレメントを追加する事で実現させます。

```
globals.do { ... }
  Num_of_Group=2;
subjects.do { ... }
  Group=rounddown((Subject-1)/ Num_of_Group, 1)+1;
```

図 32 プログラム上でグループ分けをする

このプログラムの意味を説明しておきましょう。まずひとつ目のプログラムで 1 グループ内の人数を Num_of_Group= に代入してやります。これは全ての被験者にとって同じ条件のもので Global テーブル上で定義します。次のプログラムはちょっと難解に思えるかもしれませんが。

```
Group=rounddown((Subject-1)/ Num_of_Group, 1)+1;
```

これは被験者に被験者番号の若い順にグループ番号を割り振っています。実際の例を見ながら確認していただくのがいいでしょう。

今 6 人の被験者を 2 人ずつのグループに分けたいとします。被験者に割り当てられた番号 Subject は 1 から 6 です。

| | | | | | | |
|---------|---|---|---|---|---|---|
| Subject | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------|---|---|---|---|---|---|

そこから 1 を引きます。

| | | | | | | |
|-----------|---|---|---|---|---|---|
| Subject-1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------|---|---|---|---|---|---|

あらかじめ 2 を代入してある Num_of_Group で割るとそれぞれこうなります。

| | | | | | | |
|---------------------------|---|-----|---|-----|---|-----|
| (Subject-1)/ Num_of_Group | 0 | 0.5 | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 |
|---------------------------|---|-----|---|-----|---|-----|

関数 rounddown(数値, 1) を使って数値が 1 の倍数になるように小数点以下を切って丸めます。

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| rounddown((Subject-1)/ Num_of_Group, 1) | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 |
|---|---|---|---|---|---|---|

グループ番号は 1 からなので 1 を足しておきます。

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| rounddown((Subject-1)/ Num_of_Group, 1)+1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|

こうしてできた数値を Group に代入することで被験者番号の若い順に 2 人ずつのグループ分けが実現するわけです。

今この例ではテストランをしやすいように 2 人ずつにグループ分けをしていますが、5 人ずつに分けたい場合は Num_of_Group=5; と直します。

7.2 グループ内の相手の選択を見つけ出す：テーブル関数の活用

この実験では各被験者の公共財への貢献量は変数 Contribution へ代入されます。それぞれの被験者の報酬を計算するためには村全体でどれだけの資源が公共財に使われたかを知る必要があります。当人以外の被験者の変数（ここでは Contribution）を見つけるためにはテーブル関数（Table Function）と呼ばれる特殊な関数を利用します。テーブル関数の全リストは 9 章にもありますし、マニュアルのリファレンスの 47-48 ページにもありますが、主なものを下表 5 に紹介しておきます。

| | |
|----------------|-----------------|
| sum(条件、変数) | 条件を満たす変数の合計 |
| find(条件、変数) | 条件を満たす変数の値 |
| count(条件) | 条件を満たす被験者の数 |
| maximum(条件、変数) | 条件を満たす変数の中で最大の値 |
| minimum(条件、変数) | 条件を満たす変数の中で最小の値 |

表 5 主なテーブル関数の例

テーブル関数の使用例を説明しましょう。例えばある被験者から見て自分と同じグループの被験者の Contribution の合計を SumC に代入したいときには、プログラムアイコンに

```
SumC=sum(Group==:Group, Contribution);
```

と入れます。ここで肝心なのが `Group == :Group` という条件です。太字の `Group` の前のコロン : に注意してください。これはスコープオペレーターと呼ばれます。スコープオペレーターの厳密な意味合いはマニュアルに譲りますが直感的には「自分の」という意味だと考えてもらえばいいでしょう。つまり `:Group` は「自分の `Group` 番号」という意味です。`sum(Group==:Group, Contribution)` という条件を与えられると `z-Tree` は全ての被験者の変数を見てまわり、「当の被験者のグループ番号と同じグループ番号」という条件を満たす被験者の `Contribution` を（本人の分を含めて）全部拾ってきて合計を計算し、`SumC` に代入します。

もし同じグループで最も公共財への貢献量が少ない人の貢献量を見つけてきて `DOKECHI` という変数に代入したい場合は次のようにすればよいわけです。

```
DOKECHI=minimum (Group==:Group, Contribution);
```

この条件で拾ってくる数値には自分の数値も含まれるので、本人の貢献量がグループで一番小さかった場合にはその本人の貢献量が `DOKECHI` に代入されます。「自分の変数と同じ変数をもつ」という条件はあまりによく使われるため、いちいちスコープオペレーターを使って条件を指示するのは面倒です。このため `same(変数)` という関数が作られました。`treatments` のフォルダに入っているお手本のプログラムもほとんどの場合 `same(変数)` を使っています。このプリントのお手本でもグループの貢献量の合計は

```
SumC=sum(same(Group), Contribution);
```

と言う形で記述されています。この関数を使ってもスコープオペレーターを使っても同じ結果になりますのでこの違いは単に書きやすさや分かりやすさの問題です。お手本には他に

```
N=count(same(Group));
```

というテーブル関数も使われています。これは同じグループ内に自分も含めて何人いるかを勘定して `N` に代入するテーブル関数です。これも `same(変数)` を使わずに

```
N=count(Group==:Group);
```

と書いても同じ結果になります。

ここまで説明したところで以前学んだ囚人のジレンマのプログラムを見返してみてください。相手の戦略を見つけてきて `OthersDecision` に代入するのにどのようなプログラムが書かれているのでしょうか。当の部分を書き直すとこのようになっています。

```
OthersDecision = find( same ( Group ) & not ( same ( Subject ) ), Decision);
```

この式の意味するところは自分と同じグループで、自分のではない `Decison` を見つけて `OthersDecision` に代入し、ということだというのが見て取れると思います。参考までにこれを `same` 関数を用いずに書くところのようになります。

```
OthersDecision = find( Group==:Group & Subject<>:Subject , Decision);
```

囚人のジレンマの場合は1グループに2人しかいないので、同じグループでかつ自分ではないとする条件をつけることで相手を特定できました。しかし3人以上いる場合に特定の誰かの変数を見つけたいと思ったら、

グループ内でのメンバー番号を作って割り振ってやるなどする必要があるでしょう。例えば村にリーダーがいて、その人の公共財への貢献は他の人の2倍の成果をだすなどという設定を実現したいと思ったら、一工夫が必要になります。余力があれば考えてみてください。



図 33 公共財実験のプログラム

8 参考資料 1：変数の扱い

ここまでで基本的な事は一通り学んだ事になります。より進んだ内容についてはチュートリアルマニュアルを参照しながら学習を進めてください。3章4節を見ながら画面を見やすく変更したり、入力のスライダーやラジオボタンでできるようにしてみるのもよいでしょう。ただ3章2節や3章3節のところはとっつきにくく、特にスコープオペレータの箇所は分かりにくいのではないかと思います。スコープオペレータの件は無理に理解しなくとも7章の説明とこの章の内容を理解しておけばまったく問題ないでしょう。その他チュートリアルマニュアルでは分かりにくい点や説明が不十分な点をここでまとめて解説しながら補います。

8.1 テーブルの概念と変数の属性

8.1.1 テーブル

z-Treeでのプログラミングは、ステージツリーと呼ばれる流れ図を画面上で組み立てる形で行います。流れ図の構成要素はエレメントと呼ばれます。変数を扱う場合、プログラムエレメントと呼ばれるエレメント（スパナの形のアイコンです）を適切な箇所に挿入し、そのダイアログボックス内にプログラムを記述する形で行います。このダイアログボックスにテーブルを指示するプルダウンメニューがあり、実験者は必ずどのテーブル上で変数を扱うのかを決めなくてはなりません。

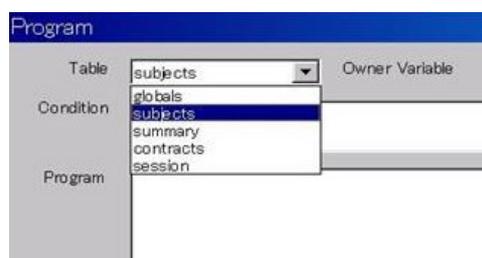


図 34 テーブルの選択

どのテーブルにするかでプログラムの働きが違ってくるので注意が必要です。（とはいえ一般的には Subjects テーブルと Globals テーブルをしっかり理解しておけば大丈夫でしょう。）

8.1.2 Subjects テーブル

Subjects テーブルは被験者ごとに割り当てられるレコードと呼ばれる小単位で構成されます。それぞれの被験者の変数はそのレコードの中に置かれます。z-Tree が変数を計算するとき、z-Tree はその瞬間計算しているレコード内から見える変数しか見ません。他の被験者のレコード内の変数は見えないので、同じ変数 Score でも被験者番号 1 の被験者のレコード上の Score と被験者番号 2 の被験者のレコード上の Score は別の変数とみなされ、個別に計算されます。このおかげで被験者が何人いても原則的に一人分のプログラムを書くだけでよいわけです。

この仕組みは他のプレイヤーの変数を見に行けないと言う問題を生じさせます。ゲームの結果を出すためには自分（当該プレイヤー）の意思決定の他に相手プレイヤーの意思決定の情報が必要ですが、Subjects テーブルのあるレコード上で見つけれられる変数は当プレイヤーのレコードの変数だけなのです。相手プレイヤーの意思決定を知

るにはテーブル関数と呼ばれる関数を介する必要があります。これについては後述します。

8.1.3 Globals テーブル

Globals テーブルは、生産関数のパラメータや初期保有など全被験者にとって共通の変数を定義するために用います。このためグローバルテーブルに含まれるレコードはひとつだけです。

8.1.4 Session テーブル

Subjects テーブルや Globals テーブルで定義された変数は、1 回の試行が終了すると（一般的にはステージツリーの先頭から最後までを経過すると）変数は全て記録された上でリセットされます。複数回の試行の間リセットされない変数が必要な場合、Session テーブル上で定義します。ここで注意すべきなのは Session テーブルに書かれたプログラムは毎回実行されることです。複数の回数にわたって保持したい値がある場合次の回にまたプログラムが実行されてに上書きされてしまわないようにしなければなりません。

8.1.5 各テーブルの実験実施における機能

Subjects, Globals, Session の3つのテーブルは上述のように1) 変数がリセットされるか2) 各被験者が個別のレコードを持つか否か、の2つのベクトルから区別されます。

3人の被験者が3ピリオドの実験を行う場合のテーブルの模式図を図35に示します。

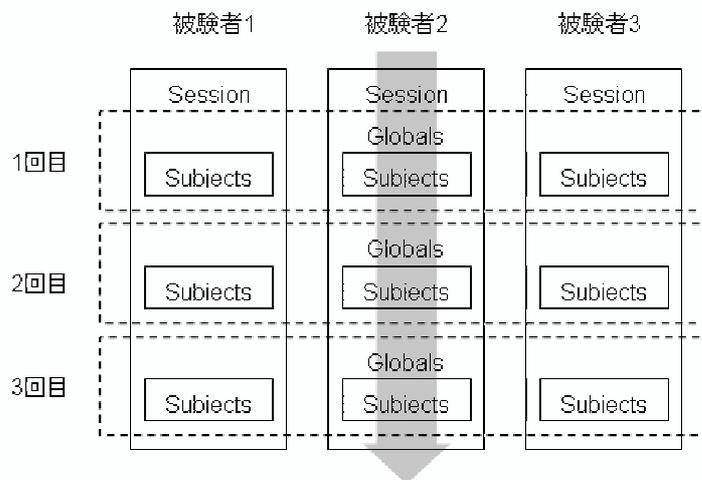


図 35 テーブル概念図

この図において箱は点線、実線にかかわらずそれぞれ個別のレコードを表します。Subjects テーブルでは各被験者にレコードが用意されるのでピリオドごとにレコードは3つ用意され、被験者共通である Globals テーブルではレコードはひとつ用意されます。ピリオドが変わるとそれらはリセットされ、同じものがまた用意されます。Session テーブルは被験者ごとにレコードが用意され、その実験が終了してアンケートが終了するまでリセットされません。レコードは3ピリオドの実験を行うこの例では全部で15個あるということになります。

それぞれのレコードは独立しているため、同じ変数名をそれぞれのレコードで使っても別の変数として扱わ

れます。

図では Subjects テーブルのレコードの箱が Globals テーブルや Session テーブルの箱の中に入っていますが、これは Subjects テーブルが Globals テーブルや Session テーブルの一部であるという意味ではなく、Subject テーブルの各レコードを基準としてみたときの変数の共有を表しています。例えば同一のピリオドにおいて各被験者は Globals テーブル上の同じ変数を共有しています。同様にある被験者にとってはセッションが終了するまで Session テーブル上の変数はどのピリオドでアクセスしても（代入された数値は変わっているかもしれませんが）同じ変数です。

また、この箱はテーブルのデータがどの時点でリセットされるかも表します。灰色の矢に沿って実験が経過するとしみましょう。実験が開始され、第 1 回目の試行に入ると（矢印が Subject, Globals, Session の箱に入ると）Subject, Globals, Session テーブル上のステートメントが実行され、変数が定義されます。1 回目の試行が終わると（矢印が Subject, Globals の箱の外に出ると）Subject, Globals テーブル上の変数はリセットされます。Session テーブルの変数はリセットされず、セッションのあとのアンケートが終了するまで変数の値が保持されます。第 2 回目の試行が始まり、矢印が 2 行目の箱に入ると再び Subject, Globals, Session テーブル上のプログラムが実行されます。

このように、テーブル上の変数がどの被験者に属し、ステートメントがいつ実行され、いつリセットされるかはどのテーブル上で変数が定義されているかで決まります。これをまとめたのが表 6 です。（Summary テーブルについては後述します。）

| | Subjects | Globals | Session | Summary |
|-------------------------|----------|---------|---------|---------|
| 変数・レコードが被験者ごとに用意される | | x | | x |
| ピリオドが終わるたびに変数をリセット | | | x | |
| ピリオドごとにプログラムを実行 | | | | |
| プログラムの実行中に過去の履歴をモニターできる | x | x | x | |

表 6 各テーブルの特徴

8.2 データのアクセス

8.2.1 テーブル・レコードをまたぐデータのアクセス

z-Tree のプログラムにおいては必要な機能に合わせてテーブルを選びますが、テーブル間あるいはレコード間でデータを受け渡しする必要が出てきます。z-Tree では直接他のレコードやテーブルの値を参照できる場合とできない場合があり、注意が必要です。

データのアクセスは、2 つの方向から整理しておく必要があります。ひとつはテーブルの種類が同じで、異なる被験者同士のレコード間でのデータの受け渡しでもうひとつは、同じ被験者が異なる種類のテーブル間でデータを行き来させる場合です。

8.2.2 同じテーブル内の異なるレコード間でのデータのアクセス

同じ種類で異なる被験者に属するデータの相互アクセスを可能にするのがテーブル関数です。テーブル関数は z-Tree の変数概念が生んだ特有の関数です。

テーブル関数の使用例は 7 章で説明したとおりです。またテーブル関数の一覧は次の 9 章にありますので参照してください。

8.2.3 異なる種類のテーブル間でのデータのアクセス

次に異なる種類のテーブル間でのデータの受け渡しですが、これは2つの方法があります。

ひとつは直接参照です。たとえば Globals テーブルで定義された変数はそのまま Subjects テーブルや Session テーブルで使用することができます。しかし Globals テーブルから Subjects テーブルを見る場合、どの被験者の Subjects テーブルを見るか、すなわちどのレコードの変数を見るのかという条件を与えなくてはなりません。ここで再びテーブル関数が登場します。

テーブル間でのデータのアクセスのもうひとつの方法は、テーブル関数の前にテーブル名をつけることです。たとえば公共財実験では全被験者の Subjects テーブルの中にはそれぞれ Contribution の値がありますが、その中の最大のものを Globals テーブルの中の変数 MaxContribution に代入したいとしましょう。その場合 Globals テーブルのプログラムダイアログボックス内で次のように記述します。

```
MaxContribution=subjects.max(Contribution);
```

このステートメントに行き当たった z-Tree は、Subjects テーブルにゆき、全てのレコードの Contribution をチェックして最大の値を拾って MaxContribution に代入します。もうひとつ例を挙げましょう。同じく Globals テーブル上の変数 DecOfOne に被験者番号 (Subject) 1 番の被験者の意思決定 Decision を代入したい場合、次のように記述します。

```
DecOfOne=subject.find(Subject==1,Decision);
```

このステートメントでは z-Tree は Subjects テーブルのレコード内の変数 Subject が 1 である被験者を探し出し、そのレコードにある変数 Decision の値を拾ってきて RepDec に代入します。

テーブル間のデータのアクセスで、直接参照できる場合と”テーブル名. テーブル関数”が必要になる場合の関係は次の図 36 のように整理できます。

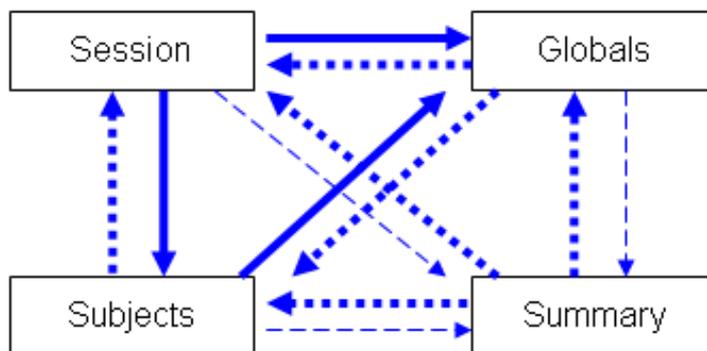


図 36 テーブル間のアクセス

太い実線は直接アクセスできる関係で、点線は”テーブル名. テーブル関数”でアクセスできる関係です。細い点線は”テーブル名. テーブル関数”でアクセスできるが、1 回目以降更新されません。

直感的にはどの被験者のどの瞬間のデータかを厳密に指定する必要がある場合には”テーブル名. テーブル関数”が必要になると考えてください。たとえば Subjects テーブルから見て Globals テーブルのデータは全員

にとって共通で、過去の値はリセットされているので値はどの時点でもひとつしかありません。従ってどの変数かを指定する必要はありません。しかし Globals テーブルから見て Subjects テーブルに書かれた変数は被験者の数だけありますから、どの変数なのかを指定しなくては値を見つけられません。

8.3 Summary テーブル

Summary テーブルは実験中の被験者行動を時系列に沿って監視するために使います。(この点マニュアルの記述がややミスリーディングなところがあり、把握しにくいかもしれません。) z-Tree では実験者は実験中、Globals や Session、Subjects テーブル内のデータを専用のウィンドウで監視できますが、監視できるのは当該ピリオドのみで、実験中に過去のデータを遡って見る事はできません。一方 Summary テーブルのウィンドウ内では過去のピリオドも表示されるため、実験中に時系列に沿って変動を把握したい数値がある場合、その数値を Summary テーブル上の変数に渡すことで過去のデータを画面上に表示させ続ける事ができます。

Summary テーブルは被験者ごとに用意されているものではないので、参加者の利得の平均値など、名前どおりサマリーとして全体の概要を記述する使い方が一般的です。

8.4 Parameters テーブル

基本的に z-Tree の Subjects テーブルと Globals テーブルは、被験者が対称的で、同じ実験を繰り返す場合に便利な設計になっています。しかし被験者が複数のタイプに分かれているような実験、あるいは実験の設定がピリオドによって異なるような実験を行いたい場合もあります。このような場合に Parameter テーブルが用いられます。

Parameter テーブルはメニューから別ウィンドウで展開される図 37 のような表で、図では S1, S2, S3 のラベルがついている列ラベル、1,2,3 のラベルがついている行ラベル、左肩にグループ番号を示す小さな箱かついたセルで構成され、それぞれクリックするとプログラムを書き込めるダイアログボックスが開きます。

| | S1 | S2 | S3 |
|---|----|----|----|
| 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 1 |
| 3 | 1 | 1 | 1 |

図 37 Parameter テーブルウィンドウ

列ラベルをクリックして現れるダイアログボックスは Role Parameters といい、そこに記述したパラメータ設定などのステートメントはその列番号の被験者に対して全期間を通じて実行されます。

行ラベルをクリックして現れるダイアログボックスは Period Parameters といい、そこに記述したステートメントはそのピリオドの全被験者に対して実行されます。

セルをクリックして現れるダイアログボックスは Specific Parameters で、記述されるステートメントはその被験者のそのピリオドでのみ実行されます。Parameters テーブルはその名前から Subjects テーブルや Globals テーブルのような独立した変数テーブルであるかのように誤解されやすいのですが、実際はこの3つのパラメータは既存のテーブルのどれかに属します。そしてどのテーブルに属しているかで3つのパラメータの機能と相互関係が決まってきます。それぞれの機能などについては以下の表 7 を参照してください。

| | | | |
|---------------|--------------------------|--|---|
| パラメータ名 | Role | Period | Specific |
| 定義する場所 | 列ラベル | 行ラベル | セル |
| プログラムが実行される範囲 | その列の被験者に対して全ピリオド | そのピリオドの全被験者 | その列のそのピリオドの被験者 |
| テーブル | Subjects | Globals | Subjects |
| 備考 | あらかじめステージツリーで定義した変数のみ扱える | Role、Specific とはテーブルが違うので同じ変数名を使っても違う変数とみなされる。従って Role や Specific で使っている変数の値をここで変える事はできない。 | Role が優先されるので Role で定義されている変数の値をを Specific で定義しなおすことはできない |

表 7 各テーブルの特徴

9 参考資料 2 : 関数・ステートメントなど

オペレータ

マスマティカルオペレータ

| | |
|---|----|
| + | 加法 |
| - | 減法 |
| * | 乗法 |
| / | 除法 |

リレーショナルオペレータ

| | |
|----|-----|
| < | 未満 |
| <= | 以下 |
| == | 等号 |
| != | 不等号 |
| >= | 以上 |
| > | 大なり |

ロジカルオペレータ

| | |
|---|-----|
| & | and |
| | or |

スコープオペレータ

| | |
|---|------------------------------------|
| : | 次の高次スコープ |
| / | 最も高次のスコープ これは常にグローバルテーブルのレコードに帰着する |

ステートメント

| | |
|--|---|
| x=y; | y の値を x に代入 |
| if (a) {ss} | a が正しい場合ステートメント ss が実行される |
| if (a) {ss1} else {ss2} | a が正しい場合ステートメント ss1 が実行され、そうでなければステートメント ss2 が実行される |
| if (a) {ss0} elsif (b1) {ss1} elsif (b2) {ss2}.... | a が正しい場合ステートメント ss0 が実行され、そうでなく b1 が正しい場合ステートメント ss1 が実行される。以下同様。 |
| t.do{ss} | テーブル t の中のステートメント ss がすべてレコードに対して実行される。 |

| | |
|---|---|
| if (a) {ss0} elsif (b1) {ss1} elsif (b2) {ss2}.... else {sse} | a が正しい場合ステートメント ss0 が実行され、そうでなく b1 が正しい場合ステートメント ss1 が実行される。以下同様。どの条件文も正しくない場合、sse が実行される。 |
| t.new{ss} | テーブル t の中で新しいレコードが作成され、ステートメント ss が実行される。 |
| array v[x]; | 行列変数 (インデックスが付けられた変数) の定義。行列変数は v[x] でアクセスすることができる。インデックスは 1 のステップで 1 から x まで用意される。 |
| array v[x, y]; | 行列変数 (インデックスが付けられた変数) の定義。行列変数は v[x] でアクセスすることができる。インデックスは 1 のステップで x から y まで用意される。 |
| array v[x, y, z]; | 行列変数 (インデックスが付けられた変数) の定義。行列変数は v[x] でアクセスすることができる。インデックスは z のステップで x から y まで用意される。 |
| while(a) {ss} | a が正しい間ステートメント ss が実行される。ループは<Ctrl><Alt> [F5] で止められる。 |
| repeat {ss} while (a); | まずステートメント ss が実行され、次に a がチェックされる。a が正しい間ステートメント ss が実行される。ループは<Ctrl><Alt> [F5] で止められる。 |
| later (a) do {ss} | a が計算され、その値の秒数後に ss が実行される。ss はこのコマンドが使われるスコープエンバロメントの中で使われる。 |
| later (a) repeat {ss} | a が計算され、その値の秒数後に ss が実行される。ss はこのコマンドが使われるスコープエンバロメントの中で使われる。その後 a が計算され、その値の秒数後に再び ss が実行される。a がマイナスになるとこのコマンドはキャンセルされる。 |

関数

| | |
|-------------|------------------------------------|
| abs(x) | x の絶対値 |
| and(a, b) | a と b が正しいときに正しいとする。(True の値を返す) |
| atan(x) | x のアークタンジェント |
| cos(x) | x のコサイン |
| exp(x) | x の指数関数 |
| gettime() | コンピュータがスタートするまでの秒数 |
| if(a, x, y) | もし a が正しいなら関数の値は x、そうでなければ y |
| ln(x) | x の自然対数 |
| log(x) | x の 10 を底とする対数 |
| max(x, y) | x,y の最大値 |
| min(x, y) | x,y の最小値 |
| mod(x, y) | x を y で割った余り |
| not(a) | 条件 a が真でない場合に真 |
| or(a) | 条件 a が条件 b が真である場合に真 |
| pi() | 円周率 |

| | |
|------------------|---|
| power(x, y) | x が正の場合は x の y 乗、負の場合は y が偶数なら x の y 乗、奇数なら x の絶対値の y 乗 |
| random() | 0 から 1 までの一様分布の乱数 |
| randomgauss() | 平均 0 の標準正規分布の乱数 |
| randompoisson(x) | 平均 x のポアソン分布の乱数 |
| round(x, y) | x を y の倍数で丸める (y の倍数で最も近い値にする) |
| rounddown(x, y) | x を y の倍数で切り下げ |
| same(x) | x == :x の短縮形 |
| sin(x) | x のサイン |
| sqrt(x) | x の平方根 |

テーブル関数

| | |
|---------------------------|----------------------------------|
| average(x), average(a, x) | x の平均値、a の条件を満たす x の平均値 |
| count(), count(a) | テーブルのレコード数、a の条件を満たす x のレコード数 |
| find(x), find(a, x) | レコードの先頭の x の値、a の条件を満たす最初のレコード x |
| maximum(x), maximum(a,x) | x の最大値、条件 a を満たす x の最大値 |
| median(x), median(a, x) | x の中位値、条件 a を満たす x の中位値 |
| minimum(x), minimum(a, x) | x の最小値、条件 a を満たす x の最小値 |
| product(x), product(a, x) | x の積、条件 a を満たす x の積 |
| regressionslope(x, y) | x、y の線形回帰の傾斜 |
| regressionslope(a, x, y) | 条件 a を満たす x、y の線形回帰の傾斜 |
| stddev(x), stddev(a, x) | x の標準偏差、条件 a を満たす x の標準偏差 |

10 参考資料 3 : 実験のインストラクション

被験者実験のインストラクションの例を以下のページに掲載します。

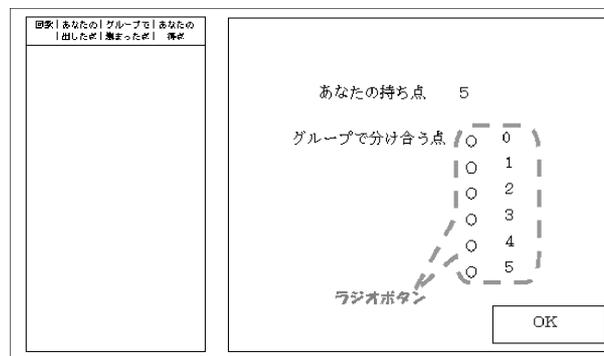
1. 公共財実験のインストラクションの例: p. 53
2. ピットマーケットのインストラクションの例: p. 56

実験の説明

ある経済環境を再現したゲームを行います。ゲームであなたが稼ぐ得点はあなたとあなた以外の方がどのような決定をするかで決まります。しかしあなたは事前に他のプレイヤーと相談することはできません。自分が最もよいと思う戦略をよく考えて選択し、なるべく沢山の得点をとることを目指してください。

実験のルール

これから実験のルールを説明していきます。実験はコンピューターのスクリーン上で行います。実験が始まると画面は次のようになります。



これから行う実験は 回繰り返されます。毎回実験をはじめる前に、この画面になります。画面左側は2回目以降それまでの結果が表示されます。右側は毎回のあなたの意思決定を入力する場所です。縦に並んでいるラジオボタンをマウスポインタで押す事で選択を行います。

みなさんは()人で1グループになります。グループが複数になる場合、誰がどの人と同じグループかは実験中明らかにされません。全員誰が誰と同じグループか知りません。実験中、あなたは同じ人と同じグループになります。

実験でみなさんが手に入れることのできる得点は、自分がどんな決定をするかと、自分のグループの他の人たちがどんな決定をするかによって決まります。

あなたは、毎回の実験の最初に5点を与えられます。あなたは5点のうち何点を自分のためにとっておき、何点をグループで分け合うかを決めます。あなたはグループ内で分け合うことに決めた点を画面上から入力します。

グループ内のメンバーがグループで分け合うことにした点数は、全員分合計されてつぎのように計算されてグループの各メンバーに分けられます。

$$1.6 \times (\text{グループ全体で集まった合計点数}) \div \text{グループの人数}$$

この計算の意味は、

- ・グループ全体で集まった点数の合計にまず1.6がかけられます。
- ・それをグループの人数で割ります。

たとえば、あなたのグループ全員で10点集まったとします。あなたのグループが5人だとするとグループの全員がそれぞれ受け取る点は、

$$10 \times 1.6 = 16$$

$$16 \div 5 = 3.2$$

から、3.2 になります。全員の意思決定が済むと、コンピューターが皆さんの点を計算して画面に表示します。

あなたが最初に 2 点を分け合うことにして画面に入力していたとします。このときあなたは手持ちの 5 点から 2 点を引いた 3 点を自分のために取っておいたことになります。あなたのこの場合の総得点は

$$3 + 3.2 = 6.2$$

で 6.2 点になります。

このようにあなたの得点は

$$(5 - \text{グループで分け合う点}) + \frac{1.6 * (\text{グループ全体で集まった合計点数})}{\text{グループの人数}}$$

で計算されます。以下に 5 人グループの場合の例を幾つか挙げておきます。

- あなたが 0 点をグループと分け合い、グループ全体で集まった点が 0 点だったとき
 $(5 \times 0) + 1.6 \times 0 \div 5 = 0$ 0 点
- あなたが 3 点をグループと分け合い、グループ全体で集まった点が 15 点だったとき
 $((5 \times 3) + 1.6 \times 15) \div 5 = 6.8$ 6.8 点
- あなたが 4 点をグループと分け合い、グループ全体で集まった点が 8 点だったとき
 $(5 \times 4) + 1.6 \times 8 \div 5 = 3.56$ 3.56 点
- あなたが 1 点をグループと分け合い、グループ全体で集まった点が 20 点だったとき
 $((5 \times 1) + 1.6 \times 20) \div 5 = 10.4$ 10.4 点

計算の仕方わかりましたか？わからなければ手を挙げてください。

結果の表示

| | |
|--------------|-----|
| あなたが出した点 | *** |
| グループ全体で集まった点 | *** |
| あなたの今回の得点 | *** |

このような結果が 1 回ごとに画面に表示されます。結果の表示画面は次のようなものです。

画面の得点は、上で説明した方法で計算されたものです。グループで何点集まったかや、自分のもらった得点を声を出して言ったりしないでください。もし誰かがそのようなことをしたら実験をすぐに中止します。こ

の結果は次の回から意思決定の画面の左側に常に表示されます。画面を確認したら「OK」ボタンを押してください。次の回の実験に進みます。

入力の仕方

グループで分け合う点は0点から5点までの範囲で選ぶことができます。決めたら画面上の任意の点のラジオボタンを押して「」を「」の状態にしてから「OK」ボタンを押して決定してください。ほかの人の意思決定を待つ画面になります。何点を出すかは「OK」ボタンを押すまでは何度でも変えることができます。もしラジオボタンを押さずに「OK」ボタンを押すと、「ラジオボタンを押してください」という警告が出ます。

実験の説明

実験の内容

仮想的な市場で売り手と買い手に別れて財を売買します。売り手になった人はなるべく高く財を販売し、買い手になった人はなるべく安く買うことで得点を稼ぎます。実験が開始されるとコンピューターがあなたを売り手が買い手かを決めます。

売り手の場合

実験が始まると次のような画面になります。(①)~(⑤)の数字は説明のためのもので実際には表示されません)

The screenshot shows a trading interface for a seller. At the top, it says '回数 1 / 1' and '残り時間 [秒] 124'. The interface is divided into five numbered areas:

- ①: Seller status. Text: 'あなたは売り手です'. Inventory: '在庫 4', '現在の利益 0'. Purchase prices: '仕入れ値' (1 item: 20, 2 items: 120, 3 items: 200, 4 items: 300).
- ②: Price input field. Text: '提示する販売価格'. Input field contains '160'. Button: '価格提示'.
- ③: Buy order price. Text: '取引成立価格'.
- ④: Buy order price list. Text: '買い手の購入希望価格'. Button: '販売する'.
- ⑤: Sell order price. Text: '販売希望価格'. Value: '180'.

一番左の(①)のエリアにはあなたが売り手であること、あなたの手持ちの在庫数(ゲームの開始時に4つ)、現在の利益、在庫の仕入れ値がかかれています。

あなたは4つの商品を仕入れ値より高い価格で販売することで利益を上げます。販売には2つの方法があります。

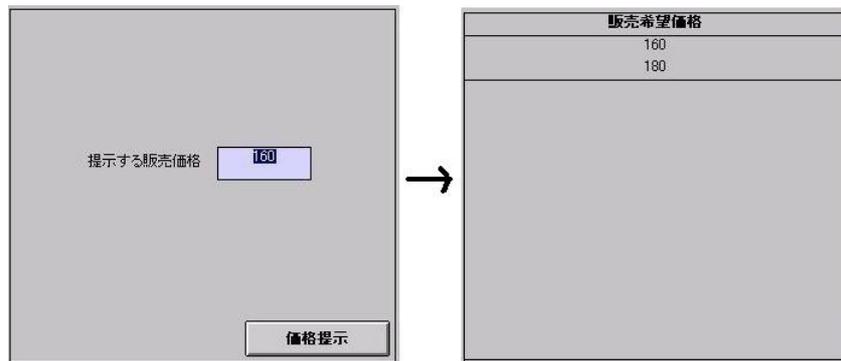
販売方法

1. 一つ目の販売方法は「自分で価格をつけて、その価格で買ってくれる人が現れるのを待つ」という方法です。

自分が販売したい価格を ② のエリアの「提示する販売価格」に入力して「価格提示」のボタンを押します。あなたが提示した価格は ⑤ の「販売希望価格」に表示されます。

この販売希望価格の欄にはあなたを含む売り手全員が提示した価格が表示されます。買い手も同じ情報を見えています。買い手があなたの示した価格に満足して購入すると、あなたはその財を販売できたこととなります。

あなたより先に別の人が販売希望価格を提示している場合、あなたはその価格より安い価格をつけなくてはなりません。図の例では販売希望価格に既に180という価格が提示されているので、それよりも安い160という価格を提示しています。



2. 二つ目の方法は「買い手が見つけた買値を見て、満足の行く価格ならその価格で売る」という方法です。
 (4) のエリアに買い手が示した「この価格なら払ってもいい」という購入希望価格が示されています。
 あなたがこの価格に納得して「販売する」ボタンを押すと、あなたの財が一つ売れます。

The screenshot shows a screen titled '買い手の購入希望価格' (Buyer's purchase price). It displays a list of prices: '170' and '190'. The '190' option is highlighted in blue, indicating it is the selected price. At the bottom right of the screen, there is a button labeled '販売する' (Sell).

購入希望価格が複数あるときはその中から好きな価格をクリックして選ぶことができますが、一番高い価格がはじめから選択されていますので、その価格で販売するのが利益を上げるためには正しい選択です。図の例では170と190という価格が提示されており、190が選択されています。ここで「販売する」ボタンを押すとあなたは手持ちの財を190という価格で販売できます。あなたが売ろうとしても他の売り手が先に売ってしまうことがあります。その場合その買い手はいなくなります。

販売のされ方

1),2) どちらの方法でも財は仕入れ値の安い順に出荷されます。もしあなたの財の仕入れ値が50,100,150,200円だった場合、一つ目を販売すると自動的に50円の財が出荷されます。次に出荷されるのは100円の財です。

結果の表示

取引が成立すると1)の場合は(5)の「販売希望価格」の欄から売り手が提示した価格が消え、2)の場合は(4)の「購入希望価格」の欄から買い手が提示した価格が消えます。そしてそのときの価格が(3)の「取引成立価格」のところに表示されます。ここにはあなたを含む全員の取引の結果が表示されます。

得点

得点は

得点 = 取引成立価格 - 仕入れ値

で計算されます。もし 50 円の仕入れ値のものを 90 円で販売した場合、あなたの得点は $90-50=40$ 点です。仕入れ値を下回る価格で販売すると損しますので気をつけてください。一つ目の財で得点が上がった価格と同じ価格で二つ目を売っても、二つ目の財は仕入れ値が上がっているので損になるかもしれません。常に今売ろうとしている財の仕入れ値より高く売れるように努力してください。

ゲームの終了

ひとつの実験は () 分間で終わります。残り時間は右上に表示されています。時間が残っていても 4 つの財をすべて販売してしまうとあなたのゲームは終わりです。終了まで静かに待ってください。

注意「販売する」のボタンを押すときは「購入希望価格」欄を見て、誰かが価格を提示していることを確認してください。誰も提示していなくて空欄になっているときは押しても何もおきません。

買い手の場合

実験が始まると次のような画面になります。(1)~(5)の数字は説明のためのもので実際には表示されません)

回数 1 / 1 残り時間 [秒] 273

① あなたは買い手です

購入数 0
現在の利益 0

払ってもいい最大値

| | |
|-----|-----|
| 1個目 | 400 |
| 2個目 | 330 |
| 3個目 | 250 |
| 4個目 | 150 |

② 提示する購入価格

価格提示

③ 取引成立価格

④ 購入希望価格

| |
|-----|
| 170 |
|-----|

⑤ 売り手の販売希望価格

購入する

一番左の(1)のエリアにはあなたが買い手であること、あなたが購入した財の数(4つまで)、現在の利益、払ってもいい最大値がかかれています。あなたは払ってもいい最大値より安い価格で財を購入することで利益を上げます。購入には2つの方法があります。

購入方法

- 一つ目の方法は「自分で価格をつけて、その価格で売ってくれる人が現れるのを待つ」という方法です。

自分が購入したい価格を(2)のエリアの「提示する購入価格」に入力して「価格提示」を押します。あなたが提示した価格は(4)の「購入希望価格」に表示されます。

提示する購入価格

価格提示

購入希望価格

| |
|-----|
| 170 |
| 190 |

この購入希望価格欄にはあなたを含む買い手全員の提示した価格が表示されます。売り手も同じ情報を見えています。もし売り手があなたの示した価格に満足して販売の意思決定をすると、あなたはその財

を購入できます。

あなたより先に別の人が購入希望価格を提示した場合、あなたはその価格より高い価格をつけなくてはなりません。図の例ではすでに誰かが 170 という価格を提示しているのでそれよりも高い 190 という価格を提示しています。

- 二つ目の方法は「売り手がつけた価格を見て、満足の行く価格ならその価格で買う」という方法です。
(5) のエリアに売り手が示した「この価格なら売ってもいい」という販売希望価格が示されています。あなたがこの価格に納得して「購入する」ボタンを押すとあなたは財を買うことができます。

| 売り手の販売希望価格 |
|------------|
| 160 |
| 180 |

販売希望価格が複数あるときはその中から好きな価格をクリックして選ぶことができますが、一番安い価格がはじめから選択されているので、その価格で購入するのが利益を上げるためには正しい選択です。図の例では 160 と 180 という価格が提示されており、160 が選択されています。ここで「購入する」ボタンを押すとあなたは財を 160 という価格で購入できます。あなたが買おうとしても他の買い手が先に買ってしまうことがあります。その場合その売り手はいなくなります。

購入の仕方

1),2) どちらの方法でも財の購入は「払ってもいい最大値」の大きい順に行われます。もしあなたの「払ってもいい最大値」が 200,150,100,50 だった場合、一つ目を買うときの払ってもいい最大値は 200 円です。次の二つ目の財に対して払ってもいい最大値は 150 円です。

結果の表示

取引が成立すると 1) の場合は (4) の「購入希望価格」の欄から買い手が提示した価格が消え、2) の場合は (5) の「販売希望価格」の欄から売り手が提示した価格が消えます。そしてそのときの価格が (3) の「取引成立価格」のところに表示されます。ここにはあなたを含む全員の取引の結果が表示されます。

得点

得点は

$$\text{得点} = \text{払ってもいい最大値} - \text{取引成立価格}$$

で計算されます。もし 100 円払ってもいいものを 90 円で購入した場合、あなたの得点は $100 - 90 = 10$ 点です。払ってもいい最大値を上回る価格で購入すると損しますので気をつけてください。一つ目の財で得点が上がった価格と同じ価格で二つ目を買っても、二つ目の財は払ってもいい最大値が下がっているので損になるかもしれません。常に今の払ってもいい最大値より安く買うように努力してください。

ゲームの終了

ひとつの実験は()分間で終わります。残り時間は右上に表示されています。時間が残っていても財を4つ購入してしまうとあなたのゲームは終わりです。終了まで静かに待ってください。

注意

「購入する」のボタンを押すときは「販売希望価格」欄を見て、誰かが価格を提示していることを確認してください。誰も提示していなくて空欄になっているときは押さないでください。

第 3 部
経済実験と経済学教育

経済実験の教育効果： 実験参加者が実験から学ぶことと学ばないこと*

灰谷綾平[†] 小田宗兵衛[‡]

2006年3月25日

概要

本稿は、経済実験による経済学教育の効果と限界を論じる。学生たちが実験から学ぶことは、かならずしも教員が学生たちに期待することではない：教員はある市場の仕組みについて教えたいのに、学生たちはその市場での振る舞い方しか学ばないかもしれない。本稿は、学生たちの理解を確かめるために実験とともに試験と質問紙調査を行って、学生たちの理解を確かめた。その結果、学生たちの実験の体験は必ずしも経済学の理解の深化にはつながらないことが確認されるとともに、既存の経済学教育の限界と学生たちの経済学理解の困難についての知見が得られた。

1 はじめに

経済実験は、いまや経済研究の有力な方法の一つとして認められているが、経済学教育との関わりも深い。じっさい Smith (1962) の市場実験は、もともと学部教育のために開発されたものであった。その後も多くの教育用実験が開発され、いまでは実験による経済学による教科書や教育用実験のサイトも存在する。しかし教育実験への参加は、秋永 (2004) が質問紙調査に基づいて報告しているように、学生たちの満足 (面白かった) と主観的な習得感 (勉強になった) を高めるが、Dickie (2000) が試験で確かめたように、経済学の客観的理解を必ずしも高めない。そこで著者たちは、京都産業大学経済学部のミクロ経済学の講義のなかで組織的に市場実験を行うとともに、学生たちの意識と理解を確かめるための質問紙調査と試験を行った。本稿はそのまとめであり、実験による経済教育の効果と限界を明らかにする。^{*1}

* 本稿の実験のうち、京都産業大学の経済実験室 (KEEL) で行われた実験では Z-tree (Urs Fischbacher) の日本語版を用いた。毎回の実験の実施にあたっては米田紘康 (京都産業大学大学院経済学研究科博士後期課程) 氏の協力を受け、KEEL での実験では飯田善郎 (京都産業大学経済学部) 助教授と舩本現 (京都産業大学特定研究員) 氏の支援を得た。内容と分析手法については、八木三木男、片岡佑作、塘茂樹 (以上、京都産業大学経済学部教授)、片岡佑作 (京都産業大学経済学部教授)、宮下洋 (京都産業大学経営学部教授)、和田良子 (敬愛大学経済学部助教授)、塘利枝子 (同志社女子大学現代社会学部助教授) の各氏に有益な助言をいただいた。この研究は、私立大学学術研究高度化推進事業 (オープン・リサーチ・センター整備事業) 『実験経済学：経済学教育の新しい方法と、それによる経済学教育の社会的効果の研究』、科学研究費補助金 (基盤研究 (B)、課題番号：17310029) 『耐久消費財リサイクル市場の構造分析と制度設計』、科学技術融合財団からの補助金 『市場実権における「気づき」：ゲーミングと新しい経済理論に基づく経済学教育法の開発と実践』および『実験による経済シミュレーションの教育的効果』の研究の一環として行われた。助言と協力をいただいた方々と資金提供機関に感謝する。

[†] 京都産業大学大学院経済学研究科博士前期課程

[‡] 京都産業大学経済学部教授

^{*1} Bergstro and Miller (2000) は、実験によって初級経済学を学ぶためのよい教科書である。さらに多くの教育用実験が、Charles Holt's Classroom Games Papers <<http://www.people.virginia.edu/%7Ec4h2k/papers.html>> と Economic Science Lab <<http://www.econlab.arizona.edu/>> で提供されている。

本稿の構成は以下の通りである。

第2節は、著者たちが行った市場実験の概要と結果を述べる。事件はいずれも市場実験であり、経済学部2年生を主体とする学生たちに、屋外での多人数のオーラル・ピット・マーケットと経済実験室の情報環境を利用するダブル・オークションを、設定を少しずつ複雑にしながら行った。実験結果は既存の市場実験の結果と一致し、学生たちが通常期待される程度に実験を理解して真面目に取りくんだことが確認された。

第3節は、各実験後に実施した試験と解答の分析である。試験は、学生たちに学生たちが体験した実験の設定と結果を教え、実験における市場供給曲線と市場需要曲線を描かせるものであった。実験のなかで取引の仕方を学習することが自動的に実験についての考察を深めることにはならないため、学生たちの解答には様々な誤りが見られた。この実験のなかでの思考と実験についての理解の不一致は、学生たちの実験での得点と実験についての試験での得点を比較することによっても確認された：どの実験についても、実験での得点と試験での得点に有意な相関は見られなかった。

第4節は、各実験後の行われた質問紙調査と回答の分析である。質問紙調査は、実験ごとに異なる形式で異なる目的のために行われた。毎回の調査と試験を総合すると、以下の2点が明らかになった。(a) 実験のなかで得点をあげようと努力することは、実験での高得点を導くが、実験についての理解にも試験での高得点には必ずしもつながらず、(b) 実験の体験から実験についての考察に思考を広げる学生たちもいるが、経済学の専門知識が不十分だとそれを正確に表現できず、試験での得点につながらず。

第5節は、以上のまとめと今後の展望である。

1.1 実験の概略と結果

実験参加者は、京都産業大学経済学の2005年度春学期に京都産業大学経済学部の講義『ミクロ経済学A』（担当：小田宗兵衛）の受講者である。受講者のほとんどは経済学部の2年生であり、前年度に経済学部の必修科目である『ミクロ経済学入門』（90分授業15回）と『マクロ経済学入門』（90分授業15回）を受講している（ただし期末試験に合格して単位を取得していない学生も受講者に含まれる）。各実験とも参加者は100余名であった。^{*2}

第1回実験（2005年4月14日） 各人が一回の市場で取引できる商品の数はたかだか1個という設定で、ピット・マーケット実験を4回おこなった。具体的には、学生たちを同数の売手と買手に分け、各人に各人の費用または指定価格を私的情報として伝えた（具体的には、売手には費用カードを、買手には指定価格カードを配った）。そして「取引は売手と買手が取引価格で合意したときに成立し、それにより売手は価格マイナス費用の利益を、買手は指定価格マイナス価格の余剰を得ること」と「生産者は生産した商品売るのではなく売れた商品を作る設定だから、生産者は自分の生産費以上の価格で買う買い手が見つからなければ、マイナスの利益を出すのではなく生産を行わず利益0で市場を終えるように」ことを説明し、市場（京都産業大学の野外劇場「神山コロシウム」）を自由に動いて取引相手を見

^{*2} 本研究は、通常の授業を利用して行われたため、調査（実験・質問紙調査・試験）ごとに対象者の出入りがある。以下、各行事の参加者と本文中の図表の母集団となる集団をまとめて示す。

第1回実験の参加者は110名であり（表1、表3、図1、図2）、全員が質問紙調査に答えたが（表6）、試験を受けたのは91名であった（表4、表5）。第2回実験の参加者は101名であり（表2、図3、図4）、全員が質問紙調査に答えたが（表7）、試験を受けたのは84名であった（表4、表5）。第3回実験の参加者は118名であり（図5、図6、図7）、それらのうち111名が実験直後と翌週の質問紙調査の全てまたは一部に答え、57名が試験を受けた（表4、表5、表9）。ただし1回目の実験・質問紙調査・質問紙調査のすべてに参加した91名のうち、2回目の実験・質問紙調査・質問紙調査に参加したのは66名であり、それらのうち26名がさらに3回目の実験・質問紙調査・質問紙調査に参加した。

つけて取引をすることを求めた。

第2回実験(2005年4月28日) 第1回実験と同様のピット・マーケット実験を、ほぼ同じ学生たちに同じ環境(神山コロシウム)で6回おこなった。ただし、後半の市場では費用の半分は固定費とした。具体的には、売手は漁師で買手は寿司屋であり、前半(3回)は「売手は契約が成立したときだけ(ある売手にある金額で魚を売る約束をしたときだけ)、費用カードの金額を払って船を借りて燃料を買って漁に出る」という設定で、後半(3回)は「売手は既に船を借りているので、たとえ漁に出なくても費用カードの金額の半分以上を借賃として払う」という設定とした。

第3回実験(2005年5月14日) 各人は各市場で最大4個まで取引できるという設定で、ほぼ同じ学生たちに実験を行った。ただし、全員参加のピット・マーケットでは取引個数が増えすぎるので、京都産業大学の経済実験室(KEEL)の情報環境を利用して、少人数ごとにダブル・オークションとして実施した。

一見して明らかのように、3つの実験は費用の概念を徐々に深めるように選ばれている。すなわち、最初の実験では供給曲線は費用から導かれることが、次の実験では費用のなかでも変動費だけが供給曲線に影響することが、最後の実験では変動費といっても限界費用だけが供給曲線を定めることが、実験の主題である。

各実験の結果は次の通りであった。

第1回実験 実験参加者の費用と指定価格の分布は表1の通りであった。したがって、市場供給曲線と市場需要曲線は図1で与えられる。

実験結果は図2の通りである。取引数は均衡数を下回ったが、取引価格は均衡価格の近傍にあった。

第2回実験 実験参加者の費用と指定価格の分布は表2の通りであった。したがって、市場供給曲線と市場需要曲線は図3で与えられる。

実験結果は図4の通りである。前半の実験では均衡がほぼ実現したが、後半の実験では取引価格は均衡価格より高めで分散も大きく取引数は均衡取引数よりも小さかった。

第3回実験 個別市場供給曲線と個別需要曲線はそれぞれ全ての売手と買手に共通で、図5の通りであった。市場供給曲線と市場需要曲線は、それぞれ売手の人数と買手の人数に応じて決定される(図6)。

実験結果は図7の通りである。価格も数量も均衡から遠い集団(右下)、価格は均衡に収束するが数量は均衡値から遠い集団(右上)、価格は均衡に収束し数量も均衡に近い集団(左上)、価格は均衡に収束し数量は均衡に一致する集団(左下)が観察された。

以上の結果は、先行研究の結果と矛盾しない。1回目と2回目の実験においては、均衡への収束はダブル・オークション実験におけるほどではないが、多人数のピット・マーケット実験として特に悪いとは思われない。2回目の実験における市場供給曲線の移動に対する取引の遅さは、ダブル・オークション実験でも観察されていることで、奇異な現象ではない。3回目の実験においても、「最終価格は均衡価格にほぼ一致する」というダブル・オークションの特徴が、同じ市場供給曲線と市場需要曲線の市場での繰返しなしに、過半の集団で(27名以上の4集団のうち3つで)観察されている。以上は、学生たちは研究用実験の参加者(実験で獲得する利益に応じての謝金支払いによって、取引でできるだけ大きな利益を得ることを動機づけられる参加者)と同程度に真剣に実験に参加していることを示唆する。^{*3}

^{*3} Davis and Holt (1903, pp. 141-149) は、ダブル・オークションにおいて市場需要曲線と市場供給曲線の両方または片方が変化するときの影響を以下のようにまとめている。両曲線の両方が変化すると、取引価格は徐々に新たな均衡価格に変化して最後には新たな均衡価格にほぼ一致するが(たとえば前市場の均衡価格<今市場の均衡価格のときには、今市場の取引は高めの価格から始まるが、徐々に下がって最後の取引はほぼ新しい均衡価格で行われるが)、片方だけが変化すると—取引価格の新しい均衡価格へ

表1 第1回実験の費用と指定価格の分布

| 売手（費用） | | 買手（指定価格） | |
|--------|------|----------|------|
| 230 円 | 4 名 | 300 円 | 4 名 |
| 210 円 | 1 名 | 260 円 | 10 名 |
| 170 円 | 18 名 | 220 円 | 18 名 |
| 130 円 | 9 名 | 180 円 | 12 名 |
| 90 円 | 14 名 | 140 円 | 8 名 |
| 50 円 | 10 名 | 100 円 | 2 名 |

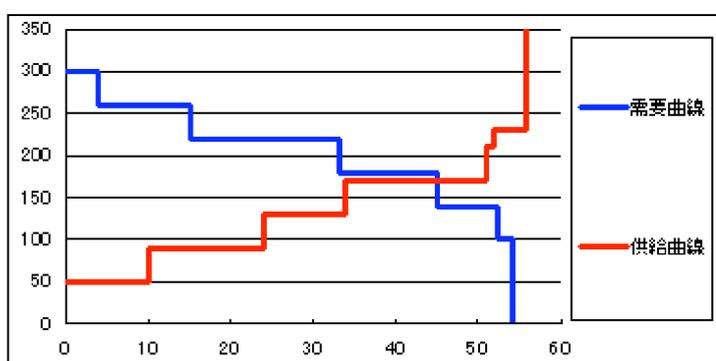


図1 第1回実験の市場供給曲線と市場需要曲線（横軸：個数、縦軸：価格）。均衡：（44 個，170 円）。

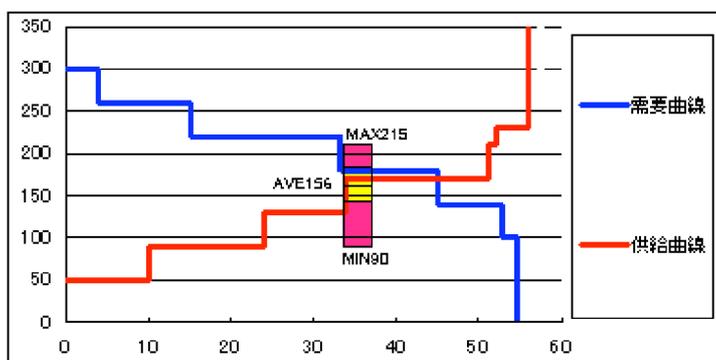


図2 第1回実験最終回（4回目）結果。最高取引価格：215 円、上 25% 取引価格：180 円、平均取引価格：156 円、下 25% 取引価格：145 円、最低取引価格：90 円、取引数：45 個。

の取束は観察されるが、条件の変化する側が以前の価格を維持しようとするために一方の曲線だけが変化するときよりも平均取引価格と新しい均衡価格との乖離が大きい。
 ダブル・オークションとピット・マーケットの違いはあるが、この結果は我々の実験2の結果（供給曲線の下方向シフトにもかかわらず価格が下がらない）と一致する。

表2 第2回実験の費用と指定価格の分布

| 売手（費用） | | 買手（指定価格） | |
|--------|------|----------|------|
| 250 円 | 3 名 | 260 円 | 17 名 |
| 170 円 | 20 名 | 220 円 | 15 名 |
| 90 円 | 10 名 | 140 円 | 10 名 |
| 50 円 | 13 名 | 100 円 | 13 名 |

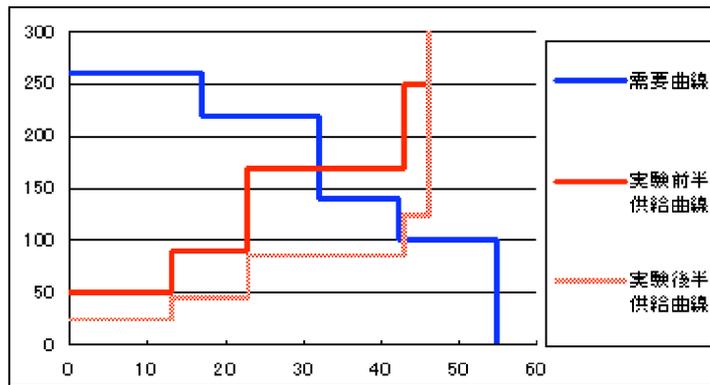


図3 第2回実験の市場供給曲線と市場需要曲線（横軸：個数、縦軸：価格）。前半の均衡は（32個、170円）、後半の均衡は（43個、100円）。

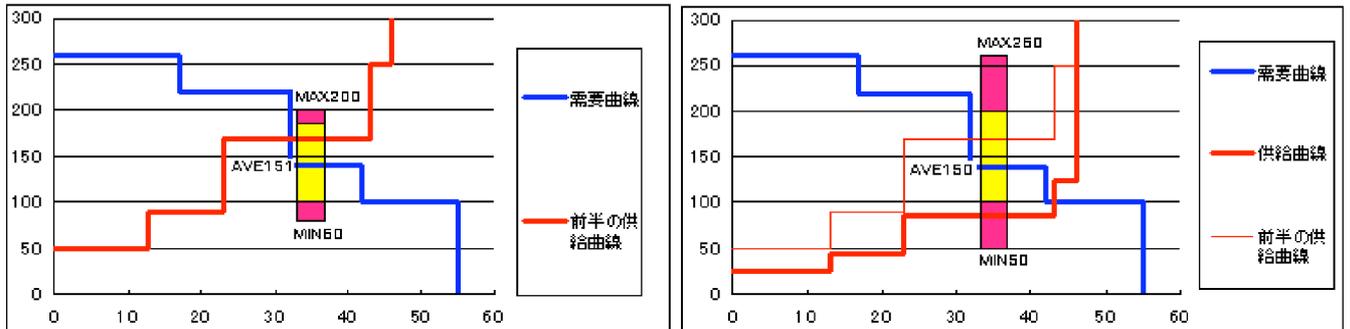


図4 右図第2回実験前半最終回（3回目）結果左図第2回実験後半最終回（3回目）結果

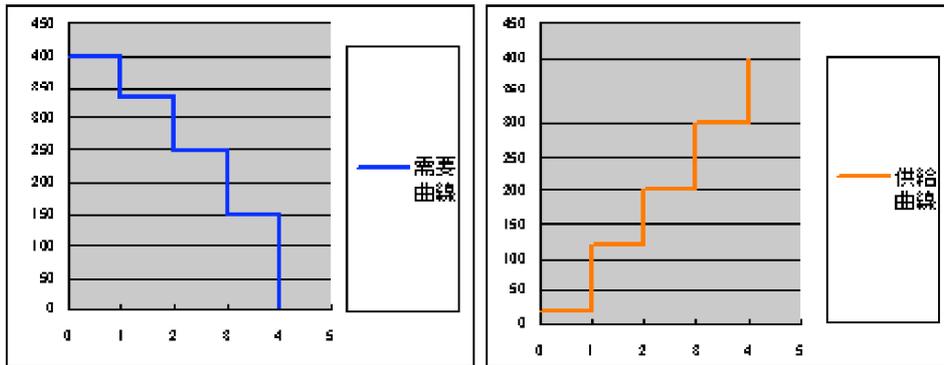


図5 第3回実験の個別供給曲線と個別需要曲線（横軸：個数，縦軸：価格）

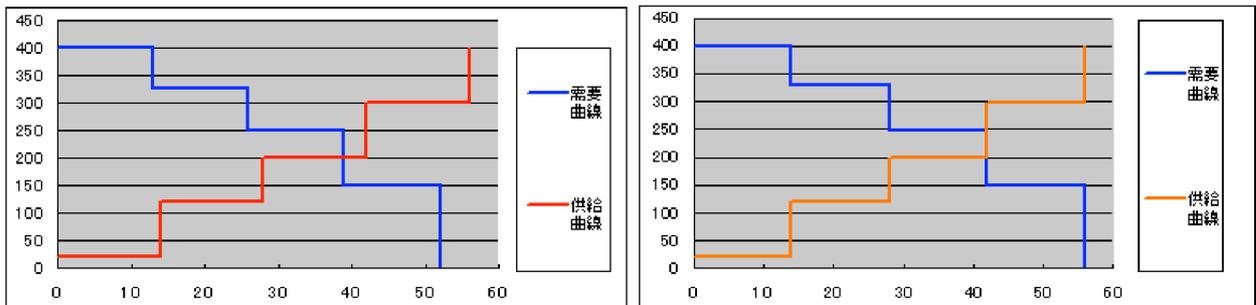


図6 第3回実験の市場供給曲線と市場需要曲線（横軸：個数，縦軸：価格）。第3回実験は、5つの集団（28名、28名、28名、27名、7名）ごとに行われた。左は売手13人と買手14人の市場の市場供給曲線と市場需要曲線であり、右は売手と買手が14人ずつの市場の両曲線である。

2 試験の概要と試験結果の分析

各実験の翌週の授業で参加者たちに実験についても試験を行った。試験の問題は、いずれも実験資料から実験の市場供給曲線と市場需要曲線を描かせるものであった。

第1回試験 学生たちに実験での費用と指定価格の分布（図1）と実験結果（図3）を与え、市場供給曲線と市場需要曲線を描くことを求めた。試験時間は50分で、解答用紙を回収後に30分の解説を行った。正解はもちろん図1であるが、正解者はわずか3名であった。誤答は、(a) 市場供給曲線と市場需要曲線を導く情報を正しく選んでいるが、その情報を正しく使えなかったものと、(b) 市場供給曲線と市場需要曲線を導く情報を正しく選んでいないか見つけられなかったものに大別される。前者には、費用カードと指定価格カードの分布（表1）から正しく基準点をとっているが、点が階段関数ではなく滑らかな曲線で結ばれているもの（図8の左上図）と、正しく基準点をとれていないもの（図8の右下図）があり、後者には実験結果（図3）を用いているもの（図8の左下図）や、数値を特定せずただ右上がりの市場供給曲線と右下がりの市場需要曲線を描いているもの（図8の右上図）があった。

第2回試験 学生たちに実験での費用と指定価格の分布（図2）と実験結果（省略）を与え、市場供給曲線と市場需要曲線を前半の市場と後半の市場のそれぞれについて描くことを求めた。前回の試験とまったく

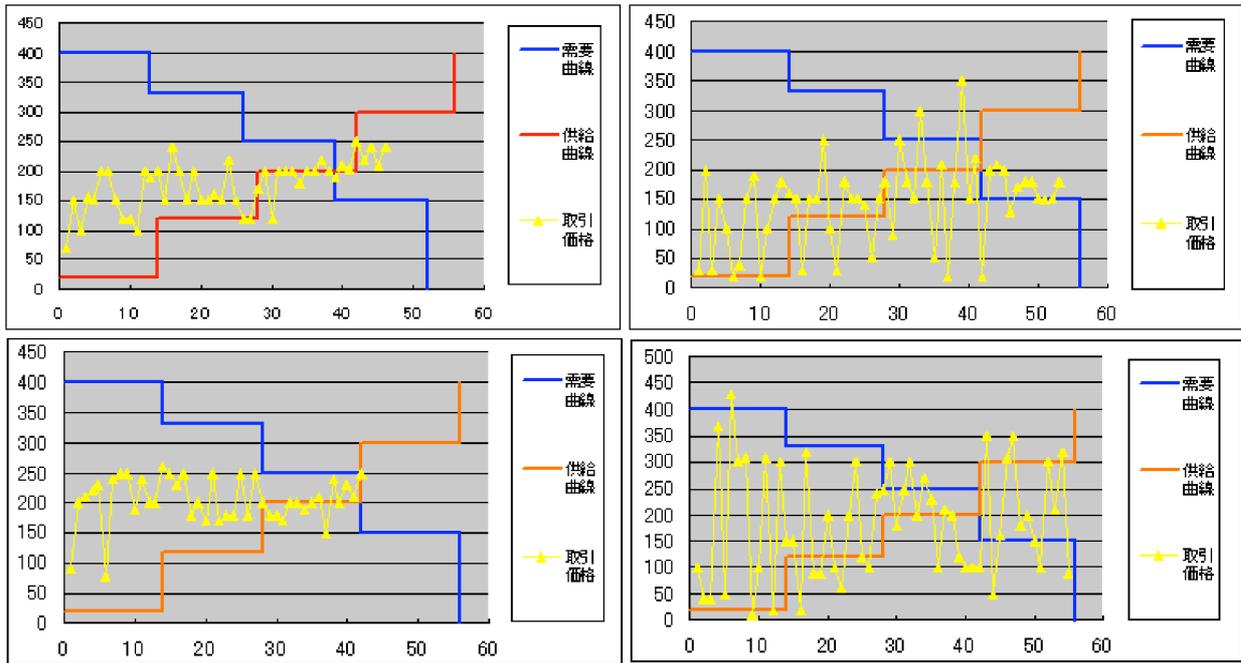


図7 第3回実験の結果。上左は売手が14人で買手が13人の集団、他は売手と買手が14人ずつの集団。取引価格は、左から時系列順に折線で結ばれている。

同じように解答すればよい前半の市場については40パーセントの学生が正解を答えたが、供給曲線を下方にシフトさせて描かなければいけない後半の市場については正解率は12パーセントにとどまった(表4)。

第3回試験 3回目の試験では、学生たちに売手と買手の人数と個別供給曲線と個別需要曲線(図5)を描くための数値と実験結果(省略)を与え、市場供給曲線と市場需要曲線を描くことを求めた。正解率は75パーセントであった(表4)。*4

*4 個別供給曲線を描くための情報は、総費用は1つ作れば費用は400円、2つ作れば740円、..ではなく、1つ目の仕入価格は400円、2つ目の仕入価格は340円、...と与えられた。

表3 第1回実験の結果

| 取引 | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 |
|------|-------|-------|-------|------|
| 1 | 100 | 200 | 180 | 180 |
| 2 | 200 | 130 | 160 | 130 |
| 3 | 220 | 200 | 150 | 200 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 40 | 220 | 180 | 175 | 150 |
| 41 | 100 | 260 | 180 | 215 |
| 42 | 160 | 180 | 200 | 180 |
| 43 | 200 | 200 | 180 | 200 |
| 44 | 200 | 180 | 170 | |
| 45 | 200 | | | |
| 最大価格 | 250 | 260 | 260 | 215 |
| 平均価格 | 167.4 | 158.4 | 158.3 | 156. |
| 最小価格 | 90 | 90 | 80 | 90 |

いずれの試験においても、正解を100点、(a)のうち点が階段関数ではなく滑らかな曲線で結ばれているものを80点、(b)を40点または20点（ほとんどまたは完全に白紙）とした（表1と図3の両方の数値を使って市場供給曲線と市場需要曲線を描くなど、(a)と(b)の中間的な答案が少数あったが、それらは60点とした）。各試験の得点分布は、表4の通りであった。

表4 試験結果。各試験ごとに、対応する実験に参加して受験した者の得点分布と参加しないで参加して受験した者の得点分布を表す。

| | 第1回実験 | | 第2回実験前半 | | 第2回実験後半 | | 第3回実験 | |
|------|-------|------|---------|------|---------|------|-------|------|
| | 有 | 無 | 有 | 無 | 有 | 無 | 有 | 無 |
| 20点 | 40名 | 15名 | 11名 | 2名 | 36名 | 12名 | 0名 | 0名 |
| 40点 | 30名 | 8名 | 27名 | 11名 | 31名 | 9名 | 13名 | 4名 |
| 60点 | 4名 | 2名 | 4名 | 0名 | 1名 | 1名 | 2名 | 0名 |
| 80点 | 14名 | 2名 | 10名 | 0名 | 5名 | 0名 | 0名 | 0名 |
| 100点 | 3名 | 0名 | 32名 | 11名 | 11名 | 2名 | 39名 | 19名 |
| 平均点 | 40.2 | 33.3 | 66.0 | 65.8 | 41.9 | 35.8 | 84.1 | 89.6 |
| 受験者数 | 91名 | 27名 | 84名 | 24名 | 84名 | 24名 | 54名 | 23名 |

実験での成績と試験での成績の関係を調べるために、各実験ごとに参加者の実験での超過余剰と試験での得点の分割表（表5）を作り、 χ^2 分析を行った。帰無仮説「実験での利益と試験での成績は関係がない」は、有意水準10パーセントで棄却されなかった。

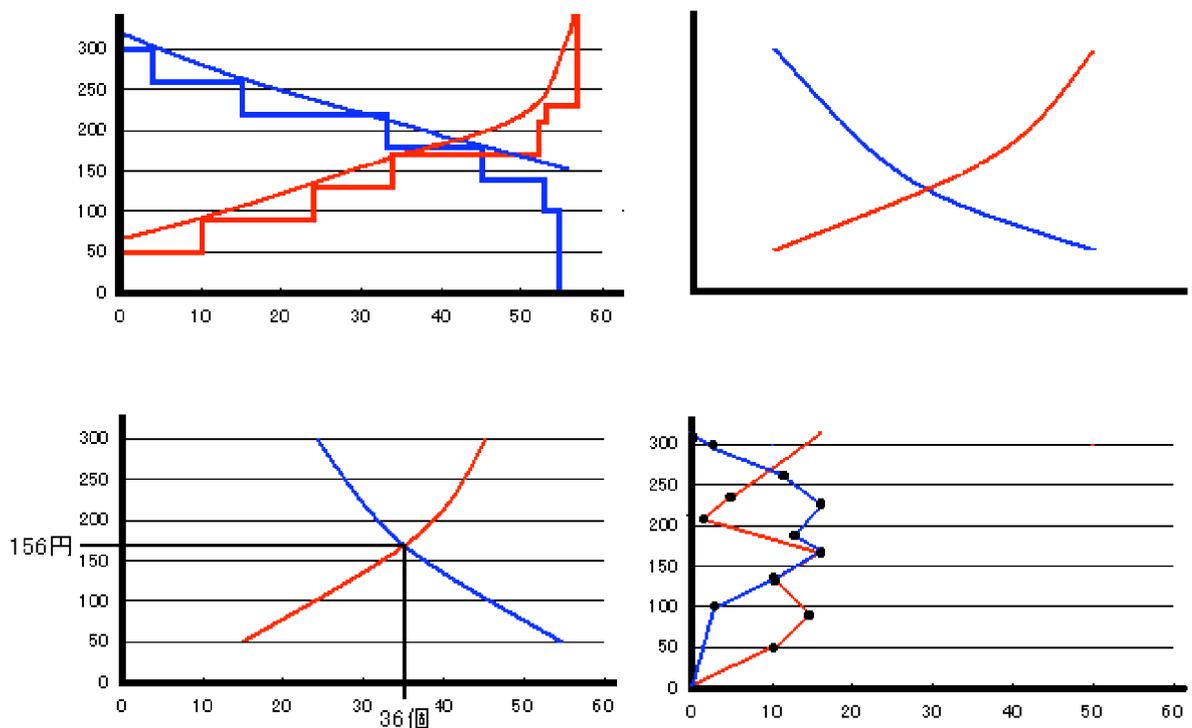


図8 第1回実験の誤答例。左上図では表1の数値から市場供給曲線と市場需要曲線が通るべき点が正しく求められているが、それらが正しく階段関数で結ばれずに滑らかな曲線で結ばれている。右下図では表1の値がそのまま図に写されている（たとえば市場需要曲線は(10, 50), (14, 90), (9, 130)を通るジグザグの曲線になる）。いっぽう左下図では、売手と買手の計画（表1）からではなく行動の結果（表3）から均衡点が求められ、それを交点として右上がりの市場供給曲線と右下がりの市場需要曲線が描かれている。右上図では横軸にも縦軸にも数値が記入されていない。

3 質問紙調査の概要と回答の分析

実験参加者の思考を知るために、実験あるいは試験の終了後に質問紙調査を行った。

第1回質問紙調査 実験1の終了直後に、参加者たちに自由記述で実験の感想を求めた。もっとも多い回答は「実験は楽しかった」だけであったが、約半数（54名）が直接または間接に自分が実験中にどうふるまったかも説明している（図6）。概して売手は積極的で（「買手の底値を尋ねた」や「取引時間終了ぎりぎりまで粘って交渉した」など）自分の行動に満足しているのに対し（22名中で自分の行動はよくなかったと言及しているのは2人だけ）、買手は受動的（「売手の提案はなるべく受入れた」や「早めに取引を成立させた」など）で自分の行動に満足していない（32名中12名が自分の行動はよくなかったと反省している）。これは実験結果（取引価格は均衡取引価格にほぼ収束したが、取引数は均衡取引数をだいぶ下回った）と整合的で、学生たちが正直に回答していることを示唆する。ただし、自分の行動の適否について自分の利益との関連で論じるものばかりで、各人の行動を経済理論や全体としての実験

表5 実験での取引の巧拙と試験での得点の高低の相関。各実験ごとに、実験と試験の両方に参加した学生を実験での取引の上手か下手かと試験の成績が良いか悪いかに応じて4分割した。ただし以下に注意。(1) 各人の各人の実験の超過余剰を「その人がその実験で実際にあげた利益マイナスその実験での取引がすべて均衡価格で行われるときに期待されるその人の利益」で定義し、その大小でその個人のその実験での取引の巧拙を判断した。(2) 60点の被験者は、少数で60点で(既述のように)採点基準が明瞭でないので、分析から除かれている。

| 第1回実験 | 60点超過 | 60点未満 | 合計 | 第2回実験前半 | 60点超過 | 60点未満 | 合計 |
|---------|-------|-------|-----|----------|-------|-------|-----|
| -2.80以上 | 9名 | 33名 | 42名 | -13.98以上 | 22名 | 19名 | 41名 |
| -2.80未満 | 8名 | 37名 | 45名 | -13.98未満 | 21名 | 18名 | 39名 |
| 合計 | 17名 | 70名 | 87名 | 合計 | 43名 | 37名 | 80名 |

| 第2回実験後半 | 60点超過 | 60点未満 | 合計 | 第3回実験 | 60点超過 | 60点未満 | 合計 |
|----------|-------|-------|-----|----------|-------|-------|-----|
| -45.48以上 | 10名 | 42名 | 52名 | -28.84以上 | 24名 | 6名 | 30名 |
| -45.48未満 | 6名 | 25名 | 31名 | -28.84未満 | 15名 | 7名 | 22名 |
| 合計 | 16名 | 67名 | 83名 | 合計 | 39名 | 13名 | 52名 |

結果に結びつけて述べた回答は皆無であった。

第2回質問紙調査 実験2の終了直後に、参加者たちに「均衡での価格と取引数は、前半の市場と後半の市場でどのように異なると思いますか」という質問をし、自由記述で回答を求めた。価格あるいは取引数の増減に明示的に言及した参加者は50名(参加者の49パーセント)で、それらのうち15名は正しく「後半の市場均衡の方が価格は下がり取引数は増える」と答えている(表7)。

ただし、均衡の移動を正しく述べた学生たちのほうが、実験2の後半の市場供給曲線と市場需要曲線を正しく描けたとはいえない。じっさい実験2直後の質問紙調査での回答の正否と翌週の試験での得点の相関を調べると、明らかな相関は見られない(表8)。

実験2において前半と後半で取引価格も取引数量もほとんど変化しなかったことを思えば、かなりの学生は「本当は価格は下がり取引数は増えなければならなかった」と感じていることは、何らかの意味で実験のなかでの自分の行動の反省だけではなく実験についての考察をしたことを示唆する。それにもかかわらず、それを試験において正しく供給曲線の下方移動として表現できなかったことは、学生たちが経済学を応用する能力を十分にもっていなかったことを暗示する。このことは、質問紙調査にたいする回答においても明確に価格と数量の動きに言及せず「後半のほうが、取引は買手有利になる」などと答える学生がかなりいたことから推測される。^{*5}

第3回質問紙調査 実験3についての試験のときに、参加者たちに実験中での行動を問う質問(各問に対し2-4選択肢から回答)を行った。表9は、それらに対する回答と、実験で得た利益および実験についての試験での得点との相関をまとめている。実験において利益最大化に務めることと実験で獲得する利益

*5 じつは表8では、正しく均衡の移動方向を予想することと後半市場の試験の合否には、相関がないどころか負の有意な相関が見られる。ただし、人数が少なすぎるので有意ではないが、前半市場の試験で合格点をとっている学生たちに限れば、均衡の移動を正しく答えた学生たちの後半市場の試験での合格率 $\frac{3}{4} = 0.75$ は、正しく答えられなかった学生たちの後半市場の試験での合格率 $\frac{13}{38} = 0.34$ を大きく上回る。これは、一定の能力をもつ(市場需要曲線と市場供給曲線を正しく描ける)という条件のもとでは、問題に気づく(均衡の移動方向を正しく判断する)ことと、それを正しく表現する(市場供給曲線の移動を正しく表現する)ことが関連することを示唆する。

には相関がある（実験の規則を十分に理解し、実験中に公開される情報に注意する参加者は、そうでない参加者よりも利益を得るが）。しかし、実験における利益最大化のための努力と実験についての試験（市場供給曲線と市場需要曲線を描く）には明白な相関は見いだされない。

表6 第1回質問紙調査から

| | 自分の戦略だけを回答。 | どのようにすべきだったかにも回答 | その他 |
|-------------|--------------|------------------|--------------|
| 売手 (56名) | 20名 (35%) | 2名 (4%) | 34名 (61%) |
| 買手 (54名) | 20名 (52%) | 12名 (22%) | 22名 (29%) |

表7 第2回実験の質問紙調査から、「後半の市場では、均衡取引数と均衡価格はどうか変化したと思うか」に対する回答

| | | 取引取引数は？ | | |
|--------|-----|---------|----|-----|
| | | 増える | 減る | 無回答 |
| 取引価格は？ | 上がる | 4名 | 2名 | 5名 |
| | 下がる | 15名 | 1名 | 28名 |
| | 無回答 | 3名 | 2名 | 41名 |

表8 第2回実験質問紙調査での回答と第2回試験での得点

| | 前半市場の試験も、 後半市場の試験も60点未満 | 前半市場の試験は60点超過、 後半市場の試験は60点未満 | 前半市場の試験も、 後半市場の試験も60点超過 | 合計 |
|------------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------------|-----|
| 正しく均衡の移動を 指摘した学生 | 7名 | 1名 | 3名 | 11名 |
| 正しく均衡の移動を 指摘しなかった学生 | 31名 | 25名 | 13名 | 69名 |
| 合計 | 38名 | 26名 | 16名 | 80名 |

最後に、実験や試験の経験を重ねることが経済学の理解を深めるかを確かめるために、第3回試験の受験者について、実験参加回数と受験回数との関係を調べた（表10）。実験も試験も多く参加して得点が高い学生が多いために統計的に有意な主張をしにくいですが、試験の得点は実験経験回数よりも試験経験回数に依存すること

表9 実験への取組み・実験での成績・実験についての理解の相関

たとえば1行A列目の数値...は、分割表 $\begin{bmatrix} \text{問1にYesと答えて実験で高得点} & \text{問1にNoと答えて実験で高得点} \\ \text{Yesと答えて実験で低得点} & \text{Noと答えて実験で低得点} \end{bmatrix}$ に対する χ^2 値 (p 値)である。

| 質問 | 回答 | | A：質問と実験の 得点の関連 | B：質問と試験の 点数の関連 |
|---|--------------|--------------|-------------------|-------------------|
| | Yes | No | | |
| 問1：実験前の説明を 完全に理解できたか？ | 25名 (51%) | 24名 (49%) | 13.1 (0.003) | 1.51 (0.054) |
| 問2：実験中の取引成立価格 に注意して行動を決めたか？ | 29名 (59%) | 20名 (41%) | 9.18 (0.003) | 0.36 (0.673) |
| 問3：自分が幾つ目を取引しようとしているか 常に意識して行動を決めたか？ | 61名 (55%) | 47名 (45%) | 11.34 (0.001) | 0.31 (0.378) |

が示唆されるように思われる。^{*6*7}

表10 第3回試験結果。第3回試験受験者(77名)を、実験参加回数 X_1 ($X_1 = 0, 1, 2$ or 3)と試験経験回数 X_2 ($X_2 = 0, 1$ or 2)に応じて分類し、分類ごとに第3回試験の平均点と人数を示す。

| 平均点 (人数) | $X_1 = 0$ | $X_1 = 1$ | $X_1 = 2$ | $X_1 = 3$ |
|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| $X_2 = 0$ | 100点 (2名) | 0点 (0名) | 100点 (1名) | 0点 (0名) |
| $X_2 = 1$ | 40点 (1名) | 40点 (2名) | 40点 (3名) | 100点 (6名) |
| $X_2 = 2$ | 40点 (2名) | 40点 (8名) | 93点 (22名) | 100点 (30名) |

4 まとめ

実験のなかで何をできるかよく知ることは、実験での好成績につながる。しかし、実験の中で好成績をあげようとする努力も好成績を実際にあげた経験ことも、実験についての「気づき」あるいは「体系からの脱出」(Hofstadter 1979)には必ずしもつながらない。さらに、たとえ何か体系について気づいても、それを経済学の専門用語で適切に表現できるとは限らない(図9)。

実験のなかでの学習と実験についての考察が相関しないであろうとは予測ができていたが、それを実験での得点と実験についての理解を問う試験での得点の相関として定式化して統計的に分析して確かめたことは、本稿の第1の成果と思う。さらに単に相関がないという否定的結論だけでなく、関連する実験や質問紙調査を重

^{*6} 実験参加回数 X_1 ($X_1 = 0, 1, 2$ or 3)と試験経験回数 X_2 ($X_2 = 0, 1$ or 2)で回帰すると $Y = 73.21 - 0.7X_1 + 5.1X_2$ を得る。ただし各係数の t 値と p 値は、定数項については $t = 3.94$ と $p = 0.0002$ 、 X_1 の係数については $t = -0.2$ と $p = 0.84$ 、 X_2 の係数については $t = 0.89$ と $p = 0.37$ であり、有意ではない。

^{*7} 本稿の主題は「実験に参加するだけでは実験についての理解が深まらない」であるが、以下に注意が必用である。(1) 講義だけでも経済学の理解は確実にならない。『ミクロ経済学入門』では市場供給曲線と市場需要曲線に基づく分析を教え、試験でも出題しているにもかかわらず第1回試験では両曲線の基本的理解を疑わせる答案が続出した。(2) 試験ごとに平均点が上がったことを思えば、実験と試験と解説(授業)を重ねることは学生たちの経済学の理解を確実にすると思われる。(3) 試験で問われたのは市場供給曲線と市場需要曲線だけであり、これは実験の表現する経済の重要な一面であるが全てではない。たとえば学生たち学生たちは均衡への収束過程について『ミクロ経済学入門』で詳しく説明されていない上に、説明されても実感をもって理解できないであろう。実験への参加はこの過程について理解を深めるとと思われる。

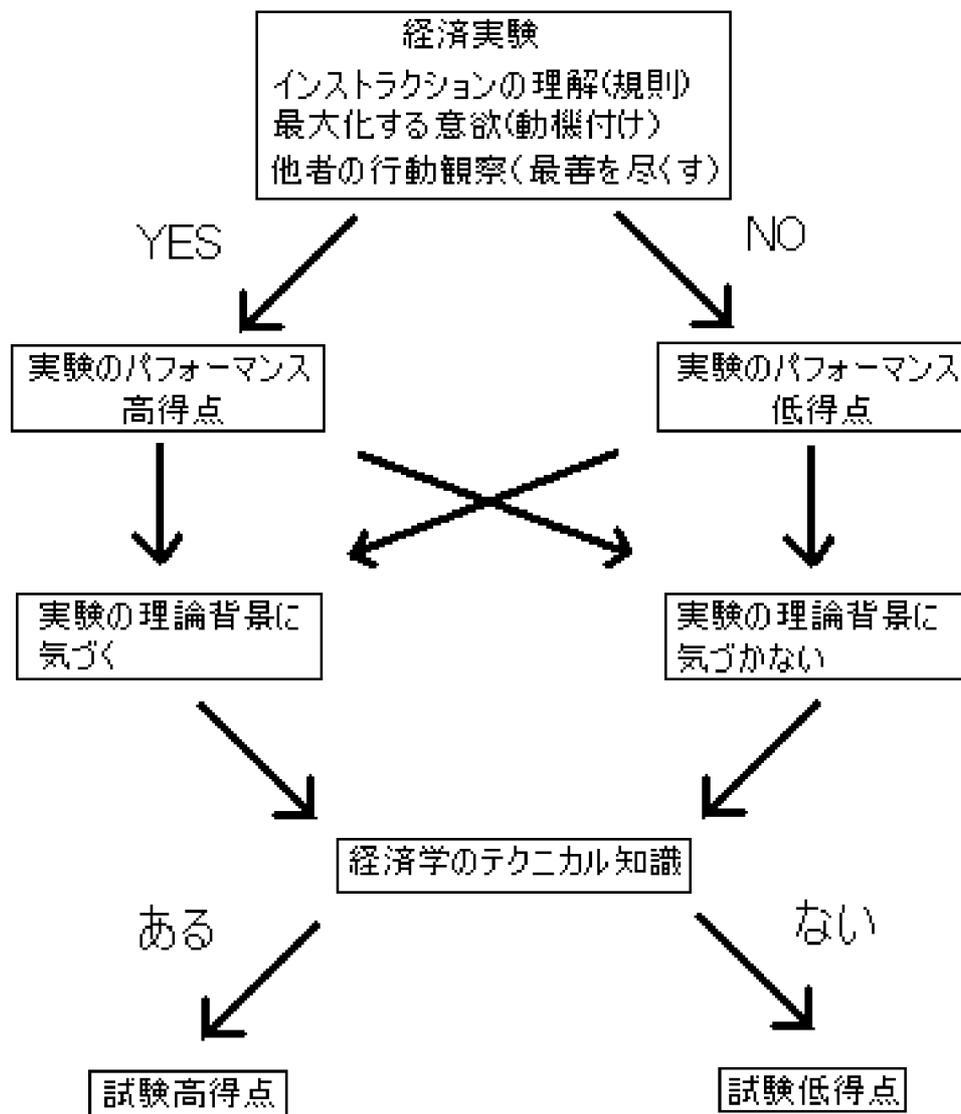


図9 まとめ

ねることによって、実験に臨む態度や気づきなどとの関連を示唆する分析をしたことは、本稿の経済学教育に対する第2の貢献と信じる。

問題の発見は対策につながる。すでに小田(2004)は、教員の作った実験を学生たちに体験させるだけでなく、学生たちに実験を作らせることによって実験について考えさせる教育を始めている。ただし、この方法は少人数の演習においては効果的であるが、多人数科目では教員が作った実験を学生にさせることしかできない。「気づき」の課程に対する理解を深めて適切に実験を設計するとともに、実験と講義をうまく組みあわせて教育効果を上げることが望まれる。

学部教育であれその前後の教育であれ、経済学教育としては、既存の経済の上手な利用法(たとえば株式市場での上手な投資方法)の習得と、経済についての理解(たとえば株式市場は経済全体のためにどのような役

割を果たしているか)を深めることの両方が、教育を受ける本人と社会船体のために望まれている。この観点から、経済実験の望ましい経済学教育への応用を進めていかなければならない。^{*8}

参考文献

- [1] 秋永利明 (2004): 「ミクロ経済学教育の新しい試み」, 『浜松大学論文集』第 17 巻第 2 号, pp.219–230.
- [2] Theodore C. Bergstro and John, H. Miller (2000): *Experiments with Economic Principles Microeconomics*, MacGraw-Hill.
- [3] Douglas D. Davis and Charles A. Holt (1993): “Experimental Economics”, *Princeton University Press*, Princeton, NJ, USA.
- [4] Mark Dickie(2000): “Experimenting on Classroom Experiments:Do They Increase Learning In Introductory Microeconomics?”
- [5] Daniel Friedman and Shyam Sunder (1994): *Experimental Methods A Primer for Economists*, Cambridge University Press; 川越敏司・内木哲也・森徹・秋永利明 (訳) 『実験経済学の原理と方法』 同文館, 1999.
- [6] Dhananjay K. Gode and Shyam Sunder (1993): “Allocative Efficiency of Markets with Zero-Intelligence Traders: Markets as a Partial Substitute for Individual Rationality”, *Journal of Political Economy*, vol. 101, pp. 119–137.
- [7] Douglas, R. Hofstadter (1979): *Gödel, Escher, Bach: A Eternal Golden Braid*, Basic Books, New York; 野崎昭弘・はやしはじめ・柳瀬尚紀 (訳) 『ゲーデル・エッシャー・バッハ』 (1985), 白揚社.
- [8] 小田宗兵衛 (2004): “「経済主体の共創的意思決定」, 上田完次 (編著) 『共創とは何か』 培風館, pp.108-133.
- [9] Vernon L. Smith (1962): “An Experimental Study of Competitive Market Behavior” *Journal of Political Economy*, vol. 70 (no. 3), pp. 111–137.

^{*8} 関連次項についての註を 2 つで述べる。

1. 「実験参加者が自分の利益最大化のために真剣に取りくむことが、自動的に実験参加者に実験者の視点を与え実験についての考察を深めるのではない」ことは、経済実験にとどまらない一般性をもつと信じる。とはいえ、市場は参加者の市場についての学習はおろか市場のなかでの学習すら要求しない体系であることも事実である (Gode and Sunder (1993) は、学習能力をまったくもたないエージェントによる市場実験を行っているが、予算制約をまもらせる (余剰が負になる取引を許さない) だけで、市場全体としてはかなり効率的な取引が実現させることを示している)。じっさいゲーム理論的状况では、ゲームをどう理解するかが重要になり、ゲームの内以最善を尽くそうとすることが自然にゲームについての理解をもたらす可能性がある。本論文の結論がどの程度まで「市場」実験であることに依存するのかについて、いっそうの考察が必用である。

2. 本文では経済実験を学生たちにさせるだけでは学生たちの経済と経済学についての理解を深められないことを強調したが、実験なしの講義や演習の教育的効果も十分ではないことも最後に言及しておかなければならない。じっさい学生たちの多くは「ミクロ経済学入門」などの試験 (費用曲線の形状についての知識を問うたり、費用関数から限界費用関数を導くものもある) で合格点を取っているにも関わらず、具体的な費用構造から市場供給曲線を導けない。このことは学生たちの理解が表面的なものであることを示唆する (別の授業であったが市場供給曲線と市場需要曲線の定義を尋ねたところ、もっとも多い解答はそれぞれ「右上がりの曲線」と「右下がりの曲線」であった)。

経済学教育の効果：協調行動分析からの検証

飯田善郎* 小田秀典†

2006年2月16日

1 はじめに

経済学の教育を受けるとより合理的選択を志向するようになるか否かで過去にいくつかの研究がなされてきた。それぞれの研究の結果には食い違いがあり、またその実験手法に改善の余地のあるものもある。本研究はこの問題をなるべく単純な手法で検証してゆくことを目的とする。

過去の研究は公共財ゲーム、最後通牒ゲーム、ロストレター実験、アンケートなどを使って、人々の協力的な振る舞いがどのような要因に影響を受けるかを研究している。Marwell and Ames (1981) は繰り返しのない公共財ゲームで経済学専攻の学生がより利己的に行動することを明らかにしたが、比較対照のグループが高校生であり、男女比も大きく違っているため、専攻が影響を与えているといえるか不明確である。Carter and Irons (1991) はこれも繰り返しのない最後通牒ゲームで経済専攻の学生がより利己的な選択を行うことを発見した。しかしその最後通牒ゲームでは分配者の役割を別のゲームを行ったうえでその勝者にやらせている。このため、勝者が高い報酬を得るべきであるという考えが経済学専攻の学生においてより強いのか、それとも合理的選択を行う傾向が経済学専攻の学生の方が強いのか、明確でないという問題がある。Frank, Gilovich and Regan (1993) は囚人のジレンマゲームを用いて専攻の差から有意な差を見出した。また、性差や学年も影響があることを指摘した。しかし Seguíno, Stervens and Lutz (1996) では性差や学年の効果は認められるものの、専攻の影響は見出されなかった。

Yezer, Goldfarb, and Poppen (1996) は現金入りの封筒を学生に拾わせ正直に届けるかどうかという実験を行った。結果として経済専攻の学生の方がより正直に届け出ており、経済専攻が必ずしも利己的な行動と結び付けられずむしろ逆の結果となっている。Cox (1998) は公共財実験に近い状況での選択を尋ねるアンケートを行ったが、その結果は学年や年齢の影響は見られるものの、専攻がもたらす影響は必ずしも明確ではない。

これらの研究が示すように、経済学を専攻の学生がより利己的動機に基づいて行動するものであるかについては幾つかの点から検証の余地がある。さらにこれらは欧米の学生が対象となっているが、文化的慣習的要因から同一環境の実験でも国によって行動が異なることを指摘する研究もあ

* 京都産業大学経済学部助教授 iida01@cc.kyoto-su.ac.jp

† 京都産業大学経済学部教授 oda@cc.kyoto-su.ac.jp

り、日本において同様の結果が得られるかは同様の実験を行わなければわからない。また、経済学専攻の学生の行動が他と異なる場合、その理由が経済理論の教育を受けたからなのか、本来自己の利益に機会に敏感であることから経済学を専攻しようと考えたという、本人の生来の性質によるものなのかについても調べる必要がある。

我々は簡単な1回限りの囚人のジレンマゲームを用いて被験者に意思決定をおこなわせ、その後専攻、学年、性別、年齢のデータも併せて収集した。補助的な調査として、協力度や正直度についてのアンケートも行った。調査は京都産業大学オープンリサーチセンター「実験経済学：経済学教育の新しい方法と、それによる経済学教育の社会的効果の研究」のプロジェクトとしてプロジェクト期間を通じて行われ399人の学生が対象となった。

結果としては専攻や性別から統計的に有意な差を見出す事はできなかった。学年別で調べると4年生のみが高い協力度を示しており、これは就職活動など4年生特有の経験が影響を与えている可能性を示唆する。

本稿は次のような構成となっている。まず2章で実験内容について説明し、3章では実験結果を全被験者を対象に分析する。4章では対象を経済学部生に絞って分析する。5章では先行研究と本研究の結果の比較を試みる。6章は結語である。

2 実験とアンケート

2.1 実験

実験はポスターなどの告知で被験者を募集し、実験室に集め、実験内容のルールの説明を行い、コンピュータースクリーン上で2つの戦略のうちどちらかを選ばせる。戦略と利得の関係は表1のようなものである。

表1 利得表

| | | プレイヤー1 | |
|--------|---|--------|-------|
| | | C | D |
| プレイヤー2 | C | 3 \ 3 | 1 \ 4 |
| | D | 1 \ 4 | 1 \ 2 |

ルール説明においてはフレーミングの効果が影響するのを避けるため、協調や裏切りという言葉を使うのは避け、戦略名は単に「C」および「D」と呼称し、そのどちらかを選ぶように指示した。開始前に戦略と利得の関係の理解を確認するためにテストを行い、参加者全員が正解した後に実験を開始する。終了後に後述の Frank, Gilovich and Regan (1993) および Cox (1998) が行ったアンケートを行う。アンケートの最後に本人の専攻、学年、性別、年齢を尋ねる。実験終了後に被験者には得点に応じた報酬を支払う。報酬は点数×100円である。被験者は京都産業大学の全学年、全学部の学生を対象として雇用している。2006年2月現在のサンプルは399名である。実施状況と

参加学部は表2の通り¹である。なお、調査は数年にわたっているが、過去にこの実験を経験したものはデータから排除されており、同一人物の変化を経年で追うものではない。

表2 被験者一覧

| | | | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | Sum | |
|----------|----------|------------|-----------|------|------|------|-----|----|
| Econ | Male | Freshman | 8 | 22 | 3 | 1 | 34 | |
| | | Sophomore | 10 | 21 | 5 | 2 | 38 | |
| | | Junior | 6 | 19 | 2 | 1 | 28 | |
| | | Senior | 1 | 2 | 12 | 1 | 16 | |
| | | Male Sum | 25 | 64 | 22 | 5 | 116 | |
| | Female | Freshman | 0 | 7 | 2 | 0 | 9 | |
| | | Sophomore | 6 | 8 | 2 | 1 | 17 | |
| | | Junior | 1 | 4 | 0 | 1 | 6 | |
| | | Senior | 0 | 3 | 3 | 0 | 6 | |
| | | Female Sum | 7 | 22 | 7 | 2 | 38 | |
| | Sum | | 32 | 86 | 29 | 7 | 154 | |
| | No Econ | | Freshman | 0 | 21 | 17 | 2 | 40 |
| | | | Sophomore | 0 | 12 | 21 | 4 | 37 |
| | | | Junior | 6 | 20 | 18 | 9 | 53 |
| Senior | | | 0 | 11 | 8 | 7 | 26 | |
| Male Sum | | | 6 | 64 | 64 | 22 | 156 | |
| Female | | Freshman | 0 | 10 | 14 | 2 | 26 | |
| | | Sophomore | 0 | 8 | 8 | 3 | 19 | |
| | | Junior | 0 | 9 | 9 | 4 | 22 | |
| | | Senior | 0 | 7 | 10 | 5 | 22 | |
| | | Female Sum | 0 | 34 | 41 | 14 | 89 | |
| Sum | | 6 | 98 | 105 | 36 | 245 | | |
| All | | Male | Freshman | 8 | 43 | 20 | 3 | 74 |
| | | | Sophomore | 10 | 33 | 26 | 6 | 75 |
| | | | Junior | 12 | 39 | 20 | 10 | 81 |
| | Senior | | 1 | 13 | 20 | 8 | 42 | |
| | Male Sum | | 31 | 128 | 86 | 27 | 272 | |
| | Female | Freshman | 0 | 17 | 16 | 2 | 35 | |
| | | Sophomore | 6 | 16 | 10 | 4 | 36 | |
| | | Junior | 1 | 13 | 9 | 5 | 28 | |
| | | Senior | 0 | 10 | 13 | 5 | 28 | |
| | | Female Sum | 7 | 56 | 48 | 16 | 127 | |
| | Sum | | 38 | 184 | 134 | 43 | 399 | |

¹ 他学部の詳細については付表1を参照

2.2 アンケート

アンケートは Frank, Gilovich and Regan (1993) の行った、正直さにかかわる 4 つの質問と、Cox (1998) の行った公共財に対する協力と同質の構造を持つ 4 つの質問を行った。質問内容は以下のようなものである。

正直度調査

ある事業者がパソコンを 10 個購入したところ、請求書には 9 個分の金額しか書かれていませんでした。

1. あなたはこの事業者は正直に 9 個分しかないと売り手に言うと思いますか？
2. あなたが事業者なら正直にミスを売り手に伝えますか？

あなたは 1 万円の入った封筒を落としました。封筒にはあなたの住所と名前が書かれています。

3. 拾った人は所有者（あなた）に返すと思いますか？
4. あなたが拾ったなら、所有者に返しますか？

協力度調査

5. あなたは一番最近の選挙で投票に行きましたか？
6. あなたは海外旅行先の人気のレストランで 3 人の友人にご馳走しました。勘定は 56 ドルでした。あなたについてウェイターは愛想がよく、十分なサービスをあなたに提供しました。あなたはチップを何ドル払いますか？
7. 水不足のため、市がトイレの貯水タンクに水を入れたペットボトルを沈めるように呼びかけています。ペットボトルを入れると水の節約になりますが、トイレの水流は弱くなります。あなたはこの呼びかけに応じますか？
8. あなたが 10000 円持っていて、それを 1 年間投資しなくてはならないとします。クラスのほかの人も同じ条件です。あなたは 10000 円を自由に資産 A と資産 B に分けて投資できます。資産 A はあなたが投資した額に比例して 5 % の利子があなたに支払われます。資産 B はそれに投資した人全員の投資が集められ、それに 10 % の利子がつきます。利子はクラスの間全員に等分に分けられます。たとえばクラスが 20 人で、全体で資産 B に 100000 円集まった時、利子は 10000 円、それを 20 で等分した 500 円が全員に支払われます。このときあなたは資産 B にどれだけ投資しますか？

このうち協力度の質問におけるレストランのチップは日本にこの習慣が無く、適切さで問題がありうる。また選挙は 1,2 年生はまだ選挙権がないため、得られる情報に限界があると考えられるが、参考として質問することとした。

3 分析結果 1:全学部

3.1 経済学部とそれ以外の学部との比較

総サンプル数 399 のうち経済学部生 154 名に対し、経済学部以外の学生は 245 名である。実験結果は図 1 に示される²。経済学部において協力を選択したのは 31.8 %に対して他学部においては 36.3 %と、経済学部のほうがやや協力度は低いが、差はわずかであり、統計的に有意な差ではない。($z=0.499$)

アンケートにおける 1 から 4 の質問 (正直度調査) をみると、事業者の請求ミス の設問では経済学部は他学部よりも他者は正直でない と考える。統計的には 10 %有意に近い水準であるが、そこにすこし及ばない。自分ならどうするかという問いに対しては経済は他学部よりも高い率で自分は正直でない と考える。これは 1 %水準で有意である。落とした財布の問いでは経済学部は他学部とほとんど同じ水準で他者が正直に財布を届けると答えるのに対し、自分が拾った場合は有意に低い水準で自分が正直に落とし主に届けないと答えている。それぞれの質問に対する z 値は $z(1)=1.481$, $z(2)=2.658$, $z(3)=1.062$, $z(4)=2.236$ である。

5 から 8 の質問 (協力度調査) に注目すると選挙を除いて、アンケートの回答の平均値は経済とそれ以外ではほとんど変わらない。それぞれの問いに対する z 値は $z(5)=1.866$, $z(6)=0.717$, $z(7)=0.777$, $z(8)=0.717$ である。10 %水準で有意差が出ているのは Q5 の選挙のみであるが、後述のようにこの結果をそのまま受け入れるのは問題がある。

以上のことから次のような結果が言える。経済学部の実験における協力度は他学部よりも低いが、統計的に有意な差はない。アンケートにおける協力度調査では設問によって他学部よりも協力的であるという結果もその逆の結果も見られたが、統計的に有意な差が現れたのは投票のみであった。ただし投票は時として 1 年以上前のことであるため、自分の行動を正しく記憶していない可能性もあり、そのまま信用してよいかは疑問の余地がある。アンケートにおける正直度調査においては経済学部の学生はほかの学部よりも他者は正直である と考える結果もその逆の結果も得られたがどちらも有意な結果ではなかった。しかし自分が正直に振舞う と考える率はいずれも有意に低かった。

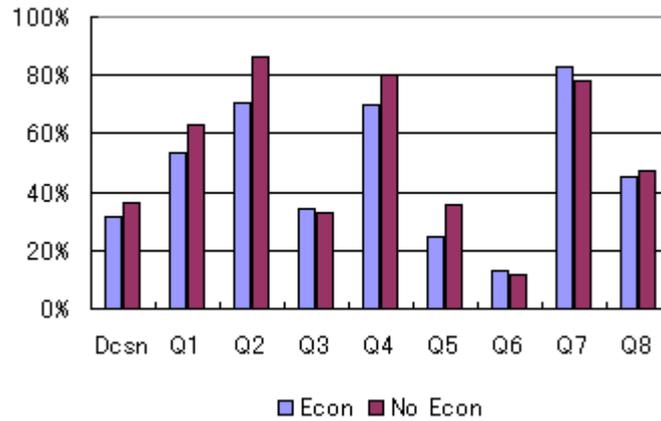
3.2 性差

実験における協力度を確認すると、女子は 36.8 %と男子の 33.8 %よりもわずかに高い協力度を示しているが、統計的に有意ではない。($z=0.468$)

正直度調査ではどの問いでも女子のほうが高い比率で他者や自分が正直に振舞う だろう と考える。しかし統計的に有意なのは Q4 の拾った財布への反応のみで、1 %水準で有意に女子は男子よ

² Dcsn は実験において協調を選択した割合、Q1 から Q 5 および Q7 はアンケートで「はい」を選択した割合、Q6 は平均値を 56 で除した割合、Q8 は平均値を 10000 で除した割合である。以下の図も同様

図1 経済専攻と経済以外専攻

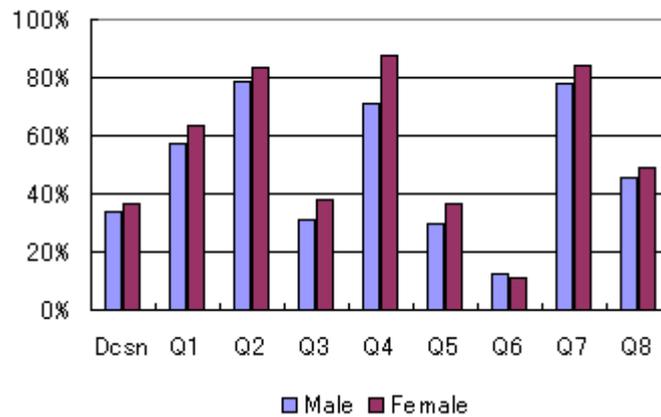


りも高い比率で自分は正直に振舞うと考える。(z(1)=1.216, z(2)=1.117, z(3)=1.290, z(4)=3.521)

協力度調査では Q6 のチップの問いを除いては女子のほうが高い協力度を示す。しかし z 値はそれぞれ (z(5)=0.957, z(6)=0.594, z(7)=1.465, z(8)=1.534) で、統計的に 10 %以上の水準での有意な差は見られない。

女子は男子に比べて社会的モラルにのっとった行動をし、またそのような行動を自分はとると考え、他者もそうすると考える。しかし統計的に有意な差として現れるのは、「拾った財布」という自分にとって極めて具体的に状況のイメージできる状況の場合のみである。

図2 性差



3.3 学年

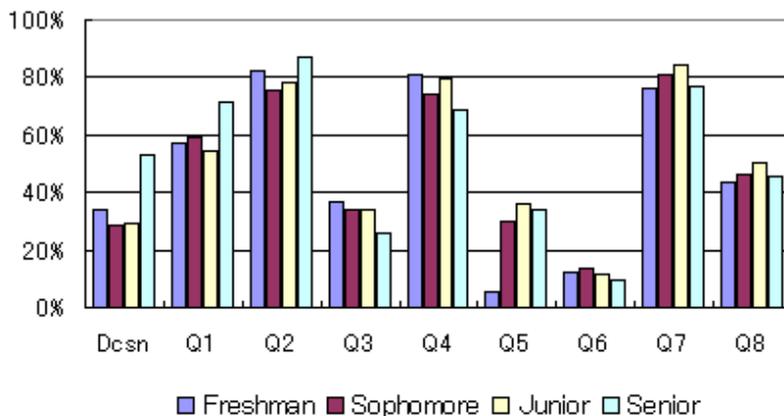
実験の結果を学年ごとに確認すると1年生が33.9%、2年生が28.8%、3年生が29.3%であるのに対して4年生が52.3%と4年生の協力の程度が非常に高い。Kruscal Wallis 検定では5%水準で有意に差が見られる。

アンケートの正直度調査においてはQ1、Q2の請求ミスの問いでは4年生は他の学年と比較してやや他者や自分が正直に振舞うと考える率が高く、Q3、Q4の財布の問いでは他者や自分が正直に振舞うと考える率がやや低いと考えるが、10%水準を満たす有意な差は観察されない。

実験結果と対応する関係にある協力度に関する問いへの答えを見ると4年生の答えは他の学年とあまり変わらない。統計的に有意な差も見当たらない。なお、平均値を見るとQ5において投票に行った率が1年生だけ極めて低いとはいえ正の値がでている。これはそもそもほとんどの1年生が20歳未満であることを考えれば、0であるべきで、被験者の誤答であると考えられる。

実験において4年生の協力度が他の学年と比べて極めて高いが、それに対応するアンケートでは必ずしも他学年と比べて4年生は自分が協力的に行動するとは考えていない。この差はどこから現れるのか、考察の余地がある。

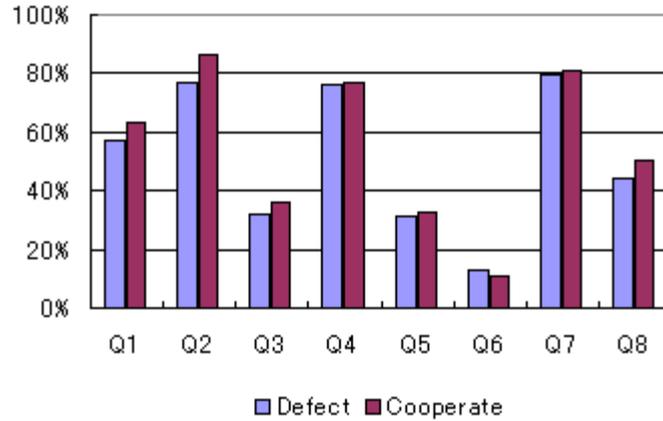
図3 学年



3.4 実験における行動とアンケート結果

実験で協力を選択したものとそうでないもので、後のアンケートへの回答に違いがあるかを見比べると(図4)、Q6のチップの問いをのぞいていずれも協調を選択したもののほうが他者や自分が正直に行動すると考え、また協力的に振舞うと考える。しかし統計的に有意な差があらわれるのはQ2の事業者の請求ミスのみである。Q6のチップの問いでは非協力を選択した被験者のほうが高い水準でかつその差は統計的に有意である。z値はそれぞれ $z(1)=1.1$, $z(2)=2.19$, $z(3)=0.892$, $z(4)=0.127$, $z(5)=0.260$, $z(6)=2.466$, $z(7)=0.438$, $z(8)=1.36$ である。

図4 協調・非協調の選択とアンケート



3.5 経済学部とそれ以外の学部との学年ごとの比較

実験における協力の選択の割合をみると他学部の平均は2年生で一度低くなり、経済の平均を下回る。このときを除いて経済の協力度は他学部の平均よりも低い。しかしどの学年でも統計的に有意な差は観察されず、また学年が進むごとに差が顕著になるなどの傾向は観察されない。

正直度調査では事業者の請求ミスに関する問いにおいては自分も他者も正直に振舞うとする割合が経済学部は相対的に低い。しかし4年生になるとその差はほとんどなくなる。財布における正直度では経済学部の学生は3年生までは他者が正直に振舞うと思う割合が増えてゆくが、4年生になるとまた下がってしまい、他の学部との差はなくなる。また、自分の正直度では4年生で自分が正直に振舞うと考える割合が大きく下がり、他学部を大きく下回る。

協力度調査でも学年が進むにつれて経済学部と他学部との違いが見られるなどといった傾向は観察されない。

経済学部の学生が学年が進むにつれて、他学部と異なる何がしかの特徴を獲得してゆくという結果はこの実験とアンケートにおいては観察されなかった。

4 分析結果2：経済学部生の分析

4.1 性差

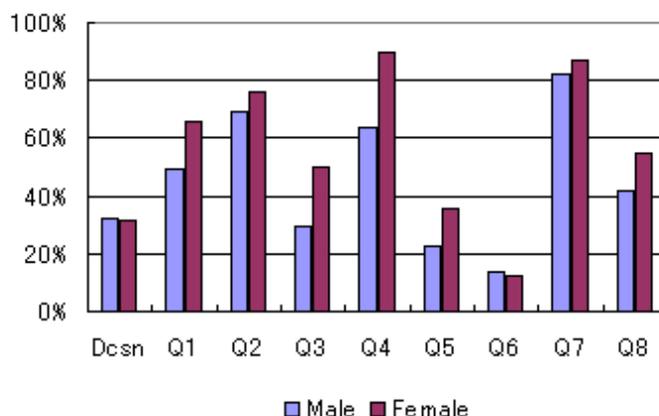
経済学部生だけに注目して結果を検証すると、男が実験において協調を選択する割合が31.9%であるのに対し女子は31.5%でほとんど差はみられない。

正直度調査では平均値はどの質問も女子のほうが高い割合で他者や自分が正直に行動するだろうと答えている。自分が事業者である場合正直に振舞うかを尋ねるQ2を除いて、統計的に有意な差が観察される。 $(z(1)=1.780, z(2)=0.802, z(3)=2.322, z(4)=2.992)$

協力度調査ではチップを除けば平均値では女子のほうが協力的な回答をしている。それぞれの z 値は $z(5)=1.013$, $z(6)=1.101$, $z(7)=0.704$, $z(8)=2.217$ であり、統計的に有意なのは公共財投資の質問のみである。

男子と比較して女子のほうがモラルに従った行動をすると考えている率が高いというのがアンケートの結果であるが、実際の報酬が伴う実験においては男女の差は見られない。

図 5 性差



4.2 学年

実験においては 4 年生の協力度 45.5 % が最も高く、3 年生の 20.6 % が最も低い。1,2 年生はそれぞれ 30.2 % と 34.5 % とほぼ同水準である。なぜいったん下がってから上がるのかの説明は難しいところである。Kruscal Wallis 検定での統計的有意差は見られない。しかし個別に 4 年生と 3 年生だけ抽出して差をとると 5 % 水準での有意差が観察される。

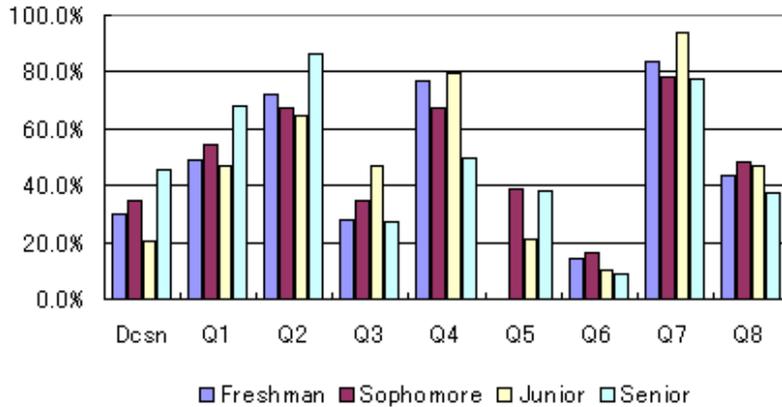
正直度調査では 4 年生が Q1、Q2 の事業者のミスに関する問いにおいては他者や自分が正直に行動すると答える割合が高い。Kruscal Wallis 検定での差は出ないが、各学年ごとに検定すると Q2 では 3 年生と 2 年生に対して 10 % の有意差を示している。しかし落とした財布に関しては 4 年生は他者や自分が正直に行動しないだろうと考えている。これも Kruscal Wallis 検定での差は出ないが、各学年ごとに検定すると Q4 では 3 年生と 1 年生に対して 5 % の有意差を示している。

協力度調査では実際の実験では最も協力度の低かった 3 年生が最も高い割合で節水に協力すると答え、公共財への平均投資額も比較的高い。一方、チップや選挙では低い割合の協力度を示す。

4.3 履修数

経済の学生に対しては、ミクロ理論の理解を前提とすることを講義要項に記している課目の一覧を示し、それを履修したかどうかを尋ねるアンケートを行った。実験の結果を見ると履修数が少ないと協力を選擇する割合が低く、履修が進むと協力の割合が改善する傾向が見られる。しかし、履

図 6 学年



履修数が 3 の被験者の協力度のみ非常に低い。前節の 3 年生の協力度の低さはこの履修数のグループが 3 年生のグループと重なっていると考えられる。逆に 4 より大きい履修者の協力度はきわめて高い。履修数 0 から 6 まででグループ分けをした場合の Kruscal Wallis 検定では差は出ないが、履修数を 0 と 1 以上に分けた場合、 $z=1.727$ で 10 %水準で有意に差が出る。

正直度に関するアンケートでは履修数 0 の被験者は請求ミスでは自分が正直に行動すると答える割合が低いが、財布では相対的に高い割合で自分は正直に振舞うと答えている。他人が正直に振舞うと考える割合は、それが事業の場合でも財布の場合でも相対的に低い。

協力度調査では実験で見られたような差は節水や公共財のアンケートでは現れない。(検定では選挙のみ差が出るが、1 年生の誤答による非常に低い投票率が一因と考えられる。)履修数によるなにかしらの傾向は観察されない。

履修数が 3 のときになぜ協力度が下がるのかが不明であるが、それを除けば履修数が増加するほどに協力度が上がる傾向が観察される。しかしそれに対応するアンケートにおいては同様の事項は観察されない。

4.4 実験における行動とアンケート結果

経済学部生の被験者 154 名中協調を選択したのは 49 名、非協調を選択したのは 105 名である。それぞれの意思決定ごとのアンケートの結果は全体のそれとほとんど同じで、Q6 のチップをのぞいていずれも協調を選択したものの方が他者や自分が正直に行動すると考え、また協力的に振舞うと考える。しかしどれも統計的に有意ではない。($z(1)=0.31$, $z(2)=0.88$, $z(3)=0.41$, $z(4)=0.617$, $z(5)=0.678$, $z(6)=1.63$, $z(7)=0.59$, $z(8)=1.26$)

図7 履修数

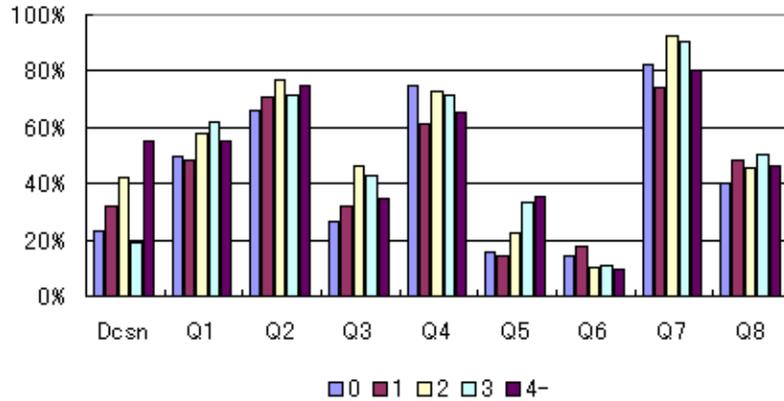
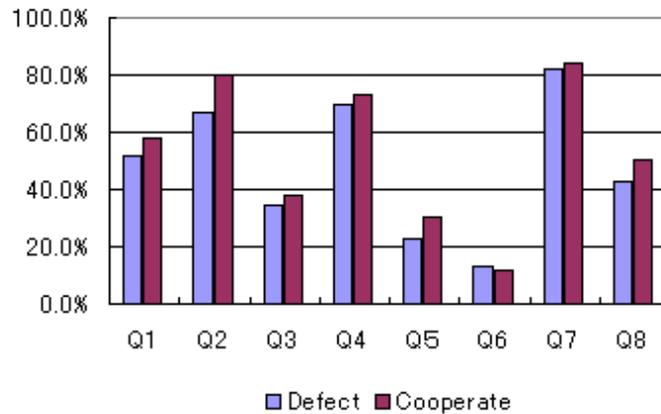


図8 協調・非協調とアンケート



5 先行研究との比較

囚人のジレンマ実験における結果を本研究と類似する、Frank, Gilovich and Regan (1993) の研究と比較すると、Frank, Gilovich and Regan (1993) では経済専攻の学生が 39.6 %の協力度であるのに対し、経済学部以外の学生の協力度は実に 61.2 %であり、統計的に有意な差が出ている。また、学年が進むほどに協力度が上がる傾向や男子の方が協力度が低いことなど、属性による行動の差が明確である。非経済専攻の学生の協力度の高さや、属性による差が明らか点など、本研究で見られる日本の学生の均質的な協力度とは対照的である。

我々が行ったアンケート調査の Q1 から Q 4 は Frank, Gilovich and Regan (1993) とほぼ同じものであるが、Frank, Gilovich and Regan (1993) ではミクロ経済学と天文学の学生の授業開始直後と終了直後にアンケートを行い、その変化を調査するものであり、変化の割合のみが報告されている

ため、この本研究の数値と単純な比較はできない。その結果はミクロ経済学を履修した学生の正直度が減少するというものであり、また囚人のジレンマの実験結果とも一致している。京都産業大学では1年次にミクロおよびマクロの基礎を学ぶが、履修半ばの1年生と単位の取得の成否はともあれ少なくとも授業を受けた2年生以降を比較すると、実験での協調の度合いやアンケートでの正直度は必ずしも下がっていない上、その差は明確なものではない。我々の実験結果を考えるともし我々がまったく同じ実験を行ったとしても、ミクロの履修に伴う明確な変化を観察できるとは期待できないだろう。

協力度調査となるアンケートのQ5からQ8は、Cox(1998)と同様のものである。しかしいくつか前提に違いがあるので単純な比較はできない。例えば最近の選挙に行ったかを尋ねるQ5は、先の選挙の時点でまだ有権者になっていなかったものが多く、また一番最近の選挙が国政選挙などしかなかった場合、先の選挙はかなり前のことになり、そのときの選挙がいつで、そのとき自分に選挙権があったかどうかを本人がはっきり覚えていないなどの要因から、正確な回答は期待できない。また、Q6はもともとチップの習慣がない日本人とそれが常識であるアメリカ人との意識の差を考えると単純な比較も困難だと考えられる。それを踏まえたうえでなるべく近いサンプル分けて比較すると次のようになる。

表3 公共財アンケート比較

| | | Q5 | Q6 | Q7 | Q8 |
|-------------|-------|-------|-----|-------|----------|
| Cox(1998) | 経済・経営 | 64.4% | 7.8 | 69.2% | 57.78\$ |
| | 看護・教育 | 52.7% | 7.7 | 65.2% | 54.41\$ |
| 飯田・小田(2006) | 経済・経営 | 25.7% | 7.0 | 79.0% | ¥4,595.3 |
| | その他 | 37.6% | 6.4 | 81.1% | ¥4,712.6 |

Q5をみると本研究の経済経営の投票率の低さが目立つ。この低さは詳細を見てみると男子学生の投票参加の少なさに原因の多くを求められるが、先述の理由からもあまりあてになるデータとは言いがたい。なお、グループによる有意の差が見られるのはCox(1998)でも本研究でもこのQ5だけでそれ以外のQ6からQ8はグループ間で有意の差は見られない。Q6はチップの習慣の有無の問題がありながらその数値が近いのは興味深い結果である。これが偶然によるものか、支払いの15%程度を適切とする旅行ガイド本などの影響なのかはこのデータのみからは判断するのは困難である。Q7とQ8を見てみると、Q7の方は本研究の方が協力度は高く、Q8の方はCox(1998)の方が高い。この差が有意といえるか否かは元のデータがないとテストできないが、データ数の大きさを考えれば優位の差となる可能性は大きい。しかしその差の原因は明らかでない。基本的にはQ7とQ8は共に公共に対する協力度を問うものであるから、Q7とQ8の差があまり大きくなるのはおかしい。その意味ではCox(1998)の被験者のほうがより整合性の高い選択をしているとは言える。ただ、Q7とQ8の違いはQ7がボランティアに対する協力を問うているようなイメージを抱かせるのに対して、Q8は資産運用をイメージさせる。このようなイメージの差が日米の学生の意識の差を反映させてこの値の差を生み出しているかもしれない。

注意すべきはアンケートが示すのはあくまで仮定での行動であり、現実の行動とは差があるということである。現実問題として、本研究でも Q7 では 8 割弱の被験者が協力を選択し、Q8 では自己資金の平均して 45 %程度を公共投資に投資するとしているが、囚人のジレンマゲームにおいて協力を選択しているのは 30 %程度である。このような言行不一致は、他の研究でも生じているのだろうか。直接的な資料はないが、Frank, Gilovich and Regan (1993) で非経済の学生が 6 割近く協力を選択し、Cox(1998) で 6,7 割の学生が協力を選択することを Q7 で答えている。もしアメリカにおける学生の行動が地域によってあまり変わらないなら、日本比べてアメリカの学生は経済学の学生を除いて言行がより一致しているといえるかもしれない。

6 結語

経済学専攻の学生とはどのような学生であろうか。本研究で得られた結果に基づいて整理するなら、実際に金銭的利益を得られる機会において、必ずしも合理的選択を行わないという点では他学部の学生と変わることはないが、自分が非道徳的な利益を得る機会に面したとき、自分がそれを行うと考える割合が他学部の学生よりもより高いという特徴を持つ学生達である。特にその傾向は男子に強く現れている。なぜこの点のみに差が現れるのかは考察の余地がある。これらは学年や履修数の増加に伴っての増加あるいは減少の傾向は見られず、教育の効果よりは、経済専攻を選択する学生の特徴として捉えるべきものと思われる。

学年や履修の効果では 4 年生の実験での協調の選択の割合の高さが目立つ。しかしこれは経済以外の学生でも見られる傾向であり、経済学部の学生に限らない。なぜ 4 年生だけが特に協調を選択する傾向が高まるのだろうか。ひとつの可能性は多くの 4 年生が就職活動を経験することで、社会に直接触れる機会を多く持つということである。その経験が学生に社会性をもたらす社会的に望ましい選択を志向させるのかもしれない。

本研究からは経済学教育が学生により利己的動機に基づいた行動を引き起こすという結果は観察されなかった。実験における結果だけを見れば性差、専攻などはほとんど影響を与えず、目だったのは 4 年生の協調的選択のみであった。アンケートに注目すると経済専攻の男子は女子と比較して自分がモラルに反する利益機会を利用するだろうと考える傾向があり、その格差は経済以外の学部と比較してより明確である。実験においては見られない男女の差がなぜアンケートでは明確に出るのか。そしてなぜそれが経済学部でのみ見られるのかは検証の余地がある。

参考文献：

Marwell G. and Ames R., (1981) "Economists Free Ride, Does Anyone Else?", *Journal of Public Economics*, Vol. 15, pp. 295-310.

Carter J. and Irons M., (1991) "Are Economists Different, and If So, Why?", *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 5, No. 2, pp. 171-177.

Frank R., Gilovich T. and Regan D., (1993) "Does Studying Economics Inhibit Cooperation ?", *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 10, No.1, pp.187-192.

Yezer A., Goldfarb R., Poppen P., (1996) "Does Studying Economics Discourage Cooperation?", *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 10, No. 1, pp. 177-186.

Cox S., (1998), "Are Business and Economics Students Taught to be Noncooperative?", *Journal of Education for Business*, Vol.74 , pp. 69-74.

Seguino S., Stervens T., Lutz M., (1996) "Gender and Cooperative Behavior: Economic Man Rides Alone" *Feminist Economics* 2(1), pp. 1-21.

付表1 被験者数一覧：他学部

| | | | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | Sum | |
|---------------------|----------|------------|-----------|------|------|------|-----|----|
| Business | Male | Freshman | 0 | 17 | 2 | 0 | 19 | |
| | | Sophomore | 0 | 1 | 6 | 1 | 8 | |
| | | Junior | 0 | 0 | 6 | 0 | 6 | |
| | | Senior | 0 | 5 | 2 | 1 | 8 | |
| | | Male Sum | 0 | 23 | 16 | 2 | 41 | |
| | Female | Freshman | 0 | 9 | 5 | 0 | 14 | |
| | | Sophomore | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | |
| | | Junior | 0 | 1 | 4 | 0 | 5 | |
| | | Senior | 0 | 2 | 1 | 0 | 3 | |
| | | Female Sum | 0 | 12 | 11 | 1 | 24 | |
| | Sum | | 0 | 35 | 27 | 3 | 65 | |
| | Law | Male | Freshman | 0 | 2 | 9 | 1 | 12 |
| | | | Sophomore | 0 | 3 | 6 | 2 | 11 |
| | | | Junior | 0 | 3 | 4 | 4 | 11 |
| Senior | | | 0 | 1 | 2 | 3 | 6 | |
| Male Sum | | | 0 | 9 | 21 | 10 | 40 | |
| Female | | Freshman | 0 | 1 | 6 | 0 | 7 | |
| | | Sophomore | 0 | 5 | 0 | 1 | 6 | |
| | | Junior | 0 | 1 | 2 | 0 | 3 | |
| | | Senior | 0 | 2 | 4 | 2 | 8 | |
| | | Female Sum | 0 | 9 | 12 | 3 | 24 | |
| Sum | | 0 | 18 | 33 | 13 | 64 | | |
| Cultural Studies | | Male | Freshman | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | | | Sophomore | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | | | Junior | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | Senior | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | Male Sum | | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | |
| | Female | Freshman | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | |
| | | Sophomore | 0 | 1 | 3 | 1 | 5 | |
| | | Junior | 0 | 1 | 1 | 1 | 3 | |
| | | Senior | 0 | 1 | 2 | 2 | 5 | |
| | | Female Sum | 0 | 3 | 7 | 4 | 14 | |
| | Sum | | 0 | 3 | 7 | 7 | 17 | |

| | | | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | Sum |
|---------------------|--------|------------|------|------|------|------|-----|
| Foreign Language | Male | Freshman | 0 | 0 | 3 | 0 | 3 |
| | | Sophomore | 0 | 3 | 1 | 0 | 4 |
| | | Junior | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| | | Senior | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 |
| | | Male Sum | 0 | 3 | 7 | 0 | 10 |
| | Female | Freshman | 0 | 0 | 2 | 2 | 4 |
| | | Sophomore | 0 | 2 | 3 | 0 | 5 |
| | | Junior | 0 | 4 | 2 | 2 | 8 |
| | | Senior | 0 | 1 | 2 | 1 | 4 |
| | | Female Sum | 0 | 7 | 9 | 5 | 21 |
| | Sum | | 0 | 10 | 16 | 5 | 31 |
| Science | Male | Freshman | 0 | 2 | 2 | 0 | 4 |
| | | Sophomore | 0 | 5 | 4 | 0 | 9 |
| | | Junior | 6 | 16 | 0 | 0 | 22 |
| | | Senior | 0 | 3 | 2 | 1 | 6 |
| | | Male Sum | 6 | 26 | 8 | 1 | 41 |
| | Female | Freshman | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Sophomore | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| | | Junior | 0 | 2 | 0 | 1 | 3 |
| | | Senior | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| | | Female Sum | 0 | 2 | 2 | 1 | 5 |
| | Sum | | 6 | 28 | 10 | 2 | 46 |
| Engineering | Male | Freshman | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| | | Sophomore | 0 | 0 | 4 | 0 | 4 |
| | | Junior | 0 | 1 | 7 | 4 | 12 |
| | | Senior | 0 | 2 | 0 | 2 | 4 |
| | | Male Sum | 0 | 3 | 12 | 6 | 21 |
| | Female | Freshman | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Sophomore | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Junior | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Senior | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| | | Female Sum | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| | Sum | | 0 | 4 | 12 | 6 | 22 |

付表2 実験およびアンケート結果

| | | | N | Dcsn | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Q7 | Q8 |
|---------|--------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|--------|
| Econ | Male | Freshman | 34 | 0.29 | 0.38 | 0.65 | 0.26 | 0.71 | 0.00 | 7.9 | 0.85 | 4027.9 |
| | | Sophomore | 38 | 0.37 | 0.55 | 0.71 | 0.26 | 0.58 | 0.33 | 8.9 | 0.76 | 4626.3 |
| | | Junior | 28 | 0.25 | 0.46 | 0.61 | 0.43 | 0.75 | 0.22 | 5.6 | 0.93 | 4464.4 |
| | | Senior | 16 | 0.38 | 0.63 | 0.88 | 0.19 | 0.44 | 0.33 | 5.0 | 0.69 | 2906.3 |
| | | M total | 116 | 0.32 | 0.49 | 0.69 | 0.29 | 0.64 | 0.23 | 7.3 | 0.82 | 4174.6 |
| | Female | Freshman | 9 | 0.33 | 0.89 | 1.00 | 0.33 | 1.00 | 0.00 | 6.9 | 0.78 | 5555.6 |
| | | Sophomore | 17 | 0.29 | 0.53 | 0.59 | 0.53 | 0.88 | 1.00 | 8.3 | 0.82 | 5247.1 |
| | | Junior | 6 | 0.00 | 0.50 | 0.83 | 0.67 | 1.00 | 0.17 | 4.2 | 1.00 | 5583.3 |
| | | Senior | 6 | 0.67 | 0.83 | 0.83 | 0.50 | 0.67 | 0.50 | 4.3 | 1.00 | 6000.0 |
| | | F total | 38 | 0.32 | 0.66 | 0.76 | 0.50 | 0.89 | 0.36 | 6.7 | 0.87 | 5492.1 |
| | M+F | Freshman | 43 | 0.30 | 0.49 | 0.72 | 0.28 | 0.77 | 0.00 | 7.7 | 0.84 | 4347.7 |
| | | Sophomore | 55 | 0.35 | 0.55 | 0.67 | 0.35 | 0.67 | 0.38 | 8.7 | 0.78 | 4818.2 |
| | | Junior | 34 | 0.21 | 0.47 | 0.65 | 0.47 | 0.79 | 0.21 | 5.4 | 0.94 | 4661.8 |
| | | Senior | 22 | 0.45 | 0.68 | 0.86 | 0.27 | 0.50 | 0.38 | 4.8 | 0.77 | 3750.0 |
| total | | 154 | 0.32 | 0.53 | 0.71 | 0.34 | 0.70 | 0.25 | 7.1 | 0.83 | 4499.7 | |
| No Econ | Male | Freshman | 40 | 0.35 | 0.65 | 0.93 | 0.40 | 0.80 | 0.00 | 7.3 | 0.70 | 4456.4 |
| | | Sophomore | 37 | 0.22 | 0.62 | 0.86 | 0.35 | 0.76 | 0.21 | 7.8 | 0.78 | 4394.6 |
| | | Junior | 53 | 0.34 | 0.57 | 0.79 | 0.30 | 0.75 | 0.43 | 6.6 | 0.77 | 5218.5 |
| | | Senior | 26 | 0.58 | 0.77 | 0.88 | 0.23 | 0.77 | 0.35 | 5.7 | 0.73 | 4943.5 |
| | | M total | 156 | 0.35 | 0.63 | 0.86 | 0.33 | 0.77 | 0.35 | 6.9 | 0.75 | 4781.8 |
| | Female | Freshman | 26 | 0.38 | 0.58 | 0.85 | 0.46 | 0.88 | 0.50 | 4.8 | 0.73 | 4123.7 |
| | | Sophomore | 19 | 0.26 | 0.68 | 0.79 | 0.32 | 0.89 | 0.33 | 4.7 | 0.95 | 4526.3 |
| | | Junior | 22 | 0.32 | 0.59 | 0.95 | 0.23 | 0.91 | 0.47 | 8.4 | 0.86 | 5273.1 |
| | | Senior | 22 | 0.55 | 0.68 | 0.86 | 0.27 | 0.77 | 0.29 | 5.0 | 0.82 | 4840.9 |
| | | F total | 89 | 0.38 | 0.63 | 0.87 | 0.33 | 0.87 | 0.37 | 5.7 | 0.83 | 4671.1 |
| | M+F | Freshman | 66 | 0.36 | 0.62 | 0.89 | 0.42 | 0.83 | 0.17 | 6.3 | 0.71 | 4325.3 |
| | | Sophomore | 56 | 0.23 | 0.64 | 0.84 | 0.34 | 0.80 | 0.24 | 6.8 | 0.84 | 4439.3 |
| | | Junior | 75 | 0.33 | 0.57 | 0.84 | 0.28 | 0.80 | 0.44 | 7.1 | 0.80 | 5234.5 |
| | | Senior | 48 | 0.56 | 0.73 | 0.88 | 0.25 | 0.77 | 0.32 | 5.4 | 0.77 | 4896.5 |
| total | | 245 | 0.36 | 0.63 | 0.86 | 0.33 | 0.80 | 0.36 | 6.5 | 0.78 | 4741.6 | |
| All | Male | Freshman | 74 | 0.32 | 0.53 | 0.80 | 0.34 | 0.76 | 0.00 | 7.6 | 0.77 | 4259.5 |
| | | Sophomore | 75 | 0.29 | 0.59 | 0.79 | 0.31 | 0.67 | 0.27 | 8.4 | 0.77 | 4512.0 |
| | | Junior | 81 | 0.31 | 0.53 | 0.73 | 0.35 | 0.75 | 0.35 | 6.2 | 0.83 | 4957.8 |

| | | N | Dcsn | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Q7 | Q8 |
|--------|-----------|-----|------|------|------|------|------|------|-----|------|--------|
| | Senior | 42 | 0.50 | 0.71 | 0.88 | 0.21 | 0.64 | 0.34 | 5.4 | 0.71 | 4167.4 |
| | M total | 272 | 0.34 | 0.57 | 0.79 | 0.31 | 0.71 | 0.30 | 7.1 | 0.78 | 4522.9 |
| Female | Freshman | 35 | 0.37 | 0.66 | 0.89 | 0.43 | 0.91 | 0.33 | 5.3 | 0.74 | 4491.9 |
| | Sophomore | 36 | 0.28 | 0.61 | 0.69 | 0.42 | 0.89 | 0.50 | 6.4 | 0.89 | 4866.7 |
| | Junior | 28 | 0.25 | 0.57 | 0.93 | 0.32 | 0.93 | 0.39 | 7.5 | 0.89 | 5339.6 |
| | Senior | 28 | 0.57 | 0.71 | 0.86 | 0.32 | 0.75 | 0.33 | 4.8 | 0.86 | 5089.3 |
| | F total | 127 | 0.36 | 0.64 | 0.83 | 0.38 | 0.87 | 0.37 | 6.0 | 0.84 | 4916.7 |
| M+F | Freshman | 43 | 0.30 | 0.51 | 0.74 | 0.40 | 0.84 | 0.34 | 6.1 | 0.84 | 5262.9 |
| | Sophomore | 55 | 0.36 | 0.62 | 0.87 | 0.38 | 0.78 | 0.40 | 6.3 | 0.82 | 5085.2 |
| | Junior | 34 | 0.50 | 0.74 | 0.85 | 0.15 | 0.62 | 0.36 | 4.9 | 0.74 | 4177.4 |
| | Senior | 22 | 0.55 | 0.68 | 0.86 | 0.36 | 0.68 | 0.33 | 5.0 | 0.91 | 5568.2 |
| | total | 399 | 0.35 | 0.59 | 0.80 | 0.33 | 0.76 | 0.32 | 6.7 | 0.80 | 4648.2 |

第4部
市場の実験



ELSEVIER

The Journal of Socio-Economics xxx (2006) xxx–xxx

**The Journal of
Socio-
Economics**

www.elsevier.com/locate/econbase

A middleman in an ambiguous situation—Experimental evidence

Kazuhiro Ogawa^{a,*}, Yuhsuke Koyama^b, Sobei H. Oda^c

^a Faculty of International Studies, Hiroshima City University, 3-4-1 Ozuka-higashi, Asaminami-ku, Hiroshima 731-3194, Japan

^b Department of Computational Intelligence and Systems Science, Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology: 4259 Nagatsuta-cho, Midori-ku Yokohama 226-8502, Japan

^c Faculty of Economics, Kyoto Sangyo University Motoyama, Kamikamo, Kita, Kyoto 603-8555, Japan

Received 31 May 2003; accepted 21 November 2005

Abstract

This paper describes how undergraduates play intermediaries. A series of experiments was conducted to see how subjects play the monopolistic intermediary against given but unknown supply and demand. The results show that most subjects search for the bid and the ask prices that equalise the purchasing quantity with the selling quantity; then, keeping the trading quantity, they adjust the prices to obtain a locally maximum profit. This suggests that monopolistic firms can act as intermediaries even if they are not as informed as they are supposed to be discussed in the market microstructure theory. In addition, we investigate how people cope with ambiguity.

© 2006 Elsevier Ltd. All rights reserved.

JEL classification: C91; L12

Keywords: Market microstructure; Middleman; Experimental economics; Two-stage search

1. Introduction

It is a widely held premise that a market is said to be in equilibrium if demand equals supply. Certainly, if every unit of a commodity is traded at the equilibrium price, the number of units that buyers are willing to purchase at that price equals the number of units the sellers are ready to sell. Yet a question arises: How, why and by whom is the equilibrium price found and enforced on all traders? The general equilibrium theory tacitly assumes an auctioneer, who repeats auctions until

* Corresponding author. Tel.: +81 82 830 1540.

E-mail address: kz-ogawa@intl.hiroshima-cu.ac.jp.

he or she finds the equilibrium price set and then lets all market participants trade at that price set. This theory, however, does not explain why most markets actually function without such an altruistic, tireless, and exceedingly capable auctioneer.

Market microstructure theory (O'Hara, 1995; Spulber, 1996, 1999, 2002) posits that some market participants say monopolistic firms, voluntarily act as auctioneers to earn profits. The theory explains price formulation in terms of a profit-seeking in-market agents' conscious strategy. By posting prices at which they will buy and sell at their own risk, the acting auctioneers decrease the uncertainty under which other traders buy and sell, which activity brings them profit, or the margin between the two prices. In other words, market microstructure theory lies between the traditional equilibrium theory that does not deduce, but assumes, equilibrium, and the extreme self-organization theory that insists that some order can emerge through interactions among homogeneous agents. Market microstructure theory explains price formulation as a consequence of price setters' purposeful behavior.

We have designed a single-person game to examine whether monopolistic firms can act as intermediaries if they are not as fully informed as they are supposed to be in the basic model of market microstructure theory. We have recruited undergraduates to play the game, in which they are asked to determine the bid and ask prices repeatedly against given but unknown supply and demand curves as monopolistic intermediaries. Most of them showed good performance, which suggests that monopolistic firms could act as intermediaries even if they are not fully informed.

The experimental results also describe how people cope with ambiguity. Most subjects made a two-stage search: they first searched for a pair including the bid price and the ask price that would equalise the quantity they could buy with the quantity they could sell; then, while keeping the trading quantity, they adjusted the prices to obtain a locally maximum profit. By using general knowledge and the power of inference, they set a sub-goal to solve a problem whose details were unknown. Using such a rule and the general properties of supply and demand curves, our subjects can decrease ambiguity and increase profits steadily.

This paper is organised in the following way. In Section 2, we shall present the basic market microstructure model as well as its experimental design. In Section 3, we shall examine how subjects behaved in the experiments in details, and in Section 4, we shall refer to the ambiguity model to explain our subjects' behaviour. In Section 5, we shall discuss our experiment in a broader context to conclude our analysis.

2. The model

Let us recall the simplest demand and supply analysis: the market equilibrium is determined at the intersection of the supply and demand curves. Yet how can it be realised?

Walras assumes an auctioneer who is expected to repeat auctions until he discovers the equilibrium price (Blaug, 1996, p. 555 and 673). One difficulty with this explanation is that the auctioneer is assumed to be a sincere altruist who earns nothing for himself in order to maximise the sum of the sellers' and buyers' surplus. Since it presumes an outsider's free effort to discover the equilibrium price set, Walras' example cannot be an endogenous explanation of the market equilibrium.

Spulber (1999, pp. 30–32) assumes monopolistic intermediaries who organise markets to earn profits. See Fig. 1, where the market supply and demand curves are shown for a commodity. Suppose that there is a monopolistic intermediary in the market. If she knows the supply and demand functions, the intermediary can readily calculate the bid price w (the price at which she

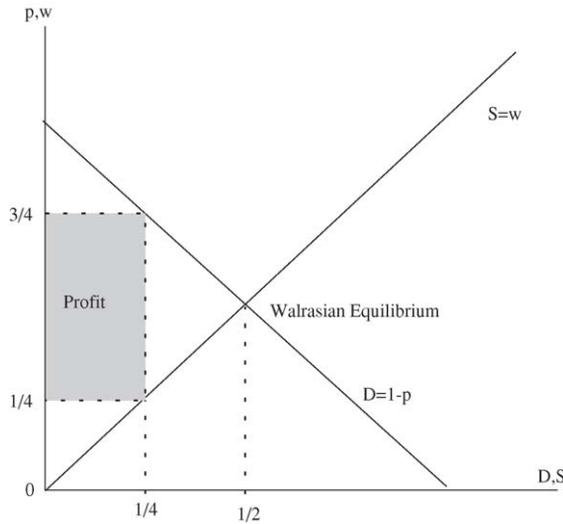


Fig. 1. The basic intermediation model.

buys the commodity from its sellers) and the ask price p (the price at which she sells the commodity to its buyers) that maximise her profit margin; if she posts 0.25 to the sellers as w and 0.75 to the buyers as p , she buys and sells 0.25 units to gain the maximum profit 0.125 ($=0.25(0.75 - 0.25)$). The Walrasian equilibrium is realised if she chooses 0.5 as w and p , but there is no reason for her to do so, as then she earns nothing. That is an endogenous explanation of the emergence of the market order.¹

We have designed a single-person game to determine whether subjects can act as the monopolistic intermediary if they lack the prior knowledge of the curves. This is because it appears too strong to be satisfied in the real economy to assume that monopolistic intermediaries know the supply and demand curves for their inputs and outputs.

In the game the player is asked to determine, as the monopolistic intermediary of a commodity, the bid price w and the ask price p to earn the profit margin: $\pi = py - wx$ where x represents the number of units of the commodity he or she buys from its producers, while y stands for the number of units of the commodity he or she sells to its consumers. We have designed two market treatments to determine x and y : *the stock market treatment* and *the fish market treatment*. Under the former treatment, subjects are allowed to refuse to buy or sell some units at the prices they have chosen, while under the latter treatment, they must accept all sell orders at the bid price they have determined. That is to say, the intermediary’s trading volume and profit are determined by

$$\begin{cases} x = y = \min(S(w), D(p)) \\ \pi = (p - w) \min(S(w), D(p)) \end{cases} \quad (1)$$

¹ A few remarks may be called for here. First, we ignore such unrealistic cases where the intermediary’s profit cannot be maximized by a finite value of the bid price or the ask price; this is the case in Fig. 1 if the demand curve $D = 1 - p$ is replaced with $D = x^{-1}$. Secondly, the explanation is not perfectly endogenous, meaning that a trader is privileged to be the monopolistic intermediary. The emergence of an intermediary is another topic, which we do not discuss in this paper.

under the stock market treatment, while they are

$$\begin{cases} x = S(w) \geq y = \min(S(w), D(p)) \\ \pi = py - wx = (p - w) \min(S(w), D(p)) + w \min(0, (D(p) - S(w))) \end{cases} \quad (2)$$

under the fish market treatment. Here, $S(w)$ and $D(p)$ represent the market supply function and the market demand function, respectively. The only difference between the two treatments is that the dead inventory, or the number of units which are bought but not sold, $\min(0, (S(w) - D(p)))$, is always zero under the stock market treatment, whereas it can be positive under the fish market treatment.

Most traders in futures market – to put it more correctly, all traders except for the actual producers and users of the commodities – could be considered to be the middlemen under the stock market treatment, while the retailers of consumers non-durables would be regarded as the intermediaries under the fish market treatment. Under the stock market treatment the middlemen can cancel buying (selling) orders if they receive more (less) selling orders than buying orders. Under the fish market treatment the intermediaries must purchase all units at the posted bid price w . If they get more selling orders than buying orders, they have only to cancel the excess selling orders just as they do under the stock market treatment. Yet if they get more buying orders than selling orders, they are not allowed to cancel the excess buying orders; then they must purchase the unsalable units too, which will be lost in vain.

It has no essential effect on the structure of reward under which market treatment the experiment is done. In fact, under either market treatment $S(w) = D(p)$ is a necessary condition for maximising profit $\pi(w, p)$; the pair of w and p that realises the maximum profit, as well as its value, common to both treatments. Thus we shall not mention the market treatment explicitly in the following pages unless it is required.

The only difference is that for any price pair (w, p) , profit is smaller under the fish market (if $S(w) > D(p)$) or the same under either treatment (if $S(w) \geq D(p)$). In other words, loss from $S(w) \neq D(p)$ is unconditionally harder under the fish market treatment and it is asymmetric: subjects suffer from the burden of dead inventory only if $S(w) > D(p)$. The overall effect of the disadvantageous fish market treatment on the subjects' performance will be mentioned at the beginning of the next section, while its asymmetric effect on their behaviour will be examined at the end of Section 4. Except for these differences there are no theoretical or practical differences between the market treatments.

We recruited 51 undergraduates from Kyoto Sangyo University through an advertisement on the WWW that promised a monetary reward contingent on performance in the game, and performed the experiment at the Kyoto Sangyo University Experimental Economics Laboratory (KEEL) on the 25 May and 5 June 2002.

In total, 25 and 26 subjects took part in the stock market and the fish market treatment, respectively. Each subject played the monopolistic intermediary for three sessions each for twenty rounds under the same market treatment. The supply and demand functions were replaced as the session changed. Fig. 2 shows the three sets of functions, which were used commonly for both market treatments.² As Table 1 shows, the order of appearance of three problems is different

² In fact, as Fig. 2 shows, the supply function was common to all the three sessions. The subjects do not seem to have realised it; they did not change p and w significantly differently (in terms of frequency) and in the questionnaire after the experiment no subjects mentioned that they might have faced with the same supply curve. Thus, we could safely claim that the subject was faced with similarly ambiguous supply and demand functions throughout the experiment.

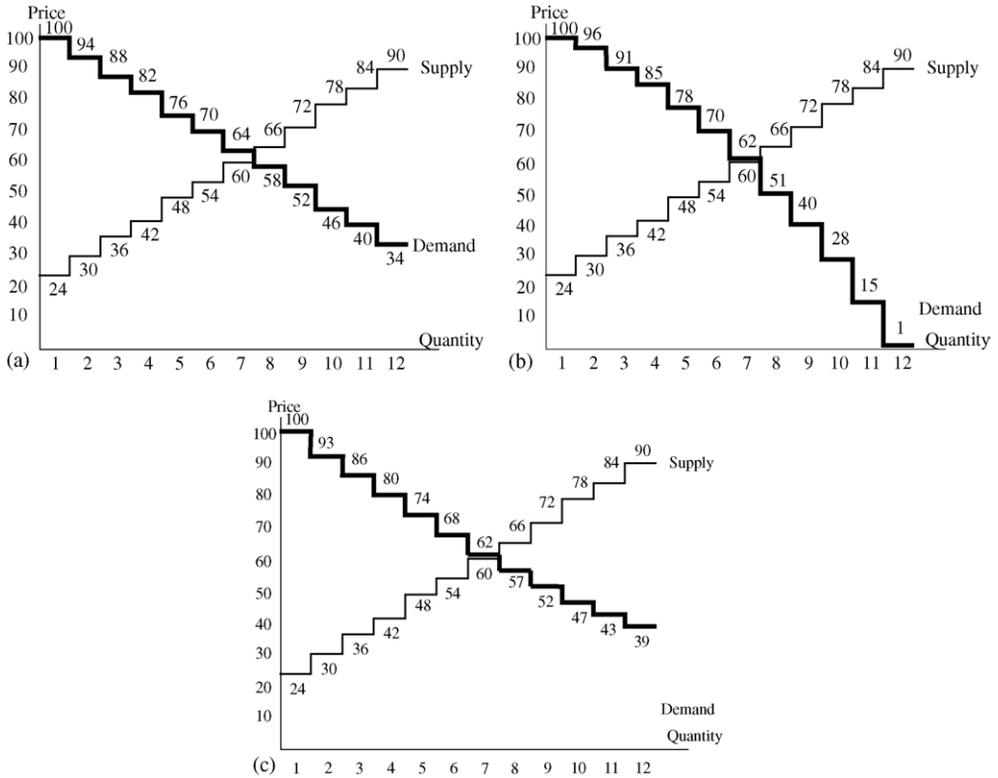


Fig. 2. Demand and supply functions: (a) Problem 1, (b) Problem 2 and (c) Problem 3.

from subject to subject. Here, “session” is used to indicate the order of appearance. A problem is defined by a set of supply and demand functions; the problem represented by Fig. 2(a) is always referred to as Problem 1 in whichever session it is played. Sessions are mentioned according to the order in which the three problems are played; as an example session one stands for the first experiment, which is problem one for subject one, problem two for subject six, etc. (see Table 1). In each session, subjects were asked to choose two integers between 1 and 100 as w and p . Since the system is programmed to reject such an input as $w > p$ and to request another input, there were 4900 pairs of prices from which one could choose.

Details of the experiment mentioned above were written in the instruction manual and read by the instructor prior to the subjects playing a 10-round training session. Apart from the exact forms

Table 1
The appearance order

| Subject number | Session-1 | Session-2 | Session-3 |
|----------------|-----------|-----------|-----------|
| 1–5 | Problem 1 | Problem 2 | Problem 3 |
| 6–9 | Problem 1 | Problem 3 | Problem 2 |
| 10–13 | Problem 2 | Problem 1 | Problem 3 |
| 14–17 | Problem 2 | Problem 3 | Problem 1 |
| 18–21 | Problem 3 | Problem 1 | Problem 2 |
| 22–last | Problem 3 | Problem 2 | Problem 1 |

Table 2
The difference in profit

| Market | Stock | Fish |
|------------------------|-----------------|-----------------|
| Average total profit | 8058.88 (83.3%) | 6623.77 (68.4%) |
| Statistical difference | | 850 (8.8%) |
| z-Value | | 1.65* |

* Significant at the 5% level in one-tailed test.

of the supply and demand curves, we should also mention that $S(w)$ is non-decreasing while $D(p)$ is non-increasing. In addition, to make each subject's decision-making easier, the history of his or her choices and results (w, p, x, y and π) were shown on their monitors for each session. In fact, although it was not mentioned to the subjects explicitly, their decision making was made more difficult by our setting of the supply and demand functions.

Figs. 3–8 show the values of $S(w)$ (in the lower margin), $D(p)$ (in the right margin) and $\pi(w, p)$ (in the interior) for $30 \leq w \leq 53$ (in the upper margin) and $70 \leq p \leq 100$ (in the upper margin).

Since the demand and supply curves are stepped, the domain of (w, p) is divided into those rectangles where $S(w) = \bar{S}$ and $D(p) = \bar{D}$. For example, the deep grey rectangle stands for those price pairs that realise $S(w) = 4$ and $D(p) = 2$ in Fig. 3, while a light grey rectangle represents those price pairs that realise $S(w) = D(p) = \bar{z}$ in Figs. 3–8. In each rectangle, $\pi(w, p)$ increases as w decreases and/or p increases so that it reaches the largest at the upper-left corner, where $w = \min_{S(w)=\bar{S}} w$ and $p = \max_{D(p)=\bar{D}} p$ (in the above-mentioned deep grey rectangle, profit is maximised at $(w, p) = (42, 94) = (\min_{S(w)=4} w, \max_{D(p)=\bar{D}} p)$. As is common to all three problems, profit at the upper-left corner is maximum in every rectangle. Thus, the surface of $\pi(w, p)$ is rough.

The graph has a unique peak for all (p, w) if the demand and supply functions are such linear function as in Fig. 1, but it has a number of local peaks for our problems. Local peaks are located at the upper-left corners of the rectangles which satisfies $S(w) = D(p)$. To illustrate it, we can check how $\pi(w, p)$ varies along $w + p = 124$ for Problem 1. In Fig. 3, we can see that the line (in other words, $S(w) = D(p)$ for $w + p = 124$) and the local peaks are at the upper-left corners of those light grey rectangles. As Fig. 9 shows, the graph has local peaks at $(w, p) = (48, 76), (42, 82), (36, 88), \dots$ for Problem 1.

The monetary reward (yen) was calculated in the following way: 0.3(total profit) for the experiments under the stock market treatment, and $600 + 0.25(\text{total profit})$ under the fish market treatment. In the stock market treatment the maximum, the average and the minimum reward were 2710, 2422 and 1710 yen, respectively, while in the fish market treatment they were 2800, 2260 and 1330 yen, respectively. The subjects' actual working hours totaled about 2 h, while the average hourly rate for part-time jobs available for undergraduates is about 800 yen.

3. Observation

3.1. The dynamics of π

First, subjects' profit was smaller under the fish market treatment than it was under the stock market treatment. See Table 2, where profit difference is significant between the market treatments at the 5% level for all problems. This is quite understandable because for any pair of w and p profit is smaller under the fish market treatment (if $S(w) < D(p)$) or the same in either treatment (if $S(w) \geq D(p)$).

| | 2 | | | | | | | | | | 3 | | | | | | | | | | 4 | | | | | | | | | | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| D(p) | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | | | | |
| S(w) | 100 | 69 | 68 | 67 | 66 | 65 | 64 | 63 | 62 | 61 | 60 | 59 | 58 | 57 | 56 | 55 | 54 | 53 | 52 | 51 | 50 | 49 | 48 | 47 | 100 | 69 | 68 | 67 | 66 | 65 | 64 | 63 | 62 | 61 | 60 | 59 | 58 | 57 | 56 | 55 | 54 | 53 | 52 | 51 | 50 | 49 | 48 | 47 | 100 | 69 | 68 | 67 | 66 | 65 | 64 | 63 | 62 | 61 | 60 | 59 | 58 | 57 | 56 | 55 | 54 | 53 | 52 | 51 | 50 | 49 | 48 | 47 | 100 | 69 | 68 | 67 | 66 | 65 | 64 | 63 | 62 | 61 | 60 | 59 | 58 | 57 | 56 | 55 | 54 | 53 | 52 | 51 | 50 | 49 | 48 | 47 | | | | |
| 1 | 97 | 67 | 66 | 65 | 64 | 63 | 62 | 61 | 60 | 59 | 58 | 57 | 56 | 55 | 54 | 53 | 52 | 51 | 50 | 49 | 48 | 47 | 46 | 45 | 91 | 66 | 65 | 64 | 63 | 62 | 61 | 60 | 59 | 58 | 57 | 56 | 55 | 54 | 53 | 52 | 51 | 50 | 49 | 48 | 47 | 46 | 45 | 44 | 94 | 128 | 126 | 124 | 122 | 120 | 118 | 116 | 114 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 93 | 126 | 124 | 122 | 120 | 118 | 116 | 114 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | | |
| 2 | 92 | 124 | 122 | 120 | 118 | 116 | 114 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 91 | 122 | 120 | 118 | 116 | 114 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 89 | 118 | 116 | 114 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 88 | 116 | 114 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 |
| 3 | 87 | 114 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 86 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 85 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 84 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | | | | |
| 4 | 79 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 77 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 76 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 75 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | | | | |
| 5 | 73 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 72 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | 71 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 | 70 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 | 36 | | | | |
| 6 | 70 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 | 36 | 69 | 79 | 77 | 75 | 73 | 71 | 69 | 67 | 65 | 63 | 61 | 59 | 57 | 55 | 53 | 51 | 49 | 47 | 45 | 43 | 41 | 39 | 37 | 35 | 68 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 | 36 | 34 | 67 | 77 | 75 | 73 | 71 | 69 | 67 | 65 | 63 | 61 | 59 | 57 | 55 | 53 | 51 | 49 | 47 | 45 | 43 | 41 | 39 | 37 | 35 | 33 | | | | |

Fig. 3. $S(w)$, $D(p)$ and $\pi(w, p)$: Problem 1 under the stock market treatment.

| D(p) | 2 | | | | | | | | | | 3 | | | | | | | | | | 4 | | | | | | | | | | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | S(w) p/w | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | S(w) p/w | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | S(w) p/w | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | S(w) p/w | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 100 | 70 | 69 | 68 | 67 | 66 | 65 | 64 | 63 | 62 | 61 | 60 | 59 | 58 | 57 | 56 | 55 | 54 | 53 | 52 | 51 | 50 | 49 | 48 | 47 | 100 | 70 | 69 | 68 | 67 | 66 | 65 | 64 | 63 | 62 | 61 | 60 | 59 | 58 | 57 | 56 | 55 | 54 | 53 | 52 | 51 | 50 | 49 | 48 | 47 | 46 | 100 | 70 | 69 | 68 | 67 | 66 | 65 | 64 | 63 | 62 | 61 | 60 | 59 | 58 | 57 | 56 | 55 | 54 | 53 | 52 | 51 | 50 | 49 | 48 | 47 | 46 | 45 | 100 | 70 | 69 | 68 | 67 | 66 | 65 | 64 | 63 | 62 | 61 | 60 | 59 | 58 | 57 | 56 | 55 | 54 | 53 | 52 | 51 | 50 | 49 | 48 | 47 | 46 | 45 | 44 |
| 2 | 96 | 132 | 130 | 128 | 126 | 124 | 122 | 120 | 118 | 116 | 114 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 95 | 130 | 128 | 126 | 124 | 122 | 120 | 118 | 116 | 114 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 93 | 126 | 124 | 122 | 120 | 118 | 116 | 114 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 92 | 124 | 122 | 120 | 118 | 116 | 114 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | | | |
| 3 | 91 | 122 | 120 | 118 | 116 | 114 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 89 | 118 | 116 | 114 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 88 | 116 | 114 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 86 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | | | | | | |
| 4 | 84 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 83 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 82 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 81 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | | | | | | |
| 5 | 78 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 77 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 76 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 75 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | | | | | | |
| 6 | 72 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | 71 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 | 70 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 | 36 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fig. 4. $S(w)$, $D(p)$ and $\pi(w, p)$: Problem 2 under the stock market treatment.

| D(p) | 3 | | | | | | | | | | 4 | | | | | | | | | | 5 | | | | | | | | | |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|--|--|--|
| | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | | | | | | |
| 1 | 100 | 70 | 69 | 68 | 67 | 66 | 65 | 64 | 63 | 62 | 61 | 60 | 59 | 58 | 57 | 56 | 55 | 54 | 53 | 52 | 51 | 50 | 49 | 48 | 47 | | | | | |
| | 99 | 68 | 67 | 66 | 65 | 64 | 63 | 62 | 61 | 60 | 59 | 58 | 57 | 56 | 55 | 54 | 53 | 52 | 51 | 50 | 49 | 48 | 47 | 46 | 45 | | | | | |
| | 98 | 67 | 66 | 65 | 64 | 63 | 62 | 61 | 60 | 59 | 58 | 57 | 56 | 55 | 54 | 53 | 52 | 51 | 50 | 49 | 48 | 47 | 46 | 45 | 44 | | | | | |
| | 97 | 66 | 65 | 64 | 63 | 62 | 61 | 60 | 59 | 58 | 57 | 56 | 55 | 54 | 53 | 52 | 51 | 50 | 49 | 48 | 47 | 46 | 45 | 44 | 43 | | | | | |
| | 96 | 65 | 64 | 63 | 62 | 61 | 60 | 59 | 58 | 57 | 56 | 55 | 54 | 53 | 52 | 51 | 50 | 49 | 48 | 47 | 46 | 45 | 44 | 43 | 42 | | | | | |
| 2 | 95 | 65 | 64 | 63 | 62 | 61 | 60 | 59 | 58 | 57 | 56 | 55 | 54 | 53 | 52 | 51 | 50 | 49 | 48 | 47 | 46 | 45 | 44 | 43 | 42 | | | | | |
| | 94 | 64 | 63 | 62 | 61 | 60 | 59 | 58 | 57 | 56 | 55 | 54 | 53 | 52 | 51 | 50 | 49 | 48 | 47 | 46 | 45 | 44 | 43 | 42 | 41 | | | | | |
| | 93 | 126 | 124 | 122 | 120 | 118 | 116 | 114 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | | | | | |
| | 92 | 124 | 122 | 120 | 118 | 116 | 114 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | | | | | |
| | 91 | 122 | 120 | 118 | 116 | 114 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | | | | | |
| 3 | 90 | 120 | 118 | 116 | 114 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | | | | | |
| | 89 | 118 | 116 | 114 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | | | | | |
| | 88 | 116 | 114 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | | | | | |
| | 87 | 114 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | | | | | |
| | 86 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | | | | | |
| 4 | 85 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | | | | | | |
| | 84 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | | | | | | |
| | 83 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | | | | | |
| | 82 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | | | | | |
| | 81 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | | | | | |
| 5 | 80 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | | | | | | |
| | 79 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | | | | | | |
| | 78 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | | | | | | |
| | 77 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | | | | | | |
| | 76 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | | | | | | |
| 5 | 75 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | | | | | | |
| | 74 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | | | | | | |
| | 73 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | | | | | | |
| | 72 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | | | | | | |
| | 71 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 | | | | | | |
| 70 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 | 36 | 34 | | | | | | |

Fig. 5. $S(w)$, $D(p)$ and $\pi(w, p)$; Problem 3 under the stock market treatment.

| D(p) | S(w) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-----|
| | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | | |
| 1 | 100 | 40 | 38 | 36 | 34 | 32 | 30 | -8 | -11 | -14 | -17 | -20 | -23 | -68 | -72 | -76 | -80 | -84 | -88 | -140 | -145 | -150 | -155 | -160 | -165 | |
| | 99 | 39 | 37 | 35 | 33 | 31 | 29 | -9 | -12 | -15 | -18 | -21 | -24 | -69 | -73 | -77 | -81 | -85 | -89 | -141 | -146 | -151 | -156 | -161 | -166 | |
| | 98 | 38 | 36 | 34 | 32 | 30 | 28 | -10 | -13 | -16 | -19 | -22 | -25 | -70 | -74 | -78 | -82 | -86 | -90 | -142 | -147 | -152 | -157 | -162 | -167 | |
| | 97 | 37 | 35 | 33 | 31 | 29 | 27 | -11 | -14 | -17 | -20 | -23 | -26 | -71 | -75 | -79 | -83 | -87 | -91 | -143 | -148 | -153 | -158 | -163 | -168 | |
| | 96 | 36 | 34 | 32 | 30 | 28 | 26 | -12 | -15 | -18 | -21 | -24 | -27 | -72 | -76 | -80 | -84 | -88 | -92 | -144 | -149 | -154 | -159 | -164 | -169 | |
| | 95 | 35 | 33 | 31 | 29 | 27 | 25 | -13 | -16 | -19 | -22 | -25 | -28 | -73 | -77 | -81 | -85 | -89 | -93 | -145 | -150 | -155 | -160 | -165 | -170 | |
| | 94 | 128 | 126 | 124 | 122 | 120 | 118 | 80 | 77 | 74 | 72 | 69 | 66 | 63 | 18 | 14 | 10 | 6 | 2 | -2 | -54 | -59 | -64 | -69 | -74 | -79 |
| | 93 | 126 | 124 | 122 | 120 | 118 | 116 | 78 | 75 | 72 | 69 | 66 | 63 | 18 | 14 | 10 | 6 | 2 | -2 | -54 | -59 | -64 | -69 | -74 | -79 | |
| | 92 | 124 | 122 | 120 | 118 | 116 | 114 | 76 | 73 | 70 | 67 | 64 | 61 | 16 | 12 | 8 | 4 | 0 | -4 | -56 | -61 | -66 | -71 | -76 | -81 | |
| | 91 | 122 | 120 | 118 | 116 | 114 | 112 | 74 | 71 | 68 | 65 | 62 | 59 | 14 | 10 | 6 | 2 | -2 | -6 | -58 | -63 | -68 | -73 | -78 | -83 | |
| 90 | 120 | 118 | 116 | 114 | 112 | 110 | 72 | 69 | 66 | 63 | 60 | 57 | 12 | 8 | 4 | 0 | -4 | -8 | -60 | -65 | -70 | -75 | -80 | -85 | | |
| 89 | 118 | 116 | 114 | 112 | 110 | 108 | 70 | 67 | 64 | 61 | 58 | 55 | 10 | 6 | 2 | -2 | -6 | -10 | -62 | -67 | -72 | -77 | -82 | -87 | | |
| 88 | 116 | 114 | 112 | 110 | 108 | 106 | 156 | 153 | 100 | 147 | 144 | 141 | 96 | 92 | 88 | 84 | 80 | 76 | 24 | 19 | 14 | 9 | 4 | -1 | | |
| 87 | 114 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 153 | 150 | 147 | 144 | 141 | 138 | 93 | 89 | 85 | 81 | 77 | 73 | 21 | 16 | 11 | 6 | 1 | -4 | | |
| 86 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 150 | 147 | 144 | 141 | 138 | 135 | 90 | 86 | 82 | 78 | 74 | 70 | 18 | 13 | 8 | 3 | -2 | -7 | | |
| 85 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 147 | 144 | 141 | 138 | 135 | 132 | 87 | 83 | 79 | 75 | 71 | 67 | 15 | 10 | 5 | 0 | -5 | -10 | | |
| 84 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 144 | 141 | 138 | 135 | 132 | 129 | 84 | 80 | 76 | 72 | 68 | 64 | 12 | 7 | 2 | -3 | -8 | -13 | | |
| 83 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 141 | 138 | 135 | 132 | 129 | 126 | 81 | 77 | 73 | 69 | 65 | 61 | 9 | 4 | -1 | -6 | -11 | -16 | | |
| 82 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 138 | 135 | 132 | 129 | 126 | 123 | 160 | 156 | 152 | 148 | 144 | 140 | 88 | 83 | 78 | 73 | 68 | 63 | | |
| 81 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 135 | 132 | 129 | 126 | 123 | 120 | 156 | 152 | 148 | 144 | 140 | 136 | 84 | 79 | 74 | 69 | 64 | 59 | | |
| 80 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 132 | 129 | 126 | 123 | 120 | 117 | 152 | 148 | 144 | 140 | 136 | 132 | 80 | 75 | 70 | 65 | 60 | 55 | | |
| 79 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 129 | 126 | 123 | 120 | 117 | 114 | 148 | 144 | 140 | 136 | 132 | 128 | 76 | 71 | 66 | 61 | 56 | 51 | | |
| 78 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 126 | 123 | 120 | 117 | 114 | 111 | 144 | 140 | 136 | 132 | 128 | 124 | 72 | 67 | 62 | 57 | 52 | 47 | | |
| 77 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 123 | 120 | 117 | 114 | 111 | 108 | 140 | 136 | 132 | 128 | 124 | 120 | 68 | 63 | 58 | 53 | 48 | 43 | | |
| 76 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 120 | 117 | 114 | 111 | 108 | 105 | 136 | 132 | 128 | 124 | 120 | 116 | 140 | 135 | 130 | 125 | 120 | 115 | | |
| 75 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 117 | 114 | 111 | 108 | 105 | 102 | 132 | 128 | 124 | 120 | 116 | 112 | 135 | 130 | 125 | 120 | 115 | 110 | | |
| 74 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 114 | 111 | 108 | 105 | 102 | 99 | 128 | 124 | 120 | 116 | 112 | 108 | 130 | 125 | 120 | 115 | 110 | 105 | | |
| 73 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 111 | 108 | 105 | 102 | 99 | 96 | 124 | 120 | 116 | 112 | 108 | 104 | 125 | 120 | 115 | 110 | 105 | 100 | | |
| 72 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 108 | 105 | 102 | 99 | 96 | 93 | 120 | 116 | 112 | 108 | 104 | 100 | 120 | 115 | 110 | 105 | 100 | 95 | | |
| 71 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 105 | 102 | 99 | 96 | 93 | 90 | 116 | 112 | 108 | 104 | 100 | 96 | 115 | 110 | 105 | 100 | 95 | 90 | | |
| 70 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 102 | 99 | 96 | 93 | 90 | 87 | 112 | 108 | 104 | 100 | 96 | 92 | 110 | 105 | 100 | 95 | 90 | 85 | | |

Fig. 6. $S(w)$, $D(p)$ and $\pi(w, p)$; Problem 1 under the fish market treatment.

| D(p) | 2 | | | | | | | | | | 3 | | | | | | | | | | 4 | | | | | | | | | | 5 | | | | | | | | | |
|------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|----|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 93 | 126 | 124 | 122 | 120 | 118 | 116 | 114 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 92 | 124 | 122 | 120 | 118 | 116 | 114 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 91 | 122 | 120 | 118 | 116 | 114 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 90 | 120 | 118 | 116 | 114 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 89 | 118 | 116 | 114 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 88 | 116 | 114 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 87 | 114 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 86 | 112 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 85 | 110 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 84 | 108 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 83 | 106 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 82 | 104 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 81 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 80 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 79 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 78 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 77 | 94 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 76 | 92 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 75 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 74 | 88 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 73 | 86 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 72 | 84 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 71 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 70 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 69 | 78 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 | 36 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 68 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 | 36 | 34 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 67 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 | 36 | 34 | 32 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 66 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 | 36 | 34 | 32 | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 65 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 | 36 | 34 | 32 | 30 | 28 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 64 | 68 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 | 36 | 34 | 32 | 30 | 28 | 26 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 63 | 66 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 | 36 | 34 | 32 | 30 | 28 | 26 | 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 62 | 64 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 | 36 | 34 | 32 | 30 | 28 | 26 | 24 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 61 | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 | 36 | 34 | 32 | 30 | 28 | 26 | 24 | 22 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 60 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 | 36 | 34 | 32 | 30 | 28 | 26 | 24 | 22 | 20 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 59 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 | 36 | 34 | 32 | 30 | 28 | 26 | 24 | 22 | 20 | 18 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 | 36 | 34 | 32 | 30 | 28 | 26 | 24 | 22 | 20 | 18 | 16 | 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 57 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 | 36 | 34 | 32 | 30 | 28 | 26 | 24 | 22 | 20 | 18 | 16 | 14 | 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 56 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 | 36 | 34 | 32 | 30 | 28 | 26 | 24 | 22 | 20 | 18 | 16 | 14 | 12 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 55 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 | 36 | 34 | 32 | 30 | 28 | 26 | 24 | 22 | 20 | 18 | 16 | 14 | 12 | 10 | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 54 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 | 36 | 34 | 32 | 30 | 28 | 26 | 24 | 22 | 20 | 18 | 16 | 14 | 12 | 10 | 8 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 53 | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 | 36 | 34 | 32 | 30 | 28 | 26 | 24 | 22 | 20 | 18 | 16 | 14 | 12 | 10 | 8 | 6 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 52 | 44 | 42 | 40 | 38 | 36 | 34 | 32 | 30 | 28 | 26 | 24 | 22 | 20 | 18 | 16 | 14 | 12 | 10 | 8 | 6 | 4 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 51 | 42 | 40 | 38 | 36 | 34 | 32 | 30 | 28 | 26 | 24 | 22 | 20 | 18 | 16 | 14 | 12 | 10 | 8 | 6 | 4 | 2 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 50 | 40 | 38 | 36 | 34 | 32 | 30 | 28 | 26 | 24 | 22 | 20 | 18 | 16 | 14 | 12 | 10 | 8 | 6 | 4 | 2 | 0 | -2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 49 | 38 | 36 | 34 | 32 | 30 | 28 | 26 | 24 | 22 | 20 | 18 | 16 | 14 | 12 | 10 | 8 | 6 | 4 | 2 | 0 | -2 | -4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 48 | 36 | 34 | 32 | 30 | 28 | 26 | 24 | 22 | 20 | 18 | 16 | 14 | 12 | 10 | 8 | 6 | 4 | 2 | 0 | -2 | -4 | -6 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 47 | 34 | 32 | 30 | 28 | 26 | 24 | 22 | 20 | 18 | 16 | 14 | 12 | 10 | 8 | 6 | 4 | 2 | 0 | -2 | -4 | -6 | -8 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 46 | 32 | 30 | 28 | 26 | 24 | 22 | 20 | 18 | 16 | 14 | 12 | 10 | 8 | 6 | 4 | 2 | 0 | -2 | -4 | -6 | -8 | -10 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 45 | 30 | 28 | 26 | 24 | 22 | 20 | 18 | 16 | 14 | 12 | 10 | 8 | 6 | 4 | 2 | 0 | -2 | -4 | -6 | -8 | -10 | -12 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 44 | 28 | 26 | 24 | 22 | 20 | 18 | 16 | 14 | 12 | 10 | 8 | 6 | 4 | 2 | 0 | -2 | -4 | -6 | -8 | -10 | -12 | -14 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fig. 8. $S(w)$, $D(p)$ and $\pi(w, p)$; Problem 3 under the fish market treatment.

K. Ogawa et al. / The Journal of Socio-Economics xxx (2006) xxx–xxx

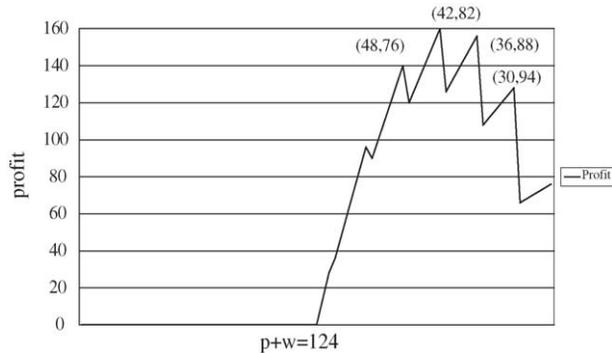


Fig. 9. Profit for $S(w) = D(p)$; Problem 1 under the stock market treatment.

Table 3

The average bid-ask spread level

| | Stock market | Fish market |
|-----------|--------------|-------------|
| Problem 1 | 37.53 | 33.94 |
| Problem 2 | 38.33* | 32.78* |
| Problem 3 | 35.79 | 33.43 |

* Significant at the 7% in two-tailed test.

Table 4

The average trading volume

| | Stock market | Fish market |
|-----------|--------------|-------------|
| Problem 1 | 3.75 | 3.88 |
| Problem 2 | 3.88 | 4.06 |
| Problem 3 | 3.72 | 3.75 |

The difference in profit comes from the burden of dead inventory $w \min(0, (D(p) - S(w)))$ under the fish market treatment. Neither the trading volume $\min(S(w), D(p))$ nor the profit margin $p - w$ under the fish market were smaller under the fish market treatment than they were under the stock market treatment. As Tables 3 and 4 show, they did not differ significantly between the treatments except for one case.

Secondly, learning effect was observed under either market treatment. It is notable in Figs. 10 and 11 that relative profit was larger at a later period in the same session and that it was larger in a later session in the experiment.³ Both can be checked statistically; under either market treatment, profit was significantly larger in the last session than it was in the first session, while a positive trend of profit is confirmed for every session under each session under each by the Friedman test (Table 5).

³ A few remarks will be called for. In Fig. 11, profit of the second problem diminishes in the fourth, ninth, and the last round. The decrease in the fourth round happened since five subjects simultaneously decreased their profits. The decrease in the ninth and the last round happened since a subject decreased his or her profit drastically. The subject who suffered from dead inventory in the ninth round was different from the one who did in the last round.

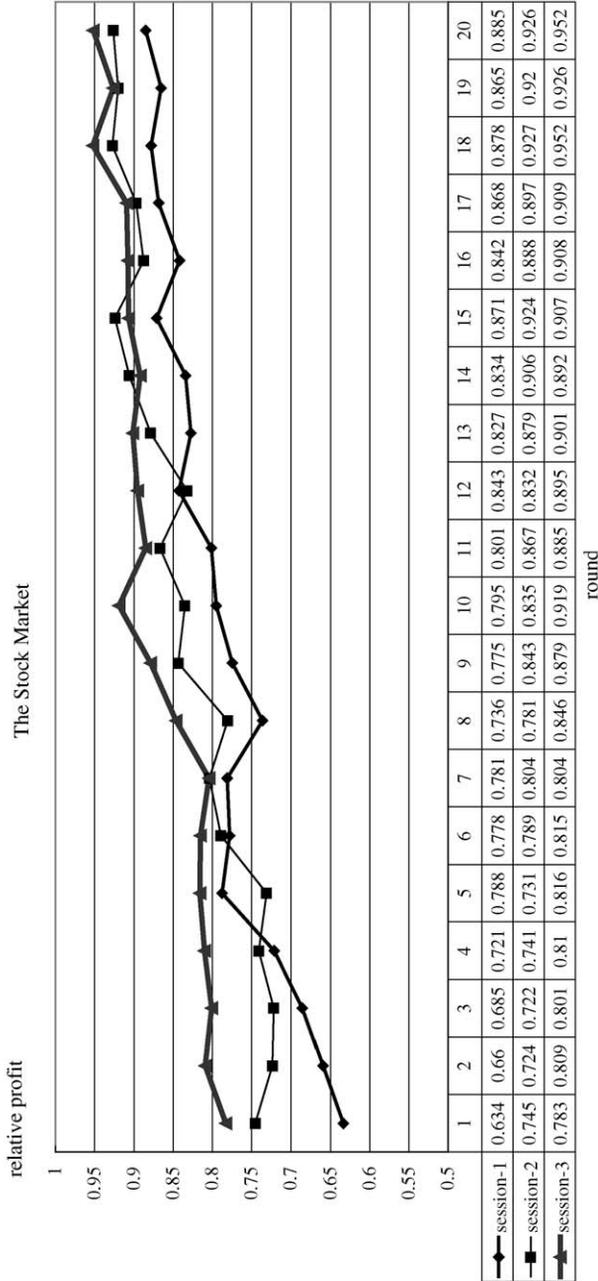


Fig. 10. Learning effect under the stock market.

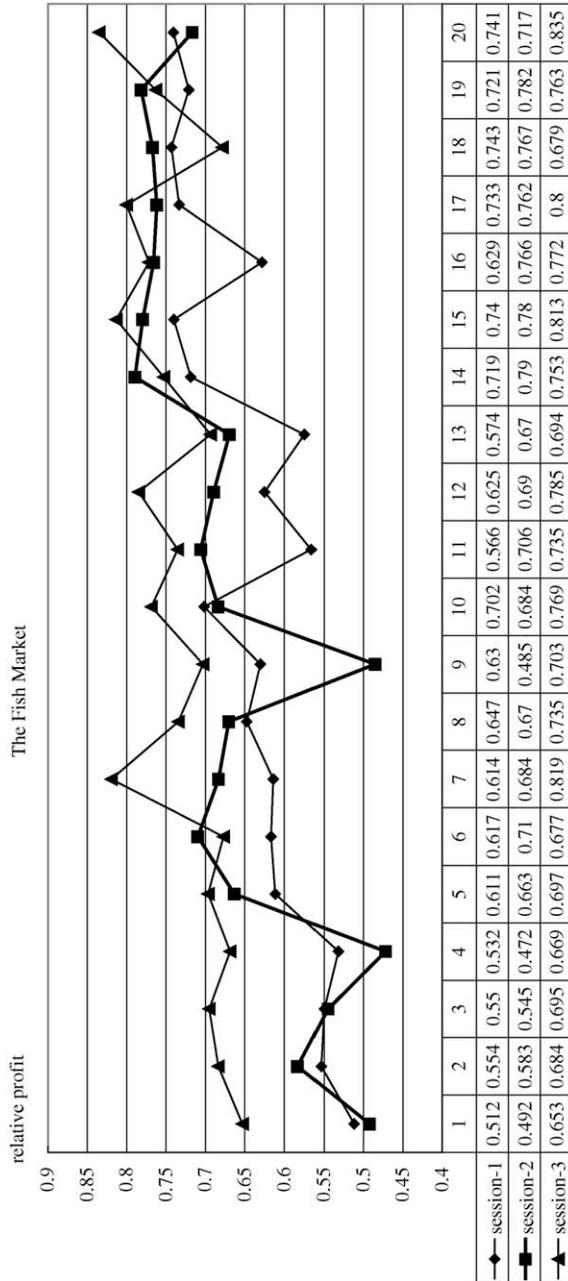


Fig. 11. Learning effect under the fish market.

Table 5

The average number of rounds in which subjects under the fish market suffer from dead inventory

| | Keep on searching | Stop searching |
|-------------------|-------------------|----------------|
| Problem order | | |
| First problem | 3.91 | 1.87** |
| Second problem | 2.78 | 2.18 |
| Third problem | 4.33 | 1.71** |
| A kind of problem | | |
| Problem 1 | 3.50 | 1.94*** |
| Problem 2 | 3.82 | 1.27** |
| Problem 3 | 3.75 | 2.50 |

** Mean significance at 5% level in two-tailed test.

*** Mean significance at 10% level in two-tailed test.

Table 6

Average variance of the number of supply units in each market

| | Problem 1 | Problem 2 | Problem 3 |
|----------------|-----------|-----------|-----------|
| Stock market | | | |
| The first half | 0.648 | 0.684 | 0.604 |
| The last half | 0.662 | 0.224 | 0.165 |
| z-Value | -1.951*** | -2.058** | -3.054* |
| Fish market | | | |
| The first half | 0.465 | 0.527 | 0.820 |
| The last half | 0.416 | 0.521 | 0.450 |
| z-Value | -1.943*** | -1.816*** | -1.435 |

* Shows the 1% significance in Wilcoxon–Mann–Whitney test.

** Shows the 5% significance in Wilcoxon–Mann–Whitney test.

*** Shows the 10% significance in Wilcoxon–Mann–Whitney test.

3.2. The dynamics of w and p

Subjects made less changes in (w, p) as the number of rounds increased in a session. See Tables 6 and 7, where the average variance of the trading volume is shown for the first and the second 10 rounds. It is obvious that subjects changed w and p more violently in the first 10 rounds. In fact, the Wilcoxon test confirms that the average variance is significantly higher in the first half except for one case.⁴

As a result, though they differed widely from subject to subject for the first round of each session, the chosen price pairs were concentrated into a smaller zone for the last (twentieth) round. This can be checked statistically in Table 8, where the coefficient of the determinant is higher for the last round except for one.⁵

We can examine it more closely in Figs. 12 and 13. The black points and grey points stand for the first choices and the last choices respectively, while grey rectangles are those in Figs. 3–6.

⁴ In the exceptional case, the variances of 10 subjects are higher in the first half than in the latter half.

⁵ The exception was observed in Problem 3 under the fish market treatment. Yet it was made by a single subject who chose a price set that was far from all the other price sets. But for his (seemingly mistaken) choice, the coefficient of determinant would have been lower in the last turn as in the other cases.

Table 7
Average variance of the number of demand units in each market

| | Problem 1 | Problem 2 | Problem 3 |
|----------------|-----------|-----------|-----------|
| Stock market | | | |
| The first half | 1.098 | 0.812 | 0.750 |
| The last half | 0.579 | 0.227 | 0.188 |
| z-Value | -2.892* | -2.058** | -3.081* |
| Fish market | | | |
| The first half | 0.839 | 0.487 | 1.045 |
| The last half | 0.303 | 0.376 | 0.403 |
| z-Value | -3.721* | -2.070** | -2.375*** |

* Shows the 1% significance in Wilcoxon–Mann–Whitney test.

** Shows the 5% significance in Wilcoxon–Mann–Whitney test.

*** Shows the 10% significance in Wilcoxon–Mann–Whitney test.

Table 8
The coefficient of determinant under each market

| | Problem 1 | Problem 2 | Problem 3 |
|--------------|-----------|-----------|-----------|
| Stock market | | | |
| First round | 0.67 | 0.02 | 0.01 |
| Last round | 0.83 | 0.65 | 0.74 |
| Fish market | | | |
| First round | 0.00 | 0.06 | 0.11 |
| Last round | 0.10 | 0.26 | 0.09 |

The last choices are concentrated near or in the grey rectangles. In addition, as Table 9 shows, in total, out of the 153 last choices, 85 are on the upper-left corners of the light grey rectangles. In other words, 56% of subjects chose such a price pair that realised a locally maximum profit (we refer to the global optimal price pair as a local optimal price set) at the last round.

3.3. The dynamics of $S(w)$ and $D(p)$

Subjects realised $S(w) = D(p)$ more frequently in the second 10 rounds than they did in the first 10 rounds. Fig. 14 shows with which percentages $S(w) < D(p)$, $S(w) = D(p)$ and $S(w) > D(p)$ were realized in the first, second, third and fourth (last) five rounds. The percentage for

Table 9
The number of subjects under each market treatment who reach a locally optimal or globally optimal price set

| | Locally optimal | Globally optimal |
|--------------|-----------------|------------------|
| Stock market | | |
| Problem 1 | 6(24%) | 13(52%) |
| Problem 2 | 4(16%) | 7(28%) |
| Problem 3 | 9(36%) | 9(36%) |
| Fish market | | |
| Problem 1 | 5(19%) | 6(23%) |
| Problem 2 | 6(24%) | 3(12%) |
| Problem 3 | 8(31%) | 9(35%) |

K. Ogawa et al. / The Journal of Socio-Economics xxx (2006) xxx–xxx

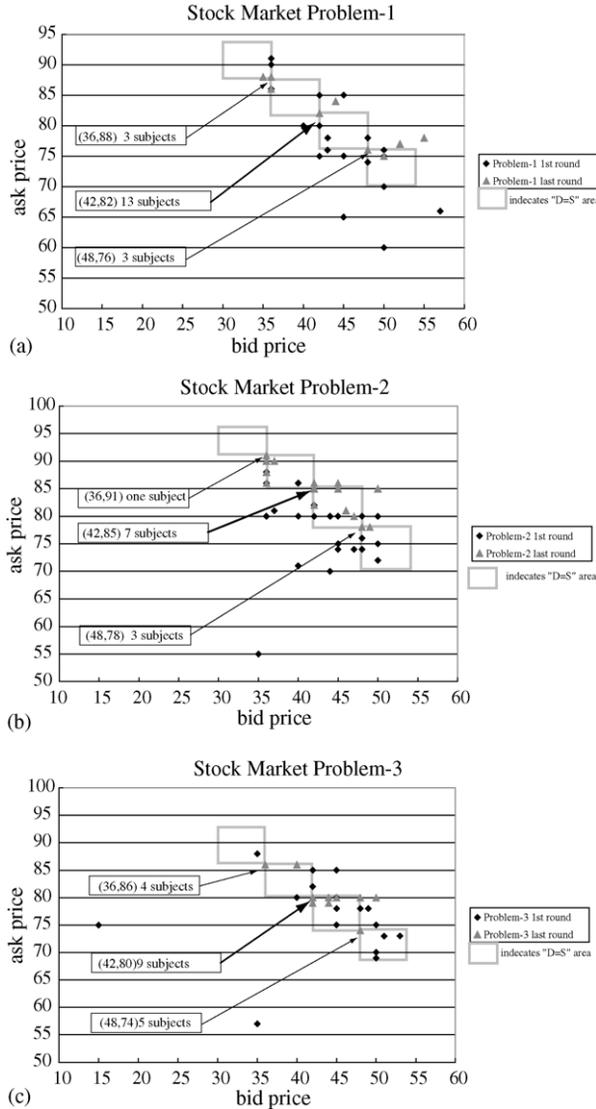


Fig. 12. First and last choice in the stock market: (x, y) is a local or the global optimal price set and the grey squares indicate the area that satisfies $S(w) = D(p)$. (a) Problem 1, the stock market; (b) Problem 2, the stock market and (c) Problem 3, the stock market.

$S(w) = D(p)$ is monotonously increasing in every sessions so that it is significantly larger in the last 10 rounds than it is in the first 10 rounds.

This attests that subjects chose more rational price pairs in the last 10 rounds. Here, “rational” means that there remains room for increasing profit if $S(w) \neq D(p)$; if $S(w_0) < D(p_0)$, an increase in p from p_0 to such a value p_1 that satisfies $D(p_1) = S(w_0)$ always increase profit from $(p_0 - w_0)S(w_0)$ to $(p_1 - w_0)S(w_0)$; similarly if $S(w_0) > D(p_0)$, an adequate decrease in w increases profit.

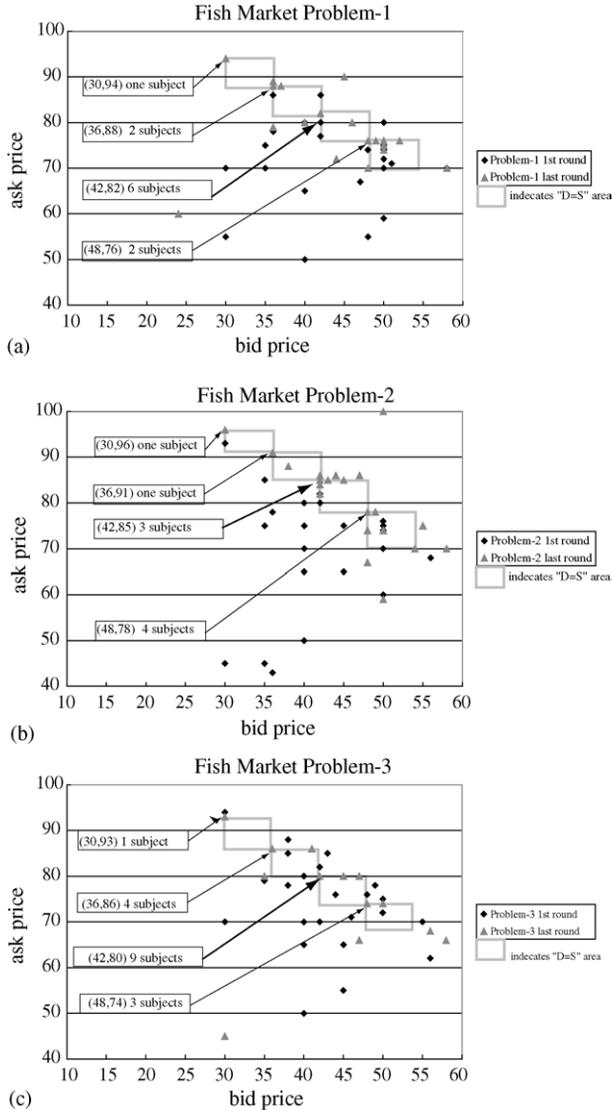


Fig. 13. First and last choice in the fish market: (x, y) is a local or the global optimal price set and the grey squares indicate the area that satisfies $S(w) = D(p)$. (a) Problem 1, the fish market; (b) Problem 2, the fish market and (c) Problem 3, the fish market.

4. Two stage searching

Convergence to a locally optimal choice would not be surprising in experiments, but our subjects achieved it not by simple reinforcement learning but by a more thoughtful search strategy: the two-stage searching. In other words, $S(w) = D(p)$ was not realised as a result of the convergence of (w, p) to a locally optimal price pair; it was attained intentionally by subjects as a sub goal for reaching a locally optimal price in a safe and efficient manner. Let us examine it closely with Fig. 17.

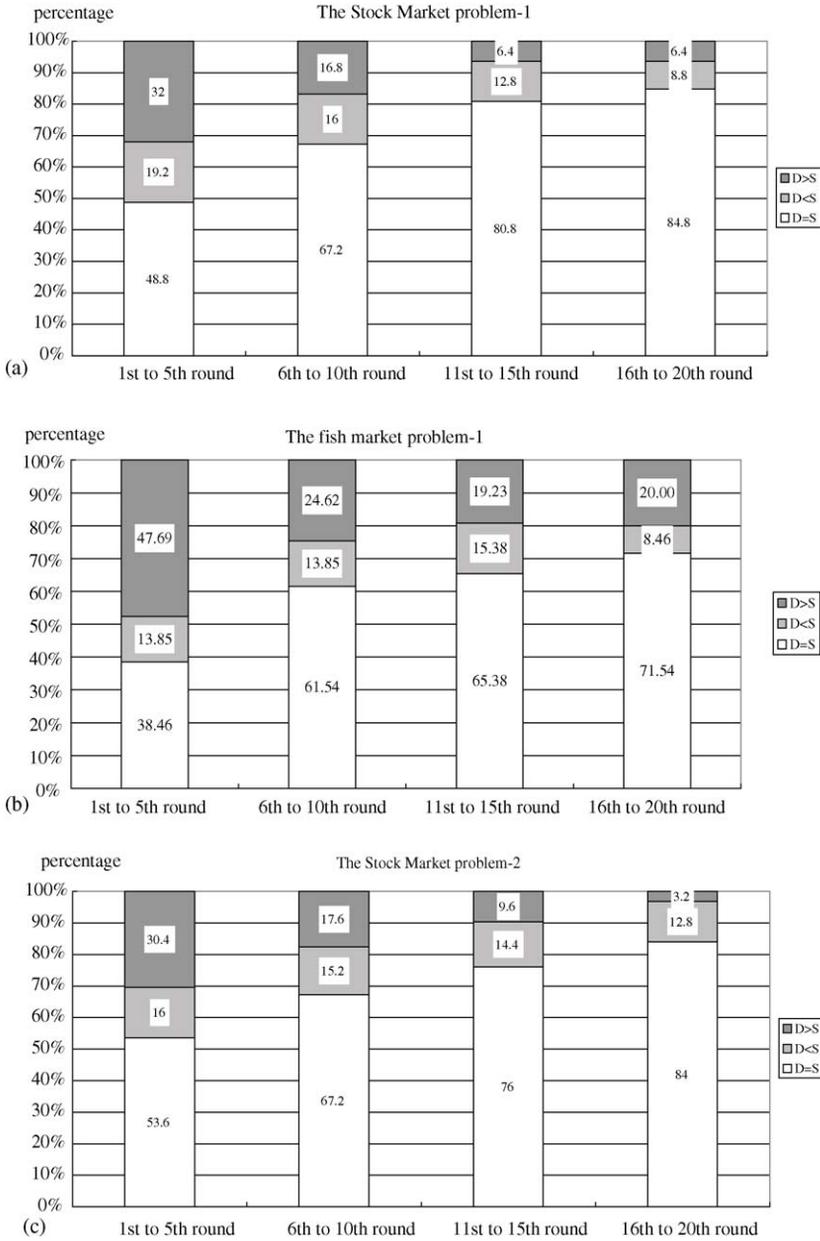


Fig. 14. Quantity adjustment in each market. (a) Problem 1, the stock market; (b) Problem 1, the fish market; (c) Problem 2, the stock market; (d) Problem 2, the fish market; (e) Problem 3, the stock market and (f) Problem 3, the fish market.

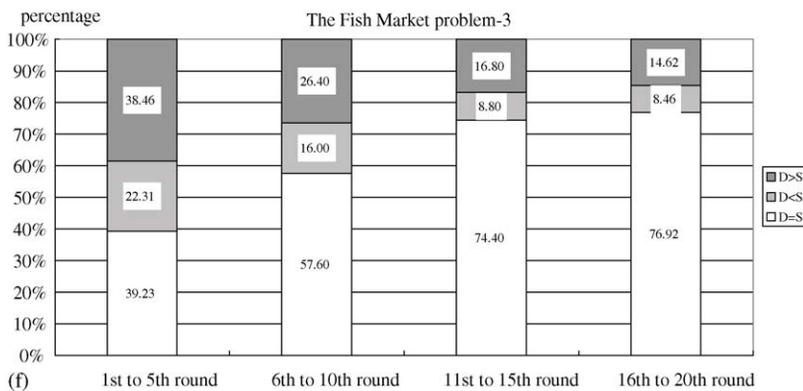
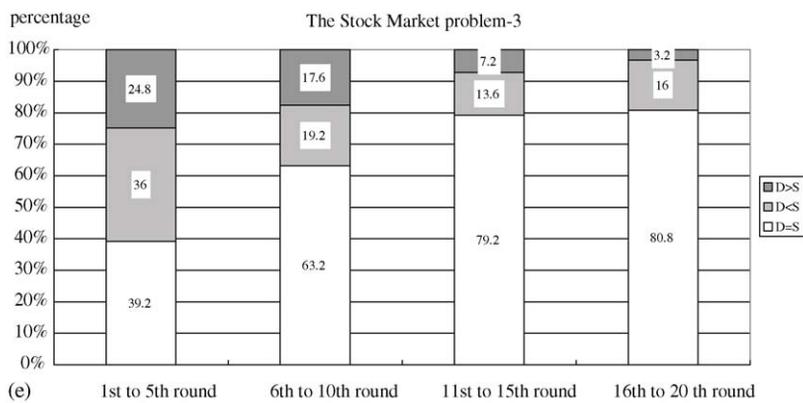
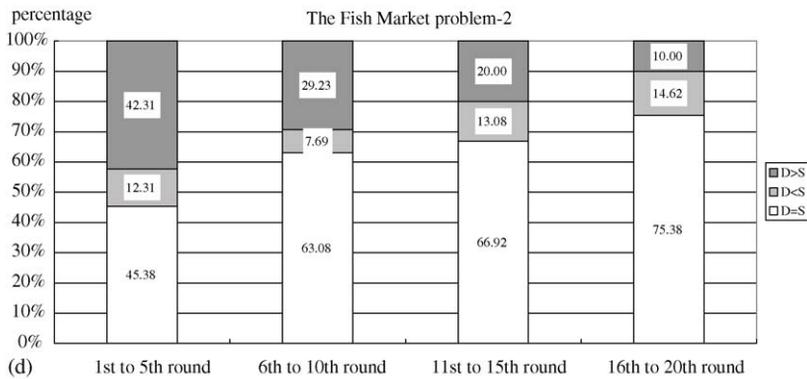


Fig. 14. (Continued).

First, two thirds of the sessions (103/153) are classified into “Stop Searching”. Here “Stop Searching” is defined as follows: if a subject chooses the same alternative in the last two rounds, his/her behaviour is classified into “Stop Searching”.

Secondly, most of “Stop Searching” sessions (98/103) are regarded as “two stage searching” sessions. Here “two stage searching” is defined in the following way. Searching is divided into two

phases. In the first stage, a subject searches for a price set which satisfies $D = S$. The second stage begins after $D = S$ is realised. In the second stage, he/she finely searches for a more profitable price set with keeping $D = S$.

We can subclassify them into the following six cases: (a) is the typical case mentioned in the previous paragraph, (b) is the case where $D = S$ was realised by the first choice and the price pair that was the optimal in that region was chosen and kept after a few trials, (c) is the case where $D = S = x$ is realised in the first stage and the price pair that was the optimal in either region was chosen and kept after a few trials, (d) is the case where $D = S$ was realised by the first choice and the price pair that was the non-optimal in that region was chosen and kept after a few trials, (e) is the case where $D = S = x$ is realised for more than one x in the first stage and the price pair that was the optimal in either region was chosen and kept after a few trials, (f) is the case where $D = S = x$ is realised for more than one x in the first stage and the price pair that was the non-optimal in either region was chosen and kept after a few trials. The two stage search leads to a locally optimal price pair in the first three cases, or nearly 8% of the two stage search sessions (76/98) In Fig. 17, the percentage of “Stop Searching” sessions was smaller under the fish market treatment than it was under the stock market treatment. This is because the problem is more difficult under the fish market treatment than the stock market treatment and it takes rounds for subjects to find a profitable alternative.

The two stage searching is realised not by subjects’ myopic learning but by their intentional strategy. We can confirm it in the post-experiment questionnaire. Among the questions, there was, “How did you choose the ask and bid prices?” To this about 60% of the subjects essentially gave the same answer: “First I aimed to realize $S(w) = D(p)$. Then I varied w and p to increase profit without altering the value of $S(w)$ or that of $D(p)$.”

The subjects’ self-description of the two-stage searching strategy is consistent with their behaviour in the experiment. Figs. 15 and 16 show the trajectory of (w, p) for four sessions. In each session it mostly lies inside the central rectangle, where $S(w) = D(p)$ holds and at the upper-left corner, where profit is maximised locally (eventually globally in (a) in each figure). The trajectory points upward to the left in the rectangle, and after protruding from its upper and/or left edge once or twice, returns into the rectangle to terminate at its upper-left corner. This property, which is not limited to the above-mentioned examples but applies to more than half the sessions in the experiment, corroborates the subjects’ above-mentioned answer.

The rationale behind the two-stage searching is that the searching period allowed to our subjects was short in absolute terms and long in relative terms; a 10-round searching could check only 0.2% of the 4900 alternatives while it accounts for 50% of a 20-round session. Under the circumstances, they gave priority to the rapid discovery of a price pair that equalise $S(w)$ to $D(p)$ to secure a minimum profit. Once they found a price pair that satisfied $S(w) = D(p) = \bar{z}$, they had only to decrease w to $\min_{S(w)=\bar{z}} w$ and increase p to $\max_{D(p)=\bar{z}} p$ to obtain a locally maximum profit. The two-phased searching is a secure and systematic strategy. This strategy worked well in our experiments. Profit was larger in those sessions where subjects had followed the two-stage searching than it was in those sessions where they follow other searching strategies.

It is not certain why most subjects followed the two-stage searching. They do not seem to have found it to be a good strategy after they have played the game for a few rounds because not a few subjects followed the two-stage searching in the first problem. They seem to have started to play the first game with a rather clear concept of the two-stage searching. Although it cannot be denied the possibility that they have learned it by playing the 10-round trial game, it seems to us that they had a general idea that profit will be maximised when supply

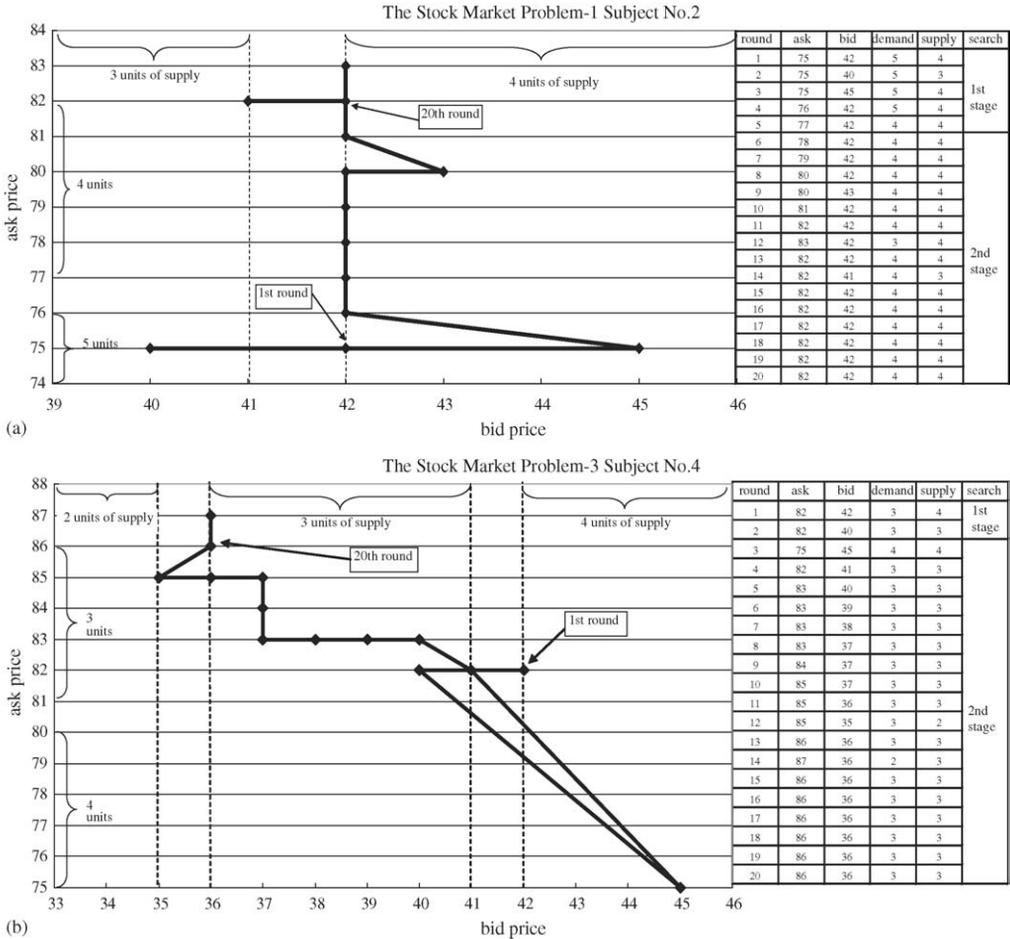


Fig. 15. Examples of two-stage search under the stock market: (a) the globally optimal price set and (b) a locally optimal price set.

equals demand, which they may have acquired by their daily life or in the classroom (there was no significant difference in searching strategy between those who studied at the faculty of economics and those who studied at other faculties). In either case, subjects adopted the two-stage searching not by learning in the experiment but by applying their general knowledge they have educated outside the laboratory. It seems rather doubtful whether they may have paid attention to the excess demand $D(p) - S(w)$ as an important intermediate variable if the two-variable problem "to maximise $\pi(w, p)$ " is presented in abstract terms without mentioning trading. It can be crucial in solving a complex problem whether the solver can set an adequate sub goal or not. Human subjects can set a sub goal by using knowledge not inside but outside the problem.

A few remarks may be called for about the difference of subjects' behaviour between the market treatments. In Fig. 17, the percentage of "stop searching" is smaller under the fish market treatment. This is probably because the existence of dead inventory led subjects to search for a

K. Ogawa et al. / The Journal of Socio-Economics xxx (2006) xxx–xxx

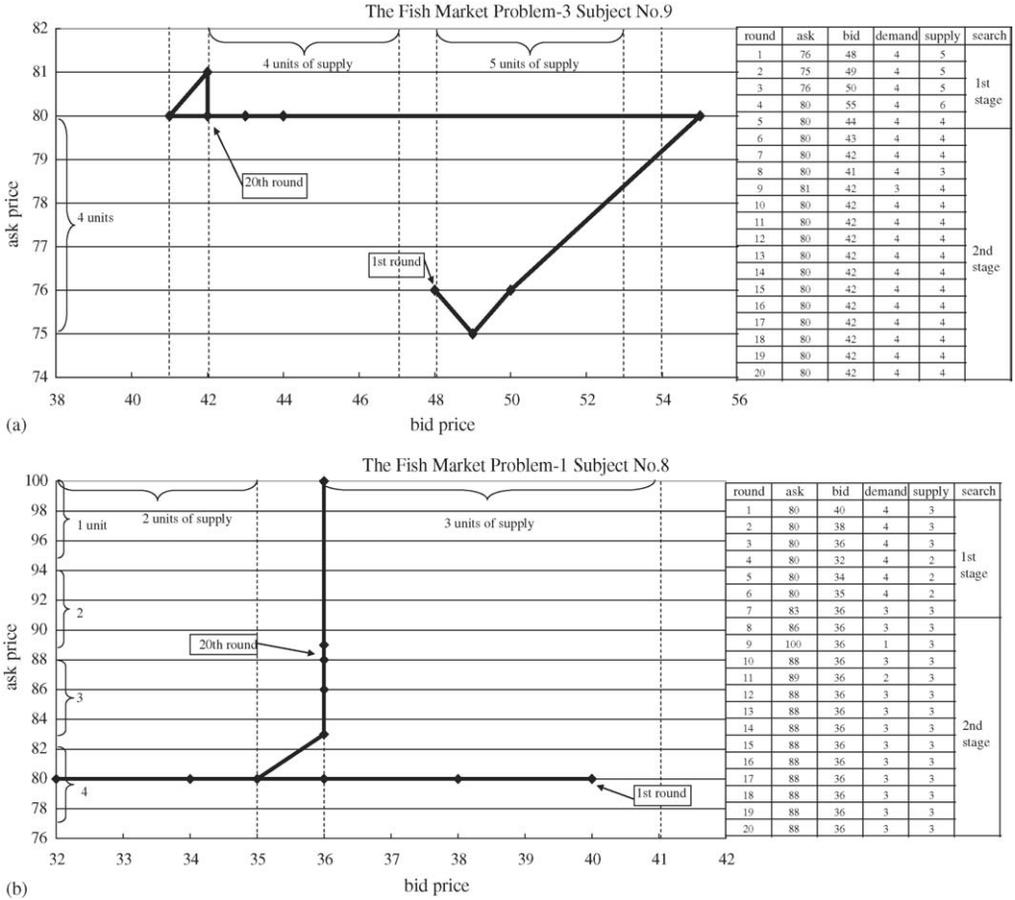


Fig. 16. Examples of two-stage search under the fish market: (a) the globally optimal price set and (b) a locally optimal price set.

profitable price pair more carefully so that it took more rounds to find it. We could claim that under the fish market treatment subjects avoided $S(w) > D(p)$ more than $S(w) < D(p)$. This is quite understandable, because under the fish market treatment they suffer from dead inventory if $S(w) > D(p)$ while under the stock market treatment no such penalty is imposed if $S(w) > D(p)$ or $S(w) < D(p)$.

5. Interpretations

With the well-known example of two urns, Ellsberg (1961) and Fox and Tversky (1995) illustrated peoples’ ambiguity aversion, or their tendency to prefer choice under uncertainty to choice under ambiguity. Here the choice of an alternative is called to be under uncertainty if the subject knows the distribution function that determines the reward from it, while it is called to be under ambiguity if the function is not known.

Fox and Tversky (1995) confirmed ambiguity aversion, by observing that the same group of subjects bet considerably more if the winning probability is assured to be 50% than they

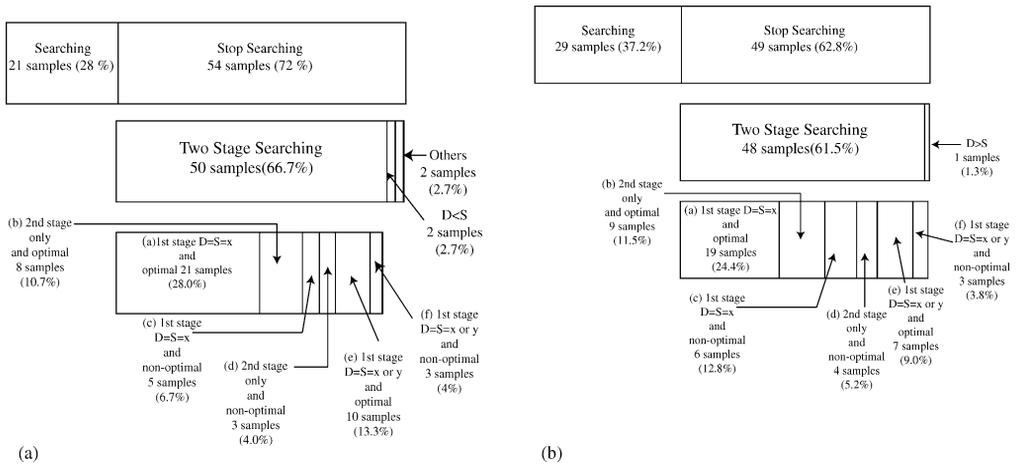


Fig. 17. Price adjustment in the fish market: the number of sessions in which subjects use two-stage search under the (a) stock market treatment and (b) fish market treatment.

did if the winning probability is unknown and consequently cannot but be assumed to be 50%.⁶

Let us reconsider our experiment in terms of uncertainty and ambiguity. In our experiment profit from each pair of w and p is determined by the supply and demand functions $S(w)$ and $D(p)$. If they know the functions precisely, the subjects can calculate $\pi(w, p)$ for every price pair (w, p) to find out the optimal price pair that maximises profit; then there is no uncertainty or ambiguity. Actually our subjects were informed only of the general property of the supply and demand functions: $S(w)$ is an increasing function of w while $D(p)$ is a decreasing function with respect to p . Obviously the situation is more uncertain or ambiguous.

To investigate uncertainty and ambiguity in our experiment, let us imagine the following experiments:

Experiment U. Reward $\pi(w, p)$ is determined for each alternative (w, p) ($0 < w < p < 100$) not by the demand and supply functions but by a certain distribution function $f(w, p)$ ($\pi(w, p)$ is not determined stochastically every time (w, p) is chosen; it is assumed that $\pi(w, p)$ is the same for the same (w, p) whenever it is chosen). Subjects choose a price pair from 4900 price pairs for 20 times to get the total reward. They are informed of the distribution function before the experiment.

Experiment A. Everything is the same as in Experiment U except that subjects do not know the distribution function.

Experiment U is an experiment of choice under uncertainty. Then there exists the optimal stopping rule, or the conditions under which they stop searching for a better price pair (a price pair that brings a larger profit) and chose the best-ever price pair for the rest of the session to

⁶ A new finding by Fox and Tversky is that ambiguity aversion is observed only choice under uncertainty is compared with choice under ambiguity. In their experiments, a group of subjects bet on a lottery whose winning probability is known to be 50% while another group bet on a lottery whose winning probability is unknown; neither group are conscious of the lottery for the other group. Then both groups did not bet significantly different amount of money.

maximise their expected utility. Of course it is another question whether people discover and follow the optimal stopping rule or not. Anyway, in relation to our experiment, it should be mentioned that the stopping rule tells only whether the best-ever alternative or a new one should be chosen; it cannot say which one should be chosen from the remaining alternatives, from which expected reward is all the same.

Experiment A is an experiment of choice under ambiguity. In the circumstances, the framing effect, or more concretely the pre-experiment expectation about the distribution function, would play an important role. Though they may change the expectation as they chose more alternatives, subjects cannot determine whether they stop searching or not without the pre-experiment expectation, which may depend on a number of factors outside the experimenter's control.

Now let us return to our experiment. Which of the two experiments mentioned above is closer to it?

Formally our experiment may be similar to Experiment A, because in either experiment the first choice is under perfect ambiguity in the sense that subjects have no formal information about $\pi(w, p)$. In other words, the first price pair is chosen under the perfect ambiguity.

It must however be taken into account that subjects are informed of the general property of the supply and demand functions, which is as helpful to increase profit as the distribution function is in Experiment U. The two-stage searching is an example: the first stage: if $S(w) < D(p)$, increase w to increase $S(w)$ and/or increase p to decrease $D(p)$ so that $S(w) = D(p)$. the second stage: Once $S(w) = D(p)$ is attained, to decrease w without decreasing $S(w)$ and/or increase p without decreasing $D(p)$ so as to maximise the per unit profit margin $p - w$. Neither stage is feasible if the definition of profit nor the general property of the supply and demand functions is unknown. Moreover the two-stage strategy itself is possible only if the above-mentioned knowledge is available.

There is a difference between the stopping rule and the two-stage searching rule. The former rule tells whether or not another alternative should be tried under a certain condition; once another search is preferred, it does not matter which is chosen from all the remaining alternatives, from each of which common is the expected profit. The latter rule indicates the direction to which the next alternative should be chosen (as a special case it suggests to stop searching). Unlike subjects in Experiment A or U, our subjects can guess to which direction profit $\pi(w, p)$ would increase on the (w, p) plane.

If $S(w)$ and $D(p)$ are like Fig. 1, $\pi(w, p)$ has a unique peak on the (w, p) plane. Then the two-stage searching never fails to lead to the optimal price pair. Although its details are not determined uniquely, we could claim that the two-stage searching is correspond to the optimal stopping rule in Experiment U. In this meaning, though the distribution of profit is not known at all at the first round, with the continuous supply and demand functions our experiment is nearer to Experiment U, where the distribution of profit is known at the beginning of the session.

If ambiguity is referred to in the circumstances, it is related not to the choice of price pairs under the two-stage searching but to its choice among the possible searching rules. The two-stage searching seems one of the least ambiguous rules, which requires few trials and errors, or few choices of price pairs without certain expectation of increase in profit. The two-stage searching assures a sequence of price pairs from which profit steadily increases.

With the stepped supply and demand functions, our experiment is more ambiguous. Then there can be a number of local peaks on the (w, p) plane. In the circumstances the two stage searching leads to one of the local peaks, which may not be the global peak. Yet most subjects followed the single two-stage searching: once they reached a locally optimal price pair, most subjects maintained it for the rest of the session without searching for another locally optimal price pair.

Table 10

The number of subjects under the stock market whose variance of each price is (10% significance level) lower in the first half than in the latter half

| Ask | The number | Bid | The number |
|-----------|------------|-----------|------------|
| Problem 1 | 21(84%) | Problem 1 | 18(72%) |
| Problem 2 | 14(56%) | Problem 2 | 14(56%) |
| Problem 3 | 18(72%) | Problem 3 | 19(76%) |

Table 11

The number of subjects under the fish market whose variance of each price is (10% significance level) lower in the first half than in the latter half

| Ask | The number | Bid | The number |
|-----------|------------|-----------|------------|
| Problem 1 | 19(73.1%) | Problem 1 | 16(61.5%) |
| Problem 2 | 17(65.4%) | Problem 2 | 19(73.1%) |
| Problem 3 | 18(69.2%) | Problem 3 | 16(61.5%) |

This would be because they were afraid that they may not reach a higher local peak and that even if they succeed in finding such a peak, they may suffer from such small profit in the searching process that their total profit may decrease. We could explain why very few subjects try the second two-stage searching in terms of ambiguity aversion: the cost and benefit from the second two-stage searching is really “ambiguous” in the sense that it cannot be estimated objectively.

Uncertainty in our experiment could be called “quasi-ambiguous”. It has certainly ambiguity: in fact it has perfect ambiguity at the beginning of the experiment. Yet ambiguity decreases as the subject choose more price pairs, and it can be decreased drastically if the subject makes the most use of the information given before the experiment. It is as helpful as the distribution function in Experiment U. In this meaning, ambiguity is much more manageable than it is in Experiment A.

At the end of this section, let us reconsider our experiment with the experiments by Fox and Tversky (1995). We believe that our subjects must have considered ambiguity aversion too, but it seems difficult to isolate its effect on their behaviour. Fox and Tversky offered their subjects two alternatives which are different from each other only in ambiguity; their profitability is completely the same from the objective viewpoint. If the less ambiguous alternative is chosen in the circumstances, it cannot be explained in other terms of ambiguity aversion.

Our subjects are not faced with alternatives whose profitability is the same and whose ambiguity is different from one another. Those subjects who follow the two-stage searching strategy choose the next price pair in the neighbourhood of the preceding choice. Certainly they can estimate $\pi(w, p)$ only ambiguously in the area where they have not previously chosen price pairs, but they choose a neighbouring price pair not for avoiding ambiguity; they choose a neighbouring price pair because they justifiably expect that it increases profit.

In short, our experiment describes how people behave if the situation is quasi-ambiguous, or if the situation is originally ambiguous but can be less ambiguous by systematic search. On one hand, the optimal searching rule cannot be defined in our experiment; our experiment has ambiguity which does not exist in Experiment U. On the other hand, subjects can invent searching rules to earn more in the experiment; it cannot be possible if the situation is as perfectly ambiguous as in Experiment A (Tables 10 and 11).

6. Concluding remarks

Since we examined the subjects' behaviour in details in the previous two sections, let us conclude this paper with a few remarks on our experiments from the viewpoint of market microstructure theory.

First, we could mention that our approach is faithful to the tradition of market experiments. *Smith (1962)* designed the double auction to examine how sellers and buyers behave if an auction is repeated till equilibrium is discovered. We designed the model mentioned in Section 2 to see how subjects act as a monopolistic intermediary if they know neither the market supply curve nor the market demand curve. Although the basic theories are different (partial equilibrium theory and market microstructure theory), both experiments check whether the theories work if its assumption is not fully satisfied.

A difference between *Smith's* experiments and ours is the part the subjects play. In most market experiments the experimenter designs the trading rules and organises trade, leaving only the roles of sellers and buyers to subjects. To the contrary, we automatise sellers and buyers as agents and let subjects act as intermediaries who organise the market. Certainly, the former approach is useful for analysing and improving trade in well-organised markets. The intermediary or firm should, however, be a player in the game so that the adjustment of prices would be endogenous if we are interested in most actual markets, where commodities are traded without such exogenous help from the Walrasian auctioneer. We hope economic experiments, combined with market microstructure theory, contribute to understanding how markets function in the real economy.

Acknowledgements

This research was supported by the Open Research Centre "Experimental Economics: A new method of teaching economics and the research on its impact on society," the Graduate School of Economics, Kyoto Sangyo University and the Japan Society for the Promotion of Science, Grant-in-Aid for Scientific Research (B), 13480115. This research was partially supported by the Ministry of Education, Science, Sports and Culture, Grant-in-Aid for JSPS Fellows, 2002–2005. We thank Atsushi Iwasaki, Kouhei Iyori, Nariaki Nishino and Syuichi Imura for helpful comments and illuminating discussion.

References

- Blaug, M., 1996. *Economic Theory in Retrospect*, fifth ed. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ellsberg, D., 1961. Risk, ambiguity, and the savage axioms. *The Quarterly Journal of Economics* 75 (4), 643–669.
- Fox, C.R., Tversky, A., 1995. Ambiguity aversion and comparative ignorance. *The Quarterly Journal of Economics* 110 (3), 585–603.
- O'Hara, M., 1995. *Market Microstructure Theory*. Blackwell Publishers, Oxford.
- Smith, V.L., 1962. An experimental study of competitive market behavior. *The Journal of Political Economy* 70 (2), 111–137.
- Pulber, D.F., 1999. *Market Microstructure—Intermediaries and the Theory of the Firm*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Pulber, D.F., 2002. Market microstructure and incentives to invest. *Journal of Political Economy* 110 (2), 352–381.

Price Competition between middlemen: An Experimental Study^{*}

Kazuhito Ogawa, Kouhei Iyori, and Sobei H. Oda

Kyoto University and JSPS Research Fellow, O-kazu@m3.people.or.jp
JSPS Post Doctoral Fellow and Visiting Research Fellow of Kyoto Sangyo University.
Kyoto Sangyo University

1.1 Introduction

The recent studies of experimental price competition focus the number of competitors. For instance, Dufwenberg and Gneezy (2000) examine whether the equilibrium price is attained when the number of competitors is two, three, and four. In this experiment, the subjects know the supply-demand condition and the number of rounds, and choose ask prices. They are matched randomly in each round. Their result shows that the price does not converge to the competitive one when the number of competitors is two, and that as it increases, the average price approaches the competitive level. Abbink and Brandit (2002) conducts similar experiments and attain similar results.

However, Dufwenberg et al. (2002) examine the relation between the price floor (the minimum price) and the price competition. The number of competitors is two. They find that the average price without the price floor is higher than the average price with the price floor. The competition under the price floor treatment is keen because they make profit by bidding the minimum price at worst.

In our study, we examine how the bid-ask competition influenced the price setting. Dose the bid-ask competition increase the ratio of the competitively priced pairs? Our number of competitors is two and the direction of our study is in line with Dufwenberg et al. (2002). We design the experiment based on Spulber (1999, ch. 3), which deals with the price competition between middlemen.² Here middlemen set a bid price and buy a commodity from a supplier, then sell it to a buyer at a higher ask price.

^{*} This research was supported by the Open Research Centre “Experimental Economics: A new method of teaching economics and the research on its impact on society,” the Graduate School of Economics, Kyoto Sangyo University and the Japan Society for the Promotion of Science, Grant-in-Aid for Scientific Research (B), 13480115, and the Ministry of Education, Science, Sports and Culture, Grant-in-Aid for JSPS Fellows, 2002-2005.

² Plott and Url (1982) considers the intertemporal arbitration by middleman.

Our results are as follows: in the last rounds, about thirty percent and about twenty per cent of the pairs choose the competitive alternatives under Treatment-1 and under Treatment-2, respectively.

This paper is organised in the following way. In Section 2 we shall present the experimental procedure. In section 3 we will show the result and discuss it. Finally in Section 4 we conclude this paper with some remarks.

1.2 The Experimental Procedure

The experiment consists of Treatment-1 (T-1) and Treatment-2 (T-2), and they were conducted in order. The experiment was conducted at the Kyoto Sangyo University Experimental Economics Laboratory (KEEL). Subjects had not experienced price competition experiments yet. Under Treatment-1-1 and Treatment-2-1, 22 subjects participated. Under Treatment-1-2 and Treatment-2-2, 26 subjects participated. Under Treatment-1-3 and Treatment-2-3, 14 subjects participated. Under Treatment-1-4 and Treatment-2-4, 26 subjects participated. The number of rounds was more than one hundred. To prevent the end effects, the subjects did not know when the Treatment was over.

In each session all the students enter the KEEL, they receive an instruction, and are told that they would get 2000 yen for showing up (about 16 dollars at the time of the experiment) and additional monetary reward contingent on the total performance in the experiment.³ The contingent part is calculated from $0.4 * \sum_{i=1}^2 \text{Total Profit}_{\text{Treatment-}i}$.

Under Treatment-1, subjects do not know the supply or demand function. Under Treatment-2, they know the functions. Under each Treatment, before the first round begins a subject is paired with some other subject according to a random matching scheme. The opponent is unchanging during the Treatment. This is different from those of Dufwenberg and Gneezy (2000), Klaus and Brandit (2002) and Dufwenberg et al. (2002).

In this experiment, the subjects are asked to choose bid and ask prices. In the first stage, a subject chooses a bid price simultaneously and learns his own bid price and inputs, and the opponent's bid price. If he purchases inputs, he can set an ask price in the second stage. Otherwise, he waits for the next round. In the second stage, only the subject who have a commodity can sell it. If both middlemen have a commodity, they chose ask prices simultaneously. Then the lowest-bidder middleman sells first. The other middleman faces the residual consumers and sells a commodity to them. Then, they receive the information about opponent's ask price and his own ask price, sales and profit. Middleman-1 one's profit is determined as follows.

$$\pi_1 = p_1 q_{D1} - w_1 q_{S1}, \quad (1.1)$$

where p_1 , w_1 , q_{D1} , and q_{S1} represent the ask price, the bid price, the number of demand units, and the number of supply units, respectively. Especially,

³ When the total performance is negative, only showing up fee is payed.

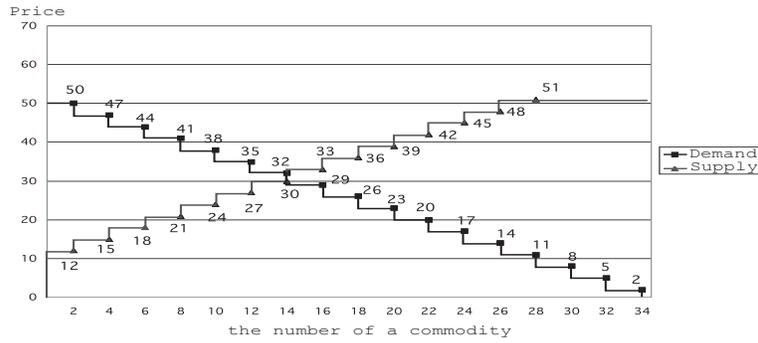


Fig. 1.1. The supply and demand functions used in the experiment

$$q_{S1} = \begin{cases} 0 & \text{if } w_1 < w_2 \\ S(w_1)/2 & \text{if } w_1 = w_2 \\ S(w_1) & \text{if } w_1 > w_2 \end{cases}$$

$$q_{D1} = \begin{cases} 0 & \text{if } q_{S1} = 0 \\ D(p_1) & \text{if } p_1 < p_2, \text{ and } q_{S1} \geq D(p_1) \text{ or if } q_{S2} = 0, \text{ and } q_{S1} \geq D(p_1) \\ q_{S1} & \text{if } p_1 < p_2, \text{ and } q_{S1} < D(p_1) \text{ or if } q_{S2} = 0, \text{ and } q_{S1} < D(p_1) \\ q_{S1} & \text{if } p_1 > p_2 \text{ and } q_{S1} < D(p_2) - q_{S2} \\ D(p_2) - q_{S2} & \text{if } p_1 > p_2 \text{ and } q_{S1} > D(p_2) - q_{S2}. \end{cases}$$

If $p^R \leq p^W$, this game has an unique sub-game perfect Nash equilibrium (SPNE), where p^R and p^W indicate the sales-revenue-maximizing ask price and the Walrasian price, respectively. In SPNE, both middlemen set the competitive price as the bid and ask prices.⁴

Our supply and demand functions are step-functions and shown in Figure 1.1. Competitive price is 30, 31, or 32. Maximum revenue price, p^R , is equal to $53/2$, which is smaller than the competitive price. There is a SPNE in this setting. SPNE is (35, 29) and different from the competitive price, because of the step-functions. When both subjects choose SPNE, each profit is 36. If one of the subjects monopolistically choose the competitive price, for example, (32, 30), his profit is only 28. Finally, we call the price set which maximizes profit the monopolistic price set. The bid and ask prices, and the trading volume are 21, 41, and 8, respectively.

Let us examine the difference between other experiments and ours. In other experiments, subjects choose only ask prices, while our subjects choose bid and ask prices. Moreover, our experimental setting is collusion-promotive. First, our subjects do not know the number of rounds, while those under other experiments know it. Secondly, subjects play the game with the same opponent throughout

⁴ The detailed proof is shown in Spulber (1999), ch. 3 and Stahl (1988).

| | | | | |
|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| session | Treatment1-1 | Treatment1-2 | Treatment1-3 | Treatment1-4 |
| number of pairs | 11 | 13 | 7 | 13 |
| number of rounds | 103 | 102 | 104 | 103 |
| max total profit | 3961 | 1982 | 4496 | 4148 |
| min total profit | -10203 | -2761 | -1637 | -11625 |
| average | -126.77 | 217.54 | 1513.25 | -928.96 |
| session | Treatment2-1 | Treatment2-2 | Treatment2-3 | Treatment2-4 |
| number of pairs | 11 | 13 | 7 | 13 |
| number of rounds | 107 | 109 | 108 | 107 |
| max total profit | 7636 | 10722 | 8800 | 7661 |
| min total profit | 516 | 654 | 907 | -2968 |
| average profit | 3372.05 | 4105.46 | 5253.31 | 3183.73 |

Table 1.1. Overview

the Treatment, whereas a pair is randomly matched in each round under other experiments. Finally, the competitive price is not SPNE. The profit of SPNE is higher than that of the competitive price. They do not have the incentive to choose the competitive price if they act rationally. Our setting helps subjects to collude.

After Treatment-2 finished, the subjects answered questions below.

- Q-1 “Bidding the bid price higher than the opponent’s ”
- Q-2 “Bidding the bid price as high as the opponent’s ”
- Q-3 “Bidding the bid price to sell all the units I have in the second stage”
- Q-4 “Bidding the ask price lower than the opponent’s”
- Q-5 “Bidding the ask price as high as the opponent’s”
- Q-6 “Bidding the ask price to sell all the units I have”.

The answers that the subjects can choose are in the following way,

- A-1 I am aware of this throughout the treatment,
- A-2 I am aware of this in the early rounds but not aware in the later rounds,
- A-3 I am not aware of this in the early rounds but aware in the later rounds,
- A-4 I am not aware of this throughout the treatment,
- A-5 others.

1.3 The Analysis

1.3.1 Overview

Subjects’ average total profit was larger under Treatment-2 than under Treatment-1. The difference is significant at the 5 per cent level for all cases; see Table 1.1. The maximum total profit and the minimum total profit were higher under Treatment-2 than under Treatment-1, too.

This difference comes mostly of the burden of dead inventory; $q_S - q_D$. Because subjects under Treatment-1 do not know the supply or demand, they search for the profitable price sets. During searching, they often suffer from dead inventory. Whereas subjects under Treatment-2 know the supply and demand in advance and may choose prices to equalize supply and demand.

Let us consider where the pair choose finally. We classify all the pairs into following five cases.

- C-1 Convergence to the competitive price sets; (32, 30), (32, 31), or (32, 32).
- C-2 Convergence to the monopolistic price set, (41, 21).
- C-3 Convergence to the sub-game perfect Nash equilibrium (SPNE) (35,29).
- C-4 Convergence to other price sets.
- C-5 Non Convergence.

A pair is classified into C-1 when more than 60 % of the winning bid and ask prices in the 70th to the last round belong to (30, 31), (30, 32), or (31, 32). Similarly, a pair is classified into C-2 if more than 60% of the winning bid and ask prices in the 70th to the last round belong to (41, 21). A pair is classified into C-3 when more than 60 % of the winning bid and ask prices in the 70th to the last round belong to SPNE. A pair is classified into C-4 when 60 % of the winning bid and ask prices in the 70th to the last round belong to a price set which does not belong to C-1 to C-3, for example, (38, 26) and (35, 27). Otherwise, a pair belongs to C-5.

Table 1.2 shows the distribution where to converge. The distribution of Treatment-1 is different from that of Treatment-2. The χ^2 test confirms that this difference is significant at 1 per cent level.

From Table 1.2, about thirty four per cent of the pairs choose the competitive price set under Treatment-1. Most of them choose (32, 30), while in Dufwenberg and Gneezy (2000), no pairs choose the competitive price. Therefore, our ratio is pretty high, even if the supply and demand functions are largely different from Dufwenberg and Gneezy (2000), Abbink and Brandit (2002) and Dufweberg et al. (2002). Even if the subjects do not know the supply or demand, or are not matched randomly in each round, the ratio of the competitively priced pairs is higher than the ratio when they know these functions and are randomly matched in each round. About five per cent of pairs under Treatment-1 choose SPNE. For lack of the supply-demand information, only a few pairs can choose SPNE exactly. However, about sixteen per cent of the pairs choose price sets near SPNE.

Under Treatment-2, only twenty per cent of the pairs converged to the competitive price set. The ratio of competitive price set is smaller under Treatment-2 than under Treatment-1. However, this ratio is still higher than those of Dufwenberg and Gneezy (2000), Abbink and Brandit (2002) and Dufwenberg et al. (2002). About twenty per cent of the pairs choose SPNE. This ratio is significantly higher than that under Treatment-1. In addition, about fourteen per cent of the pairs converged to the monopolistic price set. The supply-demand information and the experience can increase the ratio of SPNE and of the monopolistic price set. Most of other pairs choose $w \in [25, 29]$ and $p \in [35, 38]$.

Summing up, we claim in the following way; as the information and the experience increases, C-1 decreases, while C-2 and C-3 increase. However, C-1 is higher than any other ratios in other experiments.

1.3.2 Treatment-1

Figure 1.2 shows the evolution of average prices under Treatment-1. Bid prices in the first five or ten rounds are rising and higher than the competitive level. The subjects compete to reveal the situation and to win the opponent. However, the bid

| classification | C-1 (%) | C-2 (%) | C-3 (%) | C-4 (%) | C-5 (%) | total |
|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| Treatment-1 | 34.09 | 0.00 | 4.55 | 15.91 | 45.45 | 100 |
| Treatment-2 | 20.45 | 13.64 | 20.45 | 13.64 | 31.82 | 100 |

Table 1.2. Classification Results

| Treatment | 1-1 | 1-2 | 1-3 | 1-4 | 2-1 | 2-2 | 2-3 | 2-4 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ask | 1.00 | 1.07 | 1.35 | 2.34 | 0.60 | 0.24 | 0.53 | 0.55 |
| bid | 1.14 | 1.73 | 1.68 | 4.32 | 0.49 | 0.24 | 0.60 | 0.46 |

Table 1.3. variance throughout the treatment

price above the competitive price makes big loss. Therefore, the average winning bid price falls rapidly below thirty. Once the average winning bid price belongs to [28, 30], the small fluctuation lasts till the final round.

Let us explain the tendency of the average ask price. Except Treatment-1-4 (Figure 1.2 (d)), the winning ask price falls in the first ten or fifteen rounds because the subjects set high ask prices and fail to make profit well. Then, till the end round, the winning ask price fluctuates upward, because the subjects understand how to make profit intuitively. The upwardness are confirmed by Spearman's rank correlation test. This tendency is the case in the narrow range of [32, 34].

These are confirmed by a questionnaire. See Table 1.4. It enables us to understand the subjects' policy on the bid price setting. First, most of them tend to raise the bid price to win the opponent, however as the rounds go on, this tendency gradually decreases. Finally, they are aware of setting the bid price the same as the opponent's. Moreover they understand to set the bid price not to suffer from dead inventory. Their policy on the ask price setting is summarized as follows: the subjects do not care the opponent's ask price except both middlemen have a commodity. Instead, mainly they pay attention to set the ask price at which they sell all of their units.

1.3.3 Treatment-2

Figure 1.3 shows the evolution of average prices under Treatment-2. The average winning bid prices belong to [26, 29], which are lower than that of Treatment-1. Fluctuation in early rounds is smaller than that of Treatment-1, too: see Table 1.3, which indicates the variance throughout the treatment. In the later rounds, fluctuation is also small except Treatment-2-3. The average winning ask price is higher than that of Treatment-1 and belongs to [34, 37]. From Table 1.3, fluctuation is smaller than that of Treatment-1, too. Therefore, the bid-ask spread is higher than that of Treatment-1. In most rounds, the subjects' supply equals to their demand. Therefore they do not suffer from dead inventory frequently in contrast with Treatment-1.

Let us introduce the questionnaire results. Under Treatment-2, the bid price setting policy is to set the same alternative as the opponent's and/or to set an alternative to sell all the units they have. This policy is satisfied throughout the

Treatment-2. The policy on the ask price setting is almost the same as that of Treatment-1: setting the ask price to sell all the units they have. The subjects do not care the opponent's ask price.

1.4 Concluding Remarks

As concluding remarks, we discuss factors that can affect our result, and then the relation between our experiments and real markets. Finally, we consider the future studies.

Though our setting is collusion-promotive and the information and experience reduce the ratio of competitively priced pairs, the results are the most competitive among those of experimental price competitions. Here we examine the factors which brings our results. First, the bid price competition is winner-take-all. By this trading rule, the bid price can rise to or over the competitive level. Once the subjects choose the competitive price, they do not care for the opponent's decision. If subject A chooses 29 as bid price and subject B chooses 30, subject A can receive zero profit.

Moreover, the result is affected by the prices which subjects choose in the initial rounds under Treatment-1. A lot of subjects choose bid prices higher than SPNE and the competitive level. Therefore, the competitive alternatives are the equilibrium that most of them find first. This is true under Treatment-1, especially most of the competitively priced pairs can not find SPNE.

Thirdly, learning affects the behaviours. Though, under Treatment-2, the ratio of the competitively priced pairs decreases, some pairs have learned that the competitive alternatives bring profit safely and choose the competitive alternatives.

Fourth, the number of alternatives is too large (2500^2), though the structure of our experiment is the same as Prisoner's Dilemma. Because of the large number of alternatives, it can be difficult for some subjects to cooperate with each other.

Finally, the ratio of competitively priced pairs can be reduced by the step functions especially under Treatment-2. If we use liner functions, the ratio of the competitively priced pairs will increase. In this case, the competitive price is SPNE, and subjects do not have incentive to deviate.

The bid-ask competition is seen in the real market such as the used book industry. In Japan, the firms dealing with the used books, CDs, DVDs, and TV game softs have been prosperous since 1990's. As middlemen, they have pricing power to consumers and suppliers. The price competition among these firms is keen.

In addition, our experimental results are useful to design a new market. Suppose that a market is planned to design but the participants are a few and fixed in some reason. The price collusion may happen. To prevent the collusion, we can introduce price setting middlemen and the bid-ask competition. It will avoid the price collusion to some degree.

Finally we consider the future studies. Which is more collusion-promotive, the experience or the supply-demand information? In our study, this question is open. Next paper will deal with this question by introducing the treatment where inexperienced subjects have the supply-demand information.

| | | | | | | | | |
|-----------------------|-----------|-----|-----------------------|-------|-----|-----------------------|-----------|-----|
| Q-1 | T-1 | T-2 | Q-2 | T-1 | T-2 | Q-3 | T-1 | T-2 |
| A-1 | 31 | 33 | A-1 | 10 | 24 | A-1 | 24 | 52 |
| A-2 | 38 | 20 | A-2 | 11 | 8 | A-2 | 3 | 1 |
| A-3 | 14 | 11 | A-3 | 30 | 24 | A-3 | 23 | 6 |
| A-4 | 4 | 20 | A-4 | 33 | 29 | A-4 | 38 | 28 |
| A-5 | 1 | 4 | A-5 | 4 | 3 | A-5 | 0 | 1 |
| prob of χ^2 test | 1.750E-06 | | prob of χ^2 test | 0.020 | | prob of χ^2 test | 9.390E-15 | |
| Q-4 | T-1 | T-2 | Q-5 | T-1 | T-2 | Q-6 | T-1 | T-2 |
| A-1 | 27 | 22 | A-1 | 9 | 15 | A-1 | 50 | 69 |
| A-2 | 12 | 8 | A-2 | 4 | 5 | A-2 | 0 | 2 |
| A-3 | 7 | 6 | A-3 | 17 | 17 | A-3 | 18 | 5 |
| A-4 | 40 | 47 | A-4 | 56 | 50 | A-4 | 20 | 12 |
| A-5 | 2 | 5 | A-5 | 2 | 1 | A-5 | 0 | 0 |
| prob of χ^2 test | 0.189 | | prob of χ^2 test | 0.364 | | prob of χ^2 test | 4.743E-10 | |

Table 1.4. The results of a questionnaire

References

1. Abbink, Klaus and Brandits. Jordi, "Price Competition under cost uncertainty:A laboratory analysis", University of Nottingham, CeDEX discussion paper, 2002
2. Dufwenberg, Martin and Gneezy, Martin. "Price Competition and Market Concentration an Experimental Study", *International Journal of Industrial Organization*, vol 18, pp7-22, 2000
3. Dufwenberg, Martin., Uri Gneezy, Jacob K. Goeree, and Rosemarie Nagel, " Price Floor and Competition", working paper, Stockholm University, 2002
4. Friedman, Daniel and Sunder, Shyam., *Experimental Methods A primer for economists*, Cambridge University Press, 1994.
5. Kazuhito Ogawa, Yuhsuke Koyama, and Sobei H. Oda. "An experimental approach to market microstructure -search and market efficiency", *Proceedings of The 6th International Conference of COMPLEX SYSTEM 2002*, pp.124-134, 2002.
6. Plott, C. R. and Uhl. J T., "Competitive equilibrium with middlemen: An empirical study.", *Southern Economic Journal*, Vol. 47, pp. 1063-71, 1981.
7. Spulber, Daniel F. "Market microstructure and intermediation.", *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 10, pp. 135-152, 1996.
8. Spulber, Daniel F. *Market Microstructure -Intermediaries and the theory of the firm-*, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 1999.
9. Stahl D O. II, "Bertrand Competition for Inputs and Walrasian Outcomes.", *American Economic Review*, vol.78, pp.189-201, 1988

1 Price Competition between middlemen: An Experimental Study

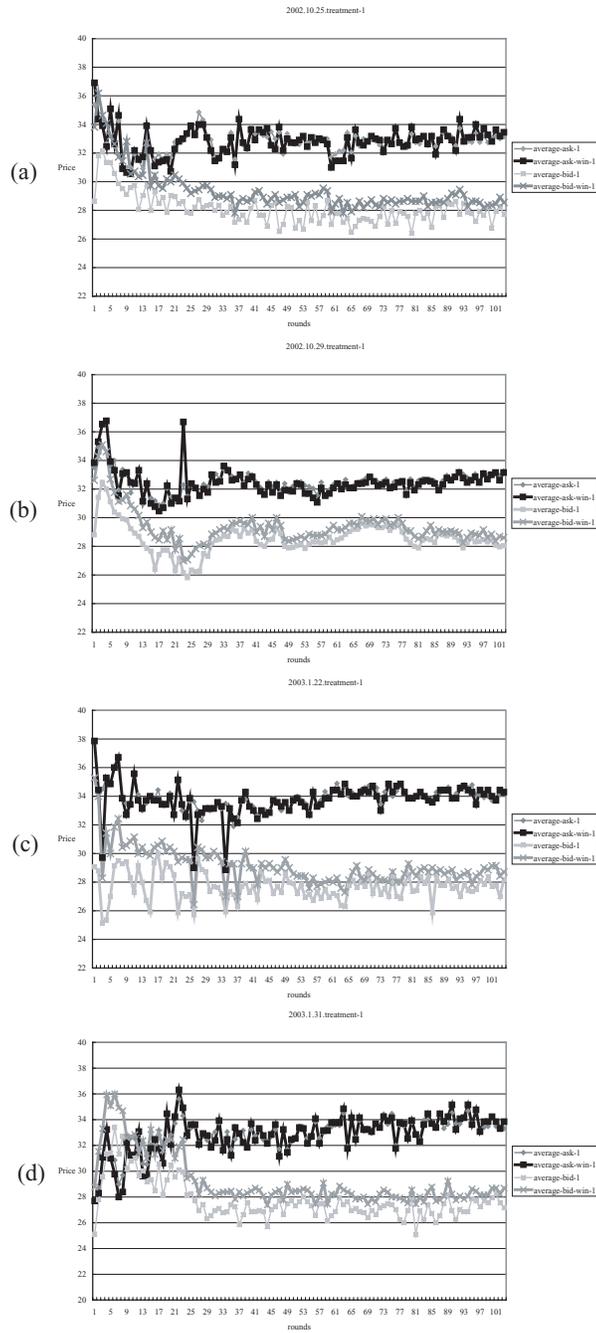


Fig. 1.2. Evolution of Average Prices in Treatment-1

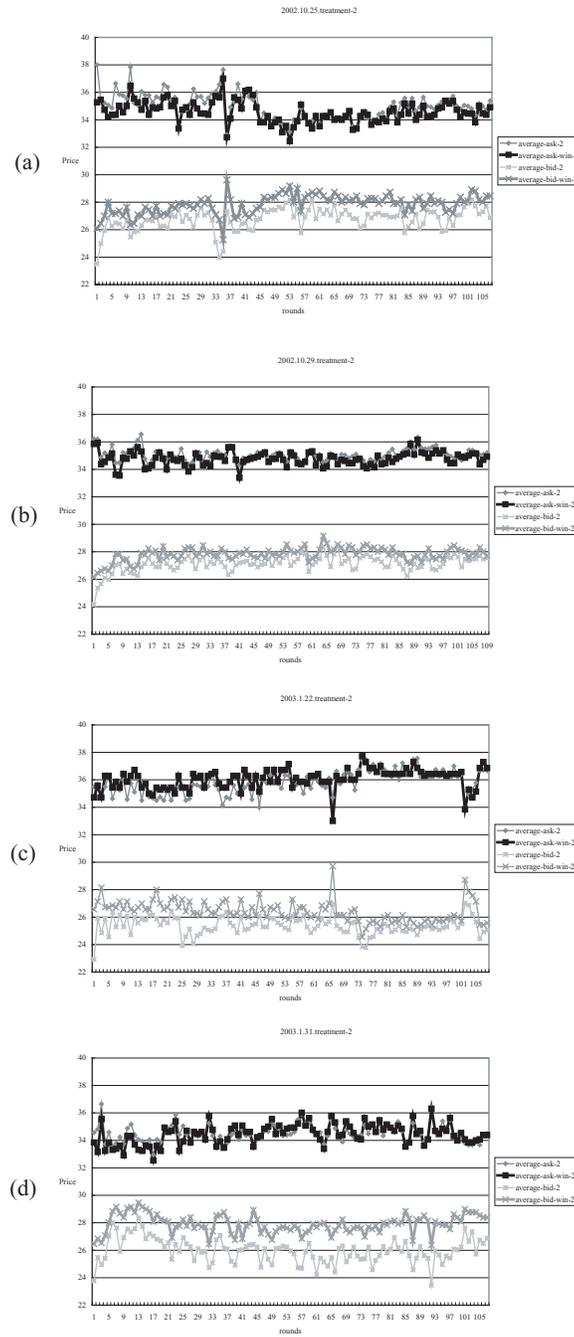


Fig. 1.3. Evolution of Average Prices in Treatment-2

リサイクルシステムにおける行動主体の意思決定と制度設計：使用済み製品の回収市場における分析

西野 成昭^{†a)} 小田宗兵衛^{††} 上田 完次[†]

A Study on Decision Making and Institutional Design in Recycling System: An Analysis about the Market for Collecting Used Units

Nariaki NISHINO^{†a)}, Sobei H. ODA^{††}, and Kanji UEDA[†]

あらまし 本研究は、リサイクルを社会システムとして捉え、その中の行動主体の意思決定とそのシステムの分析を行う。そこでマーケットマイクロストラクチャー理論に基づいた廃棄物回収市場をモデル化し、理論による均衡分析をもとに、回収主体を被験者に他の主体をエージェントにした、人と計算機エージェントの混在したマルチエージェントシステムを構築し実験を行った。それにより行動主体の意思決定について分析し、どのような廃棄物回収市場が社会的に優れているか考察している。得られた結果は、理論上では社会余剰の観点で最も優れている回収形態は、実験では必ずしも良いとは限らず、生産者が廃棄物を回収する方がパフォーマンスが高いという結果を示した。また、これらの結果を実社会の家電リサイクルが与える社会的枠組みと比較することで、制度設計の問題を考察している。

キーワード リサイクル, 実験経済学, 市場メカニズム, 制度設計, マーケットマイクロストラクチャー理論

1. はじめに

近年、資源枯渇やゴミ問題などの環境問題に対し、循環型のリサイクルシステムの実現が強く望まれる。これらの問題に対して、環境負荷を軽減するために、製品のライフサイクル全体を適切にデザインする必要がある [1]。例えば、Kimura ら [6] は、リユースやメンテナンスを設計段階から配慮した製品のモジュール化を提案し、一方、Sutherland ら [10] は分解プロセスに焦点を置きそのパフォーマンスを検証している。しかし、それらの技術的なプロセスは非常に重要であるが、それだけで完全という訳ではない。例えば、どのように廃棄物を集めるのかといった社会的な問題が残されている。たとえ、十分な分解・再利用のリサイ

クル技術があったとしても、それを活用するためには適切に廃棄物を回収しなければならない。本研究は、廃棄物回収において廃棄物の供給者や需要者といった経済主体の意思決定に着目し、市場原理に基づいて廃棄物の回収を分析する。

一方、マルチエージェント技術は幅広い分野で利用され、特に近年では社会システムへの応用研究がめざましい [2] [3]。そこで、上記の廃棄物の回収を考慮した社会システムとしてのリサイクルシステムを、消費者・生産者・回収業者等の行動主体からなるマルチエージェントとしてとらえ、その個々の行動と形成されるシステム全体を観察することを考える。

また、実社会への適用を考えた時には、プログラム化されたエージェントの行動だけではなく、実際の人間の行動を知る必要がある。そこで、実験経済学に着目しその手法を用いる。実験経済学は、実験室に仮想的な経済環境を構築し、実際の人間を被験者として、現金報酬による経済的インセンティブを与え、ゲームやマーケットといった一連の実験を行い、その意思決定や市場メカニズムを分析するものである [5]。特に Erev ら [4] や Nicolaisen ら [7] は、被験者実験の結果

[†] 東京大学 人工物工学研究センター, 〒 277-8568 千葉県柏市柏の葉 5-1-5

Research into Artifact, Center for Engineering (RACE), The University of Tokyo, Kashiwanoha 5-1-5, Kashiwa, Chiba, 277-8568 Japan

^{††} 京都産業大学 経済学部, 〒 603-8555 京都市北区上賀茂本山 Faculty of Economics, Kyoto Sangyo University, Kamigamo-Motoyama, Kita-ku, Kyoto 603-8555 Japan

a) E-mail: nishino@race.u-tokyo.ac.jp

を強化学習等のアルゴリズムを持ったエージェントによって再現させることを行っており、被験者実験と計算機シミュレーションをうまく組み合わせた手法を用いて、行動主体の意思決定について分析を行っている。

本研究では、廃棄物回収市場を形成する生産者と回収業者の意思決定が特に重要であると考え、それらを被験者とし消費者等の行動主体は合理的に行動するエージェントとして、人と計算機エージェントが混在するマルチエージェントシステムを構築する。廃棄物回収市場の実験では、生産者・回収業者・消費者・処理業者といった、個々の行動主体の意思決定が複雑に絡み合い、個々の行動が結果に対してどう影響したのか分析するのが困難になる。価格受容者である消費者と処理業者をエージェントにすることで、価格支配力を持つ生産者と回収業者の行動に着目でき、それらの行動と実験全体の行動との関係进行分析することが可能となる。また、すべての行動主体を被験者にして実験を行う場合であっても、消費者の数が2, 3人という設定では実験が成立せず、少なくとも数十~数百人規模の消費者を被験者として実験する必要がある。そのため、実際に被験者を用いて実験をすることは困難であり現実的ではない。すなわち、計算機エージェントの導入によって、初めて実験が可能となるのである。

以上のように、人間とエージェントからなるマルチエージェントシステムを構築し、その意思決定を分析し、リサイクルシステムの性質を明らかにし制度設計の問題へと繋げることを目的とする。

本論文の構成は以下の通りである。2章で廃棄物回収市場をモデル化し、3章で理論均衡を示す。4章では、人間とエージェントが混在するマルチエージェントシステムの実験を行っている。5章で、得られた結果を実社会の家電リサイクルと比較し、制度設計に関して考察している。最後に6章で結論を述べる。

2. 製品回収市場モデル

2.1 モデルの概要

生産者・消費者・廃棄物処理業者からなる市場を考える。生産者は新製品を生産し、消費者に販売する。消費者は生産者から新製品を購入し、使用済みの廃棄物を供給する。廃棄物処理業者は処理費用を受け取って廃棄物の処理を行う。ここでは、廃棄物も価格がついた財として扱い、その廃棄物を回収してもらうために支払う価格や処理してもらうに支払う価格によって市場が形成される。本モデルは、マーケットマイク

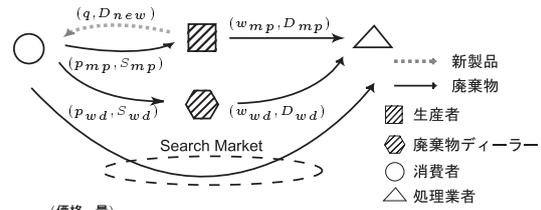


図1 モデルの概要

Fig. 1 Overview of the model.

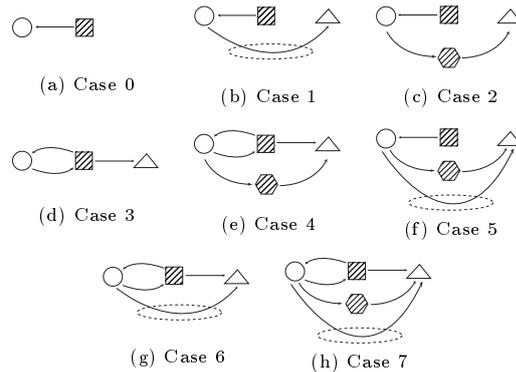


図2 8種類の回収形態

Fig. 2 Eight kinds of market structure.

ロストラクチャー理論 [9] に基づいて構築されており、生産者や回収業者によっていかに市場が形成されるかに着目している。

そこで、消費者から使用済み製品の回収をおこなう主体(回収業者)として

- (1) 生産者
- (2) 廃棄物処理業者
- (3) 廃棄物ディーラー

の3つを考える(図1)。ここで新たに追加した廃棄物ディーラーとは、消費者と廃棄物処理業者の間の仲介業者としてはたらく。また、回収業者が廃棄物処理業者の場合は図1で示されているように、サーチマーケットを介して取引が行われる。サーチマーケットの説明は2.6節で述べる。これら3種類の回収業者の組み合わせにより、8種類のリサイクル経路 Case 0~7 を考える(図2)。ただし、このうち Case 0 に関しては回収業者がいない場合でリサイクル過程を含んでいない。

2.2 消費者

消費者 i ($1 \leq i \leq n$) は価格 q で新製品を購入し、 p_i を支払って使用済み製品を回収業者に渡す。Case 0 の場合を除き、消費者は使用済み製品の不法投棄が

できないものと仮定する．また，保有する使用済み製品を適切に処理できなければ，すなわち回収業者に渡さなければ新製品を購入できないものとする．支払意思額 (willingness to pay) を v_i とすると，効用 U_i は

$$U_i = v_i - p_i - q \quad (1)$$

となる．ここで， v_i は $[0, 1]$ の一様分布と仮定する．

2.3 廃棄物処理業者

廃棄物処理業者 j ($1 \leq j \leq m$) は 1 製品あたり価格 w_j を受け取って使用済み製品の処理をおこなう．処理にかかる費用を c_j とすると，利益 R_j は

$$R_j = w_j - c_j \quad (2)$$

となる．ただし c_j を $[0, 1]$ の一様分布と仮定する．

2.4 生産者

生産者は 1 製品あたり γ の費用で新製品を生産し，価格 q で消費者に販売する．また Case 3, 4, 6, 7 では回収業者も兼ねており，消費者から 1 製品あたり価格 p_{mp} を受け取って使用済み製品を回収し， w_{mp} で廃棄物処理業者に処理を委託する．生産者の利潤 Π_{mp} は以下のように定義される．

$$\Pi_{mp} = \begin{cases} (q - \gamma)D_{new} & (\text{Case } 0,1,2,5) \\ (q - \gamma)D_{new} + p_{mp}S_{mp} - w_{mp}D_{mp} & (\text{Case } 3,4,6,7) \end{cases} \quad (3)$$

ここで S_{mp} および D_{mp} はそれぞれ生産者が回収した廃棄物の量および廃棄物処理業者に処理を依頼した量を示す．さらに，回収した廃棄物を不法投棄したり未処理のまま保有できないものとし $S_{mp} \leq D_{mp}$ の制約条件を付加する．生産者は市場に 1 社のみの独占企業であり，自らの利益を最大化するように価格 q ， p_{mp} ， w_{mp} を決定する．

2.5 廃棄物ディーラー

Case 2, 4, 5, 7 では廃棄物ディーラーが回収業者としてはたらく．このときの利益 Π_{wd} は以下のように定義される．

$$\Pi_{wd} = p_{wd}S_{wd} - w_{wd}D_{wd} \quad (4)$$

ここで S_{wd} および D_{wd} はそれぞれ廃棄物ディーラーが回収した廃棄物の量および廃棄物処理業者に処理を依頼した量を示し，生産者と同様に $S_{wd} \leq D_{wd}$ の制約条件が加わる．廃棄物ディーラーは独占企業であり，自らの利益を最大化するように価格 p_{wd} と w_{wd} を決定する．

2.6 サーチマーケット

ここで，サーチマーケットを定義する．Case 1, 5, 6, 7 では廃棄物処理業者が回収者となり，消費者と処理業者が直接取引する．その場合，生産者や廃棄物ディーラーが回収する場合と異なり，取引できる相手を自分で探さなければならず，サーチマーケットを介して取引を行うものとする．

サーチマーケットでは，消費者・廃棄物処理業者はランダムに出会うものとし，その出会う確率を $\lambda \in [0, 1]$ とする．以後，この λ を遭遇確率と呼ぶ．消費者と処理業者が出会うと取引に移り，いずれか一方が価格を提示する．提示された側がその価格を受け入れれば取引が成立となり，提示額を拒否すれば取引は不成立となる．提示を拒否した場合は，それ以降の取引機会を失うこととなる．その場合，新製品の購入もできない．

サーチマーケットでは相手をたとえ見つけられたとしても，交渉には不確実性を伴うため，探索のためのコストが生じる．

3. 理論上の均衡解

文献 [8] [11] では，本モデルの均衡解を導いている．表 1 と 2 に各ケースの均衡価格と余剰をまとめた．

理論的な観点から以下のことが言える．

- 廃棄物回収を行わない場合 (Case 0)

利益・総余剰共に Case 0, すなわち廃棄物回収がない場合が他のどの場合よりも高い．これが意味するのは，廃棄物回収による環境改善を全く考慮しないなら，リサイクルは社会にとっても，生産者にとっても利益を減少させる活動にしかならないということである．

- 競争が存在しない廃棄物回収 (Case 1,2,3)

生産者自身が廃棄物を回収する場合 (Case 3) において，生産者の利益および総余剰は最も大きくなる．Case 1 や 2 では新製品を売ることしか利益を得られないが，Case 3 では廃棄物回収からも利益機会を得ることになる．生産者にとって廃棄製品の回収を強制する法律は，一見負担でしかない様に思えるが，必ずしもそうとは限らないのである．

- 競争が存在する廃棄物回収 (Case 4,5,6,7)

- (i) 生産者が回収を行う時 (Case 4,6,7)

生産者は廃棄物の回収価格を十分小さくすることで，廃棄物ディーラーやサーチマーケットといった競争相手を排除することができる．結果として，生産者は全ての廃棄物を回収できる．回収価格を低くした分は新製品価格に上乗せすることで，何の損失も無く競争相

表 1 均衡価格
Table 1 Equilibrium price.

| | 生産者 | | | | 廃棄物ディーラー | | |
|--------|---|------------|----------------------|--|--|--|----------------------------------|
| | q^* | p_{mp}^* | w_{mp}^* | Q_{mp}^* | p_{wd}^* | w_{wd}^* | Q_{wd}^* |
| Case 0 | $\frac{1+\gamma}{2}$ | — | — | $\frac{1-\gamma}{2}$ | — | — | — |
| Case 1 | $\frac{1+\gamma}{2}$ | — | — | $\frac{\lambda(1-\gamma)}{8}$ | — | — | — |
| Case 2 | $\frac{1+4\gamma}{5}$ | — | — | $\frac{(1-\gamma)}{5}$ | $\frac{3(1-\gamma)}{5}$ | $\frac{1-\gamma}{5}$ | $\frac{1-\gamma}{5}$ |
| Case 3 | $q^* + p_{mp}^* = \frac{3+\gamma}{4}$ | | $\frac{1-\gamma}{4}$ | $\frac{1-\gamma}{4}$ | — | — | — |
| Case 4 | $q^* + p_{mp}^* = \frac{3+\gamma}{4}, p_{mp}^* \leq \frac{1-\gamma}{4}$ | | $\frac{1-\gamma}{4}$ | $\frac{1-\gamma}{4}$ | $\frac{1-\gamma}{4}$ | $\frac{1-\gamma}{4}$ | 0 |
| Case 5 | $\frac{2+\lambda+8\gamma}{10+\lambda}$ | — | — | $\frac{(\lambda+2)(1-\gamma)}{10+\lambda}$ | $\frac{(6-\lambda)(1-\gamma)}{10+\lambda}$ | $\frac{(2+\lambda)(1-\gamma)}{10+\lambda}$ | $\frac{2(1-\gamma)}{10+\lambda}$ |
| Case 6 | $q^* + p_{mp}^* = \frac{3+\gamma}{4}, p_{mp}^* \leq \frac{1-\gamma}{4}$ | | $\frac{1-\gamma}{4}$ | $\frac{1-\gamma}{4}$ | — | — | — |
| Case 7 | $q^* + p_{mp}^* = \frac{3+\gamma}{4}, p_{mp}^* \leq \frac{1-\gamma}{4}$ | | $\frac{1-\gamma}{4}$ | $\frac{1-\gamma}{4}$ | $\frac{1-\gamma}{4}$ | $\frac{1-\gamma}{4}$ | 0 |

ここで、 Q_{mp}^* は生産者の取引量を表し、均衡では $Q_{mp}^* = D_{new} = S_{mp} = D_{mp}$ となる。また、 Q_{wd}^* は廃棄物ディーラーの取引量を表し、均衡では $Q_{wd}^* = S_{wd} = D_{wd}$ となる。

表 2 均衡における余剰
Table 2 Equilibrium surplus

| | 消費者 | 処理業者 | ディーラー | 生産者 | 総余剰 |
|--------|---|--|---|--|--|
| Case 0 | $\frac{(1-\gamma)^2}{8}$ | — | — | $\frac{(1-\gamma)^2}{4}$ | $\frac{3(1-\gamma)^2}{8}$ |
| Case 1 | $\frac{\lambda(1+\theta)(1-\gamma)^2}{96}$ | $\frac{\lambda(2-\theta)(1-\gamma)^2}{96}$ | — | $\frac{\lambda(1-\gamma)^2}{16}$ | $\frac{3\lambda(1-\gamma)^2}{32}$ |
| Case 2 | $\frac{(1-\gamma)^2}{50}$ | $\frac{(1-\gamma)^2}{50}$ | $\frac{2(1-\gamma)^2}{25}$ | $\frac{(1-\gamma)^2}{25}$ | $\frac{4(1-\gamma)^2}{25}$ |
| Case 3 | $\frac{(1-\gamma)^2}{32}$ | $\frac{(1-\gamma)^2}{32}$ | — | $\frac{(1-\gamma)^2}{8}$ | $\frac{3(1-\gamma)^2}{16}$ |
| Case 4 | $\frac{(1-\gamma)^2}{32}$ | $\frac{(1-\gamma)^2}{32}$ | 0 | $\frac{(1-\gamma)^2}{8}$ | $\frac{3(1-\gamma)^2}{16}$ |
| Case 5 | $\frac{(8\lambda+2\lambda\theta+6)(1-\gamma)^2}{3(10+\lambda)^2}$ | $\frac{(10\lambda-2\lambda\theta+6)(1-\gamma)^2}{3(10+\lambda)^2}$ | $\frac{4(2-\lambda)(1-\gamma)^2}{(10+\lambda)^2}$ | $\frac{(2+\lambda)^2(1-\gamma)^2}{(10+\lambda)^2}$ | $\frac{(1-\gamma)^2(\lambda^2+6\lambda+16)}{(10+\lambda)^2}$ |
| Case 6 | $\frac{(1-\gamma)^2}{32}$ | $\frac{(1-\gamma)^2}{32}$ | — | $\frac{(1-\gamma)^2}{8}$ | $\frac{3(1-\gamma)^2}{16}$ |
| Case 7 | $\frac{(1-\gamma)^2}{32}$ | $\frac{(1-\gamma)^2}{32}$ | 0 | $\frac{(1-\gamma)^2}{8}$ | $\frac{3(1-\gamma)^2}{16}$ |

手を排除することができる。すなわち競争相手がいない Case 3 と同じ均衡解が達成される。

(ii) 生産者が回収を行わない時 (Case 5)

このとき生産者の利益に関しては Case 3 の方が高い。しかし、総余剰についてはサーチマーケットで消費者と処理業者の遭遇確率 λ に依存する。具体的には $\lambda > 0.92$ の時、Case 5 の総余剰が Case 3 より高くなり、それ以外では Case 3 の方が総余剰が高くなる。

以上から、サーチマーケットでの遭遇確率が低い場合、生産者が廃棄物回収を行うことで社会全体の総余剰と生産者自身の利益を最大化できる。この点において生産者回収 (Case 3, 4, 6, 7) が最も優れている廃棄物回収形態であるといえる。

しかし、サーチマーケットの遭遇確率が非常に高い場合、生産者以外に廃棄物回収を委ねる方が社会全体の総余剰は高くなる。この社会全体の観点から見れば Case 5 が最も優れている回収形態となる。

4. 被験者と計算機エージェントによる廃棄物回収市場実験

4.1 実験の概要

2章でモデル化した廃棄物回収市場の、回収を行わない Case 0 を除く Case 1 から Case 7 までの実験を行う。実験は、京都産業大学専用実験室 KEEL (Kyoto Sangyo University Experimental Economics Laboratory) において実施した。

この実験では、先述したように生産者と廃棄物ディーラーは被験者として、消費者と処理業者を計算機エージェントとして実験を行った。この理由は、価格受容者である消費者と処理業者からは意図しない非合理的な行動を排除し、市場を形成する生産者と廃棄物ディーラーの意思決定に着目したからである。生産者と廃棄物ディーラーが共に存在するケースでは、2者間の価格競争といったインタラクションが市場形成に

において特に重要であり、その過程とそれが全体に与える影響を調べることが必要不可欠となる。つまり、その2者以外の行動主体に関する戦略的な不確かさを減らすことで、本研究で着目する主体の行動分析が扱いやすくなるのである。

4.2 被験者

被験者には生産者もしくは廃棄物ディーラーとして役割が与えられる。消費者と処理業者を計算機エージェントとしているので、実際の実験では廃棄物ディーラーがいる場合には、生産者と廃棄物ディーラーの2人1組の実験となり、廃棄物ディーラーがいない場合には生産者1人の実験となる。被験者の意思決定の手順は以下の通りである。

- (1) 価格を選択する
- (2) 選択した価格に基づいて消費者エージェントおよび処理業者エージェントは取引を行う
- (3) 結果が表示される
- (4) (1)の価格の選択に戻る

以上の手続きを1ステップとし、100ステップまで繰り返し行う。なお、被験者が決定した価格は、市場に存在する全ての経済主体に知らされ、要求のある全ての消費者・処理業者と取引される。

4.3 計算機エージェント

消費者エージェントと廃棄物処理業者エージェントは以下のように設定した。

- 消費者は100人で、それぞれが支払意思額 v を持っており、 v は $[0, 100]$ で一様分布。
- 処理業者は100人で、それぞれが処理コスト c を持っており、 c は $[0, 100]$ で一様分布。
- 各エージェントはそれぞれが持つ効用関数に従って行動する。すなわち、消費者は支払意思額 v および被験者が提示する販売価格・回収価格から効用を最大化するように意思決定し、処理業者は処理コスト c および被験者が提示する処理価格から利益を最大化するように意思決定する。

消費者エージェント・処理業者エージェントはそれぞれの効用関数を必ず最大化するような行動をとるようにプログラムされているため、完全に合理的行動を行うことになる。また、サーチマーケットでは、遭遇確率 λ でランダムに取引相手に会い取引を行う。取引に失敗すればそのステップでの取引機会を失う。

4.4 その他の設定

- 遭遇確率を最も良い $\lambda = 1$ とした。
- 生産コストは $\gamma = 0$ と設定した。

- c, v を $[0, 100]$ の一様分布を仮定し、価格の範囲も $[0, 100]$ までで選択させた。
- 各 Case における決定変数と人数を表3に示す。
- 理論上の均衡価格および総余剰を表4, 5に示す。

表3 決定変数と被験者数

Table 3 Parameters of decision-making and number of subjects in each case.

| Case | 生産者 | | ディーラー | | 合計 |
|------|-----|---------------------|-------|------------------|-----|
| | 人数 | 決定変数 | 人数 | 決定変数 | |
| 1 | 8 | q | — | — | 8 |
| 2 | 10 | q | 10 | — | 20 |
| 3 | 53 | q, p_{mp}, w_{mp} | — | — | 53 |
| 4 | 6 | q, p_{mp}, w_{mp} | 6 | p_{wd}, w_{wd} | 12 |
| 5 | 36 | q, p_{mp}, w_{mp} | 36 | p_{wd}, w_{wd} | 72 |
| 6 | 8 | q, p_{mp}, w_{mp} | — | — | 8 |
| 7 | 12 | q, p_{mp}, w_{mp} | 12 | p_{wd}, w_{wd} | 24 |
| 合計 | 157 | | 88 | | 245 |

表4 実験設定における均衡価格

Table 4 Equilibrium price in the experiments.

| | 生産者 | | | ディーラー | |
|--------|-------|------|------|-------|------|
| | 販売価格 | 回収価格 | 処理価格 | 回収価格 | 処理価格 |
| Case 1 | 50 | — | — | — | — |
| Case 2 | 20 | — | — | 60 | 20 |
| Case 3 | 合計=75 | | 25 | — | — |
| Case 4 | 合計=75 | | 25 | 25 | 25 |
| Case 5 | 27 | — | — | 47 | 27 |
| Case 6 | 合計=75 | | 25 | — | — |
| Case 7 | 合計=75 | | 25 | 25 | 25 |

(注) Case 4, 6, 7 では回収価格が25以下でなければならない。また、この実験の設定では、簡単のため生産コストを0としている一方で、処理コストは0ではないため、回収価格が販売価格より大きくなる状況が生じ得る。

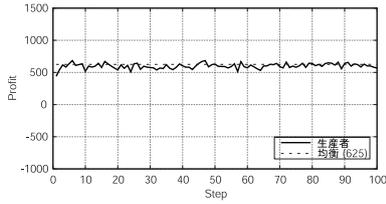
表5 実験設定における均衡時の余剰

Table 5 Equilibrium surplus in the experiments

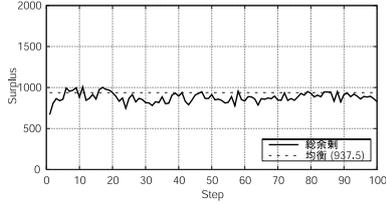
| | 消費者 | 処理業者 | 生産者 | ディーラー | 総余剰 |
|--------|--------|--------|------|-------|-------|
| Case 1 | 156.25 | 156.25 | 625 | — | 937.5 |
| Case 2 | 200 | 200 | 400 | 800 | 1600 |
| Case 3 | 312.5 | 312.5 | 1250 | — | 1875 |
| Case 4 | 312.5 | 312.5 | 1250 | 0 | 1875 |
| Case 5 | 413.2 | 413.2 | 744 | 331 | 1901 |
| Case 6 | 312.5 | 312.5 | 1250 | — | 1875 |
| Case 7 | 312.5 | 312.5 | 1250 | 0 | 1875 |

4.5 実験結果

図3~9にCase1~7の実験結果を示す。図の(a), (b)はそれぞれ各ステップにおける平均の利益、総余剰を示す表6と表7に各ケースにおける価格と余剰の平均値をまとめた。結果より次のことが言える。
Case 1: 理論値に近い値を示している
Case 2: 理論と異なりディーラーの利益が減少し生産者利益が上昇している。総余剰も理論値よりも低い。

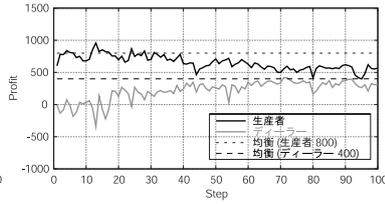


(a) 利益

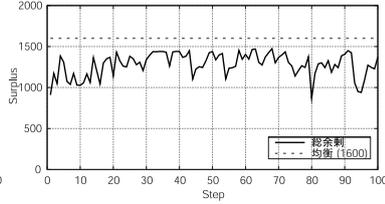


(b) 総余剰

図 3 Case 1 の実験結果
Fig. 3 Experimental results in case 1.

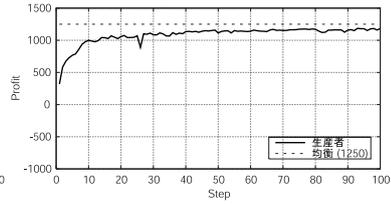


(a) 利益

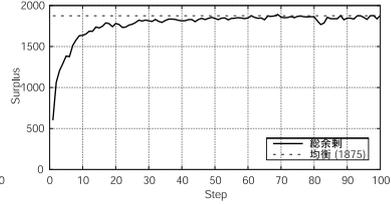


(b) 総余剰

図 4 Case 2 の実験結果
Fig. 4 Experimental results in case 2.

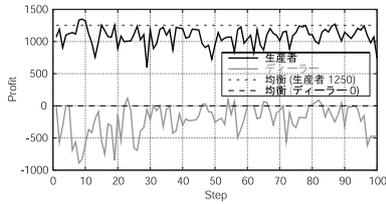


(a) 利益

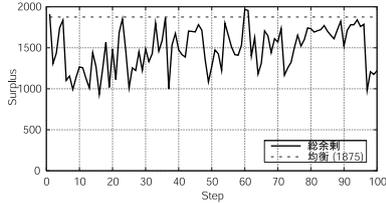


(b) 総余剰

図 5 Case 3 の実験結果
Fig. 5 Experimental results in case 3.

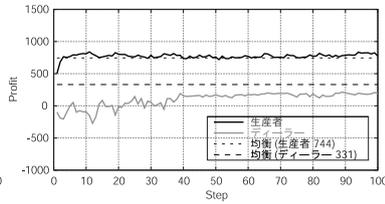


(a) 利益

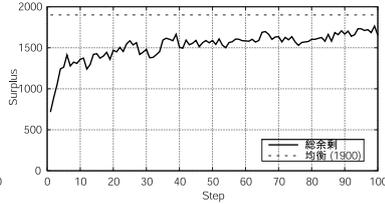


(b) 総余剰

図 6 Case 4 の実験結果
Fig. 6 Experimental results in case 4.

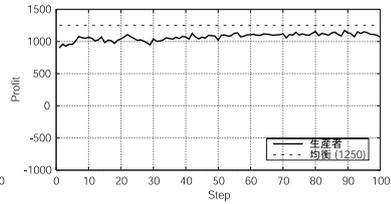


(a) 利益

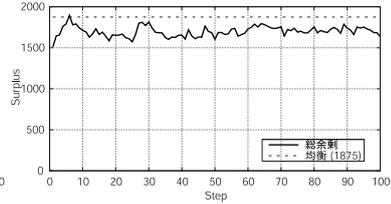


(b) 総余剰

図 7 Case 5 の実験結果
Fig. 7 Experimental results in case 5.



(a) 利益



(b) 総余剰

図 8 Case 6 の実験結果
Fig. 8 Experimental results in case 6.

表 6 実験結果：価格の平均

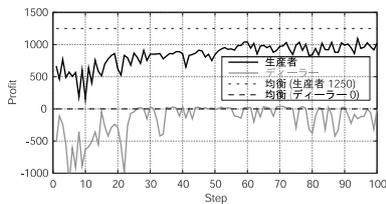
Table 6 Experimental results: average price.

| | 生産者 | | | ディーラー | |
|--------|------|------|------|-------|------|
| | 販売価格 | 回収価格 | 処理価格 | 回収価格 | 処理価格 |
| Case 1 | 54.0 | — | — | — | — |
| Case 2 | 35.9 | — | — | 44.5 | 24.0 |
| Case 3 | 52.0 | 24.7 | 25.6 | — | — |
| Case 4 | 53.4 | 25.3 | 26.3 | 32.6 | 20.7 |
| Case 5 | 36.7 | — | — | 42.5 | 26.9 |
| Case 6 | 51.3 | 27.3 | 24.0 | — | — |
| Case 7 | 54.8 | 19.8 | 26.7 | 30.1 | 23.8 |

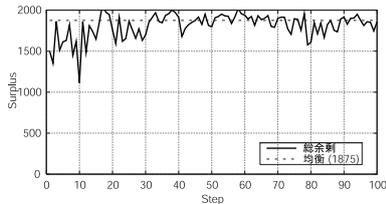
表 7 実験結果：余剰の平均

Table 7 Experimental results: average surplus.

| | 消費者 | 処理業者 | 生産者 | ディーラー | 総余剰 |
|--------|-----|------|------|-------|------|
| Case 1 | 140 | 140 | 600 | — | 879 |
| Case 2 | 246 | 266 | 653 | 236 | 1402 |
| Case 3 | 303 | 328 | 1086 | — | 1717 |
| Case 4 | 337 | 287 | 1082 | -221 | 1485 |
| Case 5 | 316 | 339 | 771 | 100 | 1526 |
| Case 6 | 282 | 345 | 1071 | — | 1698 |
| Case 7 | 483 | 379 | 837 | -164 | 1810 |



(a) 利益



(b) 総余剰

図 9 Case 7 の実験結果
Fig. 9 Experimental results in case 7.

Case 3：均衡に近い値を示している

Case 4：均衡に近い値を示している．ただし、ディーラーは最大でも利益が 0 であるが、損をしてでも取引しようとする行動があるためマイナスが出ている．その損失が総余剰の減少に影響を与えている．

Case 5：理論と異なり消費者と処理業者の余剰が減少している．総余剰は大きく理論値を下回っている．

Case 6：消費者余剰が少し低く、処理業者余剰が少し高いが、全体としては理論に近い値を示している

Case 7：生産者の利益が理論値よりも大きく減少している．これは最も競争力が強い市場であるから、少しの失敗が利益減少に直接つながるからである．しかし、総余剰はそれほど減少していない．

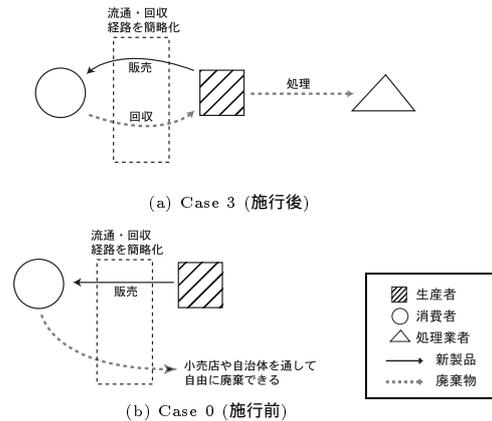


図 10 廃棄物回収モデルとの対応
Fig. 10 The model and the real world.

以上より、次のように考察できる．

- 理論解析では、Case 5 が最も総余剰を高くする回収形態であることが言えたが、実験結果からは Case 4 を除く生産者回収 (Case 3, 6, 7) の方が Case 5 よりも総余剰が大きくなった．つまり、Case 5 の回収形態は理論上では最高の総余剰を得ることができるが、理論値よりも低くなる性質を持っている．

- 生産者利益に注目すれば、生産者が回収を行うことにより理論上でも実験結果からも、回収を行わない場合に比べて利益が大きくなることが分かった．このことにより、生産者は回収した方が利益を大きくすることができるので回収のインセンティブを生じ市場の動きとしては、生産者回収に向かう．

- Case 7 の回収形態は、理論上は生産者 1 人で回収を行う Case 3 と同じ結果であるが、生産者が大きく均衡価格から逸脱した価格を付けたとしても、安定して総余剰を高くすることができることが実験結果より明らかになった．これは、回収経路が複数あることで、不適切な価格付けによる総余剰低下を防ぎ、システムとして頑健性を有することを意味する．

5. 実社会のリサイクルシステムとの比較

5.1 家電リサイクル

実社会におけるリサイクルシステムと対比させると、Case 3 は特定家庭用機器再商品化法 (家電リサイクル法) が与える社会的枠組みに相当し (図 10(a))、流通・回収経路である小売店や市町村・指定取引場所等を簡略化したモデルとなっている．また、Case 0 が家電リサイクル法施行前のモデルに対応する (図 10(b))．図 11 に家電リサイクル法が与える社会的枠組みを示し、

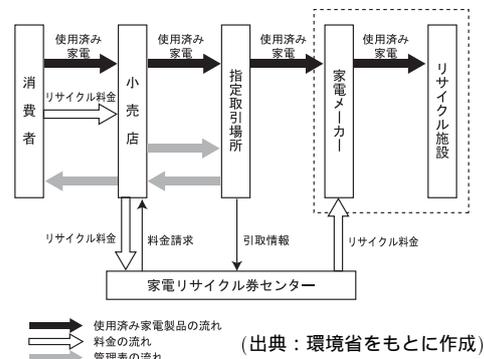


図 11 家電リサイクル法が与える社会的枠組み
Fig. 11 Framework of the recycling law of home appliances.

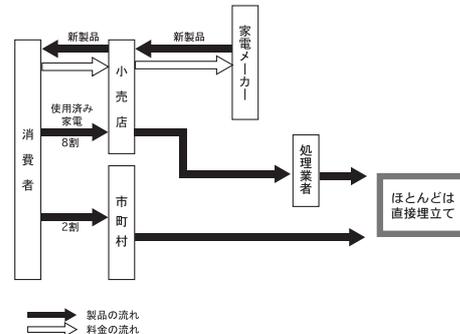


図 12 家電リサイクル法の施行前
Fig. 12 Before the recycling law is effective.

図 12 に施行前の枠組みを図示した．特に、家電リサイクル法制度において消費者自ら取引相手を探索し、処理業者と取引するといった、Case 6 や Case 7 の形態はほとんど皆無であり、その方法は極めて難しい．

表 8 に家電リサイクル法が施行される前の廃棄物の量を、表 9 に施行後の廃棄物の量を示した。表から分かるように、施行前は 1.3 千万台から増加をたどり平成 10 年では約 2 千万台近くまで到達している。一方で、家電リサイクル法施行後は、その量は大きく減少し約半分ほどになっている。

これらの理由として、不法投棄の増加や中古市場へ流出、その他市場における様々な要因が考えられるが、その中の理由の 1 つとして、理論が示すような市場形態の変化による取引量の減少が考えられる。理論均衡によれば、施行前 (Case 0) では $Q^* = \frac{1-\gamma}{2}$ で、施行後 (Case 3) では $Q^* = \frac{1-\gamma}{4}$ であったことから、理論上では 1/2 に減少するのである。実際の社会では、市場競争や景気その他の種々の問題が影響を与えるので、一概に言えないが回収量が半分になっているのは非常によく一致している。また、被験者実験の結果で、Case 3 に関しては非常に理論を支持する結果を示していたことから、幾分かの妥当性が与えられる。

5.2 制度改善に向けて

理論解析や実験の結果から、誰が回収するかという問題に対し、回収主体が存在する場合では生産者が回収することで最も利益を増大させることができるため、誰かが回収するという制度を構築するだけで、生産者には自社製品を回収するインセンティブが生じるのである。家電リサイクル法のように、生産者に絶対的に回収の義務を与える必要はなくなるかもしれない。しかし、そのためには不法投棄ができないような社会制度が必要となるであろう。

さらに、各メーカーが決定する回収価格において価格競争が激しくなるなど、回収部分での市場活動が活発になり、回収価格が大きく変動するような場合には、Case 7 のように、生産者が回収する経路だけでなく、消費者自身が容易に処理業者を探すことができるような社会制度や、生産者以外の回収専門の主体による回収経路を確保することで、安定した社会余剰を維持できるはずである。これは、Case 7 の実験が示している通りである。回収経路を複数持たせることにより、一方の経路が機能しなくなろうとも他方の回収により取引が確実に成立するので、大きく社会余剰が減少しないのである。

6. おわりに

本研究は、リサイクルシステムにおける意思決定主体として、生産者・回収業者・処理業者・消費者に着

表 8 廃棄量の推移 (家電リサイクル法施行前)

Table 8 Volume of wastes before the law is effective.

| 年 | テレビ | 冷蔵庫 | 洗濯機 | エアコン | 合計 |
|---------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 平成 3 年 | 4,640 | 3,323 | 3,774 | 2,025 | 13,762 |
| 平成 4 年 | 4,855 | 3,380 | 3,795 | 2,172 | 14,202 |
| 平成 5 年 | 5,136 | 3,447 | 3,831 | 2,360 | 14,774 |
| 平成 6 年 | 5,483 | 3,524 | 3,882 | 2,588 | 15,477 |
| 平成 7 年 | 5,886 | 3,625 | 3,958 | 2,889 | 16,358 |
| 平成 8 年 | 6,347 | 3,752 | 4,060 | 3,264 | 17,423 |
| 平成 9 年 | 6,841 | 3,850 | 4,182 | 3,606 | 18,479 |
| 平成 10 年 | 7,370 | 3,921 | 4,324 | 3,915 | 19,530 |

(注) 単位は千台

(出典：環境省)

表 9 廃棄量の推移 (家電リサイクル法施行後)

Table 9 Volume of wastes after the law is effective.

| | 13 年度 4 品目合計 | 14 年度 4 品目合計 | 15 年度 4 品目合計 |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 4 月 | 276 | 271 | 784 |
| 5 月 | 568 | 784 | 872 |
| 6 月 | 694 | 871 | 919 |
| 7 月 | 1,200 | 1,301 | 1,214 |
| 8 月 | 1,043 | 1,216 | 1,102 |
| 9 月 | 706 | 812 | 979 |
| 10 月 | 687 | 736 | 766 |
| 11 月 | 645 | 705 | 665 |
| 12 月 | 873 | 925 | 992 |
| 1 月 | 678 | 744 | 751 |
| 2 月 | 529 | 601 | 613 |
| 3 月 | 650 | 734 | 806 |
| 年度合計 | 8,549 | 10,150 | 10,462 |

(注) 台数は全国の指定取引場所における引取り台数である。また、単位は千台。(出典：環境省)

目し、その行動主体からなる経済システムを分析した。その手法として、被験者とエージェントからなるマルチエージェントシステムを構築し、理論的な均衡解をもとに実験結果と比較しその挙動を観察した。

分析の結果から、モデル化したリサイクルシステムの理論的な特徴と実験による結果と比べ、その性質を明らかにした。特に、理論上では最も良い回収形態が実験では良いとは限らず、生産者が回収する方が良いパフォーマンスを示した。また、得られた結果を家電リサイクル法が与える社会的な枠組みと比較し、制度設計の問題に関して考察し、幾つかの示唆を与えた。

謝辞 本研究は科学研究費補助金 (基盤研究 B(2)) 「共創的意思決定システムの理論構築と検証」(課題番号: 15310113) および、科学研究費補助金 (特定領域研究 (2)) 「実世界ジレンマにおける共創的意思決定と制度設計」(課題番号: 16016228) の研究助成を受けて行われ、被験者実験に関しては、私立大学学術研究高度化推進事業オープン・リサーチ・センター「実験経済学：経済学教育の新しい方法と、それによる経済

学教育の社会的効果の研究」の援助により実施されたものであり、ここに謝意を表します。

文 献

- [1] L. Alting and J.B. Legarth, "Life Cycle Engineering and Design", Annals of CIRP, vol.44/2, pp.569-580, 1995.
- [2] R. Axtell, "Why agents? On the Varied Motivations for Agent Computing in the Social Sciences" Working Paper No.17, Center on Social and Economic Dynamics, The Brookings Institute, 2000.
- [3] J.M. Epstein and R. Axtell, Growing Artificial Societies, The MIT Press, 1996. 邦訳 服部正太, 木村香代子, 人工社会-複雑系とマルチエージェント・シミュレーション, 共立出版, 1999.
- [4] I. Erev and A.E. Roth, "Predicting How People Play Games: Reinforcement Learning in Experimental Games with Unique, Mixed Strategy Equilibria", American Economic Review, vol.88, no.4, pp.848-881, 1998.
- [5] D. Friedman and S. Sunder, Experimental Methods: A Primer for Economists, Cambridge University Press, 1994. 邦訳 秋永利秋, 内木哲也, 川越敏司, 森徹, 実験経済学の原理と方法, 同文館, 1999.
- [6] F. Kimura, S. Kato, T. Hata and T. Masuda: "Product Modularization for Parts Reuse in Inverse Manufacturing"; Annals of CIRP, vol.50/1, pp.89-92, 2001.
- [7] J. Nicolaisen, V. Petrov, and L. Tesfatsion "Market power and efficiency in a computational electricity market with discriminatory double-auction pricing" IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol.5(5), pp.504-523, 2001.
- [8] N. Nishino, S.H. Oda and K. Ueda, "The Role of Intermediaries in recycling markets", The Ninth International Joseph A. Schumpeter Society Conference, FL, USA, March, 2002.
- [9] D.F. Spulber, Market Microstructure: intermeriaries and the theory of the firm, Cambridge University Press, 1999.
- [10] J.W. Sutherland and K.L. Gunter, "A Model for Improving Economics Performance of a Demanufacturing System for Reduced Product End-of-Life Environmental Impact", Annals of CIRP, vol.51/1, pp.89-92, 2002.
- [11] K. Ueda, N. Nishino and S.H. Oda: "Integration of Economics into Engineering with an Application to the Recycling Market", Annals of CIRP, vol.52/1, pp.33-36, 2003.

(平成 xx 年 xx 月 xx 日受付)

1999 年神戸大学工学部機械工学科卒業 .
2001 年同大学院博士前期課程修了 . 2004 年東京大学大学院博士課程終了 . 現在 , 東京大学人工物工学研究センター研究機関研究員 . 実験経済学的手法をもとに社会システムに関する研究に従事 . 博士 (工学) .

小田宗兵衛

1991 年サセックス大学科学政策研究所博士課程修了 . 1999 年より京都産業大学経済学部教授 . 多部門動学理論にもとづく不比例成長経済学 , 被験者実験の計算機実験による再現 , ゲームにおける人間の思考の論理的表現などに従事 . 日本経済学会

会員 .

上田 完次

1972 年大阪大学大学院精密工学専攻修士課程修了 . 同年神戸大学工学部助手 , 1980 年金沢大学工学部助教授 , 1988 年同教授を経て , 1990 年神戸大学工学部教授 . 2002 年 6 月より東京大学人工物工学研究センター教授 . 創発的シンセシス , 共創工学 , 人工物工学 , 生物指向型生産システム , 人工生命の工学的展開などの研究に従事 . 工学博士 . 精密工学会論文賞 , 計測自動制御学会論文賞など受賞 . 日本機械学会フェロー , 精密工学会 , 計測自動制御学会 , 日本ロボット学会 , CIRP などの会員 .

西野 成昭

Abstract This paper proposes a new approach to recycling problems by introducing an idea based on experimental economics. Recycling is not comprised only of its technology, because direct and indirect effects of technology depend on the economic system. Considering the economic system as a part of recycling system, we construct a model of product recycling and adopt the method of economic experiments with human subjects as experimental economists use. The focal point of this study is to analyze what economic agents should collect used units. This paper also discusses institutional design by comparing the experimental results with current institution using the real world data for several types of products.

Key words Recycling, Experimental Economics, Market Mechanism, Institutional Design, Market Microstructure Theory

耐久消費財のリサイクルシステムにおける行動主体の意思決定:リサイクル製品の普及に関する分析

A Study on Decision Making of Economic Agents in Recycling System of Durable Goods: An Analysis about Diffusion of Recycled Products in Market

西野成昭 (東京大学)
小田宗兵衛 (京都産業大学)

中山広基 (東京大学)
正 上田完次 (東京大学)

Nariaki NISHINO, RACE, The University of Tokyo, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-8568 Japan
Hiroki NAKAYAMA, RACE, The University of Tokyo
Sobei H. ODA, Kyoto Sangyo University, Motoyama, Kamigamo, Kitaku, Kyoto 603-8555 Japan
Kanji UEDA, RACE, The University of Tokyo

This paper presents a recycling system model in which economic agents such as producers, consumers and dismantlers make decision in durable goods market. Comparison of theoretical equilibrium and experiments with human subjects shows some characteristics of recycling markets. Especially, we analyze the experimental results with respect to diffusion of recycled products, and reveal relationship between costs and sales.

Key Words: Decision making, Recycling, Durable goods, Experimental economics

1. はじめに

近年、資源枯渇やゴミ問題などの環境問題に対し、循環型のリサイクルシステムの実現が強く望まれる。これらの問題に対して、環境負荷を軽減するために、製品のライフサイクル全体を適切にデザインする必要がある。分解技術や再利用技術、設計段階での易解体などの技術は非常に重要であるが、それと同時に、誰が廃棄物を回収するかといった問題や、環境配慮型の製品が果たして市場で生き残ることができるかという社会・経済的な問題が存在する。つまり、技術的な解決だけでは真の循環型社会の実現は困難であり、社会や経済的側面を含め統合的にアプローチする必要がある。

そこで本研究では、生産者・消費者の意思決定主体からなる社会システムを考える。特に製品の耐久性に着目する。現在、リサイクルの対象となる製品の多くは耐久性を持つ製品であり、耐久消費財の市場がどのように形成されるかを調べることは重要である。そのために、耐久消費財の理論[1]をもとにリサイクル市場へモデルを拡張し、生産者の意思決定に着目した被験者実験を行い、理論均衡の状態と実験から得られた結果を比較し分析を行う。

本研究で行った被験者実験は、実験経済学[2]に基づく手法であり、実験室のような統制された環境下で実際の人間を被験者とし、経済的な意思決定を行わせる。ここでは、実際に実験で得られる得点に応じた現金報酬を与えることで経済的インセンティブを被験者に付与している。

以上のように、耐久消費財の理論モデルをもとに、リサイクルモデルを構築し、被験者実験を行い理論と比較することで、形成されるリサイクル社会システムのメカニズムを明らかにしようとする。

2. モデル

生産者・消費者・処理業者からなる製品市場を考える。生産者は新製品を生産し消費者に販売する。それと同時に、消費者から使用済製品の回収を行い、その一部にメンテナンス等の必要な処理を行いリサイクル品として販売する。消費者は、新製品とリサイクル製品のどちらを購入するか、または現在使用している製品を引き続き使用するかを決定する。製品寿命が尽きていない場合でも、新製品を買い直すことも選択肢として含まれる。回収した製品のうち、リサイクル製品としても売り出すことができない/しない製品は、処理業者に処理委託する。

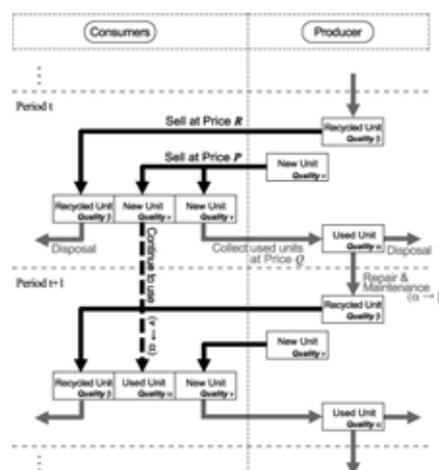


Fig. 1 Overview of the model

リサイクル市場モデルの概要を Fig. 1 に示す。各要素については以下で説明する。

2.1 製品

製品は次の2種類とする。

新製品

- ・ 寿命: 2 期
- ・ 1 期後の下取価格: Q
- ・ 1 期目の品質: v
- ・ 価格: P
- ・ 2 期後の回収価格: S
- ・ 2 期目の品質: α

リサイクル製品

- ・ 寿命: 1 期
- ・ 回収価格: S
- ・ 価格: R
- ・ 品質: β

2.2 消費者

各消費者が品質 v の製品を使用したときに得られる効用は $U(\theta) = v\theta$ となる。ここで θ は消費者の選好を表し、それぞれが異なる値を持っており、 $[0, 1]$ で一様分布していると仮定する。価格 P で購入した場合には $V(\theta, P) = v\theta - P$ となる。

2.3 生産者

この市場では他の生産者は存在せず、生産者独占であるとする。生産者は品質 v を持つ新製品を価格 P で販売し、品質 β を持つリサイクル製品を価格 R で販売する。

また、生産者は1期使用後の新製品を下取価格 Q で回収する。 Q が正の場合は製品の引き取りに対し生産者が消費者に Q を支払い、反対に Q が負の場合には消費者が生産者に支払う。一方、製品寿命の切れた2期使用後の新製品と1期使用後のリサイクル製品は価格 S を受け取り生産者が回収する。

生産コストは、新製品の品質 v と1期使用後に低下した品質 α の関数 $c(v, \alpha)$ が、1製品あたりの生産にかかるものとする。また、回収品の補修コストは、品質 α から品質 β まで回復させるためにかかる費用で、1製品当り $d(\alpha, \beta)$ にかかるとする。

長期均衡状態で生産者が每期得る利益は、

$$\Pi = (P - c)(x + \frac{y}{2}) + (R - d)z - Qx$$

となる。ただし、 x は每期新製品を購入し1期のみ使用する消費者の数、 y は2期間新製品を使用し続ける消費者の数、 z はリサイクル製品を每期購入する消費者の数である。

2.4 処理業者

処理業者は、消費者が支払った回収費 S を生産者からそのまま受け取り処理を引き受ける。本モデルでは生産者の生産行動と消費者の購買行動に注目しているため、処理業者の行動は簡略化し、回収費 S は外生的に決定される変数とする。

3. 理論均衡

生産者は利益最大化するように価格を決定するので、以下のような最大化問題を解くと市場均衡が得られる。

$$\max_{P, Q, R} \Pi$$

均衡を Fig. 2 と Table 1 にまとめる(詳細な数式は省略)。Fig. 2 は縦軸に生産コスト c 、横軸にリサイクルコスト d をとり、両コストの組み合わせにより異なる均衡解が得られることを示している。例えば、領域 B と D では $x = z$ なので1期使用後回収された製品はすべてリサイクル製品として別の消費者が使用する状態である。一方、 $x > z \geq 0$ の状態は新製品ばかり使用する消費者が存在する社会となる(領域 A, C)。 $z = 0$ はリサイクル製品が全く売れない状態(領域 E, F)であるが、領域 F は、リサイクルが行われないが製品を寿命まで使用する長期使用型の社会となる($y > 0, x = z = 0$)。

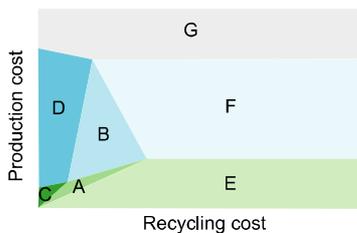


Fig. 2 Segmentation of equilibrium

Table 1 Theoretical equilibria

| Region \ Num of Consumers | x | y | z |
|---------------------------|-------|-------|---------------|
| A | x_A | y_A | $z_A (< x_A)$ |
| B | x_B | y_B | $z_B (= x_B)$ |
| C | x_C | 0 | $z_C (< x_C)$ |
| D | x_D | 0 | $z_D (= x_D)$ |
| E | x_E | y_E | 0 |
| F | 0 | y_F | 0 |
| G | 0 | 0 | 0 |

4. 被験者実験

理論均衡における領域 A~F について被験者実験を行った。実験では、生産者を被験者にし、消費者100人を計算機エージェントとして、生産者の意思決定に着目した。

結果の1例を Fig. 3 に示す。Fig. 3 では、被験者が均衡状態に近い利益を得ていることが分かる。しかし、均衡価格と比較する

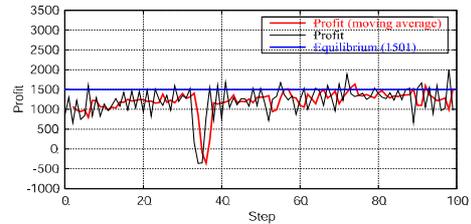


Fig. 3 An example of experimental results (producer's profit)

と大きく逸脱し、均衡状態には至っておらず準最適な状態とどまっていることも明らかになっている。

ここで、被験者実験の結果をリサイクル製品の販売の状況についてまとめた(Table 2)。表より、領域 C で良く売れていることが分かる。また、領域 B でも少しの売り上げが認められる。しかし、その他の領域では、生産者は新製品の販売のみから利益を得ようとし、リサイクル製品販売を無視し、結果として理論上では均衡状態では領域 A~D でリサイクル製品の販売が存在するのに対し、実験では売れないのである。

よって、リサイクル製品の普及と考えたときには、Fig. 4 のような技術開発の方向性が考えられる。つまり、領域 B から A へのようなコスト削減ではリサイクル製品の販売は促進されないのである。言い換えると、生産コストが比較的大きいような状態ではリサイクルコストを下げることはリサイクル製品の普及を導かない。リサイクル製品の普及は生産コストを十分下げた上で、リサイクルコストを下げるのが良いと示唆されるのである。

Table 2 Summary of experimental results

| | | Recycling cost | | |
|-----------------|--------|------------------------|----------------------------|----------------------|
| | | Small | Medium | Large |
| Production cost | Small | Region C Good sales | --- | --- |
| | Medium | Region D No sales | Region A No sales | Region E No sales |
| | Large | --- | Region B Not good sales | Region F No sales |

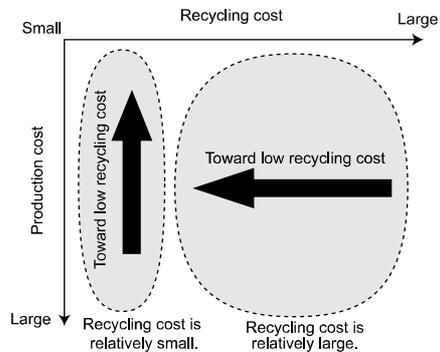


Fig. 4 Development of technology about cost reduction

5. おわりに

本研究では耐久消費財のモデルをもとにリサイクルに拡張し、理論均衡と被験者実験の結果を比較し、特にリサイクル製品の普及という観点で考察した。その結果、生産者が抱えるコストにおいてリサイクル製品の普及を推進するための、技術開発の方向性について知見を得た。

これらのアプローチは現段階ではまだ抽象的なモデルであるが、実社会に適用可能な示唆を与えており、今後モデルの発展や実験手法の改良により、様々な実社会の問題の解決ができると期待される。

参考文献

- [1] I. Hendel and A. Lizzeri, "Interfering with secondary market", RAND Journal of Economics, Vol. 30, No. 1, pp. 1-21, 1999.
- [2] D. Friedman and S. Sunder, Experimental methods: A primer for Economists, Cambridge University Press, 1994.

How to Use Private Information in a Multi-person Zero-sum Game*

Hiroyasu Yoneda¹, Gen Masumoto², and Sobei H.Oda³

¹ Graduate Student, Division of Economics, Graduate School, Kyoto Sangyo University, <g907888@cc.kyoto-su.ac.jp>

² Postdoctoral Fellow, Division of Economics, Graduate School, Kyoto Sangyo University, <gen@cc.kyoto-su.ac.jp>

³ Professor, Faculty of Economics, Kyoto Sangyo University, <oda@cc.kyoto-su.ac.jp>

1 Introduction

This paper describes how people play a zero sum game with different private information. Apparently more informed players earn more than less informed players do. What happens however if people buy and sell speculatively in the future market? Those who are better informed seem to have greater chance to earn money, while those who have no information may expect zero profit because they seem to have equal chance to make money (to buy a commodity whose price will increase or to sell a commodity whose price will decrease) and to lose money (to sell a commodity whose price will increase or to buy a commodity whose price will decrease) . Yet the sum of all traders is zero. If the most informed player earns profit and the less informed player expects zero profit, some modestly informed players must suffer loss.

Huber and Kirchler (2004) formulated a simple model of the future market and observed the paradoxical distribution of gain and loss among players in their simulations with computer agents and experiments with human subjects. In this paper we shall develop their analysis to examine the strategies of players (agents and subjects) and income distribution among them in more detail.

This paper is organised in the following way. In the next section we shall define our model. In Section 3 we shall show some results of our simulations: income distribution changes drastically if some or all agents change

* This paper is a shorter version of Yoneda, Masumoto and Oda (2004) with some new findings in simulations and experiments but without details in mathematical analysis. The present study is based on the research by the Open Research Centre Project “Experimental Economics: A new method of teaching economics and the research on its impact on society” and Grants-in-aids for Scientific Research 17310029.

their strategies. In Section 4 we shall present some findings of our experiments: human subjects change their strategies so flexibly to increase their profit according to the strategies of their competitors.

2 The game

The game is played in the following order by $2M + 1$ players.⁴

1. At the beginning of each round Player i ($0 \leq i \leq 2M$) tells his reservation price R_i to the auctioneer to make the contract that he will buy a unit of a future commodity if R_i is higher than its price P and that he will sell a unit of the commodity if $R_i < P$.
2. The auctioneer gathers all the reservation prices and declares the median of them as P so that demand equals supply in the future market.
3. The true value of the commodity V is determined exogenously as the sum of $2M$ stochastic variables: $V = \sum_{k=1}^{2M} X_k$ where $X_1, X_2, \dots,$ and X_{2M} are determined identically and independently to be 0 or 1 with equal probability 0.5.
4. Those who bought (sold) the commodity in the future market sells (buys) it in the spot market at the true value V to close their accounts. Hence each player's profit is determined as soon as V is revealed.

Every player's profit is determined as a result of the above-mentioned trade: if $P < R_i$, Player i buys the commodity at P in the future market and sells it at V in the spot market to earn $V - P$ of profit; if $R_i < P$, Player i sells the commodity at P in the future market and buys it at V in the spot market to earn $P - V$ of profit. Needless to say, the sum of all player's profit is always zero: $\sum_{i:V < R_i} (P - V) + \sum_{i:R_i < V} (V - P) = 0$.

3 Simulations with computer agents

Let us assume that all players know how V is determined: $V = \sum_{k=1}^{2M} X_k$ and that before determining R_i , Player i can correctly see what values $X_1, X_2, \dots,$ and X_i will be (Player $2M$ can predict the values of all the $2M$ variables while Player 0 can forecast nothing). In the circumstances Player i can take it into account to determine R_i that V will be between $V_i^{\min} = \sum_{k=1}^i x_k$ and $V_i^{\max} = \sum_{k=1}^i x_k + (2M - i)$. As is readily checked, a strategy that may choose a value smaller than V_i^{\min} or greater than V_i^{\max} as R_i is weakly dominated by such a strategy that chooses $R_i = V_i^{\min}$ or $R_i = V_i^{\max}$ then.

On the above-mentioned assumption and consideration, we run a number of simulations with 101 agents (namely $M = 50$) which follow either **the**

⁴ The game is as the same as the one presented by Huber and Kirchler (2004) except that the number of players is not even but odd.

middle-value strategy: $R_i = \frac{1}{2}(V_i^{\min} + V_i^{\max})$, or **the either-end strategy:** $R_i = V_i^{\min}$ or $R_i = V_i^{\max}$ with equal probability.

How gain and loss are distributed among the agents are illustrated in Figures 1-4. There the horizontal axis stands for the agent (from 0 to 100) while the vertical axis represents each player's average profit (for 10000 rounds). The marginal contribution of private information to profit, which is defined as Player $i + 1$'s profit minus Player i 's, is not monotonously increasing (Figures 1 and 2). An agent may decrease his loss (and increase his gain) by adopting the strategy which is different from the strategy all the other agents follow (Figures 3 and 4).⁵

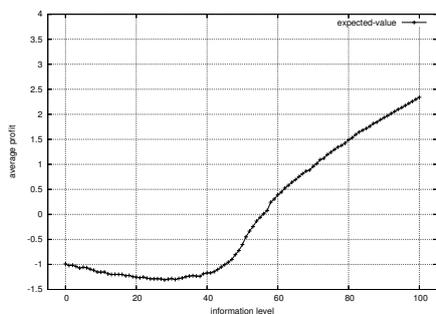


Fig. 1. Income distribution among middle-value strategy agents

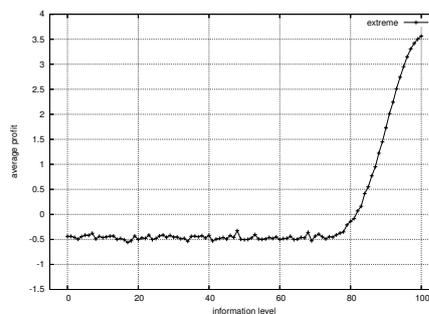


Fig. 2. Income distribution among either-end strategy agents

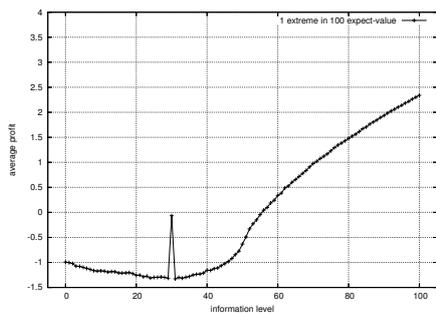


Fig. 3. Income distribution among an either-end strategy agent (Player 30) and middle-value strategy agents

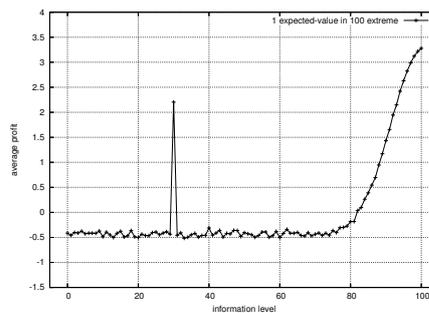


Fig. 4. Income distribution among a middle-value strategy agent (Player 30) and either-end strategy agents

⁵ Except for small differences in the number of agents and their strategies, Figures 1 and 3 were discovered by Huber and Kirchler (2004).

Figure 5 shows how Player 30's profit changes if he follows the following strategy.

$$R_i \begin{cases} = V_i - \theta_i(V_i - V_i^{\min}) & \text{with probability 0.5} \\ = V_i + \theta_i(V_i^{\max} - V_i) & \text{with probability 0.5} \end{cases}$$

where $i = 30$, $0 \leq \theta_i \leq 1$ and $V_i = \frac{1}{2}(V_i^{\min} + V_i^{\max}) = \sum_{k=1}^i x_k + \frac{1}{2}(2M - i)$ (the strategy is the middle-value strategy if $\theta_i = 0$, while it is the either-end strategy if $\theta_i = 1$). Player 30's profit increases as θ_{30} increases if all the other players follow the middle-value strategy (the solid curve), while it decreases as θ_{30} increases if all the other players follow the either-end strategy (the broken curve).⁶

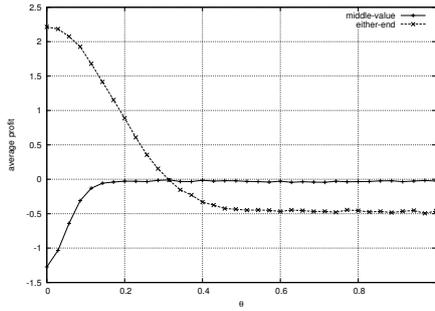


Fig. 5. The effect of $|R_{30} - V_{30}| (=35\theta_{30})$ on Player 30's income

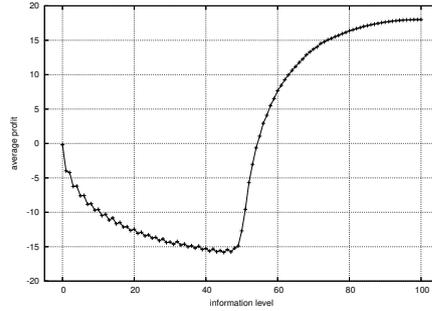


Fig. 6.

4 Experiments with agents and human subjects

We did experiments with computer agents and human subjects at Kyoto Experimental Economics Laboratory (KEEL), Kyoto Sangyo University (KSU) on October 13 and 16, 2004. In total 46 undergraduates of KSU played the game mentioned in the previous section as a unique human player with 100 computer agents. To put it concretely, each subject played the game (a) with 100 middle-value strategy agents for 100 rounds as Player 100; (b) with 100

⁶ It is not a coincident that Player 30's profit is zero in Figure 3. Player 30's profit is positive if he follows

$$R_i \begin{cases} = V_i - \theta_i(V_i - V_i^{\min}) & \text{if} \\ = V_i + \theta_i(V_i^{\max} - V_i) & \text{otherwise} \end{cases}$$

Yet if all players adopt the strategy, the income distribution among them is shown in Figure 6.

How to Use Private Information in a Multi-person Zero-sum Game

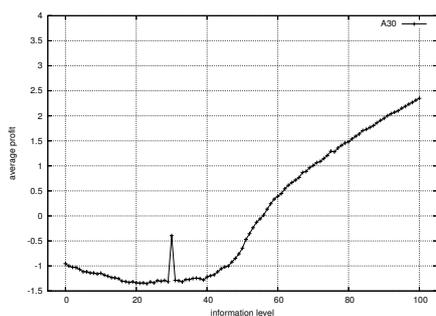


Fig. 7. Income distribution among a human subject (Player 30) and middle-value strategy agents

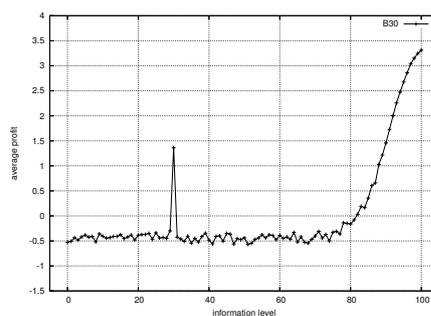


Fig. 8. Income distribution among a human subject (Player 30) and either-end strategy agents

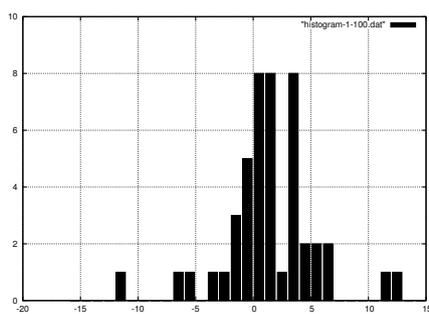


Fig. 9. Increase in $|R_{30} - V_{30}|$ by human subjects, which is adaptive in change in human subject (Player 30) and their competitors' strategy

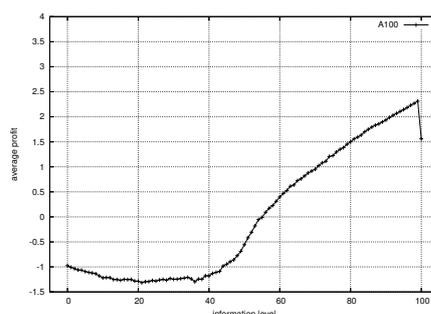


Fig. 10. Income distribution among a human subject (Player 100) and middle-value strategy agents

middle-value strategy agents for 100 rounds as Player 30; (c) with 100 either-end strategy for 100 rounds as Player 30. Twenty one subjects played the three sessions in the above-mentioned order, while the other subjects played the last two sessions reversely.

Figures 7 and 8 show how gain and loss were distributed among human subjects and computer agents in Sessions (b) and (c) respectively. There the horizontal and vertical axes are the same as in the previous figures; the data in Figure 7 is aggregated from Session (b) played as the second session and Session (b) as the third session, because the performance of players (subjects and agents) are not different between the two sessions; a similar remark applies to the data in Figure 8.

Although it is not as large as it is in Figures 3 and 4, an decrease in loss or increase in gain of Player 30 is visible in Figures 7 and 8, which fact suggests that our subjects changed their strategies according to the strategy of their competitors. It is confirmed by Figure 9, where about seventy percent of our subjects chose R_{30} in more distance from V_{30} in (b) than they did in

(c) (Wilcoxon signed rank test, $z=2.873$, $P=0.004$, two-tailed). Remembering Figure 5, we can see it increased their profits.

5 Concluding remarks

The results of our experiments may suggest that human players can think and/or learn so flexibly that they can change their strategies according to changes in their circumstances. With partial information and ignorance of their competitors' strategy, most human subjects outwitted their competitors (computer agents). This performance is even more impressive if we take it into account that not a few subjects failed to find out the best strategy when they have the full information (Figure 10).

However, the good performance of our subjects may be benefited largely from the fact that their rivals are all such simple computer agents that cannot change their strategies. If they also could change their strategies according to their experience, the dynamics of the game would be so complicated that they could not be outwitted by human subjects.

References

1. Jüergen Huber and Michael Kirchler (2004): "The Value of Information in Markets with Heterogeneously Informed Traders - and Experimental and a Simulation Approach", presented at the 9th Workshop on Economics and Heterogeneous Interacting Agents, Kyoto University, Kyoto, Japan, 27-29 May 2004.
2. Yoneda, H., Masumoto, G. and Oda, S. H. (2004): "Marginal Contribution of Information to Profit in a Zero-sum Game", presented at Experiments in Economic Sciences: New Approaches to Solving Real-world Problems, Okayama International Hotel and Kyoto Sangyo University, Okayama and Kyoto, Japan, 14-17 December 2004; in *The proceedings of the Experiments in Economic Sciences: New Approaches to Solving Real-world Problems* <<http://www.kyoto-su.ac.jp/project/orc/execo/EES2004/proceedings.html>>, pp.770-786.

U-Mart プロジェクトの概要

中島 義裕*¹・松井 啓之*²

*1 大阪市立大学 大学院経済学研究科 大阪市住吉区杉本 3-3-138
 * 1Graduate school of Economics, Osaka City University, 3-3-138
 Sugimoto Sumiyoshi Osaka
 *2 京都大学 大学院経済学研究科 京都市左京区吉田本町
 * 2 Graduate school of Economics, Kyoto University, Yoshida-Honmachi

Sakyo-ku Kyoto

CN 0000/00/0000-0000 © 2002 SICE (016_コピーライト・タイトル系)

1. U-Mart プロジェクト

1.1 共通テストベッドの開発と学際的研究

U-Mart とは、株価指標 J30 を原資産とし LAN やインターネットを通してヒューマン・エージェント (HA) とマシン・エージェント (MA) とが同時に売買に参加できる人工先物市場システムとその関連ツール群、及びそれらを用いた活動の総称である。金融市場などの経済・社会システムは典型的な複雑系であり、その制度デザインは困難かつ急務の課題である。様々な階層での情報提供の方法や取引ルールがもたらす影響について評価し、市場の間接的な制御法を開発する必要がある。

金融市場の制度デザインには、技術や能力、経験などが異なる個人や組織が参加し、それらが学習や創発をしながらも相互に影響を与える「相互参照」の問題を考えなければならない。このような難問を解決する為には、工学、経済学、心理学など多くの分野の研究者が参加し、従来の市場研究に加えて、人工知能、人工市場、認知科学、学習理論など多方面からアプローチする事が不可欠である。このような学際的な研究を推進するためには、異なる分野の研究者が持つ、共通の土台が必要である。そこで我々は金融市場の制度デザインという研究対象を共有するだけでなく、アプローチするためのテストベッド (実験台)、すなわち研究に必要な装置の共有が重要であると考えた。U-Mart プロジェクトは金融市場を始めとした経済・社会システムの挙動やそこで活動する経済主体の行動に興味がある研究者が共同して利用できる共通のテストベッドを提供する事を目的に組織された([1-10])。

研究用に開発された人工先物市場は、プログラミング演習や市場分析などのコースウェアとして大学教育でも利用されている。また、多くの実験データや投資プログラムを集める機会を提供すると同時に、多くの分野の研究者が議論する場の提供を目的に、公開実験を主催している。

1.2 U-Mart プロジェクトの3つの活動

U-Mart プロジェクトの目的は、共通テストベッドである U-Mart システムの開発と運用である。現在、U-Mart システムの運用としては、大きく分けて研究、教育、公開実験 (コンペ) の実施の3つの方面で活動している。

研究：日本を代表する人工市場研究プロジェクトの一つとして、多くの研究者が参加し活動している。中心となる研究目的は金融市場の制度デザインである。具体的には手数料率や値幅制限などのサーキットブレーカーによる操作、マーケット・メーカーの有無や気配値の算出方法、更新速度の変更など、情報公開の程度や範囲を制限することによる操作方法を確立しようと試みている。この目的のため情報の対価や情報とトレードオフの関係になっているもの、例えば流動性や安定性を評価し、情報を公開するタイミングや範囲などを操作パラメータとして利用するための基礎研究を行っている[11, 12, 16-18, 22, 23]。

公開実験 (コンペ) 開催：イベント活動としては、マシン・エージェントやヒューマン・エージェントを公募して行う公開実験や関連する各分野の研究者を招いての討論会などがある。メイン・イベントとして国際公開実験 UMIE200x シリーズや国内公開実験 U-Mart200x シリーズを定期的開催している。また、NAACSOS、ISAGA、日本進化経済学会、日本情報処理学会など国内外のカンファレンスで、特別セッションやチュートリアルセッションを開いている。U-Mart 研究を一同に集めて報告すると共に、パネル・ディスカッションなどを通して関連する分野の研究者が意見を交換する機会を提供してきた([11, 12, 15, 19-23, 26, 29, 30])。公開実験についての詳細は次の章で紹介する。

教育：U-Mart システムは工学、経済学分野での大学教育でコースウェアとして利用されている。工学系の教育機関では、プログラム演習の課題として U-Mart システムが利用されている。また、経済学分野では先物市場の実践的な理解の為のツールとして利用される他、表計算ソフトを利用したデータマイニングの教材として用いるなど、様々な形で利用されている[13, 14, 18, 25, 27, 33, 34]。3章では、教育分野での活用事例について紹介する。

相互の関連：これら3つの活動は相互に深く結びついている。公開実験で集められたマシン・エージェントは、研究に利用するエージェント・セットの多様性を広げる為に必要である。教育のために開発されたツール群は研究やイベントの為に用いられる。また、これらの教育を通じて多くのマシン・エージェントが開発され、公開実験への応募者を増やすと同時に、エージェント・セットの充実にも寄与している。経済学教育によってヒューマン・エージェントと

して U-Mart に参加する学生が増え、実験の機会が与えられると同時に、GUI の改良案が提出されるなど、イベントの際に利用するツールの開発にも役立っている。公開実験が度重なるにつれて、ログの解析はもちろん人工市場によって解くべき問題が発見されてきた。また研究が進むに従って公開実験の目的がより明確になると共に、ルールや制度も変更されている。

2. 公開実験 (コンペ)

U-Mart プロジェクトの構想は、1998 年の SICE 夏の学校において塩沢が行った公演とその後の懇談会で誕生した [1,3]。その当時から公開実験(コンペ)の重要性は認識されており、「経済学のロボカップを目指す」という目標を掲げていた。その後、2000 年以來今日まで定期的に公開実験を実施している。U-Mart 研究の端緒として、プログラミングや金融投資の教育目標として、様々な研究のテストケースとして、これらの公開実験が役立っている。これまで行われた公開実験は 7 回である。2000 年、2001 年には 1 回、2002 年以降は毎年国内実験 1 回と国際大会 1 回の計 2 回開催した。

この間に実験の位置付けやルールが何度か変更された。最初の PreU-Mart2000 は、U-Mart システムが本来の目的通りに機能するかどうかを確かめる目的で開催された大会であった。正式な公開実験ではないという意味で、"Pre" と名づけられた。「U-Mart プロトコル(SVMP)」に従って設計されたマシン・エージェントは機能するのか？ U-Mart サーバはエージェントから同時に送られてくる様々な命令を適切に処理できるのか？ U-Mart は先物市場として機能するのか？等、様々な課題を抱えていた。参加者は、自作のマシン・エージェントとノートパソコンを持参し、会場で初めて接続した。様々な不具合があったものの開発者の夜を徹しての努力もあり日程通りに実験を終える事ができた。

U-Mart プロトコルによる通信や、U-Mart の市場機能、会計機能などシステム面は機能したものの、暴騰・暴落が頻発し多くのエージェントが破産した。案に反して、デバッグ用に開発されたランダム・エージェント(現物価格の周りで、ランダムに売り買いするエージェント)が常に上位に位置するなど、「マーケット」が非常に豊富な研究対象である事が明らかになり、いくつかの課題が発見できた。

一年後、本格的な人工市場研究の場とする為に U-Mart2001 が開催された。この大会では、ヒューマン・エージェントとマシン・エージェントの両方を募集した。マシン・エージェントは事前に集められた。ランダム、上昇、下降、反転、振動の 5 つの時系列を用いて、複数回の加速実験を行った。優秀なマシン・エージェントを表彰した。また、大会当日には、マシン・エージェントとヒューマン・エ

ージェントが同時に参加する本戦が行われた。ランダム・エージェントが参加していない場合は暴騰・暴落が見られたが、Pre U-Mart2000 ほどの頻度ではなかった。また、ランダムエージェントを参加させると市場は安定した。暴騰、暴落のチャンスに多くの資産を蓄えたエージェントが強い事、昨年に引き続きランダムエージェントがかなり良いパフォーマンスを残す事がわかった。

ランダムエージェントは、現物価格の周りで指値注文を出すため、自然に裁定取引に似た行動をとり、安定的に利益を得ると同時に市場を安定化させる働きを担っている。ランダム・エージェントが、市場に流動性と安定性を与える重要な役割を果たす事が徐々に明らかになった。現在では、このエージェントを一種のマーケット・メカニクスとして市場の分析を行う研究などが進められている [29]。

マシン・エージェント開発キットは配布されたものの、U-Mart プロトコルに直接対応するマシン・エージェントも参加したので、事前実験においても通常の実験と同じ時間 (60 分程度) を要した。この為、大規模な加速実験による研究が行えないという問題に直面した。

2002 年には初の国際公開実験が実施された。それに伴って公開実験の目的を明確化し実施内容を大幅に改良した。最も大きな変更は二つの大会の位置付けを明確にした事である。国際公開実験(UMIE200x)はマシン・エージェントのみ募集し、国内公開実験(U-Mart200x)はヒューマン・エージェントとリアルタイム処理を行うマシン・エージェントが参加できる大会とした。

国際公開実験で募集している戦略クラス型の実験用マシン・エージェントは、e-mail で送信可能なため世界中どこからでも気軽に参加できる。また、参加者がマシン・エージェントのみとわかっていたら最初から板寄せ間隔などの実時間処理が無い、加速実験を前提としたマシン・エージェントが募集できる。京都大学の喜多らによって東京工業大学の講義の為に開発されたマシン・エージェント開発キットを利用した戦略クラスのみを募集した。マシン・エージェント開発キットを利用すると、先物価格の時系列、現物価格の時系列、現在保有している先物の枚数、現在の現金残高、残りの板寄せ回数の 5 種類のデータが与えられ、注文内容を入力する戦略部分のみを実装したクラスを作成するだけでマシン・エージェントが開発できる。

開発キットには、この形式で開発されたエージェントのシミュレータも含まれている。手元の PC で、用意されている 10 種類の実験用マシン・エージェントと対戦し、そのログを解析して売買行動を追尾するという機能を備えている。マシン・エージェントの行動をステップ・バイ・ステップで追えるようになり、より実践的なアルゴリズム開発やより詳細なチューニングが可能になった。

これに伴ってエージェントの評価基準も変わった。それまで「どのエージェントが一番儲けたか」という基準で優

秀なエージェントを表彰していたが、これではハイリスク・ハイリターン型の投資方法が有利になってしまうとの批判があった。この反省から、勝率、最大利益、平均利益、破産率の4つの評価基準を設け、総合的に評価することにした。2002年の国際公開実験 UMIE2002には東京大学で講義の課題として学生が開発したエージェントや、大阪府立大学のオンライン学習を用いた意思決定支援システムを実装したエージェントが活躍した。

一方で国内大会 U-Mart200x は全国の様々な大学や大学院の講義で実際に U-Mart を使った学生が一同に会して対戦する良い機会を提供している。全国大会という目標を設ける事で受講する学生へのモチベーションが高まると共に、公開実験としてもある程度投資方法について真剣に考えたヒューマン・エージェントが集まるため、より実践的なデータが収集できるというメリットがある。この大会は、実時間処理に対応したマシン・エージェントを実験する機会にもなっている。エージェント開発キットを利用したエージェント（戦略クラス）は、使えるデータや行える行動が決まっている。その為、他のエージェントの注文情報など時々刻々変化するデータの利用や、他のエージェントとの協調的な投資行動など、様々なアイデアを試す事はできない。国内大会は、自分の PC の持ち込みも許可されていて、チャレンジングなマシン・エージェントが腕を競う良い機会になっている。2002年の公開実験 U-Mart2002には、ヒューマン・エージェントとして、U-Mart を用いた投資演習を受講した大阪産業大学の学生や中央大学の学生、マシン・エージェント開発の経験がある大学院生などが参加した。特に、大学内での実験で際立ったパフォーマンスを示してきた学生（通称「相場師」）が、公開実験でも良い成績であった[18, 25, 27]。リアルタイム処理を行うマシン・エージェントとしてはエージェント間で情報をやり取りしながら最適な戦略を選択する東京工業大学のチームなどが活躍した。

2003年には、2002年に行われた公開実験の結果を良く研究したチームが良い成績を修めた。UMIE2002やU-Mart2002ではマシン・エージェントは「短期的なトレンドを利用するエージェント」と「オンライン学習型エージェント」が強いことがわかった。これらの経験を踏まえて開発された東京工業大学のエージェントが、UMIE2003とU-Mart2003の両方で優勝した。

4年に渡る公開実験を通じて、強化学習、ニューラルネット、ファジー、GA、クラシファイア、など主なAIの技術を用いたエージェントが出揃った。これらの方法を用いたエージェントは概ねTOPレベルのパフォーマンスをみせている。こうした中ランダム・エージェントの優位性やヒューマン・エージェントの優位性が失われ、伝統的なテクニカル分析を実装したエージェントも良いパフォーマンスをあげられなくなっている。その意味では、現在のルールや評価

方法の下で得られるエージェント群として、一つの到達点に達していると言えよう。

これら公開実験へ応募されたエージェントが豊富になるに従い、マシン・エージェントを用いた加速実験による研究が進められるようになった。小野らは、株価時系列からその市場に参加しているエージェントの組成を導き出せる事を示した[16]。中島らは U-Mart システムを現物価格を入力、エージェントの組成を内部状態、エージェントのレート順位を出力とするシステムであると考え、入力や内部状態の違いが出力に与える影響を評価した。その結果、エージェントの順位は時系列のトレンドに大きく影響される事を示した[22,23]。

3 教育分野における U-Mart の利用

3.1 U-Mart システムの教育利用

U-Mart プロジェクトでは、研究、イベント、そして教育という3つの活動をバランス良く進めることによって、全体のレベルアップを図ることを目指しており、教育活動も重視している。教育現場で利用するためには、単なるシステム開発だけではなく教材を含めたコースウェアの整備も重要である。実際に、これまでに、大学・大学院レベルでの教育事例や高校生や一般社会人を対象として公開授業や体験授業も数多く実施しており、これらの経験を踏まえたコースウェアの整備も進められている。

主に、工学分野では U-Mart システムで取引を行うソフトウェアエージェントの作成を課題とする形で演習・計算機実験などを実施している。エージェント開発に関する教育事例は「仮想先物市場 U-Mart システムの設計とエージェント・プログラミング教育」にて紹介されている。それに対して、経済学部を中心とする社会科学分野の教育では、実際に学生自身がトレーダーとして取引に参加するゲーミングシミュレーションとしての利用が中心である。本稿では、ゲーミングシミュレーションでの教育事例として大阪産業大学と千葉工業大学での実施事例を紹介する。

なお、ゲーミングシミュレーションで利用する場合には、ネットワーク上にサーバマシンを用意し、ネットワークにつながれた複数の PC 上のクライアントソフトウェアを利用して複数のヒューマン・エージェントが取引に参加するネットワーク型と1台の PC 上のマーケットシミュレーターにて組み込まれたマシン・エージェントとヒューマン・エージェントが競うスタンドアロン型での利用の2種類がある。現在の U-Mart システムは、サーバ自体に GUI も実装しており、スタンドアロンでの利用とネットワークの利用に違和感なく移行可能である。

3.2 大阪産業大学における教育利用

大阪産業大学の谷口ゼミでは、経済学部の演習にて2001

年度に U-Mart システムを利用した実験を実施し、その結果を踏まえて、2002 年度の前期（4 月～7 月）には板情報の有無がヒューマン・エージェントの行動に及ぼす影響を及ぼすか調べるために本格的な実験が行なわれた [13,18,25,27,33]。

2002 年度の実験に参加したのは、大阪産業大学経済学部経済学科の谷口ゼミに所属した 3 回生 22 名と 4 回生 4~6 名である。実験の事前学習として、証券市場と先物市場についての課題学習と並行してインターネット上の仮想証券取引も体験させた。その後、スタンドアローン型が 1 回、ネットワーク型が 9 回の合計 10 回の実験が行なわれた。なお、取引実験は U-Mart システム（バージョン 1）を利用し、学生に現物価格に基づくランダムエージェント 20 個体を加えた実験であるが、ヒューマン、マシンとも参加エージェント間に協調行動はなく、各人・各個体が独立した戦略で取引を行わせている。

谷口の分析によれば、板情報の有無が及ぼす影響に関しては、約定率に統計的な有意な差は現れていない。しかしながら、質問紙による調査結果からは、全般的に先物の値動き（ケイ線）を重視しているが、板情報が開示されると、板情報を参照するためにケイ線情報の重要度が下がることが示されている。よって、ヒューマン・エージェントがさらに習熟すれば、板情報を一層積極的に活用し、取引の結果に影響を及ぼす可能性はある。経済物理学的分析からは実験で得られた価格変動ではランダム・ウォーク仮説は確認されておらず、「ハイ・ピーク、ファット・テール」と呼ばれる裾の厚い分布が見られている。特に、興味を惹かれているのは、先物取引はもちろん現物の証券売買に関して全くの未経験者である者の中から、限定的な市場ではあるが、強いトレーダーが出現してきたことである。この者は板情報を活かし約定率も高く、かつコンスタントに実現利益が高い。いわゆる「相場師」である。ヒューマン・エージェントは同質的な存在ではなく、明らかに個性や相違のある存在であることが認識されなければならない。

3.3 千葉工業大学における教育事例

U-Mart システムを利用したゲーミング実験は、ほとんどが 10~20 人のゼミ程度の規模で実施している事例が多く、スケーラビリティなどが課題となることはなかった。そこで、U-Mart システム（バージョン 2）のスケーラビリティを評価し、さらに U-Mart の教育効果を確認するための大規模なゲーミング実験として、千葉工業大学社会システム学部プロジェクトマネジメント学科の 2 年生を対象とした 3 日間の集中講義を実施した [33]。

今回の実験では、スケーラビリティの確認だけではなく、大阪産業大学での実験を踏まえ、板情報の有無によるヒューマン・エージェントの取引行動の違い、そしてマシン・エージェントがいないヒューマン・エージェントのみの市

場において取引が成立するかどうかを確認することが大きな目的であった。特に、マシン・エージェントと比較して、注文回数が少ないヒューマン・エージェントだけで構成された市場で取引が成立するかどうか、また成立するためには、どの程度の市場の厚みが必要であるかを知ることは、仮想市場研究の大きな課題である。

講義の受講生は再履修生と他学科生を含め約 160 名である。今回は講義室の都合で、学生を 2 つの教室に振り分け、さらに 2 つに分けて、合計 4 つのグループ分けを行った。学生は全員ノート PC を所有していることから、これまでの公開実験の経験を活かした単独で実行可能な U-Mart システムのパッケージを用意した。このパッケージは、Windows 環境でアイコン（現在は、実行形式ファイル）をダブルクリックするだけで、U-Mart システムを起動することができるようにしたものである。

1 日目は、U-Mart システムのインストールなどの準備と先物市場やその仕組みに関する講義を行い、準備が出来た教室から実際に接続テストとして、グループ単位（約 35 名）と教室単位（約 70 名）での取引実験を行った。2 日目の午前中は、先物市場や値洗いといった知識の学習を助けるために科した宿題の解説、さらに再度 U-Mart システムと操作についての詳細の解説を行った上で、教室単位（約 70 名）でのネットワーク実験を行った。2 日目の午後には、スタンドアローン型の実験を実施し、U-Mart に関する習熟度の向上を目指した。

その後、4 つのネットワークサーバを用意して、並行して異なる 4 つの時系列を用いた実験を 3 日目の午前にかけて実施した。この実験では大阪産業大学と同じ人工データを用い、マシン・エージェントの条件も同じとした。実験データの比較を行えるようにした、特に、板情報の有無に関しては、時系列を含め学習効果などの影響が現れないように比較検討が出来るように工夫した。これらの実験結果についての分析は、まだ始まったばかりであるが、学生のアンケートにおける認識と実際の取引状況の比較による学習の具体的な効果に比較分析や学習による取引行動の変化の検証など数多くの成果が期待できる。

また、1 日目の午後の 71 名が参加したネットワーク型実験において、全くマシン・エージェントを含まないヒューマン・エージェントのみの取引実験を行った。この実験では、前半の取引では、市場が大荒れしたが、後半では価格変動は小さくなり、現物と先物の乖離も小さくなった。このような大きな変動もあり、71 名中 20 名が破産したが、そのうち 13 名は前半の取引中であつた。これは、取引の前半でリスクの大きい注文が大きな価格変動を引き起こし、成行注文がその影響を受けて多くの破産者を生み出した。

特に、マシン・エージェントが存在しないヒューマン・エージェントのみの取引であつたが、不約定が 1 度もなかつた点は注目される。この結果から、十分なトレーダー数

を確保すれば、ヒューマン・エージェントだけでの市場が成立することが示されている。さらに、最終日の午後には、受講者全員約 160 名のネットワーク実験を行ったが、この場合にも市場が成立すると同時に、100 名を超える大規模な講義・演習でも利用可能なスケーラビリティがあることも確認された。

3.4 U-Mart システムを用いた教育の特徴

U-Mart を用いた取引参加型の教育は大きな可能性を有している。例えば、現実の株価を利用し、一般投資家のために売買取引を疑似体験出来るサイトが数多く存在し、実際の教育へ利用する事例もある。しかしながら、現実の株価を用いたバーチャル投資は、日々の終値により 1 日 1 回の精算であるため、短時間でのテクニカル分析による戦略を実践できず、実時間の制約からは逃れられないため現実の講義の限定的な時間での実施で困難である。

さらに、参加者として自分自身の投資結果は分析できたが、取引全体の情報を入手できないため参加者全員の投資行動を総合的に分析できない。特に、トレーダー自らの売買行為が価格に反映されない。これは市場メカニズムを理解する上で最も致命的な欠点となる。それに対して U-Mart では、取引結果をすぐに参照でき、また取引戦略に対しても自らの技術によるところが大きい。特に U-Mart における臨場感に対しては、アンケート調査などからも高い評価を受けている。

教育する側から見ても、U-Mart システムでは、取引所サーバを一時停止、あるいは取引間隔を調整することができる。そして、個々の注文をリアルタイムに確認させながら注文の累積が板（需要と供給の一覧）として変化していくプロセスを実感させることが可能となった。実際の取引状況を、学生の理解するスピードに応じて進めていくことが出来る。そのため、例えば理解が困難な値洗いの計算を、実際の取引状況と計算比較させ、理解をより一層深めさせるなど高い教育効果が期待できる。

また、ヒューマン・エージェントの行動をトレースすることが可能であり、単なるアンケート調査により、主観的な評価と客観的な取引記録を比較することにより、教育効果のギャップについて明らかにすることも可能である。

このように、U-Mart システムを利用した教育は、教育効果のみならず様々な成果や研究課題をも生み出すことになる。例えば、実験に用いる現物データを人工的に作成することや実験で得られた価格系列や取引情報を非常に価値の高い研究素材になる。そして教育への参加者が新たなイベントや研究の担い手として活躍しつつある。このように、教育、研究、イベントが関連していくのである。

4. さいごに

U-Mart は教育、研究、イベントという 3 つの活動を通じて、様々な成果を挙げつつある。教育に関しては、これまで実施されてきた数多くの実験に基づき改良されており、非常に使いやすく教育用のコースウェアとして高く評価できる。

U-Mart は教育、研究のテストベッドとしての役割を果たせるシステムとして成長を続けている。多くの人が、本プロジェクトに関心を持って、数多くの参加者が募ると同時に今後より一層利用が進むことを期待したい。

この論文を作成するにあたって、谷口和久氏を始めとする U-Mart プロジェクト参加者に協力して頂いた。この研究は、科学研究費補助金・特定領域研究(2)「情報学」(課題番号 16016274)の助成を受け行ったものである。ここに謝意を表したい。

参考文献

- 1) H. Sato, Y. Koyama, K. Kurumatani, Y. Shiozawa, and H. Deguchi: "U-Mart: A Test Bed for Interdisciplinary Research in Agent Based Artificial Market", *Evolutionary Controversies in Economics*, 179-190, 2001.
- 2) T. Terano, Y. Shiozawa, H. Deguchi, H. Kita, H. Matsui, H. Sato, and I. Ono: "U-Mart: An Artificial Market to Bridge the Studies on Economics and Multi-agent Systems", *Proceedings of Fourth Pacific Rim International Workshop on Multi-agents*, 371-385, 2001.
- 3) H. Matsui, I. Ono, H. Sato, H. Deguchi, T. Terano, H. Kita, and Y. Shiozawa: "Learning Economics Principles from the Bottom by both Human and Software Agents—Outline of U-Mart Project", *Proceedings of CASOS 2001 International Conference*, 97-99, 2001.
- 4) H. Sato, H. Matsui, I. Ono, H. Kita, and T. Terano: "U-Mart Project: Learning Economic Principles from the Bottom by both Human and Software Agents", *Proceedings of AESCS2001*, 56-66, 2001.
- 5) H. Sato, H. Matsui, I. Ono, H. Kita, T. Terano, H. Deguchi, and Y. Shiozawa: "U-Mart Project: Learning Economic Principles from the bottom by Both Human and Software Agents", *New Frontiers in Artificial Intelligence*, 121-131, 2002.
- 6) H. Sato, H. Matsui, I. Ono, H. Kita, T. Terano, H. Deguchi, and Y. Shiozawa: "Case Report on U-Mart Experimental System: Competition of Software Agent and Gaming Simulation with Human Agents", *Agent-Based Approaches in Economics and Social Complex Systems, Joint JSAI 2001 Workshop Post-Proceedings*, 167-178, 2002.
- 7) T. Terano, Y. Shiozawa, H. Deguchi, H. Kita, H. Matsui, H. Sato, I. Ono and Y. Nakajima: "U-Mart: An Artificial Market Testbed for Economics and Multiagent Systems", *2nd International Workshop on Agent-based Approaches in Economics and Social Complex Systems*, 55-62, 2002.
- 8) 佐藤 浩: "U-Mart における長期価格変動の統計的性質", *計測自動制御学会 第 14 回自律分散システムシンポジウム*, pp. 183-188, 2002.
- 9) 喜多一, 出口弘, 寺野隆雄: "オープン型人工市場 U-Mart: 構想, 成果, 展望", *電子情報通信学会技術研究報告[人工市場と知識処理]*(信学技報 Vol101, No535), pp. 17-24, 2002.
- 10) Y. Nakajima, Y. Koyama: "Attempt to design institutions of market by using U-Mart System -A practice of interdisciplinary research-", *SICE 第 25 回システム工学*

部会研究会 (カタログ番号 02PG0006), pp. 133-138, 2002.

- 11) U-Mart Organizing Committee, U-Mart System Operation Committee: "U-Mart International Experiment 2002", SICE 第 25 回システム工学部会研究会 (カタログ番号 02PG0006), pp. 139-146, 2002.
- 12) 寺野隆雄: "U-Mart プロジェクト: 人工市場研究から制度設計へ", 進化経済学論集第 6 集, pp. 285-288, 2002.
- 13) 谷口和久, 松井啓之, 出口弘, 五十嵐寧史: "教育ツールとしての U-Mart: 経済学教育での活用事例", 進化経済学論集第 6 集, pp. 296-303, 2002.
- 14) 喜多一, 湯浅秀男: "教育ツールとしての U-Mart: 工学教育での活用事例", 進化経済学論集第 6 集, pp. 304-308, 2002.
- 15) 佐藤浩, 小山友介: "U-Mart2001 実験報告および既存エージェントの分類", 進化経済学論集第 6 集, pp. 309-314, 2002.
- 16) 高尾頼和, 小野功, 小野典彦: "エージェントベースシミュレーションに基づく近似モデルの進化的構築", 進化経済学論集第 6 集, pp. 315-322, 2002.
- 17) 植木潤吾, 森直樹, 甲斐啓仁, 深瀬真澄, 佐藤浩, 後藤岳, 上田智巳, 桑井淳子, 中島義裕: "U-Mart によるシミュレーション研究", 進化経済学論集第 6 集, pp. 323-329, 2002.
- 18) 谷口和久: "ヒューマン・エージェントによる U-Mart 実験事例報告", 大阪産業大学経済論集, 4 巻, 2 号, 85-104, 2003.
- 19) H. Deguchi, T. Terano, H. Kita, Y. Shiozawa, R. Axtell, K. Carley, M. Tsvetovat, H. Sato, H. Matsui, I. Ono, Y. Nakajima, N. Mori: "U-Mart International Experiment 2003 (UMIE2003)", Proceedings of NAACSOS 2003, 2003.
- 20) H. Deguchi, T. Terano, H. Kita, Y. Shiozawa, R. Axtell, K. Carley, M. Tsvetovat, H. Sato, H. Matsui, I. Ono, Y. Nakajima, N. Mori: "Report of UMIE2002 -Strategy and Rank Order of Submitted Machine Agents", Proceedings of NAACSOS2003, 2003.
- 21) H. KITA, H. SATO, N. MORI, I. ONO: "U-Mart System, Software for Open Experiments of Artificial Market", Proceedings of CIRA2003 IEEE Computational Intelligence in Robotics and Automation, 2003.
- 22) T. UEDA, K. TANIGUCHI, Y. NAKAJIMA: "An Analysis of U-Mart Experiments by Machine and Human Agents", Proceedings of CIRA2003 IEEE Computational Intelligence in Robotics and Automation, 2003.
- 23) Y. NAKAJIMA, T. UEDA: "Analysis of Submitted Agent to UMIE2002- Influence of Spot Data and Opponents on Agents", Proceedings of NAACSOS2003, 2003.
- 24) H. Matsui, K. Taniguchi, Yasuhiro Nakajima, I. Ono, H. Sato, N. Mori, H. Kita, T. Terano, H. Deguchi, Y. Shiozawa: "U-Mart Project: New Research and Education Program for Market Mechanism", Proceedings of ISAGA2003, 2003.
- 25) K. Taniguchi, Y. Nakajima, F. Hashimoto: "A Report of U-Mart Experiments by Human Agents", Proceedings of ISAGA2003, 2003.
- 26) Y. Nakajima, I. Ono, N. Mori, H. Matsui, H. Sato: "Elementary Property of U-Mart found by Submitted Agents to "U-Mart International Experiment"", Proceedings of ISAGA2003, 2003.
- 27) 谷口和久: "ゲーミングによる価格形成メカニズムの理解 -コースウェアとしての U-Mart", 進化経済学会第 7 回東京 (専修大) 大会 予稿集 pp. 289-292, 2003.
- 28) H. Sato, I. Ono: "A Survey of the Research using U-Mart Experimental Environment", Proceedings of AESCS04, 2004.
- 29) 小山友介: "UMIE2003 及び U-Mart2003 結果報告", 進化経済学会第 8 回大会予稿集 2004.
- 30) H. Sato, I. Ono: "A Survey of the Research using U-Mart Experimental Environment", Proceedings of AESCS04, 2004.
- 31) H. Deguchi, T. Terano, H. Kita, Y. Shiozawa, R. Axtell, K.

- Carley, M. Tsvetovat, H. Sato, H. Matsui, I. Ono, N. Mori, Y. Nakajima: "Report of U-Mart International Experiment (UMIE2003 and UMIE 2004) -- Strategy and Rank Order of Submitted Machine Agents", Proceedings of NAACSOS, 2004.
- 32) H. Sato, I. Ono: "A Survey of the Research using U-Mart Experimental Environment", Proceedings of AESCS04, 2004.
- 33) 松井啓之, 小山祐介, 石山洗, 小野功: "仮想先物市場 U-Mart システムによるゲーミング実験", 日本シミュレーション & ゲーミング学会 2004 年度春季全国大会発表論文集, 2004.
- 34) K. Taniguchi, Y. Nakajima, and F. Hashimoto: "A report of U-Mart Experiments by Human Agents", R. Shiratori, K. Arai, F. Kato (Eds.) Gaming, Simulations, and Society Research Scope and Perspective, Springer-Verlag Tokyo, pp. 49-57, 2004.

[著者紹介]

なか じま よし ひろ
中島義裕君



1998 年神戸大学大学院自然科学研究科博士課程修了, 理学博士。2000 年 日本学術振興会特別研究員 PD、京都産業大学客員研究員、西シドニー大学客員研究員。2001 年大阪市立大学大学院経済学研究科。日本進化経済学会、日本経済学会、日本シミュレーション & ゲーミング学会会員

まつ い ひろ ゆき
松井啓之君

1995 年東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程修了, 博士 (工学)。1995 年東京工業大学工学部助手, 1998 年愛知学院大学情報社会政策学部講師, 2000 年京都大学大学院経済学研究科助教授。日本シミュレーション & ゲーミング学会, 日本計画行政学会, 日本社会情報学会, 日本 OR 学会、日本進化経済学会会員

第5部

非戦略的意思決定の理論と実験

体系からの脱出と回り道のない推論

八杉満利子・小田宗兵衛*

自分を外から見る

まず、[8]からの引用をしよう。

人は知的活動をするときに、一定のシステムの中で思考あるいは推論するだけでなく、自分の置かれたシステムについて考慮することがある。すなわち、人には自らを外から見るという能力が備わっている。我々はこの行為を体系からの脱出と解釈し、簡単な例でその状況を詳細に解析してみることにする。

以下 [8] を参考に、上記の事柄に関して簡単な例でその状況とその根拠を解説する。問題解析に際して、思考のシステムを "知識" に関する形式的論理体系とし、体系からの脱出の根拠を、その体系の "証明論" におく。

例 (2少女の色当てパズル) 2人の少女、A と B が一列に並んでいる。B が前、A が後ろで、2人とも前方を向いている。前方に鏡はない。第三者 C が二人に帽子をかぶせる。B の帽子の色は白であるが、A の色は何でもよい。A は B の帽子を見ることができ自分の帽子は見ることができない。B はどちらの帽子も見ることができない。この状況で、パズルは、次のように進む。

C が 2 人に「2人の帽子のうち少なくとも一方は白です」と次げる。C はまず A に「あなたの帽子の色は白ですか?」と聞く。A は「わかりません」と答える。C は次に B に「あなたの帽子の色は白ですか?」と聞く。B は「はい」と答える。

このとき A と B の回答は正しいか?

二人の回答が正しいことは確かであり、したがってこのパズルは「解ける」といえるが、その根拠を聞かれたときにどのように説明すべきなのか。ここからが問題なのである。上のプロセスをもう少し正確に書いてみよう。

Step 1. A は B の帽子の色が白であることを知る。A はこれを自分の知識とする。(以下「帽子の」を省略する。)

*京都産業大学 理学部・経済学部

(A1) A は B の色が白であることを知っている。

Step 2. C が 2 人に「2 人の帽子のうちうち少なくとも一方は白です」と告げる。2 人はこれを聞き、それぞれ自分の知識とする。

(A,B) A は、A の色が白であるかまたは B の色が白であることを知っている；B は A の色が白であるかまたは B の色が白であることを知っている。

Step 3. C の問に対して A は自分の持っている知識をもとに「自分の色が白であるかそうでないか分からない」という結論に達する。

(A2) A は A の色が白であることを知らない；A は A の色が白でないことを知らない。

Step 4. B は A の回答を聞いてこれを自分の知識とする。

(B1) B は「A が A の色が白であることを知らない」ことを知っている；B は「A が A の色が白でないことを知らない」ことを知っている。

Step 5. C の問に対して B は自分の持っている知識をもとに「自分の色が白である」という結論に達する。

(B2) B は B の色が白であることを知っている。

以後上記のプロセスにおける、文の構成と結論にいたる推論の解析を行っていく。

構文解析

各人の意図された発言は単に「白である」という中立的事実ではない。たとえば C の A に対する「白ですか」という問は、「A は、自分が白であることを知っているか」というのが真意である。それに対する A の回答「分かりません」は自分の知識として不明である、という回答なので「白であることを知らない、かつ、白でないことを知らない」という意味になる。「白であるか？」と聞かれて、白でないと知っていれば「いいえ」と答えるはずである。

B の回答「はい」は、「はい、私は私の色が白であることを知っています」、すなわち、「B は B の色が白であることを知っている」ということに他ならない。

以上の説明で明らかになることは、「白である」という文に対して「そのことを知っている」という、文の修飾辞が必要である、ということだ。ここでは「作用素」と呼ぼう。

基本文は以下の 2 種類のみである。

W_1 : A の色は白である

W_2 : B の色は白である

「知っている」を表す作用素は以下の 2 種類である。

K_1 : A は知っている

K_2 : B は知っている

これらと、基本的な命題論理の記号 \neg, \vee (それぞれ "否定" と "または" を表す) を使うと、パズルのプロセスに表れる発言は以下のように表現できる。

- (A1) $K_1 W_2$
- (A,B) $K_1(W_1 \vee W_2); K_2(W_1 \vee W_2)$
- (A2) $\neg K_1 W_1; \neg K_1 \neg W_1$
- (B1) $K_2 \neg K_1 W_1; K_2 \neg K_1 \neg W_1$
- (B2) $K_2 W_2$

推論の体系

このパズルでは状況からの情報は (A1)、(A,B)、(B1) のみであり、(A2) と (B2) は A と B それぞれが自分の思考の中で論理的に推論して得た情報のみである。

正しい結論に到達するためには、人は論理的に正しい推論ができなければならない。したがって一つのパズルを二人の相互関係で解けるということは、共通の論理体系の中での推論能力があるはずだ。構文解析の結果から、「知識」を表現する作用素 K_1, K_2 をもつ簡単な論理体系で回答にいたることが推察される。

A と B の結論 (A2)、(B2) のそれぞれの根拠を考察しよう。

A が「わからない」と答える (A2) の理由は、自分の思考体系の中では、「白であることを知っている」も「白でないことを知っている」も導くことが不可能である、という意味に解釈するのが妥当である。その不可能性を結論できるためには、A が自分の思考体系から脱出して自分の思考体系を外から見て、「体系について」考察することができるからだ、と解釈すべきであろう。ここで "体系からの脱出" という概念が必然的に生じる。

(B2) は体系内の推論による結論である。

体系から脱出して体系について考察する作業を「メタ推論」と呼ぶ。B も (B1) では体系からの脱出を行う必要があり、したがって二人は同等なメタ推論実行の能力を所有しているものと仮定するべきである。

この場合、体系の中での思考 (推論) や体系からの脱出の能力が、A と B の特別な能力の賜物であったり超限的な要素をもっているとは、「誰でも解ける」という意味での「パズルが解ける」ことにはならない。パズルが個人の能力に依存せずに遂行され正しい結論に到達するためには、回答にいたるプロセスに "決定性" あるいは "自動性" を付与するのが妥当であろう。

以上の事項を正確に扱うためには、しかるべき推論規則をもつ論理体系を設定し、その体系に関して観察し発言するメタ理論 (証明論) を展開する必要がある。

以下でその説明をする。詳細は [8]、[9]、[5]、[6] にあり、[6] はウェブページで参照できる。

2人の思考体系の基本は命題論理である。すなわち基本文をつないで複合文を作る、構文に関する規則のみをもち、それらにしたがって推論を重ねる。複合文構成の接続詞としては上記の \neg と \vee の他に \wedge (そして)と \Rightarrow (ならば)のみで十分である。これらの記号を命題論理の結合子あるいは論理記号と呼ぶ。ここでは簡単に論理記号と呼ぶ。

ある文 P から別の文 Q が正しく導かれるか、は、 P と Q の論理記号を比較して P が成り立つときに Q も成り立つか、を検証できればよい。たとえば $P \equiv R$ で、 $Q \equiv R \vee S$ のときには P から Q が導かれることは明らかだろう。ある前提からある結論を導くには、このような推移を推論規則として設定しておけばよい。このような推論の体系を、“命題論理の体系”と呼ぶ。

2少女のパズルでは、さらに「知っている」という構文作用素がある。その作用素があっても、命題論理の推論規則は適用できる。知識作用素についてどのような推論を認めるか、は、決まっているものではない。「知っている」をどのように解釈するか、によって異なってくる。しかし最低限、ある文 P が論理的に正しいければ、「 P が正しいことを知っている」も正しいと考えられる。すなわち、 P から $K_i P (i = 1, 2)$ を導いてよい、とするのが妥当であろう。実際に正しいことくらいは知っているのが、健全な思考力であろう。2少女のパズルのためには、さらに $K_i P \Rightarrow K_i P$ から $K_i P \Rightarrow K_i K_i P$ を導くことを認める必要がある。前者はトートロジーであるから、通常の命題論理で正しい。後者は「知っている、ならば、知っていることを知っている」を表現している。 P を知っている、ということは、知るという意識があると考えられる。ゆえに知っていることもまた知っている、すなわち意識している、としてよいだろう。この推論は自然なことであるが、知識に関してこれを認める場合も認めない場合もある。

命題論理には、論理記号や知識作用素に関する推論以外にカットと呼ばれる推論がある。それは $R \Rightarrow S$ と $S \Rightarrow T$ から $R \Rightarrow T$ を導くことであり、二つの前提に出現する S という文が、結論ではカット・アウトされて消えているので、“カット”と呼ばれる。これはいわゆる三段論法の変形である。

三段論法は S と $S \Rightarrow T$ から T を導く推論であり、これは日常でも数学でもよく使っている。まず S という仮定のもとでは T が成り立つことを証明し、次に実は S が成り立つ、ことを示す。ゆえに仮定なしで T が成り立つ、という証明方法は数学では常套手段である。 $S \Rightarrow T$ のような命題を“補助定理”あるいは“レンマ”と呼び、 S が証明された段階で T という定理が証明された、という。カットはこの変形であり、ある種の推論体系ではこのほうが都合よい。

この推論以外は、結論を見ると前提はいくつか有限個の候補があるだけになる。たとえば R から $R \vee S$ が導かれた、と考えると、 $R \vee S$ を見たときに、もとは R であるか S であるか、どちらかしかない。

ところがカットがあると、結論からカットアウトされた文を探るのは一般

的にはできない。 $R \Rightarrow T$ をカットで導いた、と言われても、カットアウトされた文が何であるかについて、何も情報がない。S として無限個ある文を次々試してみなければならない。カットを使う推論は、結論には必要ないカットアウトされる文を仲介にするので、“回り道のある推論”といえる。

$S \Rightarrow S$ というトートロジーから始めて、以上に説明したような推論を繰り返して行く文の列を“証明”と呼ぶ。証明の過程で（とくにその最後に）得られる文は証明可能であるといい、定理と呼ぶ。このように定理を得るシステムをここでは K と呼ぼう。これが色あてパズルにおける 2 人の少女の思考体系である。

可解性：有限性

2 少女の帽子の色宛パズルが解ける、ということは、その少女の特別な能力ではなくて、理論的に解けるはずだ、という意味である。しかしその理論が超限的な原理を必要とするならば、解けるはずだ、で、終わってしまい、実際に回答が出せるかどうか、は保証されない。回答の保証を得るということの一つの考え方は、機械的に有限ステップ内で答えがでる、というものである。これが保証されれば、C の問を入力していくにしたがって、有限ステップ内で回答が出力される。2 少女も論理的思考力さえあれば、しかるべき手続きによって、回答できる。

このような考え方にしたがえば、パズルの可解性の保証のためには、(A1) から (B2) までの結論がそれぞれ有限のステップ内で得られる手続きがあればよい。

次節で説明するが、これらの手続きは 3 種類に分けられる。第一は (B2) にいたる推論で、これは体系 K 内の推論を重ねて得られる。すなわち K の証明の構成である。

第二は (A1)、(A,B) のように状況によって得られた知識を、それが体系と矛盾しない、すなわち、その知識を仮定して体系内の推論を重ねても矛盾がおきない、ということを確認してから、実際に採用するものだ。これは体系内で証明できない、ということの確認なので、体系について外から観察し結論を導く行為である。体系から脱して体系を外から見る。このような人知の働きを“体系からの脱出”と呼ぶ。脱出しただけでそこらに浮遊しているのではないことは当然だ。

体系外から体系について考察する理論はメタ理論と呼ばれている。

さらに第三は、(A2) のように、ある文についてそれが体系内で証明できない、ことを確認する行為である。これは体系を外から観察し結論を出すもので、その意味では実質第二のプロセスと同じである。

これらのどのプロセスも有限のステップで終了することは、体系 K に関する論理的な事実によって保証される。そのことを次節で解説する。

回り道の除去

前節におけるどのプロセスにおいても、体系 K に関する理論を適用できる。

このような理論は "証明論" と呼ばれる。システム内の証明について考察する理論、という意味だ。

体系 K の証明論は次の基本定理を土台としている。

定理 1 (カット除去定理) 体系 K のどの証明についても、それをカット推論不使用の同じ定理の証明に変形する手続きがある。

$R \Rightarrow T$ の証明にカットを使うと、たとえば前提 $R \Rightarrow S$ と $S \Rightarrow T$ に出現する間挿文 S が必要である。それは一種の回り道といえる。カットがなければ R と T に出現する基本文や論理記号だけを使った証明ができる。この場合には上記のような回り道がない、といえる。

カット除去定理の帰結として次のことがいえる。

系 1 1) 体系 K は無矛盾である。すなわち、この体系内で得た知識は論理的に正しい。

2) 体系 K は決定性をもつ。すなわち、ある文 P が証明可能かどうか判定する手続きがある。しかも証明可能ならば、 P のカットなしの証明を自動的に作成する手続きがある。

本来証明可能な文は、自動的に (カットなしで) 証明できる、というのだから、その文を入力すれば答えが出てくる。証明作成にはとくに賢者である必要はない、ということになる。

少女たちの思考

もし A が「自分の色が白であることを知っている: K_1W_1 」をシステム K 内で証明できれば、彼女は C の問に対して「はい」と答えるだろう。「自分の色が白でないことを知っている: $K_1\neg W_1$ 」と証明できれば、「いいえ」と答えるだろう。そうではなくて「分かりません」と答えた、ということは、そのどちらもシステム内では証明できない、ということをも A が確認した、ということになる。システム内で証明できない、ということは、すべての証明を探索してもそれが目的の文の証明になっていない、ということだ。普通に考えれば無限のプロセスを経ないと、「分からない」とは結論できそうもない。 A が超能力でも持っていなければ通常無限のプロセスを踏むことはできない。パズルが解けると主張するためには、 A に特殊な能力を仮定することは不適切である。この点をどう処理したらよいたろうか?

一般にはこれに対する答えはないのだが、システム K に関しては、その処理方法がある。 K_1W_1 も $K_1\neg W_1$ もシステム K で証明できないことが有限の

プロセスで分かるのだ。もしも A がシステム K を外から観察する能力があれば、この "証明不可能性" を確認することができる。この、体系を外から観察しそれについて考察することを、我々は "体系からの脱出" と呼んでいる。ただ脱出するのではない。脱出した自分の思考の故郷について観察し思考を巡らすことも含めて、脱出というのだ。しかも脱出後の観察が有限のプロセスで結論を導く、という事実が保証されている。この最後の主張の根拠が 5 節の系 2) にある。

5 節の系の応用として、少女たちの結論の正しさと有限性を見てみよう。まず二人とも (A,B) の仮定から矛盾が出ないこと、A はさらに (A1) から矛盾が出ないこと、を確認できる。たとえば (A1) については、 $K_1W_2 \Rightarrow P \wedge \neg P$ が証明できないことである。P は何でもよい。P \wedge \neg P が矛盾を表現している。

次に (A2) についてであるが、(A1) と (A,B) の知識をまとめて S とおくと、A は $S \Rightarrow K_1W_1$ も $S \Rightarrow K_1\neg W_1$ も体系 K の中で証明できない、と主張したことになる。系 2) の手続きにしたがってこれらをチェックすればよい。実際どちらも証明できないことが有限回のステップで分かる。

次に B が (A2) の主張から矛盾が出ないことを確かめ、それを自分の知識に加える。これが (B1) である。

パズルの答え

最後に B は、自分の得た知識全体を T と表すとき、 $T \Rightarrow K_2W_2$ か $T \Rightarrow K_2\neg W_2$ が証明可能かをチェックする。実際 B は前者の K での証明を得て、結論を得る。これが (B2) だ。

ここで説明なしで (B2) の $T \Rightarrow K_2W_2$ に相当する文の体系 K での証明を表示しておく。[9] の Proposition 3 より引用する。ただしここでは T に相当するものは省いている。B の結論 K_2W_2 の証明を得るには以下の文を順次証明すればよい。

1. $K_2(\neg W_2 \Rightarrow K_1\neg W_2)$
2. $K_2(K_1\neg W_2 \Rightarrow K_1W_1)$
3. $K_2(K_1W_1 \wedge \neg K_1W_1 \Rightarrow \perp)$
4. $K_2(\neg W_2 \wedge \neg K_1W_1 \Rightarrow \perp)$
5. $K_2(\neg K_1W_1 \Rightarrow \neg\neg W_2)$
6. $K_2(\neg\neg W_2 \Rightarrow W_2)$
7. $K_2(\neg K_1W_1 \Rightarrow W_2)$
8. K_2W_2

例として 7. から 8. を得る部分の実際の証明をつけておく。ここで $P \rightarrow Q$ は論理的には $P \Rightarrow Q$ と同じ内容なのだが、証明構成上の技術的な理由でこの記号が使用されている。 \rightarrow の左辺の , は論理的には \wedge である。

$$\frac{\Gamma'_2 \rightarrow K_2(\neg K_1 W_1 \Rightarrow W_2) \quad \frac{\frac{\neg K_1 W_1 \rightarrow \neg K_1 W_1 \quad W_2 \rightarrow W_2}{\neg K_1 W_1, \neg K_1 W_1 \Rightarrow W_2 \rightarrow W_2} (\Rightarrow \rightarrow)}{K_2 \neg K_1 W_1, K_2(\neg K_1 W_1 \Rightarrow W_2) \rightarrow K_2 W_2} (K_2 \rightarrow K_2)}{\Gamma'_2 \rightarrow K_2 W_2} \text{ (カット)}$$

ここで体系内の証明についてコメントしておく。上の証明ではカットを使っている。カット除去といいながら、これは何だ？と思われるだろう。これは我々が作成した証明であり、Bの回答作成可能性はこれで保証される。しかし少女Bがこの証明を作成できるかどうか、は分からない。系2)によれば、証明可能な文Pについてそのカットなしの証明が自動作成されることが保証されている。それをここで図示しない理由は、カットを使ったほうが証明の内容が理解しやすいことによる。少女Bがこの証明を思いつかなくても、カットなしの証明の自動作成が保証されているのだから、あとは手続きに沿ってカットなしの証明を作ればよいだけなのだ。

パズルの可解性の解釈について

最後に簡単に以上の考え方についてコメントしておこう。

以上は2少女の色あてパズルにおける少女たちの思考方法の一つの解釈である。「パズルが解ける」という命題の解釈は一通りではない。また、思考体系も一通りではない。ここでは、肯定的な回答を導く思考過程を知識作用素をもつ命題論理の体系と設定し、「分からない」ことを確認するためのメタ思考過程をその証明論とした。「解ける」を「個人の能力に依存せず、有限ステップで結論に行き着く」と解釈した。「知っている」の解釈、「知らない」の表現も、一通りではない。これらについて様々な考察が可能である。[9]ではここでの解説とは多少ニュアンスの異なる説明がしてある。しかし技術的には著者たちの方法は一つである。

附 本文中で文献の詳しい引用をしなかったので、簡単に紹介しておく。

論理体系の基礎とカット：[1], [2], [3]

体系からの脱出概念：[4]

知識作用素をもつ体系：[7]

本解説の資料：上記以外すべての文献

参考文献

- [1] G. Gentzen, *Investigations into logical deduction*, (English translation), in *The Collected Papers of Gerhard Gentzen*, North-Holland, 1969, 68-131.

- [2] 林晋, 数理論理学, コロナ社、1989.
- [3] 林晋・八杉満利子, 情報系の数学入門, オーム社,2000.
- [4] D.R. Hofstadter., *Gödel, Escher, Bach*, Basic Books, New York, 1979.
- [5] S.H.Oda and M.Yasugi *Inference within knowledge*, Discussion Paper Series No.27, The Society of E.&BA, KSU, 1998: See also <http://www.kyoto-su.ac.jp/~yasugi/page/Recent>
- [6] M.Yasugi and S.H.Oda, *A proof-theoretic approach to knowledge*, Discussion Paper Series No.29, The Society of Economics and Business Administration, Kyoto Sangyo University. 1999: See also <http://www.kyoto-su.ac.jp/~yasugi/page/Recent>
- [7] M. Ohnishi and K. Matsumoto, *Gentzen Method in Modal Calculi. I*, Osaka Math. J., 9(1957), pp.113-130.
- [8] 八杉満利子・小田宗兵衛, 体系からの脱出：証明論による解析, 科学基礎論研究, vol.28, no.2(2001), 87-92.
- [9] Mariko Yasugi and Sobei Oda, *A note on the wise girls puzzle*, Economic Theory vol.19, issue 1(2002), 145-156.
- [10] Mariko Yasugi and Sobei Oda, *Notes on bounded rationality*, SCMJ Online, vol.7(2002), special issue 129-138.

A Laboratory Study of Bayesian Updating in Small Feedback-Based Decision Problems

Takemi Fujikawa and Sobei H. Oda

(日本語要約)

本論文はスモールデシジョン（スモールデシジョンの性質についてはBarron and Erev (2003)を参照のこと）下における各個人の意思決定行動をベイズ行動モデルの枠組みで分析する。スモールデシジョンとは異なるビッグデシジョンに関して多くの研究が行われているが、スモールデシジョンに関する研究はほとんどおこなわれていない。特に国内でスモールデシジョンを扱った研究は皆無である。本論文はスモールデシジョンの重要性を鑑み、各意思決定個人のスモールデシジョン下における行動を被験者実験を行うことによって分析することを目標とする。

分析のためにコンピューターによる繰り返し二者択一スモールデシジョン問題を含む被験者実験を行った。実験は二つの実験(実験1、実験2)から構成された。33人の被験者が参加し、実験終了後に1点当たり0.6円のレートで謝金が支払われた。各実験共4つのセッション（セッション1、セッション2、セッション3、セッション4）からなり、各セッションは400回の意思決定問題を含むものであった。特筆すべきことは、従来の意思決定に関する研究はその多くがビッグデシジョンを捉えたものであり、繰り返し問題ではなく単一の(つまり一回の)意思決定問題を行っている。

実験1では以下の4つのセッションが行われた。実験前に被験者には状態Aと状態Bが示され二つのうちのどちらかがコンピューターにより決定されることを伝えた。(実際には状態Aが用いられたが被験者にはそのことを伝えなかった。)

セッション1

状態A L: (6, 1) R: (5, 1)

状態B L: (4, 1) R: (3, 1)

セッション2

状態A L: (4, 0.9) R: (3, 1)

状態B L: (4, 0.8) R: (3, 1)

セッション3

状態A L: (4, 0.3) R: (3, 0.25)

状態B L: (4, 0.2) R: (3, 0.25)

セッション4

状態A L:(32, 0.2) R:(3, 1)
状態B L:(32, 0.1) R:(3, 1)

例えば、状態Aの下ではセッション4の選択肢Lを選ぶことによって20%の確率で32点、80%の確率で0点を得ることが出来、また選択肢Rを選ぶことによって100%の確率で3点得られること、他方、状態Bの下ではセッション4の選択肢Lを選ぶことによって10%の確率で32点、90%の確率で0点を得ることができ、Rを選ぶことによって100%の確率で3点得られることを被験者に説明した。

他方、実験2では以下の4つのセッションが行われた。実験前に被験者には状態Aと状態Bが示され二つのうちのどちらかがコンピュータにより決定されることを伝えた。(実際には状態Bが用いられたが被験者にはそのことを伝えなかった。)

セッション1

状態A L:(4, 1) R:(3, 1)
状態B L:(2, 1) R:(1, 1)

セッション2

状態A L:(4, 0.8) R:(3, 1)
状態B L:(4, 0.7) R:(3, 1)

セッション3

状態A L:(4, 0.2) R:(3, 0.25)
状態B L:(4, 0.1) R:(3, 0.25)

セッション4

状態A L:(32, 0.1) R:(3, 1)
状態B L:(32, 0.05) R:(3, 1)

先に述べたように、各セッションにおいて被験者は400回意思決定をもとめられた。実験結果はスタートチョイス(第一回目の意思決定)において被験者は選択肢Rをより好むことを示している。例えば実験2のセッション2における実験結果は39%の被験者が選択肢Rを選んでいることを示した。これは従来の期待効用の枠組みでは説明できない現象である。第一回目の意思決定においては期待効用最大化を目指す個人にとっては選択肢LとRは無差別になるべきである。(二つの選択肢は同じ期待値を持つ。)

他方において、被験者は不完全あるいはノイズに影響されるベイジアンであることを実験結果は示している。本実験ではあいまいな利得状況(つまり状態A、状態Bのどちらが本当の利得問題化がわからない)が被験者に与えられたので、理論的には、被験者は意思決定を重ね結果を毎回得ることによって主観的な事後確

率をベイズモデルの公式によって計算することが可能となる。完全なベイジアンであればとられないであろう行動が本実験では観察された。本論文はスモールデシジョン下で被験者は完全なベイジアンでないことをせつめいしているが、今後の課題としては、スモールデシジョンにおいてはどのような要因が人間を不完全なベイジアンにしているのか、を分析することが肝要である。

A Laboratory Study of Bayesian Updating in Small Feedback-Based Decision Problems

¹Takemi Fujikawa and ²Sobei H. Oda

¹School of Economics and Finance, University of Western Sydney, Australia
Faculty of Economics, Kyoto Sangyo University, Japan

Abstract: This study explores small feedback-based decision problems experimentally. Conducted were the experiments in which the decision-maker's payoff distribution was limited to either favorable distribution or unfavorable distribution. The first remarkable observation revealed complexity/loss aversion in the experiment. The second observation included the law of small numbers. Deviations from maximization were also observed. Finally, we investigated the imperfect Bayesian decision-makers observed in the experiment by exploring to what extent the decision-makers could update subjective Bayesian probability and rely on it in making decisions.

Key words: Sequential search, Bayesian updating, small feedback-based decision problems, experiment,
JEL Classification: C91, D81, D83

INTRODUCTION

This study conducts search experiments on Small Feedback-based Decision problems (SFD). SFD are defined as consequential decision problems but each single choice is not *very* important because the options available to the Decision-Maker (DM) have similar expected values that may be quite small, so that little time and effort is typically invested in these problems^[1]. The DM in SFD is supposed to make his decision many times without evaluating carefully the possible outcomes.

This research carries out extensive experimental exploration of the process of Bayesian updating with SFD. There has been some literature about search experiments on SFD^[1,2], none of those literature has, however, focused upon the process of Bayesian updating. This study conducts search experiments focusing upon the DM's sequential search process of Bayesian updating on SFD.

The current experiments were conducted with the repetition of 400 rounds, while many previous experiments^[3] focused upon one-shot description-based decisions. The reason of conducting repeated-play conditions is that economics experiments typically use stationary replication, where the same task is repeated over and over, with fresh endowments in each period. Data from the last few periods of the experiments are typically used to draw conclusions about equilibrium behavior outside the laboratory^[4].

Present results exhibit the DMs' remarkable tendencies. The first remarkable observation reveals the DMs' complexity/loss aversion in the experiment. The second is that the DMs behave as if the law of small

numbers is revealed. Deviations from maximization (low maximization) are also observed. The third observation is that the DMs behave as if they are imperfect Bayesians.

Bayesian updating: The standard principles adopted in economics to model probability judgment under uncertainty are concepts of Bayesian updating. Bayesian updating helps us concern the manner in which the DM processes new information and update his beliefs.

Consider a game in which the following two equally likely states of the world are available to the DM, a priori relatively high state, State A and a priori relatively low state, State B. Let $\alpha, \beta > 0$, $p_1, p_2 \in [0, 1]$, $\alpha p_1 > \beta$ and $\alpha p_2 > \beta$. In State A, two bingo cages are available: cage H from which a ball numbered α is drawn with probability p_1 ; cage L a ball numbered β with certainty. In State B, two bingo cages are available: cage H from which a ball numbered α is drawn with probability p_2 ; cage L a ball numbered β with certainty.

State A. Choose between:

H: α points with probability p_1 ; 0 otherwise
L: β points with certainty.

State B. Choose between:

H: α points with probability p_2 ; 0 otherwise
L: β points with certainty.

At the beginning of the game, the DM is presented with the two equally likely states of the world

introduced above and its payoff structure. The DM is asked to choose for 400 times one of the two cages, cage H or cage L, from which one ball is drawn at a time. It is undisclosed which of the two state of the world is an actual state throughout the game, however, disclosed that the same state of the world yields draws over 400 trials. Hence, the DM will be expected to discover which of the two states of the world be realized actually.

We explore an analysis in this study the assumption that the rational DM should make his decision to maximize his expected payoff (utility) under uncertainty This assumption asserts that the DM is willing to keep choosing H (L) after he has appeared to an actual state to be State A (B).

At period t , the DM's updated probability of recognizing an actual state of the world in the process of Bayesian updating, facing the outcome, x_t , is given as:

$$P_t(\text{StateA} | x_t) = \begin{cases} \frac{P(\alpha|\text{StateA})P_t(\text{StateA})}{P(\alpha|\text{StateA})P_t(\text{StateA})+P(\alpha|\text{StateB})P_t(\text{StateB})}, & \text{if } x_t = \alpha \\ \frac{P(0|\text{StateA})P_t(\text{StateA})}{P(0|\text{StateA})P_t(\text{StateA})+P(0|\text{StateB})P_t(\text{StateB})}, & \text{if } x_t = 0 \\ P_{t-1}(\text{StateA}), & \text{if } x_t = \beta \end{cases}$$

From tenets of Bayesian updating and a rationality assumption, we propose the following important hypotheses on the DM's behavior. One is that the DM should choose an alternative H whenever $P_t(\text{StateA}/x_t) > 0.5$ at period t , implying that State A is more likely to be an actual state for the DM. The second hypothesis is that the DM should choose an alternative L whenever $P_t(\text{StateA}/x_t) < 0.5$ at period t , implying that State B is more likely to be an actual state for the DM.

MATERIALS AND METHODS

Two economics experiments, Experiment 1 and 2 were conducted at Kyoto Sangyo University Economic Experiment Laboratory. Thirty-three undergraduates at Kyoto Sangyo University participated in both Experiment 1 and 2 in order. Both Experiment 1 and 2 were conducted under the condition that the subjects were informed of the exact number of rounds and sessions to be performed. The subjects received monetary payoffs according to the exchange rate: 1 point= 0.6 Yen (0.5 US cent).

Both in Experiment 1 and 2, the subjects were asked to join four sessions, Session 1, 2, 3 and 4, each of which was consisted of 400 rounds (100 rounds only in Session 1) under the condition that the subjects were presented with two equally likely states of the world at the beginning of each session, a priori relatively high state (good news) and a priori relatively low state (bad news). The subjects were undisclosed an actual

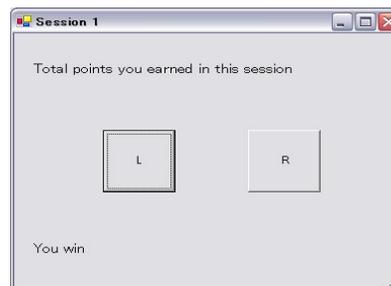


Fig. 1: Computerized money machine

state of the world during each session, however, were disclosed that the same state of the world was yielding draws across one session. Hence, the subjects were expected to discover which of the two state of the world was actually generating each draw in each session.

Throughout both Experiment 1 and 2, the subjects were instructed to operate a computerized money machine shown in Fig. 1. The subjects' basic task at each round was a binary choice between L and R for 400 times in each session. Payoff structure of the two buttons is introduced in the following section. Among both experiments, the money machine provided the subjects with binary types of feedback immediately following each choice: the payoff for the button chosen, that appeared on the screen for the duration of one second and an update of an accumulating payoff counter, which was constantly displayed.

Experiment 1: In Experiment 1, the subjects were provided with two equally likely states of the world: State A (good news) and State B (bad news), however they were undisclosed that State A was a dummy state and therefore State B was an actual state for all of the four sessions. Let (V, p) be an alternative that yields payoff of V points with probability p and zero otherwise.

Session 1: State A: Choose between L: (6, 1) and R: (5, 1).
State B: Choose between L: (4, 1) and R: (3, 1).

Session 2: State A: Choose between L: (4, 0.9) and R: (3, 1).
State B: Choose between L: (4, 0.8) and R: (3, 1).

Session 3: State A: Choose between L: (4, 0.3) and R: (3, 0.25).
State B: Choose between L: (4, 0.2) and R: (3, 0.25).

Session 4: State A: Choose between L: (32, 0.2) and R: (3, 1).
State B: Choose between L: (32, 0.1) and R: (3, 1).

Table 1: The mean proportion of L choices throughout 400 rounds

| | Session 1 | Session 2 | Session 3 | Session 4 |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Experiment 1 | 0.944 | 0.56 | 0.76 | 0.52 |
| Experiment 2 | 0.94 | 0.54 | 0.5 | 0.46 |

Experiment 2: The setting for Experiment 2 is the same as Experiment 1 with the exception that State A was an actual state for all of the four sessions and it was undisclosed to the subjects.

Session 1: State A: Choose between L: (4, 1) and R: (3, 1).
State B: Choose between L: (2, 1) and R: (1, 1).

Session 2: State A: Choose between L: (4, 0.8) and R: (3, 1).
State B: Choose between L: (4, 0.7) and R: (3, 1).

Session 3: State A: Choose between L: (4, 0.2) and R: (3, 0.25).
State B: Choose between L: (4, 0.1) and R: (3, 0.25).

Session 4: State A: Choose between L: (32, 0.1) and R: (3, 1).
State B: Choose between L: (32, 0.05) and R: (3, 1).

RESULTS AND DISCUSSION

Table 1 shows the mean proportion of L choices (choiceL) throughout 400 rounds in each session in Experiment 1 and 2. Figure 2 - 4 shows choiceL in blocks of 50 trials to facilitate an efficient summary of the large set of the data. On the one hand, among both experiments, we see that the reversed certainty effect was observed in Session 2 since choiceL were more than 0.5. On the other hand, it is found that choiceL in Experiment 1 was significantly larger than that in Experiment 2 for all of the four sessions. The corresponding p-values are 0.491, 0.000, 0.319, 0.460 for Session 1, 2, 3, 4 respectively.

L or R start choice: We find pronounced tendency that there were fewer L start choices in Experiment 2 than in Experiment 1, in phases where our subjects made their starting choices. The mean proportion of L start choices were 0.68, 0.94 and 0.65 in Session 2, 3 and 4 in Experiment 1 respectively, while 0.39, 0.67 and 0.58 in Experiment 2. The difference between the two experiments is significant ($P(Z \leq z) = 0.069$).

Regarding Session 2 in Experiment 2, there exists remarkable tendency that R was chosen often as starting choice as though complexity/loss aversion was exhibited in the first trial in spite of the following two facts. One is that in being made the first draw, both L

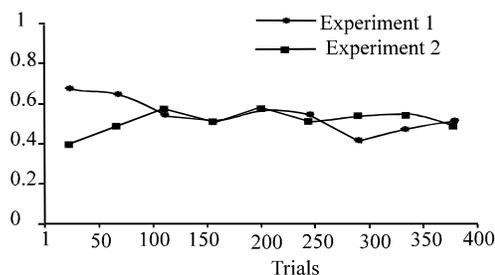


Fig. 2: Choice L in blocks of 50 trials in session 2

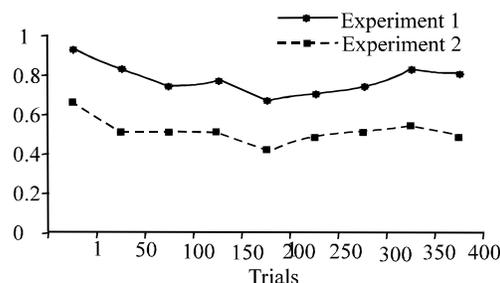


Fig. 3: Choice L in blocks of 50 trials in session 3

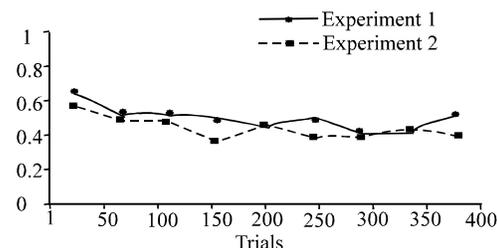


Fig. 4: Choice L in blocks of 50 trials in session 4

and R offer the same expected payoff if there is only one draw. If there is only one draw, the expected payoff (utility) of the two alternatives is the same:

$$EU(L) = \frac{1}{2} \times \{4 \times 0.8\} + \frac{1}{2} \times \{4 \times 0.7\} = 3, \quad EU(R) = 3$$

The second fact is that observing the outcome of the first R draw does not resolve uncertainty regarding the state of the world (good or bad news) as the first L draw may do.

Regarding Session 3 in Experiment 2, there exists substantial tendency that L was chosen often as starting choice although L offered less expected payoff than R did if there was only one draw. If there is only one draw, the expected payoff (utility) of L is lower than R:

$$EU(L) = \frac{1}{2} \times \{4 \times 0.2\} + \frac{1}{2} \times \{4 \times 0.1\} = 0.6, \quad EU(R) = 0.75.$$

This trend is a mirror image of complexity/loss aversion as in Session 2 in Experiment 2. In addition, as

regards both Experiment 1 and 2, the proportion of L start choices in Session 3 was the highest of all the sessions.

Regarding Session 4 in Experiment 2, there exists tendency that more subjects, on average, started with L in Session 4 in spite of the fact that L offered less expected payoff than R did if there was only one draw.

$$EU(L) = \frac{1}{2} \times \{32 \times 0.1\} + \frac{1}{2} \times \{32 \times 0.05\} = 2.4, \quad EU(R) = 3.$$

One explanation of this tendency is that the subjects were likely to *overweight* small probabilities at the beginning of Session 4. The alternative R, however, was chosen often gradually as the subjects obtained binary types of feedback repeatedly throughout 400 rounds either in the process of “adaptive learning” or on account of the effect of the expectation of playing gambles repeatedly.

It is particularly interesting to focus on the DM’s process of Bayesian updating after an initial draw in Experiment 2. One implies that after having a successful outcome in the first round, an outcome of 4 in Session 2 and 3, or 32 in Session 4, the Bayesian maximising expected utility DM should stay with L; after having a unsuccessful outcome in the first round, an outcome of 0 in Session 2, 3 and 4, the DM should switch to R. The current results show that after having a successful outcome in Session 2, an initial outcome of 4, most of the subjects (91%) updated well and preferred to stay with L as the above hypothesis suggests. Remarkably, all subjects who had received an initial draw of 32 in Session 4 preferred to stay with L. On the other hand, all subjects in Session 2 and all but quite fewer of the subjects in Session 4 (94%) updated mistakenly and kept staying with L after receiving unsuccessful outcome, an initial draw of 0.

The law of small numbers: The law of small numbers was observed in both Experiment 1 and 2. The law of small numbers posits that the DM will gather too little data and over generalize from small samples to distributions^[6]. Assuming that the rational DM should behave to maximise his expected payoff under uncertainty, the DM’s overgeneralization of a payoff distribution may sometimes lead him to behave irrationally. In economic applications, each DM will search too little and learn too quickly, compared to models of optimal sampling and inference^[7]. One would insist that too little search leads the DM to learn mistakenly and mistaken learning induces the DM to behave irrationally.

The current results indicate that the DM chose the alternative too little and learn mistakenly too quickly. Table 1, shows that the subjects in Session 4 in Experiment 2, on average, chose L only 184 out of 400

times. One possible explanation of this is that the subjects might try L too little (only 184 times) and learn mistakenly too quickly that L had less expected payoff than R. Mistaken learning is likely to induce the subjects to choose R many times.

Overweighting and underweighting small probabilities: There has been some literature on salient properties of overweighting and under weighting of rare probabilities in both one-shot description-based decisions and (repeated) SFD. Firstly, Kahneman and Tversky^[3] found with questionnaire-based experiments that the average DMs in one-shot description-based decisions behaved overweighting small probabilities. Most of the subjects overweighting generally low probabilities preferred the gamble (5000, with $p = 0.001$; 0 otherwise) over a sure payoff with the same expected payoff. Secondly, Barron and Erev^[2] found that the average DMs in SFD behaved as if they underweighted small probabilities and most DMs preferred the riskless gamble, which yielded 3 with certainty, over the gamble (32, with $p = 0.1$; 0 otherwise).

Low maximisation rates were observed in our experiments except Session 1. This observation is the reverse of the one in the description-based decision experiment conducted by Kahneman and Tversky^[3]. It is insisted that the effect of the expectation of playing gambles repeatedly leads to the low maximisation rates observed in the current experiments. Note that Kahneman and Tversky’s subjects were asked to perform choice problem only once with exact prior information on payoff structure and paid hypothetical payoffs; Barron and Erev’s subjects were asked to perform choice problem 400 times repeatedly without any prior information on payoff structure and paid monetary payoffs. Our results show a similar trend to Barron and Erev’s results indicating underweighting of rare events in SFD, contrary to one-shot description-based decisions. It is straightforward for the subjects in Session 4 in Experiment 2 to choose L often, revealing deviations from expected payoff (utility) maximisation in SFD.

Imperfect Bayesians: Some of the subjects appeared to be imperfect Bayesians. This section explores to what extent the subject in Experiment 2 can update his Bayesian updated subjective probability of recognising an actual state of the world in Experiment 2 (updatedP) and rely on the DM’s updatedP for making his decisions. This exploration can be done technically by investigating correlation between the updatedP and choiceL. We represent in Fig. 4 the aggregated subjects’ updatedP and choiceL in blocks of 50 trials.

The current results reveal that the subjects’ mean updatedP remained more than 0.5 after $T = 1$ in Session

2, while after $T = 12$ in Session 4. One set of implications is concerned with that the maximum of 400 trials should be sufficient for the DM for judging an actual state of the world in Experiment 2 correctly. That is, the subject could update his posterior information that each draw following would be coming from State A with probability of more than 0.5 after choosing L at $T = 1$ and $T = 12$ in Session 2 and 4 respectively.

The current results also reveal that the subjects, on average, never kept choosing L after $T = 1$ and $T = 12$ in Session 2 and 4 respectively in spite of the fact that the subjects' mean updatedP remained more than 0.5 after those periods. One implies with this result that the subjects appeared to be imperfect Bayesians and less-than-fully-rational DMs on the ground of being unconditional upon their updatedP in forming beliefs over a state of the world. A rationality assumption asserts that the perfect Bayesian rational DM should keep choosing L whenever his updatedP are more than 0.5 in order to maximize expected payoff (utility).

Methodologies: One insists that a SFD experiment should be conducted with the condition that choices and payoffs of others can be observable to each DM. In spite of the above, the current experiments were actually conducted in the setting that each DM was informed of no information as to others' choices and payoffs. This is likely setting on the ground that in many routine-learning models, knowing others' choices and payoffs is inessential since the DM is assumed to simply choose strategies that yielded high payoffs in the past^[6].

Another insists that a SFD experiment should be conducted under the condition that each DM is questioned in each trial which of the two state of the world is the actual one to be realized. This should be to the point at a rough glance but we have considered it inappropriate settings for the current experiment due to the following reasons. Firstly, one considers it unreasonable setting that the DM is asked to answer repeated questions, which are not experimenter's primary concerns and may affect DM's decision making either directly or indirectly. Recall that the primary concern of our SFD experiment is not to ask which of the two state of the world the DM should consider to make a decision in each trial, but to observe what alternative the DM chooses. Secondly, asking the DM either State A or B many times (for 1300 times in each experiment) will take the DM much time and effort and induce careful evaluation of the possible options in the DM's decisions. Although careful evaluation is needed in big description-based decision experiment, we should avoid such careful evaluation in

SFD experiment. Lastly, the main concern in this study is that repeated questions in each trial are likely to influence the DM's adaptive learning for making his optimal decision.

CONCLUSIONS

We have examined decision making on SFD in a laboratory experiment. The DM's search propensity has been explored in the context of Bayesian updating and some simple econometric methods have been employed in this study.

Further research on search under uncertainty would clarify the following two issues. The first issue concerns to what extent the DM relies upon updatedP in making choices. The second issue concerns to what extent the DM makes use of a naive heuristic in making choices.

To the best of our knowledge, there has been no literature, which aims at reviewing econometric studies on the DM's individual search behavior in SFD that use data from national economies. Yet it is straightforward to use search and choice models as maintained hypotheses for conducting econometric estimation. Hence it is hoped that further research on this type of decision making in SFD would clarify the empirical validity of search theory itself.

REFERENCES

1. Barron, G. and I. Erev, 2003. Small feedback-based decisions and their limited correspondence to description-based decisions. *J. Behavioral Decision Making*, 16: 215-233
2. Fujikawa, T. and S. H. Oda, 2003. Decision making under uncertainty and ambiguity. Paper presented at the The 7th Exp. Econom. Conf. Japan, Kyoto, Japan.
3. Kahneman, D. and A. Tversky, 1979. Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47: 23-53.
5. Becker, G. S. and K. M. Murphy, 1988. A theory of rational addiction. *J. Political Economy*, 96: 675-700.
4. Camerer, C. F., G. Loewenstein and M. Rabin, (Eds.), 2004. *Advances in behavioral economics*. New Jersey: Princeton Univ. Press.
6. Tversky, A. and D. Kahneman, 1971. The belief in the law of small numbers. *Psychol. Bull.*, 76: 105-110.
7. Kagel, J. H. and A. E. Roth, (Eds.), 1995. *The handbook of experimental economics*. New York: Princeton Univ. Press.

Separation of Intertemporal Substitution and Time Preference Rate from Risk Aversion: Experimental Analysis with Reward Designs *

Ryoko Wada †

Sobei H. Oda ‡

1 Introduction

In the standard intertemporal specification of expected utility

$$U_t = (1 - \beta)E \left[\sum_{t=0}^{\infty} \frac{c_t^{1-\sigma}}{1-\sigma} \beta^t \right], \quad (1)$$

the coefficient of relative risk aversion σ is the reciprocal of the rate of intertemporal substitution $1/\sigma$. This has been suspected as a source of poor performance of the standard stochastic consumption model and the risk-premium puzzle in asset pricing ¹. More generally, the problematic feature of expected utility applied to intertemporal settings is that its treatment of ‘gambling over time’ cannot distinguish risk aversion and intertemporal substitution ².

Epstein-Zin introduced a recursive model of non-expected utility in which risk aversion is separated from intertemporal substitution. It has the form

$$U_t = \left[(1 - \beta)c_t^\rho + \beta \left(E_t \tilde{U}_{t+1}^\alpha \right)^{\rho/\alpha} \right]^{1/\rho}, \quad (2)$$

where α explains risk aversion applied only to ‘timeless gambles’ and ρ explains intertemporal substitution. Thus attitudes toward gambling over time are clearly decomposed. The model generalizes the standard one in the sense that expected utility hypothesis is maintained only for timeless gambles. When $\alpha = \rho$, model (2) reduces to model (1).

Our objective is to examine the above noted separation as well as the validity of recursive utility, by means of experimental methods. Econometric estimation approaches have been taken by Epstein and Zin [2], using time-series data of aggregate consumptions and asset returns. This study show a troubling pattern that estimation exhibits negative rate of time preference. We adopt experimental methods to make the setting more controllable.

*The author wishes to thank Dr. Hayashi Takashi and Dr. Stahl Dale O. at Taxes University for their precious advices.

†Associate Professor, Faculty of Economics, Keiai University YRI02505@nifty.com

‡Professor, Faculty of Economics, Kyoto Sangyo University oda@kyoto-su.ac.jp

¹See Hall [3], Mehra and Prescott [5].

²See Kreps and Porteus [4] for more theoretical arguments.

2 Questions and Procedures to Test Recursive Utility

The procedure of our test of recursive utility is divided into four steps. 1. Estimation of $(\frac{1-\beta}{\beta})^{\frac{1}{\rho}}$ (Q1–Q3) 2. Estimation of β and ρ (Q4) 3. Estimation of α (Q5,6,8) 4. Test of dynamically consistent choice (Q7,9)

2.1 Estimation of the range of $(\frac{1-\beta}{\beta})^{\frac{1}{\rho}}$

The first step is to estimate the range of $(\frac{1-\beta}{\beta})^{\frac{1}{\rho}}$. Q1 is the most basic question.

Q1. WHICH DO YOU PREFER, A(10,0) OR B(0,10) ?

A(10,0) MEANS THAT YOU GET 1000 YEN TOMORROW AND NOTHING 29TH DAYS AFTER. THE UNITS OF THE NUMBER IS 100 YEN. IF YOUR ANSWER IS A(B), PLEASE ANSWER Q2(3).

If a subject answers A in Q1, the $(\frac{1-\beta}{\beta})^{\frac{1}{\rho}}$ of him/her is greater than or equal to 1. If a subject answers B in Q1, $(\frac{1-\beta}{\beta})^{\frac{1}{\rho}}$ is smaller than or equal to 1. We exclude the answer that the subject is indifferent between the alternatives, to make it easier for subject to respond. From the answers to Q2 we infer how close to 1 the subject's $(\frac{1-\beta}{\beta})^{\frac{1}{\rho}}$ is. See Table 1 for their procedure. Pattern of the answers and the corresponding values of $(\frac{1-\beta}{\beta})^{\frac{1}{\rho}}$ are as in Tables 2.

For illustration, suppose that the subject chooses A in Q1 and her choices in Q2 reveal that she ranks A(10,0) between E(0,11) and F(0,12). In the model, the value of deterministic consumption stream is given by

$$U = [(1 - \beta)c^\rho + \beta z^\rho]^{\frac{1}{\rho}}$$

where c denotes the current consumption and z denotes the future consumption. Hence the value of A(10,0) is $10(1 - \beta)^{\frac{1}{\rho}}$ and the values of E(0,11), F(0,12) are $11\beta^{\frac{1}{\rho}}$, $12\beta^{\frac{1}{\rho}}$, respectively. Thus we have

$$11\beta^{\frac{1}{\rho}} \leq 10(1 - \beta)^{\frac{1}{\rho}} \leq 12\beta^{\frac{1}{\rho}},$$

which implies

$$1.1 \leq \left(\frac{1 - \beta}{\beta}\right)^{\frac{1}{\rho}} \leq 1.2.$$

Without loss, we approximate $(\frac{1-\beta}{\beta})^{\frac{1}{\rho}}$ by the midpoint of the range, 1.15.

2.2 Estimation of β and ρ

The values of β and ρ of a subject is determined by the previous estimation of her $(\frac{1-\beta}{\beta})^{\frac{1}{\rho}}$ and her answers to Q4.

Table 1: Procedure of Q2 and 3

| Base choice | Q2(Q3)-1 | Q2(Q3)-2 | Q2(Q3)-3 | Q2(Q3)-4 | Q2(Q3)-5 | Q2(Q3)-6 |
|--------------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Q2 A (10,0) | $C(0,10.1)$ | $D(0,10.5)$ | $E(0,11)$ | $F(0,12)$ | $G(0,15)$ | $H(0,20)$ |
| Q3 B (0,10) | $C_A(10.1,0)$ | $D_A(10.5)$ | $E_A(11,0)$ | $F_A(12,0)$ | $G_A(15,0)$ | $H_A(20,0)$ |

Table 2: Estimation procedure for $\left(\frac{1-\beta}{\beta}\right)^{\frac{1}{\rho}}$

| pattern | Q2-1 | Q2-2 | Q2-3 | Q2-4 | Q2-5 | Q2-6 | Range of $\left(\frac{1-\beta}{\beta}\right)^{\frac{1}{\rho}}$ | Estimate |
|---------|------|------|------|------|------|------|--|----------|
| 1 | A | A | A | A | A | A | [2, -] | 2 |
| 2 | A | A | A | A | A | H | [1.5, 2] | 1.75 |
| 3 | A | A | A | A | G | H | [1.2, 1.5] | 1.35 |
| 4 | A | A | A | F | G | H | [1.1, 1.2] | 1.15 |
| 5 | A | A | E | F | G | H | [1.05, 1.1] | 1.075 |
| 6 | A | D | E | F | G | H | [1.01, 1.05] | 1.03 |
| 7 | C | D | E | F | G | H | [1, 1.01] | 1.005 |

Table 3: Procedure of Q4

| Q4-1 | Q4-2 | Q4-3 | Q4-4 | Q4-5 | Q4-6 | Q4-7 | Q4-8 |
|-------------|-------------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|
| U1(4.9,4.9) | U2(4.7,4.7) | U3(4.5,4.5) | U4(4,4) | U5(3.5,3.5) | U6(3,3) | U7(2.5,2.5) | U8(2,2) |

For illustration, suppose that the previous choices made by the subject determines her $\left(\frac{1-\beta}{\beta}\right)^{\frac{1}{\rho}}$ to be 1.15, and her choices in Q4-1 to Q5-8 reveal that she ranks $A(10, 0)$ between $U3(4.5, 4.5)$ and $U4(4, 4)$. Since $U3(4.5, 4.5)$ and $U4(4, 4)$ give constant streams, their values of U are 4.5, 4, respectively. Thus we have

$$0.4 \leq (1 - \beta)^{\frac{1}{\rho}} \leq 0.45.$$

We approximate the value $(1 - \beta)^{\frac{1}{\rho}}$ of 0.425 by the midpoint of the range. By combining this with a system of equations, $\left(\frac{1-\beta}{\beta}\right)^{\frac{1}{\rho}} = 1.15$ which leads to $\beta = 0.473$ and $\rho = 0.75$.

2.3 Estimation of risk aversion for static gambles

Next, we estimate risk aversion. For completeness we start with estimating risk aversion for static gambles.

Q5 IT IS DECIDED TO GET MONEY OF 1 THOUSAND YEN TOMORROW. WHICH DO YOU PREFER REGARDING MONEY OF THE 29TH DAY AFTER?

X: A CERTAIN 1 THOUSANDS YEN.

Y: A LOTTERY TICKET: YOU GET 2 THOUSAND YEN IF YOU WIN, AND YOU GET NOTHING IF YOU LOSE.

If a subject chooses X in Q5, he is required to answer from Q6 and Q7. The subjects who answer Y are risk neutrals or risk lovers. We estimate the strength of the subject to avoid risk in static gambles in Q6. The range of α is estimated by the pattern of answers of Q6.

Table 4: Procedure of Q6

| Base choice | Q6-1 | Q6-2 | Q6-3 | Q6-4 | Q6-5 | Q6-6 | Q6-7 |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| $Y \begin{cases} 20; 0.5 \\ 0; 0.5 \end{cases}$ | X_{F1} Certain 9 | X_{F2} Certain 8 | X_{F3} Certain 7 | X_{F4} Certain 6 | X_{F5} Certain 5 | X_{F6} Certain 4 | X_{F7} Certain 3 |

Table 5: Procedure of Q7

| Base choice | Q7-1 | Q7-2 | Q7-3 | Q7-4 | Q7-5 | Q7-6 | Q7-7 |
|---|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| $Y \begin{cases} 20; 0.5 \\ 0; 0.5 \end{cases}$ | $X1$ Certain 10 | $X2$ Certain 6 | $X3$ Certain 5 | $X4$ Certain 4 | $X5$ Certain 3 | $X6$ Certain 2 | $X7$ Certain 1 |
| Next year | This year | This year | This year | This year | This year | This year | This year |

2.4 Procedure for estimating ‘intertemporal’ α

Next, we estimate the degree of intertemporal risk aversion using Q7-1-Q7-7.

We describe the procedure to estimate the values of intertemporal α . For illustration, suppose her choices in Q9 reveal that she ranks the lottery $Y(20; 0.5, 0; 0.5)$ given next year between $X3 = \text{Certain } 5$ this year and $X4 = \text{Certain } 4$ this year. Recall in equation (2), z denotes the future consumption which is risky. Then the value of $Y(20; 0.5, 0; 0.5)$ given next year is $[\beta(0.5 \cdot 20^\alpha)^{\rho/\alpha}]^{1/\rho}$ whereas the values of $X3 = \text{Certain } 5$ this year and $X4 = \text{Certain } 4$ this year are $5(1 - \beta)^{\frac{1}{\rho}}$ and $4(1 - \beta)^{\frac{1}{\rho}}$, respectively. Thus we have

$$4(1 - \beta)^{\frac{1}{\rho}} \leq [\beta(0.5 \cdot 20^\alpha)^{\rho/\alpha}]^{1/\rho} \leq 5(1 - \beta)^{\frac{1}{\rho}},$$

which implies

$$0.2 \left(\frac{1 - \beta}{\beta} \right)^{\frac{1}{\rho}} \leq (0.5)^{\frac{1}{\alpha}} \leq 0.25 \left(\frac{1 - \beta}{\beta} \right)^{\frac{1}{\rho}}.$$

Since β and ρ are known by the previous steps, we estimate the range of α . The tests regarding to recursive utility are two-folds. First, we test whether the choices made by the subjects are dynamically consistent, that is, whether the subjects fall in the model of recursive utility. We judge a subject to be time consistent if there is some range of α to fulfill both ranges for static gamble and for dynamic gamble.

Second we test the separation of risk aversion from intertemporal substitution within the set of subjects who fall in recursive utility.

3 Results and Conclusions

We compare the difference of results of experiments in table 1.6-1.10.

1. We informed that each participant’s decision-making depends upon three factors: the time preference rate, preference for smoothness of intertemporal receipts, and the narrowly defined risk attitude.
2. Reasonable part of the subjects exhibit dynamically consistent choices. Also, as the time-consistent subjects, we observed their intertemporal decision making is not explained by the expected utility hypothesis.

Table 6: The comparison with the previous experiment: designs and results

| experimental design | present experiment | Wada and Oda [6] (WO) |
|----------------------|--------------------------|-------------------------------|
| <i>executiontime</i> | <i>April – June</i> 2005 | <i>October, November</i> 2004 |
| number of subjects | 39 at Keiai | 25 at Keiai, 89 at KyoSan |
| reward designs | with reward designs | without reward designs |
| the term | 4 weeks | 1 year |
| the unit of money | 1 thousand yen | 1000 thousand yen |

Table 7: Distribution of β shows that we get positive time preference rate for 3/4 subjects.

| | 0-0.31 | 0.31-0.4 | 0.41-0.45 | 0.46-0.5 | 0.51- |
|--------------------|--------|----------|-----------|----------|---------------|
| present experiment | 5 | 5 | 32 | 32 | 24 (per cent) |
| experiment at WO | 2 | 4 | 22 | 67 | 4 (per cent) |

3. Our results of positive time preference rates contrasts with the result in Epstein-Zin [2]. This suggests that experimental methods have certain advantage over estimation approaches.

References

- [1] Epstein, L. and S. Zin (1989) Substitution, Risk Aversion and Temporal Behavior of Consumption and Asset Returns: A Theoretical Framework, *Econometrica* 57:937-969
- [2] Epstein, L. and S. Zin (1991) Substitution, Risk Aversion, and the Temporal Behavior of Consumption and Asset Returns: An Empirical Analysis, *Journal of Political Economy* 99(2):263-86
- [3] Hall, R (1978) Stochastic Implications of the Life Cycle-Permanent Income Hypothesis: Theory and Evidence, *Journal of Political Economy* 86:971-987
- [4] Kreps, D. and E (1978) Porteus, Temporal resolution of uncertainty and dynamic choice theory. *Econometrica* 46:185-200
- [5] Mehra, R. and Prescott, E (1985) The equity premium: a puzzle, *Journal of Monetary Economics* 15:145-161

Table 8: Distribution of ρ of this experiment is larger. It seems come from the length of the term the subjects confront with their experiments.

| | 0.3-0.6 | 0.61-0.7 | 0.71-0.8 | 0.81-0.9 | 0.91-1 |
|--------------------|---------|----------|----------|----------|---------------|
| present experiment | 0 | 3 | 14 | 49 | 35 (per cent) |
| experiment at WO | 14 | 10 | 24 | 20 | 31 (per cent) |

Table 9: Distribution of α shows more risk lovers were identified at the experiment of Wada and Oda [6]. In this experiment, subjects didn't need avoid risk because of the stakes of lottery are were small.

| unit(per cent) | expected value of lottery Y | 0-0.25 | 0.251-0.5 | 0.51-1 | 1.1-2 | 2- |
|--------------------|-----------------------------|--------|-----------|--------|-------|---------------|
| present experiment | 1000 yen | 5 | 16 | 28 | 33 | 19 (per cent) |
| experiment at WO | 1000 thousands yen | 22 | 25 | 36 | 11 | 6 (per cent) |

Table 10: Proportion of dynamically consistent choices shows the fact that a reasonable number of subjects are dynamically consistent in both experiment.

| Confirmable | null hypothesis $\rho=\alpha$ | t-test :(number) |
|--------------------|-------------------------------|------------------------|
| present experiment | 14/35=0.400 | 0.001068 rejected (10) |
| experiment at WO | 20/43=0.465 | 0.008259 rejected (19) |

[6] Wada,R. and Oda,S (2004) Separation of Intertemporal Substitution and Preference Rate from Risk Aversion:Experimental Analysis, in *The proceedings of the Experiments in Economic Sciences: New Approaches to Solving Real World Problem* .<http://www.kyoto-su.ac.jp/project/orc/execo/EES2004/proceedings.html>

第6部

戦略的意思決定の理論と実験

The Effect of Inter-group Competition in the Prisoner's Dilemma Game*

Yoshio IIDA[#]

Department of Economics, Kyoto Sangyo University

* This research was supported by Grant-in-Aid for (B) No. 15730145 and a research project "Experimental Economics: A New Method of Teaching Economics and the Research on Its Impact on Society." Both are funded by the Ministry of Education, Science, Sports and Culture. I wish to thank Arthur Schram for helpful comments.

[#] Motoyama, Kita-ku, Kyoto, 603-8555, Japan

e-mail: iida01@cc.kyoto-su.ac.jp

Tel. (+81)-75-705-1917

Fax. (+81)-75-493-2854

Abstract:

The author sought to determine the vital factors affecting individual behavior in the prisoner's dilemma (PD) game with inter-group competition played for high stakes, moderate stakes, and zero stakes. The experiments produced the following results: i) the cooperation rate in the moderate-stake game was persistently high even though the dominant strategy was betrayal; ii) the cooperation rate was similarly high in the high-stake game, a game in which cooperation was the dominant strategy; iii) the contribution levels in the high- and moderate-stake games were significantly higher than that of the zero-stake game; iv) the contribution rate in the zero-stake game was significantly higher than that in a normal PD treatment.

Keywords: Experimental Economics, Prisoner's Dilemma, Team Game, Anomaly

1. Introduction

This study focuses on the effect of inter-group competition in the prisoner's dilemma game. The prisoner's dilemma (PD) and the public good (PG) game are two very simple models describing the conflict between social profit and personal profit. In the basic context of a PD or PG game, theoretical analysis predicts that players will choose an uncooperative strategy as a rational decision and thereby fail to attain Pareto efficiency. A large number of experimental studies have shown that the decisions of most subjects are cooperative in a one-shot game or at the beginning of a repeated game, but subsequently deteriorate as the game is repeated.

One possible way to improve the free riding problem is inter-group competition. The ancient Chinese are known to have encouraged inter-group competition during the construction of the Great Wall. Nowadays companies introduce competition between factories or production lines to improve production efficiencies or decrease industrial waste.

Recent experimental studies have investigated inter-group competitions in which matched teams compete against each other to produce larger contributions (cooperation within one's group).

Bornstein et al. and Goren (Bornstein, Erev and Goren (1994); Bornstein and Ben-Yossef (1994); Bornstein (1992); Goren (2001); Goren and Bornstein (1999)) investigate the inter-group competition of a special prisoner's dilemma. Features of their game fit the parameters of lobbying, wars, and similar forms of competition: 1) no contribution is a dominant strategy for all players in the game, 2) no contribution is the collectively (i.e., Pareto) efficient outcome of the game. The studies also show that competition has a positive effect on the cooperative decision, but that the effect does not last when the game is repeated.

In this study I focus on the effect of competition in a very normal PD game in which defection is the dominant strategy for each player and the cooperation of both players brings

about a Pareto-efficient outcome. My purpose is to investigate how competition works as a mechanism to help an economy achieve a Pareto-efficient outcome. By conducting an inter-group competition game with the stakes set at several levels, this study seeks to identify the factors required for reaching a collectively efficient outcome.

Nalbantian and Schotter (1997) studied an inter-group competition in an iterated normal public goods game. They set the stakes of their game sufficiently high to ensure that the dominant strategy would bring about the Pareto-efficient outcome. In their setting, subjects consistently made high-level contributions until the end of the game. This result could be anticipated both theoretically and intuitively. Individuals clearly must work hard for their group when competition may lead to a great gain or a severe loss. Unexpectedly, however, people often invest great effort to win a competition even when the gain or loss is somewhat paltry. (Imagine a bridge party with a token prize. People will compete intensely to win even though the prize will make no real difference in their lives.) The instinct to win and avoid loss may induce cooperative behaviors in an inter-group competition or a PD or PG, even when the stakes are too low to compel the subjects to cooperate as a rational choice. To investigate whether this instinct is operative, I studied the inter-group competition in a prisoner's dilemma game played for high stakes, moderate stakes, and zero stakes.

When making decisions, competitors in an inter-group competition of a PG or PD game are influenced by two major factors: the practical profits (stakes) and the information on the result of the competition (win or loss). To distinguish the effect of stakes and that of information, I also conducted a normal PD game as a benchmark treatment.

In the experiment investigating the inter-group competition, the game is conducted with two matching groups. The competition between the groups depends on the numbers of individuals within the groups who choose the cooperative strategy. The losing team must pay stakes to the

winning team. Cooperation is a dominant strategy for all players in the high-stakes game, whereas betrayal is dominant in the moderate- and zero-stakes games. The players in each group in the inter-group competition are told whether or not the opponent group has achieved a higher level of contribution. In the benchmark treatment, the players play a normal PD game without any information about the other group.

The experimental results show the following: i) subjects cooperate if the stakes are high enough; ii) players maintain a high level of cooperation even if the stakes are moderate, hence betrayal is the dominant strategy for every player; iii) no significant difference is found between the high- and moderate-stake games even though their dominant strategies differ; iv) the players cooperate significantly more in high- and moderate-stake games than they do in the zero-stake game; and v) the players in the zero-stake game cooperate significantly more than they do in the benchmark treatment. The results also show that competition has an inertia effect: players who formerly experience high-stake (moderate-stake) competition tend to maintain a high level of cooperation (they quickly attain full cooperation) in moderate-stake (high-stake) competition.

The remainder of the paper is structured as follows: Section 2 introduces the model of the PD game with inter-group competition; Section 3 describes the experimental procedure; Section 4 presents the results on the average contribution of each game and analyzes the results (including individual behaviors); and Section 5 discuss the results and concludes.

2. The Model

The experimental subjects (players) were assigned to two-person groups. Each player was given 1 token at the beginning of each period and asked to decide whether he would keep the token (a “betray strategy” in the prisoner’s dilemma game) or invest it in a group project (a

“cooperate strategy”). Subjects earned 10 points for each token they kept for themselves and 6 points for each token that they and their fellow group members contributed to the group project¹. The subjects played the prisoner’s dilemma game shown in Table 1.

Two groups were matched and competed for stakes. Members of the group which collected the biggest investment won the stakes. The sources of the stakes were provided endogenously; that is, the group members who collectively invested less in their group project had to pay the stakes. The stakes were the same for all of the players. If the groups tied, no stakes were paid. A subject’s payoff function was as follows:

$$U_{mi} = \begin{cases} 10(E_{mi} - g_{mi}) + 6 \sum_{i=1}^2 g_{mi} & \text{if } \sum_{i=1}^2 g_{mi} = \sum_{i=1}^2 g_{ni} \\ 10(E_{mi} - g_{mi}) + 6 \sum_{i=1}^2 g_{mi} + T & \text{if } \sum_{i=1}^2 g_{mi} > \sum_{i=1}^2 g_{ni} \\ 10(E_{mi} - g_{mi}) + 6 \sum_{i=1}^2 g_{mi} - T & \text{if } \sum_{i=1}^2 g_{mi} < \sum_{i=1}^2 g_{ni}, \quad m \neq n \end{cases}$$

where E_i is the initial endowment, g_i is a voluntary contribution to the group project. The stake, T , is set at three levels, $T=5$, $T=3$, and $T=0$, and the corresponding games (phases) are referred to as “GC5,” “GC3,” and “GC0”. The payoff matrixes of GC0, GC5, and GC3 are shown in Tables 1, 2, and 3, respectively. The dominant strategies are to contribute one’s token to the group project in GC5 (cooperation) and to keep it in GC3 and GC0 (betrayal).

There were no stakes in GC0, but it differed from a normal PD game in that the players were informed of the amount of investment made by the opponent group. The players could use this information to compare their own group with their opponent group.

The games were run in four series: Session 530, Session 350, Session 0, and the Benchmark Session. In Session 530 the subjects played GC5 first, GC3 second, and GC0 third. In

¹ Thus this game was conducted as a 2 person simple PG game, because I am going to extend this study as a multi person PG game

Session 350 they played GC3 first, GC5 second, and GC0 third. In Session 0 the subjects played only GC0. In the last session, the Benchmark Session, the subjects played a normal PD game. Each game consisted of 20 rounds (game periods). Subjects had no interaction with the other groups and no information about the other groups during any session.

The group matching and group members remained unchanged during the experiments (partner treatment).

3. Experimental Procedure

Students from Kyoto Sangyo University were hired to play the game series. 44 students participated in Session 530, 48 in Session 350, 56 in Session 0, and 28 in the Benchmark Session. None of the subjects had any experience in similar experiments. They arrived at the laboratory of Kyoto Sangyo University and were seated at computer terminals divided by partitions. The game instructions were provided on printed handouts and also explained verbally. After the instructions were conveyed, the subjects took a brief test on their terminals to confirm that they correctly understood the rules of the game. The experiments were not started until all of the subjects answered all of the questions correctly. In Sessions 350 and 530, the subjects received additional verbal and paper instructions on the new payoff function upon the completion of the first phase in the series. Subjects took additional tests on the new rules before starting the second and third phases.

The words “win” and “lose” were deliberately omitted from the instructions to avoid suspicion, on the part of subjects, that “winning” and “losing” had important hidden meanings in the context of the experiment. The language used was kept as neutral as possible to avoid this so-called “flaming effect.”

The experiments were conducted in a computerized laboratory with z-Tree software. At the

end of every session, the subjects were individually paid ¥5 for each point they earned in the course of game play. Each phase lasted for about 30 minutes. The subjects earned an average of ¥3,363 in Session 350, ¥3,448 in Session 530, ¥1,090 in Session 0, and ¥1,050 in the Benchmark Session.

4. Results

4.1 Outline of Results

The results of Session 530 are shown in Figure 1. The average contribution rate over the 20 periods of GC5, the first phase, was 83.4%. The subjects remained virtually rational throughout the entire phase except the first few periods. In GC3, the second phase, the average contribution rate was 80%. While the strategy of most of the subjects after was similar to that used in the first phase, the dominant strategy for the second phase was different from that of the first phase. In contrast to normal PD and PG experiments, the contributions did not decay from period to period. In GC0, the final phase, the average contribution was 53.4%. The deterioration of the contribution rate accelerated in the last few periods of the phase.

Figure 2 shows the results of Session 350. The average contribution rate over the 20 periods of GC3, the first phase, was 74.1%. The contribution rate did not decrease from period to period, but contribution was not a dominant strategy. In GC5, the second phase, the average contribution rate was 87.0%. All of the group contributions over 20 periods in GC5 were higher than those of the first phase, GC3. In GC0, the final phase, the average contribution rate was 56.3%. As in the case of Session 530, the contribution rate in the final phase was conspicuously lower than that of the first and second phases.

Figure 3 shows the results of Session 0 together with the results of the first phases of the other sessions. The contribution rate over the entire session was 45.1%. The average

contribution of each period decreased gradually as the end of the game approached.

Figure 3 also shows the results of the Benchmark Session. The average contribution over the 20 periods of the session was 24.8%. The decreasing trend was similar to that of GC0, but the contribution level was lower than that of GC0.

4. 2 Results of the First Phases

The first phases were the most useful to investigate the effects of the stakes since they are the only phases in which the subjects started from identical conditions. The subjects' behavior was in no way influenced by inertia from former phases or a restart effect.

Contribution was the dominant strategy in the first phases of Session 530, whereas free-riding dominated in the first phases of Session 350, Session 0, and the Benchmark Session. Figure 3 plots the average contributions in the first phases of the all sessions. GC5, GC3 and GC0 in the figure represent the first phase in Sessions 530, 350, and 0. In visual inspection, the group average of GC5 and GC3 is clearly higher than the group averages of GC0 and the Benchmark Session. There also seems to be a significant difference between GC0 and the Benchmark Session.

Table 5 shows U values of the pair-wise robust rank order test² between the first phases. The average contribution of GC5 is slightly higher than that of GC3, but the pair-wise robust rank order test accepts the null hypothesis at both the 5% and 10% significance levels. This means that there is no significant difference between the strategies even though the dominant strategies are different.

² For the statistical tests of the inter-group competition treatments, I did not use each group average contributions but each *matched* group average contributions as units of observation results, because decisions of a group's member are not independent from the behavior of their opponent groups. Therefore a unit of matched group data contains 4 persons' decisions. Hence the size of the data is 11 for Session 530, 12 for Session 350 and 14 for Session 0. Because each group is independent, I used each group average contributions as units for the benchmark session, so the size of data is 14 for the session.

The null hypothesis is rejected at the 5% level of significance between GC5 and GC0 and between GC3 and GC0. This means that the contribution level of GC3 is significantly higher than that of GC0 even though the dominant strategies of these treatments are the same.

A significant difference is also found between GC0 and the Benchmark Session. The dominant strategies of these sessions are identical to each other, just as they are in the case of Sessions GC3 and GC0. The only difference between the game treatments is the availability of information on the opponent group.

4. 3 Results within a Session

In our analysis of the first phases we determined that the result of GC3 is close to that of GC5 but not to that of GC0. Can we make similar observations among the games within a single session? If the stakes of the game have a large enough effect, similar results can be expected. Given that the results of the games in the same session were interdependent, however, we cannot confirm whether this was actually the case. We can, however, examine the z-values of a non-parametric Wilcoxon test between the phases in a single session. Tables 6 and 7 present these values solely for the purpose of reference.

The differences between GC5 and GC0 are significant at the 5% level in both Session 530 and Session 350. The null hypothesis is rejected between GC3 and GC0 at the 5% level in Session 530 and at the 10% level in Session 350. There is no significant difference between GC5 and GC3 in Session 530.

In examining these findings, we can once more assert that the result of GC3 is similar to that of GC5 and not to that of GC0. As an exception, however, we find a significant difference between GC5 and GC3 in Session 350. As I mentioned above, the average contribution of each matched group in the second phase of Session 350, phase GC5, was higher than that of the

first phase, GC3. GC3 worked as a springboard towards the nearly full contribution of CG5. Therefore, the Wilcoxon test indicated a significant difference in spite of the similarity in the contribution levels.

4. 4 Individual Decisions

In this section we focus once more on the first phases. Individual data shows that many of the subjects continued to contribute during the games in GC3 and GC5. Figure 4 presents the distribution of individual contribution rates. The feature of each phase is shown most distinctly in the range from 0.8 to 1 in the figure. The number of subjects who contributed more than 80% of periods was Twenty-seven (56.3%) in GC3, 31 (70.5%) in GC5, 11 (19.6%) in GC0 and 0 (0%) in the Benchmark Session. Individual data also tells us that individual contribution rates within the groups were very similar. Figure 5 shows the differences between individual contribution rates in the groups. Most of the differences were less than 20% in any single game. The small differences in GC5 and GC3 are well explained by the high concentration of individual contributions rates within the range from 0.8 to 1. Yet similarly small differences appeared in GC0 and the Benchmark Session, games in which the individual contribution rates were widely distributed. Did the matched groups share similar contribution rates to the same degree as the members within the groups? Figure 6 shows the differences in the group contribution rates between the matched groups. The differences were small in most cases in GC5 and GC3 but not in GC0. As in the case observed within the groups, many of the group contribution rates of GC5 and GC3 were high. Thus, there could not be large differences in many of the cases.

While individual decisions may certainly have been influenced by the decisions of the other group members, the effect of the group remains unclear. Probit models were estimated to

confirm the effect of the choices made by others. These models tested the influence of three factors: 1) the behavior of the other members, 2) the result of the inter-group competition, and 3) the periods. The players participating in this experiment could realize whether their fellow members contributed or not. A fellow member's contribution can encourage a player to contribute and a betrayal can discourage a player from contributing. The competition result is one of three outcomes for the player's group: a win, a tie, or a loss. Winning can encourage players to contribute and losing can discourage them from contributing. It must be noted that neither result is dependent on the other. The result of the competition can also be influenced by the decision of the other member. A contribution by the other member increases the possibility of winning and a betrayal decreases it. To separate the effects, I divided the data according to the cases of factors. Table 7 shows whether the win, tie, and loss results in the inter-group competition impacted the player's decisions. The data is divided by the decisions of the other member. In GC3 we find a significant positive influence when the other member did not contribute. Subjects tended to contribute when their groups won in the previous period. But the coefficient is not significant when the other member invests. In GC5, the coefficient is significant when the other member invests and not significant when the other member keeps his or her token. In GC0, there are positive significant relationships between the result of the competition and the player's decision in both cases.

Table 8 shows the result of a similar investigation to study the effect of the other member. To separate the effect of the result of the inter-group competition, the data is divided according to the result. We find significant positive impacts on the player's investment in all cases except the "lose" case in GC5. It seems reasonable to assert that a contribution by the other member encourages a player to contribute, while a betrayal exerts the opposite effect.

Though the effects of the inter-group competition are not always operative in GC5 and GC3,

we do find positive impacts of winning and negative impacts of losing. The effect of the other member is more clearly shown by the probit model study. At the same time, we also need to note that considerable proportions of subjects chose only to contribute. In GC3, for example, 12 out of 48 subjects (25%) contributed in all (20) periods. In GC5, 14 out of 44 subjects (31.8%) continued to contribute throughout the entire phase. We also find that many of the subjects who contributed in all periods (10 for GC3 and 6 for GC5) were betrayed by their fellow group members two or more times. The presence of these very persistent contributors suggests that _the players were considerably influenced by the structure of the game itself.

5. Discussion

As has long been known, the decisions of individual players in games are not always rational. In typical PD and PG experiments, players are more inclined to contribute than to follow the dominant free-riding strategy. Many theories such as reciprocity, warm-glow, framing and so on have been examined to explain the cooperative decision in PD and PG games. These studies have conclusively proven that an individual's behavior is influenced not only by monetary incentives, but a host of psychological and sociological factors as well. The data suggests that a player's behavior can be controlled without changing the dominant strategy of the game.

The contribution rates of GC0 and GC3 in this study were larger than 0, the theoretical prediction, and larger than the contribution rate of the benchmark treatment. Another and more noteworthy finding was the similarity in the contribution levels between GC3 and GC5. The players contributed at high rates which did not decrease by iterations.

Why did the players contribute so generously in GC3? There are two factors that can

encourage cooperative behavior—stakes and information. In GC0 the stakes were zero, but the players were informed of how many individuals of the opponent group selected the contribution strategy. With this information, the players could ascertain whether their group had won, lost, or tied with the opponent group in the contribution level at the end of each period. The contribution rate of GC0 was high compared with the benchmark result. This difference between the treatments demonstrates the significantly positive effect of the information on the performance of the opponent groups. Thus, part of the high level contribution of GC3 might have been encouraged by the information. The determination of the subjects to beat their opponent group or to be loyal to their own group could change the result. Yet the contribution level of GC0 deteriorated as the game was repeated. Thus it would be unreasonable to expect the effect to last ever.

The stakes seem to have been a vital factor behind the high and sustainable contribution in GC3. Why were the stakes so important? One possible reason may be the tendency of players to avoid “negative stakes.” Subjects might have likened the payoffs in the inner-group game to a kind of profit and attempted to avoid losing this profit by deliberately losing the inter-group competition.

Fehr and Gaechter (2002) found that if subjects can punish other uncooperative members in their groups, they attempt to do so even if the punishment worsens their payoff. This mechanism can maintain a high level of contribution within a group. The result of GC3 suggests that competition is another effective way to attain Pareto Efficiency in PD and PG games. If an employer wants its employees to be more productive, it can divide its employees into several groups and give an extra bonus to the members of the group who perform the most productively. The results of this study suggest that small stakes work well to encourage cooperative decisions.

Unlike the case with many real world problems, subjects in this study gained feasible advantages by attaining cooperative outcomes. The small group size of only two members in our experiments enabled the subjects to monitor each other. This may have helped them attain a high contribution rate. A larger group size, on the other hand, could dilute the effect of competition. We should also keep in mind that the condition of each member is homogeneous in this game. The difference in the marginal cost for the group project or in the marginal profit from the group project may weaken an individual's desire to contribute. These issues need to be studied further in future experiments.

References:

- Bornstein G., 1992. "The Free-Rider Problem in Intergroup Conflicts Over Step-Level and Continuous Public Goods", *Journal of Personality and Social Psychology* 64 ,No. 4, 597-606.
- Bornstein G., Ben-Yossef M., 1994. Cooperation and Single Group Social Dilemmas2 *Journal of Experimental Social Psychology* 30, 52-67.
- Bornstein, G. Erev I., Goren H., 1994. "The effect of repeated play in the IPG and IPD team games", *Journal of Conflict Resolution* 38, No.4, 690-707.
- Fehr, E., Gaechter, S., 2002, Cooperation and Punishment in Public Goods Experiments, *American Economic Review* 90, 980-94.
- Goren H., 2001. The Effect of Out-Group Competition on Individual Behavior and Out-group Perception in the Intergroup Prisoner's Dilemma (IPD) Game Group Processes & Intergroup Relations Vol4(2), 160-182.
- Goren H., Bornstein G., 1999. Reciprocation and Learning in the Intergroup Prisoner's Dilemma game, D. Dudescu, I. Erev, and R. Zwick ed. *Games and human behavior: Essays in honor of Amnon Rapoport*, Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Nalbantian, H. R., Schotter A., 1997. "Productivity Under Group Incentives: An Experimental Study", *American Economic Review* Vol. 87, No. 3, 314-341.

Table 1
Basic Game

| | | Player 2 | |
|----------|------------|------------|-------|
| | | Contribute | keep |
| Player 1 | contribute | 12, 12 | 6, 16 |
| | keep | 16, 6 | 10,10 |

Table 2
Group Competition with High Stakes

| Win | | Player 2 | |
|----------|------------|------------|--------|
| | | Contribute | Keep |
| Player 1 | Contribute | 17, 17 | 11, 21 |
| | Keep | 21, 11 | -*1 |
| Tie | | Player 2 | |
| | | Contribute | Keep |
| Player 1 | Contribute | 12, 12 | 6, 16 |
| | Keep | 16, 6 | 10, 10 |
| Lose | | Player 2 | |
| | | Contribute | Keep |
| Player 1 | Contribute | -*2 | 1, 11 |
| | Keep | 11, 1 | 5, 5 |

*1 A group cannot win when neither player contributes.

*2 A group cannot lose when both players contribute.

Table 3
Group Competition with High Stakes

| Win | | Player 2 | |
|----------|------------|------------|--------|
| | | Contribute | Keep |
| Player 1 | Contribute | 15, 15 | 9, 19 |
| | Keep | 19, 9 | -*1 |
| Tie | | Player 2 | |
| | | Contribute | Keep |
| Player 1 | Contribute | 12, 12 | 6, 16 |
| | Keep | 16, 6 | 10, 10 |
| Lose | | Player 2 | |
| | | Contribute | Keep |
| Player 1 | Contribute | -*2 | 3, 13 |
| | Keep | 13, 3 | 7, 7 |

*1 A group cannot win when neither player contributes.

*2 A group cannot lose when both players contribute.

Figure 1
Session 530

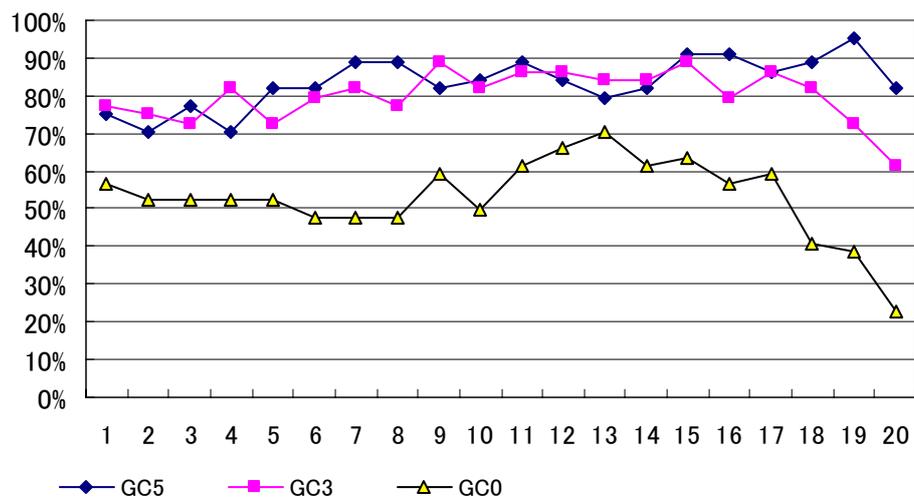


Figure 2
Session 350

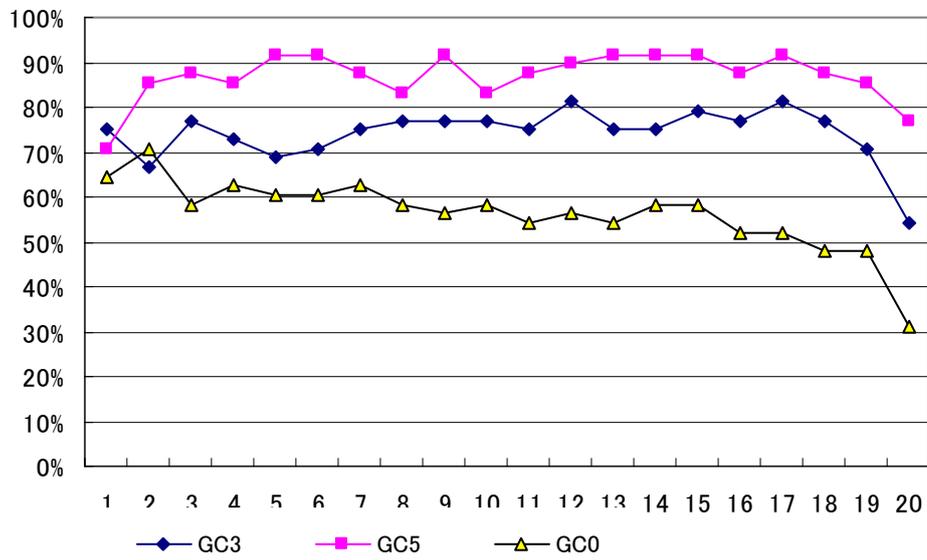


Figure 3
First Phases

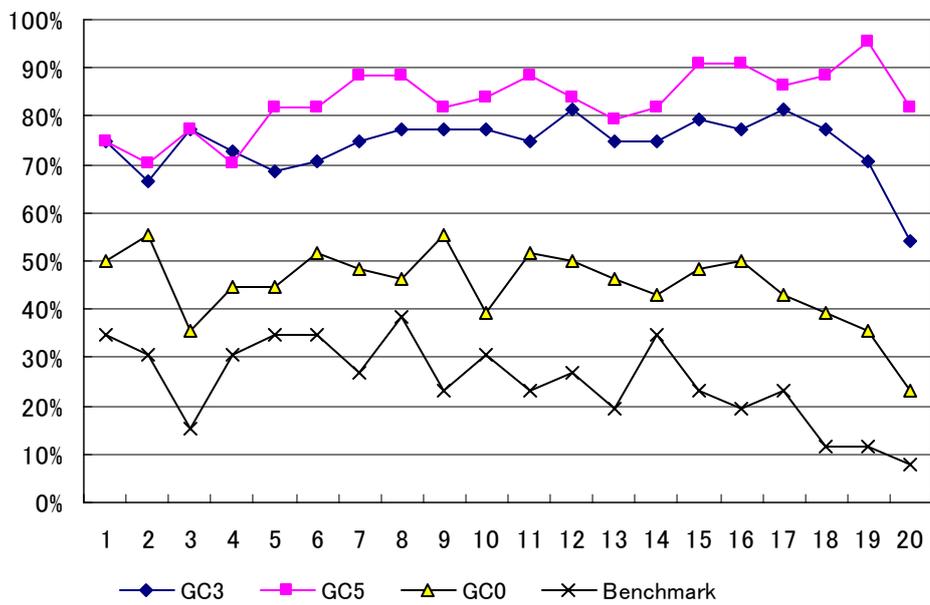


Table 4
Average Contributions of Groups over 20 Periods

| | GC5 | GC3 | GC0 | Benchmark |
|-------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| Session 530 | 0.834 (0.11) | 0.8 (0.119) | 0.53 (0.216) | - |
| Session 350 | 0.87 (0.158) | 0.742 (0.218) | 0.563 (0.356) | - |
| Session 0 | - | - | 0.451 (0.192) | - |
| Benchmark | - | - | - | 0.248(0.150) |

Standard deviations are in parenthesis.

The results of the first phase of each session are shown in **bold**.

Table5
Comparison of Treatments in First Phases

| | Session 350 GC3 74.2% | Session 0 GC0 45.1% | Benchmark 24.8% |
|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------|
| Session 530 GC5 83.4% | 0.73 | 3.61** | 3.97** |
| Session 350 GC3 74.2% | | 2.88** | 3.88** |
| Session 0 GC0 45.1% | | | 2.90** |

U-values of Robust Rank Order Test

Table 6
Comparison of Treatments in Session 530

| | GC3 80.0% | GC0 53.0% |
|--------------|--------------|--------------|
| GC5 83.4% | 0.87 | 2.85** |
| GC3 80.0% | | 2.83** |

z-values of Wilcoxon test

*, ** Indicates significance at 10%, 5%, respectively.

Table 7
Wilcoxon test of Session 350

| | GC3 74.2% | GC0 56.3% |
|--------------|--------------|--------------|
| GC5 87.0% | 3.06** | 1.84* |
| GC3 74.2% | | 3.06** |

z-values of Wilcoxon test

*, ** Indicates significance at 10%, 5%, respectively

Figure 4
Distribution of Individual Contribution Rate

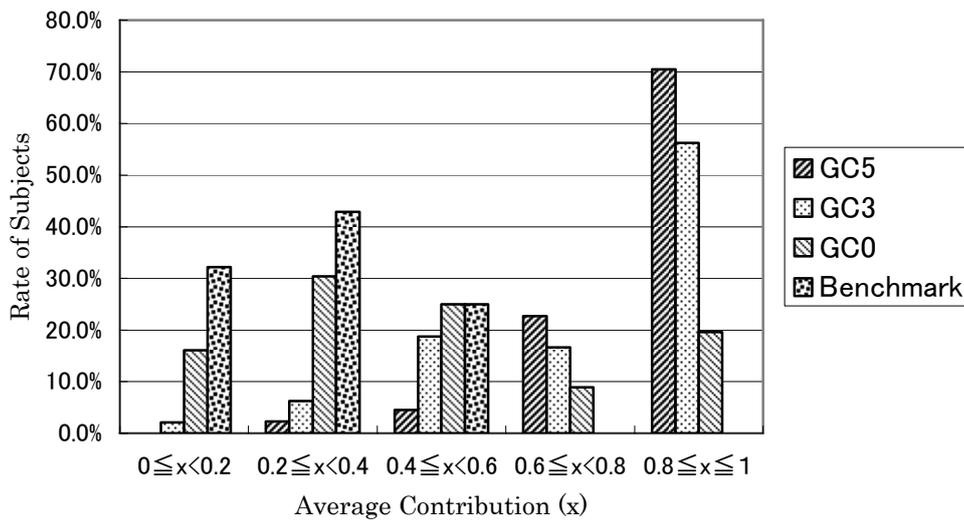


Figure 5
Distribution of Differences between Individual Contribution Rates in Groups

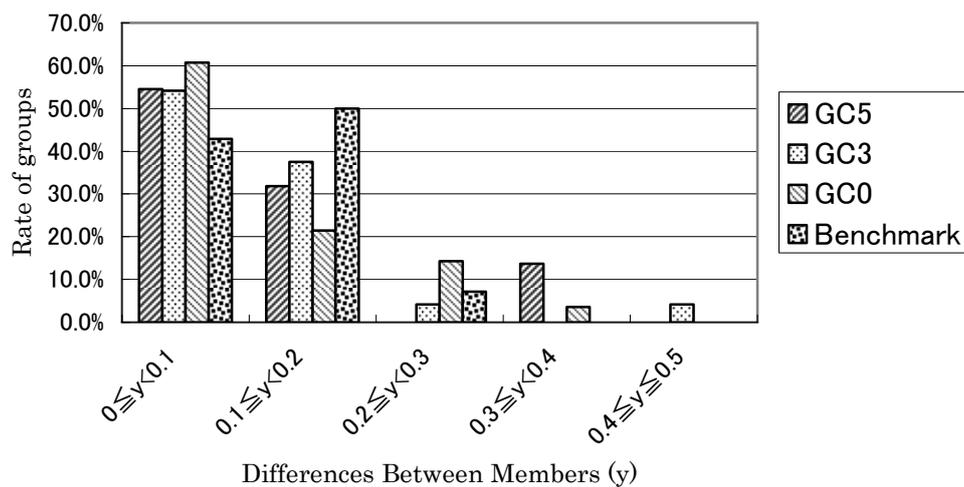


Figure 6
 Distribution of Differences between
 Group Contribution Rates in Matched Groups

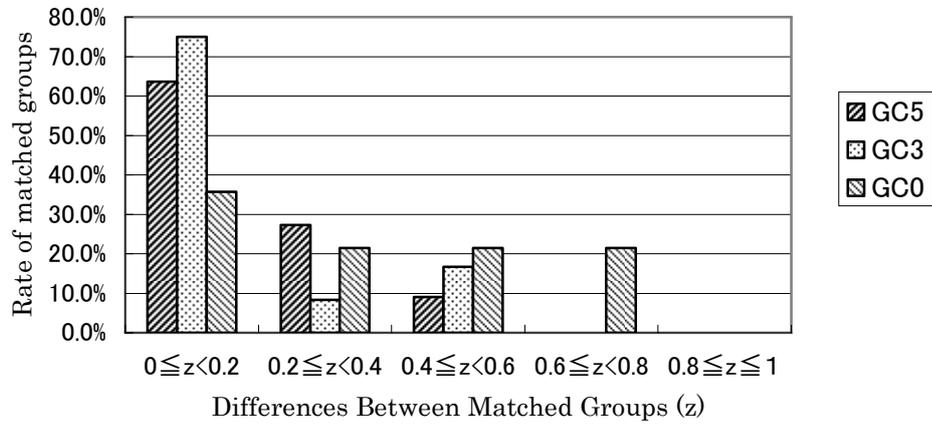


Table 7

| Treatment | G_{mj}^{t-1} | Term | Estimate | | Std error | Nagelkerke R^2 |
|-----------|----------------|-----------|----------|-----|-----------|------------------|
| GC3 | 0 | R^{t-1} | 0.366 | * | 0.209 | 0.023 |
| | | T | -0.026 | | 0.024 | |
| | | Constant | -0.528 | | 0.406 | |
| | 1 | R^{t-1} | 0.032 | | 0.194 | 0 |
| | | T | -0.001 | | 0.019 | |
| | | Constant | 1.619 | *** | 0.495 | |
| GC5 | 0 | R^{t-1} | 0.092 | | 0.449 | 0.001 |
| | | T | -0.008 | | 0.033 | |
| | | Constant | 0.405 | | 0.681 | |
| | 1 | R^{t-1} | 1.466 | *** | 0.232 | 0.144 |
| | | T | 0.067 | *** | 0.023 | |
| | | Constant | -1.625 | *** | 0.502 | |
| GC0 | 0 | R^{t-1} | 0.764 | *** | 0.137 | 0.125 |
| | | T | -0.081 | *** | 0.018 | |
| | | Constant | -1.497 | *** | 0.305 | |
| | 1 | R^{t-1} | 0.364 | ** | 0.143 | 0.025 |
| | | T | 0.028 | | 0.018 | |
| | | Constant | -0.444 | | 0.411 | |

Note: $g_{mj}^{t-1}=1$ if the other member's previous choice was contribution. $R^{t-1}=1, 2, 3$ if the previous result of the inter-group competition was a loss, tie, or win, respectively. $T=1, 2, \dots, 20$ are the rounds in which choices were made.

Table 8

| Treatment | Comp | Term | Estimate | | Std error | Nagelkerke R ² |
|-----------|--------------------------------|--------------------------------|----------|-------|-----------|---------------------------|
| GC3 | Lose | G _{mj} ^{t-1} | 0.732 | ** | 0.333 | 0.0341 |
| | | T | 0.002 | | 0.026 | |
| | | constant | -1.216 | ** | 0.537 | |
| | Tie | G _{mj} ^{t-1} | 2.259 | *** | 0.292 | 0.185 |
| | | T | -0.045 | * | 0.025 | |
| | | constant | -1.758 | *** | 0.567 | |
| | Win | G _{mj} ^{t-1} | 1.025 | ** | 0.497 | 0.0484 |
| | | T | -0.039 | | 0.029 | |
| | | constant | -0.466 | | 1.012 | |
| GC 5 | Lose | G _{mj} ^{t-1} | -0.208 | | 0.320 | 0.0039 |
| | | T | -0.010 | | 0.029 | |
| | | constant | 0.743 | | 0.551 | |
| | Tie | G _{mj} ^{t-1} | 1.438 | *** | 0.530 | 0.0649 |
| | | T | 0.065 | ** | 0.028 | |
| | | constant | -1.408 | | 0.992 | |
| | Win | G _{mj} ^{t-1} | 2.274 | * | 1.307 | 0.0695 |
| | | T | 0.100 | | 0.071 | |
| | | constant | -2.482 | | 2.635 | |
| GC 0 | Lose | G _{mj} ^{t-1} | 1.043 | *** | 0.335 | 0.04848 |
| | | T | -0.039 | | 0.024 | |
| | | constant | -2.124 | *** | 0.483 | |
| | Tie | G _{mj} ^{t-1} | 2.157 | *** | 0.269 | 0.36532 |
| | | T | -0.103 | *** | 0.024 | |
| | | constant | -2.065 | *** | 0.471 | |
| | Win | G _{mj} ^{t-1} | 0.608 | ** | 0.276 | 0.04474 |
| | | T | 0.053 | ** | 0.021 | |
| | | constant | -0.955 | * | 0.542 | |
| Benchmark | G _{mj} ^{t-1} | 1.330 | *** | 0.220 | 0.08774 | |
| | T | -0.055 | *** | 0.019 | | |
| | constant | -0.985 | *** | 0.246 | | |

Note: $g_{mj}^{t-1}=1$ if the other member's previous choice was contribution. $R^{t-1}=1, 2, 3$ if the previous result of the inter-group competition was a loss, tie, or win, respectively. $T=1, 2, \dots, 20$ are the rounds in which choices were made.

Superman and under-achievers: An experimental study on heterogeneous productivity in voluntary public good provision*

Gerlinde Fellner[†], Yoshio Iida[‡], Sabine Kröger[§], Erika Seki[¶]

June 2005

Abstract

This paper examines the voluntary contribution behaviour in an economic environment with heterogeneous abilities by focusing on the role of information. We find that provision of information about heterogeneity in productivity increases average contributions in general. While augmenting feedback information by revealing productivity types does not affect overall contributions, yet such additional information has differential effects on the contribution behaviour of individuals with different productivities. More specifically, we show that monitorability of type specific contribution behaviour makes more productive individuals contribute more than less productive ones, while in an absence of such monitorability, the former tend to under-achieve by contributing less than the latter. From this we conjecture that individual voluntary contribution behaviour is sensitive to the information concerning group heterogeneity and to the extent to which type specific contribution behaviour is monitorable.

*We gratefully acknowledge financial support by the Max Planck Institute for Research into Economic Systems in Jena, Germany, and the Kyoto Sangyo University, Japan. We are indebted to Bettina Bartels and Håkan Fink for research assistance. We also thank Nick Bardsley, Jeff Carpenter, Rachel Croson, Werner Gueth, Euan Phimister, and participants of the Summer School on Experimental Economics at the Centre for Research in Experimental Economics and Political Decision Making, University of Amsterdam, and the North American ESA meeting, University of Arizona, and the Austrian Economic Association meeting, Innsbruck University for helpful comments.

[†]University Bonn, Department of Economics, Adenauerallee 24-42, D-53113 Bonn, Germany, e-mail: fellner@uni-bonn.de

[‡]Faculty of Economics, Kyoto Sangyo University, Motoyama, Kamigamo, Kita-ku, Kyoto, 603-8555, Japan, e-mail: iida01@cc.kyoto-su.ac.jp.

[§]University of Arizona, Economic Science Laboratory at the Department of Economics, McClelland Hall 401, P.O.Box 210108, Tucson, AZ85721-0108, U.S.A. e-mail: S.Kroger@econlab.arizona.edu.

[¶]Department of Economics, University of Aberdeen, Edward Wright Building, Dunbar street, Old Aberdeen, AB24 3QY, Scotland, UK, e-mail: erika.seki@abdn.ac.uk

1 Introduction

People who contribute to public goods or to common projects are, generally speaking, not alike. They differ, for instance, in talents, skills, and qualifications. In some cases, heterogeneous abilities are even required in order to achieve a common goal. Naturally, the question arises how to solicit contributions to public goods from people with heterogeneous abilities. This paper examines voluntary contribution behaviour by individuals with heterogeneous abilities using an experimental approach. More specifically, we focus our attention on the effects of different information about heterogeneity in the marginal product of individual contributions in producing a collective good.

On the one hand, episodes of super heroes have a general appeal: Superman comes to resolve social problems using his special ability. He does so voluntarily by contributing his superior ability to the betterment of humanity without disclosing his true identity and without monetary compensation. In fact, a number of empirical examples resemble Superman-like behaviour. After the devastating Kobe earthquake in Japan, local transportation systems in the town of Kobe were paralysed. Bicycling became a vital mean for delivery and transportation. The serious problem then was that many bicycles became broken and left unrepaired due to the lack of equipment and expertise to fix the damaged bicycles. To circumvent this situation, a number of bicycle enthusiasts from all over Japan had come to Kobe voluntarily to offer the much-needed assistance.

On the other hand, heterogeneous abilities in producing collective goods can become an obstacle to achieve common projects as depicted in the legal protest of musicians in the Beethoven Orchestra Bonn. Instrumentalists, although cooperating for a common musical project, are heterogeneous in many respects: talents, number of notes to play, and most importantly, required rehearsal times before a concert. However, under the unionized contracts of orchestra musicians in Germany, all orchestra members are guaranteed equal payment regardless of the particular instrument they play. In March 2004 violinists of the Beethoven Orchestra demanded a higher pay on the ground that despite contractual stipulations, they have to attend more hours of rehearsal than musicians playing other instruments.¹ The other

¹The argument was mainly based on the opportunity cost argument. The additional

musicians, particularly soloists, argued that they bear more pressure than violinists; thus a differential pay favouring the violinists is not justifiable.²

Such advantages and disadvantages of group heterogeneity in producing public goods have been contested among economists. Olsen (1965) and Bergstrom, Blume and Varian (1986) show theoretically when unequal distributions of wealth are effectual as the privileged provide the public good voluntarily. However, a large number of empirical work demonstrates that heterogeneity in wealth and characteristics of group members hampers cooperation (Cardenas 2003, Ostrom 1990). Based on a comprehensive review of major literature, Agrawal (2001) concludes that a coherent and empirically supported theory concerning group heterogeneity is yet to be developed. To do so, it is suggested to investigate separately a range of contextual factors that seem to determine success and failure of collective actions.

The existing experimental and empirical literature indicates significant but ambiguous effects of heterogeneity on the level of cooperation. Rapoport and Suleiman (1993) find that heterogeneous groups are less successful in providing a threshold public good than homogenous groups when the distribution of individual endowments is common knowledge. Cardenas (2003) reports that the variance of the wealth distribution negatively affects efficiency in public good provision. On the other hand, Chan, Mestelman, Moir and Muller (1996) conclude that income inequality leads to higher total contributions when subjects are informed about the income distribution and individual contribution behaviour. Hamilton, Nickerson and Hideo (2003) conclude on the basis of field data that heterogeneous group composition enhances team productivity. These studies, though providing valuable insights concerning the effects of heterogeneous productivities, do not examine the role of information explicitly. As Ledyard (1995) points out, these experiments are implemented under different information conditions. Hence, the ambiguous effect of heterogeneity may be due to the fact that individuals' behavioural response to heterogeneity is closely intertwined with the information structure, namely what individuals know about heterogeneity and to what extent they can observe others' behaviour. It is therefore important

free-time other musicians enjoy can be used to increase their monthly wages by teaching or performing in other pieces.

²The case was eventually settled with a compromising arrangement to employ part-time student violinists for some rehearsals to replace overworked violinists (see *Klassik News*, March 29, 2004 on klassik.com).

to control for the information structure as much as heterogeneity itself in studying the effect of group heterogeneity.

To date, only a few studies examine explicitly the effects of information about heterogeneity on public good provision. Marks and Croson (1999), using a model of discrete public good provision, show that the information level on heterogeneous valuations of public goods does not have significant effects on the aggregate level of contribution. Chan et al. (1999) find that incomplete information has a small but significant negative effect on average contributions in a linear public good game when subjects have heterogeneous endowments.

On the other hand, there is a small but growing number of studies that aim to uncover the effect of social observability of actions by heterogeneous individuals. Based on a bargaining experiment between employer and employees, Meidinger, Liere and Villeval (2003) find worker heterogeneity can shape team productivity by facilitating mutual learning or by influencing the group production norm. Andreoni and Petrie (2004) systematically remove confidentiality in a linear public good game and find that feedback information about individual contributions in addition to individual identity increases contributions significantly. Similarly, Croson and Marks (1998) use a threshold public goods game to show that providing information about individual contributions as well as individual identity increases contributions significantly, while giving information about individual contribution alone has adverse effects on cooperation.

It is important to note, however, that in an economic environment with heterogeneous individuals, efficiency requires so called “supermanship” in which those with greater ability contribute more to the public good. Yet what is perceived as appropriate contribution behavior may depend on how individuals perceive the environment and the behaviour of others (see, for instance, Cialdini, Reno and Kallgren 1990). Especially when groups are newly formed, information about the environment such as income or abilities of others, cooperation of peers or the extent to which own behaviour can be socially monitored are crucial factors to form a notion of appropriate behavior.

Our study therefore is the first attempt to examine explicitly the effects of different information conditions on voluntary contribution to public goods when individuals differ in their productivity. In this paper, we systematically

investigate the effect of information about heterogeneity on the willingness to contribute to a public good by gradually varying the level of information and possibility of social monitoring. This allows us to test additionally whether contribution norms depend on the knowledge of society and identifiability of own behavior. We thus extend the standard linear model of the voluntary contribution mechanism (VCM) by introducing heterogeneity in individual marginal products and by controlling for differences in pecuniary motivation. We then vary step-by-step the level of information concerning the distribution of different productivity factors in the group and the feedback information available. Heterogeneity in producing the public good may evoke different contribution norms by different productivity types.

We find that providing information about the distribution of heterogeneity among individuals generally increases average contributions. Revealing past contributions by different types of individuals in addition to the general information about heterogeneity, however, does not affect average contributions. Yet, relative contributions between different productivity types change significantly due to the additional information: low productivity types tend to contribute more than high productivity types when subjects are informed only about the existence of heterogeneous types, while high types are induced to contribute relatively more when feedback information reveals contributions by the two different types. The analysis of contribution norms reveals some general insights into non-pecuniary motivations for voluntary contribution. We thus conclude that heterogeneity in productivity, to the extent that it is commonly known to people, increases overall contributions, while the possibility of social monitoring has differential effects on the contributions by different types.

The remainder of the paper is organized as follows. In section 2, we introduce a modification of the standard voluntary contribution mechanism from which the hypotheses of the experiment are derived. Section 3 describes the experimental design including how the level of information about heterogeneity is differentiated between the treatments. In section 4, we present the results on average contribution behaviour and contribution behaviour of different productivity types. An analysis of contribution norms is also provided in Section 4. Section 5 discusses the results and concludes.

2 The model

In order to introduce heterogeneity in the economic environment, we extend the standard linear model of voluntary contribution to public goods. First, we introduce a productivity factor p_k to reflect heterogeneity in the marginal product of individual contributions. We consider a group that is composed of an equal number of individuals with high productivity, $k = H$, and low productivity, $k = L$. Second, we ensure equal pecuniary incentives to contribute across productivity types by taking two means: individual's i payoff from the public good is independent of i 's contribution, i.e. each individual does not benefit from his/her own contribution but receives a share of the output generated by the contributions of the other group members. Additionally, the contribution of one other member j with a different productivity type is excluded from the public good pool, so each subject benefits from a public good pool that contains a balanced number of both productivity types.

Individual i 's payoff in a group with n members can be written as:

$$\Pi_i = w - g_i + \frac{a}{n-2} \sum_{i \neq j; k=s_i} (p_k g_j^k), \quad (1)$$

where $s_i \in \{H, L\}$, and $i, j \in \left\{1, 2, \dots, \frac{n}{2}\right\}$

whereby w is the endowment each subject receives in every period and g_i is individual i 's contribution to the public good. The parameter p_k represents the individual productivity factor in generating the public good.

The following features distinguish our model from the standard VCM: first, unlike in the standard model of VCM, there is no pecuniary incentive for individuals to contribute, as the marginal per capita return (MPCR) of the own contribution is set to zero. Given heterogeneity in individuals productivity, p_k , each individual contribution has a different impact on the outcome of the group project. If each individual were to receive a share of his/her contribution, as in the standard model, the opportunity cost of contributing would vary between individuals with different productivities, which makes it impossible to separate the effects of heterogeneity from different MPCRs. In order to control for such a pecuniary effect originating in heterogeneous productivities, each individual's own contribution is excluded from the payoff function.

Similarly, in order to guarantee an identical distribution of productivity types in each subset of the group that produces the public good an individual benefits from, the contribution of one member with a different productivity is excluded. Let a group be composed of three H type individuals and three L type individuals, and individual i be an L type. His/her payoff from the public good is $\frac{1}{4}$ of the contributions by the two other L type individuals and two randomly selected H type individuals of the group. In other words, by excluding contributions of oneself and one individual of another type, we maintain symmetry of the economic environment. Lastly, we choose parameters so as to satisfy the condition $\partial \sum \Pi_k / \partial g_i = -1 + a \cdot p_i > 0$ for both productivity types, implying social efficiency of full cooperation.

The structure of the model predicts the following: since $\partial \Pi_i / \partial g_i = -1$, it is a dominant strategy of self-interested individuals to free ride in each of the finitely repeated stage games. On the other hand, Pareto efficiency requires every individual to contribute the whole endowment to the group project. Moreover, the model predicts no differences in contribution behaviour between individuals with different productivity types.

3 The experimental design and procedure

Each subject is assigned to a group of six and stays in this group during the whole experiment. Three out of six members are assigned a high productivity factor ($P_H = 3.99$) while the other three members are assigned a low productivity factor ($P_L = 1.33$). The allocation of productivity factors remains fixed throughout the experiment.

At the beginning of every period, each subject is endowed with 17 points and asked to divide them into two parts: one for private consumption and the other as transfer to a group project. All group members take their decision simultaneously, then individual payoffs are computed according to the VCM model. Each subject receives feedback information that consists of his/her payoff in the particular period and a table containing the history of contributions by each group member in all previous periods.³ In total, 15 periods are played.⁴ Before period 1, subjects additionally were asked about

³A sample copy of the instructions can be found in Appendix A.

⁴Another 15 periods of a public good game were conducted afterwards. However, detailed instructions on the second phase were given only after completion of the first phase.

(i) their prediction for the average contribution in the first period, and (ii) which amount they believe subjects should contribute.

Whereas the distribution of heterogeneous productivity types within one group remains constant, the treatment variable in our experiment is the level of information about heterogeneity. We vary information in two ways: first, subjects either do or do not receive precise information on the distribution of productivity types within the group, and second, the feedback information after every period does or does not reveal each contributor's productivity type. Table 1 summarizes the differences in the information structure in the three treatments.

In the *No-info* treatment, subjects are not informed about the distribution of productivity types within their group. The instructions were sufficiently vague, however, to indicate that there might be heterogeneity among group members. In the *Part-info* treatment, the distribution of productivity types is explicitly stated in the instructions. In the *Full-info* treatment, subjects are not only informed about the distribution of heterogeneous productivity types, but they additionally receive feedback information that reveals the type of the contributor.⁵

Table 1: Summary of differences in the information structure between treatments

| Productivity types revealed in feedback | Distribution of heterogeneity revealed | |
|---|--|-----------|
| | No | Yes |
| No | No-info | Part-info |
| Yes | – | Full-info |

162 undergraduate students of Jena University, 70 males and 92 females from 19 to 36 years old, were recruited to participate via the online system ORSEE (Greiner 2004). In all of the three treatments, there are nine groups, each constituting an independent observation. The experiment was conducted in five sessions in November 2002 and three sessions in September 2003 at the laboratory of the Max Planck Institute for Research into Economic Systems in Jena. The software used for conducting the computerized

⁵Note, however, that in neither treatment the contributions of a particular subject can unambiguously be tracked over time.

experiments was zTree (Fischbacher 1999).

After the repeated public good game, a standard personality test, the revised version of the Sixteen Personality Factor Questionnaire (Cattell, Cattell and Cattell 1993), was administered.⁶ We were especially interested in relating the score in a particular global scale of the test – self-control – to cooperation in this social dilemma situation.⁷

At the end of each session, subjects were paid cash for each point they earned in addition to a show-up fee (2.5 Euros). The exchange rate of points to Euros was 80:1, i.e. 80 points correspond to 1 Euro. Average earnings were 5.7 Euros for about 30 minutes.⁸

4 The results

4.1 Aggregate contribution behaviour and payoffs

Figure 1 plots the average contributions in the three treatments throughout the 15 periods. Visual inspection suggests that the average contribution in the *No-info* treatment is lower than in the other treatments. Using a pair wise robust rank-order test of average contributions over all 15 periods, this impression is only weakly confirmed, as reported in Table 2. The null hypothesis of equal average contributions between the *No-info* and the *Part-info* treatment is rejected at the 10% significance level, but cannot be rejected between the *Part-info* and *Full-info* treatment. As for the result between the *No-info* and *Full-info* treatment, a *p*-value of 12% indicates a slight, though not statistically significant, difference in the first moments.⁹

⁶We used the official German version by Schneewind and Graf (1998).

⁷Note that in the German version of this personality questionnaire, the name of the scale can be best translated with “norm reliance”. Generally, a global scale of a personality test subsumes several factors. In the particular case, people who score high in the scale self-control can be described as living up to general norms, relying on traditional rules, and appreciating correct behavior. They want to do the right thing, are strongly concerned about others, are disciplined and determined, and pursue long lasting goals. In contrast, people who score low in the self-control scale live up to their own standards, are flexible, question authorities, like to deviate from the usual, are direct, emotional, spontaneous and easy to influence.

⁸In the second phase of the experiment, subjects additionally earned money so that average earnings were about 11 Euros for 60 minutes.

⁹Aggregating contributions in each group over all 15 periods neglects a lot of information, especially on time trends. Therefore, we additionally estimate a panel tobit model with group random effects that confirms all weak non-parametric main effects on a minimal error margin (see Table 8 in section 4.3).

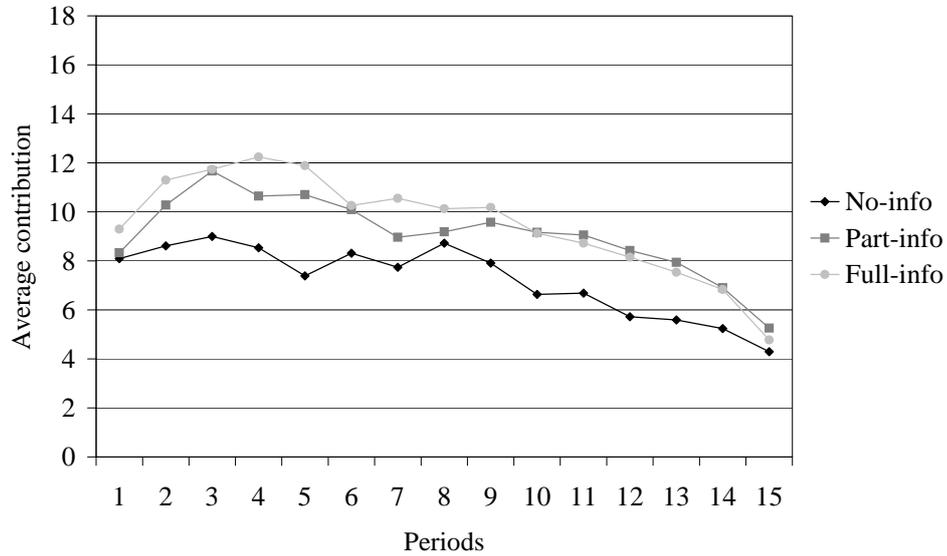


Figure 1: Average contributions in the three treatments

Table 2: Robust rank order tests of average contributions

| Treatments | Mean (SD) | $U_{m=n=9}$ | p |
|-------------------------|-----------------------------|-------------|---------------|
| No-info vs. Part-info | 7.23 (3.03) vs. 9.08 (3.59) | 1.20 | $\approx .12$ |
| No-info vs. Full-info | 7.23 (3.03) vs. 9.51 (3.57) | 1.35 | $p < .10$ |
| Part-info vs. Full-info | 9.08 (3.59) vs. 9.51 (3.57) | 0.37 | $> .20$ |

As a matter of fact, aggregating contributions in each group over all 15 periods neglects the dynamic nature of observations. Taking this into account, we additionally conduct panel data analyses of total group contribution in each period to examine the effect of information about heterogeneity on aggregate contributions in each group (see Table 3). Positive and significant coefficients of dummy variables for the treatments Part-info and Full-info in estimation (1) strengthen the previous non-parametric test results. Furthermore, the positive and significant coefficient of the dummy

variable for the Full-info treatment in estimation (2) implies that additional type-specific feedback information indeed has an additional small, but positive effect on the aggregate contribution level.

Table 3: Random effects Tobit estimation on group contributions

| | Estimation (1) | | Estimation (2) | |
|------------------|----------------|------------|----------------|------------|
| Constant | 29.1704 | (1.0936)** | 33.9064 | (1.2004)** |
| Period 3 | -0.1538 | (1.0625) | -0.1538 | (1.0625) |
| Period 4 | -4.5062 | (1.0754)** | -4.5062 | (1.0754)** |
| Period 5 | -6.3554 | (1.0699)** | -6.3554 | (1.0688)** |
| Period 6 | -7.6013 | (1.0599)** | -7.6013 | (1.0599)** |
| Period 7 | -9.0071 | (1.0547)** | -9.0071 | (1.0548)** |
| Period 8 | -5.9434 | (1.0513)** | -5.9434 | (1.0513)** |
| Period 9 | -7.5176 | (1.0530)** | -7.5176 | (1.0530)** |
| Period 10 | -12.6022 | (1.0521)** | -12.6022 | (1.0521)** |
| Period 11 | -10.5911 | (1.0504)** | -10.5911 | (1.0504)** |
| Period 12 | -14.4283 | (1.0510)** | -14.4283 | (1.0509)** |
| Period 13 | -14.5510 | (1.0564)** | -14.5510 | (1.0564)** |
| Period 14 | -17.2788 | (1.0634)** | -17.2788 | (1.0634)** |
| Period 15 | -24.8914 | (1.0800)** | -24.8914 | (1.0800)** |
| No-Info | — | | -4.7360 | (0.5281)** |
| Part-Info | 4.7360 | (0.5281)** | — | |
| Full-Info | 7.6726 | (0.5749)** | 2.9365 | (0.5027)** |
| $\sum g_{i,t-1}$ | 0.5358 | (0.0169)** | 0.5358 | (0.0169)** |
| Log likelihood | -8772.5731 | | -8772.5731 | |

Note: Standard errors in parentheses. ** denotes significance at the 1% level.

At this point, it is interesting to relate contribution levels in the different treatments to the efficiency of public good provision, measured by total group payoffs. The mean group payoff in the *No-info*, *Part-info* and *Full-info* treatments are 174.56, 184.55 and 205.21 points. Non-parametric tests of average group payoffs throughout the 15 periods reported in Table 4 do not reveal statistically significant differences between the treatments, except a marginal difference between the *No-info* and the *Full-info* treatment. Similarly to the analysis of total group contribution above, we try to examine the effects of information on efficiency, taking into account the dynamic nature of observations using a random effect panel data analysis. The coefficients of the treatments in Table 5 suggest that type specific feedback information on contributions slightly improves efficiency in public good

provision, while providing information about heterogeneity alone does not rise efficiency.

Table 4: Wilcoxon rank-sum test of total group payoffs

| Treatments | Means (SD) | z-value | p |
|------------------------|----------------------------------|---------|--------|
| No-info vs Part-info | 174.56 (39.68) vs 184.55 (36.60) | -0.309 | 0.7573 |
| No-info vs Full-info | 174.56 (39.68) vs 205.21 (37.19) | -1.545 | 0.1223 |
| Part-info vs Full-info | 184.55 (36.60) vs 205.21 (37.19) | -0.015 | 0.3099 |

Table 5: Random effect panel analysis on average group payoffs

| | Estimation (1) | | Estimation (2) | |
|--------------------|----------------|-----------------------|----------------|-----------------------|
| Constant | 43.1380 | (7.3452)** | 46.5034 | (7.5574)** |
| Period 3 | -3.6632 | (6.7076) | -3.6632 | (6.7076) |
| Period 4 | -17.3480 | (6.7304)* | -17.3480 | (6.7304)* |
| Period 5 | -17.1473 | (6.7124)* | -17.1473 | (6.7124)* |
| Period 6 | -19.9902 | (6.7022)** | -19.9902 | (6.7022)** |
| Period 7 | -12.7668 | (6.6940) ^ϕ | -12.7668 | (6.6940) ^ϕ |
| Period 8 | -12.9913 | (6.6949) ^ϕ | -12.9913 | (6.6949) ^ϕ |
| Period 9 | -18.3440 | (6.6956)** | -18.3440 | (6.6956)** |
| Period 10 | -18.9099 | (6.6929)** | -18.9099 | (6.6929)** |
| Period 11 | -19.9201 | (6.6930)** | -19.9201 | (6.6930)** |
| Period 12 | -20.9428 | (6.6962)** | -20.9428 | (6.6962)** |
| Period 13 | -20.3556 | (6.7029)** | -20.3556 | (6.7029)** |
| Period 14 | -25.3628 | (6.7098)** | -25.3628 | (6.7098)** |
| Period 15 | -28.7656 | (6.7315)** | -28.7656 | (6.7315)** |
| No-Info | — | | -3.3655 | (3.1115) |
| Part-Info | 3.3655 | (3.1115) | — | |
| Full-Info | 5.3026 | (3.2416) ^ϕ | 1.9371 | (3.1685) |
| $\sum \pi_{i,t-1}$ | 0.8344 | (0.0304)** | 0.8344 | (0.0304)** |
| R^2 | 0.7373 | | 0.7373 | |

Note: Standard errors in parentheses. ^ϕ, *, and ** denote significance at the 10%, 5% and 1%-level, respectively.

The above suggests that, contrary to the theoretical prediction, information about heterogeneity somewhat affects average contributions. Particularly, the information about the distribution of productivity types increases average contributions, while the augmenting feedback information that links contributions to productivity types has no additional effect. These findings

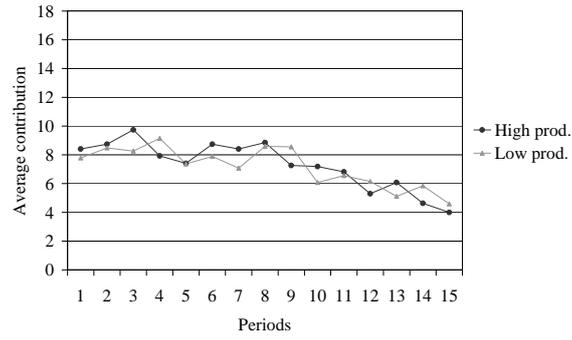
give rise to further questions: how does information about heterogeneity influence individual contribution behaviour? What kind of contribution norms do subjects follow in the presence of information about heterogeneity? More specifically, does additional information on heterogeneity and contribution by types affect behavior of individuals with different productivity types differently? To these questions we now turn.

4.2 Contribution behaviour by productivity types

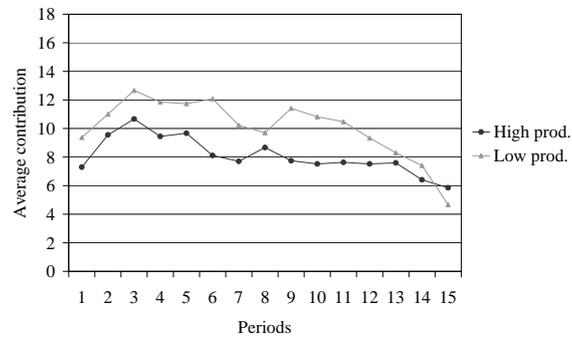
In order to investigate contribution behaviour by productivity types, we disaggregate average contributions by productivity types in each treatment as displayed in Figure 2. In the *No-info* treatment, there is no visible difference between high and low productivity types (Figure 2a). When differences in productivities and their distribution within the group are known to subjects like in the *Part-info* treatment, subjects with low productivity tend to contribute more (Figure 2b) than subjects with high productivity. When contributions are additionally linked to productivity types in the feedback information, however, the order of relative contributions between the two types is reversed: subjects with high productivity tend to contribute more than subjects with low productivity (Figure 2c). These observations are tested using a non-parametric method (see Table 6). On average, contributions by different productivity types statistically differ (on a 10% significance level) only in the *Part-info* treatment.

However, average contributions in the first period are not significantly different between productivity types in all treatments (p-values of Wilcoxon rank sum tests of equal average contributions for No-info, Part-info, and Full-info are 0.78, 0.21, 0.16 respectively), while averaging 15 periods observations, contributions by productivity types turn out to be different only in the Part-info treatment at a significance level of 10% (Table 3). This indicates that the different behaviour of high and low productivity types evolves over time and with actual feedback and does not rely on a mere anticipatory effect.

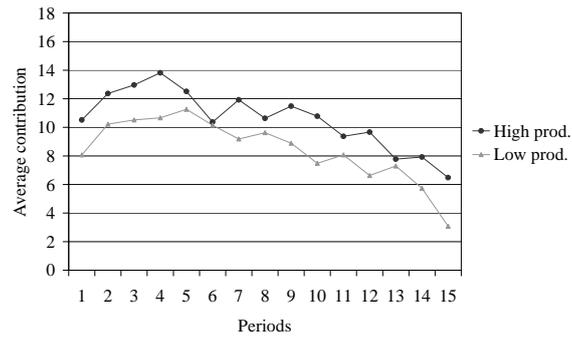
It must be noted, however, that by averaging contributions of the two productivity types across groups, we disregard group specific differences in contribution behaviour. For instance, persistent differences in contributions by different types in some groups can be offset by volatile relative contributions in other groups. To counter for the group specificities, we further



(a) No-info



(b) Part-info



(c) Full-info

Figure 2: Average contribution by productivity types for each treatment

Table 6: Average contribution of the two productivity types by treatments

| | No-info | | Part-info | | Full-info | |
|----------------------|---------|------|-----------|-------|-----------|------|
| | High | Low | High | Low | High | Low |
| Average contribution | 7.30 | 7.17 | 8.09 | 10.07 | 10.57 | 8.46 |
| U-stat* | -.652 | | -1.836 | | 1.125 | |
| (p-value) | (.51) | | (.06) | | (.26) | |

Note: *Results of a Wilcoxon signed ranks test with the null hypothesis of identical group average contributions of high and low productivity types.

examine average contributions of the two productivity types by calculating differences between contributions of low and high productivity types in each period for each group. The 95% confidence interval for the median differences in contributions shown in Table 7 confirms a null difference between the low and high types for the *No-info* treatment, but reports positive and negative differences for the *Part-info* and the *Full-info* treatments, respectively.

Table 7: Differences in average contribution between the two productivity types for each group in each period

| | No. of observations | Median differences | $X_{0.25}$ | $X_{0.75}$ | 95% confidence interval |
|-----------|---------------------|--------------------|------------|------------|-------------------------|
| No-info | 135 | 0.67 | -2.67 | 3.67 | [0.00; 1.33] |
| Part-info | 135 | 2.67 | 0.00 | 4.67 | [1.67; 2.33] |
| Full-info | 135 | -1.67 | -6.00 | 1.33 | [-3.33; -0.67] |

Note: Differences are obtained by subtracting the average contribution of high productivity types from those of low productivity types.

These findings suggest that when subjects are unaware of the heterogeneity in the population, contribution behaviour of high and low productivity types is identical. When subjects know the distribution of different productivity types, low types tend to contribute more than high types. However, if contributions of high and low productivity types are identifiable via the feedback information the relation reverses: high productivity types contribute more than low productivity types.

The results of our experiment show that information about the hetero-

geneity in productivity increase average contributions in general. Revealing the contributor's type does not affect average contribution, yet such additional information appears to affect contributions behaviour differently for the subjects with two productivity types. These observations suggest that contribution behaviour is dependent on the information concerning group heterogeneity and the observability of group members' behaviour.

4.3 Dynamic analysis of individual contribution behaviour

In the above analysis, the dynamic process of individual contributions is not yet taken into account. In the previous section, we found that contribution behaviour is sensitive to common knowledge of the distribution of individuals' productivities and to the possibility of realting individual contributions to productivity types, implying that the ability to monitor behaviour affects the decision about how much to contribute in each period. In other words, individuals' contribution behaviour may gradually evolve through the provision of information about type specific behaviour, since detailed information may prompt specific contribution norms to emerge.¹⁰

We examine, in this subsection, whether and to what extent heterogeneity in productivities influences the contribution behaviour of the participants taking the dynamic nature of observations into account.¹¹

We consider that the contribution level of individual i in period t (g_{it}^*) is determined by the following linear specification:

$$g_{it}^* = \alpha g_{it-1} + X_{it}\beta + u_i + \epsilon_{it} \quad (2)$$

¹⁰In a similar spirit, Carpenter (2004) has examined the emergence of conformity when experimental subjects are provided with feedback information about individual contributions in addition to the total group contribution. He has shown that "the norm of contributing half set in round one provides the anchor which others move towards in the monitor treatment, while without knowing the behaviour of the rest of the group, players in the control treatment either become free riders or contributors" (p.??).

¹¹This is closely related to identifying peer effects that arise endogenously among heterogeneous group members. As Duflo and Saez (2002) point out, identifying peer effects in the sense that members of the group directly influence each other requires controlling for (i) the effect of the common environment specific to the group, (ii) self-selection, and (iii) contextual social effects that may manifest themselves in causal relationships between the characteristics of the peer group members and individual behaviour (p.123). In our experiment, as subjects are randomly assigned to groups, the problem of self-selection is negligible. In the following, we thus examine individual contribution behaviour by taking into account group specific effects (through the observations of contributions within the group he/she belongs to) and exogenous individual characteristics.

where g_{it-1} is the observed contribution in the previous period and X_{it} contains both time variant variables (e.g. aggregate contributions of other group members in the previous period) and invariant variables (e.g. productivity, age, gender, and measures of obedience to social norms). u_i and ϵ_{it} are error terms due to time invariant individual-specific unobserved characteristics and time variant errors, respectively.

Since observed contributions are bounded from below by zero and from above by 17, a tobit estimator is appropriate. To account for the effects of individual heterogeneity varying over time, we use a random effects model.

It is usually assumed that u_i and ϵ_{it} are both independently and normally distributed with mean zero and variances σ_u and σ_ϵ , and that these error terms are independent of any explanatory variables. However, the presence of the lagged dependent variable (g_{it-1}) on the right hand side of equation 2 makes the assumption of independence between g_{it-1} and u_i untenable. Such stochastic errors become particularly problematic when initial observations are not generated randomly but correlated with unobserved random effects.¹² In our sample, for instance, if individual contributions at the first period are correlated with unobserved individual characteristics, estimating equation 2 will result in inconsistent estimates.

To counter this problem, we follow a two-stage estimation technique as demonstrated in Phimister, Experanza and Weersinkp (2002) and Hyslop (1999). In the first stage, to adjust for the potential initial conditions problem, we regress contributions in the first period on strictly exogenous variables (i.e. productivity, age, sex and the measures of obedience to social norms) and obtain the generalised residuals.¹³ In the second stage, we estimate equation 2 including the generalised residuals as an additional regressor.

Full estimation results of the first and second stage estimations can be found in Appendix B. The first stage regression on exogenous variables reveals that male subjects contribute significantly more than female subjects in all three treatments, and that individuals who score high on the self-control scale,¹⁴ measured via the Sixteen Personality Factors questionnaire,

¹²See Phimister et al. (2002, p.215) for a fuller discussion on the estimation problems of panel data with lagged dependent variables.

¹³For more details about generalised residuals and tests in the tobit model, see, for instance, Gourieroux (2000, pp.196–200)

¹⁴The categories high and low were calculated by a median split.

Table 8: Random effects tobit estimation (adjusted for the initial conditions)

| | No-info | Part-info | Full-info |
|-------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Productivity (0=low, 1=high) | -1.4851 (1.7143) | -4.8017 (0.8297)* | 6.7672 (0.9415)** |
| Lagged contribution g_{it-1} | 0.1841 (0.0617)** | 0.3541 (0.0564)** | 0.2910 (0.0669)** |
| $\sum_{j \neq i, j \in k} g_{it-1}$ | 0.1010 (0.0286)** | 0.1175 (0.0157)** | 0.1666 (0.0192)** |
| σ_u^2 | 4.3366 (1.0236)** | 6.1837 (0.7358)** | 7.4402 (0.7048)** |
| σ_e^2 <i>psilon</i> | 6.2024 (0.2397)** | 5.6522 (0.2083)** | 6.6495 (0.2778)** |
| ρ | 0.3283 | 0.5448 | 0.5559 |
| Log likelihood | -1730.0407 | -1640.6831 | -1459.6077 |

Note: Standard errors in parentheses. * denotes significance at the 5%-level, and ** denotes significance at the 1%-level.

contribute significantly less than individuals who score low on this scale. Age has a minor, but significantly positive effect on contributions in the *Full-info* treatment.

The estimation results of the relevant coefficients in the second stage regression, that is adjusted for the initial conditions, are reported in Table 8.

The coefficients of the productivity dummies (0 for the low productivity type, 1 for the high productivity type) are in line with the findings of the previous subsection. In the *No-info* treatment, differences in productivity do not play a significant role in determining individual contributions. In the *Part-info* treatment, subjects with high productivity contribute significantly less – by 4.8 points – than those with low productivity. On the contrary, in the *Full-info* treatment, individuals with high productivity contribute significantly more than those with low productivity – by 6.8 points. In addition, the coefficient of the lagged contribution is significantly positive and less than one, which indicates persistence of individual contributions over periods. Group specific effects, which are captured by the coefficient of the aggregate contribution of the rest of the group in the previous period, are significant in all treatments indicating the existence of a peer effect

through monitoring the other group members' contributions. Finally, the mean value of random errors due to unobserved individual heterogeneity (σ_u) is significantly positive, and the proportions of the error term due to individual heterogeneity in total residuals (ρ) turn out to be relatively high. These observations confirm the relevance of using random effects to take account of unobserved heterogeneity.

4.4 Contribution norms and predictions

To substantiate the existence of contribution norms underlying the observed behaviour, we analyse subjects' response to the two questions: "How many points do you think will persons (with productivity factor 1.33/3.99) transfer to the group project in the first period?" and "How many points do you think is appropriate to transfer to the group project (for a person whose productivity factor is 1.33/3.99)?" . These questions are asked after the instruction is given but before the first period begins. The subjects in the *No-info* treatment were asked the questions without the words in brackets. In the following, we report aggregate predictions and contribution norms, contribution norms by the different productivity types, and relative contribution norms, in turn.

4.4.1 Average predictions

Table 9 shows contribution predictions, i.e. how many points people think others will transfer to the group project in the first period, on average.¹⁵ Predicted contributions are highest in the Full-info treatment (about 50% of the endowment). High productivity types are predicted to contribute significantly more in the *Full-info* than in the *No-info* treatment (Mann Whitney U-test: $z = 2.04, p = .04$), as evident by the first data row in Table 9. Otherwise there are no significant differences in predictions. Therefore we turn to the more interesting question of how many points subjects consider an appropriate contribution, which we take as a measure for contribution norms.

¹⁵Please note that correct predictions were not paid in order to guarantee close similarity to the question on norms, which could hardly be incentivized.

Table 9: Mean contribution predictions for high and low productivity types by treatment and by different types (Standard deviations in parantheses)

| | No-info | | Part-info | | Full-info | |
|------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | High | Low | High | Low | High | Low |
| Predictions reported by both types | 6.96 (3.49) | 7.89 (3.64) | 7.94 (4.29) | 7.83 (4.10) | 9.02 (4.41) | 8.13 (4.42) |
| Predictions reported by high types | 6.96 (2.76) | – – | 7.78 (4.57) | 7.70 (3.47) | 9.41 (4.98) | 8.52 (5.12) |
| Predictions reported by low types | – – | 7.89 (2.10) | 8.11 (4.08) | 7.96 (4.71) | 8.63 (3.80) | 7.74 (3.63) |

4.4.2 Average contribution norms for the different productivity types

The first data row of Table 10 compares average contribution norms for the two productivity types in each treatment, regardless of who (high or low type) stated this norm.¹⁶ The first thing to note is that contribution norms for high and low productivity types in the *No-info* treatment appear to be identical. Similarly, in the *Part-info* treatment subjects do not state significantly different contribution norms for high and low productive group members. Also, comparing contribution norms for the high and low productivity types between the *No-info* and the *Part-info* treatments reveals no significant differences between these two treatments (Mann-Whitney test: $p = .45$ and $p = .77$ for high and low productivity types, respectively).

In the *Full-info* treatment, however, the mean contribution norm for the high productivity type is significantly higher than for the low productivity type. Furthermore, the contribution norm for the high productivity type is significantly higher in *Full-info* treatment than in the *Part-info* treatment (Mann-Whitney test: $p = .07$), while the norm for the low productivity type does not differ between the two treatments (Mann-Whitney test: $p = .90$). Also, there is no significant difference in contribution norms between the *No-info* and *Full-info* treatment for both types (Mann-Whitney test: $p = .90$ and $p = 0.43$ for low and high productivity types, respectively).

¹⁶In the *No-info* treatment, contributions norms stated by high productivity types are taken as reflecting norms for high types. The same holds for low types, since subjects were not aware of the different productivities.

In sum, we observe that average contribution norms for high and low productivity types are, in absence of feedback information that identifies contributions by the different types, identical. If feedback information reveals contributions by types, however, different contribution norms for individuals with different productivities emerge. A reason may be that whenever social monitoring of type specific contribution behaviour (as in *Full-info* treatment) is possible, the average contribution norm for the high productivity type increases significantly compared to when such social monitoring is impossible (as in the *Part-info* treatment).

Table 10: Mean contribution norms for high and low productivity types by treatment and by different types (Standard deviations in parantheses)

| | No-info | | Part-info | | Full-info | |
|---|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | High | Low | High | Low | High | Low |
| Contribution norms reported by both types | 10.00 (6.37) | 9.37 (5.37) | 9.61 (5.15) | 8.98 (4.89) | 11.17 (5.11) | 10.13 (5.31) |
| z-statistic* | -0.386 | | -0.682 | | -2.000 | |
| (p-value) | (.70) | | (.50) | | (.04) | |
| Contribution norms reported by high types | 10.00 (6.37) | – | 8.89 (5.315) | 8.00 (4.23) | 11.52 (5.31) | 10.85 (5.52) |
| z-statistic | – | | -0.528 | | -0.795 | |
| (p-value) | – | | (.60) | | (.43) | |
| Contribution norms reported by low types | – | 9.37 (5.37) | 10.33 (5.15) | 9.96 (4.89) | 10.81 (5.11) | 9.41 (5.31) |
| z-statistic | – | | -0.627 | | -2.012 | |
| (p-value) | – | | (.53) | | (.04) | |

Note: *The null hypothesis of the Wilcoxon signed ranks test is the equality of contribution norms for both types.

It is remarkable, however, that contribution norms, i.e. what individuals think is appropriate to contribute, always exceed predictions about what people are actually going to contribute in the first period (Wilcoxon signed ranks tests of average norms and predictions, No-info: $z = 2.77, p < .01$; Part-info: $z = 2.75, p < .01$; Full-info: $z = 2.98, p < .01$), which indicates that individuals have a rather pessimistic view of other's behavior.

However, actual contributions in the very first round are closely related to contribution norms but only partly to predictions. In the *No-info* a pos-

itive and significant correlation between first period contributions and predictions on the one hand (Spearman rank correlation: $\rho = .66, p < .01$) and contribution norms on the other hand ($\rho = .75, p < .01$) is observable. In the *Part-Info* and the *Full-info* treatments, contributions a significant positive correlation is only found between contributions and contribution norms ($\rho = .69, p < .01$ and $\rho = .81, p < .01$, respectively). Splitting these results for subjects with different productivity type reveals that contributions are foremost related to norms (or predictions) for the own type.

4.4.3 Average contribution norms by the different productivity types

In order to examine contribution norms reported by different productivity types, we further disaggregate the contribution norms by subjects' types, as shown in the second and third data rows in Table 10. First, for high productivity types, the self-norms (that is how much a subject with high productivity considers to be appropriate for subjects with the same productivity to contribute to the group project) are 10.00, 8.89 and 11.52 in the *No-info*, *Part-info*, and *Full-info* treatments, respectively. According to pair-wise Mann-Whitney rank sum tests between the treatments, the average self-norm of high productivity types differs marginally only between the *Part-info* and *Full-info* treatment ($p = .07$). As for the subjects with low productivity, self-norms do not differ significantly in any binary comparison between the treatments (9.37, 9.96 and 9.41 for the the *No-info*, *Part-info* and *Full-info* treatment).

Second, by comparing the contribution norms stated by each type for the other productivity type, we notice that contribution norms for the low productivity type reported by subjects with high productivity are significantly lower in the *Part-info* treatment than in the *Full-info* treatment (Mann-Whitney rank-sum test: $p = .06$). Contribution norms for the high productivity type reported by subjects with low productivity are identical in both treatment.

The above results imply that contribution norms perceived by subjects with high productivity are sensitive to the availability of differentiated feedback information. Average contribution norms by subjects with high productivity become higher for both types when type specific contribution behaviour can be monitored, like in the *Full-info* treatment, compared to the

case when such monitoring is not possible, as in *Part-info* treatment. From the above it follows that, as far as high productivity subjects are concerned, social monitoring apparently increases contribution norms. On the other hand, contribution norms of low productivity types are unaffected by such social monitoring.

4.4.4 Relative contribution norms

In addition to the contributions norms in absolute terms, it is intuitive to think that individuals become concerned about the relative contribution between different types, particularly when type-specific contribution behavior can be monitored (as in the *Full-info* treatment). The following relative contribution norms may possibly evolve: (i) greater relative contribution by the high productivity type ($H > L$), (ii) greater relative contributions by the low type ($H < L$), or (iii) equal contributions ($H = L$).

To investigate the existence of relative contribution norms, Table 11 compares the frequencies of the ordinal relations between contribution norms for both productivity types, disaggregated by types. Comparing the columns between the two treatments, we notice that the equal contribution norm is the mode in both the *Part-info* and the *Full-info* treatment. Yet, in the *Full-info* treatment the frequency distribution is more skewed toward the norm of higher contribution by the high productivity type than in the *Part-info* treatment. What is interesting to note from the second and third row of Table 11 is that for subjects with high productivity, the distribution of relative contribution norms appears fairly identical between treatments, while for subjects with low productivity the norms shift substantially toward higher contribution by the high productivity type in the *Full-info* treatment.

These observations are consistent with the results reported in Table 10. In the Full info-treatment, average contribution norms of subjects with low productivity deviate from an equal contribution norm in favor of a greater relative contribution by the high productivity type ($p = .04$), which indicates that contribution norms reported by subjects with low productivity are more sensitive to the availability of type specific feedback information on contributions. The contribution norms of subjects with high productivity, on the other hand, are not significantly affected by the information structure: their responses support an equal distribution norm in both *Part-info* and *Full-info* treatment (p -values of .60 and .43, respectively). The

Table 11: Frequency of relative contribution norms in the Part-info and Full-info treatment)

| Productivity type of subjects | Part-info | | | Full-info | | |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | H>L | H=L | H<L | H>L | H=L | H<L |
| High | 9 33.3% | 9 33.3% | 9 33.3% | 9 33.3% | 12 44.4% | 6 22.2% |
| Low | 6 22.2% | 17 63.0% | 1 14.8% | 12 44.4% | 11 40.8% | 4 14.8% |
| Total | 15 27.8% | 26 48.1% | 13 24.1% | 21 38.9% | 23 42.6% | 10 18.5% |

above findings imply that when social monitoring of type specific behavior is possible, as in the *Full-info* case, the low productivity type considers it as appropriate for the high productivity type to contribute more than the low productivity type. Individuals with high productivity, however, maintain an equal contribution norm regardless of the information structure.

5 Discussion and conclusion

Previous theoretical and experimental research on the effects of heterogeneity on voluntary public good provision could not yet provide unambiguous answers. Contextual influences, such as the different quality of information in the environment, have been suggested as key factors in identifying whether heterogeneity hampers or fosters cooperation. This paper is – to the best of our knowledge – the first to consider heterogeneity in individuals' productivity to provide a public good by focusing its attention on the role of information, particularly, whether heterogeneity is common knowledge and contributions of the different types can be identified by the peers.

Findings reveal that information about heterogeneity in productivity increases average contributions in general. Additional feedback information that allows to identify contributions by the two productivity types appears to have differential effects on the contribution behaviour of individuals with different productivities. Also, it seems that there is no general perception of what is appropriate to contribute for subjects with different productivities. Instead, contribution norms depend on what is publicly observable about

the contributions of different types.

The first important finding is derived from the observation of actual contribution behavior: voluntary contributions of individuals depend on the information concerning group heterogeneity and on the extent to which type specific contributions are identifiable. Individuals with lower productivity tend to contribute more than individuals with high productivity when heterogeneity (i.e. distribution of types) is common knowledge. However, when feedback information additionally reveals contributions of the specific types, individuals with higher productivity are inclined to contribute relatively more than those with lower productivity.

The second insight originates in the analysis of contribution norms: the amount subjects with high productivity perceive as an appropriate contribution is sensitive to the availability of feedback information differentiated by productivity types, which enables individuals to monitor type specific contributions. We conjecture that individuals with higher productivity respond more sensitively to social monitoring. They contribute more when type specific contribution behaviour is included in the feedback information than when such information is not available.

From the above we conclude that the contribution norm promoting “greater relative contribution by high productivity types” – which may be called ‘supermanship’ – becomes prominent when type specific contribution behaviour is common knowledge. However, when such type specific behaviour is not available for effective social monitoring, high productivity types will not contribute more than low productivity types. Upshot is when the existence of heterogeneity in productivity is known but social monitoring of type specific behavior is not allowed, higher productivity types will contribute even less than low productivity types, resulting in the situation in which high productivity types end up being underachievers.

The more general point that this paper demonstrates is the existence of non-pecuniary contribution norms that are different from altruism, reciprocity, and inequality aversion examined by Fehr and Fischbacher (2002), Bolton and Ockenfels (2000), and Andreoni (1995). A ‘regressively’ asymmetric contribution norm in which more able ‘under-contribute’ to public goods relative to less able subjects is observed when there is no feedback information about type specific contribution behaviour. This is similar to Buckley and Croson (2003) who find that relatively poor individuals with

less than mean endowment contribute proportionally more than relatively rich in a situation where type specific contribution behaviour is not publicly announced. Our study offers practical insights about institutional design applicable to promoting socially efficient charitable behaviour in which those with higher ability are induced to make higher contributions by making type specific contribution behavior publicly observable.

References

- Agrawal, A.: 2001, Common property institutions and sustainable governance of resources, *World Development* **10**, 1649–1672.
- Andreoni, J.: 1995, Cooperation in public-goods experiments: Kindness or confusion?, *American Economic Review* **85**, 891–904.
- Andreoni, J. and Petrie, R.: 2004, Public goods experiments without confidentiality: A glimpse into fund-raising, *Journal of Public Economics* **88**, 1605–1623.
- Bergstrom, T. C., Blume, L. and Varian, H.: 1986, On the private provision of public goods, *Journal of Public Economics* **29**, 25–49.
- Bolton, G. and Ockenfels, A.: 2000, ERC: A theory of equity, reciprocity and competition, *American Economic Review* **90**, 166–193.
- Buckley, E. and Croson, R.: 2003, The poor give more: Income and wealth heterogeneity in the voluntary provision of linear public goods, *Mimeo*. University of Pennsylvania.
- Cardenas, J.-C.: 2003, Real wealth and experimental cooperation: experiments in the field lab, *Journal of Development Economics* **70**, 263–289.
- Carpenter, J.: 2004, When in rome: Conformity and the provision of public goods, *Journal of Socio-Economics* **33**, 395–408.
- Cattell, R. B., Cattell, A. K. and Cattell, H. E. P.: 1993, *16 Personality Factors, Fifth Edition*, Institute for Personality and Ability Testing, Champaign, Illinois.
- Chan, K. S., Mestelman, S., Moir, R. and Muller, R. A.: 1996, The voluntary provision of public goods under varying income distributions, *The Canadian Journal of Economics* **29**, 54–69.
- Chan, K. S., Mestelman, S., Moir, R. and Muller, R. A.: 1999, Heterogeneity and the voluntary provision of public goods, *Experimental Economics* **2**, 5–30.
- Cialdini, R. B., Reno, R. R. and Kallgren, K. A.: 1990, A focus theory of normative conduct: Recycling the concept of norms to reduce littering

- in public places, *Journal of Personality and Social Psychology* **58**, 1015–1026.
- Duflo, E. and Saez, E.: 2002, Participation and investment decisions in a retirement plan: the influence of colleagues' choice, *Journal of Public Economics* **85**, 121–148.
- Fehr, E. and Fischbacher, U.: 2002, Why social preferences matter- the impact of non-selfish motives on competition, cooperation and incentives, *The Economic Journal* **112**, C1–C33.
- Fischbacher, U.: 1999, Z-tree: Zurich toolbox for readymade economic experiments: Experimenter's manual, *Working Paper* **21**. Institute for Empirical Research in Economics at the University of Zurich.
- Gourieroux, C.: 2000, *Econometrics of qualitative dependent variables*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Greiner, B.: 2004, The online recruitment system ORSEE 2.0 – A guide for the organization of experiments in economics, *Working Paper Series in Economics* **10**. University of Cologne.
- Hamilton, B. H., Nickerson, J. A. and Hideo, O.: 2003, Team incentives and worker heterogeneity: An empirical analysis of the impact of teams on productivity and participation, *Journal of Political Economy* **111**, 465–497.
- Hyslop, D. R.: 1999, State dependence, serial correlation and heterogeneity in intertemporal labour force participation of married women, *Econometrica* **67**, 1255–1294.
- Ledyard, J.: 1995, Public goods: A survey of experimental research, in J. Kagel and A. Roth (eds), *Handbook of Experimental Economics*, Princeton University Press, Princeton, pp. 111–194.
- Marks, M. B. and Croson, R. T. A.: 1999, The effects of incomplete information in a threshold public goods experiment, *Public Choice* **99**, 103–118.
- Meidinger, C., Liere, J.-L. and Villeval, M.-C.: 2003, Does team-based compensation give rise to problems when agents vary in their ability?, *Experimental Economics* **6**, 253–272.

- Olsen, M.: 1965, *The logic of collective action*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Ostrom, E.: 1990, *Governing the commons: the evolution of institutions for collective action*, Cambridge University Press, Cambridge, MA.
- Phimister, E., Experanza, V.-T. and Weersinkp, A.: 2002, Female participation and labour market attachment in rural canada, *American Journal of Agricultural Economics* **84**, 210–221.
- Rapoport, A. and Suleiman, R.: 1993, Incremental contribution in step-level public goods games with asymmetric players, *Organizational Behaviour and Human Decision Processes* **55**, 171–194.
- Schneewind, K. A. and Graf, J.: 1998, *16-Persoenlichkeitsfaktoren-Test – Revidierte Fassung*, Huber, Bern, Goettingen.

Appendices

A Sample instruction (translated from German)

Remark: There are different instructions for different treatments and for different types. This appendix contains the instruction for the No-info treatment. The contents of all instructions are identical except for information about productivity types.

Welcome to this experiment!

These instructions are for your private information. Please read the instruction carefully as your earnings depend on what you do. Please do not talk to other participants. If you have any questions, please raise your hands. We will come to answer them privately.

All amounts are displayed in Points. The exchange rate is: 80 points = 1 Euro.

The experiment consists of 15 periods. All participants are randomly assigned to one group. Each group consists of 6 persons. The group constellation is kept unchanged over the experiment.

Detailed Information

You are a member in a group of six. At the beginning of each period, every group member receives 17 points. In every period each group member decides how to split the 17 points. You can transfer points to a private account or to a group project. Your payoff is the sum of your income from the private account and the income from the group project.

Your payoff from the private account: For each point you transfer to the private account, you receive a payoff of one point. This means if you transfer x points to your private account, you will receive x points of payoff. Nobody except you benefits from your private account.

Your payoff from the project: The payoff you receive from the project is derived as follows. You receive one quarter of the project outcome generated by four of your group members. The project outcome is the sum of all transfers, whereby each transfer to the project is multiplied by an individual factor. The payoffs are calculated in the same manner for all group members.

Each point you transfer to the group project generates 3.99 points.¹⁷

Please note that four other members of your group benefit from your transfer to the project, but you are not among them.

What will happen in each period

In each period you receive 17 points. You decide on screen how many of these 17 points to transfer to the private account and how many to the project. You will make this decision by simply deciding how many points to transfer to the project. The points you transfer to the private account is automatically computed as a difference between the 17 points and the points you transferred to the project. After every group member has made a decision, the payoff from the period is calculated.

¹⁷For the high productivity type.

At the end of each period, you will receive the following information:

- numbers of points that each member in your group transfers to the project (Please note that the number of points are listed in random order, i.e. the sequence of transfers is different in each period.)
- your payoff from the private account
- your payoff from the project
- your payoff from the period
- the sum of payoffs in all previous periods

After you receive this information, the next period starts. You will interact 15 periods in total.

We will ask you to answer a questionnaire after the experiment is completed. During this time, we will sum your payoff from all periods and calculate your final payoff which will be exchanged to Euro and paid to you immediately. Please remain seated until we call the number of your computer.

Thank you very much for your participation!

B Two stage tobit regression

Table 12: Random effects tobit estimation (first stage)

| | No-info | | Part-info | | Full-info | |
|---------------------------------|-----------|---------------------|-----------|----------|-----------|----------|
| Constant | 11.26 | (2.46)** | 19.07 | (3.15)** | -3.41 | (3.97) |
| Productivity (0=low, 1=high) | -0.57 | (0.75) | -2.97 | (0.74)** | 6.08 | (0.97)** |
| Age | -0.16 | (0.08) ^ϕ | -0.20 | (0.13) | 0.61 | (0.16)** |
| Gender (0=female, 1=male) | 1.96 | (0.73)** | 4.28 | (0.79)** | 3.07 | (1.01)** |
| Norm-obedience | -0.33 | (0.20) ^ϕ | -1.29 | (0.25)** | -1.16 | (0.38)** |
| Log likelihood | -2111.881 | | -2095.035 | | -1920.204 | |

Note: Standard errors in parentheses. ^ϕ, *, and ** denote significance at the 10%, 5% and 1%-level, respectively.

Table 13: Random effects tobit estimation (second stage)

| | No-info | | Part-info | | Full-info | |
|----------------------------------|---------|-----------------------|-----------|-----------------------|-----------|-----------------------|
| Constant | 4.2186 | (3.6123) | 23.9978 | (3.5682)** | -10.3728 | (4.0841)* |
| Period 3 | 0.1524 | (1.2899) | -0.1840 | (1.2106) | -0.7813 | (1.5068) |
| Period 4 | -0.7071 | (1.2848) | -2.7575 | (1.2447)* | -0.5783 | (1.5306) |
| Period 5 | -2.7007 | (1.2862)* | -1.5616 | (1.2328) | -1.5721 | (1.5246) |
| Period 6 | -0.5114 | (1.2872) | -2.2974 | (1.2316) ^φ | -4.3011 | (1.5220)** |
| Period 7 | -1.9652 | (1.2855) | -3.7009 | (1.2129)** | -1.9878 | (1.4895) |
| Period 8 | -0.1523 | (1.2856) | -2.5454 | (1.2078)* | -3.0013 | (1.4945)* |
| Period 9 | -2.0467 | (1.2927) | -1.8957 | (1.2122) | -2.5724 | (1.4794) ^φ |
| Period 10 | -3.3378 | (1.2957) ^φ | -3.4367 | (1.2174)** | -4.4368 | (1.4827)** |
| Period 11 | -2.0105 | (1.3036) | -3.2294 | (1.2083)** | -3.9176 | (1.4869)** |
| Period 12 | -3.7152 | (1.3191)** | -3.8541 | (1.2200)** | -4.5767 | (1.4723)** |
| Period 13 | -3.2332 | (1.3613)* | -3.5899 | (1.2010)** | -4.4721 | (1.4806)** |
| Period 14 | -3.9032 | (1.3697)** | -4.8622 | (1.2121)** | -5.6306 | (1.5073)** |
| Period 15 | -5.6826 | (1.4112)** | -6.6575 | (1.2301)** | -9.2913 | (1.5498)** |
| Productivity (0=low, 1=high) | -1.4852 | (1.7143) | -4.8017 | (0.8297)** | 6.7672 | (0.9415)** |
| Lagged contribution $git-1$ | 0.1841 | (0.0681)** | 0.3541 | (0.0564)** | 0.2910 | (0.0669)** |
| $\sum_{j \neq i, j \in k} git-1$ | 0.1010 | (0.0286)** | 0.1175 | (0.0157)** | 0.1666 | (0.0192)** |
| Age | -0.0428 | (0.1165) | -0.6613 | (0.1255)** | 0.7782 | (0.1590)** |
| Gender (0=female, 1=male) | 0.4486 | (1.7118) | 8.1210 | (1.1597)** | 1.4340 | (0.8574) ^φ |
| Norm-obedience measure | 0.0038 | (0.3410) | -1.4494 | (0.2739)** | -1.7711 | (0.3408)** |
| σ_u^2 | 4.3366 | (1.0236)** | 6.1837 | (0.7358)** | 7.4402 | (0.7048)** |
| σ_ϵ^2 | 6.2024 | (0.2397)** | 5.6522 | (0.2083)** | 6.6495 | (0.2778)** |
| ρ | | 0.3283 | | 0.5448 | | 0.5559 |
| Generalised residuals | 0.6772 | (0.1307)** | 0.8121 | (0.1062)** | 0.5530 | (0.0863)** |
| Log likelihood | | -1730.0407 | | -1640.6831 | | -1459.6077 |

Note: Standard errors in parentheses. ^φ, *, and ** denote significance at the 10%, 5% and 1%-level, respectively.

リーニエンシー・プログラムの経済分析：実験

石本 将之（競争政策研究センター）

木村 友二（経済産業研究所・競争政策研究センター）

鈴木 淑子（競争政策研究センター）

丹野 忠晋（跡見学園女子大学・競争政策研究センター）

濱口 泰代（名古屋市立大学）

2006年2月20日

概要

2005年1月4日に改正独占禁止法が施行された。以前の独占禁止法との主要な違いは、課徴金算定率の引き上げ、および課徴金減免制度（以下リーニエンシー制度）の導入である。リーニエンシー制度は、諸外国ですでに導入されており、カルテル解体に効果があることが分かっている。日本で導入されたリーニエンシー制度は、諸外国のリーニエンシー制度を踏襲している側面もあるが、日本独自の内容も含んでいる。例えば、日本においては、カルテル企業から提供された証拠については、その有効性を客観的要件で判断し、公正取引委員会の裁量を大きくしない点は、アメリカのリーニエンシー制度と類似している。一方、日本では第1申請者（企業単位）のみが、リーニエンシーを受けられるのではなく、第3申請者までがリーニエンシーを受けられる（第1申請者は100%課徴金免除、第2申請者は50%、第3申請者は30%）が、この点については、複数以上の申請者がリーニエンシーを受けられるEUのリーニエンシー制度と類似している。韓国においては、内部告発者に対して報奨金を支払う制度を採用しているが、日本は報奨金制度は採用していない。

本研究では、日本的なリーニエンシー制度の入札談合に対する効果について検証した。実験の基本的な枠組みは、第1価格封印オークションの繰り返しゲームである。ただし、本実験では、最低価格入札者が勝者となるようなオークションであり、入札者同士が入札前にコミュニケーションをとることが出来るようにした。

第1価格封印オークションを有限回繰り返す場合、全員が、初回から限界費用 $+\epsilon$ （入札価格を変化させるときの最小単位）の価格で入札するのがサブゲーム完全均衡となる。しかし、同ゲームを無限回繰り返す場合には、協力的均衡が存在する可能性がある。もし、自分以外の全員が予定価格で入札しかつ、リーニエンシー制度を申請しないという戦略を選んでいるときに、自分も同じ戦略を選ぶことから得られる期待利得が、裏切った場合（談合の約束を破って（予定価格 $-\epsilon$ ）で入札する場合、あるいは、予定価格で入札するが、自分だけリーニエンシー制度を申請する場合）の期待利得以上であるならば、全員が予定価格で入札しかつ誰もリーニエンシー制度を申請しないようなケースが均衡となりうる。も

もちろん、誰か1人でも裏切った場合には、他のプレイヤーも裏切ることが有利であるので、全員が談合をせずに（限界費用+ ϵ ）の価格で入札するケースや、全員がリーニエンシー制度を申請するケースも均衡となりうると考えられる。また、交代で落札者を決めるような談合を入札者が選ぶならば、1人が（予定価格- ϵ ）で入札し、残りの全員が予定価格で入札するような非対称なケースも均衡となりうる。このように、本実験のゲームには多数の均衡が存在すると考えられるが、入札者間での自由なコミュニケーションが可能であるので、全員が予定価格に近い価格で入札するような協力的均衡が選ばれる可能性が高いと考えられる。

実験結果は、課徴金がない状況では、ほぼすべての被験者が協力的な均衡（全員が予定価格に近い価格を入札する）を選択した。つまり、罰則が何もない状況では、容易に頑健な談合が形成されることが観察された。一方、課徴金のみがありリーニエンシー制度がないケースでは、罰則が科されるリスクを回避しようとするプレイヤーによって、いくつかの談合が解体された。課徴金がありかつリーニエンシー制度が導入されているケースでは、談合摘発率は、課徴金のみがあるケースに比べてはるかに高まった。これに伴って、規制当局はより多額の課徴金を徴収することができた。しかし、談合摘発率が高まったにも関わらず、リーニエンシー制度導入によって、平均落札価格が低下する傾向は観察されなかった（むしろ若干の上昇傾向が観察された）。この理由を検証することは、今後の課題である。

Does Observation of Others Affect People's Cooperative Behavior? An Experimental Study on Threshold Public Goods Games

Yasuyo Hamaguchi

概要

この研究では、閾値のある公共財供給ゲームにおいて、グループ内の個々人の協力度に関する情報を開示することが、そのグループの公共財供給水準にどのような影響があるかを実験で検証した。

通常の公共財の自発的供給メカニズムでは、理論的予測は1つしかなく、すべての人々が全く公共財に対して投資をしないという非協力均衡のみである。公共財に全く投資をしないことが支配戦略となっているので、個人の協力度に関する情報を開示しても、均衡の予測が変わることはない。このメカニズムに関する実験研究は多数あり、個人の情報を開示した場合、公共財への投資はさらに低くなることが観察されている。公共財を生産するのに、ある一定上の投資が集まらなければ公共財は全く供給されない場合、そのようなゲームは閾値のある公共財供給ゲームと呼ばれる。そのようなゲームにおいては、非協力均衡だけではなく、自分以外の人々がある程度協力的な場合は、自分もある程度協力をするような協力均衡が存在する。このような複数均衡があるゲームでは、どの均衡も等確率に選ばれやすいという予測しかできない。ただし、人々が、自分以外の他人の協力度を知ることによって、どちらかの均衡をフォーカスしやすくなると考えられる。

本実験研究では、個々人の協力度の情報がグループ全体の公共財供給量にどのような影響があるかを調べるために3つのトリートメントを実験で比較した。トリートメント1は、ベンチマーク・トリートメントで、通常の公共財供給実験と同様に、グループ全体で集まった公共財への投資量のみが被験者に知らされた。トリートメント2では、各被験者が自分の投資量をグループの他のメンバーに知らせたければ、全員が投資決定を終わったあとに知らせることができた。トリートメント3では、各被験者の公共財への投資量は、全員が投資決定をしたあとに強制的にグループ内で公開された。これらの個人の投資決定に関して異なるトリートメントを、No Rebate rule と呼ばれる利得構造と、Utilization Rebate rule と呼ばれる利得構造のもとで実験した。これらの利得構造は、人々が閾値を超えて公共財への投資を集めることができたときに、その過剰分をどのように人々配分するかについてルールが異なるが、理論的予測は同じである。

実験結果は、人々が自発的に個人の投資情報を知らせることができるときに、人々は最も効率的に公共財の供給量を達成することが観察された。強制的に個人の投資決定が開示される場合にも同様のことが観察されたが、自発的な場合より若干効率は低かった。また、被験者が毎回異なる被験者とマッチングする場合には、個人の投資決定を開示しないときのほうが、個人の投資決定が開示されるときより、公共財への投資量は高かった。

Does Observation of Others Affect People's Cooperative Behavior?
An Experimental Study on Threshold Public Goods Games

Yasuyo Hamaguchi

OSAKA ECONOMIC PAPERS

Vol. 54 No. 2 September 2004

Does Observation of Others Affect People's Cooperative Behavior? An Experimental Study on Threshold Public Goods Games*

Yasuyo Hamaguchi

Abstract

This paper investigates whether observation of others affects people's behavior in the context of two threshold public goods games, the no rebate rule game and the utilization rebate rule game. In one observational treatment, subjects could convey their individual contribution to other group members if they would like to reveal it. Although adding such a revelation stage does not change the equilibrium prediction, subjects in the utilization rebate rule cooperated significantly more than when they could not reveal their individual contribution to others. On the other hand, such an effect is relatively weak in both games when subjects are matched with different group members every period. These experimental results imply that the free-rider problem can be solved when people can use a reputation building strategy effectively.

JEL Classification Code : C72, H41

Keywords : Threshold, Public Good, Experiment

1. Introduction

There are a number of experimental and theoretical studies on public goods. The center issue dealt with in those works is the free-rider problem, which means that although people enjoy public goods, such as a publicly funded museum, a local festival, or a small park in the neighborhood, they do not like to share the cost to produce or maintain them. This pessimistic and parsimonious view of people's cooperative behavior has been questioned by many experimental economists. They have shown that people are not always totally selfish and do in fact exhibit some altruistic behaviors.¹ Recently some theorists have been trying to establish a theory to explain such anomalous results (Bolton (1991), Rabin (1993), Falk and Fishbacker (1998), Dufwenberg and Kirchsteiger (1998), Fehr and Schmidt (1999), Bolton and Ockenfels (2000), Sally (2001)).

Most experimental works on public goods games have so far tried to eliminate social interaction

* This research was done as a part of the research project "Experimental Economics : A New Method of Teaching Economics and the Research on Its Impact on Society," which is supported and funded by the Ministry of Education, Culture, Sport, Science and Technology of Japan and Kyoto Sangyo University. The author thanks Sobei H. Oda for his generous support for this research.

¹ See the excellent survey by Ledyard (1995).

among subjects as much as possible. For example, experimentalists usually assemble college students who have been randomly chosen from a campus, and put each of them in an individual booth so as not to allow them to communicate with each other directly. During the experiment, their individual decisions are anonymous, and after the experiment subjects are made to leave the laboratory separately after being paid confidentially for the experiment result. The purpose of such artificial procedures is to observe people's selfish motivation uncontaminated by social norms.

However, such an approach might be misleading if one wants to understand how people successfully produce or maintain a public good in reality. In reality, people can usually observe what others do more or less, and they can sometimes socially punish free-riders. It is impossible and meaningless, however, to create a situation in a laboratory exactly the same as reality. The usefulness of doing experiments is that we can examine separately possible social factors, such as the observation of others or the ability to punish², to understand how those factors affect people's cooperative behavior.

The main focus of this paper is the effect of observation of others. To examine the effect, we ran three observationally different treatments. Since the effect of observation of others must be different depending on (1) what kind of reward structure is given or (2) whether subjects play with the same people repeatedly or not, four different treatments were run sequentially within each observationally different session. For (1), two different threshold public goods games which have different reward structures were used. In both games, the public goods are not produced unless people collect contributions more than or equal to the minimum cost to produce them. In one of the games, people get a fixed payoff from the public good regardless of the amount of contributions collected (as long as they achieve or exceed the threshold level). In the other game, the more contributions are collected, the more people can get from the public good. In short, aggregate group payoff from the public good can be different between the two games depending on how much of a contribution people can collect.

For (2), subjects were allowed to play with the same group members for finitely repeated periods in one treatment and with different group members every period for finitely repeated periods in another treatment. Theoretically it is well known that people have a rational reason to continue to cooperate even in a finitely repeated non-cooperative game (Kreps et al. (1982)). Since the motivation of reputation building is a selfish motivation and is not inconsistent with the basic economics assumption about human behavior—that people are perfectly rational and selfish—it is expected to solve some economic problems. However, the question of what kind of informational environment leads people to a more efficient outcome by using a reputation building strategy has not been well investigated experimentally.

The differences among the three observationally different treatments described in this paper are as follows. One is called the "No Revelation" treatment, which is similar to standard threshold public goods games. In this treatment, subjects can only observe group contribution at the end of every

² Fehr and Gächter (2000) found that the ability to punish makes people more cooperative. Most people punish free-riders even though punishing free-riders costs them. Such punishing behavior is not theoretically supported as rational behavior. Eventually people did not need to punish anybody since they became cooperative with each other.

period. However, they are not given the information on individual contributions of others. The second treatment is called the "Voluntary Revelation" treatment. In this treatment, subjects can convey the information of their action to others (within each group) if they want. The third treatment is called the "Forced Revelation" treatment. In this treatment, people's individual actions are revealed to others (within each group) automatically at the end of each period by the experimenter. None of these revelation treatments change the theoretical prediction of the two threshold public goods games.

As Camerer (2003) mentioned, public goods games are blunt tools to detect what kind of social preference subjects have since they can not distinguish between many hypothetical human motivations to cooperate such as altruism, fairness or self-centered reciprocal preference. Therefore, the main purpose of this study is to evaluate how threshold public goods games work when people can observe others' behavior.

The composition of this paper is as follows. Section 2 reviews previous experimental literature on the effect of observation of others and threshold public goods games. Section 3 describes the theoretical background. Section 4 explains the experimental design and procedures. Section 5 provides some hypotheses. Section 6 describes experimental results. Finally, section 7 offers conclusions.

2. Previous literature

2.1 How does the Information of Others' Actions Affect People's Behavior?

As Duffy and Feltovich (1999) point out, economists have recently begun to recognize how the observation of others affects people's behavior, while anthropologists and behavioral psychologists have already hypothesized and discovered that people learn through the observation of others.³ Duffy and Feltovich (1999) show that observation of other players' actions and payoffs may affect the evolution of play in the repeated ultimatum game and the repeated best-shot game, which have similar equilibrium predictions. On the other hand, in the context of the linear public goods game, Wilson and Sell (1997) asked subjects to announce in the first stage how many contributions they would make in the following contribution stage. The announcement does not bind their decision making in the contribution stage. They showed that announcements before the contribution stage (cheap talk) and the information of what others have done did not facilitate cooperation.

One question is what kind of cheap talk would motivate people to cooperate with each other. When people are obligated to reveal their past behavior or their future plans, they may not be able to convey their willingness to cooperate effectively. For example, people might think that it is hard to distinguish others' intentions just by observing their actions or their plans. Suppose one subject announced that she planned to contribute half of her endowment to the public good. Such behavior probably indicates her preference to cooperate, but it could be that she just followed her intuition without understanding the game fully. In addition, if subjects have more than binary choices and there are more than two players involved in the game, it is not easy for them to track what other players did in all past periods

³ For economics research, see Selten and Stoecker (1986) and Selten (1991). See Reichard (1938) for anthropology research and see Baudura and Walters (1963) for behavioral psychology research.

and detect what intentions they have. Such a task might be psychologically costly for people and they may easily give up trying to cooperate with each other.

In this study, subjects were not asked to tell how much they were going to contribute, but they were asked whether they wanted to reveal their actions to others at the end of contribution stage. Although the content of the announcement is much simpler than that in Wilson and Sell (1997), the decision to reveal or not may convey his or her intention to cooperate with others more effectively. Since such voluntary announcement of revelation does not bind subjects' following actions, adding this sort of stage does not change the theoretical prediction. Optimistically thinking, giving subjects this kind of announcement opportunity may help them to cooperate more than when such an opportunity is not given. Pessimistically thinking, people may consider any voluntary message as cheap talk and they may behave as if such a stage does not exist.

From these predictions, three kinds of treatments, "No Revelation," "Voluntary Revelation" and "Forced Revelation" were implemented. Although the experimenter showed individual actions within each group in Voluntary Revelation and Forced Revelation, identities of who made the actions were kept confidential.

2.2 Threshold Public Goods Games Experiments

There are a number of studies on threshold public goods games. Ledyard (1995) summarized experimental works in this field and concluded that adding a threshold level to the linear voluntary contribution mechanism has a positive effect on people's cooperative behavior. Cadsby and Maynes (1999) found that people contribute more when they can contribute any desired proportion of their endowments rather than when they are constrained to binary "all-or-nothing" contributions. They also found that offering a "money-back guarantee," where each person's contributions are returned when they can not achieve the threshold level, encouraged contribution to the public good. Marks and Croson (1998) examined three rebate rules of threshold public goods games and discovered the rate of equilibrium conversion and the variance of contributions differ significantly among the rules. Our threshold public goods games are similar to the "No Rebate" and "Utilization Rebate" rules in Marks and Croson (1998). Although they gave their subjects a money-back guarantee, subjects in this study did not have one. When there is a money-back guarantee, outcomes below the threshold level are all inefficient Nash equilibria. Without the money-back guarantee, there is a unique inefficient equilibrium only when nobody contributes anything. Therefore, the inefficient equilibrium can be more clearly recognized by subjects. Since the purpose of this study is to see how observation of others can solve the free-riding problem, a more risky condition was intentionally placed on subjects (i. e. they might lose their contributions if others are not cooperative enough).

3. Theoretical Background

3.1 Rebates

3.1.1 No Rebate Rule⁴

Assume there are N individuals in a group. They are asked to contribute to a public good (g_i) from their individually given endowments (E). If they can collect contributions more than or equal to a threshold level (T), each person can receive a benefit from the public good ($r < E$) regardless of how much they contributed. Therefore, the utility function of each person (U_i) is derived as follows :

$$U_i = (E - g_i) + r \quad \text{if } \sum_{i=1}^N g_i \geq T,$$

$$U_i = E - g_i \quad \text{otherwise}$$

Since the benefit from the public good is always the same as long as the threshold level of contributions is achieved, it is socially wasteful to invest more than the threshold level. Therefore the efficient Nash equilibrium is for people to contribute exactly as much as the threshold level. Since any outcome whose sum is equal to the threshold level is a Nash equilibrium, there are an infinite number of Nash equilibria if individuals can make any amount of contributions which is within their initial endowment. Since the benefit from the public good is strictly less than the initial endowment, no individual has an incentive to invest more than (or equal) to the benefit from the public good (r). Therefore, the set of efficient Nash equilibria is any combination of $\{g_1, g_2, \dots, g_N\}$ such that $\sum_{i=1}^N g_i = T$ and $0 \leq g_i \leq r$. On the other hand the inefficient Nash equilibrium is that all individuals contribute nothing. The Pareto efficient outcome coincides with the efficient Nash equilibria.

3.1.2 Utilization Rebate Rule⁵

This rule is different from the No Rebate rule only in how the excess amounts of contributions above the threshold are distributed among people. In the No Rebate rule, the excess amounts of contributions are wasted and no benefit is created from them. In the Utilization Rebate rule, the excess amounts of contributions are distributed among people equally. Therefore, the utility function of each individual is derived as follows :

$$U_i = (E - g_i) + r + \frac{\alpha \left(\sum_{i=1}^N g_i - T \right)}{N} \quad \text{if } \sum_{i=1}^N g_i \geq T,$$

$$U_i = E - g_i \quad \text{otherwise.}$$

α is the sum of marginal individual benefit from the public good, which is larger than 1 and smaller than N .⁶ The inefficient Nash equilibrium is that all individuals contribute nothing, which is the same

⁴ The name of this rule is taken from Marks and Croson (1998).

⁵ The name of this rule is also taken from Marks and Croson (1998).

as in the No Rebate rule. The set of efficient Nash equilibria is also the same as in the No Rebate rule. However, the Pareto efficient outcome in this rule is such that all individuals contribute all initial endowments, which is different from that in the No Rebate rule. Figure 1 shows how these two rules differ from a social benefits point of view.

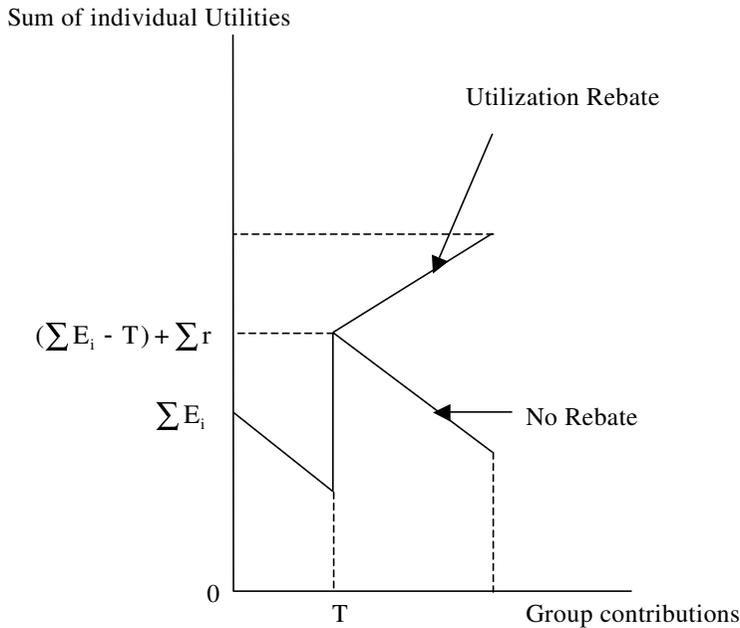


Figure 1. Efficiency Comparison

3.2 Observational Treatments

3.2.1 No Revelation

In the context of the above two public goods games, three kinds of observational treatments were compared. One treatment, considered as the base treatment, is called “No Revelation.” In this treatment, each subject is informed only of her own payoff and the sum of individual contributions in her group at the end of every period. This is the standard threshold public goods game. Figure 2 shows the game tree of this treatment for one period.

Subjects repeat this game for a finite number of periods without any communication. In addition, they experienced two subject–matching rules: the partners–matching rule and the strangers–matching rule. For the partners–matching rule, subjects play the game with the same group members throughout the experiment; for the strangers–matching rule, group members are shuffled every period. In the partners–matching rule, people can tell how cooperative their group is across periods, but they can not know the individual contributions of other group members and they can not convey the amount of their individual contributions to other group members. In strangers–matching, subjects

⁶ Since it is assumed that people contribute to a public “good,” α must be larger than 1. The social surplus will be maximized if all people contribute everything if α is larger than 1. In addition, α has to be smaller than N since it is assumed there exists the free-rider problem.

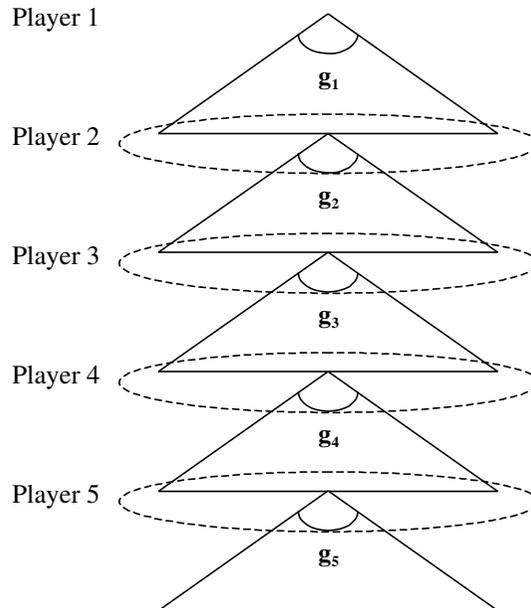


Figure 2. Game Tree for Each Period in No Revelation and Forced Revelation and Stage 2 in Voluntary Revelation

can not continuously observe how cooperative their group is since their group members are shuffled every period. Therefore, subjects can guess how cooperative people in the session are as the experiment proceeds, but they can not influence other people by their past behavior.

3. 2. 2 Voluntary Revelation

Although the game in No Revelation consists of only one stage, the game in Voluntary Revelation consists of two stages as follows :

Stage 1 (*Announcement Stage*) : Players announce to other people in their group whether they will show their individual contributions after stage 2.

Stage 2 (*Contribution Stage*) : Upon observing the decision making of others in stage 1, players decide how many tokens to contribute to the public good.

Figure 3 shows the game tree of stage 1.

The game of stage 2 is the same as in the game of the No Revelation treatment. Upon knowing who (indicated by an anonymous ID) wants to reveal their contributions at the end of stage 2, subjects decide how much to contribute to the public good in stage 2. At the end of stage 2, only the decisions of people who decided in stage 1 to reveal their contributions are shown to the other group members. The decisions of people who decided not to reveal their contributions are not shown to anyone else. Theoretically decisions in stage 1 can be just cheap talk since they do not bind the action in stage 2 and do not cost at all in a monetary sense. However, if the decision to reveal successfully conveys the signal "I want to cooperate with you," then adding such an announcement stage might lead people to converge toward an efficient equilibrium. In the partners–matching treatments, people can convey not

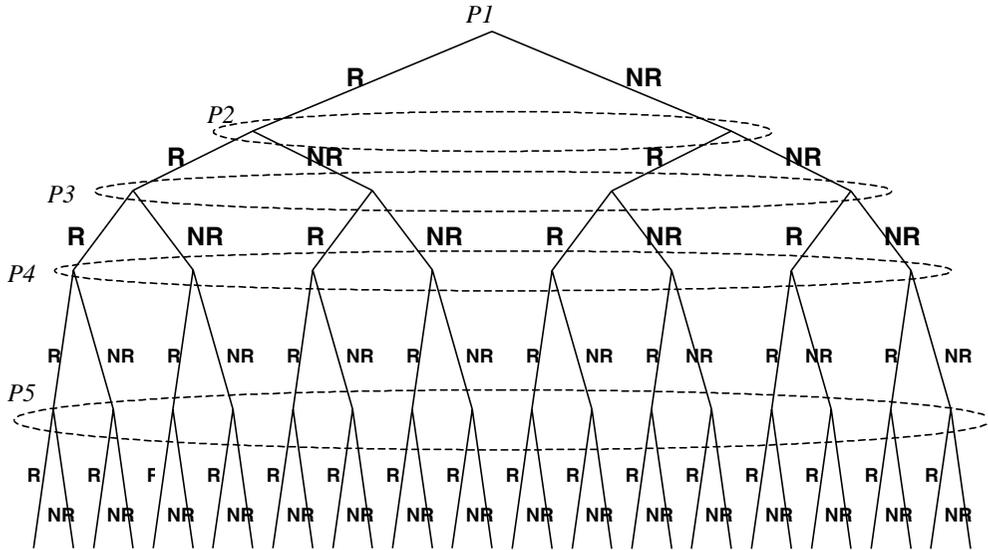


Figure 3. Stage 1 in Voluntary Revelation
 (P1="Player 1," P2="Player 2," P3="Player 3," P4="Player 4,"
 P5="Player 5," R="Reveal" NR="Not Reveal")

only their individual contribution of the current period but also their past behavior to other group members if they want. Although they are not sure how much the other group members will actually contribute in the contribution stage, they can form some expectation of how cooperative their group is by observing how many people would like to reveal their contributions in the announcement stage and how much they contributed in the past periods. In the strangers–matching treatment, subjects can reveal their contributions at the end of the contribution stage of the current period if they want. However, they can not inform others how much they contributed in the past periods since group members are rematched every period.

3. 2. 3 Forced Revelation

The game tree per period in this treatment is exactly the same as in the No Revelation treatment. The difference from the No Revelation treatment is that individual decisions (g_i) are unconditionally revealed to all the members in the group at the end of every period. In every period, subjects decide how much to contribute simultaneously and independently. In the partners–matching treatments, they can convey their past behavior to other group members, while in the strangers–matching treatments, subjects can not influence others' behavior by their past actions since group members are rematched every period.

4. Experimental Design and Procedures

Subjects were recruited from various majors at Kyoto Sangyo University.⁷ Three sessions were run for the three observational treatments. The experiment was programmed and conducted on personal

computers with the software z-Tree (Fischbacher (1999)). No subject participated in more than one session. The instructions of each session are provided in Appendix 1. Subjects earned tokens in the experiment. They were told in the instructions that one token would be exchanged for 50 yen (about 45 cents) at the end of the experiment. Subjects were randomly assigned to a booth with partitions in front and on both sides of the desk. It was impossible for them to make direct contact with other subjects during the session. To make subjects understand the instructions clearly, two or four practice periods were run before the real experiment started (two practice periods for No Revelation and Forced Revelation, and four practice periods for Voluntary Revelation since this treatment has two stages).

Each session consists of four sequential treatments. Table 1 summarizes all the treatments. At the beginning of each session, subjects were told that they were going to experience four kinds of treatments, and that only the result of one of the treatments would be paid at the end of session. Therefore, there was no incentive for subjects to sacrifice their profits in one treatment in order to make higher profits in a later treatment.⁸

The experimenter read the instructions for each treatment to subjects at the beginning of each treatment. Subjects were not aware of the details of each treatment until just before the treatment began. The first treatment was the No Rebate rule with partners-matching. In this treatment, subjects played the No Rebate rule threshold public goods game with the same group members for 10 periods. The number of repetitions was explained in the instructions. Subjects practiced clicking their mouses according to the experimenter's directions to get used to how to manipulate the computers and how to understand the information shown on the screen for their decision making. They were not allowed to make any free decisions until the real period started.

Table 1. Treatment details

| | Sessions (Observational treatments) | | |
|--|-------------------------------------|----------------------|-------------------|
| | No Revelation | Voluntary Revelation | Forced Revelation |
| Observation of others | No | Conditional | Full |
| Treatment 1 (10 periods) | No Rebate / Partners | | |
| Treatment 2 (10 periods) | Utilization Rebate / Partners | | |
| Treatment 3 (10 periods) | No Rebate / Strangers | | |
| Treatment 4 (10 periods) | Utilization Rebate / Strangers | | |
| The number of total subjects in each session | 25 | | |
| The number of subjects per group | 5 | | |

⁷ All subjects but one were undergraduates who applied for the experiments through the Internet homepage of the Experimental Economics Laboratory at Kyoto Sangyo University. Since one subject did not show up in the Voluntary Revelation session, the experimenter (author of this paper) asked one graduate student who has an office near the laboratory. He had never had contact with people involved in the laboratory and his major is management science not economics.

⁸ However, since subjects could learn how cooperative others are in each treatment, the results in the following treatments are not completely independent from the results of the previous treatments.

The second treatment is the Utilization Rebate rule with partners–matching. In this treatment, subjects played the Utilization Rebate rule threshold public goods game with the same group members for 10 periods. The experimenter explained the second treatment just before the second treatment started.

After subjects had completed their decision making for the 10th period of the Utilization Rebate with partners–matching treatment, they experienced the third treatment, the No Rebate threshold public goods game with Strangers–matching. The experimenter explained that the experiment was similar to the first treatment, but the group members would be changed every period.

The fourth treatment, the Utilization Rebate rule with Strangers, followed the No Rebate rule with strangers–matching treatment. Subjects were told at the beginning of the treatment that this treatment would be the last in the session. The experimenter explained that the experiment was similar to the second treatment, but the group members would be changed every period.

In short, each session proceeds in the following order : (1) No Rebate / Partners, (2) Utilization Rebate / Partners, (3) No Rebate / Strangers, (4) Utilization Rebate / Strangers. Since the experimenter explained the instructions of each treatment just before each treatment started, subjects could not plan how to behave in each treatment at the beginning of session. 25 people participated in each session. We made five groups of five subjects in each session ($N=5$). In the No Revelation session, individual decisions were totally anonymous among subjects. In the Voluntary Revelation session and the Forced Revelation session, each subject was given her own ID number in her group. ID numbers ranged from 1 to 5 and they allowed subjects to track the actions of other group members. However, the identities of subjects and where they sat were kept confidential. Although the member ID was the same throughout the partners–matching treatments, it could be a different ID number every period in the strangers–matching treatments since subjects were rematched with different group members every period and the member ID was decided according to the order of seat numbers (each computer terminal has its own ID).

Subjects were given an initial endowment of 5 tokens ($E=5$) at the beginning of every period. They were asked to divide their tokens into a private account and a public account.⁹ The amount of contribution they could make was constrained to only integer numbers. In the No Rebate rule treatment, subjects could receive 4 tokens ($r=4$) as the benefit from the public good when their group could collect contributions more than or equal to 10 tokens ($T=10$). In the Utilization Rebate rule treatment, if a group could collect contributions more than or equal to 10 tokens, the total contributions of the group were added together and doubled by the experimenter ($\alpha=2$) and then equally distributed among the group members. When a group collected exactly as much as 10 tokens, the distributed benefit from the public good was 4 as in the No Rebate rule treatment. However, if a group collected more than 10 tokens, the individual benefit from the public good became more than 4 (up to 10). Therefore, in both rules, the set of efficient Nash equilibria consists of any combination of

⁹ We did not use the word “invest,” “private,” nor “public.” Subjects were asked to “divide” their 5 tokens into a personal account and a group account.

$\{g_1, g_2, g_3, g_4, g_5\}$ such that $\sum_{i=1}^5 g_i = 10$ and $0 \leq g_i \leq 4$, while the inefficient Nash equilibrium is $\{g_i\} = 0$.

All sessions lasted about two hours. The average payment for subjects across the three sessions was 3,348 yen (about 30 US dollars).

5. Hypotheses

5.1 No Rebate Rule versus Utilization Rebate Rule

Croson and Marks (2000) analyzed previous literature on threshold public goods experiments and clarified that the factor called "Step Return" (SR, hereafter) influenced people's cooperative behavior. They formulated SR as follows (p. 242) :

$$SR = \frac{\text{aggregate group payoff from the public good}}{\text{total contribution threshold}} .$$

The SR represents, "the ratio of an individual's value of the public good to his share of the cost" (p. 242). In the No Rebate rule in our experiment, if a group collects contributions exactly as much as the threshold, SR becomes 2. Similarly, in the Utilization Rebate rule, if a group collects contributions exactly as much as the threshold, SR is also 2. Therefore, both SRs are the same when the group contribution equals the threshold level. However, they will not be the same in the case that subjects in the Utilization Rebate rule collect more than the threshold level. The SR in the No Rebate rule is invariant to the sum of individual contribution, while the SR in the Utilization Rebate rule is the increasing function of aggregate group payoff from the public good. Croson and Marks (2000) concluded that the higher the SR, the greater the contributions should be. Therefore, the following hypothesis is derived :

Hypothesis 1 : Group contributions in the Utilization Rebate rule will be significantly higher than those in the No Rebate rule regardless of whether subjects play with the same group members or different group members every period, and regardless of whether they can observe others' actions.

5.2 Hypotheses on Observation of Others

As Wilson and Sell (1997) noted, two factors are important for subjects to get onto a cooperative equilibrium path. One is that subjects need information on the past actions of others. The other is that subjects need to be given some method of preplay communication to commit themselves to carry out a promise. Regarding the first factor, subjects in our experiment can observe their own group contribution of past periods in all revelation treatments. However, subjects can not observe any individual contributions of other group members in the No Revelation treatment. In Voluntary

Revelation, subjects can observe individual contributions of other group members if they agreed to show them. In the Forced Revelation treatment, subjects can observe individual contributions of other group members unconditionally. Regarding the second factor, there is no clear promise (how much to contribute) that subjects can make in the announcement stage in the Voluntary Revelation treatment. However, in the partners–matching treatment, people can signal how they commit their intentions by continuing to reveal their contributions to others and contributing a certain amount of tokens. On the other hand, in the partners–matching treatments in Forced Revelation, although subjects can not announce anything before they contribute to the public goods, they can signal their commitments by their past actions. Therefore, we predict that subjects might use a reputation building strategy to achieve a more profitable mutual outcome in the Voluntary Revelation and the Forced Revelation treatments. The following hypothesis is offered :

Hypothesis 2 : Group contributions in the partners–matching treatment in Voluntary Revelation and the partners–matching treatment in Forced Revelation will be significantly higher than those in the partners–matching treatment in No Revelation.

It is not easy to predict whether Voluntary Revelation or Forced Revelation leads to more cooperation among subjects since the amount of information about others' contributions might differ between the two treatments. In addition, it is not certain whether or how the content of the announcement stage in Voluntary Revelation affects people's behavior. If the amount of information of others matters more than others' willingness to reveal their contributions, the following hypothesis is derived :

Hypothesis 3 : In the partners–matching treatments, group contributions in Forced Revelation will be the highest among the three observational treatments. Group contributions in Voluntary Revelation will be the second highest and those in No Revelation will be the lowest.

On the other hand, one might expect Voluntary Revelation to lead to greater cooperation because subjects in the partners–matching treatments in Voluntary Revelation can convey their intentions to cooperate before the contribution stage. The availability of such a clear message in Voluntary Revelation might facilitate more cooperation than in Forced Revelation. The following counter hypothesis is derived :

Hypothesis 4 : Group contributions in the partners–matching treatments in Voluntary Revelation will be significantly higher than in those in the partners–matching treatments in Forced Revelation.

Hypothesis 4 is the optimistic prediction for Voluntary Revelation because the information revealed by subjects in stage 1 could be regarded simply as cheap talk and people might not take the information seriously. Further, it is possible than no one in the group volunteers to reveal their

individual actions. Therefore, the following counter hypothesis is presented :

Hypothesis 5 : Group contributions in all treatments in Voluntary Revelation will not be significantly different from those in No Revelation.

Since revealing their actions costs nothing in Voluntary Revelation, all subjects may be indifferent between revealing their actions or not. Therefore, they might as well reveal their actions as in Forced Revelation. In addition, people may not be affected at all by the voluntariness of others to reveal their actions. Therefore, the following hypothesis is derived :

Hypothesis 6 : Group contributions in all treatments in Voluntary Revelation will not be significantly different from those in Forced Revelation.

5.3. Nash Prediction and Convergence

Since Forced Revelation gives subjects complete information about what others contributed, subjects in Forced Revelation should be able to figure out which equilibrium their group is heading for most clearly. Therefore we make the following hypothesis :

Hypothesis 7 : Convergence toward any equilibrium in the partners–matching treatments in Forced Revelation will be quicker and closer than that in the partners–matching treatments in Voluntary Revelation and No Revelation. Furthermore, convergence toward any equilibrium in the partners–matching treatments in Voluntary Revelation will be quicker and closer than that in the partners–matching treatments in No Revelation.

Marks and Croson (1998) observed more Nash outcomes in the No Rebate rule than in the Utilization Rebate rule. Although subjects in our study are not provided a money back guarantee, such a result might be observed in our experiment. Therefore, the following hypothesis is offered :

Hypothesis 8 : Group contributions in the No Rebate rule will be significantly closer to Nash equilibria than the Utilization Rebate rule. And the frequency of Nash outcomes will be greater in the No Rebate rule than in the Utilization Rebate rule in both the partners–matching treatment and the strangers–matching treatment and across all three observational treatments.

6. Experimental Results

6.1 Comparison of Group Contributions among Observational Treatments

Figure 4 shows the boxplots to compare the results of the three revelation treatments. To analyze the difference of means of group contributions among the three observational sessions, analysis of variance (ANOVA) was used. Table 2 summarize the results. In the No Rebate / Partners treatment,

the hypothesis of equal means among the three observational treatments is not rejected ($p=0.76$). This result is also supported in the Scheffé multiple-comparison test. However, the hypothesis for equal variances is highly rejected. Therefore, the result of the ANOVA F test is not strongly trustable. In the Utilization Rebate / Partners treatment, the hypothesis of equal means among the three observational treatments is rejected ($p<0.00005$). The Scheffé multiple-comparison finds significant difference between the means in any pair of comparison ($p<0.05$). However, the hypothesis of equal variances is rejected ($p<0.10$). Therefore, the result of the ANOVA F test is not strongly trustable. In the No Rebate / Strangers treatment, the hypothesis of equal means among the three observational treatments is rejected ($p=0.01$). The Scheffé multiple-comparison finds significant difference only between the means of No Revelation versus Voluntary Revelation ($p<0.10$). Since the hypothesis of equal variances is accepted, the result of the ANOVA F test is valid. In the Utilization Rebate / Strangers treatment, the hypothesis of equal means among the three observational treatments is rejected ($p<0.00005$). The Scheffé multiple-comparison finds significant difference between the means of No Revelation versus Voluntary Revelation and No Revelation versus Forced Revelation. Since the hypothesis of equal variances is accepted, the result of the ANOVA F test is valid.

Further, group contributions among the three observational treatments were compared period by period by using a Mann-Whitney U test.¹⁰ Table 3 and table 4 provide the results. The results basically confirms the conclusion by ANOVA.

In the No Rebate / Partners treatment, there is almost no significant difference in group contributions in any comparison (No Revelation versus Voluntary Revelation, No Revelation versus Forced Revelation and Voluntary Revelation versus Forced Revelation).

In the Utilization Rebate / Partners treatment, the comparison between No Revelation and Voluntary Revelation finds that group contributions in Voluntary Revelation are significantly higher than those in No Revelation in almost all periods, which was not clearly detected by the ANOVA F test because of the inequality of variance among the data of the three observational treatments. On the other hand, there is no period that shows statistical difference in the comparison between No Revelation and Forced Revelation or the comparison between Voluntary Revelation and Forced Revelation. In short, observation of others has no impact when people play the No Rebate rule game with the same people for finite periods. However, under the Utilization Rebate rule with partners, the Voluntary Revelation method encourages people to cooperate more.

In No Rebate / Strangers, although the ANOVA F test finds significant difference of means between No Revelation and Voluntary Revelation, such difference is not consistent throughout the treatments in the comparison of the data period by period (period 1, 5, 6, 10 show significant difference). There is almost no significant difference between No Revelation and Forced Revelation and between Forced Revelation and Voluntary Revelation.

In Utilization Rebate/Strangers, the results are consistent with the conclusion of the ANOVA test. One interesting finding is that the average group contribution in No Revelation is higher than in

¹⁰ Since the independent data is the session level data which consists of only five samples in each period, we used a Mann-Whitney U test rather than t-test.

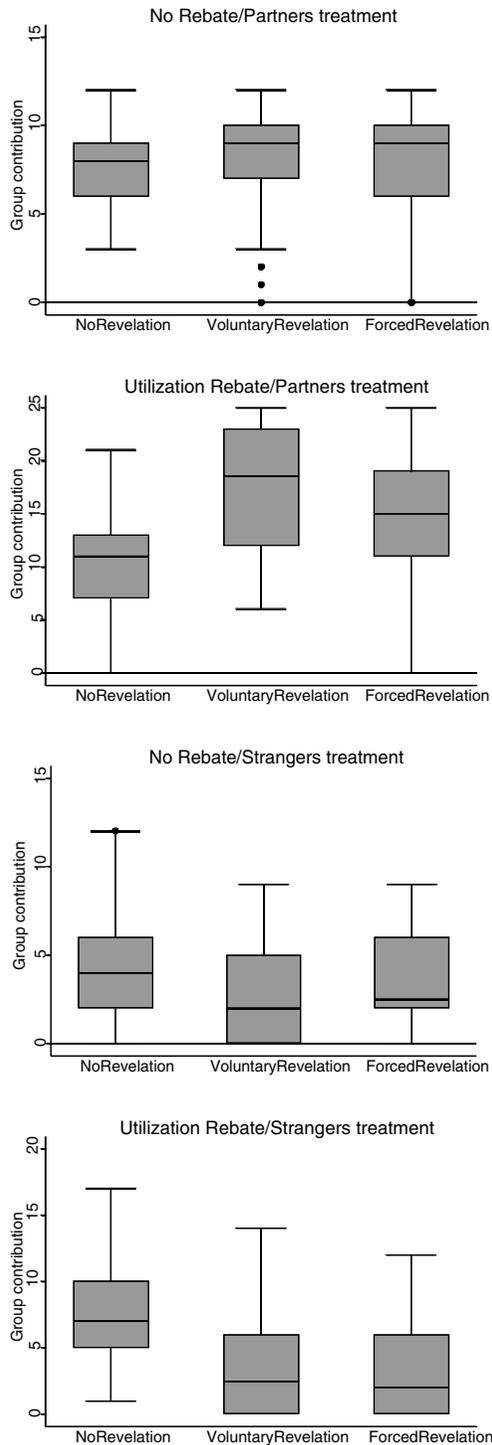


Figure 4. Comparison of Group Contributions

Table 2. Analysis of Variance of Group Contributions

No Rebate / Partners

| <i>Summary of Group Contribution</i> | | | | | |
|--|-------------------|-----------|---------------|--------------------------|--------|
| Observational Treatments | Mean | Std. Dev. | Frequency | | |
| No Revelation | 7.3 | 2.29 | 50 | | |
| Voluntary Revelation | 7.72 | 3.23 | 50 | | |
| Forced Revelation | 7.34 | 3.69 | 50 | | |
| <i>Analysis of Variance</i> | | | | | |
| Source | SS | df | MS | F | Prob>F |
| Between groups | 5.37 | 2 | 2.69 | 0.28 | 0.76 |
| Within groups | 1435.80 | 147 | 9.77 | | |
| <i>Scheffe multiple comparison test</i> | | | | | |
| Row mean–Column mean | Forced Revelation | | No Revelation | | |
| No Revelation | -0.04 (1.00) | | 0.42 (0.80) | | |
| Voluntary Revelation | 0.38 (0.83) | | | | |
| Bartlett's test for equal variance : $\chi^2(2)=10.87$ | | | | Prob> $\chi^2(2) = 0.00$ | |

Utilization Rebate / Partners

| <i>Summary of Group Contribution</i> | | | | | |
|---|-------------------|-----------|---------------|--------------------------|--------|
| Observational Treatments | Mean | Std. Dev. | Frequency | | |
| No Revelation | 10.16 | 5.06 | 50 | | |
| Voluntary Revelation | 17.58 | 5.89 | 50 | | |
| Forced Revelation | 14.42 | 6.95 | 50 | | |
| <i>Analysis of Variance</i> | | | | | |
| Source | SS | df | MS | F | Prob>F |
| Between groups | 1386.49 | 2 | 693.25 | 19.16 | 0.00 |
| Within groups | 5319.08 | 147 | 36.18 | | |
| <i>Scheffe multiple comparison test</i> | | | | | |
| Row mean–Column mean | Forced Revelation | | No Revelation | | |
| No Revelation | -4.26 (0.00) | | 7.42 (0.00) | | |
| Voluntary Revelation | 3.16 (0.03) | | | | |
| Bartlett's test for equal variance : $\chi^2(2) = 4.87$ | | | | Prob> $\chi^2(2) = 0.09$ | |

Voluntary Revelation and Forced Revelation in most periods. This result indicates that providing the information about individual contributions does not lead people to a more efficient outcome but facilitates the spread of distrust among people and makes them act less cooperatively.

6. 2 The Effect of Utilization Rebate

Figure 5 shows group contributions across periods in No Rebate / Partners and Utilization Rebate / Partners of all observational treatments. The graphs on the left–hand side are for the No Rebate rule and the graphs on the right–hand side are for the Utilization Rebate rule. In the results of the No Rebate rule, exceeding the threshold (=10) is rarely observed.

Next, the hypothesis that the mean group contribution is equal to 10 was checked statistically in No

Table 2. Continued

No Rebate / Strangers

| <i>Summary of Group Contribution</i> | | | | | |
|--|-------------------|-----------|---------------|---------------------------|--------|
| Observational Treatments | Mean | Std. Dev. | Frequency | | |
| No Revelation | 4.42 | 3.16 | 50 | | |
| Voluntary Revelation | 2.58 | 2.74 | 50 | | |
| Forced Revelation | 3.84 | 2.96 | 50 | | |
| <i>Analysis of Variance</i> | | | | | |
| Source | SS | df | MS | F | Prob>F |
| Between groups | 88.49 | 2 | 44.25 | 5.06 | 0.01 |
| Within groups | 1285.08 | 147 | 8.74 | | |
| <i>Scheffe multiple comparison test</i> | | | | | |
| Row mean–Column mean | Forced Revelation | | No Revelation | | |
| No Revelation | 0.58(0.62) | | | | |
| Voluntary Revelation | -1.26(0.11) | | -1.84(0.01) | | |
| Bartlett's test for equal variance : $\chi^2 (2) = 0.96$ | | | | Prob> $\chi^2 (2) = 0.62$ | |

Utilization Rebate / Strangers

| <i>Summary of Group Contribution</i> | | | | | |
|--|-------------------|-----------|---------------|---------------------------|--------|
| Observational Treatments | Mean | Std. Dev. | Frequency | | |
| No Revelation | 7.4 | 4 | 50 | | |
| Voluntary Revelation | 3.78 | 3.86 | 50 | | |
| Forced Revelation | 3 | 3.43 | 50 | | |
| <i>Analysis of Variance</i> | | | | | |
| Source | SS | df | MS | F | Prob>F |
| Between groups | 551.21 | 2 | 275.61 | 19.38 | 0.00 |
| Within groups | 2090.58 | 147 | 14.22 | | |
| <i>Scheffe multiple comparison test</i> | | | | | |
| Row mean–Column mean | Forced Revelation | | No Revelation | | |
| No Revelation | 4.40 (0.00) | | | | |
| Voluntary Revelation | 0.78 (0.59) | | -3.62(0.00) | | |
| Bartlett's test for equal variance : $\chi^2 (2) = 1.23$ | | | | Prob> $\chi^2 (2) = 0.54$ | |

Rebate / Partners of all observational treatments. The counter hypothesis that the mean group contribution is lower than 10 was supported by a t-test in all revelation treatments (one-tailed $p < 0.00005$).

Looking at the data closely, although all groups in No Rebate / Partners with No Revelation failed to achieve the threshold level in most periods, no group fell to the inefficient equilibrium in any period. In contrast, two groups in No Rebate / Partners with Voluntary Revelation successfully chose the efficient (Pareto) Nash equilibrium from period 1 to the end period consistently, while the other groups failed to achieve the threshold in almost all periods. In No Rebate / Partners with Forced Revelation, one group successfully chose the efficient Nash equilibrium from period 1 to the end

Table 3. Comparison of Group Contributions in Partners-matching Treatments between Observational Treatments Using Mann-Whitney U test

(*NoR=No Revelation **VoR=Voluntary Revelation ***FoR=Forced Revelation)

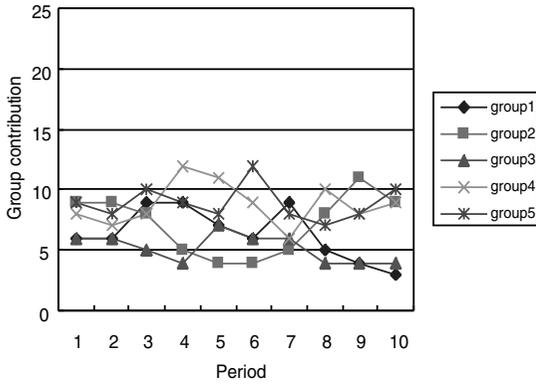
| No Revelation vs. Voluntary Revelation | | | | No Revelation vs. Forced Revelation | | | | Forced Revelation vs. Voluntary Revelation | | | | | | | | | | |
|--|--------------------|--------|--------------------|-------------------------------------|---------------------|----------|---------------|--|--------------------|-------|---------------------|----------|---------------|--------|--------------------|-------|---------------------|-----|
| Matching | Rebate Period | Period | Group Contribution | Z | p-value (if p≤0.10) | Partners | Rebate Period | Period | Group Contribution | Z | p-value (if p≤0.10) | Partners | Rebate Period | Period | Group Contribution | Z | p-value (if p≤0.10) | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | NoR |
| Partners | No Rebate | 1 | 7.60 | 8.60 | -0.96 | - | 1 | 1 | 7.60 | 8.00 | -0.44 | - | 1 | 1 | 8.00 | 8.60 | -0.55 | - |
| | | 2 | 7.20 | 9.40 | -1.80 | 0.07 | 2 | 2 | 7.20 | 9.60 | -2.22 | 0.03 | 2 | 2 | 9.60 | 9.40 | 0.22 | - |
| | | 3 | 8.00 | 9.60 | -1.75 | 0.08 | 3 | 3 | 8.00 | 8.20 | -0.11 | - | 3 | 3 | 8.20 | 9.60 | -0.87 | - |
| | | 4 | 7.80 | 9.00 | -0.76 | - | 4 | 4 | 7.80 | 7.80 | 0.00 | - | 4 | 4 | 7.80 | 9.00 | -0.65 | - |
| | | 5 | 7.40 | 8.00 | -0.43 | - | 5 | 5 | 7.40 | 8.80 | -0.96 | - | 5 | 5 | 8.80 | 8.00 | 0.45 | - |
| | Utilization Rebate | 6 | 7.40 | 7.20 | -0.11 | - | 6 | 6 | 7.40 | 7.80 | -0.64 | - | 6 | 6 | 7.80 | 7.20 | 0.56 | - |
| | | 7 | 6.80 | 6.80 | -0.53 | - | 7 | 7 | 6.80 | 6.80 | -0.53 | - | 7 | 7 | 6.80 | 6.80 | 0.00 | - |
| | | 8 | 6.80 | 6.00 | 0.00 | - | 8 | 8 | 6.80 | 6.00 | 0.00 | - | 8 | 8 | 6.00 | 6.00 | 0.00 | - |
| | | 9 | 7.00 | 6.40 | 0.32 | - | 9 | 9 | 7.00 | 5.00 | 0.75 | - | 9 | 9 | 5.00 | 6.40 | -0.53 | - |
| | | 10 | 7.00 | 6.20 | 0.21 | - | 10 | 10 | 7.00 | 5.40 | 0.64 | - | 10 | 10 | 5.40 | 6.20 | -0.43 | - |
| Partners | Utilization Rebate | 1 | 12.00 | 17.20 | -1.79 | 0.07 | 1 | 1 | 12.00 | 16.20 | -1.57 | - | 1 | 1 | 16.20 | 17.20 | -0.21 | - |
| | | 2 | 12.20 | 18.80 | -1.79 | 0.07 | 2 | 2 | 12.20 | 17.00 | -1.59 | - | 2 | 2 | 17.00 | 18.80 | -0.42 | - |
| | | 3 | 12.40 | 19.40 | -1.80 | 0.07 | 3 | 3 | 12.40 | 17.40 | -1.16 | - | 3 | 3 | 17.40 | 19.40 | -0.73 | - |
| | | 4 | 11.00 | 18.40 | -1.99 | 0.05 | 4 | 4 | 11.00 | 16.60 | -1.47 | - | 4 | 4 | 16.60 | 18.40 | -0.74 | - |
| | | 5 | 10.20 | 17.80 | -1.79 | 0.07 | 5 | 5 | 10.20 | 15.40 | -1.38 | - | 5 | 5 | 15.40 | 17.80 | -0.53 | - |
| | No Rebate | 6 | 11.20 | 17.40 | -0.95 | - | 6 | 6 | 11.20 | 14.20 | -0.53 | - | 6 | 6 | 14.20 | 17.40 | -0.75 | - |
| | | 7 | 9.60 | 19.00 | -2.23 | 0.03 | 7 | 7 | 9.60 | 13.80 | -1.36 | - | 7 | 7 | 13.80 | 19.00 | -0.85 | - |
| | | 8 | 9.80 | 18.40 | -1.49 | - | 8 | 8 | 9.80 | 13.00 | -0.52 | - | 8 | 8 | 13.00 | 18.40 | -0.95 | - |
| | | 9 | 8.00 | 17.20 | -1.58 | - | 9 | 9 | 8.00 | 12.00 | -0.73 | - | 9 | 9 | 12.00 | 17.20 | -0.94 | - |
| | | 10 | 5.20 | 12.20 | -1.80 | 0.07 | 10 | 10 | 5.20 | 8.60 | -0.37 | - | 10 | 10 | 8.60 | 12.20 | -0.73 | - |

Table 4. Comparison of Group Contributions in Strangers-matching Treatments between Observational Treatments Using Mann-Whitney U test

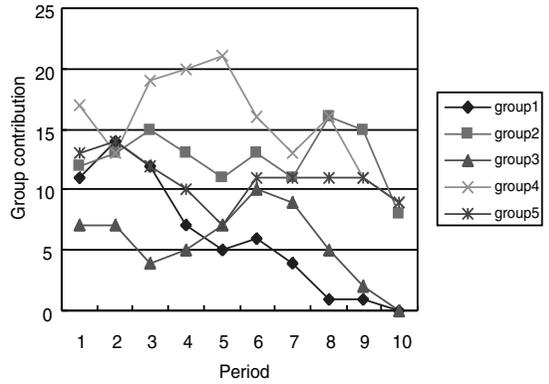
(*NoR=No Revelation **VoR=Voluntary Revelation ***FoR=Forced Revelation)

| No Revelation vs. Voluntary Revelation | | | | No Revelation vs. Forced Revelation | | | | Forced Revelation vs. Voluntary Revelation | | | | | | | | | | |
|--|--------------------|--------|--------------------|-------------------------------------|---------------------|----------|--------------------|--|--------------------|------|---------------------|----------|--------------------|--------|--------------------|------|---------------------|------|
| Matching | Rebate Period | Period | Group Contribution | Z | p-value (if p≤0.10) | Matching | Rebate Period | Period | Group Contribution | Z | p-value (if p≤0.10) | Matching | Rebate Period | Period | Group Contribution | Z | p-value (if p≤0.10) | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | NoR |
| Partners | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Utilization Rebate | No Rebate | 1 | 8.80 | 6.60 | 1.62 | 0.10 | No Rebate | 1 | 8.80 | 7.60 | 0.87 | - | No Rebate | 1 | 7.60 | 6.60 | 1.09 | - |
| | | 2 | 7.20 | 5.40 | 0.74 | - | | 2 | 7.20 | 6.80 | 0.22 | - | | 2 | 6.80 | 5.40 | 0.65 | - |
| | | 3 | 5.80 | 4.20 | 0.98 | - | | 3 | 5.80 | 6.40 | -0.53 | - | | 3 | 6.40 | 4.20 | 1.49 | - |
| | | 4 | 5.00 | 3.60 | 1.06 | - | | 4 | 5.00 | 5.60 | -0.64 | - | | 4 | 5.60 | 3.60 | 1.48 | - |
| | | 5 | 5.80 | 2.20 | 2.00 | 0.05 | | 5 | 5.80 | 3.80 | 1.57 | - | | 5 | 3.80 | 2.20 | 1.28 | - |
| | | 6 | 2.40 | 1.00 | 1.39 | 0.07 | | 6 | 2.40 | 2.60 | 0.00 | - | | 6 | 2.60 | 1.00 | 1.28 | - |
| | | 7 | 2.60 | 1.20 | 1.19 | - | | 7 | 2.60 | 1.60 | 0.75 | - | | 7 | 1.60 | 1.20 | 0.45 | - |
| | | 8 | 2.80 | 1.40 | 0.79 | - | | 8 | 2.80 | 1.60 | 0.34 | - | | 8 | 1.60 | 1.40 | 0.69 | - |
| | | 9 | 2.20 | 0.20 | 1.53 | - | | 9 | 2.20 | 1.20 | 0.67 | - | | 9 | 1.20 | 0.20 | 1.55 | - |
| | | 10 | 1.60 | 0.00 | 2.37 | 0.02 | | 10 | 1.60 | 1.20 | 0.54 | - | | 10 | 1.20 | 0.00 | 1.96 | 0.05 |
| Partners | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Utilization Rebate | Utilization Rebate | 1 | 10.00 | 9.00 | 0.53 | - | Utilization Rebate | 1 | 10.00 | 7.00 | 0.95 | - | Utilization Rebate | 1 | 7.00 | 9.00 | -0.64 | - |
| | | 2 | 10.60 | 8.60 | 0.95 | - | | 2 | 10.60 | 7.60 | 1.16 | - | | 2 | 7.60 | 8.60 | -0.76 | - |
| | | 3 | 8.80 | 5.20 | 1.37 | - | | 3 | 8.80 | 5.20 | 1.36 | - | | 3 | 5.20 | 5.20 | -0.32 | - |
| | | 4 | 9.60 | 4.20 | 1.99 | 0.05 | | 4 | 9.60 | 3.60 | 1.68 | 0.09 | | 4 | 3.60 | 4.20 | -0.43 | - |
| | | 5 | 6.60 | 4.60 | 0.85 | - | | 5 | 6.60 | 2.00 | 2.23 | 0.03 | | 5 | 2.00 | 4.60 | -0.98 | - |
| | | 6 | 7.60 | 2.20 | 2.34 | 0.02 | | 6 | 7.60 | 1.60 | 2.13 | 0.03 | | 6 | 1.60 | 2.20 | -0.75 | - |
| | | 7 | 6.80 | 2.00 | 1.92 | 0.06 | | 7 | 6.80 | 0.80 | 2.23 | 0.03 | | 7 | 0.80 | 2.00 | -0.47 | - |
| | | 8 | 7.20 | 1.00 | 2.44 | 0.01 | | 8 | 7.20 | 1.20 | 2.48 | 0.01 | | 8 | 1.20 | 1.00 | -0.83 | - |
| | | 9 | 4.20 | 0.60 | 2.34 | 0.02 | | 9 | 4.20 | 0.20 | 2.60 | 0.01 | | 9 | 0.20 | 0.60 | -0.78 | - |
| | | 10 | 2.60 | 0.40 | 2.29 | 0.02 | | 10 | 2.60 | 0.80 | 1.95 | 0.05 | | 10 | 0.80 | 0.40 | -0.39 | - |

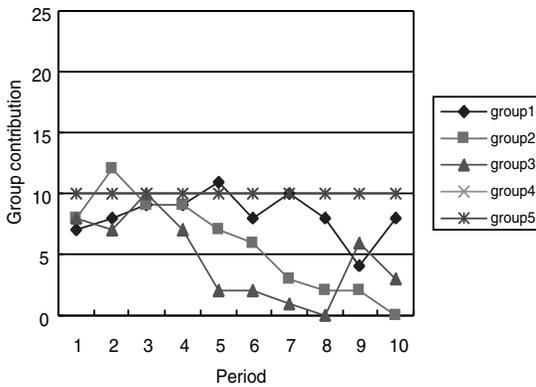
No Rebate/Partners in No Revelation



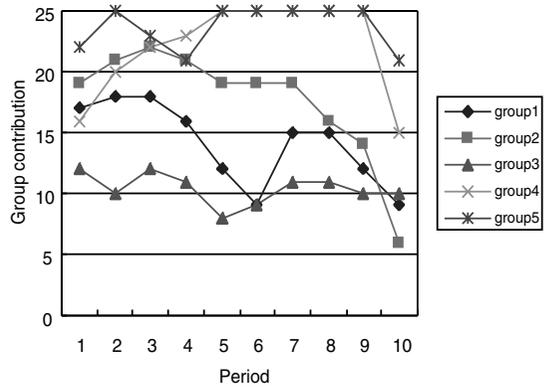
Utilization/Partners in No Revelation



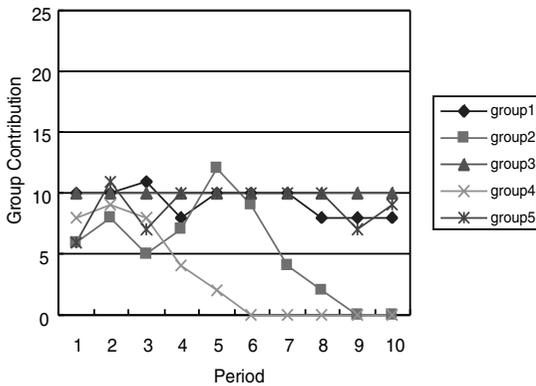
No Rebate/Partners in Voluntary Revelation



Utilization/Partners in Voluntary Revelation



No Rebate/Partners in Forced Revelation



Utilization/Partners in Forced Revelation

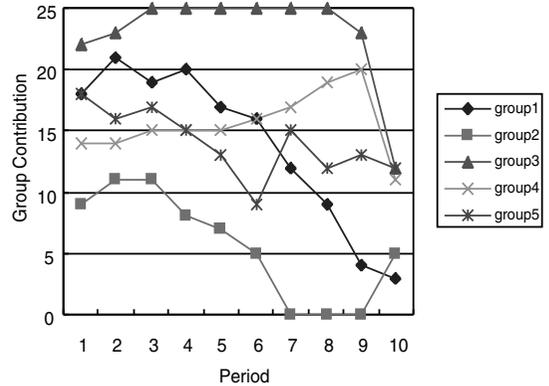


Figure. 5 Comparison between the No Rebate Rule and the utilization Rebate Rule in the Partners-matching Treatments

period consistently and two other groups contributed around the threshold across periods, and the rest of the remaining two groups fell to the inefficient equilibrium (one of the groups fell to the inefficient equilibrium from period 6 till the end period). These results support hypothesis 7 and are summarized in observation 1.

Observation 1 : People can better coordinate toward a Nash equilibrium in the No Rebate rule with partners–matching in both Voluntary Revelation and Forced Revelation. However, the observation of others does not always facilitate the convergence toward an efficient equilibrium. Group contributions rarely exceed the threshold.

Let us focus on the results of Utilization Rebate / Partners (right–hand side of figure 4). The variance of results of Utilization Rebate with partners–matching looks much higher than the results in No Rebate with partners (left hand side of figure 4). The hypothesis of equal variance between No Rebate / Partners and Utilization / Partners was rejected by a Bartlett's χ^2 test in all revelation treatments ($p < 0.00005$). A similar difference of variance was observed in Marks and Croson (1998).

Looking at the results closely, the results of Utilization Rebate / Partner with No Revelation show that no group could achieve the Pareto optimum outcome. Two groups converged toward the inefficient equilibrium at the end period and the other three groups succeeded to achieve or exceed the threshold level in almost all periods before the end period. The hypothesis that the mean group contribution in the Utilization / Partners with No Revelation treatment is equal to 10 was checked and it was not rejected statistically (two–tailed $p = 0.82$).

In Utilization Rebate / Partners with Voluntary Revelation, groups achieved the Pareto optimal outcome 11 times. The groups in this treatment contributed above the threshold level in nearly every period. The hypothesis that the mean group contribution is higher than 10 was statistically supported by a t–test (one–tailed $p < 0.00005$).

In Utilization Rebate / Partners with Forced Revelation, one group achieved the Pareto optimum outcome 6 times from period 3 to period 8. There were more failures to achieve the threshold in this treatment than in Utilization/Partners with Voluntary Revelation. The hypothesis that the mean group contribution is higher than 10 was statistically supported by a t–test (one–tailed $p < 0.00005$). These results are summarized in observation 2 and observation 3.

Observation 2 : In the Utilization Rebate rule with partners matching, the mean group contribution is equal to or higher than the threshold regardless of observational treatments. This observation and observation 1 support hypothesis 1.

Observation 3 : When people can observe others' actions, some groups focus on the Pareto optimum outcome rather than an efficient Nash equilibrium. Figure 6 compares average group

¹¹ It is useful to see how group contributions change across periods in both the No Rebate partners–matching treatment and the Utilization Rebate partners matching treatment.. Therefore, we show all independent data (group contributions)

contributions between the No Rebate rule and the Utilization Rebate rule in Strangers–matching treatments of all observational treatments period by period.¹¹ The common aspect among all observational treatments is that the average group contributions almost monotonically decreased toward the inefficient equilibrium as the experiments proceeded.

Table 4 reports the statistical results comparing the No Rebate rule and the Utilization Rebate rule in each observational treatment period by period. Hypothesis 1 is clearly supported in the partners–matching treatments of Voluntary Revelation. In Forced Revelation, group contributions in the Utilization Rebate rule are significantly higher than those in the No Rebate rule mainly in the first–half periods. In the partners–matching treatments in No Revelation, although the average group contributions of Utilization Rebate are higher than those of No Rebate in each period, such difference is not significant in all periods except for period 1 and period 2.

Contrary to the partners–matching treatments results, in the strangers–matching treatments, hypothesis 1 is more supported in No Revelation than Voluntary Revelation and Forced Revelation. There is almost no period that has a significant difference both in Voluntary Revelation and Forced Revelation. However, 4 middle periods show significant difference in No Revelation. This result is consistent with the observation of the previous section that observation of others spreads distrust among subjects and hinders them from acting cooperatively in Voluntary Revelation and Forced Revelation.¹² Figure 6 indicates that the speed of the spread of distrust among people is faster in Voluntary Revelation and Forced Revelation than in No Revelation.¹³

This could be because somebody’s individual incorporative behavior can influence not only one group’s members but also other people in the experiment session in the strangers–matching treatments, while such non cooperative behavior is limitedly observed within groups in partners–matching treatment. In addition, free–riding behavior is distinctively observed in Voluntary Revelation and Forced Revelation. Therefore, the potential cooperative incentive of Utilization Rebate was diminished by distrust among people in those treatments.

Figure 6 confirms and extends this interpretation. It shows that although the average group contribution of the Utilization Rebate rule is almost always higher than that of the No Rebate rule with No Revelation and Voluntary Revelation across periods (this supports hypothesis 1), the relationship between Utilization Rebate and No Rebate is reversed in almost all periods in Forced Revelation. In Forced Revelation, the average group contribution of the No Rebate rule is almost always higher than that of the Utilization Rebate rule (except for period 2). Although this reversed relationship is

in figure 4. However, since we rematched all subjects to put them in a new group every period in the strangers–matching treatments, it is not of interest to see how each group evolves as the experiment proceeded. Therefore, we averaged all the group contribution data per period in the strangers–matching treatments in figure 5.

¹² Making it common knowledge that people can reveal their actions or they are forced to reveal their actions itself may harm the effect of the Utilization Rebate rule.

¹³ We must admit that the data for each period is not independent from the data for other periods. In partners–matching treatments, each individual interacts with other group members across periods. In the strangers–matching treatments, each individual interacts with other subjects in the experiment room. However, we compared data from all periods to see whether the Utilization Rebate rule has a different impact on people’s cooperative behavior.

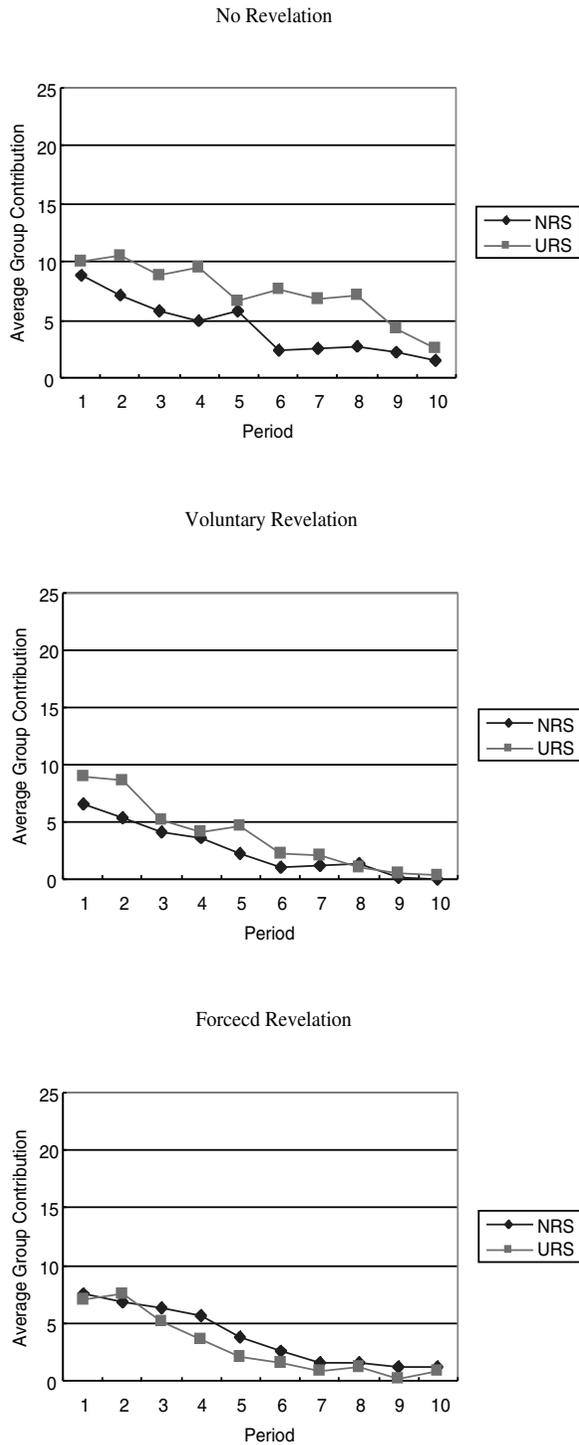


Figure 6. Comparison between the No Rebate Rule and the Utilization rebate rule in the Strangers–matching Treatment

Table 5. Comparison between the No Rebate Rule and the Utilization Rebate Rule in Each Session
Using Mann-Whitney U test
(*NR=No Rebate **UR=Utilization Rebate)

| No Revelation | | | | Voluntary Revelation | | | | Forced Revelation | | | | | | | | | |
|---------------|--------|-------------------------|-------|----------------------------|------|-----------|--------|-------------------------|-------|----------------------------|------|-----------|--------|-------------------------|-------|----------------------------|------|
| Matching | Period | Mean Group Contribution | | p-value (if $p \leq 0.1$) | Z | Matching | Period | Mean Group Contribution | | p-value (if $p \leq 0.1$) | Z | Matching | Period | Mean Group Contribution | | p-value (if $p \leq 0.1$) | |
| | | NR* | UR** | | | | | NR | UR | | | | | NR | UR | | |
| Partners | 1 | 7.60 | 12.00 | -2.00 | 0.05 | Partners | 1 | 8.60 | 17.20 | -2.63 | 0.01 | Partners | 1 | 8.00 | 16.20 | -2.21 | 0.03 |
| | 2 | 7.20 | 12.20 | -2.12 | 0.03 | | 2 | 9.40 | 18.80 | -2.22 | 0.03 | | 2 | 9.60 | 17.00 | -2.52 | 0.01 |
| | 3 | 8.00 | 12.40 | -1.58 | - | | 3 | 9.60 | 19.40 | -2.66 | 0.01 | | 3 | 8.20 | 17.40 | -2.51 | 0.01 |
| | 4 | 7.80 | 11.00 | -1.05 | - | | 4 | 9.00 | 18.40 | -2.64 | 0.01 | | 4 | 7.80 | 16.60 | -2.11 | 0.04 |
| | 5 | 7.40 | 10.20 | -0.43 | - | | 5 | 8.00 | 17.80 | -2.00 | 0.05 | | 5 | 8.80 | 15.40 | -1.80 | 0.07 |
| | 6 | 7.40 | 11.20 | -1.59 | - | | 6 | 7.20 | 17.40 | -1.79 | 0.07 | | 6 | 7.80 | 14.20 | -1.06 | - |
| | 7 | 6.80 | 9.60 | -1.48 | - | | 7 | 6.80 | 19.00 | -2.65 | 0.01 | | 7 | 6.80 | 13.80 | -1.70 | 0.09 |
| | 8 | 6.80 | 9.80 | -0.84 | - | | 8 | 6.00 | 18.40 | -2.63 | 0.01 | | 8 | 6.00 | 13.00 | -1.26 | - |
| | 9 | 7.00 | 8.00 | -0.32 | - | | 9 | 6.40 | 17.20 | -2.44 | 0.01 | | 9 | 5.00 | 12.00 | -1.16 | - |
| | 10 | 7.00 | 5.20 | 0.97 | - | | 10 | 6.20 | 12.20 | -1.38 | - | | 10 | 5.40 | 8.60 | -1.37 | - |
| Strangers | 1 | 8.80 | 10.00 | -0.11 | - | Strangers | 1 | 6.60 | 9.00 | -0.85 | - | Strangers | 1 | 7.60 | 7.00 | 0.21 | - |
| | 2 | 7.20 | 10.60 | -1.26 | - | | 2 | 5.40 | 8.60 | -1.92 | 0.06 | | 2 | 6.80 | 7.60 | -0.32 | - |
| | 3 | 5.80 | 8.80 | -1.05 | - | | 3 | 4.20 | 5.20 | -0.11 | - | | 3 | 6.40 | 5.20 | 0.84 | - |
| | 4 | 5.00 | 9.60 | -2.21 | 0.03 | | 4 | 3.60 | 4.20 | -0.11 | - | | 4 | 5.60 | 3.60 | 0.96 | - |
| | 5 | 5.80 | 6.60 | -0.53 | - | | 5 | 2.20 | 4.60 | -1.18 | - | | 5 | 3.80 | 2.00 | 1.74 | 0.08 |
| | 6 | 2.40 | 7.60 | -2.02 | 0.43 | | 6 | 1.00 | 2.20 | -1.61 | - | | 6 | 2.60 | 1.60 | 0.76 | - |
| | 7 | 2.60 | 6.80 | -1.89 | 0.06 | | 7 | 1.20 | 2.00 | -0.24 | - | | 7 | 1.60 | 0.80 | 0.57 | - |
| | 8 | 2.80 | 7.20 | -2.00 | 0.05 | | 8 | 1.40 | 1.00 | -0.11 | - | | 8 | 1.60 | 1.20 | 1.27 | - |
| | 9 | 2.20 | 4.20 | -1.49 | - | | 9 | 0.20 | 0.60 | -0.78 | - | | 9 | 1.20 | 0.20 | 1.55 | - |
| | 10 | 1.60 | 2.60 | -0.97 | - | | 10 | 0.00 | 0.40 | -1.50 | - | | 10 | 1.20 | 0.80 | 0.84 | - |

statistically supported only for period 5 (see table 5), these results indicate that when people play with strangers, giving them full information about others' actions unconditionally weakens their motivation to cooperate.

On the other hand, in No Revelation, since non-cooperators can hide their behavior behind others' cooperation, the impact of the Utilization Rebate rule was not lost. Moreover, table 5 shows that subjects became more responsive to the rebate under the strangers-matching rule than in the partners-matching rule.

6.3 Equilibrium Coordination

To see how close group contributions approached any equilibrium in each observational treatment, the difference between group contributions and the nearest equilibrium in each period was measured.¹⁴ The way of determining the closest equilibrium is as follows. If a group contribution was larger than 5 tokens, the group was categorized as focusing on an efficient Nash equilibrium ($\sum_{i=1}^N g_i = 10$), while a group contribution of 5 tokens or less was categorized as focusing on the inefficient equilibrium ($\sum_{i=1}^5 g_i = 0$) (the absolute distance from the nearest equilibrium for each period was calculated). Table 6 shows the results. Contrary to hypothesis 1, any significant difference in the rebate rules was observed in the partners-matching treatments in No Revelation. However, the results for the partners-matching treatments in Voluntary Revelation and Forced Revelation show that there is such a significant difference in most periods. That is, hypothesis 8 is highly supported in these treatments. The significant difference of closeness to a nearest equilibrium at each period level is slightly clearer in Forced Revelation than in Voluntary Revelation. This is natural since subjects could observe others' actions perfectly in Forced Revelation. In the strangers-matching treatments in all sessions, a significant difference was rarely observed (only period 4 and period 5 in Forced Revelation show such a difference), and the outcomes of both the No Rebate rule treatment and the Utilization Rebate rule are nearer to the inefficient equilibrium.

Table 7 presents the statistical analysis on the effect of the announcement stage in Voluntary Revelation using an OLS regression.

It clearly shows that when more people revealed their contributions, groups were able to collect larger contributions. This shows that the act of revelation was not merely cheap talk in any treatment. Figure 7 shows the rate of revelation in Voluntary Revelation. In the strangers-matching treatments, the rate of revelation is lower than in the partners-matching treatments, but in all treatments the rate of revelation is higher than the rate of non revelation. Subjects were particularly motivated to reveal in partners-matching treatments (individual contributions were revealed 90% of the time in Utilization Rebate/Partners). In short, the information on the numbers of people who want to reveal their contributions encouraged people to cooperate most in the Utilization Rebate with partners-matching

¹⁴ This method was developed by Cadsby and Maynes (1998).

Table 6. Comparison of Closeness to the Nearest Equilibrium Between the No Rebate Rule and the Utilization Rebate Rule in Each Session Using Mann-Whitney U test
(*NR=No Rebate **UR=Utilization Rebate)

| No Revelation | | | | Voluntary Revelation | | | | Forced Revelation | | | | | | |
|---------------|-------|--|------|----------------------|-------|--|------|-------------------|-------|--|------|---------|-------|------|
| Matching | Round | Mean Distance from a nearest equilibrium | | Matching | Round | Mean Distance from a nearest equilibrium | | Matching | Round | Mean Distance from a nearest equilibrium | | p-value | | |
| | | NR | UR | | | NR | UR | | | NR | UR | | | |
| Partners | 1 | 2.40 | 3.20 | -0.43 | - | 1.40 | 7.20 | -2.23 | 0.03 | 1 | 2.00 | 6.60 | -1.81 | 0.07 |
| | 2 | 2.80 | 3.40 | -0.67 | - | 1.40 | 8.80 | -1.80 | 0.07 | 2 | 0.80 | 7.00 | -2.23 | 0.03 |
| | 3 | 2.00 | 4.40 | -1.51 | - | 0.40 | 9.40 | -2.66 | 0.01 | 3 | 2.20 | 7.40 | -1.79 | 0.07 |
| | 4 | 2.60 | 4.20 | -0.63 | - | 1.00 | 8.40 | -2.23 | 0.03 | 4 | 1.80 | 7.40 | -2.11 | 0.04 |
| | 5 | 2.60 | 4.60 | -0.87 | - | 1.20 | 8.60 | -2.02 | 0.04 | 5 | 0.80 | 6.60 | -2.66 | 0.01 |
| | 6 | 3.00 | 2.80 | 0.32 | - | 1.60 | 8.20 | -1.38 | - | 6 | 0.20 | 6.60 | -2.60 | 0.01 |
| | 7 | 3.20 | 2.00 | 1.31 | - | 0.80 | 9.00 | -2.34 | 0.02 | 7 | 0.80 | 5.80 | -1.89 | 0.06 |
| | 8 | 2.80 | 3.80 | -0.84 | - | 0.80 | 8.40 | -2.23 | 0.03 | 8 | 0.80 | 5.40 | -1.31 | - |
| | 9 | 2.60 | 2.00 | 0.88 | - | 2.00 | 7.20 | -1.08 | - | 9 | 1.00 | 6.00 | -1.84 | 0.07 |
| | 10 | 1.80 | 0.80 | 0.98 | - | 1.00 | 4.20 | -1.51 | - | 10 | 0.60 | 2.60 | -2.15 | 0.03 |
| Strangers | 1 | 2.00 | 3.60 | -1.34 | - | 3.40 | 3.40 | 0.00 | - | 1 | 2.40 | 2.20 | 0.11 | - |
| | 2 | 2.00 | 3.40 | -1.41 | - | 3.00 | 1.40 | 1.49 | - | 2 | 2.80 | 3.20 | -0.32 | - |
| | 3 | 3.40 | 2.80 | 1.00 | - | 3.80 | 2.80 | 1.34 | - | 3 | 2.40 | 3.20 | -0.97 | - |
| | 4 | 3.80 | 3.20 | 0.86 | - | 2.80 | 2.20 | 0.53 | - | 4 | 2.80 | 0.80 | 2.04 | 0.04 |
| | 5 | 3.40 | 2.60 | 0.86 | - | 1.80 | 1.80 | 0.00 | - | 5 | 3.80 | 2.00 | 1.74 | 0.08 |
| | 6 | 2.40 | 1.60 | 0.75 | - | 1.00 | 2.20 | -1.61 | - | 6 | 2.20 | 1.60 | 0.54 | - |
| | 7 | 2.60 | 1.60 | 0.85 | - | 1.20 | 1.20 | 0.00 | - | 7 | 1.60 | 0.80 | 0.57 | - |
| | 8 | 2.00 | 1.60 | 0.22 | - | 1.40 | 1.00 | -0.11 | - | 8 | 1.60 | 0.80 | 1.27 | - |
| | 9 | 2.20 | 3.80 | -1.18 | - | 0.20 | 0.60 | -0.78 | - | 9 | 1.20 | 0.20 | 1.55 | - |
| | 10 | 1.60 | 2.60 | -0.97 | - | 0.00 | 0.40 | -1.50 | - | 10 | 1.20 | 0.80 | 0.84 | - |

Table 7. Ordinary Least Squares Estimates of Group Contribution by Period in Voluntary Revelation
 Dependent variable : Group Contribution of each period

| Variable | No Rebate / Partners | Utilization / Partners | No Rebate / Strangers | Utilization / Strangers |
|---|-------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Constant | 3.95*** (1.17) | 3.70 (3.21) | 4.12*** (0.97) | 6.69*** (1.24) |
| The number of people who want to reveal their contribution | 1.61*** (0.25) | 3.57*** (0.65) | 0.58*** (0.20) | 0.75** (0.29) |
| Period | -0.44*** (0.11) | -0.38 (0.23) | -0.66*** (0.08) | -0.96*** (0.12) |

Numbers in parentheses are standard errors. i 's announcement = 1 if subject i decided to reveal her contribution, 0 otherwise. * $p < 0.10$; ** $p < 0.05$; *** $p < 0.01$.

treatment. The effect in the No Rebate with partners–matching treatment is second. Even in the strangers–matching treatments, the effect of one more person's decision to reveal her contribution was positive. However, such an impact was much weaker than when they played with the same partners.

6.4 Comparison on Individual Contribution among Three Observational Treatments

Figure 8 shows the distributions of individual contributions in all treatments for all observational sessions. It clearly shows that the focal point of contribution was 2 in the No Rebate / Partners treatment regardless of the degree of observation of others. In the Utilization Rebate / Partners treatment, the most frequent contribution was 0 in No Revelation. However, the most frequent contribution in both Voluntary Revelation and Forced Revelation was 5. In the No Rebate / Strangers treatment, the focal point was clearly a contribution of 0. The frequency of a contribution of 0 was the highest in Voluntary Revelation, the second was Forced Revelation, and No Revelation was the lowest. In Utilization Rebate / Strangers, the focal point was obviously a contribution of 0. The frequency of contribution of 0 was the highest in Forced Revelation, Voluntary Revelation was second, and No Revelation was the lowest. These findings confirm the discussion about group contributions in the previous section that information of individual contributions facilitated the spread of distrust and made people focus on the inefficient equilibrium.

Figure 9 compares individual contributions between revealers and non revealers. In No Rebate / Partners, the range of contributions by revealers was from 0 to 4, while the range of contribution by non revealers was from 0 to 3. The focal point of contribution among revealers was 2. The most frequent contribution among non revealers was 0, but 31 out of 58 non revealers made a positive contribution. None of the subjects contributed 5 tokens throughout the No Rebate / Partners treatment. In the Utilization Rebate / Partners treatment, the focal point of revealers was 5. Although the focal point among non revealers is not so clear, the most frequent contribution was 1 or 2 (8 samples for each). In the No Rebate / Strangers treatment, the focal point of contribution was 0 both among revealers and among non revealers. One interesting observation is that the frequency of a contribution of zero was much higher among revealers than among non revealers in this treatment. On the other hand, a contribution of 2 was the second most frequent contribution among revealers and the frequency of a contribution of 2 was much more than among non revealers. In the Utilization Rebate / Strangers treatment, the focal point of contribution was 0 both among revealers and among non

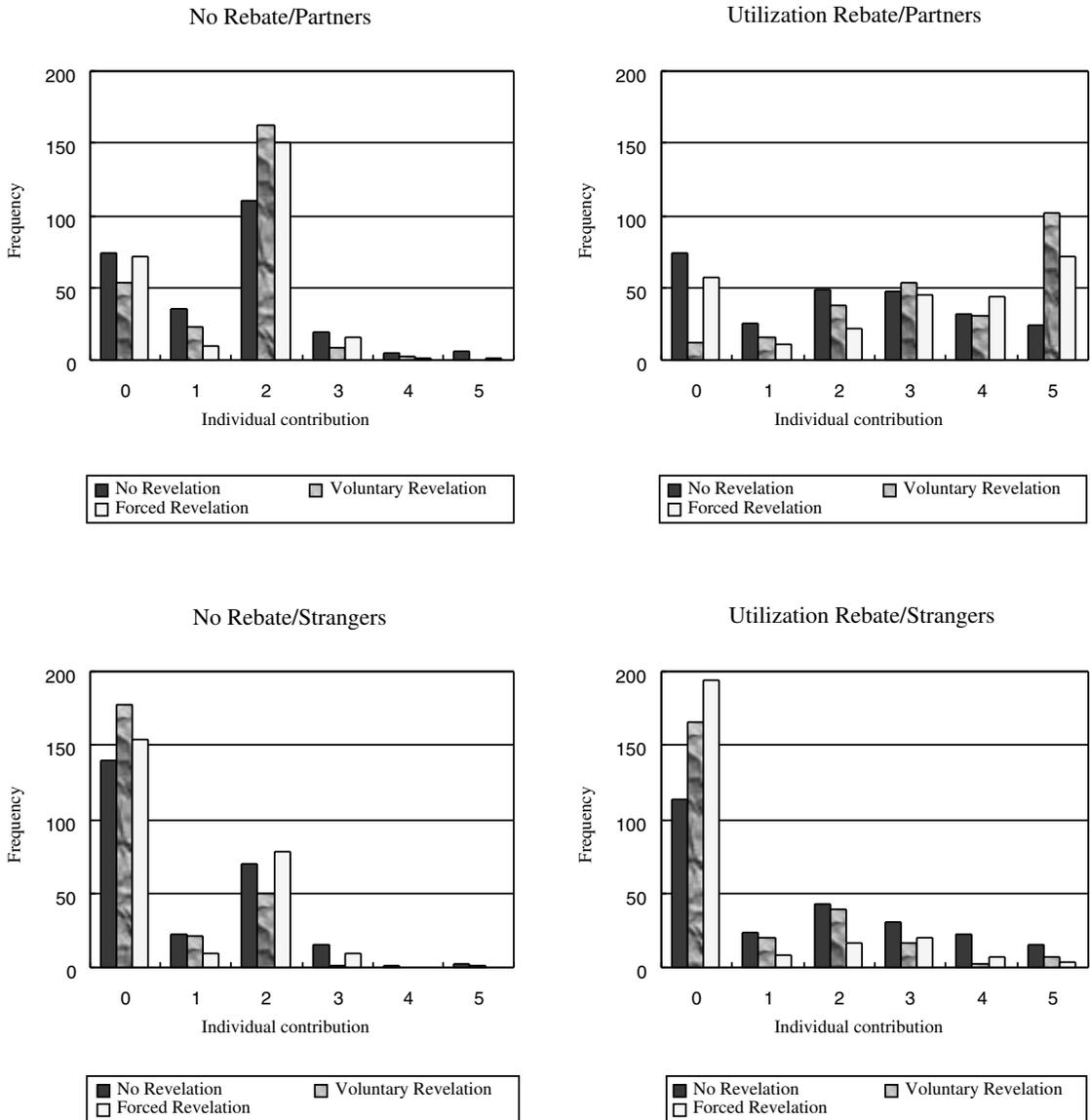


Figure 7. Distributions of Individual Contributions in All Treatments

revealers. Similar to the result of No Rebate / Strangers, the frequency of contribution of zero was higher among revealers than among non revealers, but the difference is not as big as in the No Rebate / Strangers treatment. On the other hand, the frequency of a contribution of 2 was much more among revealers than among non revealers, but the frequency was not as high as in No Rebate / Strangers.

To detect any difference in individual behavior among the three observational treatments, an OLS regression model for individual contributions was estimated for each period.¹⁵ Table 8 presents the results of the partners–matching treatments and Table 9 presents the results of the strangers–matching

¹⁵ This statistical analysis is similar to the analysis in Wilson and Sell (1997).

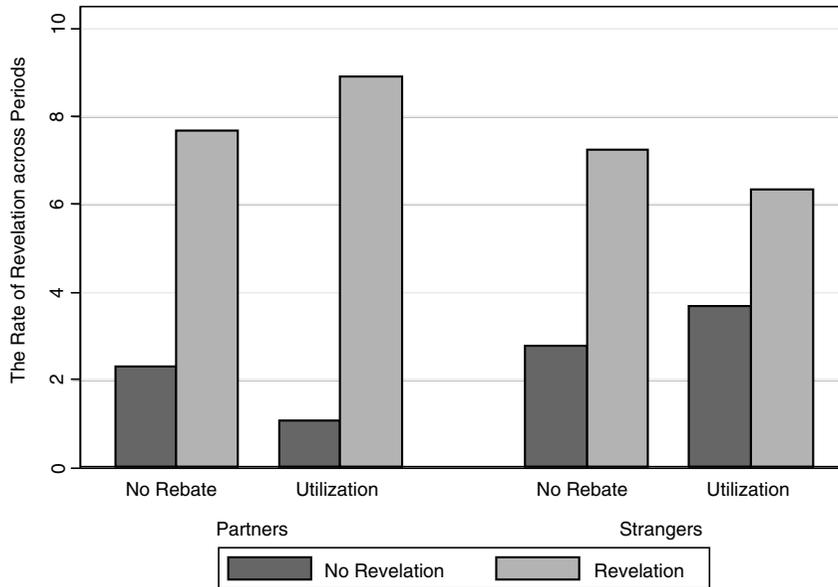


Figure 8. The Rate of Revelation across Periods in Voluntary Revelation

treatments.

The dependent variable is subject i 's contribution in t^{th} period. Independent variables are subject i 's contribution in $(t - 1)^{\text{th}}$ period, the sum of other group members' contributions in $(t - 1)^{\text{th}}$ period, subject i 's revelation announcement (only in the Voluntary Revelation treatment), the number of people who wanted to reveal their contribution, and period.

First look at the result for the No Rebate / Partners treatment (the top panel of table 8). In the results for No Revelation, the coefficients of *constant* and of *i 's contribution in the previous period* are significant ($p < 0.10$, $p > 0.01$, respectively). The coefficient of *Constant* indicates that if other variables are constant, subjects contribute only 0.58 tokens. Although the coefficient of *i 's contribution in the previous period* is positive and significant, subjects contribute only about half of what they contributed in the previous period. Although the coefficient of *the sum of others' contributions in the previous period* is not significant, the value is positive. This indicates that people did not simply focus on the inefficient equilibrium, which was also shown in figure 5. The coefficient of *period* is insignificantly negative, which is also implied in figure 5.

In the results for No Rebate / Partners with Voluntary Revelation, the coefficients of *i 's contribution in the previous period*, *the sum of others' contributions in the previous period*, *i 's revelation announcement* and *period* are significant ($p < 0.05$). The coefficient of *i 's contribution in the previous period* is much smaller than in No Revelation. The value of the coefficient of *the sum of others' contribution in the previous period* is significantly positive, but has a very weak impact on individual contribution decisions. In addition, the coefficient of *the number of people who want to reveal their contribution* is insignificant. Although the OLS estimates of group contributions in table 7 shows that *the number of people who want to reveal their contribution* has a significantly positive impact on group contribution, the results should not be simply interpreted as showing that people

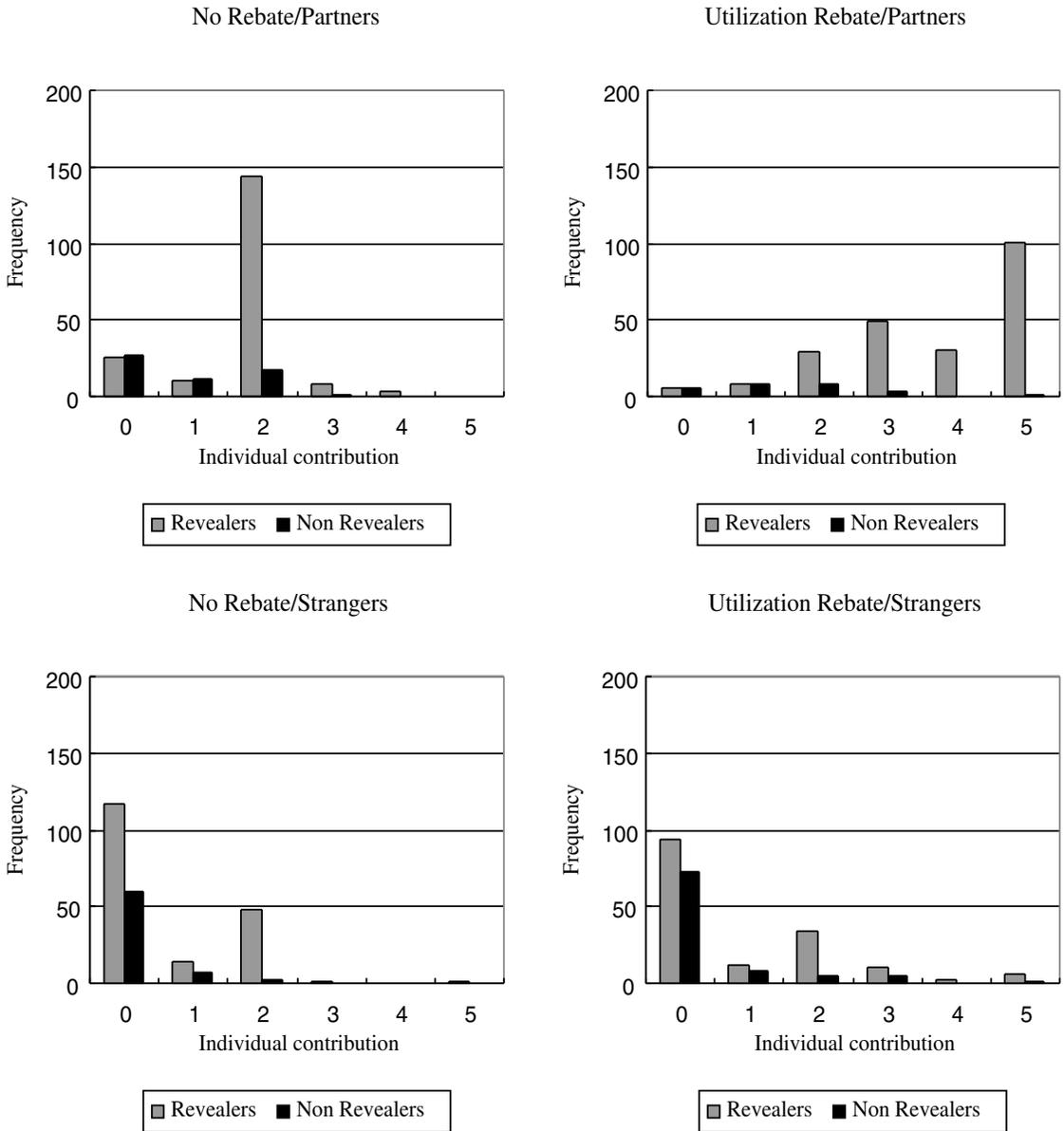


Figure 9. Distributions of Individual Contributions in Voluntary Revelation :
Reveales versus No Revealers

contributed more because more others revealed their contributions. Table 8 indicates that subjects were motivated to commit themselves to making a positive contribution when they decided to reveal their contributions. Therefore, the revelation of individual contributions had a significantly positive impact on group contributions. The value of the coefficient of *period* is significantly negative. This confirms the findings in figure 5 ; that is, less cooperative groups quickly converge toward the inefficient equilibrium.

In the results for No Rebate / Partners with Forced Revelation, both the coefficients of *i's contribution in the previous period* and of *the sum of others' contribution in the previous period* are

Table 8. Ordinary Least Squares Estimates of Individual Contributions to the Public Good by Period in Partners-matching Treatments

No Rebate / Partners

| Dependent variable | Individual contribution in each period | | |
|--|--|-----------------------------|--------------------------|
| <i>Variable</i> | <i>No Revelation</i> | <i>Voluntary Revelation</i> | <i>Forced Revelation</i> |
| Constant | 0.58* (0.31) | 0.19 (0.22) | 0.30 (0.21) |
| <i>i</i> 's contribution in the previous period | 0.52*** (0.06) | 0.24*** (0.07) | 0.35*** (0.06) |
| The sum of others' contributions in the previous period | 0.03 (0.03) | 0.09*** (0.03) | 0.13*** (0.02) |
| <i>i</i> 's revelation announcement | – | 0.50*** (0.13) | – |
| The number of people who want to reveal their contribution | – | 0.08 (0.05) | – |
| Period | –0.01 (0.03) | –0.05** (0.02) | –0.03 (0.02) |

Utilization Rebate / Partners

| Dependent variable | Individual contribution in each period | | |
|--|--|-----------------------------|--------------------------|
| <i>Variable</i> | <i>No Revelation</i> | <i>Voluntary Revelation</i> | <i>Forced Revelation</i> |
| Constant | 0.53 (0.35) | 0.50 (0.35) | 0.61** (0.30) |
| <i>i</i> 's contribution in the previous period | 0.51*** (0.06) | 0.38*** (0.07) | 0.68*** (0.05) |
| The sum of others' contributions in the previous period | 0.09*** (0.02) | 0.14*** (0.02) | 0.05*** (0.02) |
| <i>i</i> 's revelation announcement | – | 0.81*** (0.27) | – |
| The number of people who want to reveal their contribution | – | –0.13 (0.11) | – |
| Period | –0.07* (0.04) | –0.10*** (0.03) | –0.08** (0.03) |

Numbers in parentheses are standard errors. *i*'s announcement=1 if subject *i* decided to reveal her contribution, 0 otherwise. * $p < 0.10$; ** $p < 0.05$; *** $p < 0.01$.

significantly positive. The magnitude of the coefficient of *i*'s contribution in the previous period is less than in No Revelation but greater than in Voluntary Revelation. When there is only one stage in the game (No Revelation and Forced Revelation), subjects have to make decisions without knowing others' intentions. In Forced Revelation, the magnitude of the coefficient of *the sum of others' contributions in the previous period* is larger than in No Revelation and in Voluntary Revelation. This means that when people can observe individual information about what others did perfectly, they react more sensitively to what others (in sum) do. That is, one person's free-riding or cooperative behavior has the strongest impact on others' behavior in Forced Revelation.

Let us focus on the results of Utilization Rebate with partners-matching (the bottom panel of table 8). In the result of No Revelation, all of the coefficients are significant except for the coefficient for *constant*. The magnitude of the coefficient of *i*'s contribution in the previous period in this revelation is almost the same as in No Rebate / Partners with No Revelation. That is, one person's commitment to her own previous behavior did not change according to the two different rebates. The magnitude of coefficient of *the sum of others' contributions in the previous period* is significant, but has a weak impact on individual decision making. The value of coefficient of *period* indicates that the power of Utilization Rebate is not strong enough for all people to keep cooperating repeatedly, which is shown

Table 9 . Ordinary Least Squares Estimates of Individual Contributions to the Public Good by Period in Strangers-matching Treatments

No Rebate / Strangers

| Dependent variable | Individual contribution in each period | | |
|---|--|----------------------|-------------------|
| Variable | No Revelation | Voluntary Revelation | Forced Revelation |
| <i>Constant</i> | 0.36 (0.29) | -0.05 (0.26) | 0.84*** (0.27) |
| <i>i's contribution in the previous period</i> | 0.45*** (0.06) | 0.33*** (0.06) | 0.49*** (0.06) |
| <i>The sum of others' contributions in the previous period</i> | 0.05* (0.03) | 0.06** (0.03) | -0.02 (0.03) |
| <i>i's revelation announcement</i> | - | 0.24** (0.10) | - |
| <i>The number of people who want to reveal their contribution</i> | - | 0.06 (0.04) | - |
| <i>Period</i> | -0.03 (0.03) | -0.03 (0.03) | -0.09*** (0.03) |

Utilization Rebate / Strangers

| Dependent variable | Individual contribution in each period | | |
|---|--|----------------------|-------------------|
| Variable | No Revelation | Voluntary Revelation | Forced Revelation |
| <i>Constant</i> | 0.47 (0.35) | -0.18 (0.32) | 0.60** (0.30) |
| <i>i's contribution in the previous period</i> | 0.59*** (0.05) | 0.48*** (0.05) | 0.40*** (0.06) |
| <i>The sum of others' contributions in the previous period</i> | 0.06** (0.03) | 0.06** (0.02) | 0.02 (0.03) |
| <i>i's revelation announcement</i> | - | 0.29** (0.12) | - |
| <i>The number of people who want to reveal their contribution</i> | - | 0.08 (0.06) | - |
| <i>Period</i> | -0.06* (0.04) | -0.03 (0.03) | -0.07* (0.04) |

Numbers in parentheses are standard errors. *i's announcement*=1 if subject *i* decided to reveal her contribution, 0 otherwise. * $p < 0.10$; ** $p < 0.05$; *** $p < 0.01$.

in figure 5.

The results for Utilization Rebate / Partners with Voluntary Revelation are similar to those in No Rebate / Partners with Voluntary Revelation. The coefficients of *i's contribution in the previous period*, *the sum of others' contributions in the previous period*, *i's revelation announcement* and *period* are significant ($p \leq 0.01$). The magnitude of all the significant variables is larger than in No Rebate / Partners with Voluntary Revelation. Although the coefficient of *the number of people who wanted to reveal their contribution* is insignificant, it is negative. This coefficient and the coefficient of *period* indicate that although subjects achieved high cooperation in this treatment (figure 5), the gravity of free-riding between the threshold level and the full contribution level is too strong for subjects to achieve or keep the full contribution level repeatedly.

In Utilization Rebate / Partners with Forced Revelation, significant variables are *i's contribution in the previous period* and *the sum of others' contribution in the previous period*, similar to the results of No Rebate/Partners with Forced Revelation. However, the strength of commitment to *i's contribution in the previous period* is the highest and the impact of *the sum of others' contribution in the previous period* is the lowest compared to other revelation treatments. This indicates that subjects are willing to commit themselves to their own actions in the previous period but without much regard to what others contributed. However, as figure 5 shows, the impact of the utilization rebate was not strong enough for

all subjects to keep or achieve a high level of cooperation and they decreased their contributions period by period on average.

Let us focus on the results of No Rebate with strangers–matching (the top panel of table 9). Figure 6 shows that results of all the revelations declined toward the inefficient equilibrium. First look at the results of No Rebate / Strangers with No Revelation. The significant coefficients are *i's contribution in the previous period* and *the sum of others' contribution in the previous period*, similar to the results in No Rebate/Partners with No Revelation. The coefficient of *constant* indicates that if other variables are constant, each subject contributes less than in No Rebate / Partners. The strength of commitment for *i's contribution in the previous period* is lower than in No rebate / Partners. On the other hand, the impact of *the sum of others' contribution in the previous period* is significantly positive, but weak.

In No Rebate / Strangers with Voluntary Revelation, the coefficient of *constant* is much smaller than in No Rebate / Partners with Voluntary Revelation (but it is not significant). The significant coefficients are *i's contribution in the previous period*, *the sum of others' contribution in the previous period* and *i' revelation announcement*. The strength of commitment for *i's contribution in the previous period* is higher than in No Rebate / Partners. However, the strength of commitment for *i's revelation announcement* is about half of that in No Rebate / Partners. The impact of *the sum of others' contribution in the previous period* is also weaker than in No Rebate / Partners. These results indicate that subjects were still willing to cooperate with others, but the impact of the revelation announcement was too weak to build a highly cooperative social norm.

In No Rebate / Strangers with Forced Revelation, significant coefficients are *constant*, *i's contribution in the previous period* and *period*. The magnitude of the coefficient of *constant* is the highest compared to other treatments. The strength of commitment for *i's contribution in the previous period* is higher than in No Rebate / Partners. However, the impact of *the sum of others' contributions in the previous period* is negative (but insignificantly). In addition, the coefficient of *period* is significantly negative. These estimates indicate that subjects tried to build trust in the beginning, but they were not sufficiently motivated to cooperate with each other in this treatment.

Finally, let us focus on the results for Utilization Rebate / Strangers. First look at the results of No Revelation. The magnitude of the coefficient of *constant* is slightly lower than in Utilization Rebate / Partners with No Revelation (but insignificantly). The strength of commitment for *i's contribution in the previous period* is slightly higher than in Utilization Rebate / Partners. The impact of *the sum of others' contributions in the previous period* is significantly positive, but weak. As figure 6 indicates, the coefficient of *period* is significantly negative.

In the results for Utilization Rebate / Strangers with Voluntary Revelation, the magnitude of the coefficient of *constant* is the lowest compared to other treatments (but insignificantly). The strength of commitment for *i's contribution in the previous period* is higher than in Utilization Rebate / Partners. The impacts of *the sum of others' contributions in the previous period* and *i's revelation announcement* are significant, but weaker than in Utilization Rebate / Partners (especially *i's revelation announcement*). The effect of *the number of people who want to reveal their contribution* is positive (insignificantly), while it is negative in Utilization Rebate / Partners. These findings also

indicate that subjects were still willing to cooperate with strangers, but their commitment to contribute was weaker than when they played with partners.

In the results of Utilization Rebate/Strangers with Forced Revelation, the magnitude of the coefficient of *constant* is about the same as in Utilization Rebate / Partners with Forced Revelation (significantly). The strength of commitment for *i's contribution in the previous period* is weaker than in Utilization Rebate / Partners. The impact of *the sum of others' contributions in the previous period* is insignificant, but positive. As figure 6 indicates, the coefficient of *period* is significantly negative. These results also show that subjects were less motivated to use a reputation building strategy when they played with strangers.

7. Conclusion

This study examined the effect of information of others' actions on people's cooperative behavior under three observationally different treatments in the context of two threshold public goods games. In the No Revelation treatment, subjects could observe only the sum of contributions of their groups in each period. In the Voluntary Revelation treatment, subjects were allowed to signal whether they wanted to reveal their contribution to other group members after the contribution stage. In the Forced Revelation treatment, subjects had to show their individual contributions every period. To see whether people achieve a mutually better outcome by using a reputation building strategy, they were allowed to play with the same partners every period in one treatment and to play with strangers every period in another. The two threshold public goods games have the same theoretical predictions, but different Pareto outcomes.

One interesting finding of this study is that the content of cheap talk matters. Under the Utilization Rebate rule and when subjects play with the same partners, group contributions in Voluntary Revelation were significantly more than those in No Revelation in most periods. Group contributions in Forced Revelation were also higher than those in No Revelation on average, but such a difference was not significant in any period. The reason for these different results is due to whether people could convey *voluntary* intentions to cooperate before the contribution stage. In the Forced Revelation, people could have read others' intentions by observing their individual past actions. However, numbers did not convey enough information on people's intentions to cooperate.

On the other hand, this sort of effect of observation of others was rarely observed under the No Rebate rule. This finding suggests that observation of others has some impact on people's behavior, but such impact is controlled by what outcome people recognize as socially optimal. In the Utilization Rebate rule, the Pareto efficient outcome is full contribution, while the Pareto efficient outcome coincides with an efficient Nash equilibrium in the No Rebate rule.

Another finding is that offering people the chance to observe others' actions is not socially desirable when people play with strangers. This study showed that people were more cooperative when they did not have information on others' actions than when they did have such information. Moreover, such a tendency was significantly observed more under the Utilization Rebate rule. One reason for these

results lies in how quickly distrust spread in the strangers–matching treatments. In addition, the distrust created in the previous treatment may have spread to the following treatment. Since we ran the No Rebate / Strangers treatment before the Utilization Rebate / Strangers treatment, the distrust created in the No Rebate treatment made subjects more risk averse in the Utilization Rebate treatment, thus canceling out the impact of the rebate.

It is not easy to predict in what reward structure environment people would effectively use a reputation strategy to achieve a socially better outcome. However, the results of this study suggest that an authority or an organization which considers using a threshold public goods game for fund–raising should carefully consider the reward structures and investigate whether the targeted people have opportunities to cooperate with each other repeatedly or not.

(Postdoctoral fellow, Faculty of Economics, Kyoto Sangyo University)

References

- Bandura, A. and R. H. Walters (1963) *Social learning and Personality Development*, Holt, Rinehart and Winston, New York.
- Bolton, G. E. (1991) “A Comparative Model of Bargaining : Theory and Evidence,” *American Economic Review*, 81, 1096–1136.
- Bolton, G. E. and A. Ockenfels (2000) “ERC : A Theory of Equity, Reciprocity, and Competition,” *American Economic Review*, 90, 166–193.
- Cadsby, C. B. and E. Maynes (1999) “Voluntary Provision of Threshold Public Goods with Continuous Contributions : Experimental Evidence,” *Journal of Public Economics*, 71, 53–73.
- Camerer, C. F. (2003) *Behavioral Game Theory*, Russell Sage Foundation, Princeton University Press.
- Croson, R. and M. Marks (2000) “Step Returns in Threshold Public Goods : A Meta– and Experimental Analysis,” *Experimental Economics*, 2, 239–259.
- Duffy, J. and N. Feltovich (1999) “Does Observation of Others Affect Learning in Strategic Environments? An Experimental Study,” *International Journal of Game Theory*, 28, 131–152.
- Dufwenberg, M. and G. Kirchsteiger (1998) “A Theory of Sequential Reciprocity,” Tilburg Center for Economic Research Discussion Paper 9837.
- Falk, A. and U. Fischbacher (1998) “A Theory of Reciprocity,” University of Zurich, IEER Working Paper.
- Fehr, E. and S. Gächter (2000) “Cooperation and Punishment in Public Goods Experiments,” *American Economic Review*, 90, 980–994.
- Fehr, E. and K. Schmidt (1999) “A Theory of Fairness, Competition and Cooperation,” *Quarterly Journal of Economics*, 114, 817–868.
- Fischbacher, U. (1999) “z–Tree – Zurich Toolbox for Readymade Economic Experiments – Experimenter’s Manual,” Working Paper Nr. 21, Institute for Empirical Research in Economics,

University of Zurich, 1999.

- Kreps, D. M., J. D. Roberts, P. Milgrom, and R. Wilson (1982) "Rational Cooperation in the Finitely Repeated Prisoner's Dilemma," *Journal of Economic Theory*, vol. 27, 245–252.
- Ledyard, J. (1995) "Public goods : A Survey of Experimental Research," *Handbook of Experimental Economics*, ed. J. Kagel and A. Roth. Princeton, Princeton University Press, 111–194.
- Marks, M. and R. Croson (1998) "Alternative Rebate Rules in the Provision of a Threshold Public : An Experimental Investigation," *Journal of Public Economics*, 67, 195–220.
- Rabin, M. (1993) "Incorporating Fairness into Game Theory and Economics," *American Economic Review*, 83, 1281–1302.
- Reichard. G. A. (1938) "Social Life," *General Anthropology*, ed. Boas F., Health, Boston.
- Sally, D. (2001) "On Sympathy and Games," *Journal of Economic Behavior and Organization*, 44, 1–30.
- Selten, R. (1991) "Anticipatory Learning in Two-person Games," *Game Equilibrium Models I. Evolution and Game Dynamics*, ed. Selten R., Springer, New York, 98–154
- Selten R. and R. Stoecker (1986) "End Behavior in Sequences of Finite Prisoner's Dilemma Supergames : A Learning Theory Approach," *Journal of Economic Behavior and Organization*, 7, 47–70.
- Wilson, R. K. and J. Sell (1997) "Liar, Liar...," *Journal of Conflict Resolution*, 41, 695–717.

An Experimental Study of Leniency Programs

Yasuyo Hamaguchi, Toshiji Kawagoe

概要

多くの国の反トラスト当局が、経済分析に基づいた適切な競争政策を運用したいと考えている。近年、リーニエンシー制度と呼ばれる反カルテル政策が、カルテルを自発的に解散させる効果があることが、欧米や韓国での実施で知られている。リーニエンシー制度とは、カルテルを行っている企業が、規制当局が捜査に入る前に、自ら関わったカルテル行為を自白し、カルテルを行った他の企業の名前などの情報を当局に提供するならば、課徴金や刑事罰などの罰則を免れるというものである。

本論文では、カルテル・グループの大きさ（2人の場合と、7人の場合）、課徴金減額受けられる企業数（申請者全員あるいは最初の申請者のみ）を実験でコントロールし、それらの要因が、カルテル維持にどのような影響があるのかを検証した。

リーニエンシー制度に関する理論研究の多くは、プレーヤーは、第1ステージで囚人のジレンマ・ゲームをプレーし、第2ステージで、リーニエンシー制度を申請するかどうかを決めるという2段階ゲームになっている。もし、課徴金の額が十分小さく、規制当局の捜査確率が十分低く、そして、この2段階ゲームが繰り返し継続して続く確率が十分大きいならば、すべてのメンバーがカルテルを維持することが均衡の1つとなる。ただ、このような繰り返しゲームには、複数均衡が存在し、全員がリーニエンシー制度を申請し、カルテルが壊れるというケースも均衡の1つである。ナッシュ均衡概念に基づく理論的予想では、均衡状態から1人のプレーヤーが離脱することの誘因があるかどうかを考えるので、カルテル・グループが2人も場合も7人の場合も、カルテルを維持するケースと全員がリーニエンシー制度を申請するケースの両方が均衡となる。

実験結果は、カルテル・グループが2人の場合は、2つの課徴金減免制度のいずれの場合においても共謀は強固に維持された。カルテル・グループが7人のときは、2つの制度のどちらでもカルテル維持は困難であることが分かった。この実験結果から、カルテル・グループの大きさによって、リーニエンシー制度の効果は大きく異なりうることが示された。また、課徴金減免を受けられる企業数については、企業から提供された証拠を処理するコストを考慮するならば、最初の申請者のみが減免を受けられる制度が望ましいことが示唆された。

An Experimental Study of Leniency Programs^{*}

Yasuyo Hamaguchi,[†] Toshiji Kawagoe[‡]

February 17, 2005

Abstract

Antitrust authorities of many countries have been trying to establish appropriate competition policies based on economic analysis. Recently an anti-cartel policy called a “leniency program” has been introduced in many countries as an effective policy to dissolve cartels. In this paper, we studied several kinds of leniency programs through laboratory experiments. We experimentally controlled for two factors: 1) cartel size: the number of cartel members in a group, small (two-person) or large (seven-person), 2) schedule of reduced fine: the number of firms that are given reduced fines. The experimental results showed that (1) an increase in the number of cartel members in a group increased the number of cartels dissolved, (2) changing the coverage of reduced fine had no significant effect both in two-player case and in seven-player case.

JEL Classification: C92, D43, K21, K42

Keywords: Leniency programs, Cartels, Collusion, Antitrust law, Experiment

^{*} This research was partially supported by the Ministry of Education, Science, Sports and Culture, Grant-in-Aid for Young Scientists (B) and Research Institute of Economy, Trade and Industry. The views expressed here are the personal views of the authors and do not reflect those of the institutions to which they belong. The names of the authors are listed in alphabetical order.

[†] Kyoto Sangyo University, Motoyama, Kamigamo, Kitaku, Kyoto, 603-8555, Japan; E-mail: yhamagu@cc.kyoto-su.ac.jp

[‡] Future University - Hakodate, 116-2 Kameda Nakano-cho, Hakodate, Hokkaido, 041-8655, Japan; E-mail: kawagoe@fun.ac.jp

1. Introduction

Cartels, collusions among competing firms, harm the social welfare of consumers by restricting competition in markets. Such market restrictions include entry barriers, market-dividing activities, price fixing, and volume controlling. The major role of antitrust authorities (referred to hereafter as AA) is to restrain cartels. For example, the Japan Fair Trade Commission (JFTC) made recommendations for 15 cases of price fixing cartels and bid riggings in fiscal year 2003. Surcharge orders, which are legal means to confiscate excessive profits created by cartels, were imposed on 468 firms and the total amount of the surcharges amounted to 3.9 billion yen in fiscal year 2003. Between fiscal years 1994 and 2003, JFTC took formal actions in 279 cases with a total of 5798 firms. An international trend is one of strengthening fines and surcharges. For example, JFTC submitted a major amendment to the Japanese Antimonopoly Act to the Diet in 2004. The essential features of the revisions are that the basic surcharge rate shall be increased from 6% to 10% and that a leniency program shall be introduced to the surcharge system.¹ Lowe describes EU's future fine policy as follows:

The trend is clearly one of increasing fines, in order to achieve a genuine dissuasive effect on firms. In 2001, the heaviest individual fine yet, 462 million euros, was imposed against Hoffman-LaRoche in the *Vitamins* case. In 2002, the second highest amount ever, 250 million euros, was imposed against Lafarge for its participation in the *Plasterboard* cartel. Other significant fines were those imposed on the BPB, also in *Plasterboard*, 139 million euros and 118 million

¹ According to the JFTC's annual reports. A formal action means recommendations or surcharge payment orders without cease and desist orders preceding.

euros for Degussa for its role in the *Methionine* conspiracy.²

In order to raise the probability of detecting cartels, the leniency program has been implemented in many countries, such as the EU, the US, Canada, Australia, Korea. They have proven that the program is a very effective device to detect cartels. In the EU, between 1996 and 2002, more than 80 firms cooperated with the EC Commission under the leniency scheme and out of a total of 24 decisions imposing fines, firms in 17 cases cooperated with the Commission under the leniency scheme.³ That is, the number of cartels caught has increased dramatically under the leniency program.

A typical leniency program is carried out in the following way. If a member of a cartel group resigns from the cartel and reports himself to the AA with sufficient evidence of his cartel activity sooner than other cartel members, then his firm will be given full leniency and will be exempted from paying a fine at all. Many countries' AAs give "moderate leniency" (reduced fine) to firms that were not the first reporters so that the authorities can get more hidden cartel information from those cartel members, too. By introducing the program, cartel members might compete with each other to reveal the evidence of their illegal activity to the AA to get the highest leniency. If this is true, then the leniency program has the advantage of increasing the probability of finding cartel activities without increasing enforcement costs.

Although there are some theoretical studies on various kinds of leniency programs using repeated game theory (e.g. Motta and Polo (2003), Hinloopen (2002)), to our knowledge, Apesteguia et al. (2003) is the only paper based on laboratory experiments.

Hinloopen (2002) theoretically analyzed European style leniency programs. In the

² See Lowe (2003).

³ See Monti (2002).

European style leniency programs, a fine is considered to be proportional to gross annual sales of a firm (maximum fine up to 10% of total sales). Hinloopen showed that it is highly unlikely for a cartel member to report information to the AA unless the probability of detection and/or a fine are unrealistically high. Brisset and Thomas (2002) obtained very similar results in the simplified first price auction settings.

Compared with the European leniency program, Spagnolo (2000) proved that courageous leniency programs, which give reward to self-reporting firms, may deter collusion completely and costlessly.

Apestequia et al. (2003) investigated leniency programs in a one-shot Bertrand competition framework theoretically and experimentally. They compared several variations of leniency programs including courageous leniency program proposed by Spagnolo, and found that the rate of cartel formation was the highest in the case that a reward was provided for the action of reporting, which contradicts the theoretical predictions.

In this paper, we also studied the enforcement of competition policy against collusion under two kinds of leniency programs in laboratory settings. Since only unilateral deviations from the equilibrium are to be considered according to the Nash equilibrium concept, the equilibrium predictions in the two-person game models used in previous studies can be applied to the case where the game consists of more than two players, and the case where the coverage of reduced fine is limited only to the first reporting firm. However, we are not sure whether these predictions are true in real situations. If every firm involved in a cartel activity can give legally sufficient cartel information to the AA, the cartel can be dissolved easily just by prosecuting one firm. That might make each cartel member rely less on collusion as the number of cartel

members increases. In addition, cartels might be dissolved much faster with the leniency program than without it, since if a firm reports the cartel information to the AA, they can avoid a considerable fine when the cartel is detected by the AA. Furthermore, such a deviation from collusion could be accelerated if only the first reporting firm can avoid the fine and others get a penalty.

To investigate these institutional design issues, we must consider what are the crucial variables that the AA can manipulate to prevent firms from forming cartels. The variables the AA can control but firms can not are the probability of investigation and the level of the surcharge or fine. Those variables can influence the incentive of firms for cartel formation greatly. If the probability of being caught and the fine are very low (or high), firms believe that the expected profits that they could gain from the cartel would be greater (or smaller) than the expected losses from being caught.

Based on the considerations above, we experimentally controlled the following two factors to compare several institutional designs of leniency programs in a simplified oligopoly market:

- (1) Cartel group size: the number of cartel members in a group is either small (two members) or large (seven members),
- (2) The schedule of reduced fine: the number of firms that are given reduced fines is either only the first reporter or all firms that report the cartel information.

The model in our experiments is as follows. First, the probability of being investigated by the AA is common knowledge among firms. Each cartel member colludes in an N-person prisoners' dilemma game first, and then, they voluntarily and

independently decide whether or not to report the cartel information to the AA. If at least one player in a group reports the information, then their collusion in the prisoners' dilemma is revealed to the AA with certainty, and all but the players who reported the information suffer the full fine (F), and the players who reported the information suffer only a reduced fine ($R (< F)$). Even if no one in a group reports the cartel information, the collusion is detected by the AA with the probability (p), and every member of the group suffers the full fine if the collusion is detected.

Although it is very important to investigate whether people would collude in the beginning under the leniency programs, the issue we deal with here is limited only to how the leniency program works under the situation where firms already collude with each other.⁴ To make our subjects understand that sustaining a cartel is the most profitable for them, they experienced the mutually cooperative outcome of the prisoners' dilemma game for a sufficient number of periods. Then, we ran two treatments with leniency programs.

The experimental results showed that (1) the large size cartel is more easily dissolved than the small size cartel; (2) the schedule of leniency (all reporters can get leniency or only the first reporter can) does not affect the likelihood of cartel formation. The organization of the paper is as follows. The theoretical model we used in our experiment is explained in the next section. Our experimental design and procedures are explained in section 3, and experimental results are discussed in section 4. Finally, conclusions are given in section 5.

⁴ There is a vast number of experimental studies on the prisoners' dilemma. Whether people are cooperative or not in the game is not the issue we deal with here. What we focus on in this study is whether firms which already commit themselves strongly to a cartel activity would really use the leniency program or not.

2. Model

In our experiment, we used the following two-person prisoner's dilemma repeated game as a baseline game that represents a simple oligopoly market. Table 1 shows the payoff matrix. The N-person case is analogous to the two-person case.

Table 1 is here

In the prisoner's dilemma game, each player receives π_C when they mutually cooperate (play Cooperate) and π_D when they mutually defect (play Defect). The player who defects receives π_{DC} when the counterpart cooperates and the counterpart receives π_{CD} . The condition, $\pi_{DC} > \pi_C > \pi_D > \pi_{CD}$, guarantees that mutual defection is the only equilibrium (the dominant strategy) in the one-shot game.

Now we introduce the leniency program into the baseline game above by introducing the antitrust authority (AA). The AA investigates each player to find evidence of collusion. We assume that the AA monitors each player with probability, p . When the AA discovers evidence of collusion, both players suffer the full fine, F . If the leniency program is available to the players, each player can report voluntarily and independently the collusion information to the AA. If one player reports the information, the other player suffers the full fine, F , and the player who reported suffers a reduced fine, $R < F$. Once the collusion is detected, both players fall under the AA's control, and they are not allowed to collude anymore.

In our experiment, all players were forced to mutually collude with each other in the first stage of the prisoner's dilemma game. Then they decided voluntarily and

independently whether they would like to report the collusion information to the AA or not.

Let us consider the incentive conditions for sustaining the collusion. Although all players are forced to collude in the first stage (prisoners' dilemma game) in our settings, we explain the incentive structure including the case that players can defect in the first stage. There are two kinds of deviations from mutual cooperation. One is a deviation in the first stage (not colluding) and the other is a deviation in the second stage (reporting the collusion information to the AA). We assume that both players employ the following trigger strategy: each player maintains collusion (first stage and second stage) as long as the other player does so. However, if one player deviates from the collusion either in the first stage or in the second stage, the other player will never collude with that player again. Based on this trigger strategy, we can calculate the expected payoffs for four possible strategies: (1) colluding and not reporting, (2) colluding and reporting, (3) not colluding and not reporting, (4) not colluding, and reporting. We can examine what the incentive conditions are for sustaining the collusion in an ordinary repeated game analysis. In the following discussion, we examine whether a player has an incentive for unilateral deviation by comparing expected payoffs of the four cases above under the condition that his counterpart chooses the strategy of colluding and not reporting.

(1) The expected payoff for the colluding and not reporting strategy (π_{CNR})

In this case, a player does not defect in both the first stage and the second stage. However, if the pair is investigated by the AA with probability p , both players suffer the full fine F and they can not collude again any more in all the periods thereafter. On the

other hand, if the pair is not investigated by the AA (the probability= $(1 - p)$), they can continue to collude in the next period, too. Therefore, the expected payoff for this strategy with the discount factor $\delta(0 < \delta < 1)$ is as follows.

$$\begin{aligned} \pi_{CNR} &= p[(\pi_C - F) + \delta \cdot \pi_D + \delta^2 \cdot \pi_D + \dots] + (1 - p) \cdot [\pi_C + \delta \cdot \pi_{CNR}] \\ &= p \left[(\pi_C - F) + \frac{\delta \cdot \pi_D}{1 - \delta} \right] + (1 - p) \cdot [\pi_C + \delta \cdot \pi_{CNR}]. \end{aligned}$$

Rearranging,

$$\pi_{CNR} = \frac{p}{1 - \delta + p\delta} \left[\pi_C - F + \frac{\delta \cdot \pi_D}{1 - \delta} \right] + \frac{1 - p}{1 - \delta + p\delta} \pi_C \dots \dots \dots (1)$$

(2) The expected payoff for the colluding and reporting strategy (π_{CR})

In this case, a player defects in the second stage. Even if the pair is investigated by the AA, the defecting player receives a reduced fine, R, while the other player suffers the full fine, F. The pair can not collude in all the periods thereafter. Therefore, the expected payoff with the discount factor $\delta(0 < \delta < 1)$ in this case is as follows.

$$\pi_{CR} = (\pi_C - R) + \delta \cdot \pi_D + \delta^2 \cdot \pi_D + \dots = (\pi_C - R) + \frac{\delta \cdot \pi_D}{1 - \delta} \dots \dots \dots (2)$$

(3) The expected payoff for the not colluding and not reporting strategy (π_{NCNR})

In this case, no collusion occurs. Therefore, the expected payoff in this case is as

follows.

$$\pi_{NCR} = \pi_{DC} + \delta \cdot \pi_D + \delta^2 \cdot \pi_D + \dots = \pi_{DC} + \frac{\delta \cdot \pi_D}{1 - \delta} \dots \dots \dots (3)$$

(4) the expected payoff for the not colluding and reporting strategy (π_{NCR})

In this case as well, no collusion occurs. Therefore, the expected payoff is the same as equation (3).

$$\pi_{NCR} = \pi_{DC} + \delta \cdot \pi_D + \delta^2 \cdot \pi_D + \dots = \pi_{DC} + \frac{\delta \cdot \pi_D}{1 - \delta} \dots \dots \dots (4)$$

From the all the calculations above, $\pi_{CNR} \geq \pi_{CR}, \pi_{NCR}, \pi_{NCR}$ are the necessary and sufficient conditions for each player to sustain the collusion (colluding and not reporting) if the other player also chooses the same strategy. In our experimental setting, π_{CNR} equals about 157, π_{CR} equals about 115, π_{NCR} and π_{NCR} equal about 140. Since only unilateral deviation from equilibrium is considered according to the Nash concept, these conditions can be applied to not only the game which consists of two people but also the game which consists of more than two people. In addition, the conditions can be applied to the case that the schedule of coverage of reduced fee is limited to only the first reporting player.

In our experiments, we set the parameters so as to satisfy the condition that sustaining the collusion is an equilibrium. Therefore, in our experiment, we can expect subjects to use the colluding and not reporting strategy in both two-person and

seven-person cases.⁵ The following is the first null hypothesis to be investigated in our experiment.

Hypothesis 1: The colluding and not reporting strategy is observed in the two-person case as frequently as in the seven-person case.

In the previous theoretical literature, only two-person games are considered. Under the leniency program, however, one may expect that the larger the number of colluding members, the larger the probability that at least one member of the group deviates from the collusion, even if such a probability for each member is small. Further, such a deviation from the collusion could be accelerated if only the first member who reports the collusion information is given a reduced fine because each player may rush to get a reduced fine. To pursue such an institutional design issue, we compared different schedule types of reduced fine. One schedule is that only the first reporter can get a reduced fine. The other schedule is that all members that report the collusion information are given a reduced fine. Therefore, the next null hypothesis is as follows.

Hypothesis 2: The rate of collusion is not significantly different between the case that only the first reporting player is given a reduced fine and the case that all reporting players are given a reduced fine.

⁵ These incentive conditions cannot exclude other equilibria. Our game can be reduced to a kind of stag-hunt game in which both “colluding and reporting” and “colluding and not reporting” are equilibria. We set payoffs in the first stage prisoner’s dilemma game so that not reporting is a payoff-dominant *and* risk-dominant equilibrium and reporting is not a risk-dominant equilibrium. Therefore, colluding and not reporting is considered as a plausible equilibrium in our experiment.

Based on this theoretical model and these behavioral hypotheses, we conducted a series of experiments. The details of the experiments are explained in the next section.

3. Experiments

Four sessions were conducted at Kyoto Sangyo University in 2004. One session is for the case with two player groups and three sessions were for the case with seven player groups. In each session, three treatments were ran sequentially. The first session consisted of eight periods of prisoners' dilemma game to make subjects understand that sustaining collusion is the most profitable outcome (players had to collude). Each treatment of the following two treatments consisted of five games that include various numbers of periods (each game was continued with probability of 0.8). Twenty eight subjects participated in each session (fourteen groups for the session of two-person groups and twelve groups for the three sessions of seven-person groups). Subjects were paid individually in cash according to their experimental results. No subject participated in more than one session. Our experimental subjects were recruited from various majors at Kyoto Sangyo University.

The experimental procedures were programmed and conducted on z-Tree (Fischbacher (1999)) with computers with a network connection. Subjects were randomly assigned to a booth with partitions in front and on both sides of the desk in the laboratory. It was impossible for them to make direct contact, i.e., by talking, making eye contact, with other subjects during the session.

The instructor distributed the written instructions to the subjects and read them aloud to make all the parameters and rules of the experiment common knowledge

among subjects.⁶ To make subjects understand the instructions clearly, practice periods were run before the actual experiment started.⁷ Before the actual session started, subjects practiced clicking their mouses according to the experimenter's directions to get used to how to manipulate the computers and how to understand the information shown on the screen for their decision making. They were not allowed to make any free decisions until the actual period started. Table 2 summarizes all the treatments.

Table 2 is here

At the beginning of each session, subjects were told that they were going to experience three kinds of treatments and the result of the first treatment would be paid for certain but only one of the results of the other two treatments would be paid by choosing one of them by lottery at the end of all three treatments. The experimenter read the instructions for each treatment at the beginning of each treatment, so subjects were not aware of the details of each treatment until just before the treatment began. Therefore, there was no incentive for subjects to sacrifice their profits in one treatment in order to make higher profits in a later treatment.⁸ All subjects were restricted to colluding in the first stage in the second and third treatments. In the second stage of the treatments, they decided whether to report the colluding activity to the AA. At the end of each period, individual decisions of intra-group members were revealed to each

⁶ The experiment instructions are available upon request.

⁷ A practice treatment was run before the second and the third treatments since the first treatment is not complex at all.

⁸ However, since subjects could learn how cooperative others are in the second treatment, the result in the third treatment is not completely independent from the result of the previous treatment in a rigorous sense. We assume they can be treated as independent data in our analysis.

player, plus whether the collusion activity in their group was found by the AA or not.⁹ However, the identities of subjects and where they sat were kept confidential to guarantee anonymity among subjects.

The second treatment was the case that all players who report the information could get a reduced fine. In this treatment, subjects played with the same group members for five sessions in sequence.

The third treatment was the case that only the first player who reported the information could get a reduced fine. As in the second treatment, subjects played with the same partner (two-person group case) or same group members (seven-person group case) for five sessions in sequence. Within each session, the number of repetitive periods was not known beforehand since each session was ended with probability of $\delta = 0.8$.

All sessions lasted about two hours. During the experiments, subjects' earnings were represented by points. They were told in the instructions that one point would be exchanged for five yen at the end of the experiment. The average payment for subjects in the two-person group experiment was 4,972 yen (about 45 US dollars), and the average payment in the seven-person group experiment was 3,490 yen (about 32 US dollars) approximately.

4. Results

⁹ We did not tell subjects that the experiment was about anti-cartel policy. Instead of telling them that a cartel formation of their group was discovered by the AA, we simply told them that their group had drawn a payoff reduction lottery. We did not use any terms such as cooperation, defection, reporting and not reporting, but more neutral terms, such as A or B (in the first stage), choose C or D (in the second stage).

To verify the two hypotheses described at the end of section 2, we estimated the following logistic regression model by using data pooled from the two-person and seven-person cases.

$$Pr ob(Dissolve = 1) = F[\beta_0 + \beta_1 \cdot Group + \beta_2 \cdot Leniency + \beta_3 \cdot Game] \dots\dots\dots(5)$$

Dissolve is a response variable, which is 1 when at least one group member deviates from the collusion and 0 otherwise. *Group* is a dummy variable, which is 1 for the seven-person case and 0 for the two-person case. *Leniency* is a dummy variable, which is 1 when all who report are given reduced fines and 0 when only the first player who reports is given a reduced fine. *Game* is the number of games, and *F* is a logistic function. The estimated coefficients and other statistical information are shown in Table 3.

Table 3 is here

From Table 3, one can see that the coefficients for *Constant*, *Group* are significant ($p < 0.10$). The coefficient of *Group* is significantly positive, which indicates that the rate of cartel dissolution is significantly higher in the seven-person case than in the two-person case. Hence, Hypothesis 1 is rejected. The coefficient for *Leniency* is not significant, which means that the schedule of leniency does not have a strong impact on people’s behavior in our experimental parameters. Hence, Hypothesis 2 is not rejected. From this result, we can conclude that limiting the number of firms which can enjoy the leniency program does not have significant impact on the ability of collusive firms to

maintain their collusion. The main results of our experiments are summarized below.¹⁰

Result 1: The (colluding and) not reporting strategy was observed more frequently in the two-person case than in the seven-person case.

Result 2: The rate of cartel dissolution was not significantly different between the case that only the fastest reporter can use the leniency program and the case that all reporters are allowed to use the program.

Besides these results, one can ask whether or not subject behaviors changed from game to game. Subjects could have gained enough experience and could have become familiar with our experimental environment as the games proceeded. The coefficient of *Game* is not significant, which means that there was no particular tendency or decay of collusion across games.

Figure 1 and Figure 2 show the time series data for the number of the groups sustaining collusion during the sessions in the two-person case session, and Figure 3-8 show the similar graphs for the seven-person case sessions.

Figure 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 are here

5. Conclusions

We studied two kinds of leniency programs through laboratory experiments. It is

¹⁰ These results were confirmed by a chi-square test of independence.

expected that the larger the group, the larger the probability of cartel dissolution will be. In addition, the deviation from collusion could be accelerated if only one firm is given a reduced fine.

Based on the predictions above, under a simplified oligopoly market, we experimentally controlled the following two factors to compare several institutional designs of leniency programs; 1) group size: the number of members in a group, small group (two members) or large group (seven members), 2) schedule of reduced fine: only the first reporter of cartel information is given a reduced fine, or all reporters are given reduced fines.

The experimental results showed that (1) the larger the number of cartel members in a group is, the weaker their ability to maintain the collusion is, and (2) changing the schedule of reduced fine does not have a significant impact on firms' ability to maintain collusion: limiting the number of firms which can enjoy leniency does not make people rush to dissolve their collusion by reporting.

We can provide several policy implications from our experimental findings. Although there was no significant difference between the two leniency programs in the number of groups which dissolved their collusion, the leniency program which allows only the first reporter to get the reduced fine might be a better policy if we consider that the administrative cost to deal with all reporters is not trivial. The average size of a cartel in the real world consists of about six firms. Therefore the seven-player case in our experiments nearly corresponds to the real-world situation. We found that under the two leniency programs, most seven-member groups easily terminate their collusion. Therefore, we can predict that the leniency program could be fairly effective for regular

size cartel groups in reality.¹¹ However, we did not run experiments for the situation without the leniency programs. By comparing the current results with the results without the leniency program, we can predict more precisely the power of leniency programs. In addition, the effect of changing the amount of a fine has not been investigated in this study. Hence, it is our future task to examine how severe a penalty is appropriate to prevent cartel formation.

¹¹ Leniency programs set up in the European Union in 1996 achieved some notable successes in prosecuting cartels. (see European Union's Official Journal Legislation (OJL) (98 . 1.21~03 . 12.16)) From data of 31 cartels prosecuted between January 21, 1998 and December 16, 2003 we can obtain that the average number of firms forming a cartel is about six and by applying leniency programs the fines for cartel members are reduced by 10% to 100% according to evidence brought to AA.

References

- Apestegua, J., M. Dufwenberg and R. Selten (2004): "Blowing the Whistle," mimeo.
- Brisset, K. and L. Thomas (2002): "Leniency Program: A New Tool of the Competition Policy to Deter Cartel's Activity," mimeo.
- Fischbacher, U. (1999): "z-Tree: A Toolbox for Readymade Economic Experiments," Working Paper No. 21, University of Zurich.
- Hinlopen, J. (2002): "The Effectiveness of Leniency Programs under European Style Antitrust Legislation," mimeo.
- The Japan Fair Trade Commission's Annual Reports between 1994 and 2004.
- Lowe, P. (2003), "What's the Future for Cartel Enforcement," presented at the Conference for Understanding Global Cartel Enforcement at Brussels, February 11.
- Monti, M. (2002), "The Fight Against Cartels," summary of the Talk by Mario Monti to EMAC, September 11.
- Motta, M. and M. Polo (2003): "Leniency Programs and Cartel Prosecution," *International Journal of Industrial Organization*, 21(3), 347-379.
- Spagnolo, G. (2000): "Optimal Leniency Program," mimeo.

Table 1. Two-person prisoner's dilemma game

| | | Player 2 | |
|----------|-----------|----------------------|----------------------|
| | | Cooperate | Defect |
| Player 1 | Cooperate | π_C, π_C | π_{CD}, π_{DC} |
| | Defect | π_{DC}, π_{CD} | π_D, π_D |

(Note) $\pi_{DC} > \pi_C > \pi_D > \pi_{CD}$.

In our experimental setting, $\pi_C = 40, \pi_{CD} = 10, \pi_{DC} = 60, \pi_D = 20$.

Table 2. Treatment details

| | Sessions | |
|-------------------------------------|--|--------------------|
| | Two-person group | Seven-person group |
| Treatment 1 | No leniency programs | |
| Treatment 2 (5 games) | All players can get reduced fines | |
| Treatment 3 (5 games) | Only the first player can get a reduced fine | |
| Total subjects | 28 | 84 |
| The number of groups (each session) | 14 | 4 |
| Fines (F: fine, R: reduced fine) | F=40, R=5 | |
| Discount factor | $\delta = 0.8$ | |

(Note) Discount factor means the probability that each game is continued. Subjects were told that each period in each game would be continued with probability of 0.8.

Table 3. Logistic regression on cartel dissolution

| Dependent variable: Dissolve (if a cartel is dissolved =1, otherwise=0) | | | | |
|---|--------------|-----------|-------|------|
| Number of observation =260, Log likelihood =-112.23829 | | | | |
| Variable | coefficients | Std. Err. | z | p |
| Constant | -1.24 | 0.45 | -2.78 | 0.01 |
| <i>Group</i> (two = 0, seven = 1) | 3.41 | 0.35 | 9.75 | 0.00 |
| <i>Leniency</i> (only the first one = 0, all ones = 1) | 0.18 | 0.34 | 0.51 | 0.61 |
| <i>Game</i> | -0.15 | 0.12 | -1.20 | 0.23 |

(Note) We simply assumed those groups whose cartels were dissolved by lottery could have maintained their collusion if they did not draw the payment reduction lottery, which means that the anti-trust agency investigated those firms.

Figure 1. Time series of the number of collusive groups when all players who report get reduced fines (two-person case)

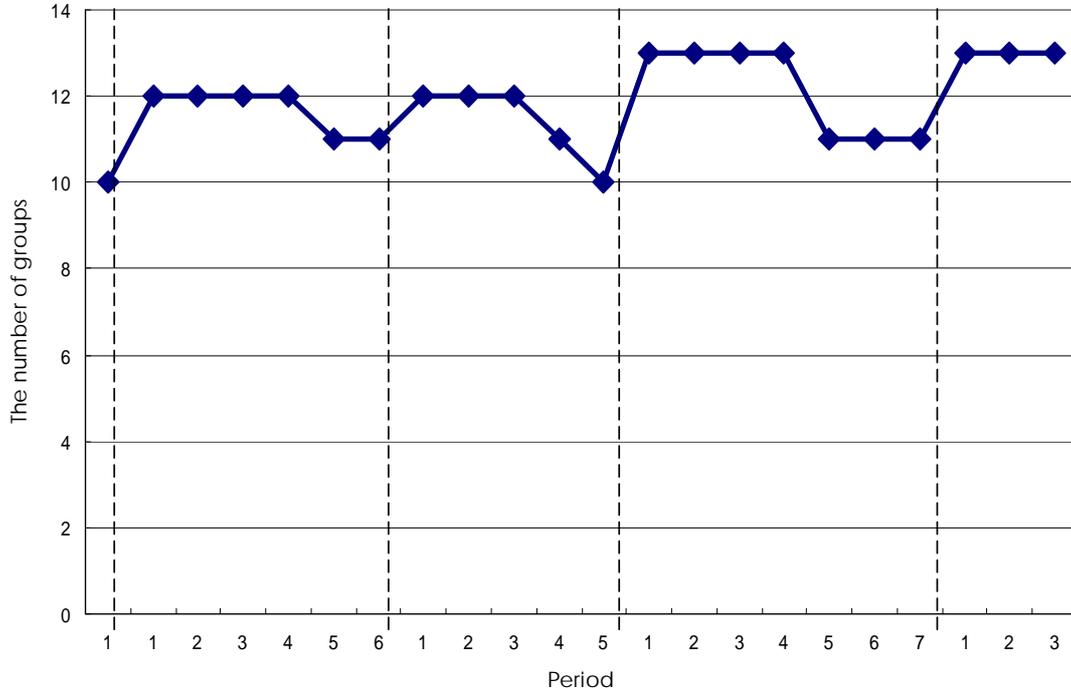


Figure 2. Time series of the number of collusive groups when only the first player who reports gets a reduced fine (two-person case)

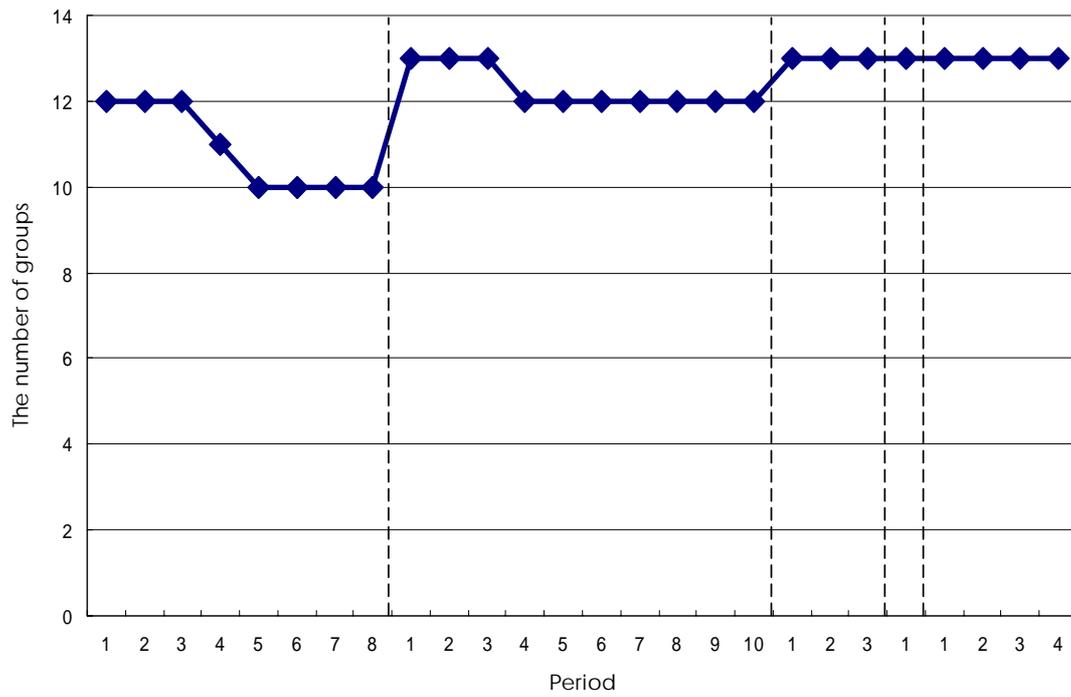


Figure 3. Time series of the number of collusive groups when all players who report get reduced fines (seven-person case) -session 1

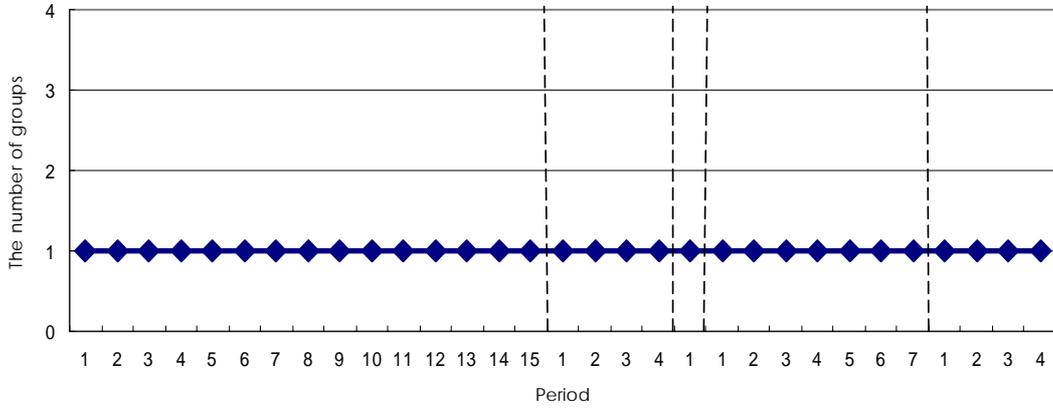


Figure 4. Time series of the number of collusive groups when all players who report get reduced fines (seven-person case) -session 2

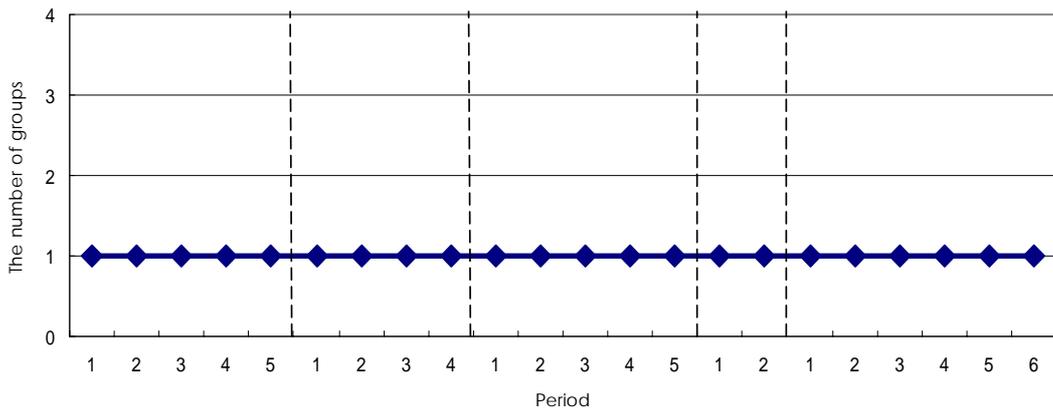


Figure 5. Time series of the number of collusive groups when all players who report get reduced fines (seven-person case) -session 3

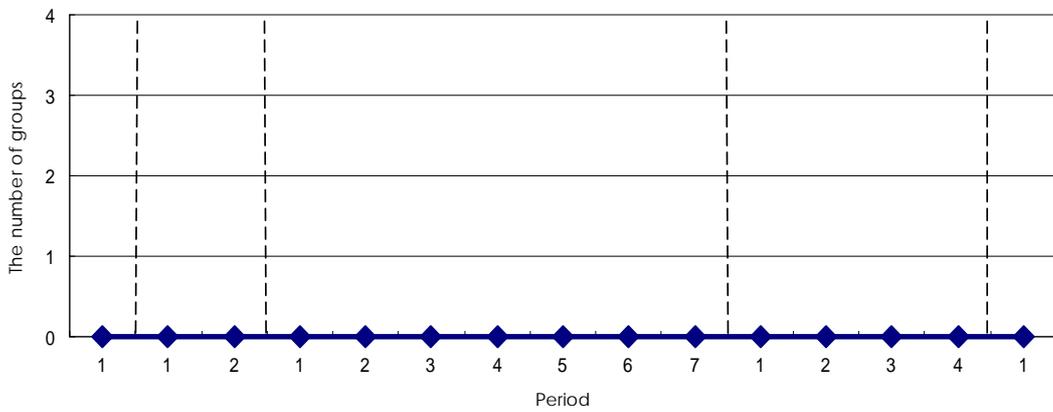


Figure 6. Time series of the number of collusive groups when only the first player who reports gets a reduced fine (seven-person case) -session 1

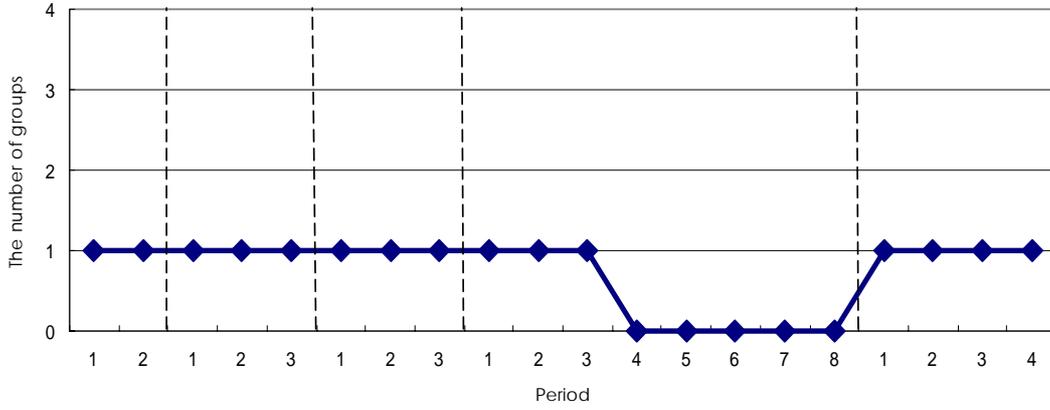


Figure 7. Time series of the number of collusive groups when only the first player who reports gets a reduced fine (seven-person case) -session 2

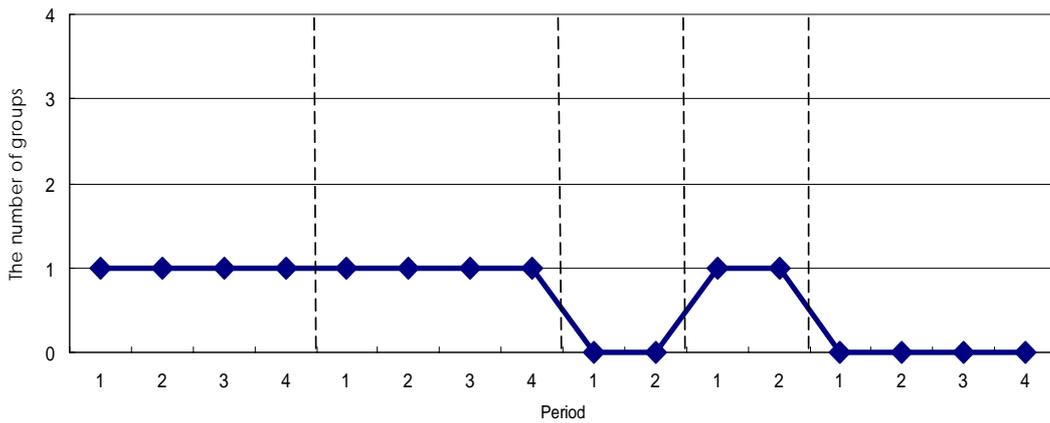
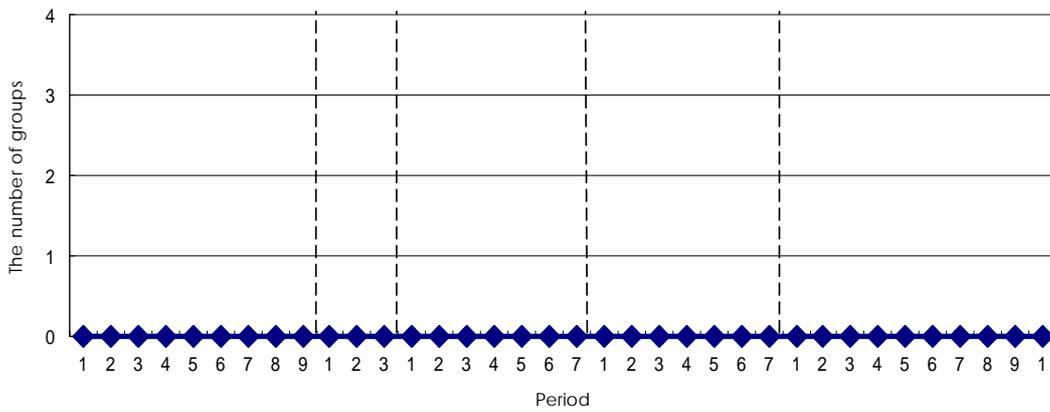


Figure 8. Time series of the number of collusive groups when only the first player who reports gets a reduced fine (seven-person case) -session 3



利得レベル，均衡選択と学習：鹿狩りゲームの実験

岩崎 敦*

ゲーム理論において，利得から定数を足したり引いたりするような利得のレベルの変化はゲームの予測に影響しないと仮定されている．しかし，もし実際の人間が何らかの損失を避けるように振舞うなら，利得レベルの変化，とくに正負の変化が問題となる．さらに，複数のナッシュ均衡をもつゲームにおける均衡選択は利得レベルの変化に依存するかもしれない．そこで，本研究では被験者実験を通じて，被験者の振る舞いの利得レベルに対する感度を検証する．

実験において，利得レベルを変化させた3つの2×2鹿狩りゲーム（表1）を用意し，被験者はそれをプレイする．鹿狩りゲームは2つの均衡をもち，片方の均衡がもう片方の均衡をリスク優越となる構造をもつ．また，ゲームの構造を変えずに利得レベルを変更することで，被験者実験において異なる結果が出るように調整する（表を参照）．すなわち，リスク回避的なプレイヤーを仮定すれば，制御条件である Stag Hunt High と比較して，利得レベルが小さくなるにつれてリスク優越解でない (R,R) が実現する頻度が増加するよう設定している．

さらにワンショットゲームと繰り返しゲーム（40 試行）を観察し，繰り返しゲームについては被験者同士のマッチングルールと観察できる情報を変えながら，実験を実施した．そこで，3つの鹿狩りゲーム間で有意な差を観察するとともに，マッチングルールと情報量が被験者の振る舞いに与える影響を観察している．

現段階では全てのセッションを完了しておらず，明確な結論には至っていないが，(R,R) が実現する頻度について，Stag Hunt Low がもっと高くなる一方で，Stag Hunt High と Medium との間には有意な差が見られないことが観察されている．前者は被験者が損失が確実な選択肢を回避する傾向が強いことを示唆している．一方で，後者は損失が不確実な選択肢を回避する傾向が弱いことを示唆している．今後，残りのセッションを完結させるとともに，均衡選択における被験者の損失回避傾向の精緻化を進めていきたい．

表1 表：鹿狩りゲームの利得表

| Player 1 | | Player 2 | |
|----------|------|----------|---|
| | | R | S |
| R | 7, 7 | 1, 5 | |
| S | 5, 1 | 5, 5 | |

Stag Hunt High

| Player 1 | | Player 2 | |
|----------|-------|----------|---|
| | | R | S |
| R | 5, 5 | -1, 3 | |
| S | 3, -1 | 3, 3 | |

Stag Hunt Medium

| Player 1 | | Player 2 | |
|----------|--------|----------|---|
| | | R | S |
| R | 1, 1 | -5, -1 | |
| S | -1, -5 | -1, -1 | |

Stag Hunt Low

* 九州大学大学院システム情報科学研究助手, 京都産業大学客員研究員

Payoff levels, equilibrium selection, and learning: an experimental study of the Stag Hunt

Nick Feltovich*

Department of Economics, University of Houston
Houston, TX 77204–5019, USA
nfelt@mail.uh.edu

Atsushi Iwasaki

Department of Intelligent Systems
Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University
Hakozaki 6–10–1, Higashi–ku, Fukuoka 812–8581, JAPAN

Sobei H. Oda

Faculty of Economics, Kyoto Sangyo University
Kamigamo, Kita–ku, Kyoto 603–8555, JAPAN

Preliminary version: February 6, 2006

Abstract

Game theory assumes that changing the level of payoffs in a game—by adding the same constant to, or subtracting it from, all of them—should not affect behavior. However, if individuals seek to avoid losses (either certain or possible), then payoff levels may matter when changes result in previously–positive payoffs becoming negative, or vice versa; as a result, equilibrium selection in games with multiple Nash equilibria may depend on payoff levels. We report the results of a human–subjects experiment designed to test whether, and when, behavior in such games is sensitive to payoff levels. Subjects in the experiment play several 2x2 games, including three versions of the Stag Hunt game which are identical up to the level of payoffs. We look at both one–shot games and repeated (40 times) games, and for the latter, at varying matching mechanisms and information treatments. We find differences in behavior across the three versions of Stag Hunt, usually significant in the direction predicted by certain– and possible–loss avoidance. These differences tend to grow over time. Our results carry implications for theories that select among multiple equilibria.

Journal of Economic Literature classifications: D83, C72, C73.

Keywords: experiment, loss avoidance, loss aversion, prospect theory, stag hunt, learning.

*Corresponding author. We thank Alexander Elbittar, Nathaniel Wilcox, Erte Xiao, and participants at the 2004 Southern Economic Association meetings and 2005 Public Choice Society meetings for helpful suggestions and comments.

1 Introduction

Game-theoretic solution concepts imply that changing a game by adding the same (positive or negative) constant to all payoffs will have no effect on behavior.¹ Such changes do not affect any player's rank-ordering of outcomes, so that pure-strategy best responses, and hence pure-strategy Nash equilibria, are unaffected. Furthermore, they do not affect any player's expected payoffs under any given set of beliefs about opponents' pure or mixed strategies, so that best-response correspondences, and therefore mixed-strategy Nash equilibria, are also unaffected.

On the other hand, there is some evidence suggesting that changing payoff levels may affect behavior. In economics, this discussion dates back at least to Kahneman and Tversky (1979), who devised a theory of decision making—"prospect theory"—to account for the systematic violations of the "rational" predictions of microeconomic theory they observed in a large number of decision-making tasks. (See also Tversky and Kahneman (1991, 1992).) Although they did not look specifically at the effects on decision-making behavior on payoff levels, their prospect theory allows several ways in which sensitivity to payoff levels could be observed.² More recently, Cachon and Camerer (1996) found that players' decisions in experimental games could be sensitive to changes in payoff levels, when these changes affected the *signs* of payoffs: previously-positive payoffs were now negative, or vice versa.³ They speculated that subjects in the experiments were exhibiting "loss avoidance", which they defined to be a tendency to avoid choices that with certainty yield negative payoffs in favor of alternative choices that could yield positive payoffs. Based on this finding, they conjectured that loss avoidance could be used as a criterion for equilibrium selection.

Cachon and Camerer's notion of loss avoidance is only one way individuals' choices might be sensitive to changes in payoff levels that change the signs of payoffs. We call their notion "certain-loss avoidance", drawing a distinction between this and "possible-loss avoidance", which we define to be a tendency to

¹For conciseness, we will refer to such a change as a "change in payoff levels".

²One key element of prospect theory is a value function, which characterizes the relationship between changes in an individual's wealth from some reference point (which may, but need not, be the individual's current wealth level) and changes in that individual's well-being. The value function they posit is increasing everywhere, concave over gains (relative to the reference point), convex over losses, and has a kink at the reference point, so that it is steeper for losses than for equal-sized gains. (Kahneman and Tversky refer to this as "loss aversion".) As an example of how such a value function would lead to behavior being sensitive to payoff levels, consider a decision between a safe option, yielding a guaranteed payoff, and a risky option, yielding a payoff that may be either larger or smaller than that of the safe option. Suppose also that both options are similar in terms of mathematical expectation. Concavity in gains implies that when decisions involve only gains, individuals will tend to be risk averse, so that the safe option will be favored. Convexity in losses implies that when decisions involve only losses, individuals will tend to be risk seeking, so that the risky option will be favored. The kink at the reference point implies that when both gains and losses are possible, individuals will be very risk averse, so that the safe option should be even more strongly favored than when only gains were possible. So, if changing payoff levels changes some of them from gains to losses, or vice versa, behavior may be affected. We also note here that even expected-utility maximizers may exhibit behavior sensitive to payoff levels, due to curvature of the utility function, if the gains and losses are money amounts (as is typical in economics experiments). However, because expected-utility maximization takes place over final wealth levels, not gains and losses from a reference point, any visible effect from changes in the level of payoffs on the order of a few dollars would imply a bizarre utility function (Rabin and Thaler (2001)). Variations on the standard theory, such as expected utility maximization over changes to the status quo rather than over final wealth levels, would of course also allow sensitivity to changes in payoff levels.

³See Section 2.2 for more discussion of the literature on payoff levels and behavior.

avoid strategies that give a *possible* negative payoff, in favor of one that gives a certain positive payoff. The goal of this paper is to test for each of these forms of loss avoidance. To do this, we design and run an experiment using a game well-suited for such a test: Stag Hunt (Rousseau (1973)). Stag Hunt is a symmetric two-player game with two strategies: a risky cooperative action and a safe defecting action. The defecting action gives the player a certain payoff (irrespective of what the other player does), while the cooperative action is risky in the sense that it can yield a high payoff—higher than the safe payoff from defecting—if the other player chooses to cooperate as well, but a low payoff if the other player does not. We look at three versions of Stag Hunt, shown in Figure 1. These games are constructed so that they

Figure 1: The Stag Hunt games

| | | | | | | | | |
|----------|------------------------|-----|---|--------------------------|----------|---|-----------------------|------|
| | Player 2 | | | Player 2 | | | Player 2 | |
| | R | S | | R | S | | R | S |
| Player 1 | R | 7,7 | S | 1,5 | Player 1 | R | 5,5 | -1,3 |
| 1 | S | 5,1 | S | 5,5 | 1 | S | 3,-1 | 3,3 |
| | | | | | | | | |
| | High-payoff game (SHH) | | | Medium-payoff game (SHM) | | | Low-payoff game (SHL) | |

differ only in payoff level—any one of the games could be obtained from either of the others by addition of a constant to, or subtraction of a constant from, all payoffs—so they are identical from a game-theoretic standpoint. Each one is different from the others in the signs of the payoffs, however. In the high-payoff game (SHH), all payoffs are positive. In the medium-payoff game (SHM), the safe action yields a positive payoff but the risky action can yield either a positive or a negative payoff (depending on the other player’s choice). In the low-payoff game (SHL), the safe action yields a negative payoff but the risky action can yield either a positive or a negative payoff (again, depending on the other player’s choice). Certain-loss avoidance implies that play of the risky action should be *more likely* in the low-payoff version of Stag Hunt (where it is the only way to earn a positive payoff) than in the high-payoff version (where either action can lead to a positive payoff). Possible-loss avoidance implies that play of the risky action should be *less likely* in the medium-payoff version (where it might earn a negative payoff) than in the high-payoff version (where either action will earn a positive payoff for sure).

We consider several experimental treatments, varying in length (one-shot or 40 times repeated), how players are matched (repeated play against the same opponent or random matching over all possible opponents), and how much information players are given about the payoffs of the game (full information or almost no information). We find that in all treatments, there are significant differences in behavior across versions of the game—that is, behavior is indeed sensitive to payoff levels—and this effect grows over time, peaking in the latter half of the experimental session. Moreover, the differences in behavior across versions of the game, whenever significant, are in the direction predicted by loss avoidance. In some cases, subjects exhibit certain-loss avoidance. In some cases, they exhibit possible-loss avoidance. Sometimes, subjects exhibit both certain- and possible-loss avoidance, but in none of our treatments do they exhibit neither.

The rest of the paper proceeds as follows. In Section 2, we describe the game and the experimental

design, and discuss some of the relevant work done by others in this area. In Section 3, we present several aspects of the experimental results, including tests of statistical significance, and compare our results to those of others. Section 4 concludes.

2 The experiment

The experiment involves the three versions of Stag Hunt described above and three other games (described below), played under various conditions.

2.1 The Stag Hunt games

As mentioned above, each player in a Stag Hunt game chooses between two strategies, which we label Risky (R) and Safe (S) in Figure 1 above. Safe leads to a payoff that does not depend on what the other player does, while Risky earns a variable payoff: higher than the certain payoff from Safe if the other player also chooses Risky, but lower if the other player chooses Safe. Notice that our medium-payoff game (SHM) is obtained by subtracting 2 from every payoff of our high-payoff game (SHH), and our low-payoff game (SHL) is obtained by subtracting 6 from every payoff of SHH. So, from a game-theoretic standpoint, these games are identical. They have the same best-reply correspondences, and the same Nash equilibria: (R,R), (S,S), and a mixed-strategy equilibrium in which both players choose R with probability $2/3$. Not only do these games have the same Nash equilibria, but criteria for equilibrium selection that are based only on payoff differences between outcomes—such as Harsanyi and Selten’s (1988), which predicts the payoff-dominant (R,R) outcome, and Carlsson and van Damme’s (1993), which predicts the risk-dominant (S,S) outcome—will make the same prediction for each of the games.

Stag Hunt games are particularly well-suited for studying equilibrium selection in general, and its sensitivity to payoff-level changes in particular. Both R and S belong to strict pure-strategy Nash equilibria, so it is reasonable to say that either choice can be justified (given appropriate beliefs about the likely choice of one’s opponent); indeed, both (R,R) and (S,S) survive all standard equilibrium refinements. All Nash equilibria (pure- or mixed-strategy) are symmetric, so the coordination problems implicit in symmetric games with asymmetric equilibria are not an issue. Furthermore, Stag Hunt games are games with strategic complementarities—the more likely a player believes her opponent is to choose a particular strategy, the stronger the attraction to that strategy is for her. As a result, a change to the environment that affects all players will be self-reinforcing: a change that made, say, the risky action more appealing to a player would (upon introspection) raise her perceived likelihood that her opponent would also choose the risky action, making the risky action more appealing still to her.⁴

Stag Hunt is a simple version of a class of games called “minimum-effort games”. All of these games have the advantageous features of Stag Hunt for studying equilibrium selection: multiple strict symmetric

⁴Indeed, the positive feedback doesn’t stop with this one step. A player sophisticated enough to reason that her opponent will perceive her likelihood of choosing the risky strategy to increase, thus raising his likelihood of choosing it, will find the risky strategy to be still more appealing. In the extreme case where the effect of a payoff-level change were common knowledge amongst the players, there would be an infinite number of these chains of reasoning.

Nash equilibria and strategic complementarities.⁵ Typically in these games, any pure-strategy choice is justifiable, so which strategies decision makers actually choose in situations like this is an empirical question (as Schelling (1960, p. 162) pointed out). Early experiments involving these games showed that behavior in these games is difficult to predict—with the implication that it is quite possible that subjects will coordinate on an inefficient Nash equilibrium, or fail to coordinate on any equilibrium at all. For example, Van Huyck, Battalio, and Beil (1990) found that subjects' choices in two seven-strategy minimum-effort games depended on the number of players in the game, on differences between the payoffs from different actions, and (strongly) on results from previous rounds of play.⁶ (Van Huyck, Battalio, and Beil (1991) found similar results with other, similar, games.) Later, Battalio, Samuelson, and van Huyck (2004) looked more precisely at differences in payoffs from different actions by using three versions of Stag Hunt that had the same best-reply correspondence, but varying penalties for not playing best replies; subjects played one of these games 75 times. They found that initial (round-one) behavior was similar in the three games, but diverged over time. In later rounds, play of the safe action became much more likely as the penalty for not playing a best reply increased.

Because early research failed to find strong evidence in favor of a single type of strategy, much recent research has focused on factors that make subjects more likely to choose one strategy over others. Stahl and van Huyck (2002) found that giving subjects experience in playing different versions of Stag Hunt increased the likelihood of their playing the risky action. Manzini, Sadrieh, and Vriend (2002) and Charness and Grosskopf (2004) looked at the effects of additional information on behavior in these games. Manzini, Sadrieh, and Vriend found that allowing two-way signaling—either costless or costly—in a 7-strategy minimum-effort game increases subjects' average effort levels but lowers their payoffs (presumably because coordination on a pure-strategy Nash equilibrium becomes less likely). Charness and Grosskopf found that allowing one-way costless signaling in a Stag Hunt game increases both overall coordination and coordination on the Pareto-efficient Nash equilibrium, and that both are further increased by giving signal receivers end-of-round feedback about their senders' action choices. (A player choosing the risky action could infer her opponent's action from the payoff she received, but a player choosing the safe action could not, unless she received such feedback.) Heinemann, Nagel, and Ockenfels (2004) looked at the connection between decisions in multi-player versions of Stag Hunt and decisions in related lottery-choice decisions. They found that risky-choice frequencies in Stag Hunt are positively correlated with those in lottery-choice decision problems, as well as, in some cases, age and a measure of “experience seeking” determined by a personality test.

⁵Additional features that characterize the class of minimum-effort games are (1) players' strategies are ordered in such a way that moving in one direction from strategy to strategy weakly increases other players' payoffs (as a result, strategies in these games are often called “effort levels”; increasing effort makes the other players, but not always oneself, weakly better off); (2) pure-strategy Nash equilibria can be Pareto ranked (specifically, when everyone increases effort by one step, everyone's payoff increases); (3) the “loss function” from failing to choose the same strategy as the other players is much steeper for increases in effort than for decreases in effort. Our Stag Hunt games are minimum-effort games with only two strategies (R=“high effort”, S=“low effort”).

⁶There have been many experiments examining various aspects of minimum-effort and related games; we do not attempt an exhaustive literature review here. For a comprehensive look at early research in this area, see Ochs (1995). For discussions of work since then, see xxx or yyy.

None of the research mentioned above looked into the effect of payoff levels on behavior; research in this area is discussed next.

2.2 Payoff levels—previous results and predictions

Previous experimental research into the effects of changing payoff levels can be classified according to whether subjects make their choices within the context of an individual decision problem or a game, whether they play one time or repeatedly, and how much information they have about the payoffs they can receive. As mentioned in the introduction, Kahneman and Tversky (1979) used results from series of one-shot individual decision problems to guide the construction of their “prospect theory”. Prospect theory does imply that changing payoff levels can affect choices in situations where there is uncertainty, though the exact nature of this effect may be difficult to predict a priori, as it is sensitive to framing effects.⁷

Most of the directly-relevant work on repeated individual decision problems has been done by Ido Erev and colleagues; all of their experiments discussed here involve large numbers of repetitions of a decision problem by individuals who initially have no information about payoffs (though the instructions imply that the environment is stationary, so that payoff information can be learned over time). Barkan, Zohar, and Erev (1998) considered a set of six decision problems, in each of which subjects chose between a safe and a risky alternative. Three of the problems were presented under a “gains” frame, where the safe choice gave a payoff of 0 and the risky choice gave—depending on the outcome of a random draw—either a payoff of +1 or a negative number that ranged between -10 and -109 across treatments. (The probability of the bad outcome varied along with the resulting payoff across treatments, so that expected payoff from the risky choice was the same in each of the three treatments.) The other three problems were presented under a “losses” frame; each was formed from one of the gains treatments by subtracting 1 from each payoff. Each subject played one of these six decision problems 600 times. The results regarding payoff levels were mixed. In two of the pairs of problems, learning was not affected by changing the level of payoffs, while in the third pair (the one in which the bad outcome was the worst and least likely), learning was substantially slower in the losses frame than in the gains frame.

Bereby-Meyer and Erev (1998) looked at individual choices in simpler decision-making tasks. Subjects were asked in each of 500 rounds to predict which of two events would occur. The probabilities of the two events were 0.7 and 0.3—i.i.d. across rounds. A subject who predicted correctly in a round would receive a high number of points for that round; a subject who predicted incorrectly would receive a low number of points. Their three treatments differed only in these rewards: the payoff for a correct prediction was 4, 2, and 0 in the three treatments, and the payoff for an incorrect prediction was always 4 points fewer (i.e., 0, -2, and -4). They found that learning was slowest when no negative payments were possible, but there was little difference in the other two treatments. Erev, Bereby-Meyer, and Roth (1999) extended this work by adding two new treatments, in which the payoff for a correct prediction was 6 and -2, and the payoff for an incorrect prediction was still 4 points fewer. Based on these treatments, along with the

⁷For example, Thaler and Johnson (1990) suggest the effect of past lump-sum gains or losses on future choices might vary, depending on whether the gains or losses have been internalized by the decision maker already.

original treatments from Bereby–Meyer and Erev, they concluded that the effect of adding a constant to payoffs was nonlinear.

Erev, Bereby–Meyer, and Roth (1999) also presented the results of an experiment involving two versions of a two–player constant–sum game with a unique mixed–strategy Nash equilibrium (also played 500 times), where payoffs were in units of probability of “winning” rather than “losing”. The versions differed only in the sizes of the prizes—in one treatment, the prize for “winning” was either 0.5 or 1, and the prize for “losing” was -0.5 or 0—so again, the payoffs in one treatment could be found by adding a constant to those in the other. Here, they found that in the treatment with losses possible, subjects were more likely to choose the action that yielded the higher average payoff over all previous rounds; they concluded that learning was faster when losses were possible than when they weren’t. Earlier, Rapoport and Boebel (1992) had also looked at two versions of a repeated constant–sum game with a unique mixed–strategy equilibrium, though theirs was somewhat more complex (Rapoport and Boebel’s game was 5×5 , while Erev, Bereby–Meyer, and Roth’s was 2×2), and played 120 times instead of 500. They found some small differences in choice frequencies between treatments, but these differences were not significant.

A few researchers have looked at changes in payoff levels in the context of market experiments, in which subjects played the role of firms, and changing payoff levels was accomplished by varying firms’ sunk costs. Kachelmeier (1996) and Waller, Shapiro, and Sevcik (1999) considered double–auction markets with many buyers and sellers with varying valuations and costs. Both found that changes in the level of firms’ sunk costs had no effect on market prices, which tended to be close to the market–clearing prices. (However, Kachelmeier found that changes of accounting report format are associated with changes in bids and asks when sunk costs are present, but not when they aren’t.) Offerman and Potters (2003) conducted experimental markets under several conditions. In one condition, subjects played price–setting firms with capacity constraints (Bertrand–Edgeworth duopolists); in each round, two firms were chosen randomly to enter the market, and those chosen were required to pay a fixed entry fee. Another condition was identical, except that those chosen were not required to pay. Offerman and Potters found that subjects’ price choices were higher when subjects had to pay the entry fee than when entry was free, though this was only a change in sunk–cost level, and thus changes nothing but payoff levels. Buchheit and Feltovich (2005) looked at a thirty–round Bertrand–Edgeworth duopoly game with 496 strategies (prices) and a complicated mixed–strategy equilibrium. They also varied the sunk–cost level over several values, and like Erev, Bereby–Meyer, and Roth, found that the effect of the sunk–cost level on behavior was nonlinear. Specifically, at low levels, increasing the sunk–cost level tended to result in lower average price choices, but after a point, increasing it tended to lead to higher average prices.

The studies most similar to ours have involved changes in payoff levels in coordination games, such as Stag Hunt and the other minimum–effort games discussed in Section 2.1. Cachon and Camerer (1996) looked at the effects of changing the level of payoffs in a minimum–effort game and another, similar, game.⁸ They found that subjects tended to avoid strategies that yielded a certain negative payoff, which

⁸Rather than actually changing the numbers in the payoff matrices, they included a treatment in which they imposed a mandatory fee on all players, and made this fee common knowledge among the players. It is necessary to distinguish between this treatment and another treatment they had, in which the fee was optional so that players had an outside option with a payoff of zero. This latter treatment allows the use of forward–induction arguments to refine away some low–payoff Nash

they termed “loss avoidance”; since some Nash equilibria involved these strategies, loss avoidance could be used as an equilibrium refinement for these games. They conjectured that it could be used more generally for equilibrium selection. Rydval and Ortmann (2005) performed a first test of this conjecture, examining behavior in several versions of Stag Hunt, including two pairs within which only payoff levels were changed. (Within each pair, one game had only positive payoffs, like our SHH game, and the other had positive payoffs only for the (R,R) profile, like our SHL game.) Subjects played each game once, against varying opponents. In one of the pairs of games, results were consistent with loss avoidance; subjects were significantly more likely to choose the risky strategy when the safe strategy led to a sure negative payoff. However, in the other pair of games, there was no difference between them in the frequency with which subjects played the risky strategy, so the overall evidence for loss avoidance was equivocal.

Both Cachon and Camerer and Rydval and Ortmann defined loss avoidance to be a desire to avoid strategies that yield a certain negative payoff, in favor of other available strategies that might yield positive payoffs. Our study is also designed to detect loss avoidance, but we distinguish between two types. We refer to the type of loss avoidance studied by Cachon and Camerer and Rydval and Ortmann as “certain–loss avoidance”, in order to distinguish it from “possible–loss” avoidance: the desire to avoid strategies that *might* yield a negative payoff, but also might yield a positive payoff, in favor of other available strategies that yield a sure positive payoff. Both types of loss avoidance imply predictions for our experiment. In SHH, all payoffs are positive, while in SHL, the safe action guarantees a negative payoff while the risky action might lead to a positive payoff. If individuals exhibit certain–loss avoidance, they will tend to avoid the safe action in SHL relative to SHH; thus, certain–loss avoidance implies:

Hypothesis 1 *Play of the risky action should be more likely in SHL than SHH.*

On the other hand, in SHM, the safe action guarantees a positive payoff while the risky action might lead to a negative payoff. If individuals exhibit possible–loss avoidance, they will tend to avoid the risky action in SHM relative to SHH; thus, possible–loss avoidance implies:

Hypothesis 2 *Play of the risky action should be more likely in SHH than SHM.*

2.3 Experimental procedures

Rydval and Ortmann (2005), discussed in the previous section, looked for (what we call) certain–loss avoidance. They failed to find statistically significant evidence of it, but their results were suggestive. Our design takes theirs as a starting point, and extends it in multiple ways. As already mentioned, we add a third version of Stag Hunt (our SHM game) so that we are able to look for both certain– and possible–loss avoidance. We used a within–subjects design in which subjects played all three versions. One concern we had was that, if subjects recognized the close similarity of these games, they might view the experiment as a “consistently check” and choose the same actions in all three. To limit this possibility, we tried to make it less transparent that the three games were identical from a game–theoretic standpoint, without using any deception. This was done by adding three more games: a version of the Prisoners’ Dilemma (which we abbreviate PD), a version of Battle of the Sexes (BOS), and a coordination game (CG). (See Figure 2.)

equilibria, which can’t be done when the fee is mandatory.

Figure 2: The other games used in the experiment

| | | | | | | | | | | | |
|--------|------------------------|-----|-----|--------|---------------------------|-----|-----|--------|-------------------------|-----|-----|
| | Player 2 | | | | Player 2 | | | | Player 2 | | |
| | R | S | | R | S | | R | S | | | |
| Player | R | 2,2 | 0,0 | Player | R | 0,0 | 3,5 | Player | R | 7,7 | 1,8 |
| 1 | S | 0,0 | 1,1 | 1 | S | 5,3 | 0,0 | 1 | S | 8,1 | 4,4 |
| | | | | | | | | | | | |
| | Coordination Game (CG) | | | | Battle of the Sexes (BOS) | | | | Prisoners' Dilemma (PD) | | |

Subjects played all six games in the following order: CG-SH-BOS-SH-PD-SH. Another concern in our within-subjects design was that the results might be sensitive to the order in which the games were played. (Other researchers have shown that the order of the games can matter; see, for example, Falkinger et al. (2000) or Duffy and Feltovich (2004)) In order to reduce this problem, we varied (across experimental sessions) the order in which the three versions are played. We used three of the six possible game orderings: SHH-SHM-SHL, SHM-SHL-SHH, and SHL-SHH-SHM.

We used four design treatments in an effort to examine several ways in which loss avoidance might manifest itself. In our O (one-shot) treatment, subjects played each game once and the payoff matrices were commonly known. This treatment allows us to see how individuals behave in each game before acquiring any experience in the game, so that their decisions are the result of their own deductive reasoning, and the understanding that their opponents have the same information. This treatment also allows the most direct comparison between our experimental results and Rydval and Ortmann's, as their experimental design was quite similar.⁹ Our C (complete-information) treatment was similar to our O treatment, except subjects played each game repeatedly—40 times—before moving on to the next game. Subjects in this treatment were matched randomly to opponents in every round. The results of this treatment allow us to see the results of subjects' deductive reasoning, like the O treatment, but also allow us to see whether, and how, choices change over time in response to the experience they receive in playing a game—in particular, whether loss avoidance develops or decays over time.

In our other two treatments subjects were not told the payoff matrices of the games they were playing. Our R (random-matching, minimal-information) treatment was otherwise similar to the C treatment: subjects played each of the six games 40 times against randomly-chosen opponents. Our F (fixed-pairs, minimal-information) treatment was similar to the R treatment, except that subjects were not rematched to new opponents after each round; instead, they played against the same opponent for all 40 rounds of a game. These two treatments allow us to see the effects of the experience subjects receive in playing each game, without the benefit of any initial introspection—much like Erev and associates did with the decision-making experiments discussed in Section 2.2. In this way, we can determine whether loss avoidance might be learned, even when it is not possible to act in such a way through deductive reasoning. By comparing the results of these two treatments, we can also determine whether any learning of loss avoidance depends on whether subjects play repeatedly against the same opponent, or against changing opponents.

⁹There are differences between their design and ours, most notably the payoffs used.

In the two minimal-information treatments, we were concerned that subjects' choices might be sensitive to the order in which the actions (Risky or Safe) appeared in the payoff matrix. (For example, it is possible that there is a bias in favor of the upper or left action at the expense of the lower or right action, purely because of their locations). To limit this possibility, we varied (across sessions) the order in which the actions appeared. The action orderings were R-S (risky action on top or left) and S-R (risky action on bottom or right).

Table 1 summarizes these four treatments. When necessary to avoid confusion with our manipulations of game and action ordering, we will refer to them as "information treatments", although in some cases (such as between F and R) they differ only in ways other than the information given to subjects.

Table 1: Information treatments used in the experiment

| Information treatment | Number of rounds | Payoff information | Matching mechanism | Game orderings | Action orderings |
|-----------------------|------------------|--------------------|--------------------|---------------------|------------------|
| O | 1 | Full | — | H-M-L, M-L-H, L-H-M | R-S |
| C | 40 | Full | Random | H-M-L, M-L-H, L-H-M | R-S |
| R | 40 | Minimal | Random | H-M-L, M-L-H, L-H-M | R-S, S-R |
| F | 40 | Minimal | Fixed pairs | H-M-L, M-L-H, L-H-M | R-S, S-R |

Each experimental session involved subjects playing each of the six games under a single information condition, with a single game ordering and single action ordering (thus, our variation of information treatments, game ordering, and action ordering are across subjects, while our variation in payoff levels is within subjects). Experimental sessions took place at the Economic Science Laboratory at Kyoto Sangyo University (Kyoto, Japan). Subjects were primarily undergraduate students at Kyoto Sangyo University. No subject participated in more than one session. At the beginning of a session, each subject was seated at a computer and given written instructions. These instructions were also read aloud in an effort to make the rules of the experiment common knowledge. Partitions prevented subjects from seeing other subjects' computer screens, and subjects were asked not to communicate with each other during the session. The experiment itself was programmed in the Japanese version of the z-Tree experimental software package (Fischbacher (1999)).

At the beginning of an experimental session, subjects were told how many rounds of each game they would be playing. Prior to the first round of each game, they were reminded that they were to begin a new game. In this round, and in each round thereafter, subjects were prompted to choose one of two possible stage-game strategies. To minimize demand effects, strategies were called 1 and 2, rather than Risky and Safe. After all subjects had chosen strategies for a round, each subject received feedback that depended on the information treatment. In the O and C treatments, they were told their own choice, their opponent's choice, and their own payoff. In the R and F treatments, they were told their own choice and their own payoff.

At the end of an experimental session, one round was randomly chosen, and each subject was paid 200

yen for each point earned in that round.¹⁰ In addition, subjects in the C, R, and F treatments were paid a showup fee of 3000 yen. The O treatment was tacked on to an asset–market experiment, in which subjects earned an average of 2700 yen, so no additional showup fee was necessary.

3 Results

A total of 18 sessions were conducted: 3 of the O treatment, 3 of the C treatment, 6 of the R treatment, and 6 of the F treatment.¹¹ The number of subjects in a session varied from 6 to 28. Table 2 gives some information about the individual sessions of the experiment.

Table 2: Session information

| Session | Information treatment | Game ordering | Action ordering | N |
|---------|-----------------------|---------------|-----------------|-----|
| O1 | O | H-M-L | R-S | 22 |
| O2 | O | M-L-H | R-S | 26 |
| O3 | O | L-H-M | R-S | 24 |
| C1 | C | H-M-L | R-S | 28 |
| C2 | C | M-L-H | R-S | 20 |
| C3 | C | L-H-M | R-S | 24 |
| F1 | F | H-M-L | R-S | 28 |
| F2 | F | H-M-L | S-R | 22 |
| F3 | F | M-L-H | R-S | 16 |
| F4 | F | M-L-H | S-R | 6 |
| F5 | F | L-H-M | R-S | 10 |
| F6 | F | L-H-M | S-R | 18 |
| R1 | R | H-M-L | R-S | 20 |
| R2 | R | H-M-L | S-R | 20 |
| R3 | R | M-L-H | R-S | 14 |
| R4 | R | M-L-H | S-R | 10 |
| R5 | R | L-H-M | R-S | 26 |
| R6 | R | L-H-M | S-R | 18 |

3.1 Initial choices under complete information

We first look at initial behavior of subjects playing the Stag Hunt games under complete information; this comprises results for the O treatment (in which each game was played only once) and for the first round

¹⁰At the time of the experiment, the exchange rate was roughly \$1=105 yen.

¹¹The raw data from our experiment are available upon request.

of the C treatment.¹² These results allow us to see the effect of subjects' deductive reasoning about each game prior to having played it.

Table 3 shows the relative frequency of risky-action choices for each of the three Stag Hunt games. Consistent with our Hypothesis 1 (certain-loss avoidance), risky-action play is substantially more prevalent in the low-payoff version of Stag Hunt than in the high-payoff version. Subjects play the risky action in the low-payoff version 92.4% of the time (91.7% of the time in the O treatment, 93.1% in the first round of the C treatment), versus only 77.1% of the time in the high-payoff version (69.4% of the time in the O treatment, 84.7% in the first round of the C treatment). This difference is significant; using pooled data from the O treatment and the first round of the C treatment, we can reject the null hypothesis of equal levels of risky-action play (McNemar change test, $p < 0.001$).¹³

Table 3: Initial frequencies of risky action (complete information treatments, all sessions)

| Game | O treatment | First round, C treatment | Combined |
|------|--------------|--------------------------|----------------|
| SHH | .694 (50/72) | .847 (61/72) | .771 (111/144) |
| SHM | .722 (52/72) | .819 (59/72) | .771 (111/144) |
| SHL | .917 (66/72) | .931 (67/72) | .924 (133/144) |

On the other hand, initial behavior shows no evidence in favor of our Hypothesis 2 (possible-loss avoidance). When the O treatment and the first round of the C treatment are pooled, the relative frequency of risky-action choices in the high- and medium-payoff versions of Stag Hunt are exactly the same. Even if we consider the first round of the C treatment by itself, the difference in risky-action play between the two games—84.7% in SHH and 81.9% in SHM—is not significant at conventional levels (McNemar change test, $p > 0.10$). Finally, we note that risky-action play is significantly more frequent in the low-payoff version than in the medium-payoff version (McNemar change test, pooled O and first round of C treatments, $p < 0.001$), though this has no implication for our hypotheses.

3.2 Aggregate behavior over all rounds

The previous section gave evidence that in their initial play, subjects exhibit certain-loss avoidance but not possible-loss avoidance. We next look at average behavior over all 40 rounds of the three repeated-game treatments (C, F, and R), in order to see whether certain-loss avoidance persists after subjects have received some experience in the game (and understanding of the way other subjects are playing), and to see whether possible-loss avoidance develops eventually. Table 4 shows some aspects of play in the three repeated-game treatments: the frequencies of risky-action choices in 10-round blocks, and 40-round frequencies broken down by ordering of games (H-M-L, M-L-H, or L-H-M), and by ordering of actions

¹²We do not analyze the data from the other three games (CG, BoS, PD) here. A preliminary analysis of these data can be found in Feltovich, Iwasaki, and Oda (in preparation).

¹³See Siegel and Castellan (1988) for descriptions of the nonparametric statistical tests used in this paper. We note that differences in risky-action play between SHL and SHH are also significant for the O data alone (McNemar change test, $p < 0.001$) but not for the first round of the C treatment ($p > 0.10$).

(R-S or S-R), as well as overall. These relative frequencies suggest that, while there is some variation across game and action ordering, subjects—on the whole—demonstrate both certain–risk avoidance and possible–risk avoidance.

Table 4: Aggregate frequency of risky action (complete–information sessions)

| | | C treatment | | | F treatment | | | R treatment | | |
|------------------|-------|-------------|------|------|-------------|------|------|-------------|------|------|
| | | SHH | SHM | SHL | SHH | SHM | SHL | SHH | SHM | SHL |
| Rounds: | 1–10 | .860 | .850 | .910 | .473 | .425 | .625 | .403 | .371 | .517 |
| | 11–20 | .846 | .810 | .893 | .418 | .465 | .774 | .205 | .087 | .524 |
| | 21–30 | .835 | .782 | .883 | .427 | .458 | .793 | .130 | .019 | .493 |
| | 31–40 | .818 | .717 | .871 | .410 | .465 | .810 | .073 | .022 | .464 |
| Game ordering: | H-M-L | .995 | .983 | .973 | .461 | .493 | .780 | .304 | .139 | .643 |
| | M-L-H | .649 | .738 | .694 | .380 | .144 | .692 | .145 | .098 | .170 |
| | L-H-M | .818 | .607 | .954 | .421 | .625 | .745 | .141 | .127 | .548 |
| Action ordering: | R-S | — | — | — | .462 | .469 | .801 | .224 | .118 | .455 |
| | S-R | — | — | — | .397 | .435 | .691 | .176 | .133 | .555 |
| Overall | | .840 | .790 | .889 | .432 | .453 | .751 | .203 | .125 | .499 |

Consider first the C treatment. As in the first round alone, we see that play of the risky action is more likely in the low–payoff Stag Hunt than in either of the other two versions, and it is more likely in the high–payoff than medium–payoff Stag Hunt. These two order relationships—consistent with certain– and possible–loss avoidance respectively—are robust to breaking the data into ten–round blocks, though there is some variation across game orderings.¹⁴

We next look at the two minimal–information treatments: the F (fixed pairs) treatment and the R (random matching) treatment. The results from both of these treatments suggest a substantial amount of certain–loss avoidance. Risky–action frequency in the F treatment is 75.1% in the low–payoff Stag Hunt, versus 43.2% in the high–payoff version, while in the R treatment, the frequencies are 49.9% and 20.3%, respectively. The higher frequency of risky–action play in SHL than in SHH remains when we disaggregate the data in either of these treatments by game ordering, by action ordering, or by ten–round block. These data also show mixed evidence for possible–loss avoidance. In the R treatment, risky–action play is somewhat higher in the high–payoff Stag Hunt than in the medium payoff Stag Hunt, and this difference is robust to disaggregating the data by game ordering, action ordering, and ten–round block. However, risky–action play in the F treatment is actually slightly lower in SHH than in SHM (and not robust to disaggregating the data).

In order to test for significance in the differences found here, we begin with nonparametric statistical tests. Power is an issue here, as in the C and R treatments, there is interaction among all subjects in

¹⁴Interestingly, risky–action choices in this treatment are always most frequent in the version of Stag Hunt that is played first and least frequent in the version played last; this is the opposite result from that found by Stahl and van Huyck (2002).

a given session, so that the smallest independent observation is at the session level. In the F treatment, on the other hand, each subject plays an entire game against the same opponent, so we can consider each matched pair of subjects to be an independent observation. Using data from individual pairs in this treatment, we find that the differences in risky-action play between SHH and SHM observed in Table 4 are not significant (Wilcoxon summed-ranks test for matched samples, $T^+ = 374.5$, $N = 43$, $p > 0.10$); that is, we find no evidence of possible-loss aversion in the F treatment. On the other hand, the difference between SHL and SHH observed in Table 4 is significant ($T^+ = 325$, $N = 45$, $p \approx 0.015$). (Risky-action play is also significantly higher in SHL than in SHM— $T^+ = 353$, $N = 45$, $p \approx 0.032$ —though again, this carries no implication for our hypotheses.) Using session-level instead of pair-level data gives results that are broadly similar, despite the small number of sessions: the difference in risky action choices between SHH and SHM is still not significant ($T^+ = 11$, $N = 6$, $p > 0.10$), while the differences between SHL and either SHH or SHM is ($T^+ = 0$, $N = 6$, $p \approx 0.016$ for differences between SHL and either SHM or SHH).

In the C and R treatments, we are forced to use session-level data, as individual pairs of players are not independent observations. There are only 3 sessions of the C treatment, so no differences are significant. In the R treatment, differences between SHL and either of the other two games are significant ($T^+ = 1$, $N = 5$, $p = 0.0625$ for differences between SHL and SHH, $T^+ = 0$, $N = 5$, $p = 0.03125$ for differences between SHL and SHM), while the difference between SHH and SHM is marginally significant ($T^+ = 17$, $N = 5$, $p < 0.10$). These results for the R treatment are consistent with both certain- and possible-loss aversion, though the evidence for certain-loss aversion is much stronger.

3.3 Behavior dynamics

We next look at how subject behavior changes over time under complete information. Figures 3 and 4 show round-by-round frequencies of risky-action choices in each of the three Stag Hunt games by subjects in the C treatment and F and R treatments, respectively. Figure 3 confirms what we saw in Table 4. There are differences across the three games, and they are in the directions predicted by certain- and possible-loss avoidance, but they are small. Also, play does not change much over time, except for a small drop in risky-action choices in the last ten rounds of SHM.

In the F and R treatments, subjects are not told the payoffs to the two strategies, so it is not surprising that in the first few rounds, they play the risky action roughly half the time in all three games in both treatments. Over time, there is some divergence in play across games. In the F treatment, most of the changes in aggregate frequencies occur over the first ten rounds or so. In the high- and medium-payoff games, risky-action frequencies fall to about 40%, and remain there for the remainder of the session; in the low-payoff game, this frequency rises to about 80%, then remains roughly constant. In the R treatment, risky-action play in the low-payoff game stays roughly constant (on average) over time, while in the other two games, subjects gradually learn to choose the safe action almost exclusively by the end of the session. This learning is quicker in SHM than SHH, so that over the middle twenty rounds, there is a visible difference in risky-action frequency between these games.

Figure 3: Frequency of risky action (complete-information treatment, all sessions)

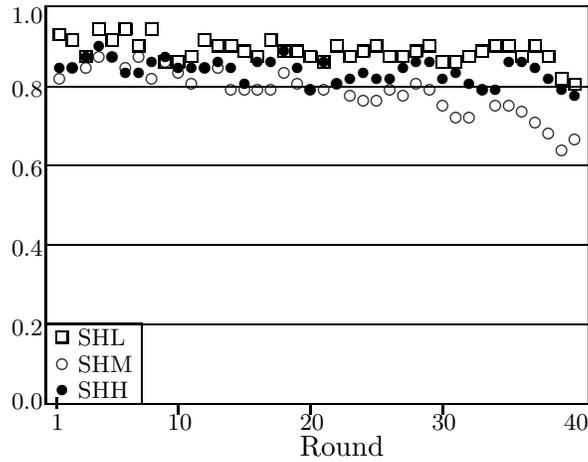
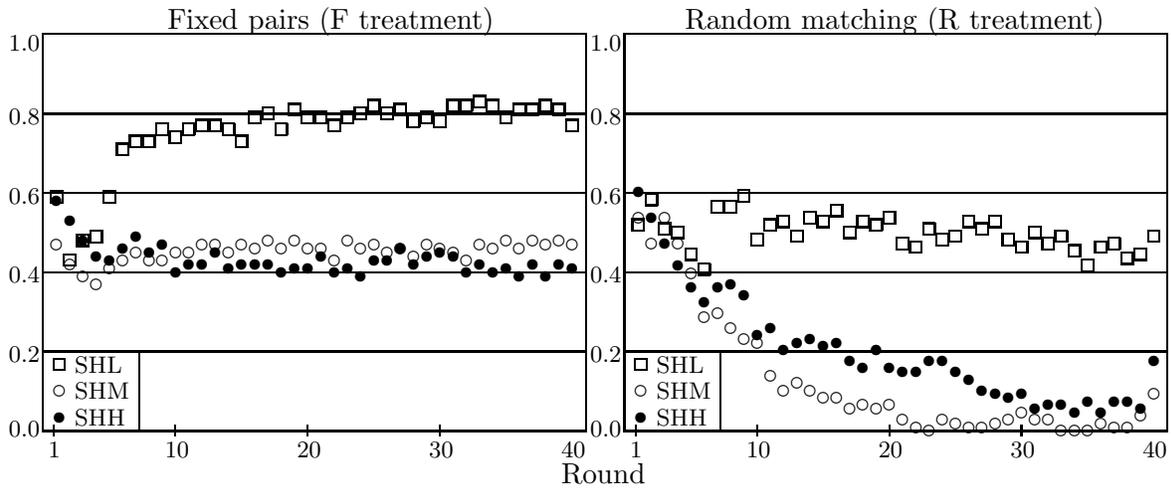


Figure 4: Frequency of risky action (minimal-information treatments, all sessions)



3.4 Parametric statistics

To this point, we have seen reasonably strong evidence consistent with certain-loss avoidance, but scant evidence for possible-loss avoidance. However, the statistical tests we have been using have thus far been nonparametric statistical tests, which tend to err on the conservative side (especially when session-level data are used). In order to gain some power in our tests, as well as to make sure we've controlled for other factors that may be affecting behavior, we next look at results from several probit regressions.¹⁵ In each of our regressions, we take the dependent variable to be an indicator for current-round action choice (1=risky choice, 0=safe choice). In order to determine the effect of payoff levels (and thus test for certain- and possible-loss avoidance), we use as our primary explanatory variables indicators for the SHM and SHL games; in addition, we include as variables the products of these indicators with the round number and the

¹⁵Logit regressions gave similar results.

square of the round number, to allow for the possibility that the effects of payoff-level changes develop (or, possibly, disappear) over time. As controls, we include variables for the round number itself and its square, indicators for two of the three game orderings (M-L-H and L-M-H) and one of the two action orderings (R-S). Finally, we included two indicator variables characterizing the subject's previous-round result: own choice (1=risky, 0=safe) and opponent choice (likewise). We estimate coefficients separately for each of the three multiround treatments (C, R, and F), and in each case we use individual-subject random effects.

Table 5: Results of probit regressions with random effects—rounds 2–40 (standard errors in parentheses)

| Dependent variable: risky-action choice (round t) | C treatment ($N = 8424$) | F treatment ($N = 11700$) | R treatment ($N = 12636$) |
|---|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| constant | 0.542*** (0.200) | -1.496*** (0.109) | -0.682*** (0.111) |
| SHM | -0.024 (0.203) | 0.001 (0.124) | 0.277** (0.117) |
| SHM · Round | -0.006 (0.022) | 0.006 (0.015) | -0.065*** (0.015) |
| SHM · Round ² | -0.00006 (0.00050) | -0.0001 (0.0004) | 0.0013*** (0.0004) |
| p -value (joint significance) | 0.006 | 0.600 | <0.001 |
| SHL | 0.001 (0.209) | -0.003 (0.120) | 0.034** (0.109) |
| SHL · Round | 0.016 (0.023) | 0.047*** (0.015) | 0.045** (0.013) |
| SHL · Round ² | -0.0004 (0.0005) | -0.0009** (0.0004) | -0.0007 (0.0003) |
| p -value (joint significance) | 0.269 | <0.001 | <0.001 |
| Round | 0.006 (0.016) | -0.0006 (0.0105) | -0.044*** (0.010) |
| Round ² | -0.0003 (0.0004) | -0.00001 (0.00025) | 0.0006*** (0.0002) |
| M-L-H game ordering | -1.364*** (0.141) | -0.226*** (0.086) | -0.497*** (0.098) |
| L-H-M game ordering | -1.212*** (0.132) | 0.048 (0.079) | -0.215*** (0.080) |
| R-S action ordering | — | -0.104 (0.070) | -0.081 (0.069) |
| risky action (round $t - 1$) | 0.829*** (0.058) | 1.368*** (0.039) | 1.098*** (0.034) |
| risky action (opponent, round $t - 1$) | 0.542*** (0.200) | 1.425*** (0.039) | 0.756*** (0.034) |
| $-\ln(L)$ | 1737.364 | 3368.142 | 4353.442 |

* (**, ***): Coefficient significantly different from zero at the 10% (5%, 1%) level.

The results of the probit regressions are shown in Table 5. Before examining these results' contribution to our evidence for loss avoidance, we mention some of the other interesting results. Subject behavior is nonstationary; the coefficients for the six variables containing either the round number or its square are jointly significant for all three treatments (likelihood-ratio test, $p < 0.01$ for the C treatment, $p < 0.001$ for the other two treatments). In addition, subjects' choices are serially correlated; they are more likely to choose the risky action if they had chosen it in the previous round. They are also more likely to choose

the risky action if their opponent had chosen it in the previous round; notably, this is true even in the F and R treatments, where subjects aren't told their opponents' choice!¹⁶ Finally, while the order in which the actions are shown in the payoff matrix doesn't seem to matter in any treatment (the coefficient for R-S is insignificant in all treatments), the order in which the games are played does. In each of the three treatments, coefficients for the game-ordering indicator variables are jointly significant ($p \approx 0.01$ for the F treatment, $p < 0.001$ for the other two treatments), and taken individually, they are nearly always significantly different from zero ($p > 0.10$ for L-H-M in F treatment, $p < 0.01$ otherwise) and from each other ($p < 0.10$ for C treatment, $p < 0.01$ for F and R treatments).

We next look at the results connected with loss avoidance. We will continue to find solid support for certain-loss avoidance, but we will now find support for possible-loss avoidance as well. Consider first certain-loss avoidance, which implies that the coefficients of the three SHL variables (SHL, SHL · Round, and SHL · Round²) will be different from zero. In the C treatment, this is not the case; these three variables are insignificant—both jointly ($\chi^2_3 = 3.93, p > 0.10$) and individually—suggesting that the evidence found earlier for certain-loss avoidance disappears once other factors are controlled for. In both the F and R treatments, on the other hand, these three variables are jointly significant ($\chi^2_3 = 103.30, p < 0.001$ for the F treatment, $\chi^2_3 = 248.07, p < 0.001$ for the R treatment), so that the difference in payoffs between the SHH and SHL games does indeed have an effect. Similarly, possible-loss avoidance implies that the coefficients of the three SHM variables (SHM, SHM · Round, and SHM · Round²) will be different from zero. In the C treatment, the coefficients for these three variables, taken individually, are not significantly different from zero; however, likelihood-ratio tests show that they are jointly significant ($\chi^2_3 = 12.35, p < 0.01$). In the F treatment, the three SHM variables are not significant, either jointly ($\chi^2_3 = 1.87, p > 0.10$) or individually. In the R treatment, all three SHM variables are individually significant, and together, they are jointly significant ($\chi^2_3 = 67.54, p < 0.001$).

Of course, merely finding that the three SHL (or the three SHM) variables are jointly significant is not sufficient to conclude that the data are consistent with possible-loss (certain-loss) avoidance; it also must be shown that the direction of the effect is the same as that predicted. To verify this, we construct for each treatment and each set of coefficients (from Table 5) the quadratic expression (in Round) defined by those coefficients:

$$g(\text{Round}) = \beta_{\text{SHL}} + \beta_{\text{SHL} \cdot \text{Round}} \cdot \text{Round} + \beta_{\text{SHL} \cdot \text{Round}^2} \cdot \text{Round}^2$$

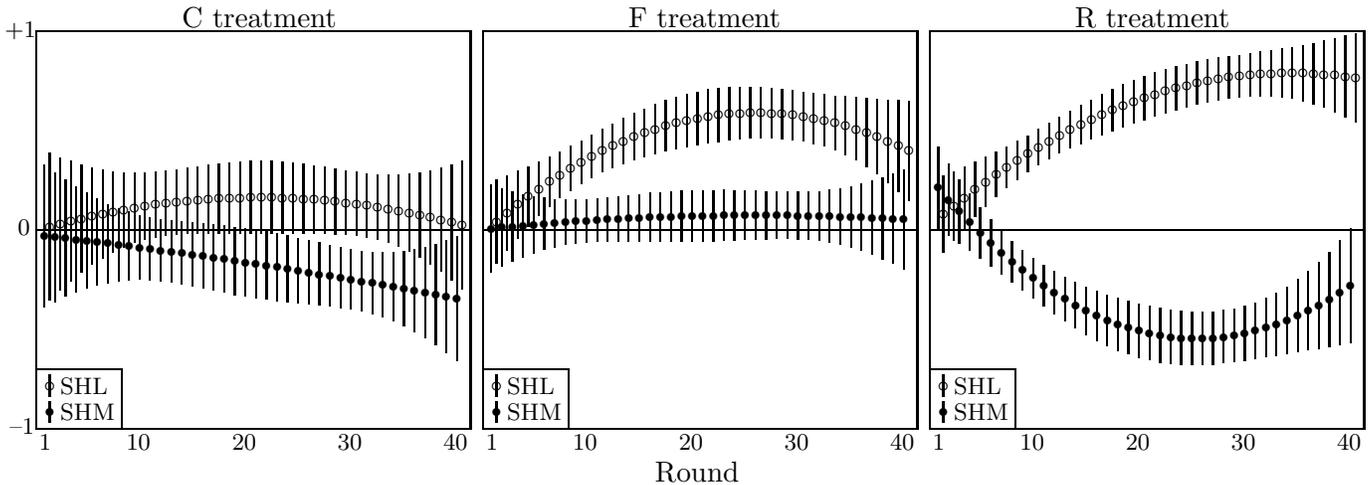
for the SHL coefficients in a given treatment, and analogously for the SHM coefficients. (For example, the quadratic defined by the SHM coefficients in the C treatment is $-0.024 - 0.006 \cdot \text{Round} - 0.00006 \cdot \text{Round}^2$.) The sign of this expression, for a given value of Round, gives us the direction of the overall effect of changing the game from SHH to SHL (SHM) for that round of the given treatment. If subjects exhibit certain-loss avoidance, this sign should be positive for the SHL quadratic; if they exhibit possible-loss avoidance, this sign should be negative for the SHM quadratic.

In Figure 5, we graph all six of these quadratics. This figure shows, for each one, the point estimates and 95% confidence intervals for each value of Round from 1 to 40 (the number of rounds of each game in the

¹⁶We also see here that the effect of opponent choices is strongest in the F treatment, which may not be surprising since this is the treatment where the subject is playing against that same opponent in the current round.

experiment). In the C treatment (left panel), the point estimates for SHL are positive, and those for SHM negative, for all rounds, as predicted by certain- and possible-loss avoidance. The confidence intervals show that the values of the SHL quadratic are not significantly distinguishable from zero at the 5% level in any round, which stands to reason since we saw in Table 5 that the three SHL variables were not jointly significant (though it turns out that for Rounds 13–29, the values of this quadratic *are* significantly different from zero at the 10% level.) On the other hand, the values of the SHM quadratic are significantly different from zero at the 5% level for Rounds 22–40. In the F treatment (center panel), the point estimates for the SHL quadratic are positive—again consistent with certain-loss avoidance—and significantly different from zero at the 5% level for Rounds 4–40. The point estimates for the SHM quadratic, on the other hand, are in the opposite direction from that predicted by possible-loss avoidance; however, these values are never significantly distinguishable from zero, even at the 10% level. In the R treatment (right panel), once again, the values of the SHL quadratic are positive, and significantly different from zero at the 5% level for Rounds 3–40. Those of the SHM quadratic are negative and significantly different from zero at the 5% level for Rounds 7–39 (and at the 10% level for Round 40).

Figure 5: Estimates of the effect of game on risky-strategy choice (vs. SHH) based on Table 5 results
(Circles represent point estimates; line segments represent 95% confidence bounds)



Leaving out the results for SHM in the F treatment—where the quadratic expression was statistically indistinguishable from zero in all rounds—and concentrating on the remaining five time paths in Figure 5, a pattern begins to emerge. Each time path starts close to zero in Round 1 and, from there, moves away from zero in the direction predicted by certain- or possible-loss avoidance. In one case (SHM in the C treatment), the time path continues to move away from zero, while in the other four cases it turns back toward zero, though never changing sign. In other words, the effects of loss avoidance are greatest after subjects have some experience in playing a game—not at the beginning—and this is true both when they know the game they’re playing (C treatment) and when they have to learn it (F and R treatments).

3.5 Discussion

Compiling the significant results from this section, we find that subjects behave consistently with certain-loss avoidance in the O treatment, the R treatment, and the F treatment, but not in the C treatment (either initially or overall). Behavior is consistent with possible-loss avoidance in the R treatment and overall in the C treatment, but not in the F treatment or initially in either the C or the O treatment. Several points are worth making at this point. First of all, we note that our results are in line with those of Rydval and Ortmann (2005). As mentioned previously, they tested for certain-loss avoidance and found weak evidence in favor of it: significant in one pair of games, not significant in the other pair. The SHH and SHL games in our O treatment comprise the part of our design closest to theirs, and we found in these results a significant effect consistent with certain-loss avoidance. Arguably, the SHH and SHL games in the first-round of our C treatment are the next-closest to their design, and we found in those results a small but insignificant effect in the direction predicted by certain-loss avoidance. So, we wish to emphasize that our results do not contradict Rydval and Ortmann's; rather, they extend theirs.

One major difference between our experiment and Rydval and Ortmann's is that we include treatments with repeated play of the same game. By and large, differences in play across games start out small, but grow over time (at least up to a point) in the directions predicted by certain- and possible-loss avoidance. This means that loss avoidance is not due exclusively to introspection, but can also be learned. (Indeed, in the case of possible-loss avoidance, our results indicate that it is entirely learned, as we found no evidence of it in first-round choices.) In the C treatment, it could be argued that subjects are not learning loss avoidance per se, but that a small portion of them exhibit loss avoidance, and others learn to play as loss avoidance predicts, due to the strategic complementarities in these games. (Recall the discussion of this issue in Section 2.1. However, in the F and R treatments, there can be no loss avoidance due to introspection (since subjects are not told the payoffs of the game), but differences across games develop anyway. Our results for these treatments correspond to those of Erev and colleagues (see Section 2.2); they often find differences across treatments in repeated individual-decision problems under similar minimal-information conditions.

Our next point has to do with the limitations of our results. We can certainly conclude that both certain- and possible-loss avoidance are real decision-making phenomena, but several caveats are in order. First, the case for certain-loss avoidance is stronger than that for possible-loss avoidance. Subjects exhibit certain-loss avoidance in more treatments than possible loss avoidance, and the size of the effect is typically larger for certain-loss avoidance. Second, even in those cases where certain- or possible-loss avoidance is present, the effect is not huge. Notice in Table 4, for example, that the variation in risky-action frequencies is higher across treatments than across games; similarly, according to the probit results, the effect on behavior of changing the game is often overwhelmed by the effect of changing the ordering of games. Third, our results are not uniformly substantial (or significant) across treatments; it is not apparent why there should be no evidence of possible-loss avoidance in the F treatment, and only marginally significant evidence of certain-loss avoidance in the C treatment.

Finally, it is worthwhile to mention the significance of our results for equilibrium selection. Much of the literature on Stag Hunt games, and minimum-effort games in general, has been motivated by equilibrium

selection—more specifically, under what circumstances it is reasonable to expect subjects to successfully coordinate on the payoff-dominant Nash equilibrium ((R,R) in our games) rather than the inefficient risk-dominant equilibrium ((S,S)). Nearly all experimental studies of these games have used versions with only positive payoffs, and have found substantial play of both risky and safe actions. Our results show that using games with some, or mostly, negative payoffs would have an impact on the equilibrium we should expect to see. In any minimum-effort game for which certain-loss avoidance has some predictive value (i.e., at least one, but not every, action guarantees a negative payoff) it will rule out safer actions that are part of lower-payoff Nash equilibria, in favor of riskier actions that are part of higher-payoff equilibria. (Indeed, in the extreme case where certain-loss avoidance makes a unique prediction, this prediction will be the payoff-dominant Nash equilibrium.) So, to the extent that individuals actually exhibit certain-loss avoidance, this will tend to make the payoff-dominant outcome more likely. On the other hand, in any minimum-effort game for which possible-loss avoidance has some predictive value (i.e., at least one, but not every, action earns a possible negative payoff), it will do the opposite: rule out riskier actions that are part of higher-payoff equilibria, in favor of safer actions that are part of lower-payoff equilibria. So, to the extent that individuals actually exhibit possible-loss avoidance, this will tend to make the payoff-dominant outcome less likely.

4 Conclusion

According to game theory, changing the level of payoffs in a game—by adding a constant to each of them—does not change any strategic aspect of the game, and hence does not change equilibrium predictions. However, there is a substantial body of evidence from individual decision-making experiments that the level of payoffs can affect behavior. There has been less research into the effect of changing payoff levels in games, but what evidence there is—along with inference from the decision-making studies that have been conducted—suggests that it is possible for there to be an effect in games too. In order to ascertain the effects of changing payoff levels in games, we run a human-subjects experiment with three versions of Stag Hunt. These games are similar in that each can be derived from any of the others by addition of a constant to all of the payoffs. Importantly, however, the three games differ in the signs of the payoffs. In the high-payoff (SHH) game, both safe and risky strategies can only lead to positive payoffs. In the other two games, the risky action can lead to either a positive or a negative payoff, while the safe action leads to a positive payoff in the medium-payoff (SHM) game but a negative payoff in the low-payoff (SHL) game.

We consider two particular ways in which payoff levels—specifically, the sign of payoffs—can affect action choices in these games. “Certain-loss avoidance” refers to the tendency to avoid an action yielding a certain loss in favor of another available action that might yield a gain. Subjects exhibiting certain-loss avoidance will be *more* likely to choose the risky action in SHL than in SHH. “Possible-loss avoidance” refers to the tendency to avoid an action that might yield a loss in favor of another available action that yields a certain gain. Subjects exhibiting possible-loss avoidance will be *less* likely to choose the risky action in SHM than in SHH.

The experiment we conduct allows us to look for certain- and possible-loss avoidance in several places. In one of our treatments, subjects play each game only once, with complete information about the games’

payoffs. In a second treatment, they again have complete information, but play each game repeatedly (forty times) against changing opponents. In a third treatment, they still play repeatedly against changing opponents, but are not given any information about the strategic environment they are in. In a fourth treatment, they play repeatedly with the same minimal information, but against the same opponent in all rounds of a game. This design allows us to detect loss avoidance due to introspection, based on responses to the play of others, and due to the combination of the two.

Our results show some support for both certain- and possible-loss avoidance. These phenomena manifest themselves in two ways. We find that when subjects play games only once—but with complete information about the payoffs of the games—they exhibit certain-loss avoidance, but not possible-loss avoidance. When subjects play games repeatedly, they tend to exhibit certain-loss avoidance, possible-loss avoidance, or both. Moreover, the strength of their loss avoidance doesn't die out as they gain more experience; if anything, it increases over time—at least over the first half or so of the experimental session. We conclude that both types of loss avoidance are real factors in decision making, and should be taken into account when considering situations in which both gains and losses are possible.

References

- Barkan, R., D. Zohar, and I. Erev (1998), "Accidents and decision making under uncertainty: a comparison of four models," *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 74, pp. 118–144.
- Battalio, R., L. Samuelson, and J. van Huyck (2004), "Optimization incentives and coordination failure in laboratory stag-hunt games," working paper, Texas A&M University.
- Bereby-Meyer, Y. and I. Erev (1998), "On learning to become a successful loser: a comparison of alternative abstractions of learning processes in the loss domain," *Journal of Mathematical Psychology* 42, pp. 266–286.
- Buchheit, S. and N. Feltovich (2005), "The relationship between sunk costs and firms' pricing decisions: an experimental study," working paper, University of Houston.
- Cachon, G.P. and C.F. Camerer (1996), "Loss avoidance and forward induction in experimental coordination games," *Quarterly Journal of Economics* 111, pp. 165–194.
- Carlsson, H. and E. van Damme (1993), "Global games and equilibrium selection," *Econometrica* 61, pp. 989–1018.
- Charness, G. and B. Grosskopf (2004), "What makes cheap talk effective? Experimental evidence," *Economics Letters* 83, pp. 383–389.
- Duffy, J. and N. Feltovich (2006), "Words, deeds and lies: strategic behavior in games with multiple signals," forthcoming, *Review of Economic Studies*.
- Erev, I., Y. Bereby-Meyer, and A.E. Roth (1999), "The effect of adding a constant to all payoffs: experimental investigation and implications for reinforcement learning models," *Journal of Economic Behavior and Organization* 39, pp. 111–128.

- Falkinger, J., E. Fehr, S. Gächter, and R. Winter-Ebmer (2000), “A simple mechanism for the efficient provision of public goods: experimental evidence,” *American Economic Review* 90, pp. 247–264.
- Feltovich, N. (2003), “Nonparametric tests of differences in medians: comparison of the Wilcoxon–Mann–Whitney and robust rank–order tests,” *Experimental Economics* 6, pp. 273–297.
- Feltovich, N., A. Iwasaki, and H.S. Oda (in preparation), “Learning, information, and matching mechanisms: evidence from 2x2 games.”
- Fischbacher, U. (1999), *Z–Tree—Zurich Toolbox for Readymade Economic Experiments—Experimenter’s Manual*, Working Paper No. 21, Institute for Empirical Research in Economics, University of Zurich.
- Harsanyi, J.C. and R. Selten (1988), *A general theory of equilibrium selection in games*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Haruvy, E. and D.O. Stahl (2004), “Deductive versus inductive equilibrium selection: experimental results,” *Journal of Economic Behavior and Organization* 53, pp. 319–331.
- Heinemann, F., R. Nagel, and P. Ockenfels (2004), “Measuring strategic uncertainty in coordination games,” working paper #804, Universitat Pompeu Fabra.
- Kachelmeier, S.J. (1996), “Do cosmetic reporting variations affect market behavior?” *Review of Accounting Studies*, 1, pp. 115–140.
- Kahneman, D. and A. Tversky (1979), “Prospect theory: an analysis of decision making under uncertainty,” *Econometrica* 47, pp. 273–297.
- Manzini, P., A. Sadrieh, and N.J. Vriend (2002), “On smiles, winks and handshakes as coordination devices,” Dept. of Economics Working Paper No. 456, Queen Mary, University of London.
- Ochs, J. (1995), “Coordination games,” in *Handbook of Experimental Economics*, J.H. Kagel and A.E. Roth, eds., Princeton University Press, Princeton, NJ., pp. 195–252.
- Rabin, M. and R.H. Thaler (2001), “Anomalies: risk aversion,” *Journal of Economic Perspectives* 15, pp. 219–232.
- Rapoport, A. and R.B. Boebel (1992), “Mixed strategies in strictly competitive games: a further test of the minmax hypothesis,” *Games and Economic Behavior* 4, pp. 261–283.
- Rousseau, J.-J. (1973), “A discourse on the origin of inequality,” in *The Social Contract and Discourses* (translated by G.D.H. Cole), J.M. Dent & Sons, London, pp. 27–113.
- Rydval, O. and A. Ortmann (2005), “Loss avoidance as selection principle: evidence from simple stag–hunt games,” *Economics Letters* 88, pp. 101–107.
- Schelling, T. (1960), *The Strategy of Conflict*, Harvard University Press, Cambridge, MA.

- Siegel, S. and N.J. Castellan, Jr. (1988), *Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences*, McGraw-Hill, New York.
- Stahl, D.O. and J. van Huyck (2002), "Learning conditional behavior in similar Stag Hunt games," working paper.
- Thaler, R.H. and E.J. Johnson (1991), "Gambling with the house money and trying to break even: the effects of prior outcomes on risky choice," *Management Science* 36, pp. 643-660.
- Tversky, A. and D. Kahneman (1991), "Loss aversion in riskless choice: a reference-dependent model," *Quarterly Journal of Economics* 106, pp. 1039-1061.
- Tversky, A. and D. Kahneman (1992), "Advances in prospect theory: cumulative representation of uncertainty," *Journal of Risk and Uncertainty* 5, pp. 297-323.
- Van Huyck, J.B., R.C. Battalio, and R.O. Beil (1990), "Tacit coordination games, strategic uncertainty, and coordination failure," *American Economic Review* 80, pp. 234-248.
- Van Huyck, J.B., R.C. Battalio, and R.O. Beil (1991), "Strategic uncertainty, equilibrium selection, and coordination failure in average-opinion games," *Quarterly Journal of Economics* 106, pp. 885-910.
- Waller, W.S., B. Shapiro, and G. Sevcik (1999), "Do cost-based pricing biases persist in laboratory markets?" *Accounting, Organizations, and Society* 24, pp. 717-739.

HOW PLAYERS WITH REINFORCEMENT LEARNING PLAY IN CHEAP-TALK GAME: COMPARISON BETWEEN SIMULATIONS AND EXPERIMENTS

Atsushi Iwasaki

*Graduate School of Science and Technology
Kobe University
1-1, Rokko, Nada, Kobe 560-8501, Japan
iwasaki@mi-2.mech.kobe-u.ac.jp*

Sobei H. Oda

*Faculty of Economics
Kyoto Sangyo University
Kamigamo, Kita, Kyoto 603-8555, Japan
oda@cc.kyoto-su.ac.jp*

Nariaki Nishino, Itsuo Hatono and Kanji Ueda

*Faculty of Engineering
Kobe University
1-1, Rokko, Nada, Kobe 560-8501, Japan
{nishino, hatono, ueda}@mi-2.mech.kobe-u.ac.jp*

Abstract

This paper describes how computer simulations can reproduce the results of economic experiments with human subjects. It is illustrated by examining the simulations and experiments of two-person cheap-talk games where a player must send a message to the other player before the latter chooses an action. The results of experiments depend on whether the message can be a meaningful sentence or must be an ambiguous symbol, while both results can be reproduced by reinforced learning if the agents' initial propensities to choose actions are chosen adequately. The analysis suggests that it can play a crucial role in cheap talk to which degree the players share the meaning of messages before playing the game, presenting a way to introduce it into simulations.

Keywords: reinforcement learning, cheap-talk games, experimental economics, computational economics.

1. Introduction

Experiment is a new analytical tool for economists. By designing an economic game and using monetary rewards to motivate human subjects to play it, economists can observe how people (do not) behave as the economic theory predicts. Since Chamberlin's first economic experiment (1948), experimental economics has added a number of new insights (as well as ques-

tions) into human behaviour to enrich economics.

In experiment, however, only subjects' action is observable; their strategy is not. Certainly the subjects may be asked why they chose their actions after the experiment, but they may not willing to answer honestly if they can.

In the circumstance computer simulation can be complementary to experiment. Simulations make it possible to make thousands of agents play the same game for millions of times. The point is not that agents are never tired of repeatedly playing the game without asking monetary rewards but that agents are programmed so that their strategy are transparent and controllable to the experimenter. By programming such agents that simulations reproduce the results of the experiment, we could guess the strategy of the subjects.

In this paper we shall examine the two-person cheap-talk games whose experiments were done by Blume *et.al*(Blume, DeJong, Kim, and Sprinkle 1998) and Kawagoe and Takizawa(Kawagoe and Takizawa 2000). Their results show that cheap talk, or free communication between the players affect the result of the game or the choice of equilibrium. What is not clear is whether meaningful communication is realised perfectly endogenously or with the aid of some exogenous factor. By using simulations and experiments complementarily, we shall show that the effect of cheap talk crucially depends on the degree to which the players share the understanding of message before playing the game.

This paper is organised in the following way.

In Section 2 we shall explain the cheap-talk games to be examined in this paper. They are *the common interest game*, where both sender and receiver of message are beneficiaries of communication, and *the partial common interest game*, where the receiver is the only beneficiary. We did experiments for each game with two different message spaces: {statements about something the sender (does not) want to communicate to the receiver} and {abstract symbols which cannot convey meaning by themselves}. The results show that human subjects cannot ignore the meaning of message even if it is possible or desirable.

In Section 3 we shall explain the formulation of our reinforcement learning. In simulations each agent, which has an initial propensity to choose to each of its possible action, gradually changes its propensities as it repeatedly play the game and gets the rewards. We shall see that the results of simulations crucially depend on the combination of the agents' initial propensities, which expresses the (dis)agreement of the meaning of message between the agents. This explains the results of our experiments.

Last we shall mention some concluding remarks in Section 4.

2. The Cheap-talk Games

2.1 the games

We shall examine the following games in this paper:

- (1) The sender's type, which is either **A** or **B**, is determined stochastically with equal probability.
- (2) The sender is told his type.
- (3) The sender sends a message, which is either α or β , to the receiver.
- (4) The receiver gets it without any noise.
- (5) The receiver chooses one of the three actions: **a**, **b** and **c**.
- (6) The sender and the receiver get rewards according to the former's type and the latter's action.

Here the sender's type is not revealed to the receiver and neither the sender's reward nor the receiver's depends on the sender's type; the pay-off table used in our experiment is Table 1 or Table ???. All the above, together with the pay-off table, is told to the sender and the receiver in the same room so that it can be regarded as common knowledge.

Table 1 Pay-off Table 1(*the common interest game*)

| | | receiver's action | | |
|---------------|---|-------------------|--------|--------|
| | | a | b | c |
| sender's type | A | (4, 4) | (1, 1) | (3, 3) |
| | B | (1, 1) | (4, 4) | (3, 3) |

Table 1 stands for pay-offs for the game which Blume *et.al*(Blume, DeJong, Kim, and Sprickle 1998) call the *common interest game*. It has two Nash equilibria:

Table 2 Pay-off Table 3(*the partial common interest game*)

| | | receiver's action | | |
|---------------|---|-------------------|--------|--------|
| | | a | b | c |
| sender's type | A | (4, 4) | (1, 1) | (2, 3) |
| | B | (3, 1) | (2, 4) | (4, 3) |

BE: the sender sends a message (α or β) so that the receiver cannot guess his type, while the receiver chooses Action **c** whichever message she receives.

SE: the sender sends a message so that the receiver can guess his type, while the receiver chooses Action **a** (**b**) if she thinks his type is **A** (**B**).

The former equilibrium, where cheap talk, or free communication between the sender and the receiver, plays no role, is called the *babbling equilibrium* while the latter equilibrium, which cannot be realised without cheap talk, is called the *separating equilibrium*.

A few remarks may be called for here.

The following are examples of **BE** and **SE**:

BE1: the sender sends Message α or α with equal probability, while the receiver always chooses Action **c**. sends a message so that the receiver can guess

SE1: the sender sends Message α (β) if his type is **A** (**B**), while receiver chooses Action **a** (**b**) if she gets Message α (β).

It can readily checked that **BE1** and **SE1** constitutes a Nash Equilibrium. Nevertheless there are not the only examples of **BE1** and **SE1**

Table 2 represents pay-offs for the game which Blume *et.al*(Blume, DeJong, Kim, and Sprickle 1998) call the *partial common interest game*. It has only one equilibrium, which is **BE**.

2.2 the experiments

Kawagoe and Takizawa(Kawagoe and Takizawa 2000) made a number of experiments of the cheap-talk game for each of the three pay-off tables. We replicate a number of experiments of the cheap-talk game for each of the two of three pay-off tables. There are three differences between the settings of our experiments and those of the experiments which Kawagoe and Takizawa conducted.

First, in each experiment of Kawagoe and Takizawa, thirteen subjects play the game for twelve times (in total $13 \times 12 = 156$ games are observed). On the other hand, in our design, twelve subjects play the game for twenty two times (in total $12 \times 22 = 264$ games are observed)¹. All subjects are recruited from undergraduate students at the Kyoto Sangyo University with no prior experience in our games.

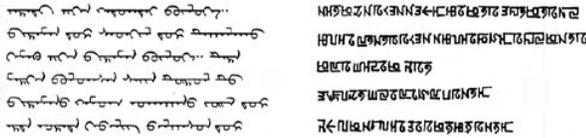
Secondly, in the experiments by Kawagoe and Takizawa, no subject plays the game more than twice with the same subject, while each player plays the game for

¹We have additional 25 repetitions next to the session. However we shall not discuss it in this paper.

three times as the Type-A sender, for three times as the Type-B sender and for six times as the receiver. On the other hand, in our experiments, the sender or the receiver is given a subject stochastically at the beginning of each round. Then the sender and the receiver are randomly matched in each round of a game.

Thirdly, in the experiments by Kawagoe and Takizawa, the probability with which sender's type is chosen is not explained to subjects. The sender's messages α and β are sentences: "I'm a Type A" and "I'm a Type B". Here the messages have apparent meaning. And we add different initial treatment in which subjects have no initial meaning of the messages in order to estimate the degree of the prior understanding must effect the results of cheap-talk games. The initial treatment in our experiments are: (1) Pay-off table 1 in which the messages has apparent meaning; (2) Pay-off table 3 in which the messages has apparent meaning; (3) Pay-off table 1 in which the messages has non-apparent meaning; (4) Pay-off table 3 in which the messages has non-apparent meaning.

The sender's message α and β are sentences like Kawagoe and Takizawa in (1) and (2). In contrast, the sender's message α and β are simple images in (3) and (4): Fig. 1(a) and 1(b). We call them **X** and **Y** respectively. All subjects observe the **X** and **Y**. The images appears in the order **X**, **Y** or **Y**, **X** on an individual subject's screen. The order changes stochastically at every round.



(a) Image X

(b) Image Y

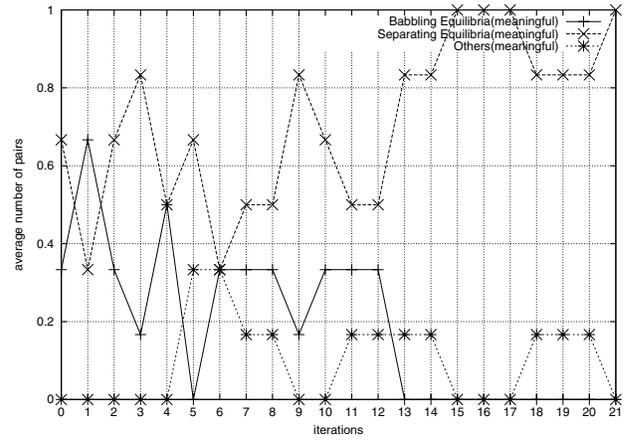
Fig. 1 The images of non-apparent messages referred from *Gödel, Escher, Bach: an Eternal Golden Braid* by Douglas R. Hofstadter, p.168.

2.3 the results of experiments

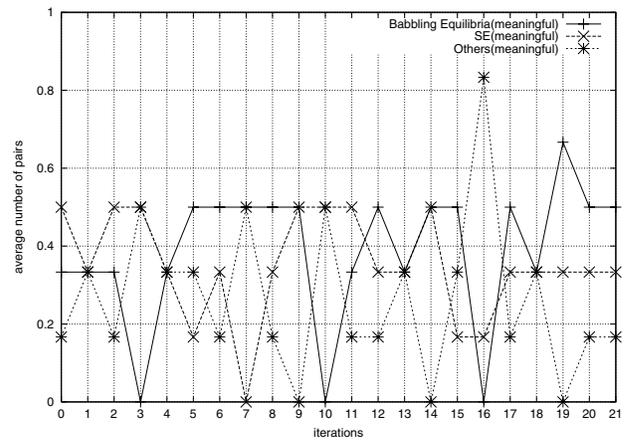
We report the results of experiments for pay-off table 1 and 3. The treatment (1) and (2) support the analysis of Kawagoe and Takizawa. The other treatment (3) and (4) give some additional insights in terms of how the meaning of messages affects the subjects' behaviour. The results of the experiments can be summarised in

Table 3 The results of experiment for Pay-off Table 1

| Pay-off Table 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| SE | 1 | 5 | 2 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| BE | 1 | 1 | 4 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Others | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |



(a) Pay-off Table 1



(b) Pay-off Table 3

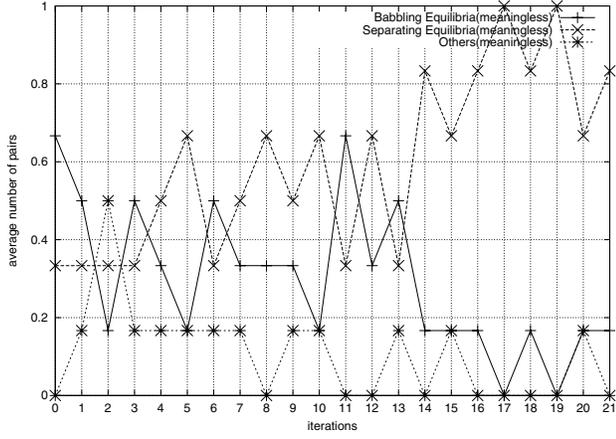
Fig. 2 the results of subject experiments: the meaning of messages is given as "I am type of A" or "I am type of B".

the following way:

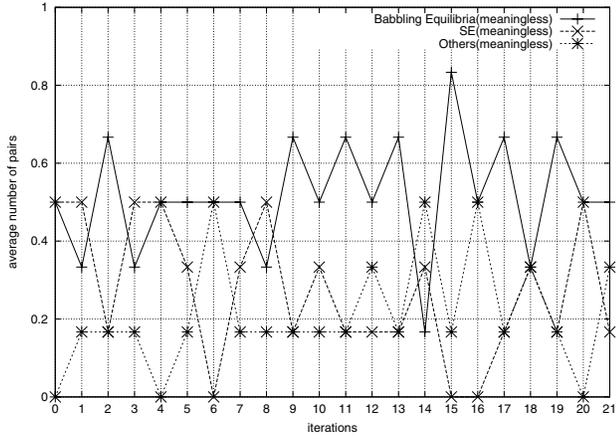
- For pay-off table 1, a rapid convergence to **SE** is observed; see Table 3 for example. We observe the slower convergence to **SE** in the treatment (1); see Fig. 2(a). However, we can say that the results of (1) support that of Table 3 because Fig. 2(a) shows the clear tendency to **SE**.
- For Table 2, about a half of subjects choose to play the unique Nash equilibrium **BE** in the long run, while the remaining subjects continue to choose non-equilibrium actions; see Table 4. This result

Table 4 The results of experiment for Pay-off Table 3

| Pay-off Table 3 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| BE | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 1 | 3 |
| Others | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 5 | 3 |



(a) Pay-off Table 1



(b) Pay-off Table 3

Fig. 3 the results of subject experiments: the meaning of messages is not given and subjects just choose one of two images in Fig. 1.

is supported by Fig. 2(b).

In all **SE** observed, the sender chooses Message α or β according as her type is **A** or **B** in the experiment for the pay-off table 1, in which the messages have apparent meanings. This is quite understandable, because α is “I’m a Type **A**.” and β is “I’m a Type **B**.”. Actually, Fig. 2(a) shows more rapid convergence to **SE** than that in the experiment in which the messages have non-apparent meanings. Fig. 3(a) shows that subjects seem to capture the meanings of the messages in common though they have no initial meaning of the messages in the treatment (3). However, it is clear that subjects take some time to understand the meanings of the messages.

For pay-off table 3, the frequency of **BE** is observed in the treatment (4) more than in the treatment (2); see Fig. 3(b). **BE** become realised easily in the for-

mer treatment. In other words, subjects as the receiver tends to choose action **c** because it is difficult for them to understand the meaning of the messages.

3. The formulation of learning

Let us review the cheap-talk game from the viewpoint of the decision-making based on information. Knowing her type $info^S \in \{\mathbf{A}, \mathbf{B}\}$, the sender sends her message $ac^S \in \{\alpha, \beta\}$. Hence we can presume that at time t (the beginning of the t th game), the sender has a propensity $q_{ac^S|info^S}^S(t)$ for each of the four combination of $info^S$ and ac^S . Similarly we assume that the receiver, who knows the sender’s action $info^R = ac^S$ to determine his action $ac^R \in \{\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c}\}$, has six propensities: $q_{ac^R|info^R}^R(t)$.

As to update on the propensities let us assume the following. Suppose that at the preceding $(t - 1)$ th game, $info^S$ and ac^S were actually $info^S(t - 1)$ and $ac^S(t - 1)$ respectively. Then the propensities change according to

$$q_{ac^P|info^P}^P(t) = \begin{cases} q_{ac^P|info^P}^P(t-1) + mR^P(x^P(t-1)) & \text{if } \begin{cases} ac^P = ac^P(t-1) \\ info^P = info^P(t-1) \end{cases} \\ q_{ac^P|info^P}^P(t-1) & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (1)$$

Here P represents the role of the player: S or R , while $R^P(x^P(t-1))$ is the reinforcement function defined by

$$R^P(x^P(t-1)) = x^P(t-1) - x_{min}^P \quad (2)$$

where $x^P(t-1)$ represents the pay-off the Player P obtains from the $t - 1$ th game while x_{min}^P stands for the minimum pay-off Player P can expect from the game (The pay-off table being given, x_{min}^P is a constant and $x^P(t)$ is a function of $info^S(t)$ and $ac^R(t)$); for example $x_{min}^R = 1$ and $x^R(t) = 4$ if the table is Table 1, $info^S(t) = \mathbf{A}$ and $ac^R(t) = \mathbf{a}$). m has a constant value which represents the strength of the pay-off at a round ($m = 5$).

We assume that the probability with which a player chooses an action is proportional to his/her propensity to the action. That is to say, we assume that the probability with which Player P chooses action ac^P in the t th game if he or she obtains information $info^P$ is

$$p_{ac^P|info^P}^P(t) = \frac{q_{ac^P|info^P}^P(t)}{\sum_{\text{all } \theta} q_{\theta}^P(t)}. \quad (3)$$

Our formulation of reinforcement learning is so simple that it has only one parameter. Once the initial probability is given for all the then propensities: $q_{ac^S|info^S}^S(0)$ and $q_{ac^R|info^R}^R(0)$, the actions of the players $ac^S(t)$ and $ac^R(t)$ are stochastically determined according to random seeds. The initial propensities are given as the following equations:

$$q_{ac^P|info^P}^P(0) = p_{ac^P|info^P}^P(0) \cdot s \cdot X_n \quad (4)$$

where s and X_n represents a strength parameter and the average of the pay-offs respectively. s has a fixed value through simulations described in the next section ($s = 54$).

Let us consider what is implied by differences among $p_{acP|infoP}^P(0)$. For example let us suppose that

$$p_{\beta|B}^S(0) = up_{\alpha|B}^S(0) \quad \text{where } u = 2. \quad (5)$$

Then the sender is, without any experience of the game, twice as likely as to choose Message β than α if she knows her type is **B**. Such a condition as (5) seems natural and necessary for explaining the results of laboratory experiments if the message has an ordinary meaning that suggests the sender's type. Certainly (5) would be unrealistic if Messages α and β were "My hat is black" and "My shirt is white". However, if they are "I'm a Type **A**" and "I'm a Type **B**", the sender may choose the former for making her type known to the receiver.

We also consider v and w to determine the initial propensities for the receiver:

$$\begin{aligned} p_{a|infoR}^R(0) &= vp_{b|infoR}^R(0), \\ 1 - w &= p_{a|infoR}^R(0) + p_{b|infoR}^R(0), \\ w &= p_{c|infoR}^R(0) = p_{c|\beta}^R(0). \end{aligned} \quad (6)$$

v implies the same meaning as u , while w implies how much the player ignores the meaning of messages.

A few remarks may be called for. First, we are not insisting that most people are usually honest. For Table 2 u may be smaller than 1, because the sender may pretend to be a Type **A**. The sender and the receiver may be involved more complicated speculation, taking account of their opponents' reasoning. It would be possible that u converges to 1 indeed as the result of intricate inter-speculation and learning, but it could not be presumed *a priori* in laboratory experiments. Hence we have made a number of simulations for various combination of the initial values of the propensities, whose results we shall see in the next section.

Secondly, even if the value of u is given, the absolute level of $q_{\beta|B}^S(0)$ is not determined uniquely. It determines the decreasing rate of the effect of learning defined as the changing rate of $q_{\beta|B}^S(0)$. The effect always decreases as t increases; yet its decreasing rate is greater if the initial value of $q_{\beta|B}^S(t)$ is larger. This also apply to other propensities. In our simulations, however, the effect of the absolute level of the initial propensities have little effects both in qualitative and quantitative terms. Hence we shall not discuss the effect of the absolute level of initial propensities in this paper.

4. The settings and results of simulations

We implement two simulated players as a sender and a receiver respectively in the cheap-talk game. They play the game along the procedure described in section 2.1 for two hundreds repetitions. Fig. 4 and 5

illustrates the average frequency of each of three combination of the sender's type and the receiver's action over the fifty simulations; **BE**, **SE** and **OT**.

4.1 the results of the case in which each simulated player chooses his/her action with equal probability at the initial trial

We investigate whether the simulation results in Fig. 4(a) and Fig. 5(a) are consistent with the experimental results in Fig. 2 or not in the subsequent section. When you let each simulated player make her decision using reinforcement learning (**RL**), you usually give the equal probability with which she chooses her alternatives at the initial trial. **RL** with the setting describes the subject's behaviour in games with unique strategy equilibria fully. However, both of results displayed in Fig. 4(a) and Fig. 5(a) are inconsistent with the subjects' behaviour.

For the pay-off table 1, Fig. 4(a) shows that the frequency of **BE** gradually increases, while the subjects realise **SE** easily. It might odd that **RL** could not find **SE** in which the sender and the receiver get the highest payoff though the structure of the pay-off table 1 is so simple. We repeat the cheap-talk game 100 thousands of rounds. Certainly we confirm that the convergence to **SE** begins, but the frequency is about 40% even in the last 200 rounds.

For the pay-off table 3, Fig. 5(a) shows the same tendency as Fig. 5(a). Under half of simulated players play **BE** even in the last trial though about half of subjects continue to play **BE** thorough the experiments. Accordingly, the simulation results in Fig 5(a) is inconsistent with the experimental results, too. In addition, we confirm that the frequency of **BE** increases more and more in the long-run simulations (about 70%).

These inconsistency may result from the meaning of the messages. The messages in the subject experiment has the ordinary meaning: "I am Type **A**" and "I am Type **B**" in the treatment (1) and (2). The meaningful messages affects the subjects' choice, while the simulated players could have no meanings of the messages, that is to say, the messages are described as simple digit numbers: 0 and 1. Accordingly, we let the simulated players have the meaning of the messages using the bias to the initial probabilities, u , v , w in the next section.

4.2 The results of the case in which simulated players choose his/her action with different probability at an initial trial

Here we introduce bias to initial probabilities to simulated players' choice using u , v , w . And we investigate how well the bias can let **RL** describes the subjects' behaviour displayed in Fig. 2.

For the pay-off table 1, Fig. 4 shows that the simulation results gradually come close to the experimental results as u and v increase and w decreases. In other words, the clear convergence to separating equilibrium

become observed(Fig. 4(b)($u = v = 9, w = 0.333$) and 4(c)($u = v = 9, w = 0.2$)).

For the pay-off table 3, Fig. 5 shows that the bias let the simulation results come close to the experimental results. Fig. 5(b)($u = v = 1$ and $w = 0.5$) shows that the simulated players come to play as often as subjects play it. But we observe the gradual increasing number of players. That does not appeared in the experiments. Fig. 5(c)($u = v = 2$ and $w = 0.5$) shows the results in which the simulated players more slightly tend to play **SE**. Here we can observe the number of the players who are playing **BE** remains. We can say that the simulation results are relatively consistent with the experimental results(Fig. 2(b)) because of the bias to initial probabilities, given by u, v .

In summary, when each simulated player chooses his/her action with equal probability at an initial trial, **RL** cannot reproduce the subjects' behaviour in the cheap-talk game. However only when simulated players choose his/her action with the proper biased probability at an initial trial **RL** could reproduce the subjects' behaviour in the cheap-talk game.

4.3 discussions

We suggest the communication structure of the cheap-talk games from the view point of the biased initial probability with which simulated players behave as well as subjects.

For the pay-off table 1, the subjects play **SE** within very short rounds because the messages has apparent meaning. This statement can be supported by the experimental results under the treatment (3), in which the messages is given with the ambiguous symbols, or the non-apparent messages. We confirm that the subjects come to play **SE** within the longer rounds in Fig. 3(a)². We introduce the biased initial probabilities in order to represent the meaning of the message which the subject may have. It is apparent that **SE** realises more clearly under the condition. We can say that the subjects could understand each meaning of their alternatives before they play the game actually. In other words, the sender and the receiver has the prejudice(expectation) about his/her messages and actions in common. The prejudice establish the communication between the sender and the receiver. As a result, **SE** realises in the subject experiments because **SE**, or the **separating equilibrium** is established by the subject understanding the meaning of the messages (Fig. 6(a)). The statement is also supported by the results for the pay-off table 3.

For the pay-off table 3, the subjects does not converge to play **BE** which is the unique equilibrium. The simulated players with the biased initial probability behave as well as the subject. The bias to the receiver's action **c** get the simulation results to come close to

²Certainly, you may point out that, the convergence to **SE** is observed even with the non-apparent messages, but Blume *et. al*(Blume, DeJong, Kim, and Sprinkle 1998) shows that subjects find the meaning of the messages in common.

the experimental results in terms of the frequency of **BE**. Then the bias to the sender's messages and the receiver's action **a** and **b** is required to reproduce the experimental results, too. This simulation results have two suggestion; (1) subjects tends to realise **BE**; (2) they try to realise **SE**, that is to say, try to understand the meaning of the messages. As a result the subjects does not converge to play **BE** though it is the unique equilibrium for the pay-off table 3. In other words, the subjects have the common prejudice about his/her messages and actions as well as the subjects for the pay-off table 3. The prejudice establish communication among subjects. Accordingly the prejudice prevent **BE** from realising because the subjects play **BE** when they ignore the meaning of the messages (Fig. 6(b)).

5. Concluding Remarks

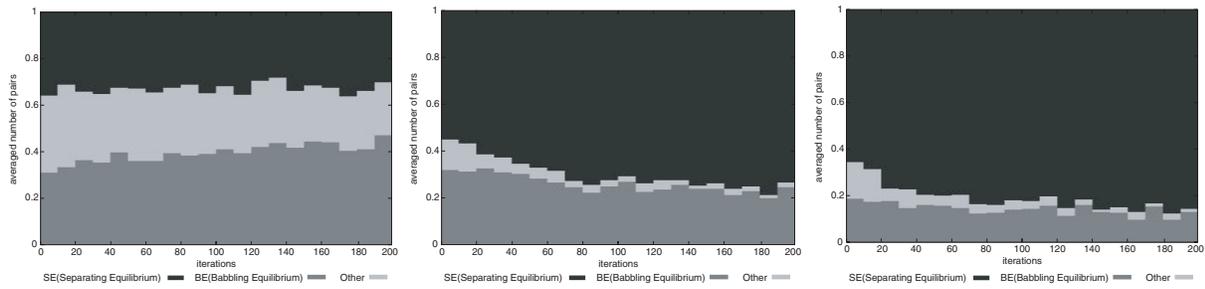
Learning model can occasionally account for those behaviour of subjects which the equilibrium analysis does not seem to explain(cf. Erev and Roth(Erev and Roth 1998) and Feltovich(Feltovich 2000).) Our analysis of pay-off table 3 is an example: our simple reinforcement learning model reproduces a long coexistence of the babbling equilibrium and out-of-equilibrium states.

The results of learning can depend on the initial expectation of subjects. Certainly the results of simulations for pay-off table 3 do not depend on their initial expectation unless the receiver presumes, between the sender's message and her type, such a strong correspondence that the sender can make use of without anxiety. Nevertheless simulations for pay-off table 1 show that a convergence to the separating equilibrium, which is observed in laboratory, is realised only if at least one of the players has biased expectation when they play the game for the first time.

Human subjects *play* the game, guessing what meaning a message conveys by using their knowledge outside the game. Otherwise, as our simulation suggest, the results of experiments might not be realised. Of course another formulation of reinforcement learning may succeed in giving meaning to messages; for example Message α may gradually acquire the meaning that the sender's type is **B** so that the other separating equilibrium may be realised. Such emergence of meaning must be possible, but at least it will slow down the convergence to equilibrium. The subjects' importation of meaning from the outside the game could play an important role in the real world and should deserve more attention.

Acknowledgements

This research is supported in part by a Grant-in-Aid of Scientific Research (Number: 13480115) and by Open Research Centre(<http://www.kyoto-su.ac.jp/project/orc>) by the Ministry of Education, Culture, Sport, Science and Technology.

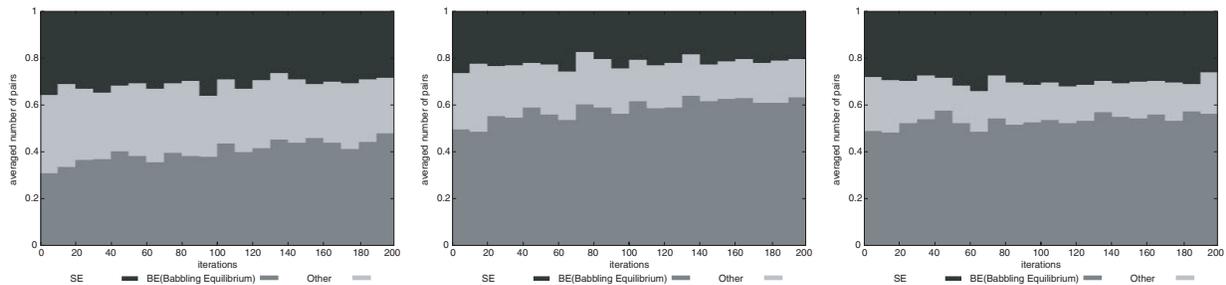


(a) Each player chooses his/her action with equal probability at an initial trial (Pay-off table 1, $u = v = 1$, $w = 0.333$).

(b) Type **A(B)** sender tends to send Message $\alpha(\beta)$ and the receiver tends to take Action **a(b)** at an initial trial (Pay-off table 1, $u = v = 9$, $w = 0.333$).

(c) The receiver tends to take Action **c** less than Fig. 4(b) at an initial trial (Pay-off table 1, $u = v = 9$, $w = 0.200$).

Fig. 4 The results of pay-off table 1

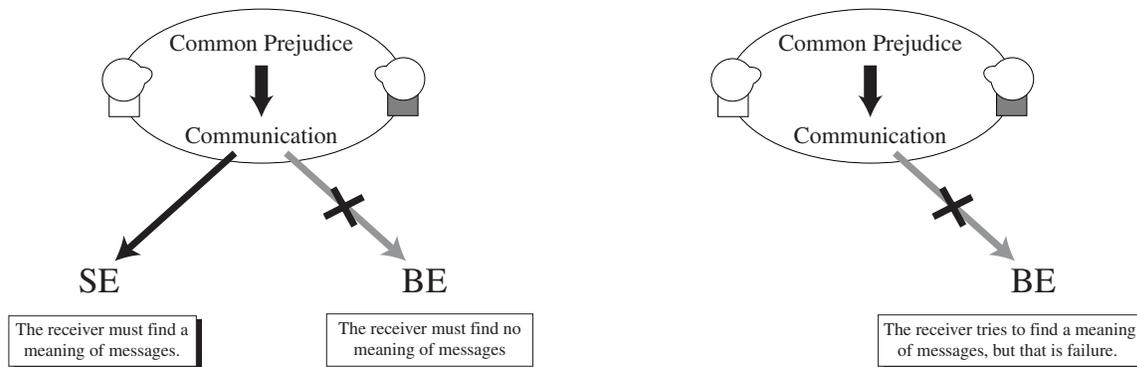


(a) Each player chooses his/her action with equal probability at an initial trial (Pay-off table 3, $u = v = 1$, $w = 0.333$).

(b) The receiver tends to take Action **c** more than Fig. 5(b) at an initial trial (Pay-off table 3, $u = v = 1$, $w = 0.500$).

(c) Type **A(B)** sender tends to send Message $\alpha(\beta)$ and the receiver tends to take Action **a(b)** at an initial trial (Pay-off table 3, $u = v = 2$, $w = 0.500$).

Fig. 5 The results of pay-off table 3



(a) The structure of the cheap-talk in pay-off table 1

(b) The structure of the cheap-talk in pay-off table 1

Fig. 6 The structure of games

References

Farrell, J.. (1996). "Cheap talk", *Journal of Economic Perspective*, 10, pp. 103-18.

Kawagoe, T. and H. Takizawa. (2000). "Instability of Babbling Equilibrium in Cheap Talk Games: An

- Experiment". In: *the Fourth Annual Conference of The Japan Association for Evolutionary Economics* (Tokyo, 25-26 March), pp. 108-111.
- Blume, A., DeJong, D.V., Kim, Y.G., and Sprinkle, G.B. (1998). "Experimental evidence on the evolution of meaning of messages in sender-receiver games". *American Economic Review*, 88, pp. 1323-1340.
- Charness, G. (2000). "Self-serving Cheap Talk and Credibility: A Test of Aumann's Conjecture". *Games and Economic Behavior*, Vol. 33, No. 2, pp. 177-194.
- Ostrom E., Gardner R. & Walker J. (1994). *Rules, Games, & Common-Pool Resources*, Michigan University Press.
- Erev, I. and A.E. Roth. (1998). "Predicting How People Play Games: Reinforcement Learning in Experimental Games with Unique, Mixed Strategy Equilibria". *American Economic Review*, Vol. 88, No. 4, pp. 848-881.
- Feltovich, N. (2000). "Reinforcement-Based vs. Beliefs-Based Learning in Experimental Asymmetric-Information Games". *Econometrica*, 68, pp. 605-641.
- Oda, S. H., A. Iwasaki and K. Ueda. (2000). "Simulating cheap-talk games", presented at The Economic Science Association Meeting, New York City, USA.

Page numbers should not be typed: please write first author's name and page number in each sheet slightly in the right corner near the bottom with a pencil.

ネットワーク型囚人のジレンマにおける行動情報の影響

井 寄 幸 平[†] 小 田 宗 兵 衛[†]

本研究では「ネットワーク型囚人のジレンマ」の被験者実験をそれぞれ2種類のペア形成規則（指名ペア条件・強制ペア条件）・情報構造（不完全情報条件・完全情報条件）により行動主体間に発生する協調行動について分析し、計算機実験による被験者行動の再現をおこなった。本研究で提案する「信頼度」にもとづく行動決定手法により、被験者実験でみられた以下の2点の特徴を計算機実験によって再現できた。

- ほとんどの被験者（プレイヤー）が常に同じ相手を指名し、協力する「継続的協調ペア」が一定数形成されるか、全く協調しないかのいずれかに分類される。
- 協力率の高い被験者（プレイヤー）ほど平均得点が高い。

現実社会で観察される継続的関係の多くは互いの合意にもとづくものであり、企業や消費者といった社会システムを構成する主体間の関係の分析は重要である。特に、ネットワークを通じた取引やオークションでの売買など、実際に相手と会って交渉しなくてもいい場合には相手が信頼できるかどうかを見極め、その上で有益な関係を築いていく必要がある。このような状況のモデル化、および分析にあたって本研究で用いた手法が応用できると考えている。

The effect of players' information in the Prisoners' Dilemma Network

KOUHEI IYORI[†] and SOBEI H. ODA[†]

This paper describes how people establish or fail to establish long-run cooperation in the Prisoner's Dilemma Network (PDN), where subjects are allowed to nominate a subject with whom they want to play the Prisoner's Dilemma (PD) game at the beginning of each round. We have done a series of experiments with undergraduates and computer simulations of the PDN games. In the experiments most subjects either continued to play the PD game cooperatively with the same partner or never played the PD game cooperatively in the long run, and those who were more cooperative earned more. Since the simulations reproduced the results of the experiments, we can guess the subjects' strategies, which were not as apparent and controllable as the programs of agents.

1. はじめに

本研究では、「ネットワーク型囚人のジレンマ」^{7)~9)}を用いて行動主体間に発生する関係と協調行動を被験者実験およびマルチエージェントシミュレーションによって分析する。

従来の囚人のジレンマ研究¹⁾は主体間の関係を「継続的」かつ「強制的」なもの、すなわち変更や解消が不可能なものとして取り扱ってきた。しかし神ら^{8),9)}は現実社会で観察される継続的関係の多くは当事者間の合意によって成立したものであり、また変更や解消が可能な「非強制的」関係であるとしている。たとえば消費者間の情報のやりとりや企業間の取引関係は必ずしも強制力を持つものではなく、むしろ互いが自由

に選択することが可能である。このような問題に対して山岸らは「ネットワーク型囚人のジレンマ」を提案している。ネットワーク型囚人のジレンマでは各行動主体が集団の中から自由に自分の対戦相手を選択・変更することができ、相互の意思にもとづいて成立したペアによってゲームの対戦がおこなわれる。

本研究では行動主体間に構築される関係のうち、特に「相互協力」を継続的に維持する協調行動に着目し、主体に与えられる他者の行動情報が相互協力の発生・維持にどのような影響を与えるかを分析する。まず被験者実験によって実際に人間がどのような行動をとるか分析し、マルチエージェントシミュレーションによって被験者行動の再現・分析をおこなう。

2. ネットワーク型囚人のジレンマ

2.1 基本モデル

本研究では、4人1組の集団を仮定して以下のよう

[†] 京都産業大学
Kyoto Sangyo University

にネットワーク型囚人のジレンマのモデルを定義する。囚人のジレンマの対戦をおこなうペアを形成するにあたり、2種類の規則を導入する。

- (1) 各プレイヤーは集団の中から対戦を希望する相手を1名選択し指名する。
- (2) 各プレイヤーの指名にもとづいてペアを形成する。本研究で用いるペアの形成規則は以下の2つである。
 - (a) 指名ペア (PDN α): 互いに指名しあったプレイヤー同士をペアにする。
 - (b) 強制ペア (PDN β): まず、互いに指名しあったプレイヤー同士をペアにする。次に相互指名が成立しなかったプレイヤーをランダムに組み合わせてペアとする。
- (3) ペアが成立したプレイヤー同士で囚人のジレンマゲームの対戦を行う。ペアを形成したプレイヤーは相手に対し「協力」か「非協力」を選択する。
- (4) 各プレイヤーの行動と表1に示す利得表をもとに各プレイヤーに利得が与えられる。PDN α においてゲームに参加できなかったプレイヤーには(ゲームをおこなって互いに非協力を選択した場合と同じ)1点が与えられる。

以上の手順を1ラウンドとする。また、同じ被験者と規則のもとでゲーム終了までおこなわれる複数回のラウンドを1セッションとする。

表1 Payoff matrix

| | cooperate | defect |
|-----------------|-----------|--------|
| cooperate | 3, 3 | 0, 5 |
| defect | 5, 0 | 1, 1 |
| 1 if not paired | | |

ネットワーク型囚人のジレンマでは、相手との合意が成立しなかった場合のプレイヤーの取り扱いが問題となる。現実社会では合意が成立せず取り残された集団の成員が残された成員といやおうなく関係を形成させられる場合もありうるし、誰とも関係を持たない場合もある⁸⁾。前者は本研究のモデルにおけるPDN β に相当し、後者はPDN α に相当する。先行研究では、被験者実験で前者をおこなったもの⁸⁾やシミュレーションを用いて後者をおこなったもの⁹⁾がある。本研究では2種類のペア形成規則を用いたうえで被験者実験とシミュレーションの双方をおこない、さらに被験者に与える行動情報について2種類の条件を用意する。

2.2 プレイヤーに与えられる行動情報

- 不完全情報条件：各プレイヤーは自分の対戦した相手の行動のみを知ることができる。つまり、実

際にペアを組んだ相手とその行動のみが各プレイヤーに公開されている。対戦していない(ペアを組んでいない)プレイヤーの行動を知ることができない。ただし、PDN α において自分が指名したにもかかわらずペアが成立しなかった場合、相手が自分を指名していなかったことは間接的に知ることができる。PDN β では相互の指名によるペアが成立していたのか、強制的にペアを組んだのかも知らされる。

- 完全情報条件：すでに終了した他のプレイヤーの行動(指名相手・ペアの相手・ゲームの手の選択)をすべて知ることができる。

3. 被験者実験

3.1 被験者実験の概要

上述のモデルを用いて被験者実験をおこなった。実験は2002年7月から2005年7月の間に6日間行われ、京都産業大学の学部生および交換留学生から募集された被験者が実験に参加した。参加人数は各日20~28名で、参加総数は120名である。なお、各日の被験者は重複しておらず、過去に同種の実験に参加していないことを条件に選抜された。参加者募集はホームページと掲示によりおこなわれ、いずれも実験結果に比例する金銭が報酬として支払われることが明記された。実験は1日に2種類おこなわれ、それぞれペア形成規則が異なる実験がおこなわれた。実験のおこなわれた順序を明記するため、第1セッションの実験は実験条件のあとに1を、第2セッションの実験は2を付加して示す(指名ペア-強制ペアの順ならばPDN α -1, PDN β -2と表記する)。それぞれの実験の前に、被験者はランダムに4人ずつのグループに分けられた。また、第2回目の実験におけるグループは第1回目とは異なる(第1回目で同じグループになった被験者とは第2回目では必ず別グループとなる)。ランダムにグループ分けがおこなわれていること、および第2回目のグループが第1回目と異なることは被験者に知らされているが、誰と誰が同じグループになっているかは最後まで知らされない。

各被験者はコンピュータ画面に表示される実験画面を通してゲームをおこなう。

- メイン画面：画面右上のフレーム。相手の指名および行動決定をおこなう。また、ゲームの対戦結果が表示される。数字による順序効果为了避免のため他のプレイヤーは色で表示されており、ゲームの手の選択の際には心理的效果を避けるため「協力」「非協力」ではなく「A」「B」と表記されて

いる。

- 履歴画面：画面左のフレーム．過去のラウンドにおける自分の指名した相手，実際にペアになった相手，自分と相手の行動，ゲームの得点の履歴が表示される．
- 得点表：(不完全情報条件での)画面右下のフレーム．囚人のジレンマゲームの利得表が表示される．被験者に分かりやすくするため「得点表」と表記されている．
- 他者の行動履歴：(完全情報条件での)画面右下のフレーム．過去のラウンドにおける他のプレイヤーの指名した相手，ペアになった相手，角プレイヤーの行動が表示される．

実験の終了回数はそれぞれの実験についてランダムに決定される．実験が何ラウンド続くかは被験者には知らされない．すべての実験が終了すると，被験者はゲームでの総得点に応じた報酬を支払われる．報酬の計算式は $6 \times (\text{総得点}) + 1000$ (円) とし，実験前に被験者に明示された．



図 1 Subjects' screen

3.2 被験者実験の結果

3.2.1 不完全情報条件

不完全情報条件における被験者実験の結果を表 2, 5 に示す．それぞれ上段から実験条件，参加被験者数，実験ラウンド数，最高得点，裁定得点，平均得点を示す．また，各実験セッションで繰り返し回数が異なるため，同一基準での比較のためにラウンド数が 100 回までの結果を括弧内に示してある．

不完全情報条件での被験者実験の結果，2 つの大きな特徴が観察された．第一に，実験が進むにつれてほとんどのグループで継続的な協調関係（常に同じ相手

表 2 Experimental conditions and overall performance-1

| date | 24 Jul. 2002 | | 27 Jul. 2002 | |
|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| treatment | α -1 | β -2 | β -1 | α -2 |
| number of subjects | 24 | 24 | 24 | 24 |
| rounds | 104 (100) | 117 (100) | 127 (100) | 114 (100) |
| max points | 254 (242) | 348 (300) | 383 (300) | 342 (300) |
| min points | 104 (100) | 102 (85) | 129 (91) | 97 (83) |
| average points | 149.6 (143.4) | 237.8 (202.2) | 261.7 (201.6) | 251.4 (218.7) |

表 3 Experimental conditions and overall performance-2

| date | 12 Apr. 2003 | | 23 Apr. 2003 | |
|--------------------|-------------------|------------------|------------------|----------------|
| treatment | α -1 | β -2 | β -1 | α -2 |
| number of subjects | 20 | 20 | 28 | 28 |
| rounds | 114 (100) | 107 (100) | 111 (100) | 119 (100) |
| max points | 340 (298) | 321 (300) | 327 (294) | 327 (300) |
| min points | 113 (99) | 102 (95) | 106 (96) | 105 (96) |
| average points | 206.75 (179.4) | 255.1 (239.1) | 240.8 (214.3) | 250 (228.5) |

を指名してペアになり，協力を選択する)を維持するペアが固定することが観察された．このようなペアを継続的協調ペアと呼び，以下のように定義する．

継続的協調ペアとは，ある一定ラウンド数の間の 90%以上において同じ相手を指名し，かつ相互協力を達成したペアである．

継続的協調ペアの多くは実験の中盤から後半にかけて形成されているため，その判定は実験後半の 80 ラウンド以降でおこなう．また，それぞれの実験の比較のため，および被験者が実験終了ラウンドを予想して行動を変化させることの影響を少なくするために判定終了は 100 ラウンドで統一した．

実験結果は形成された継続的協調ペアの数で分類することができる．Case n は n 組の継続的協調ペアが形成されたことを示す．表 6 は各セッションで観察された Case n に分類されるグループ数を示す．ただし，Case n のいずれにも該当しなかったペアは others として示している．今回の被験者実験で観察された others に該当する場合は，(1) 相互協力を達成するペアは形成されているが特定の相手と継続的におこなわれたものでない場合 (図 5)，(2) 同じ相手との相互協力に至ったのが実験終了直前だったために継続的協調ペアの定義を満たさない場合，の 2 種類である．

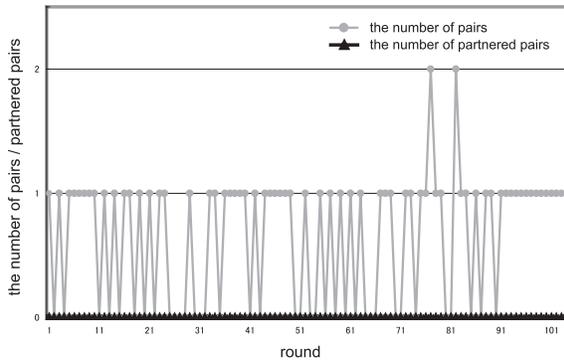


図 2 An example of Case 0

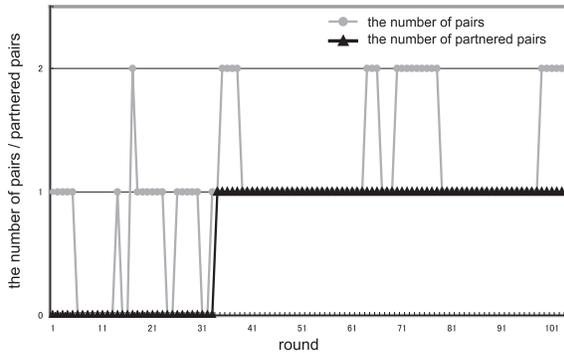


図 3 An example of Case 1

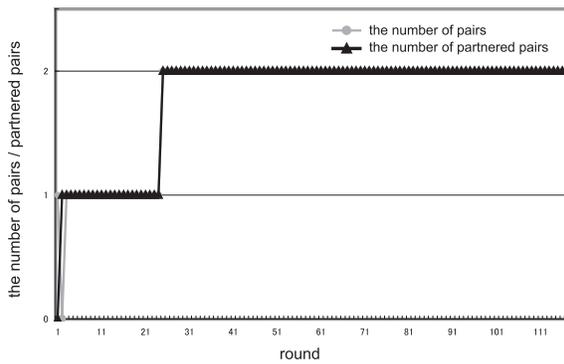


図 4 An example of Case 2

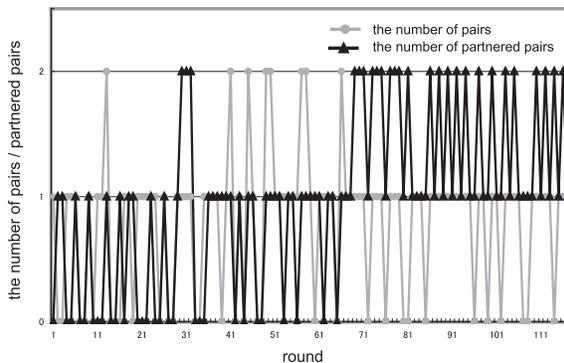


図 5 An exceptional case

表 4 The classification of experiments

| - | Case 0 | Case1 | Case 2 | others |
|-----------------|--------|-------|--------|--------|
| PDN α -1 | 5 | 5 | 0 | 0 |
| PDN α -2 | 0 | 7 | 5 | 1 |
| PDN β -1 | 3 | 5 | 5 | 0 |
| PDN β -2 | 2 | 4 | 3 | 1 |

図 2 から図 5 はそれぞれの場合の例を示す．図において横軸は実験回数を示し，縦軸はペア数を示す．灰線は相互指名によって形成されたペアであり，黒線は相互協力状態にあるペアを示している．

3.2.2 完全情報条件

次に完全情報条件での被験者実験結果を示す．

完全情報下では，不完全情報の場合と比べて明らかに継続的協調ペアの形成される割合が増加している．特に先に PDN β をおこなった実験では，すべての被験者が継続的協調ペアに達するという非常に高い協力率をシメた．それに伴ってゲームでの得点も増加しているが，特に平均得点が増加していることから，完全情報条件ではグループ全体として良好な協調関係を築いていることが読みとれる．

この理由として，1) 他者の行動を見ることによってペアを組めずに余っているプレイヤーを特定できる，2) 直接対戦経験のない相手の行動を予測し，適切な判断ができる，3) 自分の行動が公開されることから非協力的な行動が抑制される，4) 他者の行動を見ることにより，より有効な戦略を模倣することができる，などが考えられる．ただし，実験結果ではある程度のラウンド数を消化すると，同じ相手と継続的にゲームの対戦をおこなう場合が最も多い．1)- 3) の条件は対戦相手が増える場合に有効となるため，作用するのはゲームの初期であろうと考えられる．4) の条件はある程度実験が進んでから有効になると思われる．実際に，途中まで非協力を続けていたペアが途中から相互協力に移った例があり，この際に他のペアの行動を参考にした可能性が高い．

4. 計算機実験

次に，計算機実験により被験者実験の再現を試みる．繰り返し囚人のジレンマを取り扱った研究では，あらかじめ特定の戦略をプレイヤーにプログラムする方法¹⁾⁹⁾ や，強化学習を用いて行動を決定させる⁵⁾ のものなどがある．しかし，被験者が実際におこなう行動の多様性や変化を見る限り，特定の行動をあらかじめプログラムする方法は適切とは言い難い．また，強化学習を用いた方法では主に得られた得点をもとに行動を学習していくため，非協力によって高い利得が得られ

表 5 Experimental conditions and overall performance: full information

| date | 20 Jul. 2005 | | 23 Jul. 2005 | |
|--------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| treatment | α -1 | β -2 | β -1 | α -2 |
| number of subjects | 24 | 24 | 20 | 20 |
| rounds | 101 (100) | 103 (100) | 102 (100) | 75* (100) |
| max points | 303 (300) | 309 (300) | 309 (300) | 225 (300) |
| min points | 107 (105) | 193 (184) | 225 (219) | 212 (283) |
| average points | 212.5 (210.4) | 288.4 (280) | 274.1 (268.7) | 210.4 (280.5) |

*時間の都合上 100 ラウンドに至らなかったため、括弧内には 100 ラウンドに換算したものを示す

表 6 The classification of experiments: full information

| - | Case 0 | Case 1 | Case 2 | others |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| PDN α -1 | 0 | 1 | 3 | 2 |
| PDN α -2 | 0 | 1 | 5 | 0 |
| PDN β -1 | 0 | 0 | 6 | 0 |
| PDN β -2 | 0 | 0 | 6 | 0 |

る方へ収束することが多い。Erev & Roth の強化学習アルゴリズム²⁾ はあらかじめ戦略のなかに「協力」、 「非協力」に加えて「しっぺ返し戦略」を組み込むことで「しっぺ返し戦略」が学習され、プレイヤー間の相互協力が増加することが示されているが、この場合も被験者があらかじめそのような行動を準備しているとは考えにくい。また、ネットワーク型囚人のジレンマでは「協力」「非協力」の行動選択に加えて対戦相手の選択もおこなうため、さらに多様な戦略を表現する必要がある。

被験者実験において継続的協調ペアが形成される理由の一つに、被験者の戦略合理性が考えられる。つまり、1 回の囚人のジレンマゲームの対戦には「非協力によって大きな利得を得る」という誘因があっても、自分の行動が相手に与える影響を予測（たとえば、自分の非協力が相手の報復を招く可能性）し、長期的に高い利得を得る協調関係を目指していると思われる。ただし、戦略合理的な行動が有効となるのは同じ相手と長期につきあう可能性が大きい場合に限られる。よって、被験者はまず対戦相手が長期的な関係を築くに値するかどうかを判定する必要がある。セッションの初期段階において、相手を判断する基準は相手の行動（すなわち協力を選択する）ということになるであろう。なぜなら、初期段階で目先の利益を求めて非協力を選択する被験者は戦略合理的でないと判断されるからである。次に、ある程度実験が進んで対戦相手の行動様式が予測されるならば、その予測にもとづいて

最適な行動をとればよい。相手が戦略合理的（長期的な関係を望み、協力的）な場合には自分もその相手を選択して協力をすればよいし、そうでなければ非協力によって搾取されるのを防ぐことになる。以上の理由により、本研究では 1 回の対戦における利得構造の大小ではなく、相手の過去の行動系列をもとに戦略を決定する方法をとる。具体的には、相手の「信頼度」を数値化し、その値をもとに相手の指名と行動決定をおこなうアルゴリズムを提案する。本アルゴリズムの要点は以下の 3 つである。

- 信頼度の値を用いて相手の指名および行動決定をおこなうことにより、単一のパラメータで異なる多種多様な戦略を表現できる。
- 相手の行動によって信頼度を変化させることにより、状況に合わせた適切な行動選択（戦略合理的な行動）を可能とする。
- 得られた得点ではなく相手の行動を評価基準とするため、強化学習にみられる非協力行動への偏向を回避できる。

4.1 プレイヤの行動のモデル化

本研究では、「信頼度」は相手がどのような行動をとるかに対する主観的な期待を数値化したものであり、以下のような仮定を満たすものとして定義する。

- (1) 信頼度の値は対戦相手が「協力」した場合に増加し、「非協力」をとった場合には減少する。
- (2) 信頼度の値は 0 から 1 の間とし、相手が常に協力した場合には 1 に、相手が常に非協力をとった場合には 0 に収束する。
- (3) 同じ相手と複数回の対戦を行ったとき、新しい時点の行動ほど大きく評価する。すなわち相手の過去の行動については割引をかけて評価する。
- (4) PDN α において、あるプレイヤーを指名したにもかかわらず相手から指名されなかった場合には信頼度の値が減少する。
- (5) 指名しなかったプレイヤーに対する信頼度は変化しない。

以上の仮定を満たすものとして、時刻 t におけるプレイヤー i の j に対する信頼度を

$$T_{i,j}(t) = W_{i,j}(t) \left(\frac{1}{1+r} \right) \{ rX_{j,i}(t) + T_{i,j}(t-1) \} + \{ 1 - W_{i,j}(t) \} T_{i,j}(t-1)$$

と定義する。

ここで r は割引率であり、 $r > 0$ とする。 r の値が大きいほど相手の直前の行動に対する信頼度の変化は大きくなる。たとえば $r = \infty$ ならば信頼度は相手の直前の行動のみによって決定され、 $r = 0$ であれば

相手の行動にかかわらず信頼度は一定の値をとり続ける． $X_{i,j}(t)$ は時刻 t の対戦におけるプレイヤー i の j に対する行動であり，以下のように定義する．

$$X_{i,j}(t) = \begin{cases} 1 & (\text{cooperate}) \\ 0 & (\text{defect}) \end{cases} \quad (2)$$

また $Y_{i,j}(t)$ は時刻 t においてプレイヤー i が j を指名したかどうかを表す変数であり，以下のように定義する．

$$Y_{i,j}(t) = \begin{cases} 1 & (\text{nominate}) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (3)$$

次に時刻 t においてプレイヤー i が j とペアになったかどうかを示す変数として $Z_{i,j}(t)$ を定義する．

$$Z_{i,j}(t) = \begin{cases} 1 & (\text{paired}) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (4)$$

$W_{i,j}(t)$ は $Y_{i,j}(t)$ と $Z_{i,j}(t)$ の最大値として定義する．

$$W_{i,j}(t) = \max\{Y_{i,j}(t), Z_{i,j}(t)\} \quad (5)$$

各プレイヤーは式 1, 式 2 から式 5 によって定義される信頼度を用いて相手指名および行動選択（協力が非協力）をおこなう．指名戦略として，各プレイヤーは最も高い信頼度をもつプレイヤーをゲームの相手として指名する．すなわち，プレイヤー i は $T_{i,j}(t)$ が最大となるプレイヤー j を指名する．信頼度の値が最大となるプレイヤーが複数存在する場合にはその中からランダムに 1 人のプレイヤーを指名するものとする．

ペアが成立した場合，囚人のジレンマゲームの対戦がおこなわれる．各プレイヤーの行動決定（協力もしくは非協力）は信頼度の値にしたがって確率的におこなう．時刻 t の対戦においてプレイヤー i がプレイヤー j に対して協力をを選択する確率 $P_{X_{i,j}(t)=1}$ を以下のように定義する．

$$P_{X_{i,j}(t)=1} = T_{i,j}(t - 1) \quad (6)$$

すなわち各プレイヤーは対戦相手の信頼度の値を協力の確率として使用する．

以上より割引率 r と信頼度の初期値 $T_{i,j}(0)$ の組み合わせにより様々な行動戦略を表現することができる． $r = \infty$ かつ $T_{i,j}(0) = 1$ とすると，2 人ゲームの場合によく知られた「しっぺ返し」戦略（第 1 手目は協力をを選択し，それ以降は相手が直前にとった行動と同じ行動をとる）と同じになる． $r = 0$ のときは相手の行動に関係なく $T_{i,j}(0)$ の確率で協力が非協力をを選択する戦略となる．

4.2 計算機実験の手順

前述のモデルにもとづいて計算機実験をおこなう．

実験の手順は以下の通りである．

- (1) 4 人のプレイヤーによる初期集団を生成する． r , $T_{i,j}(0)$ の値はランダムに各プレイヤーに与える．
- (2) 各プレイヤーは信頼度 $T_{i,j}(t)$ が最大となるプレイヤーを 1 名指名する．
- (3) 各プレイヤーの指名にもとづいてペアを形成する．計算機実験においても $PDN\alpha$, $PDN\beta$ の両方をおこなう．
- (4) 形成されたペアの間で囚人のジレンマゲームの対戦を行う．
- (5) 各プレイヤーの行動にもとづいて利得が与えられる．
- (6) 各プレイヤーは対戦相手もしくは指名した相手の行動にもとづいて信頼度の値を変更する．

以上の手順を 1 ラウンドとし，100 ラウンドを 1 試行とする．実験は 50 万試行おこなわれる．割引率および信頼度の初期値は $0 < r < 100$, $0 < T_{i,j}(0) < 1$ で試行ごとにランダムに各プレイヤーに与えられる．1 集団を 4 名のプレイヤーとし，囚人のジレンマゲームには図 1 に示す利得表を用いる．

4.3 計算機実験結果

図 6 から図 8 は計算機実験におけるそれぞれの場合の例である．計算機実験においても，継続的協調ペアの判定方法は被験者実験と同じである．計算機実験でも被験者実験と同様にこれらの結果を再現することができた．また，被験者実験と同様に試行を重ねていく過程で協調関係を築くことのできる相手を選択し，その場合には自分から裏切りを選択することなく長期にわたる協調関係を維持していることが分かる．

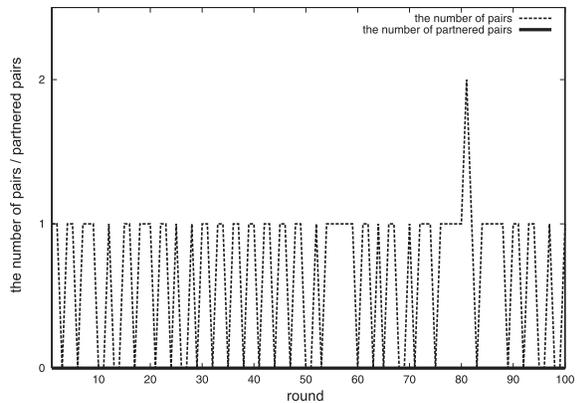


図 6 Case 0 in simulations

表 7 は計算機実験で得られたそれぞれの場合の比率を示す．表 7 より，ほとんどの場合（約 90%）でいずれかの場合に分類できる．計算機実験での各プレイヤー

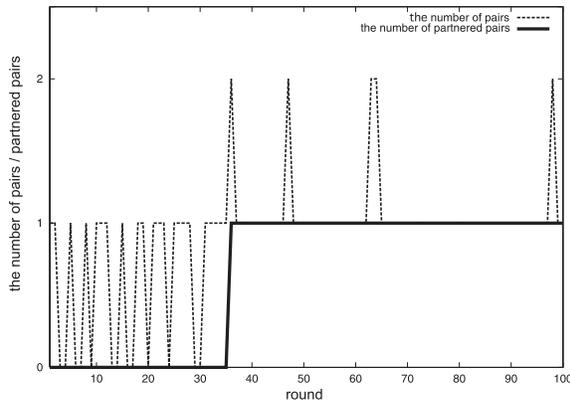


図 7 Case 1 in simulations

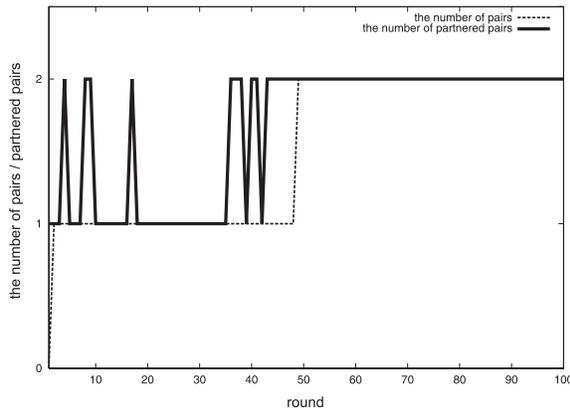


図 8 Case 2 in simulations

は、不完全情報条件で行動決定をおこなっている。

表 7 The classification of simulations

| | Case 0 | Case 1 | Case 2 | others |
|--------------|--------|--------|--------|--------|
| PDN α | 63.6% | 24.8% | 0.8% | 10.8% |
| PDN β | 2.7% | 61.9% | 26.3% | 9.1% |

被験者実験（第 1 セッション）での分類結果と比較すると、大まかな傾向は計算機実験と符合する。ただし割合の数値は結果を再現しているとはまでは言えず、今後 1) 被験者実験のデータを増やす、2) 計算機実験のアルゴリズムを改良する、などの側面から検証が必要である。

次に、プレイヤーの協力率と平均得点の関係について比較する。図 9 と図 11 は被験者実験で被験者が得た平均得点と協力率の関係を示す。図において、横軸は被験者の協力率（協力を選択した回数をペアが成立した回数で除したもの）を示し、縦軸は平均得点を示している。図より、協力率の高い被験者ほど平均得点が高いことが分かる。ただし、図 9 に示すように PDN α

では協力率に関わらず平均得点が 1 付近の被験者の集団が存在する。これは、PDN α では相互指名によってのみペアが成立するために、ペアが成立した回数が少ない被験者の平均得点がペア不成立時の 1 点に近くなるためである。

図 10 および図 12 は計算機実験におけるプレイヤーの平均点と協力率の関係を示す。ただし、表示を見やすくするため 50 万試行のうちの 500 回の結果をランダムに抜き出して表示している。協力率の定義は被験者実験の場合と同じである。平均点と協力率の関係において、本研究で提案した手法によって被験者実験と同様の結果が得られた。特に PDN α において、ゲームにあまり参加できなかったプレイヤーが平均点 1 付近に集中する様子をはっきりと確認できる。

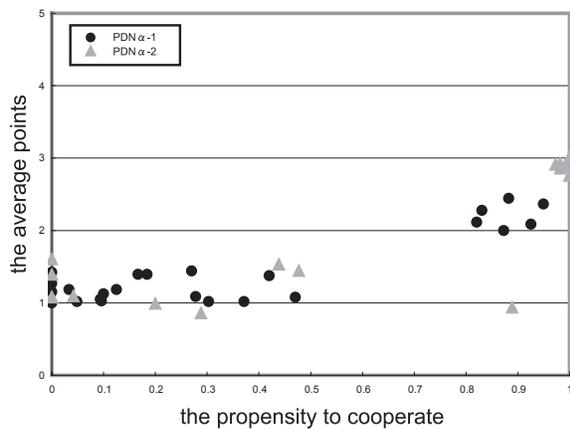


図 9 The average points (PDN α)

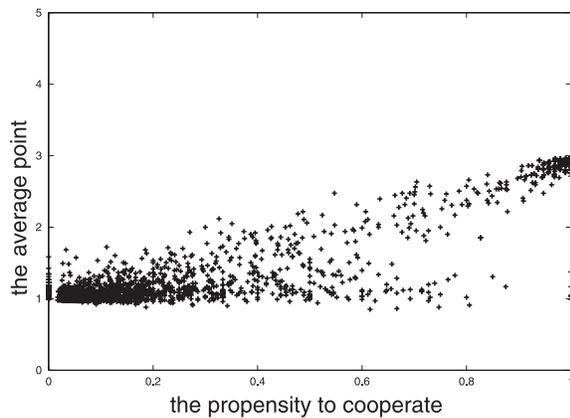


図 10 The average points in simulations (PDN α)

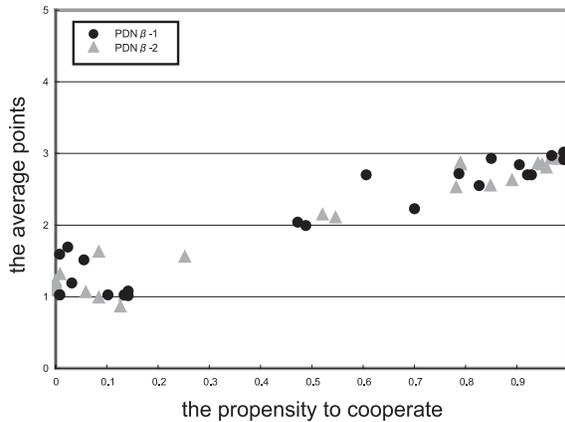


図 11 The average points (PDN β)

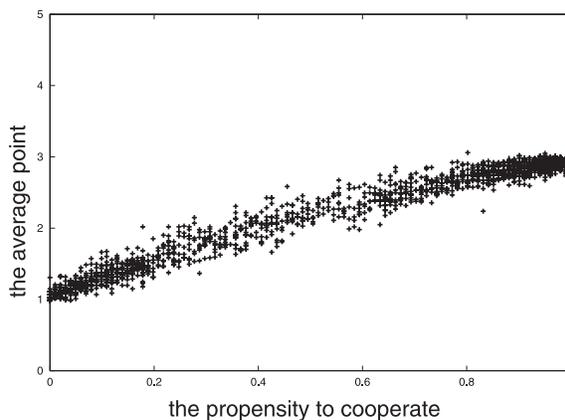


図 12 The average points in simulations (PDN β)

5. おわりに

本研究では「ネットワーク型囚人のジレンマ」の被験者実験により行動主体間に発生する協調行動を 2 種類のペア形成規則と情報構造の下で分析し、計算機実験による被験者行動の再現をおこなった。我々が提案する「信頼度」にもとづく行動決定手法により、不完全情報条件下では被験者実験でみられた以下の 2 点の特徴を計算機実験によって再現できた。

- ほとんどの被験者（プレイヤー）が常に同じ相手を指名し、協力する「継続的協調ペア」が一定数形成されるか、全く協調しないかのいずれかに分類される。
- 協力率の高い被験者（プレイヤー）ほど平均得点が高い。ただし、PDN α においてゲームにあまり参加できなかったプレイヤーは協力率に関わらず平均得点が 1 付近となる。

現実社会で観察される継続的関係の多くは互いの合

意にもとづくものであり、企業や消費者といった社会システムを構成する主体間の関係の分析は重要である。特に、ネットワークを通じた取引やオークションでの売買など、実際に相手と会って交渉しなくてもいい場合には相手が信頼できるかどうかを見極め、その上で有益な関係を築いていく必要がある。このような状況のモデル化、および分析にあたって本研究で用いた手法が応用できる。

今回被験者実験でおこなった完全情報条件下での計算機実験についても今後行い、アルゴリズムの修正を重ねて被験者行動の再現・分析を行うためのモデルとして発展させていく予定である。

参考文献

- 1) R. Axelrod: *The Evolution of Cooperation*; Basic Books (1984)
- 2) I. Erev and A.E. Roth: Simple reinforcement learning models and reciprocation in the prisoner's dilemma game; *The Bounded Rationality: The Adaptive Toolbox*, pp.215-231, MIT Press (2002)
- 3) N. Hayashi and T. Yamagishi: Selective play: Choosing partners in an uncertain world; *Personality and Social Psychology Review*, Vol. 2, pp.276-289 (1998)
- 4) K. Iyori, I. Hatono, S. H. Oda and K. Ueda: The emergence of cooperative behaviour in the Prisoner's Dilemma Network: Simulations and Experiments; *Proc. of the 6th International Conference on COMPLEX SYSTEMS*, pp.134-140 (2002)
- 5) R. Sarin and F. Vahid: Predicting How People Play Games: A Simple Dynamic Model of Choice; *Games and Economic Behavior*, 34, pp.104-122 (2001)
- 6) K. Ueda: Synthesis and Emergence; *Artificial Intelligence in Engineering*, Elsevier, 15, pp.321-327 (2001)
- 7) T. Yamagishi, N. Hayashi, and N. Jin: Prisoner's dilemma network: Selection strategy versus action strategy; *Social Dilemmas and Cooperation*, Springer-Verlag, pp.233-250 (1994)
- 8) 神, 林, 篠塚: ネットワーク型囚人のジレンマの実験的研究: PD 関係におけるコミットメントの形成; *実験社会心理学研究*, 第 33 巻, 第 1 号, pp.21-30 (1993)
- 9) 林, 神, 山岸: ネットワーク型囚人のジレンマ: 戦略のシミュレーション; *社会心理学研究*, 第 8 巻, 第 1 号, pp.33-43 (1993)

多人数の社会的ジレンマ状況における人間行動と評判の役割: Human behavior in social dilemma and the effect of reputation in sizable groups

鈴木真介, 綿引智美, 秋山英三, 小田宗兵衛

Evolution of cooperation in social dilemmas has been of considerable concern in various fields such as socio-psychology, socio-biology, economics, and sociology.

It might be that, in the real world, *reputation* plays an important role in the evolution of cooperation. Recently works on *indirect* reciprocity states that cooperation can evolve through the reputation even though pairs of individuals interact only a few times (Nowak & Sigmund, 1998a, 1998b). To our knowledge, most indirect reciprocity model presumed dyadic interaction. However, social dilemmas in real communities usually involve three or more individuals. We investigate the evolution of cooperation in large communities where the reputation of individuals affects the decision making process, by an experimental approach with human subjects. In this paper, we found the following: (1) formation and maintenance of cooperation becomes difficult as group size increases even if the effect of reputation is included; (2) human beings cooperate more frequently with others when the average reputation of other group members is relatively good; and (3) human beings consider their own reputation and cooperate more frequently in the beginning of interactions with others.

Keywords: evolution of cooperation (協力行動の進化), reputation (評判), social dilemma (社会的ジレンマ), prisoner's dilemma game (囚人のジレンマゲーム), indirect reciprocity (間接的互惠主義)

1. 研究の背景と目的

1.1 社会的ジレンマ

社会的ジレンマ状況における協力の形成・維持は、人間社会や生態系にとって重要な問題であり、社会心理学、社会生物学、経済学、社会学など様々な分野で研究されている。

社会的ジレンマ状況とは、「共有地の悲劇(Hardin, 1968)」のように、個人合理性と社会合理性が対立する状況であり、本研究では以下のように定義する。

- (1) 各個人が「協力」か「非協力(裏切り)」のどちらかの行動をとる。
- (2) 他人の行動に関わらず、各個人は「裏切る」ことで自分の利得を最大化することができる(裏切り行動は個人合理的)。
- (3) 全員が「協力」することで社会全体の利得(全構成員の利得の和)は最大化される(協力行動

は社会合理的)¹⁾。

このような状況では、各個人にとっては合理的な行動が社会的には不合理な結果を招いてしまう。例として、魚の乱獲問題を考える。それぞれの漁師は魚をたくさん捕れば捕るほど利益が得られる。しかし、全員が魚を捕り過ぎると魚は枯渇してしまい、翌年には、ほとんど魚が捕れない状況に陥ってしまう。つまり、各漁師の合理的な行動(できるだけ多くの魚を捕ること)により、全員にとって望ましくない(社会合理的でない)状況、つまり漁獲資源の枯渇に陥ってしまう。このような社会的ジレンマ状況は、過剰人口問題、資源乱獲問題、環境問題など現実社会の様々な場面で見られる。社会的ジレンマ状況での協力行動の形成と維持のメカニズムを研究す

1) 「全員が協力した状態の方が、全員が裏切った状態よりも、全員にとって望ましい(利得が高くなる)」という条件が使われることも多い(Dawes, 1980)。

ることが、これらの問題の解決に役立つと考えられている。

社会的ジレンマ状況での協力行動の進化は、血縁淘汰説(Hamilton, 1963, 1964)や互恵性の理論(Trivers, 1971)などによって説明されてきた。

1.2 血縁淘汰

血縁淘汰説では、協力行動が進化するのには、血縁者を助けることで自分の遺伝子が生き残る可能性が高くなるからだとしている。

しかし、現実の人間社会・生態系では血縁関係にない個人(個体)同士の協力行動がしばしば見られる(Fehr & Fischbacher, 2003; Wilkinson, 1984; Connor & Norris, 1982)。例えば、人間を対象にした囚人のジレンマゲーム、最後通牒ゲームなどの被験者実験では、「人間は血縁関係にない相手に対しても協力的に振る舞う」ことが確かめられている(Fehr & Fischbacher, 2003)。また、チスイコウモリ(*Desmodus rotundus*)は、同じ群れの個体が吸血に失敗すると、自分が吸った血を吐き出して分けてやる(Wilkinson, 1984)。この協力行動は非血縁の個体間でもしばしば見られる。これらの協力行動は血縁淘汰説では説明することができない。

1.3 互恵主義

表1 2人囚人のジレンマゲームの利得表
($T > R > P > S$, $R > \frac{T+S}{2}$)

| | | プレーヤー2 | |
|--------|-----|--------|--------|
| | | 協力 | 裏切り |
| プレーヤー1 | 協力 | (R, R) | (S, T) |
| | 裏切り | (T, S) | (P, P) |

血縁関係にない個人(個体)間の協力行動について、近年最もインパクトのあった研究はAxelrod (1984)による「互恵主義」の研究である。互恵主義の概念はTrivers (1971)によって提唱されたものであり、「協力行動をするならば、その相手からも協力行動をしてもらえ」というメカニズムにより、協力行動は進化し得ると主張した。Axelrod (1984)はこの互恵主義の概念を元に、「繰り返し2人囚人のジレンマゲーム」を用いて社会的ジレンマ状況における協力行動の進化を分析した。

2人囚人のジレンマゲームとは表1のような利得

表で表現されるゲームである。両プレーヤーは、相手の行動に関わらず、「裏切り」を選択することで自分の利得を最大化できる。しかし一方で、両プレーヤーが「協力」を選択することができれば、両プレーヤーともに「裏切り」を選んだ状態に比べて、より大きな利得を得られる。対戦が1回の場合、プレーヤー1、プレーヤー2ともに利己的で合理的なプレーヤーならば、両者ともに「裏切り」を選ぶ状態が唯一のナッシュ均衡となり、協力行動は社会に広がることはできない。

しかし、現実の人間社会や生態系における相互作用は通常、「1回」だけではない。家族や友人、職場や学校の同僚(生物の場合は群れの仲間など)とは継続的に何度も相互作用する。囚人のジレンマのようなゲームを用いて実際の人間や生物の相互作用を研究するためには、1回限りのゲームではなく、「繰り返し」ゲームを行うケースを分析する必要がある。

Axelrodは、2人囚人のジレンマゲームを繰り返すことで協力行動が社会に広がり得ることを、コンピュータ選手権と進化シミュレーションにより示した。また、Axelrodは、以下の条件が満たされている時に、協力行動が社会に広がり、安定化するということを数学的に示した：

- (1) 同じ相手と何度も繰り返し対戦する。
- (2) 「初回は協力し、以降は相手に裏切られたら裏切り、相手が協力したら協力する」ような戦略が社会に存在する。(なお、このような戦略は「しっぺ返し戦略(Tit for Tat, 以下TFT戦略)」と呼ばれている。)

TFT戦略は、裏切者に対しては協力しないことで罰を与え、協力者に対しては協力する。その結果、「裏切者に罰を与え、協力者同士は協力する」ことが可能になり、協力行動が社会に広がり安定化する。この研究は、個人(個体)間の血縁関係や相互作用の局所性²⁾などを仮定することなく、現実の人間社会や生態系で見られる協力行動を説明し得るという点でインパクトがあった。

Axelrodの研究では、個人(個体)間の相互作用は、2者間で行われ、かつ長期間続くと仮定されている。互恵主義による協力行動の形成・維持の人間社会における興味深い例として、Axelrod (1984)は「第一次世界大戦の塹壕戦における協力の発生(Ashworth, 1980)」を挙げている。これは、ドイツ軍部隊と連

2) 近くに住む人や同じ共同体(会社、学校など)に属する人とは相互作用する可能性が高い、など。

合軍部隊が塹壕を挟んで長期間対峙している状況で生まれた協力状態である。この状態は、2者間(ドイツ軍と連合軍)の長期間の協力関係であり、Axelrodの互惠性の理論で説明できる。また、第1.2節で触れたチスイコウモリの場合、吸血に成功した個体と同じ群れの吸血に失敗した個体に血を分け与える。これも同じ群れ(長期的関係)の2者間の協力関係であり、Axelrodの互惠性の理論で説明できる。

1.4 n 人(多人数)囚人のジレンマゲーム

しかし、現実の社会・生態系で見られる相互作用、そしてそこでの協力行動は必ずしも2者間とは限らない。現実には、多人数の相互作用の中での協力行動がしばしば見られる。例えば、地域住民のためにボランティアで公園の清掃を行う、不特定多数の人のために献血や募金を行う、などといった行為である。また、ある種の鳥は捕食者の存在を群れの仲間に知らせるために警戒音を発する。警戒音を発した個体はその存在を捕食者に知られることになり危険に晒されるが、それでも群れの仲間のために警戒音を発する。これらの協力行動は、誰か特定の相手を対象としたものではなく、自分の所属する共同体への協力行動である。Axelrodの2人繰返し囚人のジレンマゲームにおける協力行動の進化の研究では、これら多人数グループ内での協力行動の進化は説明することができない。これに対してはAxelrod自身も、「多人数のグループ内での協力行動の進化を説明するためには、 n 人囚人のジレンマゲームの研究が必要である」と言及している。

Joshi (1987), Boyd and Richarson (1988)はAxelrodの互惠性の理論に基づいて、繰返し n 人囚人のジレンマゲームを分析した。その結果、グループの人数(n)が増加すると、協力行動の進化に必要な条件が急激に厳しくなることが分かった。協力行動の進化には、「裏切者には罰を与え、協力者同士は協力する」ことが必要である。しかし、多人数グループ内では一人の裏切者を特定して罰することができない。そのため、裏切者を罰するためにはグループのメンバー全員を罰するしかない。グループの人数が増加すればするほど、一人の裏切者を罰するために、多くの協力者を巻き添えにしてしまうのである。このとき、協力者同士が協力することができない。つまり、多人数グループ内では「裏切者を罰する」とこと「協力者同士が協力し合う」ことが両立

できない。その結果、グループの人数が増えると協力行動の進化が難しくなる。

これらは、Axelrodの互惠性の理論では、現実世界に見られる多人数のグループ内での協力行動は説明できないことを示唆する。多人数グループ内での協力行動を説明できるモデルを作るためには互惠主義だけでは不十分であり、何か別のメカニズムを考慮する必要がある。

1.5 評判の効果

そのメカニズムの有力な候補の一つとして考えられるのが「評判」による協力形成である。例えば、いくつかのインターネット・オークション・サイトでは、参加者の評判を公開することで、詐欺などの不正行為を抑制している。また、一度犯罪を犯した者には「前科」という負の評判が付き、社会生活で不利益を被ることがある。前科による差別の是非は別として、これが犯罪の抑止力になっている面もあるだろう。人間を対象とした被験者実験でも、評判が人間の協力行動に大きな影響を与えることが確かめられている(Milinski, Semmann & Bakker, 2001; Milinski, Semmann & Krambeck, 2002a, 2002b; Wedekind & Milinski, 2000)。

また、「当事者間の相互作用を第三者が観察する」という行為は評判を形成するためには欠かせない。この第三者による観察は、人間社会のみならず、いくつかの生物の行動にも大きな役割を果たしている(Bshary, 2002; Doutrelant, McGregor & Oliveira, 2001; Oliveira, McGregor & Latruffe, 1998)。

1.5.1 間接的互惠主義

上記のような「評判の効果」と「協力行動の進化」の関係を扱った研究に、「間接的互惠主義」に関する研究がある。

間接的互惠主義の概念はAlexander (1979)によって提唱され、「相手に協力行動をすれば、相手以外の他の誰かから協力行動を返してもらえる」というメカニズムにより協力行動は進化し得ると主張している。間接的互惠主義は、同じ相手との長期間の相互作用を仮定せずに協力行動の進化を説明できるため、Trivers, Axelrodらの互惠主義(以後、直接的互惠主義)よりも適用範囲が広いと考えられている。近年、この概念を基に様々な数理モデルが作られてきた(Boyd & Richarson, 1989)。

Nowak and Sigmund (1998a, 1998b)は評判の効果を導入することにより、2人寄付ゲームにおいて、間接的互惠主義に基づく協力関係が成立し得ることを示した。彼らのモデルでは、各プレイヤーは評判に相当する *image score* を持つ。 *image score* はプレイヤーが協力行動をとると1単位増加し、裏切り行動をとると1単位減少する。このとき、「高い *image score* を持つ相手には協力し、低い *image score* を持つ相手には協力しない」ような戦略により、間接的互惠主義に基づく協力状態が実現する。 Nowak and Sigmund (1998a, 1998b)は、このような戦略を *Discriminator* 戦略と呼んだ。ここでは、 *Discriminator* 戦略が、Axelrodの直接的互惠主義のモデルにおけるTFT戦略³⁾のような役割を果たし、「裏切り者を罰し、協力者同士は協力する」ことを可能にする。つまり、評判の効果が存在するときは間接的互惠性の存在により、同じ相手と何度も相互作用しなくても二者間の協力行動は進化し得るのである。

例として、参加者に評判を付けるインターネット・オークション・サイトで見られる協力行動が挙げられる。ここで「裏切り」とは、不正行為(詐欺、品質の不当表示など)を働くことであり、「協力」とは不正行為を働かず誠実に取引を行うことである。インターネット・オークションには無数の参加者がいるため、同じ売り手と買い手がもう一度出会って取引を行う確率は極めて低い。つまり、両者の関係は一度だけの関係であり、そこに直接的互惠主義の入り込む余地はない。にも関わらず、実際は大部分の参加者が誠実に取引を行っている。なぜ彼らは不正行為を行わないのか？その理由の一つとして、自分が不正行為をしたという「評判」が将来の取引相手に伝わって、将来に自分が協力してもらえない(不正行為を働かれる)ことを恐れているからである、ということが考えられる。逆に言うと、協力することにより、その「評判」が伝わり、将来に取引相手に協力してもらいやすくなるので、今、協力行動をとるのである。これはまさに、評判を介した間接的互惠主義に基づいた協力行動である。 Nowak and Sigmund (1998a, 1998b)以降、評判と間接的互惠主義に基づく協力行動の進化に関して、いくつかの研究が行われている(Brandt & Sigmund, 2004; Fishman, 2003; Johnstone & Bishary, 2004; Leimar

3) 初回は協力し、以降は相手に裏切られたら裏切り、相手が協力したら協力する戦略(第1.3節参照)

& Hammerstein, 2001; Lotem, Fishman & Stone, 1999; Mohtashemi & Mui, 2003; Ohtsuki, 2004; Ohtsuki & Iwasa, 2004; Panchanathan & Boyd, 2003, 2004).

また、評判と協力行動の進化に関して、人間を対象とした様々な被験者実験も行われている。Wed-kind and Milinski (2000)は、「評判の良い被験者は他人から協力されやすい」ことを示した。一方、Milinski et al. (2001)は、人間が他人の評判を決める基準として *image score*⁴⁾ を使っていることを確かめた。

1.6 多人数の社会的ジレンマ状況における人間行動と評判の役割

評判と間接的互惠主義に関する上記の研究では、2者間の相互作用を前提としている(e.g. 個人Aから個人B, 個人Cから個人Aへの寄付行動など)。しかし、第1.4節に述べたのと同じ理由で、現実社会で見られる協力行動の進化を扱うためには、多人数間の協力行動を扱う必要がある。

Suzuki and Akiyama (2005)は、「評判が意志決定に影響を与える状況における、多人数グループ内での協力行動の進化」を、計算機シミュレーションを用いて分析した。具体的には、Nowak and Sigmund (1998a)の間接的互惠主義のモデルを n 人ゲームに拡張し、その進化的振る舞い、協力行動の進化とグループの人数との関係を分析した。その結果、「評判が存在する状況でも、グループの人数の増加に伴って協力行動の進化は難しくなる(図1参照)」ことが示された。

Suzuki and Akiyama (2005)のモデルでは、プレイヤーの認知構造(評判の付け方、意志決定の方式など)を単純なものに限定していた。例えば、各プレイヤーは「グループのメンバーの評判の平均だけを見て自分の行動を決める」と仮定している。しかし、実際の人間の認知構造はもっと複雑である可能性がある。

1.7 本研究の目的

以上を踏まえて、本研究の目的は、「評判が各個人の意志決定に影響を与える社会的ジレンマ状況における人間の行動」を被験者実験を用いて調べることである。特に、「グループの人数が増えた時の行

4) 協力行動をとれば1単位増加し、裏切り行動をとれば1単位減少する。

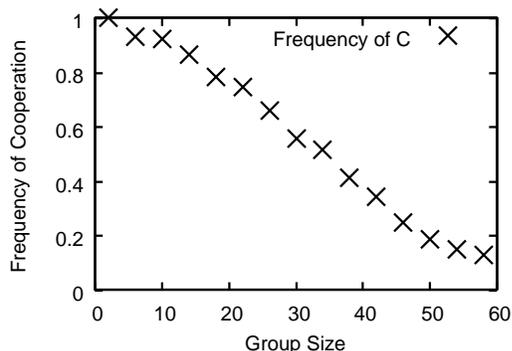


図1 グループの人数と協力率の関係
(コンピュータ・シミュレーション)
Suzuki and Akiyama (2005)より

動の変化」,「多人数グループ内における意志決定の方法」に着目する。具体的には、以下の点を検証する。

(1) **グループの人数が協力率に与える影響**: 相互作用するグループの人数が増加した時、人間の行動はどのように変化するのだろうか? 評判の効果が存在しても、グループの人数が増加すれば協力の形成・維持は難しくなるのだろうか?

(2) **他人の評判が意志決定に与える影響**: 評判が存在する多人数の社会的ジレンマ状況で、人間はどのように意志決定を行うのであろうか? 人間が、2者間の関係において「評判の良い相手に対しては協力しやすい」ことは被験者実験によってすでに確かめられている(Wedkind & Milinski, 2000; Milinski et al., 2001)。しかし、グループに3人以上のメンバーがいる場合、どのように相手(グループ)の評判の善し悪しを判断し、自分の行動を決めるのだろうか?

(3) **自分の評判が意志決定に与える影響**: 意志決定を行う際、人間は自分自身の評判をどのように考慮するのだろうか? 「自分の評判を上げたいから協力する」, 「今、自分の評判が良いから悪いことはできない」などの、自分の評判を考慮した意志決定が行われているのだろうか?

なお、被験者実験は2004年11月26, 27日の2日間、京都産業大学の学生48人を対象に行った。実験はコンピュータ・ネットワーク上で行われ、各被験者はパーティションで区切られたブースの中に入り、コンピュータを操作することでゲームを行った。被験者同士は、お互いに情報交換をすることができず、

ゲームを行っている相手が誰であるのかも分からない。また、各被験者には実験中のゲームの成績に応じて2500円から4990円の報酬を支払った⁵⁾。

実験はA, Bの2種類を行った。実験Aでは被験者同士が対戦する。被験者同士の対戦では、被験者間の相互作用によって各被験者の行動が変化していく過程とその結果を観察することができる。一方、実験Bでは各被験者がコンピュータ・プレーヤーと対戦する。各被験者はゲームの相手がコンピュータ・プレーヤーだとは知らされていない。コンピュータ・プレーヤーと対戦するゲームでは、各被験者の対戦相手の振舞いを実験者がコントロールできるため、全ての被験者を同時に「特定の状況」に直面させることができる。そして、その「特定の状況」での被験者の行動を分析することで、被験者の意志決定過程を詳細に調べることができる。

2. 実験A (被験者同士の対戦)

2.1 実験Aの方法

48人の被験者は12人からなる4つの「集団」に分けられ、ゲームは各集団の中で行われる。下記に述べるように、この実験では、「集団の中で複数のグループを構成しゲームを行い、その後、その集団内でグループを再構成して再びゲームを行う」という過程を繰り返す。その結果、集団単位で被験者の行動が変化していくことが予想される。48人の被験者を12人ずつの集団に分けることで、独立なサンプル(4つの集団)を確保する。この際、各被験者は、自分が誰と同じ集団に属しているのか分からないようになっている。

実験は、いくつかのセッションから成り、各セッションのラウンド数は5から20回の間でランダムに決定される。1セッションが何ラウンドで終わるのかは被験者には知らされていない⁶⁾(実際に用いたラウンド数については付録A参照)。各ラウンドで、被験者は12人の集団の中で n 人ずつのグループにランダムに分けられる。一つのセッションの間、グループの人数(n)は変化しない。異なった集団に属した被験者同士は同じグループになることはない。また、誰が誰と同じグループになったのかも、

5) ゲームの成績に応じて報酬を支払うことにより、各被験者に自分の得点を最大化するインセンティブを与えることができる。

6) 被験者が最終ラウンドを知っている場合、最終ラウンド付近では「裏切り」行動が多くなる(最終ラウンドでは、先々のことを考える必要がないため)。

お互い分からないようになっている。そして、そのグループのメンバーで n 人4人のジレンマゲームを行う。

n 人4人のジレンマゲームの利得は次のように設定した。それぞれのプレーヤーが「コスト c を負担して公共財を1単位供給する(協力)」か「公共財を供給しない(裏切り)」かを選択する。供給された公共財は $b (> 0)$ 倍され、グループのメンバーに利得として均等に分配される。協力者の利得、 π^C 、裏切り者の利得、 π^D 、はそれぞれ以下の通りである：

$$\pi^C = (i/n)b - c \quad (1)$$

$$\pi^D = (i/n)b, \quad (2)$$

ここで、 i はグループ内の協力者数である。本研究では、社会的ジレンマ状況を扱っているため、以下を仮定する：

- $c > b/n$: 「裏切り」は個人合理的である。プレーヤーが協力行動を採ったときのグループのメンバー1人当たりの利得の増加分、 b/n 、は、協力のコスト、 c 、よりも小さい。よって、各プレーヤーにとっては「協力しない(裏切る)」方が得である。
- $b > c > 0$: 「協力」は社会合理的である。プレーヤーが協力したときの社会全体の利得の増加分、 b 、は、協力のコスト、 c 、よりも大きい。よって、各プレーヤーが「協力」を選択した方が、社会全体の利得は増加する。

本実験では、 $b = 0.75 \times n$ 、 $c = 1$ とした。

1グループの人数、 n 、は各セッションごとに異なっており、2、3、4、6人の4通りである。各セッションで何人ゲームが行われるのかは、ランダムに決められる(実際に用いられたグループ人数については付録A参照)。被験者は、自分が現在のセッションで何人ゲームを行っているのかは分かるが、次回以降のセッションで何人ゲームが行われるのかは分からない。また、被験者がゲームの構造を学習した後の行動を調べるため、初めの2セッションを練習セッションとした。練習セッションの結果に関しては、報酬の計算には含まないことを被験者に予め通知しておいた。

また、各被験者は自分の行動(協力が裏切り)を決める際、グループのメンバーの行動の「履歴」を見ることができる。各被験者は表2のような形式で自分とグループのメンバーの行動履歴を見ることができる。括弧内の左側の数字は「協力した回数」、右

側の数字は「裏切った回数」を表す。例えば、あるプレーヤーの履歴が(3,4)で表されていた場合、そのプレーヤーは過去に3回協力行動をとり、4回裏切り行動をとっている。各被験者は毎ラウンドごとにランダムに選ばれた相手とゲームを行うため、この「履歴」がなければ、ゲームを行う相手についての情報が一切得られない。しかし、履歴を見ることができることで、見ず知らずの相手の癖や、どの程度信頼できるのか、などの情報がある程度得られる。つまり、この履歴が「評判」の役割を果たすと考えられる。「評判」と被験者の「行動」の関係を分析するため、「履歴(協力回数,裏切り回数)」はimage score評判基準に従って「評判」に変換される。image score評判基準では、評判は協力行動を採れば1単位増加し、裏切り行動を採れば1単位減少する。例えば、4回協力、2回裏切り行動をとった被験者(履歴(4,2))の評判は $4 - 2 = +2$ となる。

表2 各被験者が見ることできる履歴の例
(4人ゲームのセッション)

| 自分 | 他人1 | 他人2 | 他人3 |
|-------|-------|-------|-------|
| (5,1) | (3,3) | (2,4) | (0,6) |

この実験を、2集団は12セッション、残りの2集団は14セッション行った(実験の手順は表3参照)。各セッションで実際に行われた実験の詳細(ラウンド数、グループの人数)は付録A参照。また、各被験者には各セッションの最後に、自由記述形式でコメントを記入してもらった。

表3 実験の手順

- 1) 12人からなる集団を作る。
- 2) 集団を n 人のグループに分ける。
(グループ分けはランダム)
- 3) 自分・他人の履歴を表示する。
- 4) この n 人が n 人4人のジレンマゲームを行う。
- 5) 行動の履歴を更新する。
- 6) 全員を元の集団に戻す。
- 7) 2)から、6)を繰り返す。
2)から6)を1ラウンドとする。
- 8) 全員の履歴を(0,0)に戻す。
- 9) 2)から、8)を繰り返す。
2)から8)を1セッションとする。

また、上記の実験の対照実験として、「各被験者が自分・他人の行動の履歴を見ることができないケース」についての実験を行った。対照実験は2005年7月5、7日の2日間、筑波大学の学生36人を対象に行った。この実験は、「行動の履歴を見ることができない」という点を除いては本実験(実験A)と全く同じ手順で行い⁷⁾、その結果を本実験の結果と比較した。

2.2 実験Aの結果

各セッションはそれぞれラウンド数が異っているが、分析の際に用いるデータとしては基本的に1ラウンドから6ラウンドまでのデータを使用した。6ラウンドまでに揃えた理由は、先行研究において「ラウンドが進むと協力率が下がる」という結果が報告されているからであり(Fehr & Fischbacher, 2003)、分析に使用するデータのラウンドを揃えることで、この影響をなくすためである。

2.2.1 グループの人数の影響

実験では各セッションごとに、グループの人数を変えて(2, 3, 4, 6人)ゲームを行った。それぞれのグループの人数で、協力率はどのような値をとったのであろうか? 「グループの人数」と「協力率」の関係を調べた。

図2は、実験Aとその対照実験それぞれにおけるグループ人数と協力率の関係を表したものであり、横軸はグループの人数、縦軸は協力率である。協力率とは、横軸のグループ人数で行われた全てのゲームにおける行動の中で、協力行動の占める割合のことである。

図2から、本実験では、グループの人数が増えると協力率が低下することが分かる。2人のグループ(2人ゲーム)では協力率は4割以上あるが、6人のグループ(6人ゲーム)では協力率が3割強しかない。つまり、人数の多いグループでは協力関係を形成・維持することが困難になるのである⁸⁾。

また、本実験と対照実験の結果を比較すると、本実験における協力率の方が対照実験における協力率よりも、統計的に有意に高いことがスチューデント

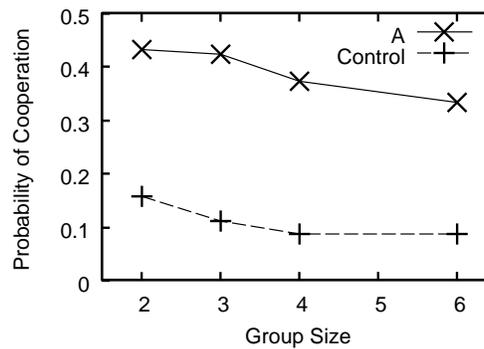


図2 グループの人数と協力率の関係
(実線：本実験(実験A)，破線：対照実験)

トの t 検定(両側)によって確かめられた($P < 0.01$)。本実験は「意志決定の際に評判を利用できる」ケースであり、対照実験は「利用できない」ケースである。よって、本実験の方が協力率が高いということは、評判の効果により協力行動が促進されたことを意味する。

2.2.2 他人の評判の影響

2人ゲームにおいては、実際の人間が「評判の良い相手に対しては協力しやすい」ことが確かめられている。では、 n 人ゲームにおいても「グループの自分以外のメンバーの評判が良いときは協力しやすい」傾向が見られるのだろうか?

図3は、被験者が直面した「他人の評判の平均」と、それを見た被験者の「協力率」の関係を表したものである。横軸は「グループの他人の評判の平均」である。一方、縦軸の協力率は、被験者がその「他人の評判の平均」に直面したときに、協力行動をとる確率である。図3のそれぞれの点は以下のようにして計算している。まず、それぞれの被験者が直面した「他人の履歴(協力回数,裏切り回数)」をimage score評判基準に従って評判に変換する(つまり、評判=協力回数-裏切り回数)。次に、こうして計算した「他人の評判」の平均値を求める。そして、「直面した他人の評判の平均」ごとに被験者の「協力率」を求める⁹⁾。

図3の各点が右上りに分布していることから、「被験者は、グループ内の他人の評判の平均が高いとき協力率しやすい」ことが分かる。実際、「他人の評判の平均」と「協力率」の間には、統計的に有意な

7) ただし、対照実験では、36人の被験者を12人からなる3つの集団に分けた。

8) しかし、分散分析を行った結果、各グループ人数ごとの協力率に統計的に有意な差は認められなかった($P > 0.05$)。

9) 「直面した他人の評判の平均」の小数点以下を四捨五入することにより、整数値にまとめられている。

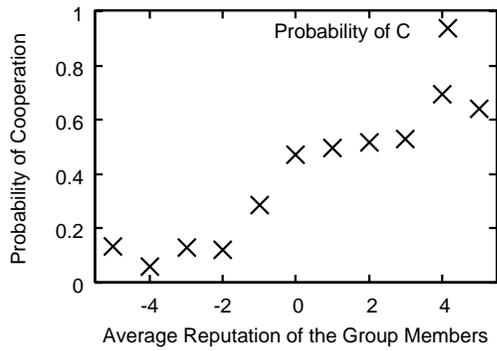


図3 他人の評判の平均と協力率の関係

強い相関関係($r = 0.95$, $P < 0.00001$)があることが示された。つまり、人間は n 人ゲームにおいても、「グループの自分以外のメンバーの評判が良いときは協力しやすい」のである。

また、各被験者に自由記述形式で書いてもらったコメントにおいても、「履歴を見て、協力が多く集りそうなら協力し、集まらそうなら協力しなかった」、「協力する人が多そうな場合は協力する」、「協力しない人が多かったので、自分もあまり協力しなかった」などといった記述が多く見られた。これらのコメントは、「人間が、グループ内の他人の評判が良いとき協力しやすいという傾向を持つ」ことを裏付けるものである。

2.2.3 自分の評判の影響

実際の人間は自分の行動を決める際に、相手の評判だけではなく自分の評判も考慮するであろう。例えば、「自分の評判を上げたいから協力する」、「今、自分の評判が良いから悪いことはできない」などの意志決定が考えられる。

図4は、各被験者の「自分の評判」と「協力率」の関係を表したものである。横軸は被験者自身の評判である。一方、縦軸は、被験者自身に横軸の評判が付いているときに、協力行動をとる確率である。履歴から評判への変換は第2.2.2節と同様に image score 評判基準を用いて行った。

図4の各点は右上がり分布している。もし、各被験者が自分自身の評判を見て自分の行動を決めていると仮定すると、「被験者は、自分の評判が良いとき、協力しやすい」と言えるかもしれない。実際、「自分の評判」と「協力率」の間には、統計的に有意な強い相関関係($r = 0.95$, $P < 0.00001$)がある

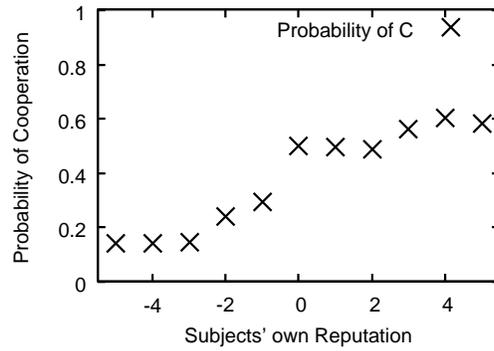


図4 自分の評判と協力率の関係

ことが確認できた。

しかし、このデータだけからでは、「被験者は自分の評判が良いとき、協力しやすい」と結論付けることはできない。各被験者が自分の評判を考慮せずに、相手の評判のみを考慮して行動したとしても、「自分の評判」と「協力率」が正の相関を持つことがあり得るからである。

各被験者が自分の評判を考慮せずに、相手の評判のみを考慮して行動する時、以下のようなことが起こり得る。(1)協力的な被験者が多く存在する集団では、セッションの1ラウンド目に多くの被験者が協力行動をとる。(2)その多くの被験者に「良い評判(履歴)」が付く。(3)その「良い評判」を見て、さらに多くの人が2ラウンド目に協力行動をとる¹⁰⁾。(4)このメカニズムにより、3ラウンド目以降はさらに協力する人が増え、最終的には、その集団の大部分の被験者が協力行動をとるようになる。非協力(裏切り)的な被験者が多く存在する集団では同様に、裏切り行動をとる被験者が大部分を占めるようになる。つまり、各被験者が「自分の評判に関係なく、他人の評判が良いときに協力する」という意思決定を行っている時、各被験者の行動は集団単位で、「協力一辺倒」、もしくは「裏切り一辺倒」のどちらかに収束してしまうと予想される。

この時、協力的集団に属する被験者は協力し続けるので、評判が良い状態で、さらに協力することになる。逆に、裏切りの集団に属する被験者は裏切り続けるので、評判が悪い状態で、さらに裏切ることになる。この状態では、良い(悪い)評判が付いている人がさらに協力(裏切り)行動をとるため、「自分の

10) 第2.2.2節の結果から、実際の人間が「グループ内の他人の評判が良いとき、協力しやすい」という傾向を持つことが分かっている。

評判」と「協力率」が正の相関を持つ。つまり、各被験者が自分の評判を全く考慮していなくても、「他人の評判が良いとき協力行動をとる」という意志決定により、各被験者の「自分の評判」と「協力率」の組合せが右上がり分布することがあり得るのである。よって、「自分の評判」と「協力率」の組合せが右上がり分布しているからといって、「各被験者は自分の評判が良いとき、協力しやすい」とは必ずしも言えない。

ただし、各被験者に自由記述形式で書いてもらったコメントにおいて、「損しそうでも見かけを良くするために協力をした」、「他人に協力してもらえるように、初めは協力しておいて後半は協力しませんでした」、「初めは相手を油断させる意図で協力した」などといった記述が多く見られた。これらのコメントから、各被験者は、「セッションの初期のラウンドで、自分の評判を気にする」という傾向があると予想される。もし、各被験者がこのような傾向を持っているのならば、自分の評判が同じでも、セッションの初期のラウンドにおける協力率よりも高くなっているはずである。

図5の実線は1ラウンドから3ラウンドまでの「自分の評判」と「協力率」の関係である。一方、図5の破線は4ラウンドから6ラウンドまでの「自分の評判」と「協力率」の関係である。図5から、各被験者が、自分の評判は同じでも、セッションの初期のラウンド(1, 2, 3ラウンド)で数多く協力行動をとっていることが分かる。このことは、対応のあるt検定(両側)により、統計的に有意であると確かめられている($P < 0.005$)。このデータは、「人間が、セッションの初期のラウンドで、自分の評判を気にして協力する傾向を持つ」という予想を補強するものである(必要条件)。

3. 実験B (被験者とコンピュータ・プレイヤーの対戦)

3.1 実験Bの方法

実験Bのゲームは1人の被験者と4人のコンピュータ・プレイヤーで行われる。ゲームにおける利得や、プレイヤーの履歴の扱いは実験Aと同じである。つまり、被験者側から見た場合、このゲームは「実験A(被験者同士の対戦)の5人ゲームのセッション」と思うようになっている。

実験Bは2セッション行われ、実験Aのセッション

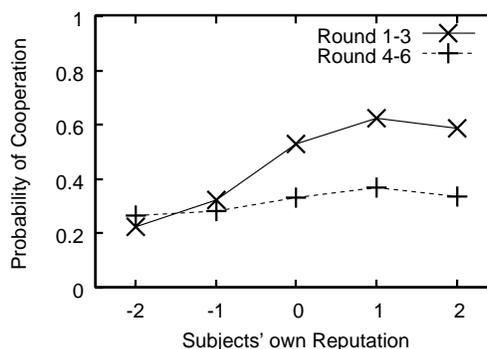


図5 自分の評判と協力率の関係
(実線：1-3ラウンド，破線：4-6ラウンド)

の間にランダムに挿入される。各ラウンドでのコンピュータ・プレイヤーの行動はランダムである。被験者が見るコンピュータの画面に映し出される他人の行動の「履歴」は、7ラウンド目と10ラウンド目を除いて、ランダムであり、各被験者はそれぞれ異なる履歴に直面する。7ラウンド目と10ラウンド目には、全被験者が同じ状況(他人の履歴)に直面する¹¹⁾。実際にデータを採取するのは、この7ラウンド目と10ラウンド目のみである。

各被験者が対戦するのは4人のコンピュータ・プレイヤーだが、実験では、この4人のコンピュータ・プレイヤーの評判の「平均」を同じに保ったまま、その「分布」を様々に変化させて、各被験者の行動を調べた。

7ラウンド目には、各被験者は表4の上下のどちらかの状況に直面する。表4の上下の状況は、「他人の評判の平均」は0で等しいが「他人の評判の分布」は異なっている。表4の上方のケースでは、評判の平均は0で、全員の評判が等しい。一方、下方のケースでは評判の平均は0で上方のケースと等しいが、極端に評判の良いプレイヤーと極端に評判の悪いプレイヤーが混在している。この2つのケースに直面したとき、各被験者はどのような行動をとるのかを調べた。

もし、各被験者が「他人の評判の平均」のみを見て自分の行動を決めているのならば、2つのケースで協力率に差が出ないはずである。逆に、2つのケースで協力率に差があれば、各被験者が「他人の評判の平均」以外の何かを見て自分の行動を決めていることを意味する。

11) 各被験者の「自分の履歴」は、各被験者のそれまでの行動によって異なる。

表4 7ラウンド目の履歴表示(実験B)

| | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| 他人1 | 他人2 | 他人3 | 他人4 |
| (3,3) | (3,3) | (3,3) | (3,3) |

または,

| | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| 他人1 | 他人2 | 他人3 | 他人4 |
| (6,0) | (0,6) | (0,6) | (6,0) |

また、10ラウンド目には、各被験者は表5の上下のどちらかの状況に直面する。7ラウンド目のケースと同様に、表5の上下の状況は、「他人の評判の平均」は0で等しいが「他人の評判の分布」は異なっている。上方のケースでは評判が極端に良いプレーヤーが1人存在し、下方のケースでは評判が極端に悪いプレーヤーが1人存在する。

ここでも7ラウンド目のケースと同様に、もし、各被験者が「他人の評判の平均」のみを見て自分の行動を決めているのならば、2つのケースで協力率に差が出ないはずである。

表5 10ラウンド目の履歴表示(実験B)

| | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| 他人1 | 他人2 | 他人3 | 他人4 |
| (3,6) | (9,0) | (3,6) | (3,6) |

または,

| | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| 他人1 | 他人2 | 他人3 | 他人4 |
| (6,3) | (6,3) | (0,9) | (6,3) |

以上4つのケースにおける被験者の協力率を調べることで、「平均」以外の評判に関する何らかの要素が、被験者の行動に影響を与えているのかを確かめた。

3.2 実験Bの結果

3.2.1 グループ内評判の「ばらつき」の影響

第2.2.2節で、「人間は評判付きn人ゲームにおいて、グループの他人の評判の平均が高いとき協力しやすい」ということを示した。しかし、多人数グループの中で評判を用いて意志決定を行う際に、実際の人間が他人の評判の「平均」だけを気にしているかどうかは検討の余地がある。ここでは、「他人の評判の平均」は等しいが「他人の評判の分布」は

異なっているケースでの被験者の行動を調べた。そして、「平均」以外の評判に関する何らかの要素が、被験者の行動に影響を与えているのか(いないのか)を調べた。

表6は、各被験者が7ラウンド目に直面した2種類の状況(グループの他人の履歴)における協力率を表している。1行目のケースも2行目のケースも評判の平均は同じである。1行目のケースでは全員の評判が等しい。一方、2行目のケースでは、評判の平均は1行目のケースと等しいが、極端に評判の良いプレーヤーと極端に評判の悪いプレーヤーが2人ずつ混在している。この場合、2つのケースにおける協力率にはあまり差がでなかった。

この結果から、被験者がこの「評判の平均が等しい2つのケース」に直面したとき協力行動をとる確率は同じくらいである、ということが分かった。実際、マン・ホイットニ検定(両側)の結果、有意な差は見られなかった。つまり、「全員が中程度の評判を持つ社会」と「非常に評判が悪い人と非常に評判が善い人が同程度いる社会」では、裏切り行動の招きやすさに差がない。

表6 被験者の意志決定(7ラウンド目)

| 被験者から見える他人の履歴 | | | | 協力率 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|
| (3,3) | (3,3) | (3,3) | (3,3) | 0.250 |
| (6,0) | (0,6) | (0,6) | (6,0) | 0.271 |

一方、表7は、各被験者が10ラウンド目に直面した2種類の状況(グループの他人の履歴)における協力率を表している。1行目のケースも2行目のケースも評判の平均は等しい。しかし、1行目のケースでは評判が極端に良いプレーヤーが1人存在し、2行目のケースでは評判が極端に悪いプレーヤーが1人存在する。この時、極端に評判の悪いプレーヤーが1人存在するケース(表7の2行目)の方が協力率が低くなった。実際、マン・ホイットニ検定(両側)の結果、極端に評判の悪いプレーヤーが1人存在するケース(表7の2行目)の方が協力しにくいことが確かめられた($P < 0.01$)。また、極端に評判の良いプレーヤーが1人存在するケース(表7の1行目)における協力率は表6で見られる協力率とあまり変わらなかった。実際、上記3つの状況(表6の1、2行目と表7の1行目)における協力率をSteel-Dwass法により多重比較検定した結果、統計的に有意な差は認められ

なかった($P > 0.05$).

この結果から、人間は他人の評判の平均が同じでも「極端に悪い評判」に敏感に反応して、協力しなくなる、ということが分かった。つまり、「そこそこの善人がたくさんいて、一部非常に悪い人がいる社会」と「そこそこの悪人がたくさんいて、一部非常に善い人がいる社会」では、前者の方が裏切り行動を招きやすい。

表7 被験者の意志決定(10ラウンド目)

| 被験者から見える他人の履歴 | | | | 協力率 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|
| (3,6) | (9,0) | (3,6) | (3,6) | 0.292 |
| (6,3) | (6,3) | (0,9) | (6,3) | 0.083 |

4. 考察・結論

我々は日常生活の中で初対面の人と出会った際、自分の行動を決めるために相手の評判を利用することがある。近年の研究により、現実の人間社会や生態系では、評判が個人(個体)の行動に大きな影響を与えていることが分かっている。(Milinski et al., 2001, 2002a, 2002b; Wedkind & Milinski, 2000; Bshary, 2002; Doutrelant et al., 2001; Oliveira et al., 1998).

Nowak and Sigmund (1998a, 1998b)に始まる一連の研究では、評判の効果を導入することにより、社会的ジレンマ状況において、間接的互惠主義に基づく協力関係が成立し得ることが示されている。しかし、これらの研究で前提となっているのは主に2者間の相互作用である。現実の人間社会や生態系に存在する共同体では多くの場合、3者以上の間の相互作用も重要になる。現実の社会や共同体における協力行動の進化のメカニズムを解明するためには、2人ゲームではなく、 n 人ゲーム($n \geq 2$)の分析が不可欠である。

本研究では、実際の人間を対象とした被験者実験を行って「評判が存在する状況での多人数グループ内における人間の協力行動」を分析し、以下のことが明らかになった。

4.1 グループの人数が増えると協力率は低下する

一つ目は、「グループの人数が増えると、協力行動の割合が低下する」ということである。これは、

Suzuki and Akiyama (2005)の数理モデルで得られた知見と一致する。つまり、人々が評判を媒介として行動している場合でも、グループの人数が増えると協力関係が維持しにくくなるのである。逆に言うと、評判の効果だけでは、多人数グループ内での協調関係を維持することは困難である、ということが示唆される。

4.2 他人の評判が良い時、協力する可能性が高い

二つ目は、「人間は、他人の評判の平均が高いとき、協力する可能性が高い」ということである。2人ゲームにおいては、「相手の評判が高いとき、協力する可能性が高い」ことが示されている(Wedkind & Milinski, 2000; Milinski et al., 2001)が、3人以上のグループにおいても同じ傾向が見られることが分かった。

また、「他人の評判の平均を見て、それが高いときには協力する」というSuzuki and Akiyama (2005)の数理モデルで仮定された意志決定基準は妥当なものであったことが確認できた。

4.2.1 極端に評判の悪い人がいる時、裏切る可能性が高い

しかし、同時に、「人間は他人の評判の平均が同じ場合でも、異なった行動をとることがある」ということが分かった。それは、グループの中に極端に評判の悪いメンバーがいるケースで見られる。人間は、「極端に評判の悪いメンバー」に敏感に反応して、裏切り行動をとることがある。評判の平均が同じでも、極端に悪い評判を持つメンバーがいれば、協力しなくなる傾向が存在するのである。つまり、「そこそこの善人がたくさんいて、一部非常に悪い人がいる社会」と「そこそこの悪人がたくさんいて、一部非常に善い人がいる社会」では、前者の方が裏切り行動を招きやすい。

4.3 相互作用の初期に、自分の評判を特に考慮する

三つ目は、人間は「特に相互作用の初期に、自分の評判を考慮する」ということである。人間は自分の行動を決める際に、相手の評判だけではなく自分の評判も考慮すると考えられる。例えば、「自分の評判を上げたいから協力する」、「今、自分の評判が良いから悪いことはできない」などの意志決定が考

えられる。その中でも特に、「相互作用の初期に、自分の評判を上げるために協力する」という傾向を、人間は持つことが分かった。つまり、人間は初対面の人や出会って間もない人に対しては、自分の評判を気にして協力的行動をとりやすい。

Nowak and Sigmund (1998a)は、自分の評判を考慮した意志決定の方式として、「他人の評判が良い、かつ、自分の評判が悪い時、協力する」というAND戦略や「他人の評判が良い、または、自分の評判が悪い時、協力する」というOR戦略を導入した。これらの意志決定方式では、「プレーヤーは自分の評判が悪いとき、それを良くするために協力的行動をとる」と仮定されている。本研究では、実際の人間が「相互作用の初期に、将来の他人からの協力を引き出すために、自分の評判を良くしようと考える」という傾向を持つことが分かった。つまり、人間は「初めは、相手を信用させるために協力的行動をとる」という傾向を持つのである。「自分の評判が悪いとき、それを良くするために協力的行動をとる」というNowak and Sigmund (1998a)の仮定は、主に相互作用の初期に成立するのである。

文 献

- Alexander, R.D. (1979). *Darwinism and Human Affairs*. University of Washington Press, Seattle.
- Ashworth, T. (1980). *Trench Warfare, 1914-1918: The Live and Let Live System*. New York: Holmes & Meier.
- Axelrod, R. (1984). *The Evolution of Cooperation*. Basic Books, New York.
- Brandt, H., Sigmund, K. (2004). The logic of reprobation: assessment and action rules for indirect reciprocation. *Journal of Theoretical Biology*, **231** 475-486.
- Bshary, R. (2002). Biting cleaner fish use altruism to deceive image-scoring client reef fish. *Proceedings of the Royal Society London*, **B 269** 2087-2093.
- Boyd, R., Richarson, P. J. (1988). The Evolution of Reciprocity in Sizable Groups. *Journal of Theoretical Biology*, **132** 337-356.
- Boyd, R., Richarson, P. J. (1989). The evolution of indirect reciprocity. *Social Networks*, **11** 213-336.
- Connor, R. C. & Norris, K. S. (1982). Are dolphins and whales reciprocal altruists?. *American Naturalist*, **119** 358-374.
- Dawes, R. M. (1980). SOCIAL DILEMMAS. *Annual Review of Psychology*, **31** 169-193.
- Doutrelant, C., McGregor, P. K. & Oliveira, R. F. (2001). The effect of an audience on intrasexual communication in male Siamese fighting fish, *Betta splendens*. *Behavioral Ecology*, **12** 283-286.
- Fehr, E. & Fischbacher, U. (2003). The nature of human altruism. *Nature*, **425** 785-791.
- Fishman, M. A. (2003). Indirect reciprocity among imperfect individuals. *Journal of Theoretical Biology*, **225** 285-292.
- Hamilton, W. D. (1963). The evolution of altruistic behavior. *American Naturalist*, **97** 354-356.
- Hamilton, W. D. (1964). The genetical evolution of social behavior. *Journal of Theoretical Biology*, **7** 1-16.
- Hardin, G. (1968). The tragedy of commons. *Science*, **162** 1243-1248.
- Johnstone, R. A. & Bshary, R. (2004). Evolution of spite through indirect reciprocity. *Proceedings of the Royal Society London*, **B 271** 1917-1922.
- Joshi, N. V. (1987). Evolution of cooperation by reciprocation within structured demes. *Journal of Genetics*, **66** 69-84.
- Leimar, O. & Hammerstein, P. (2001). Evolution of cooperation through indirect reciprocity. *Proceedings of the Royal Society London*, **B 268** 745-753.
- Lotem, A., Fishman, M. A. & Stone, L. (1999). Evolution of cooperation between individuals. *Nature*, **400** 226-227.
- Milinski, M., Semmann, D., Bakker, T. C. M. (2001). Cooperation through indirect reciprocity: image scoring or standing strategy?. *Proceedings of the Royal Society London*, **B 268** 2495-2501.
- Milinski, M., Semmann, D., Krambeck, H. J. (2002). Donors to charity gain in both indirect reciprocity and political reputation. *Proceedings of the Royal Society London*, **B 269** 881-883.
- Milinski, M., Semmann, D., Krambeck, H. J. (2002). Reputation helps solve the Tragedy of commons. *Nature*, **415** 424-426.
- Mohtashemi, M. & Mui, L. (2003). Evolution of indirect reciprocity by social information:

- the role of trust and reputation in evolution of altruism. *Journal of Theoretical Biology*, **223** 523–531.
- Nowak, M.A. & Sigmund, K. (1998). Evolution of indirect reciprocity by image scoring. *Nature*, **393** 573–577.
- Nowak, M.A. & Sigmund, K. (1998). The dynamics of indirect reciprocity. *Journal of Theoretical Biology*, **194** 561–574.
- Ohtsuki, H. (2004). Reactive strategy in indirect reciprocity. *Journal of Theoretical Biology*, **227** 299–314.
- Ohtsuki, H. & Iwasa, Y. (2004). How should we define goodness?-reputation dynamics in indirect reciprocity. *Journal of Theoretical Biology*, **231** 107–120.
- Oliveira, R. F., McGregor, P. k. & Latruffe, C. (1998). Know thine enemy: fighting fish gather information from observing conspecific interactions. *Proceedings of the Royal Society London*, **B 265** 1045–1049.
- Panchanathan, K. & Boyd, R. (2003). A tale of two defectors: the importance of standing for evolution of indirect reciprocity. *Journal of Theoretical Biology*, **224** 115–126.
- Panchanathan, K. & Boyd, R. (2004). Indirect reciprocity can stabilize cooperation without the second-order free rider problem. *Nature*, **432** 499–502.
- Suzuki, S. & Akiyama, E. (2005). Reputation and the Evolution of Cooperation in Sizable Groups. *Proceedings of the Royal Society London*, **B 272** 1373–1377.
- Trivers, R. (1971). The evolution of reciprocal altruism. *Quarterly Review of Biology*, **46** 35–57.
- Wedekind, C. & Milinski, M. (2000). Cooperation Through Image Scoring in Humans. *Science*, **288** 850–852.
- Wilkinson, G. S. (1984). Reciprocal food sharing in the vampire bat. *Nature*, **308** 181–184.

付 録

A. 各セッションの詳細

表8は、本研究で行った被験者実験における各セッションの詳細である。各セッションごとに、実際にゲームが行われたラウンド数、1グループ当たりの人数が示されている。なお、11月26、27日ともに、セッション5と10では実験Bを行った。

表8 実験Aの各セッションの詳細
(ラウンド数, グループの人数)

| 集団1, 集団2 (11月26日) | | | 集団3, 集団4 (11月27日) | | |
|-------------------|------|--------|-------------------|------|--------|
| セッション | グループ | 終了ラウンド | セッション | グループ | 終了ラウンド |
| 練習1 | 4人 | 7 | 練習1 | 4人 | 5 |
| 練習2 | 2人 | 7 | 練習2 | 6人 | 5 |
| 1 | 6人 | 13 | 1 | 2人 | 10 |
| 2 | 4人 | 9 | 2 | 6人 | 7 |
| 3 | 2人 | 17 | 3 | 3人 | 13 |
| 4 | 3人 | 8 | 4 | 4人 | 8 |
| 5 | 実験B | 15 | 5 | 実験B | 15 |
| 6 | 3人 | 8 | 6 | 3人 | 9 |
| 7 | 6人 | 7 | 7 | 6人 | 7 |
| 8 | 2人 | 9 | 8 | 4人 | 10 |
| 9 | 4人 | 8 | 9 | 2人 | 11 |
| 10 | 実験B | 15 | 10 | 実験B | 15 |
| 11 | 2人 | 8 | 11 | 6人 | 7 |
| 12 | 6人 | 7 | 12 | 4人 | 10 |
| | | | 13 | 2人 | 6 |
| | | | 14 | 3人 | 9 |

オープン・リサーチ・センター整備事業

「実験経済学：経済学教育の新しい方法と、
それによる経済学教育の社会的効果の研究」

平成18年3月

発行 京都産業大学
〒603-8555 京都市北区上賀茂本山
印刷 株式会社 田中プリント

