

# 博士學位論文

内容の要旨及び審査の結果の要旨

第13号

1998年12月

京都産業大学

は し が き

本号は、学位規則（昭和28年4月1日文部省令第9号）第8条の規定による公表を目的とし、平成10年12月19日に本学において博士の学位を授与した者の論文内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を収録したものである。

学位記番号に付した甲は、学位規則第4条第1項（いわゆる課程博士）によるものであり、乙は学位規則第4条第2項（いわゆる論文博士）によるものであることを示す。

---

## 目 次

---

掲載順	報告番号	学位の種類	氏 名	論文題目	頁
1	甲第8号 (学位記番号 甲理第6号)	博士(数 学)	高木 理	超限的な再帰定義とbar帰納法を持つ構成的算術体系の自然演繹について ……	1
2	乙第9号 (学位記番号 乙法第2号)	博士(法律学)	邓 曾 甲	中国担保法制的演变和经济 的意義-比較日本担保法制- (中国担保制度の変遷及び その経済的意義-日本担保 法との比較研究-) ……	9

氏名(本籍)	高木 理 (鳥取県)
博士の専攻分野の名称	博士(数学)
報告番号	甲第8号(学位記番号 甲理第6号)
学位授与年月日	平成10年12月19日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
論文題目	超限的な再帰定義とbar帰納法を持つ構成的算術体系の自然演繹について
審査委員	主査 教授 勝良昌司 副査 教授 八杉満利子 " 教授 伊藤正美

## 論文内容の要旨

調査論文の主要結果は、超限的な再帰定義とbar帰納法をもつ構成的な算術の体系TRDBの強正規化定理の証明およびその帰結と、TRDBの拡張で緩和実現(modified realizability)に関して完全な体系の決定である。以下に、次の順序で詳細を述べる。

1. 1 研究の歴史的背景と位置づけ
1. 2 各章の内容

### 1.1 研究の歴史的背景と位置づけ

調査論文は、八杉・林によって導入された構成的算術体系TRDB (the system with Definition by Transfinite Recursion and Bar induction) に関する一連の研究によって構成されている。TRDBとは、八杉の考案した算術体系ASODを前身に持つ体系であり、構成的論理上の基本的な算術に、超限的な再帰定義とbar帰納法を加えて得られた算術体系である。

TRDBの研究の根源は、ordinal diagramと呼ばれる超限的な順序記法の体系の到達可能性証明に由来する。ordinal diagramの到達可能性証明とは、ordinal diagramの整列性に対する“有限の立場”に基づく証明であり、様々な2階算術の無矛盾性証明において本質的な役割を果たしてきた。その為に、この到達可能性証明がどの様に実現されるか、という問題は重要であった。この問いに対して、八杉は、ある構成的算術ASODを導入し、その体系においてordinal diagramの整列性の証明を形式化し、到達可能性証明を実現した。

その後ASODにおける関数抽象(functional interpretation)の研究が行われ、ASODにおいて特徴的な2つの公理——超限的な再帰定義とbar帰納法——を見直す形で、ASODをさらに整理して得られた体系がTRDBである。また、TRDBに対応する項の体系TRM(the system of TeRM)も八杉・林によって整理された形で定義し直された。TRMは、ある種のパラメータを含む超限的な型を持つ項の体系である。TRMを用いたTRDBに対する関数抽象およびTRMにおける強正規化性定理も証明された。しかし、TRDB自体の正規化問題は、未着手であった。

超限的な再帰定義とbar帰納法は、選択公理によって導かれるものであるが、構成的体系においてはこれらが計算の意味をもつ。したがってTRDBは無矛盾性証明の道具としてだけでなく、それ自体が重要な意味をもつ体系であり、その構造を明らかにすることは、これらの原理の構成的な特徴付けにつながるものであった。

構成的な論理上の種々な体系は、存在命題で保証されるオブジェクトを証明自体が内蔵する、ということから、近年計算機科学において重要になっている。すなわち“formulas as types and proofs as programs”という見方によって、形式的証明の研究がプログラムの研究とみなされるのである。この流れの中で、構成的体系についての研究では、正規化可能性(計算の停止性)証明が必要不可欠になっている。この意味で、調査論文の強正規化可能性定理は、TRDBの研究において、本質的な貢献をするものである。

また、構成的体系においては、その“解釈”と、それに関して完全な体系の決定が重要である。それが体系の意味論的特質を示すものだからである。Kleeneの再帰的解釈、Kreiselの緩和解釈、GödelのDialectica解釈などが提案され、それぞれが研究されてきた。とくに“proofs as types”の考え方は、緩和解釈によって実現される。本調査論文では、TRDBの、緩和解釈に関して完全な拡張Sを決定し、TRMによってその意味論を与えた。

以上によって、構成的体系における超限的再帰定義とbar帰納法の完全な特徴づけに成功している。

## 1. 2 各章の内容

第一章はTRDBとTRMの紹介であり、ここでは省略するが、良く整備された定式化を与えている。

以下で、TRDBの証明図を $\Pi$ 、 $\Pi'$ などで表す。 $H$ は超限的再帰定義を表す述語記号である。

第二章はTRDBにおける強正規化性定理の証明から成る。ある与えられた証明図の正規化とは、その証明図から“無駄のない”証明図への変換である。変換規則を帰約といい、帰約による変換過程を縮約という。縮約不可能な証明図を正規形と呼び、ある証明図 $\Pi$ が縮約の結果正規形 $\Pi'$ に変換されるとき、 $\Pi'$ を $\Pi$ の正規形と呼ぶ。体系の正規化可能性とは、任意の証明図がある縮約の過程で正規形に到達することであり、強正規化性とは、どのような縮約の過程でも正規化されることである。また、合流性とは、どの証明図もその正規形は一意的であることをいう。

最初に定理 2.3.5 と定理 2.3.25の結果を説明しておく。

Theorem 1 (TRDBにおける強正規化性定理)  $\Pi$ から得られる縮約による列は全て有限である、つまり $\Pi$ は強正規化可能である。さらに、 $\Pi$ の正規形は唯一である(合流性)。

ここで注目すべきことは、当初の予想に反して、 $H$ とbar帰納法に関する特別な戦略は不要であることがわかった。

この定理から、TRDBの無矛盾性および、存在・選言定理が、直接に導かれる。

この強正規化性定理は、大筋TroelstraによるHAの強正規化性定理の証明において定義された縮約可能性述語と、八杉・林の関数解釈の技術を応用し拡張する事によって得られるが、ここでは従来の方法だけでは解決できない最大の課題が生じる。すなわち、八杉・林による(項体系の)縮約可能性の定義は、閉じた論理式を結果として持つ証明図にのみ対応している。これは、超限的な再帰定義の性質を考えれば、当然である。したがって、各証明図に対する縮約可能性は、その(ある部分)証明図に対する出来る限りの“閉じた

項”の代入の基で考慮するのが自然である。ところが、TRDBの証明図に関しては、その部分証明図に対する出来る限りの閉じた項の代入のもとで、縮約可能性を定義したり検討したりする事は出来ない。その理由は、一言で言えば、 $\exists$ -論理限定子に起因する。関数解釈では存在する対象物を実際に構成するので、この問題は生じなかった。

本調査論文では、この問題を解決する為に、以下によって構成される技法を考えた。

- (i) 次の補題を示した：閉じた論理式を結果に持つ証明図 $\Pi$ について、 $\Pi$ の中の代入可能な自由変数に閉じた項を代入した証明図 $\bar{\Pi}$ に対して、 $\bar{\Pi}$ が縮約可能性を満たせば $\Pi$ も縮約可能性を満たす。
- (ii) 証明図 $\Pi$ に対して、 $\Pi$ の中の自由変数を、ある方法で指定する。それによって、縮約可能性を満たす $\bar{\Pi}$ を作り、(i)から $\Pi$ の縮約可能性を示す。

これを代入の技法と呼び、この技法を用いる事によってTRDBにおける縮約可能性を定義し、強正規化性定理を証明した。また、この証明を通じて、(1) 縮約可能性に対する超限的な再帰定義が与える影響および(2) 論理式に対する性質“admissibility”が、TRDBにおける証明においてどの様な影響を与えるのか、という事についても検討している。

正規化証明は、縮約可能性述語を使い、論理式の次数に関する超限帰納法とbar帰納法(体系の外の)によって行われた。

さらに定理の帰結として、TRDBの無矛盾性、存在および選言定理、などが示されている。

第三章では、TRDBにおける緩和解釈を扱っている。

まずそのために必要なTRMの部分体系を決定し、TRDBの言語をそのような項を付加することによって拡張する。それによって超限的な型をもつ変数およびそれらに関する限定子が導入される。さらに述語記号 $H$ の代わりに、 $H$ を関数解釈した結果を表す新しい述語記号 $\mathcal{H}$ を導入する。この言語で、TRDBの緩和解釈が可能になる。

TRDBの緩和解釈に関して完全な体系 $S$ は、この言語の上でTRDBに類似した定義によって決定される。TRDBは $S$ に埋め込まれる(定義3.3.4, 命題3.3.5, 命題3.3.9)。

この章の主要定理(定理3.4.2)は $S$ の完全性を示す。

Theorem 2 ( $MR$ -解釈に対する完全性)  $A$ を $S$ 上の論理式とする。この時、以下が成り立つ：

$$S \vdash MR(A) \Leftrightarrow A.$$

緩和解釈の整合性、すなわちTRDBの緩和解釈と、TRDBの $S$ への埋め込みの $S$ の緩和解釈とは同じである(定理3.4.5)ことも示されている。

次に $S$ の意味論をTRMの関数によって定義し、 $S$ の定理はTRMによって実現されることが示される(系3.5.10)。その帰結として $S$ の無矛盾性が導かれる。

第四章は、第二章で扱われた体系に補正を加えた体系の強正規化定理(定理4.1.14)を示している。すなわちTRDBには $\Sigma_H$ に対する導入規則が入っていない。 $\Sigma_H$ は $H$ の定義のための補助的な述語記号である。この導入規則がないために、いっさいの戦略なしの強正規化性が可能であった。ここでは $\Sigma_H$ 戦略( $\Sigma_H$ の縮約を優先させる)が必要であり、今まで明記してこなかった、TRDBの論理式に対する制限admissibilityが本質的に必要になってくることが分かる。

また、この拡張された体系の縮約とTRMにおける項の縮約との関係が明らかにされている。つまり、TRDBにおける縮約には本質的なものと補助的なものがあるが、本質的なものはTRMの縮約に対応し、他方補助的なものに対応するTRMの項の縮約はない(補助定理4.2.8および4.2.9)。



## 論文調査結果の要旨

申請者は、超限的再帰定義とbar帰納法をもつ構成的な算術体系TRDBの、強正規化可能性定理を証明した。また、TRDBの拡張で緩和解釈に関して完全な体系Sを決定した。これらは、構成的な体系に関して必ず問われる重要な事実である。その意味で、申請者の得た結果は構成的な体系に関する証明論に、多大な貢献をしたものと認められる。

強正規化可能性定理の証明は、伝統的な縮約可能性集合の手法によるが、TRDBに特有な推論については従来の手法だけでは扱えない。すなわちそれらについては縮約が閉論理式の証明図に関して定義されるが、証明図そのものの中には自由変数が現れる。この問題を解消するために、「代入の技法」という画期的な方法を発見し、それによって証明を完成させた。また、予想に反して、縮約の戦略なしに、真に強い正規化可能性が成り立つことを示した。

さらに、証明図の縮約のうち本質的なものは、TRDBのアルゴリズムを実現する項体系における縮約に対応し、補助的な縮約は項を変化させない、という、証明図とそれから抽出される項との美しい対応を発見した。

TRDBの拡張の定義では、TRDBの超限的再帰定義と緩和解釈の意味を深く分析し、TRDBをSに埋めこむ形で体系Sを決定した。これに関して、Sの中ではTRDBの論理式とその緩和解釈が同値になること、TRDBの緩和解釈とSへ埋め込んだものの解釈が同じであること、SはTRDBの保存拡大であること、など、多くの重要な定理を示している。

このように、調査論文は、構成的な体系における超限的再帰定義とbar帰納法の特徴づけを、強正規化可能性定理と緩和解釈を実現する体系の決定によって打ち立て、構成的な体系の証明論に本質的な貢献をした。

平成10年6月24日（水）午後1時半より開催された公聴会において、申請者はよく整理された発表を行い、その発表態度、質疑に対する応答も適切であった。

さらに、平成10年9月7日（月）午後1時より勝良研究室で行われた口述試験において、まず論文の概要を説明した。次に体系TRDB、その強正規化性の意義と証明の要点、緩和解釈に関する完全な体系の意味、それに関する結果の意義、などについての質問に解答した。説明および解答の内容は的確であり、良く整理されていた。

将来の研究計画としては、まず学位論文で扱った超限的な再帰定義の縮約の一般的な条

件についての考察を挙げた。これはTRDBの研究の一環として重要であり、また具体性のある問題である。また長期的な研究課題として、圏論の枠組みでの証明論の実行という、現代的な手法による証明論の研究を挙げた。申請者はすでにこの方面の論文も書いており、将来が期待される。

以上の調査結果を総合し、本調査委員会は全員一致で、申請論文を博士（数学）学位論文として十分に価値あるものと判定する。



氏名(本籍)	鄧 曾 甲 (中華人民共和国)
博士の専攻分野の名称	博士(法律学)
報告番号	乙第9号(学位記番号 乙法第2号)
学位授与年月日	平成10年12月19日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
論文題目	中国担保法制的演變和經濟的意義—比較日本担保法制— (中国担保制度の変遷及びその經濟的意義 —日本担保法との比較研究—)
審査委員	主査 教授 西村 峯 裕 副査 教授 村田 博 史 " 教授 清河 雅 孝

### 論文内容の要旨

社会主義計画経済の下では企業は行政機関の一部として組み込まれ、資金は国家財政から予算の形で配分される。中国人民銀行は財政部門の出納役を果たすのみでそのほかの下位の銀行も含め金融機関としての役割を果たすことは無かった。このような体制の下では金融は存在しないから債権担保の概念も存在せず、担保法制は存在しなかった。

1979年金融改革が図られ人民銀行を中央銀行化しその貸付部門を分離して工商銀行とし、併せて国営企業の行政機関からの分離も行われ資金は銀行からの有償貸付とし、他方税引き後の利益を企業に留保できるものとした。しかしこれらの改革は実際には容易に進行せず、1980年代は計画経済が継続した。1990年代に入って市場経済化が実質的に進められ、1993年から1995年にかけて一連の銀行法、保険法、手形法、担保法など金融の市場化を促す立法が行われ、国有企業の改革を図るべく会社法も制定された。担保法は企業の銀行から市場メカニズムに基づく資金調達を促しその資金需要に応えようとするものであった。

しかし中国の市場経済化はまだまだ後進的であり、社会主義公有制を基礎としているため、担保法の内容は不十分で内容も明瞭さを欠くものになっている。これに対し日本は民法制定当時すでに市場経済の社会であり、債権担保も存在した。日本はその後今日に至るまで高度に市場経済を発達させ、それに伴い担保法制も多くの判例や特別法を生みつつ発展した。市場経済という面で後進的な中国がこれから辿るべき道筋を日本法が示していると言えよう。

具体的には中国担保法には共同保証に分別の利益が無く共同抵当に関する明瞭な規定が無く、根抵当も僅か4ヶ条で具体性に乏しい。また登記は不動産抵当については有効要件、動産抵当については対抗要件と、効力が分かれており登記期間も複数有って統一されておらず登記権限も重複している。これらの点は日本法に学ぶべきところが大きい。

中国の市場経済はまだまだ遅れているため担保法制には不備な点が多いが今後市場経済が拡大発展してゆくにつれ日本担保法制の示す意義は重要である。

## 論文調査結果の要旨

本論文は、中国が社会主義市場経済を推し進めていく過程で初めて制定した担保法およびその関連法令を、市場経済の後進性の反映と理解し、市場経済の高度に発達した日本担保法制を鏡とし、その至らざる点を指摘し、今後の有るべき中国の担保法制の姿を呈示しようとするものである。我が国の担保法制はいわゆる高度成長期に大きな進展を示し、今日では微にいり細に亘るきめの細かい議論が行われている。本論文は中国の市場経済の後進性から、あまりに先進的で当面中国にとって不必要な我が国の最先端の議論にまで踏み込むものではないが、制度論的に我が国の担保法制をしっかりととらえ、そこに中国法の有るべき姿を見ようとする点で秀れて理論的な労作である。

中国は国家所有権や集団所有権という公的所有権を猶維持している。しかし、社会主義公有制は、本来、優勝劣敗の過酷な経済競争の結果生まれた資本家や大地主と労農大衆との階級対立、前者による後者の搾取を止揚し克服するために採られた制度なのであり、抑々自由競争秩序を否定するところから生まれたものである。社会主義公有制を基礎としながら市場経済という自由競争秩序を推し進めるという発想そのものが根本的な矛盾を孕んでいる。担保法の規定が不十分で有り不明瞭である主な理由はここに存する。申請者はこの矛盾を認識しながらも、中国社会で公表し説得力を持たせるために、この論文を読む者が資本主義市場経済の先進国である日本の担保法のより進んだ姿を知ることにより、中国の矛盾と後進性を自ずと自覚するよう論を進めている。そこには現体制の下で、より進んだ社会を思い描き苦悩する申請者の姿が垣間見える。申請者は本論文の中で、中国が計画経済の残滓を引きずっていることや、公有制から来る限界についても、隠すことなく正直に叙述している。現にある法状態を冷静に客観的に記述し、その問題点を分析し、社会主義公有制と私有財産制の担保を踏まえつつ、あるべき理論モデルを日本法に見出そうとする。中国は文革期に極左による徹底的な法の破壊を経験した。そのため中国の法律学は理論的基礎を欠いたまま今日に至っている。しかし、本論文は申請者の並々ならぬ努力によりハイレベルな理論展開を示しており、中国法学界における傑出した業績である。

以上、審査委員会は慎重審議の結果、審査員全員一致を以って、本論文が博士の学位に値するものであると判断する。