

サイエンス & テクノロジー

京都産業大学

理系学部からの
メッセージ

VOL.9

01 不確実な未来に備える 数学の力

金融の世界に革命を起こした2つの数学理論

辻井 芳樹 教授

02 “More is Different” (多は異なり)の世界

強相関電子系が魅せる豊かさ

堀田 知佐 講師

03 植物育種を 支える理論

遺伝子の気まぐれに確率論と統計学で挑む

米澤 勝衛 教授

04 テレビはまだまだ 進化する

「有機EL」から見えてくる次世代ディスプレイのビジョン

坪井 泰住 教授

05 比べて見つける おふくろの味

情報の「質」を見極める新しい情報比較手法

宮森 恒 准教授

06 脳は未来を どう考えているのか

忙しい人のための“脳手帳”をめざして

奥田 次郎 准教授

不確実な 未来に備える 数学の力

金融の世界に革命を
起こした2つの数学理論



理学部・数理科学科

辻井 芳樹

教授

理学博士

確率論、解析学における計算可能性

01

リスクを選ぶ自由

金融工学とは得体の知れないものではなく、金融の世界に「リスク」や「権利の適正価格」について客観的な定義と基準を確立しました。私たちはリスクをとるのか回避するのかを選ぶ自由を得たのです。この金融の革命で中心となったのは、ポートフォリオ理論とオプション理論です。

ポートフォリオ

投資家は期待値で株を買わない

籠を使って卵を運ぶ場合、籠が1つでも3つに分けても割れずに残る卵の期待値は同じになります。それでも籠を3つに分けたほうがいいと投資家たちは直感的に知っています。両者の違いを「分散」を用いて説明したことで、漠然とした存在だった投資のリスクが説明されました。

リスク・リターン・フロンティア

なぜ投資家は期待感の大きい株だけに集中して投資しないのか、それを説明したのがアメリカの経済学者マーコビッツ（Harry Markowitz 1927-）の「リスク・リターン・フロンティア」です。1990年ノーベル経済学賞を受賞したこの発見の概要を解説します。

オプション理論

将来の価格変動リスクの値段は？

将来の取引の権利を購入するオプション（option）は、リスクを回避するための金融商品として以前からありましたが、適正な価格（権利料）はカンと経験に頼るしかありませんでした。予測できない未来の価値を、数学を駆使して解いたのが「ブラック・ショールズ方程式」です。そのエッセンスをお伝えします。

“More is Different” （多は異なり）の世界

強相関電子系が魅せる豊かさ



理学部・物理科学科

堀田 知佐

講師

博士(理学)

物性理論(凝縮系物理学)

02

バンド描像の成功

金属と半導体

金属中で電子が物質内を自由に動き回る仕組みは「バンド描像」によってうまく説明されます。このバンドの考え方をもとに金属と絶縁体の性質の間をうまく行き来しようというアイデアが半導体技術における大成功の基となりました。

伏兵の登場

クーロン力

電子は電荷eをもっているため、クーロン反発し合っています。このクーロン相互作用が大きくなるとバンド描像は破綻し、電子は互いの存在を強く意識しあい非常にデリケートに振る舞うようになります。このような物質系のこと「強相関系」と呼びます。

異常量子液体

強相関系ではエキゾチックな金属や絶縁体が実現することが多々あります。最近、我々の研究で明らかになった「ピンボール液体（pinball liquid）」や「分数電荷（fractional charge）」といった異常量子液体の例を紹介します。

フロンティア軌道

そして物性物理学が拓く未来

物性物理学の基礎研究は、無機物から有機物、さらにはDNAや蛋白質などの生体系にまで及んでいます。例えば分子は、原子と比べると複雑な構造をしています。フロンティア軌道理論をもとに理論的に分子性結晶の性質をうまく説明することが可能になっています。このようなミクロな世界における電子の振る舞いのメカニズムを解明することが、10年、20年後の最先端技術へと昇華する……物性物理学は次世代の技術を切り拓く大きな可能性を秘めています。

植物育種を 支える理論

遺伝子の気まぐれに
確率論と統計学で挑む



工学部・生物工学科

米澤 勝衛

教授

農学博士

植物育種学・集団生物学

03

植物育種はプランに沿って

育種とは、簡単にいえば交配などの方法で遺伝的な変異をつくり出し、その中から実用的に優れたものを選び出すという作業です。古来より経験的に行われてきましたが、現代では、数学理論に支えられた方法に進化を遂げています。

重要性の高い

遺伝子資源のストック

新しい品種をつくり出すためには、有用な遺伝子資源をできるだけたくさん集めて準備しておくことが大切です。世界中からさまざまな遺伝子を持つ素材系統を集め、特性についての情報とともに種子や実物をストックする組織と施設が完備されています。

いかに効率的に目標に近づくか

素材系統を交配してつくった集団から目的に合った優良な個体を選び出す作業を、「選抜」と呼んでいます。選抜を繰り返して、目標となる個体を作り出す方法を具体的にデザインします。

不可欠な役割を担う理論的研究

選抜を実際に行うには多くの年数と労力がかかり、結果には偶然要因が強く影響します。遺伝や選抜の結果は確率現象ですから、効率的な選抜方法をデザインするには、集団遺伝学の理論に加え、確率・統計学の概念や手法が不可欠です。そのため、少数派ながら理論研究者は大きな役割を担っています。

テレビは まだまだ進化する

「有機EL」から見えてくる
次世代ディスプレイの
ビジョン



コンピュータ理工学部・
コンピュータサイエンス学科

坪井 泰住

教授

理学博士

機能性光学材料の研究

04

今までになかった

凄いテレビの登場！

メーカー各社が紙のように薄く、誰もが手軽に持ち運べ、いつでもどこでもキレイに見られるディスプレイの開発を目指してきました。それを可能にしたのが「有機EL」の技術。画期的な薄さと軽さ、たんだり丸めたりも可能な柔軟性まで実現できるのです。

キーワードは「光る素材」

有機ELが発光するのは、プラスの電荷を持つ「ホール（正孔）」とマイナスの電荷を持つ「電子」のぶつかりあいによるものです。ここでは、発光の仕組みと有機ELの構造を解説します。

欠点をクリアすれば

活躍の幅も広がる

有機ELは個々の分子を発光させるため、無機物の結晶に比べて材料の劣化が激しい。製品にするためには、耐久性が鍵でした。2007年12月、世界で初めて日本のメーカーが有機ELテレビの製品化にこぎつけました。画面はまだ11型と小さいですが、記念すべき一歩です。

有機EL が広げる次代への夢

有機ELは、照明器具や有機太陽電池システムへの応用が考えられます。薄くて軽く熱を出さない平面型の画期的な照明器具は私たちの生活スタイルを変えるかもしれません。さらに、従来の半導体と置き換われば、環境への負担の大幅な軽減ができます。有機物を利用した高機能の製品がどんどん登場する時代が早く訪れることが有機材料研究者の願いです。

比べて見つける おふくろの味

情報の「質」を見極める
新しい情報比較手法



コンピュータ理工学部・
ネットワークメディア学科

宮森 恒

准教授

博士(工学)

情報信頼性分析・
マルチメディアコンテンツ処理

05

情報の「質」を

効率良く見分けるには？

膨大な量がある一方、信頼できるかどうかの「質」がはっきりしないインターネットの情報。どうすれば自分の求めている妥当な情報かどうか判断できるでしょうか？ここでは、信頼性が不確かな情報を、信頼性がはっきりしている別の情報と比較する手法をご紹介します。

その料理レシピ、自分に合っているかわかりますか？

インターネットに公開されている料理レシピを使って「レシピ比較 味コレ!」というシステムを試作。自分が信頼する「基準」のレシピと比較することで、選んだレシピが自分に合ったものかどうかの判断を手助けしてくれます。

「味コレ!」の仕組み

新しい情報比較手法を発明

「味コレ!」は、対象レシピを1つの情報として、その情報を「要素、分量、重要度」の3つからなる組がいくつも集まった「集合」と考えて、2つの情報がどの程度かけ離れているのかを比較します。これにより、自分に合った情報かどうか判断しやすくなるのです。

世界中のレシピを比較

広がる対象

「レシピ比較 味コレ!」では、近いうちに日本の主なレシピサイトのデータをすべて扱えるようにしたいと考えています。また、海外のレシピサイトにも対象を広げることを視野に入れて研究を進めています。

脳は未来を どう考えているのか

忙しい人のための
“脳手帳”をめざして



コンピュータ理工学部・
インテリジェントシステム学科

奥田 次郎

准教授

博士(障害学)

脳認知情報処理・
非侵襲脳機能イメージング

06

“脳手帳”と脳神経科学の

これからの課題

将来の予定や今後の行動といった「未来の記憶」のメカニズムはいまだ完全に解明されていません。このメカニズムを解き明かし、“脳手帳”とでも呼べる予定管理システムを研究の到達点としています。

実験から見えてきたこと

予見と記憶には共通点が多い

脳活動イメージングを使った実験では、人が何かを思い出しているときと何かを予見する際に、活発になる脳の領域がほぼ一致していることが分りました。このような心の動きに、脳の内側面の神経ネットワークが共通してかわっていることが示されました。

人の意思決定はきわめて曖昧

予見のメカニズムの先を目指すのは、意思決定の機能の解明です。そのひとつとして行っている実験「推測的な報酬予測」を通して、人の“思い込み”が与える影響を紹介します。

脳の内側ネットワークが

鍵を握る？

一連の実験から、自分以外のものに「自己投影」する心の機能が、過去、未来、そして他人の心の推測にかかわっているのではないかと仮説が浮かび上がります。「自分とは何か」「意識とは何か」といった哲学や心理学のテーマにも脳科学は急ピッチで迫りつつあります。

世の中にはさまざまなリスクがあります。

個人レベルでは、自動車事故、火災、健康などに対して、保険をかけることでリスクを回避しています。

それでは、民間企業が日々変動する商品価格、為替レート、株価などに対して、どのようにしてリスクを回避しているのでしょうか？

答えは「金融派生商品（デリバティブ）」

———今ここに商品売り買いするのではなく、

何日後や何ヵ月後といった将来の商品を取引したり（先物）、

将来に売買する「権利」を取引したりする（オプション）ものです。

将来の価格を決めておくことによってリスクを回避しているわけです。

ところが、未来は予測できないため、価格決めは高度な職人技でした。

この職人技を誰でも使えるようにしたのが数学の力です。

数学が金融の世界に起こした革命について、

辻井芳樹先生にお話をいただきました。

金融の世界に革命を起こした 2つの数学理論

不確実な未来に備える 数学の力

リスクを選ぶ自由

みなさんは金融工学という言葉にどのような印象を持っていますか？「何か得体の知れないもの」「素人に分からないようにお金を操作している」———昨年から世界的な金融危機を目の当たりにしたみなさんのなかには、このように考える人もいるかもしれません。

しかし、それは金融工学自体の問題ではなく、一部の行き過ぎた人たちが招いた結果に過ぎません。数学がもたらした金融革命の本質は、金融の世界に「リスクとは何であるのか」「将来の売買の権利はいったいいくらが適正なのか」といった、客観的な定義と基準を確立しました。このことが意味するものは決して小さくありません。かつて、金利変動や為替変動、商品価格の騰落にともなうリスクは国家や銀行といった大掛かりな組織にしかコントロールできませんでした。金融工学はそれらのリスクの正体を明らかにし、リスクを回避するための適正な価格を付けたのです。これにより、民間企業でも個人でもしかるべき対価を支払うことでリスクを回避することが可能になりました。

言い換えれば、私たちはリスクをとるのか回避するのかわる自由を得たのです。この金融工学の一大革命で中心となったのは、ポートフォリオ理論とオプション理論です。

ポートフォリオ 投資家は期待値で株を買わない

ポートフォリオ（portfolio）とは本来「紙挟み」を指す言葉です。1つの紙挟みにたくさんの書類をまとめて挟むことから、資産をいくつもの株や債券などに分けて投資することをポート

に知っています。実際に投資家も同じように分けて投資しています。

両者の違いを「分散」を用いて説明したのが、アメリカの経済学者マーコビッツ（Harry Markowitz 1927-）です。彼は、漠然とした存在だった投資のリスクを分散の大きさによって説明しました。

リスク・リターン・フロンティア

マーコビッツのポートフォリオ理論以前、経済学の教科書ですら「株価は投資家の期待感によって決まる」と書かれていました。しかし実際には、投資家は期待感が大きい株だけではなく、卵の籠を分けるように、さまざまな銘柄の株に広く投資します。

彼は教科書の説明に疑問を抱き、なぜ投資家は期待感の大きい株だけに集中して投資しないのか、ということの説明する理論を打ち立

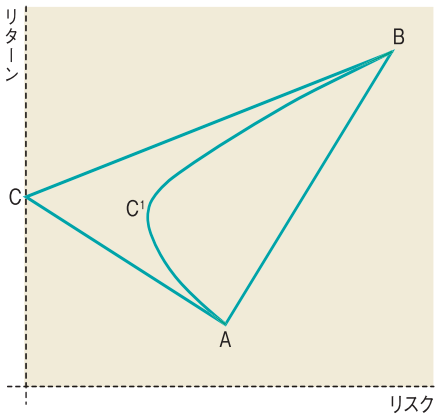


図1 リスク・リターン・フロンティア

理学部・数理科学科

辻井 芳樹 教授

PROFILE

理学博士。専攻分野は、確率論、解析学における計算可能性。現在の研究テーマは、フラクタルと多期間ポートフォリオ。現実社会のなかで数学が際立って役立つ分野として数理ファイナンスに関心を抱く。金融工学については「儲からないことを確認するための学問」と皮肉を言いつつも、「高級すぎる数学理論に金融界が浮かれていた部分がある。世界的な危機でその熱が冷めて、これからが真価の試されるとき」とも。私立甲陽学院高校OB。

てたのです。

図1はマーコビッツが描いた「リスク・リターン・フロンティア」と呼ばれるものです。証券Aと証券Bの2つに分けて投資した場合のリスクとリターンの関係を表しています。証券Aは低リスクで低リターン、証券Bは高リスクで高リターンになっています。証券Aと証券Bをどの割合で組み合わせるかによって、投資家の資産全体のリスクとリターンが2点を結ぶ線上に示されます。AとBを結ぶ線は直線AB、線ACB、曲線AC'Bの3本ありますが、それぞれ「証券Aと証券Bが同じ値動きをする場合」「逆の値動きをする場合」「両者が独立な値動きをする場合」に対応しています。

直線ABではリスクを小さくしつつリターンを大きくすることができません。線ACBでは点Cにおいてリスクを最小にでき、かつリターンは証券A単独の場合より大きくになっています。しかし、実際の市場では、完全に逆の値動きをする証券を見つけ出すことはほとんど不可能です。そのため、実際には曲線AC'Bのような値動きとなります。投資家はC'Bのどこかになるような組み合わせを好みます。たとえリターンが小さくとも証券Bとは違う値動きをする証券Aを購入し、組み合わせることによってBC'を実現させるのです。

マーコビッツはこの研究成果により1990年ノーベル経済学賞を受賞しました。



オプション理論 将来の価格変動リスクの値段は？

オプション（option）とは選択という意味です。将来の取引の権利を購入しておき、その期日に、実際に権利を行使するかどうかを選択することができるため、このように呼ばれています。

たとえば、現在1000円の株を1年後に1080円で買う権利を購入したとしましょう。1年後の株価が1300円に上がっていても、権利を行使して1080円でその株を買うことができます。逆に株価が900円に下がっていれば、権利を行使しなくても構いません。その場合は最初に支払う権利料だけの損失で済みます。将来買う権利のことを「コールオプション」、売る権利のことを「プットオプション」と呼びます。

リスクを回避するための金融商品として、理論が作られる前から取引されていたオプションですが、適正な価格（権利料）がいくらなのかはディーラーの勘と経験に頼るしかありませんでした。予測できない未来の株価から、いかにして現時点の権利料を決めるのかがたいへんな難問だったのです。数学を駆使してこの問題の解を導いたのが、ブラック（Fischer Black, 1938-1995）とショールズ（Myron S. Scholes, 1941-）です。

彼らが完成させた「ブラック・ショールズ方程式」は1997年にノーベル経済学賞を受賞しています。※1 オリジナルの方程式は少し専門的になるため、後年になって考えられたより簡単な方法を使ってそのエッセンスをお伝えしましょう。

先ほどの株価を用いれば、1年後に1300円に上がったとき、行使価格1080円のオプションの価値は、1300円-1080円=220円となります。1年後に900円に下がったとき、権利は行使しません。したがって、行使価格1080円のオプションの価値は0円です。

このオプションと同じ価値を持つ複製資産を、株と借入れによって作ることを考えます。まず、1300円に上がる場合、この株をx株売って得られる金額と返済額y円の差額が、オプションの価値220円になるためには

$$1300x - y = 220$$

という式が成り立つことが必要です。

次に、900円に下がる場合は同様に残り0円になればいいので

$$900x - y = 0$$

という式が成り立つことが必要です。

ノーベル賞に貢献した 日本の数学者

ノーベル経済学賞を受賞した「ブラック・ショールズ方程式」は、数学的な基礎の部分に「伊藤の定理」が使われています。「伊藤の定理」は日本人数学者・伊藤清（1915-2008）の業績です。

直線や規則性を持つ曲線は方程式で容易に表すことができますが、株価の動きのようなまったくランダムな曲線は方程式にするのが難しかった。「伊藤の定理」は確率論的な動きを積分することで、ランダムな曲線を方程式で表すことを可能にしました。

伊藤清先生は2006年にガウス賞の第1回受賞者となりました。同賞は社会の技術的発展や日常生活に対する優れた数学的貢献を行った研究者に贈られる国際的な賞として創設されたものです。

この連立方程式を解けば

$$x = 0.55$$

$$y = 495$$

が得られます。

y=495円は1年後の返済額なので金利を10%とすると、495÷1.1=450円で450円が借入れ額となります。

現在1000円の株を0.55株だけ買うわけですから、1000×0.55=550円。450円を借り入れるので、この複製資産を作るために必要とされる資金は550-450=100円となります。この100円がオプションの値段なのです。※2

ポートフォリオ理論のときと同じように、ここでも将来の株価の期待値はオプション価格に影響を与えません。たとえ1300円に上がる確率が90%であっても、オプション価格は100円なのです。ブラックたちも最初、確率が影響しないことに疑問を抱き「自分たちの理論は間違っているのではないか？」と考えたそうです。ところが現実のオプション価格に方程式を当てはめると、その通りになっていたのです。

数学はそれ自身が学問として面白いだけでなく、人類の知恵や直感に論理的な説明を与えたり、誤って常識だと思い込んでいたことを根本から覆したりする力を持っています。特に確率の分野は、現実の世界を説明するのに役に立つ、非常に強力な学問なのです。

※1 「ブラック・ショールズ方程式」の業績では、数学的な厳密な証明を加えたロバート・モートン（Robert Cox Merton, 1944-）もノーベル経済学賞を受賞した。

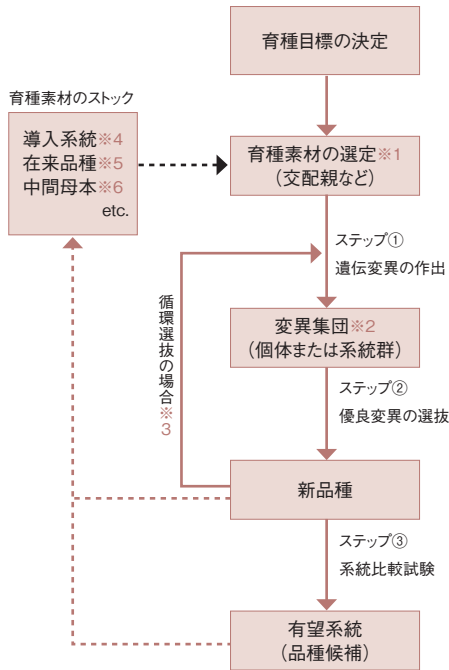
※2 複製資産を作るための資金とオプションの権利料が同じになることは、「裁定取引が存在しない」という原則から説明できる。裁定取引とは、同じ商品に異なる値段が付いている場合（たとえば、A銀行で1ドル=100円、B銀行で1ドル=120円の場合、A銀行で円からドルに換えてB銀行でドルから円に換えれば利益を得られる）など、リスクを負わずに利益を上げられる取引のこと。株式市場や為替市場など、参加者が多く常時大量に取引が行われている市場にはこのような取引は存在しないとされている。オプションの複製資産はオプションとまったく同じ商品価値があるため、原則に従って同じ値段になる。

6

植物育種は プランに沿って

育種とは、簡単にいえば交配などの方法で遺伝的な変異をつくり出し、その中から実用的に優れたものを選び出すという作業です。古来、人々は病気や害虫に強い作物を経験的につくってきました。現代では、それが数学理論に支えられたよりシステムチックな方法に進化を遂げています。その一般的な過程をわかりやすく示したのが図1です。最初、これから育成しようとする新しい品種に必要な特性を具体的に決めます（育種目標の決定）。次いで、その目標を達成するために適していると思われる育種素材をストックの中から選ぶ（育種素材の選定）とともに、育種の方法を決定します。これに続いて、実際にその育種素材を交配して変異体を含む集団をつくり、その中から育種目標に合うものを予め決めた方法で選びながら目標とする新品種をつくっていくのです。

図1 植物育種の過程



※ 1 品種改良を行うための出発系統で、交配で変異集団をつくる場合は交配親のこと。

- ※ 2 異なった遺伝子型を持つ個体あるいは系統からなる集団。
- ※ 3 変異作出→優良変異選抜のサイクルを何回か繰り返す方法。
- ※ 4 外国などから取り寄せた系統。
- ※ 5 古い時代に育成され、維持されてきた系統。
- ※ 6 育種素材として利用する目的で、遠縁交配などの方法で人為的につくり出した系統。

原点はメンデルにあり

育種の理論研究の基盤にあるのは、メンデルが発見した遺伝法則です。メンデルといえば「メンデルの法則」でおなじみですが、なんといっても彼の革新的なところは、「親から子へ性質を伝えるのは、安定した“つぶつぶ”の物質である」ということを初めて唱えた点です。それまでは、遺伝は両親の体液が混ざり合うことによって起こると考えられてきたのを、まったく違う発想で「粒子説」を打ち立てた。つまり、遺伝子はデジタルであることを見抜いたのです。これによって遺伝の仕組みを数式に置き換えることが可能になりました。一般に新しい学説や発見がなされるときは、同時代の何人かが同じことを思い付いているものですが、彼の場合は他に「粒子説」を着想した学者はまったくいなかった。そのために、彼の主張が他の学者に理解されるのに40〜50年かかりました。知れば知るほど、彼の独創性は群を抜いています。

人間は農耕生活を始めた時から、野生の植物を交配して品種改良し、育てやすい農作物をつくり出し、文明社会の基礎を築いてきました。これが現代まで受け継がれる「植物育種」の原点です。

近代になり科学技術の発展とともに育種にも科学的な手法が取り入れられるようになり、「植物育種学」という分野が確立しました。なかでも米澤勝衛先生が取り組むのは、最も効率のよい育種方法を計算によって求めていくという理論的研究。

おなじみのメンデルの理論や確率論を基礎として改良対象植物の特性や改良目的に合わせて予測式を構築して、育種の効果を予測します。比較的わかりやすい例を使って、その基本的な考え方をご説明いただきました。

植物育種を 支える理論



植物の遺伝資源系統を管理・保存する施設は日本には16カ所(つくば市にある独立行政法人農業生物資源研究所のセンタージャパンと、それ以外の地方の研究所にある15のサブセンター)あり、全体で約25万の遺伝資源系統が保存されている。日本の遺伝資源の収集・管理・利用事業の中核機関であるセンタージャパンは、国際的にも有数の規模と内容に誇れる保存機関。上の写真(左下)は、センタージャパンの中にある種子保管室で、必要な種子はここから自動装置で取り出される。

工学部・生物工学科
米澤 勝衛 教授

PROFILE

高校時代から理科科目が得意だったという米澤先生。大学は、当時の花形だった農学部へ。人間の目的に沿った農作物の品種をつくりあげること面白みを感得、育種の道を選んだ。メンデルの論文を原文で読み、あらためてその偉大さを知ったことが、「理論」にめざめるきっかけになったと。『精神作用によって、目に見えない世界を重ねる姿に構築するプロセスこそが理論の醍醐味』と、日々、思索を重ねる。農学博士。

重要性の高い 遺伝子資源のストック

新しい品種をつくり出すためには、目的に沿った特性を備えた育種素材（交配親として使う系統）が必要です。必要な素材を確保するには、有用な遺伝子を持つ遺伝資源系統（種子や植物体で保存されている）を日頃からできるだけたくさん集めて準備しておくことが大切です。

植物の遺伝資源系統の収集と保存は、昔はそれぞれの土地の^{どこの家}篤農家などがごく小規模で行っていましたが、現在では、世界的な課題として各国が国際的組織のもとで連携して計画的に行っています。もちろん日本にも、世界中からさまざまな遺伝子を持つ素材系統を集め、その特性を調査した情報とともにその種子や実物をストックしている組織と施設が完備されています。

いかに効率的に 目標に近づくか

素材系統を交配してつくった集団から目的に合った優良な個体を選び出す作業を、「選抜」と呼んでいます。交配してできた次世代の子どもの中から、良い特徴を示す遺伝子ができるだけたくさん持った個体を選び出していく作業です。選抜の結果、新品種にふさわしい優れた特性を持った個体あるいは系統が得られるかどうかは、毎世代の集団の大きさ、選抜の強さ弱さ、特性の良し悪しの判定方法、選抜の回数などに大きく左右されます。そこで必要となるのが、限られた時間と労力の下でこれらの条件をどのように定めるのが最善かを、数式や数字を使って求める方法です。

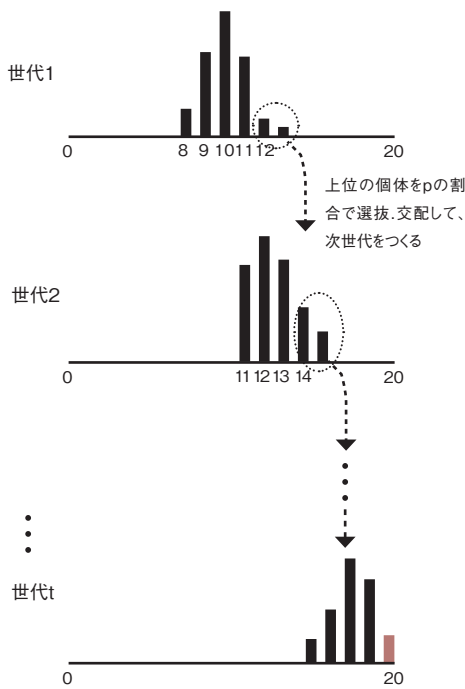
例えば、親系統AとBを交配してつくったある集団(N個体からなる集団として)から、両親の良い特性(表1中では○と表記)20個をすべて備えた個体を選び出す場面を考えますと、図2のような選抜過程が想定できます。

世代1では、○(良特性)を10個持った個

表1	特性1	特性2	…	特性10	特性11	…	特性20
親 A	○	○	…	○	×	…	×
親 B	×	×	…	×	○	…	○
目的個体	○	○	…	○	○	…	○

○は良特性 ×は悪特性

圖2 選拔過程



体が大部分で、20個持った個体はまだ出現しません。そこでなるべくたくさん○を備えている個体をpの割合で選抜・交配して、次世代をつくります。すると世代2では、世代1の時よりも○を多く持った個体が出現する頻度が増えますが、まだ20個全部持った個体は出てきません。そこで同様に、上位の個体を選抜しまた交配する…ということを繰り返していくと、ある世代tで○を20個持った個体が出現します。

目的とする個体が得られる確率は、 N 、 p 、 t 、および改良対象の特性数（この例では20）によって決まります。例えば、許されたコスト（総個体数 $N \times t$ ＝一定）の下でこの確率を最大にするにはこの N 、 p 、 t をどのような値にすればよいかといった問題に計算で答えを与えるわけです。

以上は、植物個体を実際に畑や田んぼで大きくなるまで育てて調べた時の特性の良し悪しで選抜を行う場合の話ですが、最近は、大きくなるまで育てなくても発芽直後の葉っぱ1枚をすりつぶして調べるだけでその個体が良い遺伝子を持っているかどうかが判定できるように

絶滅危惧種も救える!?

理論的研究は、品種改良の場面だけでなく、野生の生物集団を未来にわたって守り継いでいくという生物保全の場面でも役立ちます。はじめさまざまな遺伝子を含んだ集団も、維持の仕方が悪いと何世代かのうちに一種類の遺伝子だけになって環境への適応力を失ってしまい、やがては滅びてしまう。これを防ぐため、例えば、100年経った時に当初あった遺伝子の95%以上を集団に維持するには、世代あたりの個体数、個体間の交配の仕方、各個体の寿命や子数の管理をどのようにすればよいかという問題に、計算によって解決の目やすきを与えることが可能です。数年前には、石川県・白山のシンボルである野生のクロウシ集団を守るプロジェクトに参加し、理論的モデルを使ってその集団の未来を予測したことがありました。

なりつつあります。このような方法をDNAマーカーを利用した選抜といいますが、個体を育てるための時間や労力が節約できる反面、判定が正しくなかったりお金がかかるためたくさんの方が調べられないといった欠点もあります。DNAマーカーを利用した選抜方法が従来の方法よりも効率的かどうかといった問題にも、理論計算で答えを導きます。

不可欠な役割を担う 理論的研究

ある選抜方法を実際に行ってその結果をみるには多くの年数と労力がかかります。また、その結果は多くの偶然要因の影響を強く受けます。したがって、選抜方法の良し悪しは、その選抜操作を何回も繰り返して行ってその結果全体をみてからでないと判断できませんが、そんなことは現実には不可能です。

実験に代わって答えを与えてくれるのが、理論計算です。選抜方法ごとに結果の予測式を構築し、これまでに蓄積されてきた遺伝実験データをその式に当てはめて計算して選抜の結果（偶然要因による結果のばらつきを含めて）を予測するわけです。遺伝子の次代への遺伝や選抜の結果がどうなるのかは偶然の影響を受けてばらつく確率現象ですから、選抜結果の予測式をつくるには集団遺伝学の理論と確率・統計学の概念や手法が不可欠です。私のようないわゆる理論屋は、植物育種の分野では少数派ですが、なくてはならない役割を担っているという自負があります。

ADVICE

まずは幅広い知識と体験を

自分の好きなもの、やりたいことを早いうちに決めて、まっしぐらに進むことも素晴らしいと思いますが、あまり早くに決めてしまうと興味の幅が狭くなってしまいます。高校生くらいまではできるだけたくさんものごに好奇心をもって向き合ってくださいね。独創性や個性も、そんな積極的な幅広い学びから育まれていくものではないかと思います。

「有機EL」から見えてくる 次世代ディスプレイのビジョン

いまや現代生活になくてはならない存在となっているテレビ。
その歴史はまだ新しく、日本で本放送が始まったのは1953年のことです。
しかし、その後の進化はめざましく、厚くて重いブラウン管から、
半世紀の間に薄くて大きな画面の液晶やプラズマが主流の時代に。
そして今、新たに次世代テレビとして熱い注目を浴びるのが
坪井泰住先生の研究開発テーマでもある「有機ELテレビ」です。
特徴は、薄くて軽いディスプレイ。
ゆくゆくは紙のように丸めたり曲げたりすることもできるという
その技術と驚くべき先進性についてお話いただきました。

今までになかった 凄いテレビの登場！

昔に比べて薄く軽くなったとはいえ、市販されている薄型テレビは厚さにして12～13センチ、重さも20～30キロあり、気軽に持ち運べるほどではありません。メーカー各社は紙のように薄く、誰もが手軽に持ち運べ、いつでもどこでもキレイに見られるディスプレイの開発を目指してきました。それを一気に可能にしたのが「有機EL」の技術。「有機」は有機半導体、そしてELはElectro Luminescence(エレクトロルミネセンス)の略で、電圧をかけると発光する現象のことです。

液晶やプラズマテレビでは、画面サイズが大きくなると重さも消費電力も大きくなってしまふのに対して、有機ELテレビでは、消費電力がはるかに小さく1センチ以下の画期的な薄さで軽さに加えて、丸めることも可能な柔軟性まで実現できるのです。

キーワードは「光る素材」

ELが起る原理を図1で示します。有機半導体に電圧をかけると、陰極と陽極からそれぞれマイナスの電荷を持つ「電子」とプラスの電荷を持つ「ホール(正孔)」(電子の抜け穴)が有機半導体内に注入されます。両者がぶつかり、結合することで有機分子は「励起状態」と呼ばれる高いエネルギー状態になります。しかし、

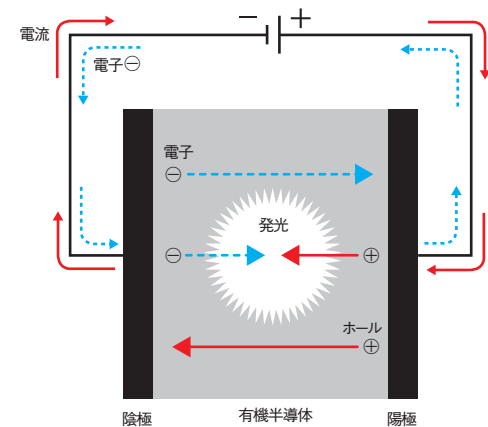
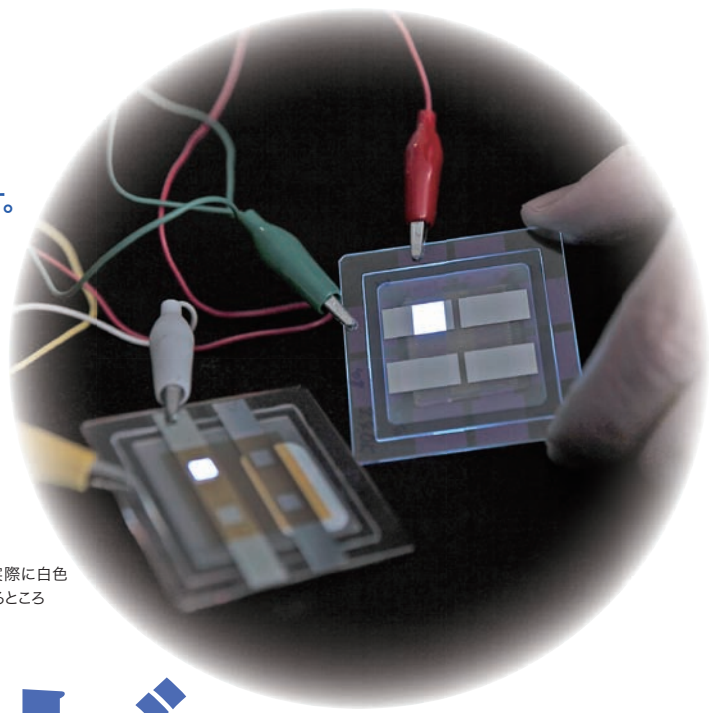


図1



5ボルトの電圧をかけて実際に白色有機EL素子を光らせているところ

テレビは まだまだ進化

物質はエネルギーの低い安定状態（＝基底状態といいます）を好むため、すぐに基底状態に戻ります。その時に、持っていた励起エネルギーが光に変わるのです。光る色はそのエネルギーの大小により決まります。青色発光する素子と緑色発光素子と赤色発光素子を一組にして、それをたくさん並べたのがカラーテレビです。

図1のものでは電子とホールが衝突せずに素通りし、衝突する確率が小さいので強く光らず、また光らせるには高い電圧が必要になります。実際の有機EL素子の構造は図2のようになっています。発光層をまんنانに挟んだ5層の有機物の薄い膜を基板上に重ねます。基板を除いた素子の厚さは1ミクロン以下の超薄

型です。電極からの電荷を入りやすくする注入層、それを発光層にスムーズに運ぶ輸送層に分かれています。電圧をかけると、ホールと電子は、それぞれこれらの層を通過して発光層に到達し再結合し、先ほど説明した仕組みで光ります。陰極からの電子がホール輸送層に入らない材料をホール輸送層に用い、ホールが電子輸送層に入らない材料を電子輸送層に用います。電子とホールが効率よく衝突するように、このような工夫がなされています。

陽極側を透明電極にしておけば、発光層からの光を観察することができるのです。基板を薄いプラスチックにすると、軽くて曲げられる

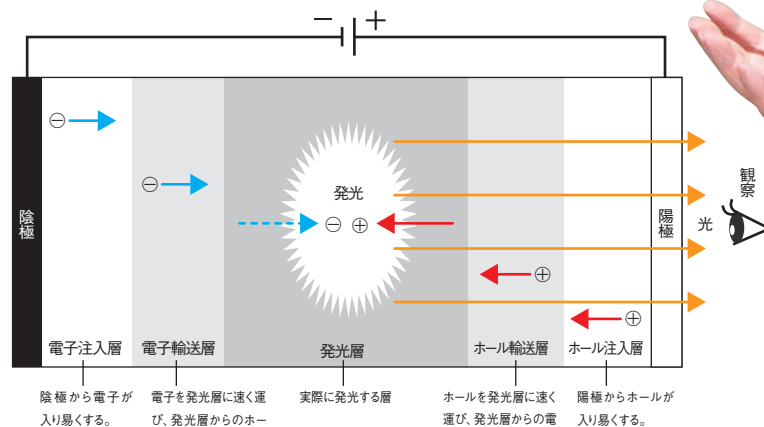


図2

ディスプレイになります。

当然、薄膜素材には、よく光りよく電気を通すというふたつの性質を兼ね備えた電導性発光材料を使わなければいけません。しかし、もともと有機物は絶縁テープのように電気を通さない絶縁体と思われてきました。今から約20年前、有機ELをデバイスにする技術開発のきっかけとなったのは、このような特徴を持つ有機半導体が見つかったためです。しかし、市販テレビへのメドがたったのは、最近になってからのことなのです。

欠点をクリアすれば 活躍の幅も広がる

最初はケータイやオーディオなどでの小さな画面で実用化されましたが、ついに2007年12月、世界で初めて日本のメーカーが有機ELテレビの製品化にこぎつけました。画面はまだ11型と小さいですが、記念すべき一歩であることは間違いなく、ここから先の進化は、きつとめまぐるしいものになるでしょう。

テレビへの実用化に時間がかかったのは、有機ELは発光ダイオードで使われる無機半導体のように結晶ではなく、不規則に並んだ個々の分子を発光させる仕組みのため、空気中の水分や酸素などの混入により材料の劣化が激しいからです。それに、画面は大きくなるほど素子数が増え、素子のひとつでも劣化させず性能を安定させるのが困難になります。製品にするためには、耐久性をいかに持たせ

コンピュータ理工学部・ コンピュータサイエンス学科 坪井 泰住 教授

PROFILE

研究テーマは機能性光学材料の研究。蛍光体光物性の研究や磁性体分光研究に従事し、1979年にはイオン結晶中でのナノ微粒子作成とそのメソスコピック現象の草分け的研究を行う。有機EL研究のきっかけは70年代、希土類の蛍光材料のテレビへの応用研究を進める中で、色純度のよい希土類を使った有機EL素材に着目したこと。以来、有機エレクトロニクス材料の研究もライフワークのひとつに。社会に求められる技術の発展をめざし、精力的な研究活動を展開。理学博士。

なぜコンピュータ理工学部がテレビなの？

コンピュータといえばすぐにソフトやハードを連想されると思うのですが、表示画面となるディスプレイも重要なパーツです。データや計算結果を画像としていかに美しく付加価値の高いものとして映すか、コンピュータにとってディスプレイはなくてはならない機能なのです。また、省エネのために、コンピュータ内の集積回路の部品材料を現在の無機物シリコン系から、有機半導体材料に置き換える必要があります。これが、私の研究室がコンピュータ理工学部にあるゆえんです。

るかが鍵でした。テレビなら最低でも5万時間の稼働に耐えられることが絶対条件です。

そこで長もちさせるためにはどんな分子構造が必要かを研究する一方、小さい電圧で明るく光る素材を求めて、化学を専門にする研究者と協力して新たな有機物を設計し、試行錯誤しながら材料開発を続けています。

有機ELが広げる 次代への夢

私が現在最も力を入れているのはテレビですが、同じ構造を応用すれば画期的な照明器具もできます。白色発光有機EL素子を用いれば、省スペースで陰もできず、しかもどんな形にもでき、紙のような薄くて軽い平面型の照明ができます。省電力で熱を出さない冷光であるなど、これまでの照明の概念を覆すものになります。この次世代照明にも本学は取り組んでい

ADVICE

疑問の数が増えるほど世の中は面白い

高校時代に物理や数学を勉強しておくのはもちろん必要ですが、まず大切な心構えとしては、物事を注意深く見て興味を持つことだと思います。「なぜ?」「どうして?」「どうなるの?」という疑問を持てば、今の世の中、それを解決する方法はいくらでもあります。ひとつを調べれば、きつとまた次の疑問が生まれて来るはず。そして物事の仕組みがわかれば、どんどん面白くなっていきます。要は不思議だな、面白いなと感じる心。好奇心を持って物事を見つめ、疑問を疑問のまま置いておかenないことです。今日はどんなことに疑問をもったか、それをどのように解決しようとしたかを、日記のようにつけてみると楽しいかもしれません。疑問の数が増えるほど好奇心のレベルも高くなり、世の中のことがさらに面白くなっていくことに気づくでしょう。それから、一度や二度、専門書や手引書を読んで、難しいと感じてもあきらめないこと。それはたまたま、相性が悪かっただけです。世の中には、本を書く人がいっぱいいる。その中に、必ずあなたにもわかる書き方をしている人があるはず。それが漫画なのか数式なのかは人それぞれですが、多くの中から、自分に合う、理解できる資料を探すこと。そういう訓練も高校時代にできているといいですね。

FUTURE

ものづくりなら コンピュータ理工学部

物理を勉強するということは、ものの原理がはっきりわかるということ。そしてそれを「わかった!」で終わらせないのがコンピュータ理工学部です。そこから「ではどんな製品をつくれば世の中の人に喜んでもらえるのか」を考える。しかもニーズやコストを検証し、利益が出る方法を模索します。今世の中に出ているさまざまな便利なもの、そんなふうを考え出されたものばかり。もともなる原理は高校の教科書にも載っているんですよ。アイデアひとつで、世の中が豊かに潤う、そんな種がいっぱい埋まっている。ものづくりをめざすならコンピュータ理工学部です!

情報の「質」を効率良く見分けるには？

インターネットにはたくさんのデジタル情報が溢れていますが、現在は「質が高く役に立つ情報」と、「根拠のない噂やデマといった質の低い情報」が混在している状態です。そのため、検索サイトなどで情報を探し出せても、それが信頼できるものか、自分が求める妥当なものかどうかははっきりしません。そこで、信頼性が不確かな情報と、信頼性がはっきりしている別の情報とをコンピュータでうまく比較することで、情報の質を効率よく見極める手助けができないかと考えました。

**その料理レシピ、
自分に合っているかわかりますか？**

料理レシピの例で考えてみましょう。インターネットでは、一般の人が簡単に投稿できるレシピサイトやブログなどで、さまざまな料理レシピが公開されています。しかし、あまりにも多くのレシピがあると、どれもおいしそうで、1つ1つ自分に合ったレシピかどうかを判断するのは難しいですよ。そこで、それらが自分に合ったレシピかの判断を助ける「レシピ比較 味コレ!」という試作システムを作りました。

利用者は、あらかじめ自分が信頼する(自分に合った)料理レシピを「基準」として設定しておきます。そして、投稿サイトやブログで見つけた調べたいレシピと、その「基準」とを比較します。

図1は、「おすすめ肉じゃが」というレシピを、うす味が好きな人が登録した「基準」（うす味のレシピが登録されています）と比べた結果です。図1の棒グラフでは、「基準レシピ」の各材料の分量を1とした、「おすすめ肉じゃが」の割合を表示しています。基準に対して2倍以上、あるいは、 $\frac{1}{2}$ 以下になる材料は赤色や黄色に色を変えて表示しているので、どの材料がどのくらい基準と異なるのかが一目で確認できます。ここでは砂糖としょうゆが赤く表示され、うす味好きな人には味が濃くなりすぎるようです。

一方、図2は同じレシピを、濃い味が好きな人が登録した料理レシピを「基準」として比べた結果です。赤色や黄色の部分はなくなり「平均的な味付けになりそうです」と表示されています。「おすすめ肉じゃが」は、濃い味好きの人の基

ADVICE

研究のスタンスとして「研究の意義」を大切にしています。自分の研究が、どういう発想、どういう技術を使って、どういことができるようになるのかを説明できなければいけないと考えているからです。これは社会に出ればなおさらです。大学在学中から「何となく、人に言われたら」という姿勢ではなく、「使え人」にどういうメッセージを伝えたいのかを意識して研究に取り組んでほしいと思います。

データの検证作業など、実際の研究には地道な作業も多いですが、プログラミング技術の応用に対する好奇心がある人や、粘り強く物事に取り組める人には、ぜひ研究室の門をたたいてほしいですね。「大量のデータを適切に扱える力」を身につけることで広がる「コンピュータ理工学部の将来の魅力、可能性」を存分に伝えたいと思います。

準ではぴったりの味付けになる可能性が高いことがわかるのです。

「味コレ!」の仕組み 新しい情報比較手法を発明

「味コレ!」では、対象の料理レシピを1つの情報とみます。さらにその情報を「要素、分量、重要度」の3つからなる組の「集合」と考えて、情報の比較を行います。表1は、「おすすめ肉じゃが」のデータです。「おすすめ肉じゃが」という1つの情報は、「にんじん、0.125本、1」といった「要素、分量、重要度」の3つからなる組がいくつも集まってできています。

表2はうす味好きの人が登録した肉じゃがの

インターネットや新聞、雑誌などのメディアには、膨大な量のさまざまな情報が溢れています。宮森恒先生の研究テーマは“メディアインテリジェンス”の中でも、TVなどの放送番組とインターネット上の文字情報や画像情報に着目して、情報の質を見分けることで、それらを賢く便利に利用する研究をされています。新しい情報比較技術（特許出願済み）を使った「レシピ比較 味コレ!」を中心に、最近の研究についてお聞きしました。

PROFILE

電気系のことを勉強したくて、電気工学よりも「フォーカスがはっきりしている」と電子通信を専攻。大学院ではネットワークとマルチメディアの研究室で「映像」を扱うグループに入った。初めての課題は「卓球をしているテスト画像の中から手の部分だけを自動的に切り出せ」。最初は簡単そうだったと思ったこの課題で、複雑な映像信号から境目を決めてある映像を取り出して処理する難しさを知った（ちなみに、この技術は未だに完成されていません）。レシビへの応用を思いついたのは、「ネット上のレシビを信じて料理を作ったら、ひどい味になった（ノ）」。という義母の話がきっかけ。大阪府立北野高等学校OB。

データ67件分の「平均」を「基準」として設定したものです。平均は材料ごとに計算します。また、67件の中により多く出現する材料ほど、重要度の値が大きくなります。これを見ると砂糖やじゃがいも、たまねぎがより重要な材料だということがわかります。

「味コレ!」は、これら2つの「3つ組の集合」の「差」や「類似度」などを計算して比較を行います。表3は、表1の「おすすめ肉じゃが」と表2の「基準」を比較した結果です。割合の欄には、表2の各材料の分量を基準とした際の表1の分量の割合が(砂糖の場合は $19.125\text{g} \div 2.193\text{g} = 8.721$)、重要度の欄には「基準」における材料の重要度が表示されています。単位

情報の「質」を見極める
新しい情報比較手法

比べて 見つける おふくろの味

コンピュータ理工学部・
ネットワークメディア学科
宮森 恒 准教授

が合わずに比較できないものや、表1のみに含まれる材料は、棒線(一)になっています。この場合、砂糖の重要度が最も大きく、基準に対する割合も最大のため、「砂糖がかなり強めの味付けになりそうです」というメッセージが表示されます。

詳しい数式は省略しますが、以上の仕組みを使うことで、信頼性が不確かな情報が、信頼性のはっきりしている別の情報（基準となる情報）と、どの程度かけ離れているのか、あるいは似ているのかのわかり、調べたい情報が自分に合った情報かどうかの判断がしやすくなるのです。

世界中のレシピを比較 広がる対象

「3つ組の集合」を使った情報比較の手法※1は、レシピ以外のものにも応用できます。ただ比

レシピ=おすすめ肉じゃが	要素	分量	重要度
レシポ=おすすめ肉じゃが	にんじん	0.125(本)	1
	うまみ調味料	1.000(適量)	1
	お酒	1.000(適量)	1
	じゃがいも	1.250(個)	1
	塩	1.000(適量)	1
	しょうゆ	31.875(g)	1
	砂糖	19.125(g)	1
	こしょう	1.000(適量)	1
	たまねぎ	0.250(個)	1
	サラダ油	1.000(適量)	1
	みりん	1.000(適量)	1
	鶏もも肉	0.500(枚)	1
水	250.000(g)	1	

要素	分量	重要度
砂糖	2.193(g)	1.015
じゃがいも	1.178(個)	0.896
たまねぎ	0.326(個)	0.881
しょうゆ	14.059(g)	0.791
にんじん	0.259(本)	0.597
みりん	12.828(g)	0.582
水	87.134(g)	0.388
酒	13.256(g)	0.388
だし汁	85.846(g)	0.179
豚肉	39.741(g)	0.164
牛肉	44.607(g)	0.134
サラダ油	0.820(適量)	0.134
ごま油	7.995(g)	0.134

(重み順に表示、以下省略)

要素	割合	重要度
砂糖	8.721	1.015
水	2.869	0.388
しょうゆ	2.267	0.791
サラダ油	1.220	0.134
じゃが芋	1.061	0.896
しょう	1.000	0.015
鶏もも肉	0.869	0.048
たまねぎ	0.767	0.881
塩	0.500	0.060
みりん	0.483	0.597
—	—	0.582
「おすすめ肉じゃが」固有の材料		
うまみ調味料	—	1
お酒	—	1

較的単純に思える料理レシピの場合でも、「適量」、「少々」などのあいまいな分量表示への対応、計量カップ、グラムなどの単位の統一や変換、BPはベーキングパウダーの略といった省略を補う処理など、いろいろな工夫が必要です。そのた

め、3つ組の集合を検出する手法をアレンジする必要はあるでしょう。

「レシピ比較 味コレ!」については、近いうちに日本の主なレシピサイトのデータをすべて扱えるようにしたいと思っています※2。また、海外のレシピサイトにも対象を広げていければと考えています。国による違いも出て、おもしろい結果が出るのではと今から楽しみです。基準の設定や比較の方法にも工夫する余地はたくさんありますから、試行錯誤を重ねながら、利用者が膨大なレシピの中から理想のレシピを判断できるようにシステムを完成させたいですね。

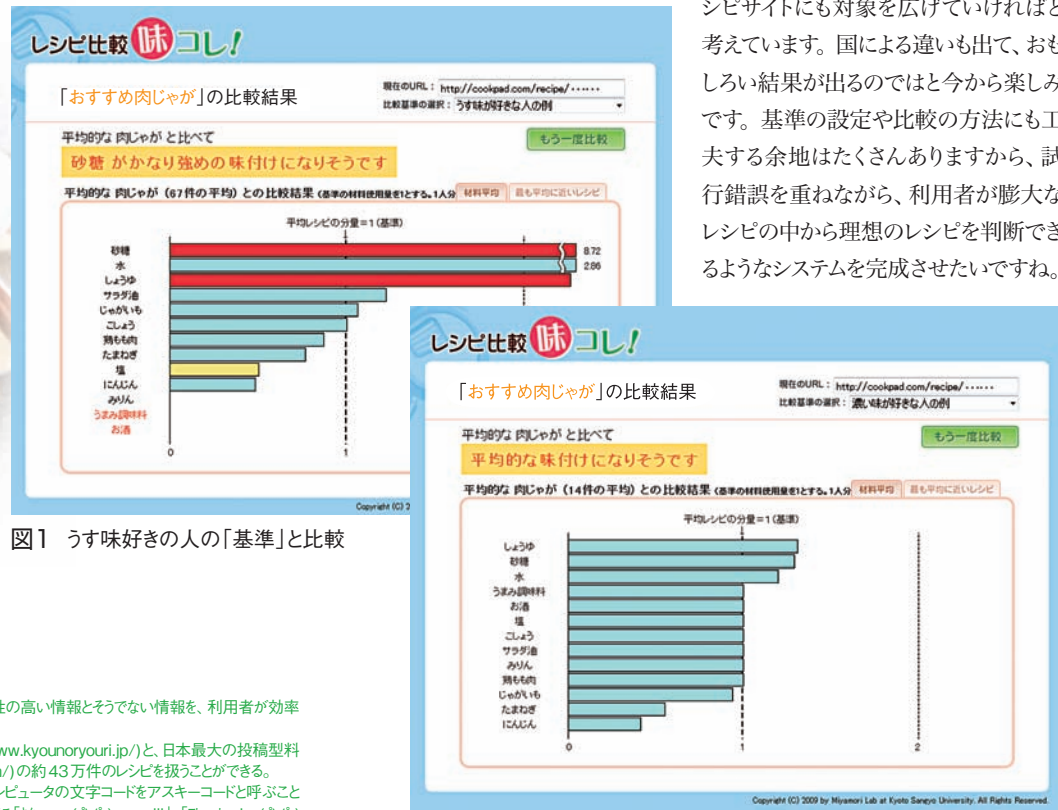


図1 うす味好きの人の「基準」と比較

図2 濃い味好きの人の「基準」と比較

※ 1 この情報比較の方法は、インターネット上から信頼性の高い情報とそうでない情報を、利用者が効率よく見極めるための手法としてこれまでに用いられている。

※ 2 現在はNHKの「みんなのきょうの料理」(<http://www.kyoudoryouri.jp/>)と、日本最大の投稿型料理レシピサイト「クックパッド」(<http://cookpad.com/>)の約40万件のレシピを扱うことと呼ぶ。

※ 3 顔文字など文字と記号で描かれた画像のこと。コンピュータの文字コードアスキーコードと呼ぶことがこの名がついた。喜の表情に用いられるものに「(^-^)」-----「(^_^)」-----「!!」「!!」!!」「!!」「!!」!!」など。落語の表情に用いられるものに「(ノロダ)」「(ノロダ)」「(ノロダ)」「(ノロダ)」など。

実況チャットによる オリジナルハイライト生成

研究室では、情報の信頼性分析の他に、TVなどの放送番組とWebを対象にした横断検索や閲覧システムについても研究しています。その1つが“実況チャット”によるテレビ番組のオリジナルハイライト生成。“実況チャット”とは、テレビを視聴しながらWeb上のチャットコミュニティに、番組と並行したコメントをリアルタイムで書きこむもので、近年利用者数が増えています。この実況チャットを利用すると、自分の嗜好に合ったオリジナルなハイライトを自動生成することができるのです。チャットのコメントは、主に書き込み時刻、利用者ID、書き込み内容から構成されますが、ある時間帯での書き込み数や特定フレーズ、アスキーアート※3等を利用すれば、盛り上がった場面や落胆

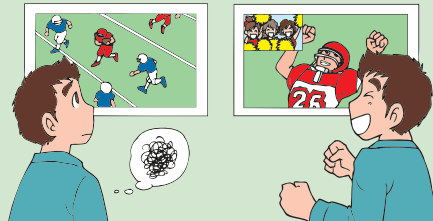
した場面を効率よく見つけることができます。

アメリカンフットボールの試合番組で実験すると、おもしろいことに、重要なプレー以外にも、珍しいグッズの紹介場面やチアガールの登場シーンなどがハイライトとして選択されました。これは、各シーンでチャットをしていた視聴者が、たくさんコメントを書き込んだことを表しています。

映像中のテロップ(文字)や観客の歓声の変化などを利用する従来のハイライト生成方法では、このようなシーンは決して選ばれることはありません。視聴者の感情や反応をダイレクトに反映させると、型にはまったものではなく、本当に盛り上がったシーンを、より忠実に再現することができると考えられます。

さらに、自分がある番組で書き込みをしたときに、自分と同じように書き込みをした他の視聴者

を、「類似視聴者」として記録しておく、自分が録画しておいた、まだ見ていない別の番組を短時間でハイライト視聴したいときに（今週1週間の巨人阪神戦で一番盛り上がったシーンを2分で見たいなど）、類似視聴者の書き込みをもとにハイライトを生成すれば、自分の好みに近いハイライトを作ることができますと考えられます。このように実況チャットを使うと、型にはまったものではなく、より自分の好みに近いハイライト生成が可能になるのです。



“脳手帳”と脳神経科学の これからの課題

「サイエンス&テクノロジー Vol. 9のこのページを読み終えてから、お風呂の水を止めよう」という状況を考えてみてください。この場合、何分か後に止めようという《意図》を人はずっと覚えているわけではありません。一旦はそれを忘れて他のことに没頭し、しかるべき時間が経った段階で想い出すのが普通です。ではなぜ、その時になって、人はそれを《想い出せる》のでしょうか。

残念ながら、このような心の機能の脳メカニズム、つまり脳のどの領域が、やろうと思ったことを想い出すのにどのようにかかっているのかは、脳科学ではこれまでそれほど研究対象にされてきませんでした。やろうと思っていた二つのうちの、一つは想い出せるのにもう一方が想い出せないのはなぜかとか、意図を一番想い出しやすいのは、それを忘れていた時の脳の状態がどんな時なのか、などについても同様です※1。

しかしもし、このような複雑な脳の機能を解明し、それに基づいて人間の脳活動を情報化できれば、忙しい人にかわって将来のプランニングをしてくれるようなソフトウェアを開発することは夢物語ではありません。それをどのような情報端末で実現するかインターフェースはともかく、予定をいちいち手帳に書かなくても頭で考えるだけでいいという意味で、私はそれを“脳手帳”と呼んで、研究の一つの到達点としています。

実際、人間の脳神経細胞から生じるわずかな電気信号を解読して、意図ただけで義手が動かせたり、視覚情報を直接脳に伝えて、目の見えない人を見えるようにする”BMI (Brain-Machine Interface)の研究(本誌vol.1 参照)は、着実に進んでいます。私の同僚は、動物が行動する際の脳の信号を解読し、動物が行きたいと“思った”方向に車を自動制御する技術の研究をしています。

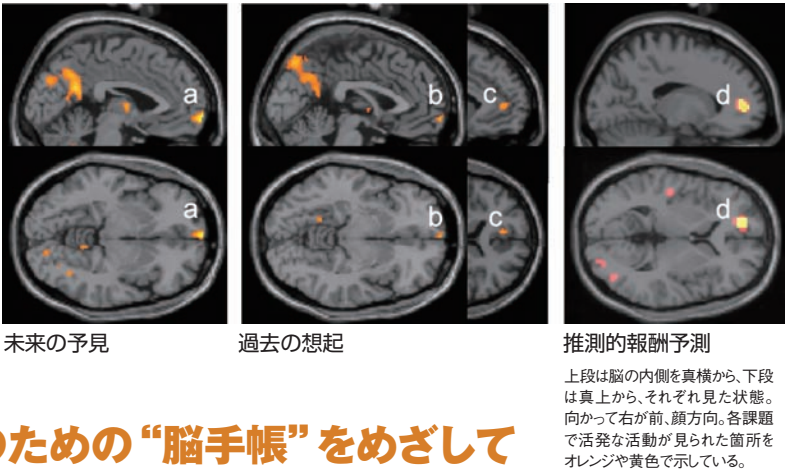
現在これらの技術が次々と開発されているのは、与えられた刺激を次々と処理してゆく脳の“ボトムアップ”的な活動だけでなく、《今、右を向け》などの“トップダウン”的な命令を脳がどのようにコードしているのか、神経細胞の活動と行動とのリアルタイムな対応が、かなり解明されてきていることによります。

今後、このようなその場その場の行動との関係だけでなく、未来を予見したり、意図を一旦忘れておいて想い出したりといったようなタイムラグのあるメカニズムの解明にまで研究領域をひろげてゆることが期待されますが、それにはまだ様々な問題が残されています。BMIでいえば、手を動かそうと考えると手が動くだけでなく、本を読み終わった後に手を動かそうと考えてもその通りできるような技術の開発を目指すのです※2。

実験から見えてきたこと。 予見と記憶には共通点が多い

こうした取り組みをはじめために、私たちはまず人が未来を予見する際の脳メカニズムを実験で確かめてみました。手掛かりは、記憶の利用です。人間は未来のことを考える際、多くの場合、過去の経験を振り返り、そこからヒントを得たりします。実際に、脳の一部を損傷した患者さんの事例や、乳幼児発達の研究※3から、記憶と予見の間には共通する構造があることが、多くの研究者の間で支持されるようになってきています。

写真右は、人が昔の出来事を想い出しているときに脳が活発に活動している領域と、人が将来のことを考えているときのそれとを脳機能イメージング※4を使って比べた画像です。



忙しい人のための“脳手帳”をめざして 脳は未来を どう考えているのか

生体計測・情報技術の発達と遺伝子の解明から、急速に進む脳研究。
かつて劇的な進展が起こると予測された2010年を間近にして、
その行方にはますます注目が集まっています。
「やるべきことは一杯ある」から、自分の考えを日々蓄積しておくだけで
上手に予定を管理してくれる“脳手帳”がほしいと考える奥田次郎先生。
その開発を見据えて基礎研究に、日々、余念がありません。
そんな夢のような技術が本当に実現できるのか、
世界的にもまだ始まったばかりの研究について
理論と実験の両面からお話いただきました。

ADVICE

心や脳について学ぶには、生物だけでなく、物理や化学、そして数学の基礎知識もあったほうがいいのは当然です。ただ、それぞれの専門で必要なのは全ての分野ではありませんから、必要な分野は大学で深めるという考え方もできます。いずれにしても、思考力・国語力は全ての学問の源になるだけでなく、人として社会で生きていくうえで最も重要な活力です。脳は入力された情報を神経同士のつながりを通して処理して出力します。暗記や計算などは、“刺激依存型”ですから、訓練すればするほど成果が出ます。脳のもう一つの役割は入力情報を整理して蓄え、変形していつどのように使うかを判断すること。こちらは、思考力やどんな入力にも右往左往しない冷静な判断力の源です。どちらの機能を強化するにも「まずは学ぶ」ことが大切だと、脳は教えてくれています。

の時間的な遠近と活動する領域の対応を調べたところ、遠い未来について考える課題で強く活動する脳部位は遠い過去を想い出す課題でも強く活動し、逆に近い未来と近い過去とで共通する脳部位も存在することがわかりました。記憶と予見は、構造や対応する脳の活動領域も驚くほど似通っているようです※5。

人の意思決定はきわめて曖昧

予見のメカニズムがある程度明らかになれば、次の課題は意思決定や主観的選択などの、予見を行動に移す心の機能の解明です。これには報酬情報処理が重要な鍵を握っています。というのは、人間を含めて動物は皆、より良く長く生存するために必要な報酬を求めて行動を起こすからです。これに関連して私が最近興味を持って行っているのが、「推察的な報酬予測※6」の実験です。例えば、喉の渇いた人にたくさんのドットが一斉に左右に流れる動画(ランダムドットモーション)を見てもらい、それがどちらに流れているように見えたかをボタンを押して選択してもらいます。このとき、流れた方向に応じて報酬がもらえ、例えば左に流れれば数秒後に甘くておいしいジュースが、右に流れれば味のない人工唾液水がストローで口に入ります。ただし、左右を当てるとジュースがもらえるのではなく、結果はあくまでもドットの流れて決まっています。動



※4 参照

コンピュータ理工学部・ インテリジェントシステム学科 奥田 次郎 准教授

PROFILE

高校時代は工学分野に興味があり、学部(東北大学)では地球工学を専攻する。大学院修士課程を終えてから医学系へ転向し、脳科学を専門に。高次脳機能障害をもつ患者さんの医療現場で脳研究を始める。地球工学では、地表に出ている岩石の元素分布の計測から地球の履歴や、地熱がどこにあるかなどの地中の物理化学的な変遷を調べた。様々な計測手法を駆使して、外からは見えない内部の情報を集約して意味のあるまとまった形に組み立てておすという意味では、脳科学も同じだ。ただ、研究すればするほど、地球よりも小さな脳のほうがはるかに奥が深いことを感じさせられる今日この頃だそうだ。兵庫県立神戸高校OB。

画は全ドットの動きが同じではっきり左右の区別がつく場合と、半分くらいはランダムな方向に動く区別のつきにくい場合の2種類を設定しておきます。すると、区別がつきやすい動きの場合には、これまでの経験どおり見たままの報酬予測を行うことになりますが、区別がつきにくい動きに対しては、外界から与えられている情報が少ないのである程度自分で推測しながら報酬予測を行うことになります。ある意味、“思い込み”によって報酬を期待し、意思決定を行うような状況です。

このときの脳の活動を見てみると、あいまいで区別がつきにくい場合に「左」(ジュースがもらえる方向)と答えたときと「右」(人工唾液しかもらえない方向)と答えたときと比べた結果が写真の右端で、dの部分が顕著に活動していることがわかります。なんとここは、過去を想い出し、未来を予見する時に働くa、b、cに極めて近い場所なのです。さらに、この部分の活動は、受けた刺激そのものの方向には依存しない、つまり間違ってもジュース方向だと思えば実際の動きが唾液方向であっても活動してしまう、ということもわかりました。

ちなみに左右がはっきりとわかる場合は、脳の奥深くに位置する大脳基底核が活発に働きます。ここは刺激依存型、手続き的ともいえる、刺激に対して反射的に反応する領域で、下等動物でも良く発達している神経システムです。反対にdが働くのは、受けた刺激と判断との間に直接の関係が少ない場合、つまり判断がむずかしかったり、判断に思い込み的な期待などを込めたりする場合で、個人の意図や意思、主観などの働く余地が大きい状況の時だと解釈できます。

脳の内側ネットワークが 鍵を握る？

このような一連の実験から私たちは、大脳皮質内側部のネットワーク、中でも前頭前野の内側部を、記憶から未来の予見を導き、判断が難しい状況での意思決定を助ける心の機能を担う場所ではないかと考えています。同様の研究をしている学者の中には、この場所を、自分自身を様々な時間・場所・主体に「自己投影」する機能を司る場所ではないかという仮説を提唱す

ADVICE

どんな進路

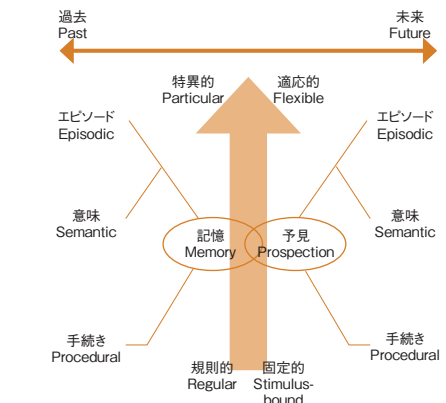
心の時代といわれる21世紀、脳やコンピュータ、人工知能について学ぶのは、どんな分野においても役立つことでしょう。ゲームソフトを作るにしても、基本的な人の思考や行動の仕組みは知っておかなければいけないでしょうし、銀行のシステム、経理システムの構築などに携わるのなら、どうすれば人はミスをしにくいかを知っておくことも大切です。学問の世界でも、神経経済学、神経倫理学、神経美学など、脳科学の手法と枠組みから既存の人間社会学問を捉えなおそうという動きが活発です。最近では、脳科学は世の中全ての分野で不可欠だという学者さえもいます。

る人もいます。過去を思い出すことは、「過去の自分」に、未来の予見は「これから先の自分」に、他人を思いやることは「相手の心」に、「今の自分」を「映しかえる」ことだと考えるのです。

このように、「自分とは何か」、「意識とは何か」といった、これまで哲学や心理学の命題とされてきたものに、脳神経科学は急ピッチで迫りつつあります。意思決定のメカニズムとは、意識・無意識の違いは脳のどんな働きによって生じるのか、なども次第に明らかにされつつあります。そして脳手帳は、その少し先にあります。

そんなものができたら、人間を補助するどころか、思考や記憶、判断力といった大事な力をかえって弱くしてしまうのではないかという意見も当然出てくるでしょう。個人のプライバシーはどうなってしまうのかということも気になります。そのような危険性について考えてゆくことももちろん研究の重要な一翼であり、すでに活発な議論が進められています。脳科学を正しく社会に応用できるかどうかは、私たちが今後いかに脳研究から学び、その功罪を見極める能力を磨けるにかにかかっています。

- ※1 それは憶え方、あるいは憶える際の脳の働き方に違いがあるのか。もっと言えば、将来何かしようと思ったときに、脳のどこかが強く活動すれば後で想い出したり、実行したりしやすいのか。あるいは、関係のない時に後でやろうと思っていることをふと想い出すのは脳のどこどのどんな働きによるのか、等も同様です。
- ※2 解剖学的な見方も、これまではどちらかというと神経細胞個々の働きに注目してきたが、今後はもっと広い範囲の神経ネットワークの集団的な働きにも注目する必要がある。
- ※3-1 昔のことを想い出すことができない健忘症患者は、過去の記憶を適切に想起することだけでなく、新しい計画を立てることも困難を示すことが最近わかってきた。
- ※3-2 幼児が未来の計画を立てられるようになるのは、過去の経験を踏めるようになる時期と一致することも最近の研究からわかってきたことである。
- ※4 脳を調べるには解剖などで直接調べる方法と、脳を壊すことなくX線やMRI、ポジトロンCT(PET)、光ホログラフィーなどを用いて脳活動を外から計測・画像化する(非侵襲的)方法がある。非侵襲的手法には、中央写真のような脳内の断面画像化の手法だけでなく、頭の表面上での電位変化を記録する方法(脳波計測)がある。この方法には脳の電気活動をリアルタイムに追っていく利点がある。
- ※5 ここではすべて長期記憶のこと。長期記憶は、1回ごとの経験の記憶である《エピソード記憶》と、ものや言葉の意味のような抽象化された状態で保持される《意味記憶》、そして車の運転など、一旦覚えてしまえば後はほとんど無意識で行えるような《手続き記憶》に分けられる。これらを担うのは、主に脳の内側にある辺縁系とそれにつながる脳領域で、記憶の種類によって担う場所も異なることが知られている。オーストラリアの進化心理学者であるサダンルーフ博士らは、未来の予見も、上記のような過去の記憶と共通の枠組みと用語で整理できると提唱する(図)。



- ※6 情報が少なく、明らかに報酬が得られるかどうか分らない状況で働く、類推的な予測。推論に基づいた意味的予見のひとつであると考えられる。

先端領域に広がる理系3学部の学びのフィールド。

理学部

大自然の真理を
明らかにする。

数理科学科

2つのコースにわかれて学び、
数学的思考力と発想力を修得。

〈基礎数理学コース〉〈応用数理学コース〉

代数学 自然と社会の数理学
幾何学 プログラムの数理学
数学解析学
複素解析学

物理科学科

ミクロの世界から宇宙まで、
物理的現象にアプローチ。

天体・宇宙物理
素粒子・原子核
地球・気象と環境科学
物性物理/理論
レーザー・電波物性
結晶・表面物性

工学部*

バイオテクノロジーの
最先端に挑む。

生物工学科

バイオテクノロジーの
フロンティアをめざす。

分子機能科学
細胞機能科学
植物遺伝・育種学
生物保全科学

※2010年4月 総合生命科学部に改組予定。

コンピュータ 理工学部

ITのフロンティアを
開拓する。

コンピュータサイエンス学科

基礎から段階的に学び、
コンピュータの先端領域を追究。

情報科学
コンピュータシステム
情報基盤技術

ネットワークメディア学科

ネットワークを自由に構築し、
利用できる実践力を養う。

インターネットの応用
webアプリケーション

インテリジェントシステム学科

脳科学の領域にも踏み込んで
情報処理の世界を探究。

ユビキタス
知能情報処理
人間科学・脳科学

大学院

高度な専門領域を探究し、研究者・エンジニアに必須の力を養成。

数 学 専 攻
物 理 学 専 攻

理 学 研 究 科

博士前期課程

博士後期課程

工 学 研 究 科

情 報 通 信 工 学 専 攻
生 物 工 学 専 攻



お問い合わせ先

POWER UNIV.

京都産業大学 連携推進室

〒603-8555 京都市北区上賀茂本山 TEL075-705-2952

<http://www.kyoto-su.ac.jp/>

E-mail:renkei-suishin-jim@star.kyoto-su.ac.jp

■理 学 部 事 務 室 TEL:075-705-1463

■工 学 部 事 務 室 TEL:075-705-1466

■コンピュタ理工学部事務室 TEL:075-705-1989

■入 学 セ ン ター TEL:075-705-1437