

JST news

未来をひらく科学技術

5

May
2016



鏡に映るとガレージの屋根が
違って見える!?

Focus 越境する数学

3 濱口理事長インタビュー
変革への挑戦

4 Focus
越境する数学

5 Focus 01
「錯視」をコントロールし、暮らしに生かす

8 Focus 02
数学で豊かな映像表現を創る

11 Focus 03
分野の垣根を越え、社会の要請に応える

12 社会への架け橋 ～シリーズ1 低炭素社会の実現へ 第1回～
最大熱効率50%、二酸化炭素30%削減をめざす
超希薄な燃焼を使う「スーパーリーンバーン」

14 NEWS & TOPICS
フラレンC₇₀に水分子を閉じ込める
生命現象の解明や医薬品開発に ほか

16 さきがける科学人 Vol.49
黒田 公美 (理化学研究所 脳科学総合研究センター チームリーダー)



表紙写真

「変身するガレージ模型」を手にするCREST研究代表者の杉原厚吉さん。カマボコ型の屋根が、鏡に映るとジャバラ型に変身する。数学を使って目の錯覚である「錯視」の謎に迫った。錯視をコントロールすることで、不思議な「錯視作品」を次々と生み出すとともに、錯視が原因となる交通事故の防止など安全な社会づくりにも貢献している。

編集長: 上野茂幸 / 企画・編集: 浅羽雅晴・安藤裕輔・菅野智さと・佐藤勝昭・鳥井弘之・松山桃世・村上美江・山下礼士
制作: 株式会社エフビーアイ・コミュニケーションズ / 印刷・製本: 北越印刷株式会社

濱口理事長インタビュー

変革への挑戦

JSTの将来像を打ち出し、日本の研究開発の活性化をめざす「濱口プラン」がまとまった。理事長の名前を冠したこの改革プランの狙いと、思いを聞いた。(JST広報課・山下礼士)

——「濱口プラン」をまとめた背景は。

濱口理事長 まず、熊本地震で被災された皆さまに心からお見舞い申し上げます。

JSTは創設以来、世界が認める成果を挙げてきました。ロイター社が発表した「Top25グローバル・イノベーター：国立研究機関」でも第3位に選出されました(15ページ)。しかし、わが国を取り巻く環境は急速に変化しており、今後、さまざまな課題に直面することが予想されています。その厳しい状況を回避するためには、科学技術イノベーションが必要です。手を打つのは今しかありません。

JSTは、大学と政府と産業界を結ぶ唯一無二の組織であり、イノベーションに対して重い責任を負っています。環境変化に対応して事業も最適なものとなるように、JSTも賢く進化していかなければなりません。

「濱口プラン」のゴールはJSTの改革だけが目的ではありません。大学の体力が年々弱っている中、日本の研究者集団が時代の変化に適応し、日本全体のイノベーション・エコシステムが最適なものとなることをめざして取り組んでいきます。

——「濱口プラン」では、世界トップレベルの「ネットワーク型研究所の確立」と、「地域創生への貢献」を掲げています。

JSTはかねてより「ネットワーク型研究所」を標榜してきましたが、システムとしてまだ完成されていないので、ここを改革します。参考にしたいのは、インターネットやGPS(全地球測位システム)の開発で世の中を変えたDARPA(米国防高等研究計画局)モデルです。DARPAは、失敗のリスクがあっても、大きな成果が期待できるプロジェクトには積極果敢に挑戦してきました。JSTは、研究資金をただ配分するのではなく、大学や研究機関、企業との連携を強化し、主体的な意思を持って研究開発を推進する研究所へと、進化を遂げなくてはなりません。

挑戦的なプログラムを推進するうえで重要な役割を担うのがプログラムマネージャー(PM)です。PMが、強力なリーダーシップを発揮してチームを編成し、レビューを繰り返しながら最強の体制を構築して、目標の達成に向けて邁進していく。研究開発プログラムのうち、一定割合はこのような挑戦的なものにしていきたいと考えています。こういった活動を支えるイノベーション人材の育成も、JSTの重要な使命です。

研究所を名乗る以上、研究者にはJSTに帰属してもらうため、大学とのしっかりした契約関係が必要です。これからはJSTの研究へのエフォート率を契約で確保してもらいます。会議や学生指導に追われて時間のない研究者に、その時間だけはJSTの研究に打ち込んでもらいたいです。

次に、地域創生への貢献です。国立大学の運営費交付金の配分方式が一部変わり、「地域」「特色」「世界」の3つの枠組みに区分されるようになりました。地域の中核を担う大学に対し、JSTの持つさまざまな人材やネットワークを生かして、その地域の特性に応じた大学支援を提供



することが必要です。

いま日本は、じわじわと地方から衰えてきています。地方での深刻な問題は、若者が急速に減っていることです。大学の活力が衰えると、地域に若者を引き止める力がなくなります。地域産業の活力もなくなり、ますます若者が都会に流出します。この解決の糸口を社会技術研究開発センター(RISTEX)の活動を通じてつかみたいと考えています。

こういった分析を支えるため、研究開発戦略の立案能力を向上させることも極めて重要です。これからの科学技術戦略を進めるため、しっかりと定量的に分析し、戦略を具体化できるデータを揃えたい。例えばNSF(全米科学財団)ではどんな資金援助で効果を上げたかなどを比較評価し、分析します。

そのためには、文部科学省科学技術・学術政策研究所など、国内外の機関との連携強化が必要です。また、サイエンスアゴラや日本科学未来館を通じて、国民の声に耳を傾け、社会との共創に取り組んでいくことも重要です。JSTの持つ科学技術に関するインテリジェンス機能を強化し、具体的な根拠に基づく戦略を執ることで、日本の研究開発に活力を持たせたいのです。

—— 今後に向けて。

やれることは山ほどあります。道は長くとも、難問を科学技術で解決し、一歩ずつでも前進の方策を探していきます。



数学の力が社会を変える

「孤高」の学問と見られがちだった数学だが、ネット社会を生み出した情報通信や複雑な金融の予測・取引などで、数学は社会と深い関わりを持つようになってきた。さらに材料科学や生命科学、がん診断の自動化や交通渋滞の解消、脳科学の解明など広範な領域で、これまでの枠を越えて数学が貢献し始めている。今や「越境する数学」として一段と大きな影響力を持つようになった。

2007年、戦略的創造研究推進事業の個人型研究(さきがけ)とチーム型研究(CREST)のハイブリッド型研究領域として「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」が発足。社会の複雑な課題を扱う中で、新たな数学の概念や方法論を生み出してきた。今年3月に研究領域として一区切りついたので、CRESTで取り組んだテーマの中から、「計算錯覚学」と「デジタル映像表現」を紹介する。

Focus 01 「錯視」をコントロールし、暮らしに生かす

「錯覚」はよく聞く言葉だが、「錯視」とは何だろうか。錯視は目で見ただけで起きる錯覚をいう。印刷された図柄がゆらゆら動いて見えるなど、トリックアートやだまし絵が知られている。

錯視は、普段の生活の場にも散見される。車を運転中に錯視によって思わぬ事故につながることもある。なぜ、錯視は起きるのか。明治大学研究・知財戦略機構の杉原厚吉特任教授が率いる研究チームは、その謎に数学で迫った。さらに研究の成果を生かし、錯視を抑えることで交通事故防止に役立て、逆に錯視をエンターテインメントとして積極的に活用している。数学を用いた錯視を紹介する。



ガレージ模型 カマボコ屋根のガレージ(下)が、鏡に映ると(上)ジャバラ型に見える。

変身する鏡の中のガレージ

ガレージ模型のカマボコ型の屋根が、鏡に映ると不思議なことにジャバラ型に変じてしまう。円筒のものは菱形に変わり、トランプのクラブがスペードに化ける。筒の内側にいるニワトリが、鏡の中では筒の外側に立っている——。こんな姿を目のあたりすると、誰もが思わずうなってしまう。

「抵抗しても無駄です。あなたの視覚は計算済み。」というキャッチコピーで、東京都千代田区に開設していた「錯覚美術館」での一コマである。仕掛人は杉原さんだ。

「錯視は暮らしの中でも往々にして起こり、交通事故の原因になることもあります。数学を使って錯視が起きる仕組みを解明し、錯視



杉原 厚吉 (すぎはら こうきち)

明治大学 研究・知財戦略機構 特任教授

1973年、東京大学大学院工学系研究科修士課程修了。同年、通商産業省電子技術総合研究所研究官。80年工学博士。81年名古屋大学大学院工学研究科助教授。91年東京大学工学部教授。2001年同大学大学院情報理工学系研究科教授。09年4月より現職。10年よりCREST研究代表者。

をコントロールすることで、安全な社会づくりに貢献できるのです」

研究チームは、錯視現象の「数値モデリング」を通して、錯視の強さを数値で表す方法を確立した。数値を制御することで、錯視を強く起こすことも逆に抑えることもできるようになった。その成果をわかりやすい形で展示していたのが錯覚美術館だったが、2015年末に好評のうちに閉館した。

あらためてガレージ模型を観察してみよう。鏡は普通の平面鏡で、ガレージの屋根を横から眺めると、カマボコ型でもジャバラ型でもない複雑な形をしている。この形こそが、特定の位置からはカマボコ型に見え、鏡の中ではジャバラ型に映る秘密だ。杉原さんは、この錯視を起こす立体を「変身立体」と名付けている。



ガレージ模型 (前ページ) 別アングル
横から眺めると、カマボコ型でもジャバラ型でもない複雑な形をしている。



クラブがスベードに
クラブの形(下)が鏡に映ると(上)スベードに化ける。

計算錯覚学として錯視に取り組む

杉原さんの研究のきっかけは、ロボットの眼の画像認識だった。カメラが捕らえる画像は、元の立体を平面に投影したものである。そこで、平面の画像情報から元の立体がどんな形をしているかということをコンピューターで計算するソフトウェアを作成した。その研究の中で、現実にはありえないエッセイの「無限階段」(階段を上り続けると元の位置に戻ってしまう)などのだまし絵を調べてみると、立体として成立するものがあるとわかった。こうした立体を「不可能立体」と命名した。人間は平面の絵から立体を認識する際、いろいろな自由度を考えず、経験に基づいて判断してしまう。人間にとって直感的に不可能と感



無限階段
階段を上り続けると元の位置に戻ってしまう。



実際は、クラブでもスベードでもない形をしている。

じる立体も、数学の問題としては解があったのだ。こうして、さまざまな錯視作品を制作し、「計算錯覚学」という新しい体系にまとめた。

事故防止、商品デザインにも活用

錯視に関する基礎研究を踏まえて、社会的な課題を解決するための応用研究にも取り組んだ。

勾配が異なる2つの坂道が連続している道路では、錯視が起こりやすい。下り坂を上から見降ろすと、次の坂との継ぎ目が窪んで見えるので、次の坂も下りであるにもかかわらずドライバーは上り坂だと誤認してしまう。このため、アクセルを踏んでスピードを出し過ぎてしまう。逆に、上り坂を下り坂だと思いと、車が次々とブレーキを踏んで速度を落

とし、渋滞を招くことがある。

見通しの良い交差点なのに出会い頭の事故が起きやすい場所や、信号やカーブミラーの位置、橋の欄干の形によってもドライバーが錯視を起こしやすい。

さまざまな事例を集め、2013年に「道路の錯視とその軽減対策」という小冊子にまとめた。これは自動車教習の教本としての出版準備も進んでおり、ドライバーの錯視を抑える対策も紹介している。例えば、坂道に防音壁が設置されている場合、壁に路面と平行なパターンがあると路面を水平だと思う錯視が起きやすい。その改善策として、水平なストライプ模様を壁に引くと、上り坂・下り坂が認識されやすくなると提案している。

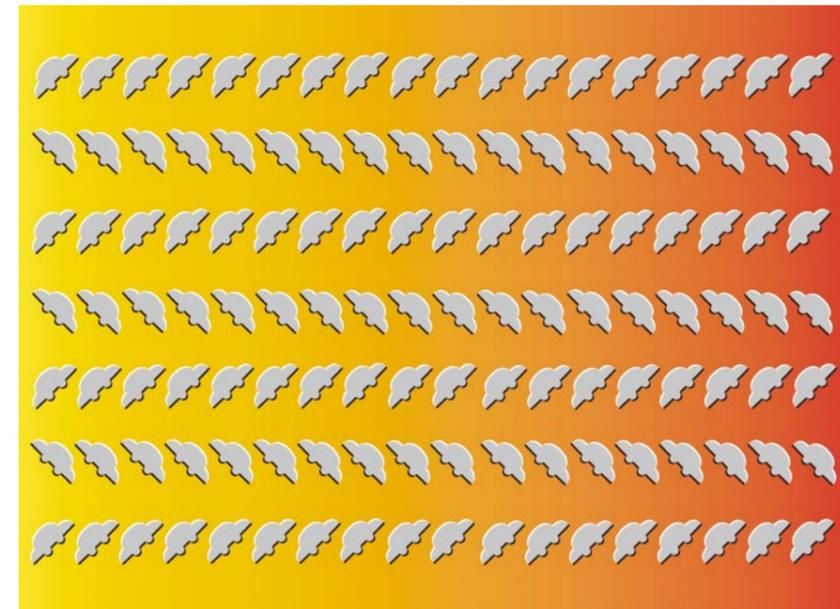
新たに生み出した錯視は、ビジネスにも活用されている。ある製菓メーカーのチョコレートの缶のデザインに錯視が採用された。研究チームの1人、新井仁之教授(東京大学大学院数理科学研究科)は、円周に小さなウサギの列を描いて中心を軸にして回転させると、ウサギの列が伸縮して見える「浮遊錯視生成アルゴリズム」を発明し、2012年に特許を出願した。製菓メーカーがこの錯視を採用し、顔を近づけたり遠ざけたりすると、ハートの列が動くチョコレートの缶をデザインした。

社会に役立つ錯視の研究へ

5年間の集大成として、杉原さんは、錯視作品をそれぞれ「不可能立体」「不可能モーション」「変身立体」「透身立体」に整理して、作品集を2冊刊行した。出版社からも錯視関連の本が15冊も刊行され、1つのジャンルを開拓したともいえる。錯覚美術館は新聞やテレビなどにたびたび取り上げられた。イベント専門会社が錯視作品のライセンスを得て、3年前からショッピングモールで錯視作品の展示を行うなど静かなブームを呼んでいる。

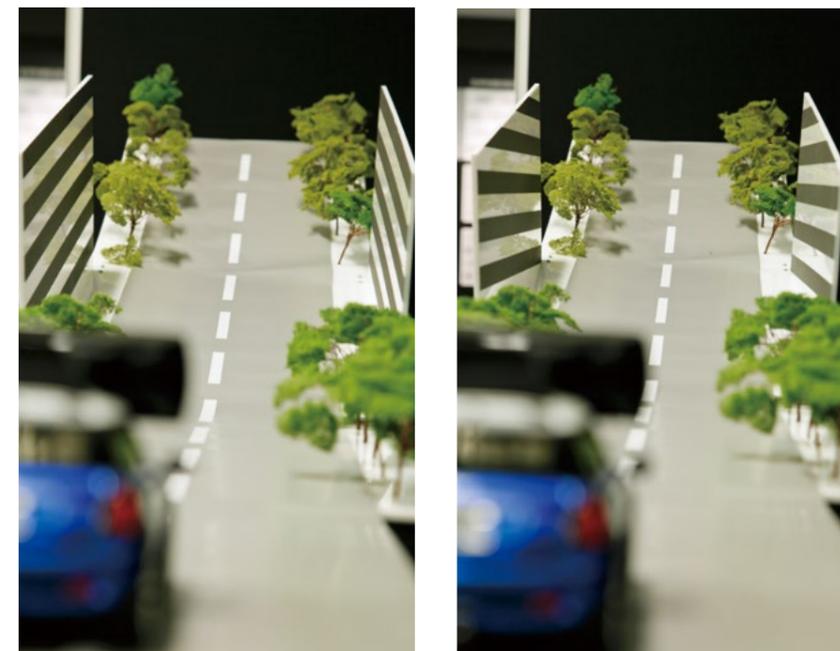
「錯覚美術館は、当初は私たちの研究成果である錯視の事例紹介の場と考えていました。ところが、来館者からたくさん興味深い話を聞くことができたのです。対話を通じて錯視の事例を教えていただき、新たなアイデアにつながるヒントもいただきました」と杉原さん。

錯視に関するワークショップを延べ10回開催し、心理学や認知科学、文化人類学などの研究者と議論し交流を深めたことも大きな収穫だった。今後も、暮らしにひそむ錯視を探し、実際より広く見えるマンション広告などの是正、見やすい道路標示の改善提案など、社会や消費者に役立つ研究を進めるつもりだ。



UFOのラインダンス
図柄がゆらゆら動いて見える。これは、動きを検出する脳細胞の数理モデルを参考にして、その脳細胞を効果的に刺激する画像を作った結果である。

縦断勾配錯視測定実験装置
(共同研究者:友枝明保、北岡明佳、對梨成一)
ドライバーが上り坂と下り坂を勘違いする錯視を観察し、錯視の起こらない道路環境づくりを提案する。



実際の道路では路面に平行な模様の防音壁が立っている場合が多く、上り坂を視認しにくくしている。

壁を水平面と平行な模様にするると緩やかな上り坂であっても認識しやすくなる。

Focus 02

数学で豊かな映像表現を創る

マンガ、アニメ、コンピューターゲームは、クールジャパンの代表として世界から注目を集めている。しかし、ハリウッドなども豊富な資金と最先端のCG(コンピューター・グラフィクス)技術を投入して超大作を制作しており、日本の地位は決して安泰とはいえない。エンターテインメントは、人の表情や動き、自然の姿をいかに魅力的に表現するかが勝負になる。数学を使って豊かな映像表現を生み出し、しかも制作者が使いやすいツールをつくることで、日本のお家芸であるアニメやゲームがさらなる進化を遂げようとしている。

電機メーカーの研究者からの転身

アニメと電機メーカーの研究者。この不思議な出会いをとりもったのが、数学である。大学院で複素関数論を専攻した研究代表者の安生健一さん(株式会社オー・エル・エム・デジタル R&Dスーパーバイザー)は、1982年に株式会社日立製作所の日立研究所に入った。画像処理の研究を続けていたある日、広報誌の新年号表紙として太陽表面に吹き上がるフレア(炎)をCGで描くよう頼まれたのが、CGの研究開発に関わるきっかけだった。「その後もフラクタル関数でCGをつくりましたが、自然物を再現する難しさを痛感しました。一方、当時のCGでリアルな人を表すことは至難の技で、特に髪の毛が風になびくという表現は難しいといわれていました。そこで実際のイメージに近い1本の髪の毛をつくり、それを数万本束ね、簡易シミュレーションによ

て動きや光と影の関係を高速計算することで再現しました」と振り返る。1992年頃から、人の髪の毛や動作のリアルなCG表現手法を国内外に発表すると、映像関係者に注目され、映画・テレビ業界とのつながりが増えた。国内番組のオープニングや、リアルタイムCGと舞台の融合など、放送局とのコラボレーションを手がけた。さらにハリウッド映画『スポーン』の群集シーンのCGなどにも協力した。

さまざまなCG映像制作に関わるうちに、制作者や演出家の意図に応えるCG映像をつくり

たいと考え、1999年に現在の会社に移った。「アニメでは、現実にはありえない超人的な動きや視覚効果を狙ったデフォルメが求められます。人の喜怒哀楽やふるまいはもちろん、炎や雲などを描くことも難しい。これらがうまく表現できないと、逆に違和感を持たれてしまいます」。

映像表現の課題を数学的に解き明かす

問題解決と魅力ある映像づくりには高度な数学が必要だと考えた安生さんは、CG研究



1980年代に、フラクタル関数を使って制作した自然景観のCG



安生 健一 (あんじょう けんいち)

株式会社オー・エル・エム・デジタル R&Dスーパーバイザー

1982年、九州大学大学院理学研究科博士課程中退。博士(工学)。株式会社日立製作所で17年間コンピューター・グラフィクスの研究・開発・製品化に従事しながら、国内テレビ番組やハリウッド映画などのビジュアルエフェクトを担当。1999年慶應義塾大学特別招へい教授を経て、2000年より株式会社オー・エル・エム・デジタルで映像制作技術の研究・開発、実用化推進と作品制作のテクニカルディレクションなどを行う。10年よりCREST研究代表者。

者と数学者が協力し合うことで映像表現の課題を数学的に解き明かそうと、落合啓之教授(九州大学マス・フォア・インダストリ研究所)、土橋宜典教授(北海道大学大学院情報科学研究科)、岡部誠助教(電気通信大学大学院情報理工学研究科)に呼びかけた。

安生さんと岡部さんの映像数学グループがアニメーション技術と数学モデル、CG技術と数学理論間のインターフェースを担当し、落合さんを始め数学モデルグループが表現技術のための数学開拓とモデル構築、土橋さん

たちCGグループが自然現象の演出に数学モデルを導入するシミュレーションシステムの構築を担当し、2010年の秋から「デジタル映像表現」のための数学領域の構築をめざして研究が進められてきた。

人の表情・動き、流体を映像化する

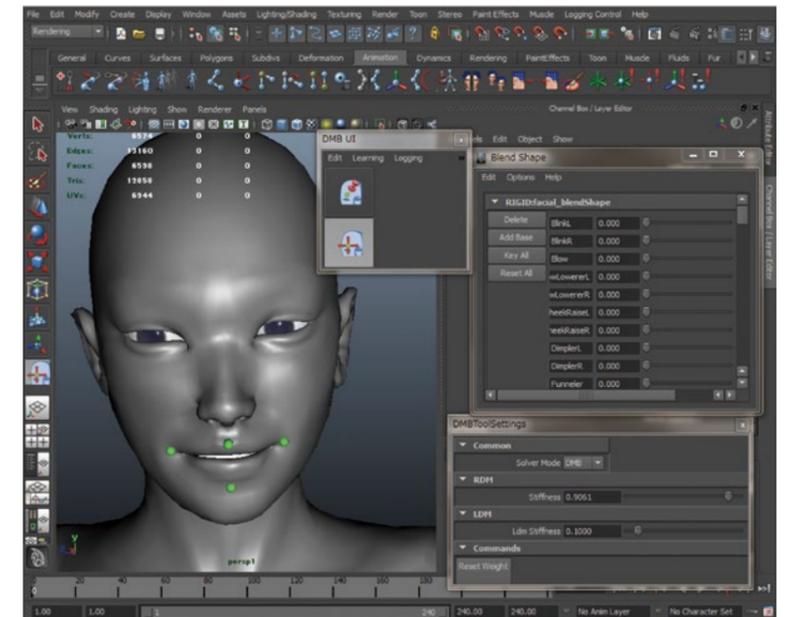
研究では、「人の表情と動きの表現」「流体の表現」に的を絞り、制作者の意図を直接指示できる新しい数理モデルを構築した。具体的には、映像生成に関する諸パラメーターを

推定するために、表現論や各種関数捕間法、微分幾何といった数学を活用したアルゴリズムを開発することによって、表現を洗練してきたことが特色である。

人の表情の表現では、「笑顔」ひとつをとってもさまざまで、方程式を使うだけでは再現できない。これまでは顔の各部を動かすための多数の数値パラメーターを手動で調整するという煩雑な方法がとられていた。開発した「顔モデルの編集ツール」では、3次元の顔の形状モデルを「笑ってい

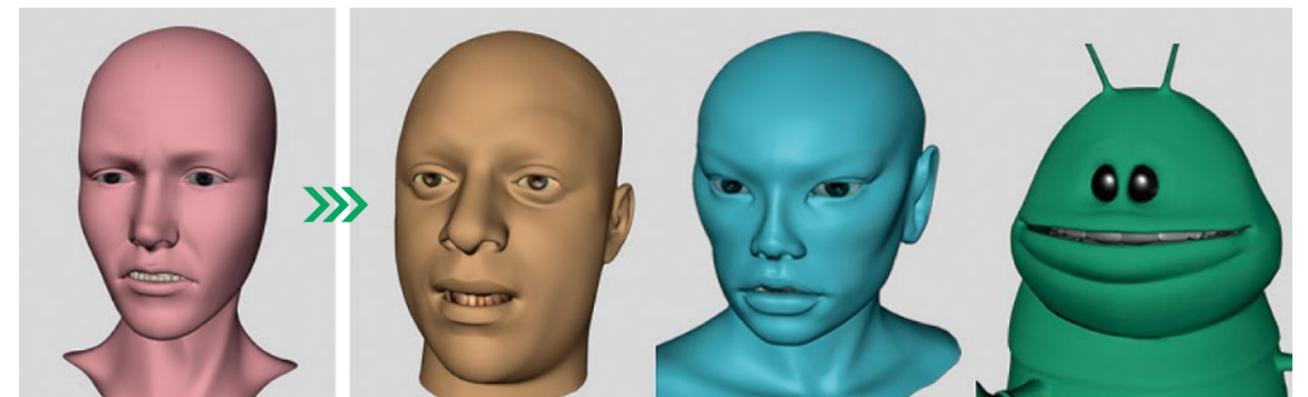


風になびく髪の毛をCGでリアルに再現(1992年)



顔モデルの編集ツール

リアルで豊かな表情をつくるために、従来は煩雑なスライダー操作が必要だった。直感的な操作に置き換える技術を構築し、大幅な効率向上を実現した。



表情の移植

あるモデルの表情アニメーション(左)を、さまざまなモデルに移植し(右の3点)、かつ編集も可能にする。

る」ように変形したうえで、逆にそこから「笑顔」を生成する口元や頬、眼尻などの数値パラメータを算出する方法をとっている。また、モーションキャプチャー（身体や顔の要所に発光物やセンサーを取り付けてモデルの動きを捕えてデータ化する技法）で得たデータからも「笑い」に伴う顔の各部の動きをつかむことで、さらに効率よく編集作業が行えるツールに仕上げた。キャラクターの陰影表現でも、数学的計算により3次元モデルに直接ペイントするだけで数値データ化を可能とした。これらの開発により、制作者が簡単に笑顔を生成できるだけでなく、生成した「笑顔」の数値パラメータを他のキャラクターにも容易に移植（交換・編集）できるようになった。

人の動きの表現でも、モーションキャプチャーで得た数値をコントロールするだけで超人的なジャンプなどのダイナミックな表現

が可能となった。アニメ独特の表現である拳を突き出してクローズアップするシーンも、腕の長さを5メートル以上に設定することで、迫力あるデフォルメ映像が生み出せる。

炎や煙、雲など、さりげない流体の表現も難しい。実写映像を合成するだけでは迫力に乏しく、無理に誇張すればリアリティを失くしてしまう。炎や煙の実写から流体部分を切り出し、輝度や形、色彩・色調、密度（ボリューム）を積分方程式などを使って数値化したうえで、その数値を組み合わせて自在に流体を生成できるようになった。

日本のアニメや映像の魅力を高める

映像表現を数学モデルで記述するだけでなく、映像の制作者のためのインターフェースを開発し、現場が使いやすいツールを提供することをテーマにしてきた。「こんな演出を

したい」「このような表現はできないか」とのニーズに対して、数学の力で求めるCG映像を実現し、多くの観客や視聴者の感動を呼ぶことが大きな喜びだという。

「研究成果は、米国コンピューター協会（ACM）のCG分科会（SIG）が主催する国際会議・展示会 SIGGRAPH に発表して大きな反響を得ていますが、今後もデジタル映像数学を発展させ、高精細な映像づくりを進めていきたい」と抱負を語った。

数学を用いる映像表現は大きな可能性を秘めている。使いやすく高度な映像表現ができるツールが普及すれば、独創的な作品づくりにつながり、日本のアニメや映像文化の魅力をいっそう高めることだろう。

Focus 03
分野の垣根を越え、社会の要請に応える

2007年に発足した「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」研究領域は、諸分野の研究者、企業などの理解を得て順調に成果を挙げ、2016年3月で区切りを迎えた。

西浦 廉政 研究総括に足掛け9年にわたる取り組みについて聞いた。

研究領域は、さきがけとしてスタートし、1年後にCRESTを加えましたが、さきがけの研究者がCRESTの研究代表者になるケースも生まれるなど理想的な展開となりました。

数学と諸分野とでは、言葉や価値観、文化の面で「垣根」がありました。しかし、議論やさまざまな試行を重ねることで、双方に大きな影響をもたらすことができました。

研究は「人」がすべてであり、独創的で開拓者精神にあふれ、かつ「ポリバレンタ」（化学用語で、さまざまな物と結合して多機能性を発揮すること）な人材の必要性を訴えてきました。研究活動を通じて、そうした人材が育

ち、周囲に多くの協力者が集まってきたことが最大の収穫です。数学と諸分野の協働を通じて社会ニーズに応える研究が広がったことも有意義でした。

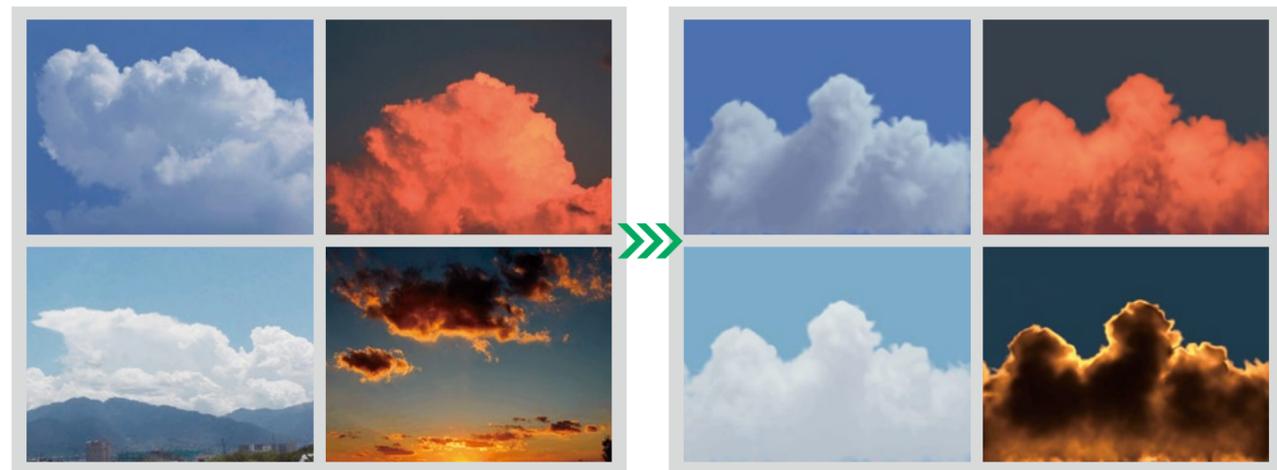
もちろん、見えてきた課題も少なくありません。数学と諸分野の協働は始まったばかりで、内容の充実とともに層を厚くしていく必要があります。

大学でも、数学、物理、化学などの研究者が特定の研究室に所属しないで面白いと思ったテーマに取り組む場をつくっています。そうした自由な研究風土の中で数学研究者が大いに活躍することを願っています。

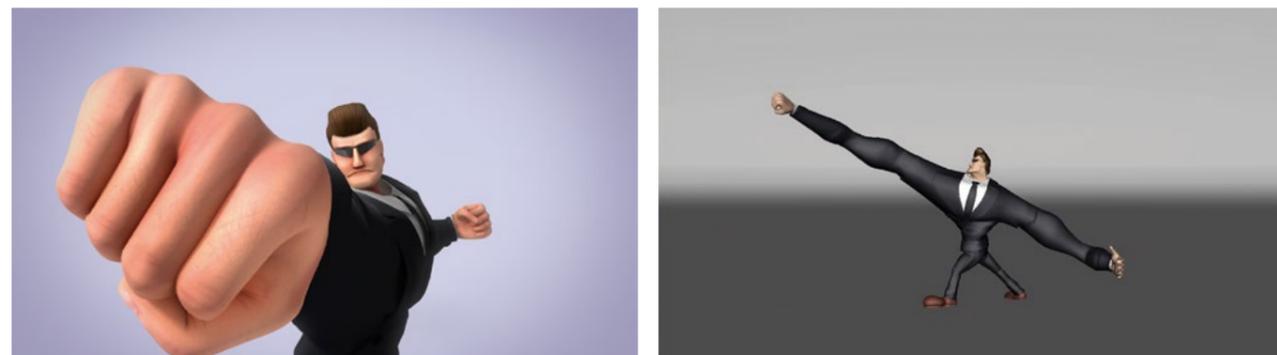
研究領域はひとつの区切りを迎えましたが、「越境する数学」の新たなスタートでもあります。

数学は、身近な世界でもっと貢献できます。若い人にも数学の魅力を知っていただき、既成概念にこだわらないでどんどん活躍してほしいと、研究領域の若手研究者に講師をお願いし、「数学キャラバン」を全国で実施してきました。数学者が積極的に外に出ていくことも「越境する数学」にとって重要です。

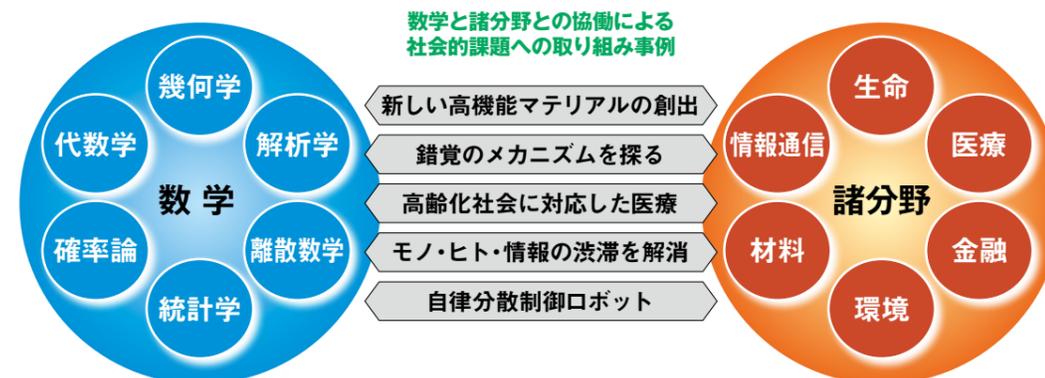
研究を継続することで未来が広がると確信しています。



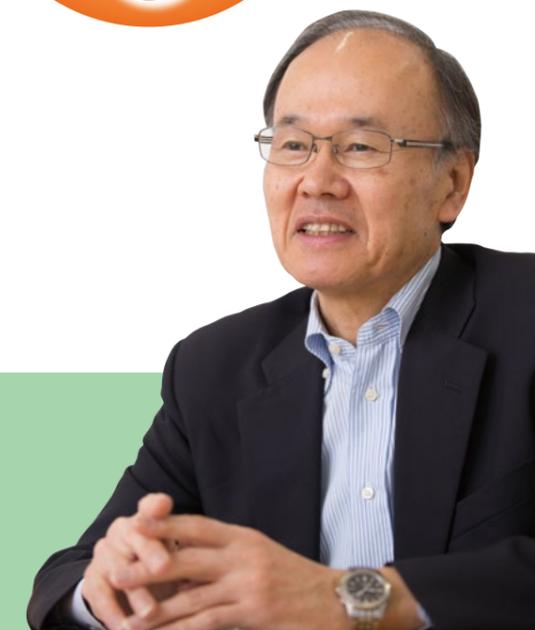
雲のCG
実写画像（左）を用いて推定したパラメータを使って作成されたCGによる雲（右）。実写画像の色と陰影を再現。



デフォルメされたアニメーションの作成
拳のクローズアップの表現（左）では、腕をありえない長さに設定（右）することで迫力ある映像が可能になる。



数学キャラバン
数学の面白さ、楽しさ、社会との関わりを感じてもらうために、主に高校生を対象に、全国11都市で17回開催した。延べ受講者は約1,500人を数える。研究領域の若手研究者が講師となり、毎回2～4テーマの講演と、実験・実演を行った。



西浦 廉政 (にしうら やすまさ)
東北大学 原子分子材料科学高等研究機構 PI / 教授

1978年、京都大学大学院理学研究科単位修得退学。理学博士。京都産業大学、広島大学、北海道大学を経て、2012年より現職。07年より、「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」研究領域 研究総括。

地球温暖化、超高齢社会、社会インフラの劣化、巨大災害の頻発——。現代社会が抱えるさまざまな課題を、科学技術の力で解決したい。今月号からスタートする「社会への架け橋」は、未来社会に向けて挑戦するJSTの研究開発活動を紹介する。

最大熱効率50%、 二酸化炭素30%削減をめざす

地球温暖化や石油エネルギーの枯渇を背景に、低炭素社会の実現につながる研究開発が進められている。「シリーズ1 低炭素社会の実現へ」の第1回は、生活や産業、社会活動を支える自動車のエンジン燃焼技術を取り上げる。燃料消費をより少なくし、排出される二酸化炭素や窒素酸化物を減らすことが課題だ。

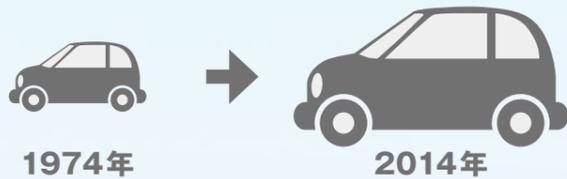
世界の自動車保有台数は12億台を超え、石油エネルギーの約4割がガソリン車やディーゼル車のエンジンに使われている。電気自動車や燃料電池自動車が普及しても、今後30年間は石油エネルギーの50%以上を自動車エンジンが消費すると予測される。

エンジンの熱効率(燃料の持つエネルギーを仕事に変換する効率)を現状の40%前後から50%まで飛躍的に高め、二酸化炭素の排出量を30%削減(2011年比)することをめざすのが、「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)」の課題の1つである「革新的燃焼技術」のミッションだ。

燃費向上と排出ガス低減とは相反する関係で、両者を高いレベルで両立させることは至難の業である。国内の自動車メーカー9社と2団体で構成される自動車用内燃機関技術研究組合(AICE)と全国の約80大学とで、強力な産学官連携の研究開発体制を組み、「制御」「ディーゼル燃焼」「ガソリン燃焼」「損失低減」の4チームで目標に挑んでいる。

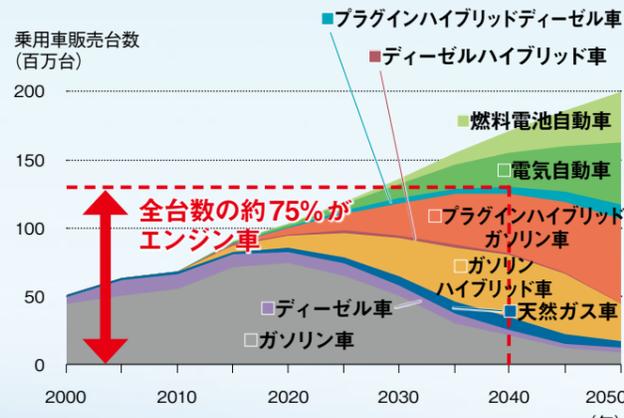
世界の自動車保有台数は 40年で約4倍に

3億1,608万台 → 12億967万台



●一般社団法人日本自動車工業会「主要国自動車統計 第5集」
「世界自動車統計年報 第15集」をもとに作成

2040年でも 約75%はエンジン車



●世界のパワートレイン別の将来予測
「IEA/ETP (Energy Technology Perspectives 2012)」をもとに作成

超希薄な燃焼を使う「スーパーリーンバーン」

ガソリン燃焼チームを率いるのは、慶應義塾大学大学院理工学研究科の飯田訓正特任教授だ。慶應大をリーダーに全国26の大学と研究機関で取り組む。株式会社小野測器の横浜テクニカルセンター内に設けられた共用エンジンラボを研究開発拠点として、2020年までにガソリンエンジンの熱効率50%の達成をめざす。

2倍の空気で燃やす

熱効率を飛躍的に向上させると期待されているのが、スーパーリーンバーンだ。

「リーンバーンとは、希薄燃焼のことです。理論上、ガソリン1に対して、空気量が14.7の割合(理論空燃比)だと、ガソリンと空気が過不足なく燃焼しますが、エンジンの熱効率という点では最適ではありません。熱力学の理論から熱効率を良くするには、ガソリンを減らして薄く燃やすリーンバーンエンジンが良いとわかっています。これまでのリーンバーンは空気量が理論空燃比の1.5倍以下でしたが、スーパーリーンバーンでは2倍の空気を送り込む超希薄燃焼を目標にしています」と飯田さん。

リーンバーンにして空気の比率を高めると、燃焼が低温になる。すると燃焼速度が遅くな

り、熱効率が伸びないし異常燃焼も起きやすい。燃焼速度を上げるには、強い渦流をエンジンの中に生じさせなくてはいけない。だが今度は、火が付かないし火災も安定しない。しかしリーンバーンが実現すれば、低温燃焼により熱損失が激減し、また窒素酸化物の排出も減少する。いかに安定して燃焼させるか。燃焼反応は、科学的に解明されていない部分も多く、大学の基礎研究が欠かせない。

要素技術の体系化、知見の融合

飯田さんは、熱損失の少ない遮熱エンジンや、混合気に流れ(タンブル流)を作ることで着火しやすくなることを発見し、リーンバーンをさらに発展させた超難関のスーパーリーンバーンエンジンに挑戦している。

「着火の向上、燃焼の促進、熱損失や排出ガスの低減など、全国26の大学と研究機関

が6班に分かれて要素技術の開発を進めています。熱効率50%の達成には、さまざまな要素技術の体系化、学際的な知見の融合が必要です」。

従来の研究では、燃料成分に差があり、大学や企業間でのデータ比較が困難だったが、ガソリン燃焼チームでは全ての大学・研究機関が使用する燃料成分を統一し、一丸となって取り組んでいる。

「産業界のニーズに合わせて、エンジン開発に役立つモデルを提案したい。その過程で、実用工学における産学官連携や、次世代を担う人材育成のモデルケースも示したいのです」と熱く語った。

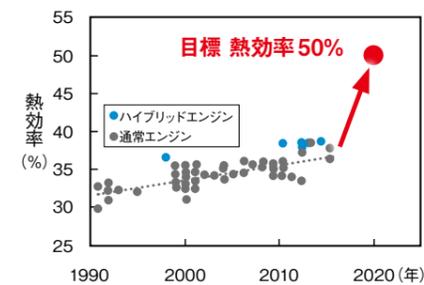
日本の自動車産業の競争力の強化、地球の二酸化炭素削減——。熱効率50%のエンジンが実現すれば、その貢献は計りしれない。

慶應義塾大学SIPエンジンラボラトリーの研究風景
(株式会社小野測器 横浜テクニカルセンター内)



ラボ内では、燃焼状態を確認する可視化エンジンなどを使って研究している。

スーパーリーンバーン研究開発の目標

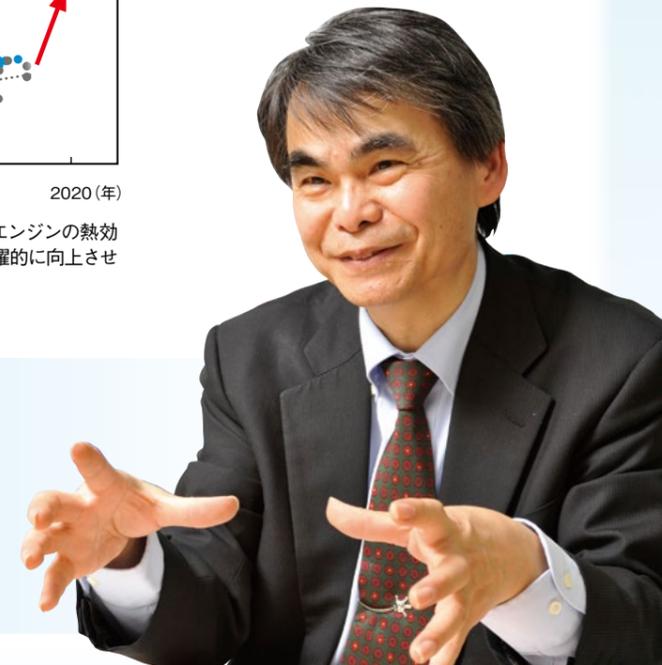


30%台にとどまっていたガソリンエンジンの熱効率を、2020年までに50%まで飛躍的に向上させることをめざす。

飯田 訓正 (いいたのりまさ)

慶應義塾大学大学院理工学研究科 特任教授

1980年、慶應義塾大学大学院工学研究科博士課程修了、工学博士。同年慶應義塾大学工学部機械工学科助手を経て、85年同大学専任講師、90年同大学助教授。この間、米国ウィスコンシン大学訪問教授、神奈川科学技術アカデミー「セラミック・メタノールエンジン研究室室長」などを兼任。97年同大学教授、2016年より現職。14年よりSIP課題「革新的燃焼技術」研究開発課題「高効率ガソリンエンジンのためのスーパーリーンバーン研究開発」研究責任者。



01

研究成果

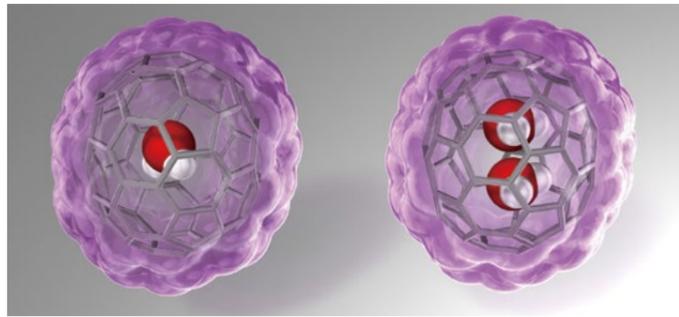
戦略的創造研究推進事業 個人型研究(さきがけ)
研究領域「分子技術と新機能創出」
研究課題「炭素π共役系分子錯体の非平衡単分子界面科学」

フラーレンC₇₀に水分子を閉じ込める
生命現象の解明や医薬品開発に

1985年に発見されたフラーレンは、90年代に大量合成できる方法が確立され、今では医薬、電子材料、化粧品など、さまざまな分野で注目されています。フラーレンの特徴は、炭素原子が球状に結合した空間に金属や分子を内包(内部の空間に閉じ込める)できることです。京都大学化学研究所の村田靖次郎教授らは、70個の炭素原子がラグビーボール状に結合したフラーレンC₇₀の内部に、水分子(H₂O)を閉じ込めることに成功しました。村田教授らはすでに、60個の炭素原子がサッカーボール状に結合したフラーレンC₆₀に水分子1個(単分子)を内包させていますが、より大きな空間を持つC₇₀なら、結合した水分子2個(二量体)も入れられると考えました。化学反応でC₇₀の結合の一部を切り、水分子が通る大きさの開口部を作ること、水の単分子や二量体を挿入しました。水の単分子や二量体は、他の物質と結合し

やすいため、水分子そのものを観測することは困難でした。水分子を内包したC₇₀を解析したところ、水分子単独では上下に素早く動いていました。二量体では、2つの分子間に存在する水素結合が切断と再生を繰り返す珍しい現象が観測されました。他の水分子から孤立した二量体の観測に成功したのは世界で初めてで、化学現象や生命活動の重要な物質である水の

基礎的性質の解明が期待されます。水分子と同じ大きさであれば、他の物質の単分子状態も実現できる可能性があり、新しい物性の解明につながります。内包された分子によってC₇₀自体の物性も変えられるので、電子受容体として有機薄膜太陽電池の性能を向上させたり、医薬品のような生理活性素材を開発するなど、多彩な応用が期待されます。



水単分子(左)と二量体(右)を内包したフラーレンC₇₀の構造

02

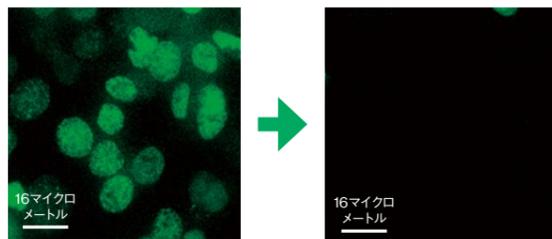
研究成果

戦略的創造研究推進事業 個人型研究(さきがけ)
研究領域「細胞機能の構成的な理解と制御」
研究課題「デグロン変異細胞創出のための基盤技術開発」

取り除いてたんぱく質の動きを知る
人間の細胞のたんぱく質を短時間で分解除去

生物の最小単位である細胞の分裂や増殖の仕組みを解明するには、たんぱく質の機能を探ることが必要です。そのためには、細胞内の特定のたんぱく質が失われた場合の影響を観察することが有効ですが、これまでの目的のたんぱく質合成を抑える技術では、除去に数日間かかっていました。細胞の生存に必須で破壊できない遺伝子もあり、解明が難しいたんぱく質が多く存在します。国立遺伝学研究所の鐘巻将人教授と名古屋大学の清光智美助教らの研究グループは、人間の細胞内の特定のたんぱく質を短時間で分解除去することに成功しました。鐘巻教授らは2009年に、植物ホルモンのオーキシンを加えることで、酵母の特定のたんぱく質を分解させる「オーキシンドグロン(AID)法」を開発しました。AID法では、オーキシんと結合して分解を引き起こすタグ(目印)となるペプチド配列をたんぱく質に加えることが必要で

す。人間の細胞でAID法を利用するため、ゲノム編集技術(クリスパー法)を応用して特定の遺伝子を簡単に変える方法を開発し、その遺伝子が作るたんぱく質に分解タグを加えました。AID法ではわずかに約1時間で除去でき、分裂や増殖など短時間で変化する現象に与える影響を直接観察することに成功しました。分解除去のタイミングも任意に設定可能で、破壊できない遺伝子から作られるたんぱく質の機能解析などに効果を発揮します。



オキシンを加える前

オキシンを加えた90分後

細胞分裂や増殖の仕組みは、研究材料として扱いやすい酵母などのモデル生物で研究されてきましたが、生命医学には人間の細胞の研究が欠かせません。人間を含む多様な生物種の細胞の仕組みやたんぱく質の役割の解明に役立てたいという願いを込めて、作成した材料はすべてナショナルバイオリソースで公開し、世界の研究者がアクセスできるようにしています。

(左) 緑色に光っているのは、複製された染色体を正しく配分するのに必要なコヒーシントンぱく質。

(右) オーキシンを加えた90分後の細胞では、コヒーシントンぱく質が消えている。

03

開催報告・募集

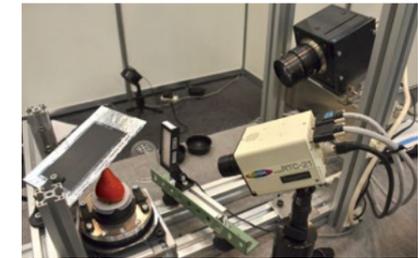
研究成果展開事業 大学発新産業創出プログラム(START)

若手研究者のアイデアを新しいビジネスにつなげる
「3週間たっても新鮮なイチゴ」「狭い配管も突き進むヘビ型ロボット」

新しいビジネスの夢を抱く若手研究者が作ったユニークなロボット18台が「Robotics×Future2016」(東京・汐留)に勢揃いしました。大学の技術をベンチャー起業につなげる大学発新産業創出プログラム(START)技術シーズ選抜育成プロジェクト(ロボティクス分野)では、研究者やベンチャービジネスなどで活躍する人材が、ポスドクや学生のメンターになります。3月18日に開催された「Robotics×Future2016」は、メンターの指導や助言を受けながら試作したロボットを展示し、事業展開ビジョンを発表する晴れ舞台になりました。宇都宮大学(高橋庸平チームリーダー)は、イチゴの外観と品質を検査するロボットを開発しました。高級果実として海外輸出が期待されるイチゴですが、収穫時に触っただけでも傷んでしまいます。目に見えない損傷を赤外線で見つけ、カメラでおいしさを数値化することで、大粒完熟イチゴの高級ブランド化をめざしています。立命館大学(加古川篤チームリーダー)は、狭い配管内を這い回って劣化箇所を素早く特定できるヘビ型ロボットを作りました。頭部の

カメラとレーザーで配管の内部を撮影しながら配管の屈曲方向を検出します。バネを内蔵した柔らかい関節と、縦横2つの方向へ転がることができる車輪で、曲がりくねった配管も難なく突き進みます。目の開き具合で地図アプリなどを操作できるソフトウェアを開発したのは早稲田大学(島聡志チームリーダー)。物が見えにくいと目を

●イチゴの外観と品質を検査するロボット



赤外線で見つけ、カメラでイチゴの全周画像を撮影して、内部の品質を可視化する。傷がないイチゴは3週間たっても新鮮。

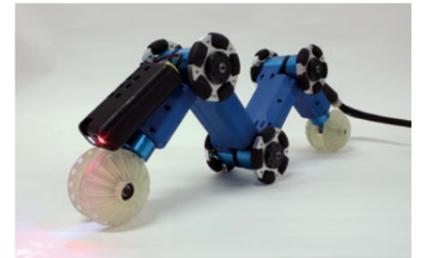
●募集中

技術シーズ選抜育成プロジェクト(IoT分野)	5月30日(月) 正午締切
プロジェクト支援型	6月20日(月) 正午締切

<http://www.jst.go.jp/start/>

細めるなどの直感的な行動に注目し、目を細めると拡大、見開くと縮小といった操作を実現しました。運転中や料理中など手を使えない状況で役立ちます。疲労時に目を開けにくくなる身体現象をもとに体調測定にも応用できます。今年度はIoT分野で募集中です。あなたのアイデアも、カタチにしませんか?

●狭い配管も突き進むヘビ型ロボット



半球ホイールとオムニホイールでその場で配管軸回りに回転が可能。配管内の清掃や、配線貫通工事にも応用できる。

04

話題

「Top25 グローバル・イノベーター：国立研究機関」JSTが第3位

積極的にイノベーションの創出を実践することで、経済成長や優れた人材の輩出に貢献している国立研究機関のランキング「Top25 グローバル・イノベーター：国立研究機関」をロイター社が発表し、JSTが第3位に選ばれました。日本からは、JST、産業技術総合研究所(7位)、理化学研究所(13位)、物質・材料研究機構(18位)の4機関がランクインしました。国別では、6機関が選出されたアメリカに次いで、世界で第2位です。グループ企業であるトムソン・ロイター社のデータに基づき、学術論文による積極的な科学研究成果の発表、産業界や民間セクターと

の活発な共同研究、知的財産権による研究成果の適切な保護など、特許と学術論文に関連する10項目で分析されています。JSTは「特許の成功率」「特許のグローバル性」「企業との共著論文数の割合」が特に優れ、「特許の引用率」「特許からの引用平均回数」が比較的優れていると評価されました。ランクインを受けて濱口理事長は、「大学・政府・産業界をつなぐJSTならではの活動を象徴するもので、その意義は大きい。カバーする研究領域が広く、日本全体の活性化に貢献する成果を挙げていることが高く評価された」と喜びました。「濱口プラン」の通り(3ページ)、JSTは設立

以来20年の活動に留まることなく、変容する社会に柔軟かつ積極的に対応し、成果を最大化するために、さらに挑戦と進化を続けます。

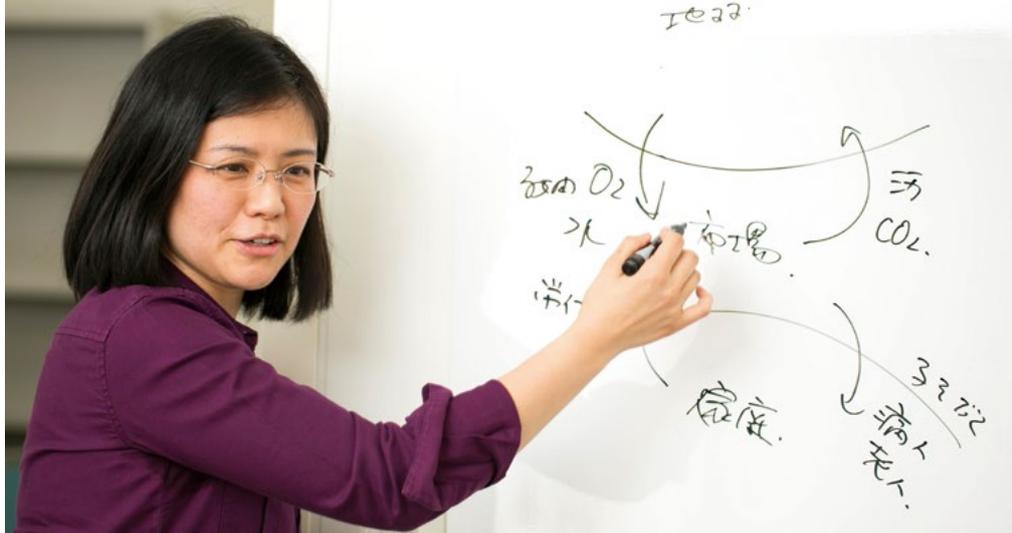
1位	原子力・代替エネルギー庁(CEA)	フランス
2位	フラウンホーファー研究機構(FhG)	ドイツ
3位	科学技術振興機構(JST)	日本
4位	保健福祉省(HHS)	アメリカ
5位	国立科学研究センター(CNRS)	フランス

さきがける 科学人

vol.49

黒田 公美
Kuroda Kumi

理化学研究所 脳科学総合研究センター
チームリーダー



プロフィール 1992年、京都大学理学部物理系を卒業。93年、大阪大学医学部に学士入学後、97年に医師免許を、2002年に博士(医学)を取得。カナダのマギル大学に留学し、親子関係の研究をスタートさせ、04年に理化学研究所へ。14年より現職。趣味はヨガ。

現代の子育てを脳科学で支えたい

若い頃は変わり者

泣き続ける赤ちゃんを安心させる方法があります。ぴたっと体につけて抱いて歩くと、3秒で心拍数が下がり、泣く時間が顕著に減ります。5分続ければ、かなりリラックスします。副交感神経が興奮するからです。経験的に知られている現象を、私たちが初めて科学的に証明しました。この「輸送反応」はマウスも同じ。子が危険から逃れやすいため進化の過程で定着したと考えています。このような親子の行動を脳科学で調べています。

大学までは変わり者で、団体行動が苦手でした。そんな私が子育てしながら“人の関係性”を研究する姿を見て、当時の友人は驚きます。物理系で“宇宙論”のゼミにいましたが、学業そっちのけでアジア各地を旅行していました。平均寿命の短いネパール奥地に行くうちに、シルクロードで医者でもやろうかと医学部へ入り直しました。しかし、合格後に訪れたパキスタンのアフガン難民キャンプで、繰り返される内紛、裏庭で散弾銃の弾丸を作るおばあちゃん、その暴発で片腕を失ったヘロイン中毒の男、代わりに銃を持たされる子どもたちの世界を見て、医療だけでは現状を変えられないことを痛感しました。目標を見失う中、好奇心で始めた基礎研究にはまっていたのです。

ラボでも家でも子どもにまみれ

大学院は、夜間の撮影のために顕微鏡の下で寝るような生活でした。しかしある時、飼育中のマウスがまめまめしく子育てする姿を見て急にうらやましくなりました。3人の子どもを育てたいという昔からの夢を思い出し、結婚しました。

プライベートな人生も仕事以上に大切です。「おせっかいな大阪のおばちゃん」気質も手伝い、研究室に来る人には、40歳の将来像を尋ねます。「研究一途の人生もよし。でも家族や子どもを持ちたいなら、結婚や出産時期、支えとなる経済力について20代でよく考えて進路を選んで」が口癖です。

親子関係をテーマにしたのは、子育て経験が武器にするためでもありました。わーんと泣く子が私の顔を見て泣き止む時、脳はどう働くのでしょうか。何をやっても新しいことばかり。産休中に、赤ちゃんの体調を見ながら予備実験を繰り返しました。わが子だからこそできたことです。

社会とつながりのある脳科学をめざして

野生のサルは、幼い頃から群れの赤ちゃんサルに接し子育てを見て育ちます。その経験が自分の子育てに不可欠です。隔離されて育った動物園のサルの大半は、出産後に子を放棄します。人は、よその赤ちゃんに触れずに出産を迎えても、情報を探し懸命に子を育てます。社会はこうした親の頑張りを支えられています。

社会は、労働力という資源を利用する一方で、労働力を生み出す子育てや介護などの家庭内の労働は、無償で家庭に負担させてきま

した。その歪みが、少子化や子・高齢者への虐待に現れています。この構図は、地球の資源を浪費し続けた結果、環境汚染や温暖化現象に気づき、慌てるのと似ていませんか。社会や家庭の問題を解決するために、世の中を動かす科学的知見を提供することが、私の研究の目標です。

夢は大きいのですが、実は心配なのは私自身の家庭です。休日も子どもの手を振り払い仕事に出ることもあります。それでも、小さいうちは必ず一緒に寝ます。社会に私の代わりはいるけれど、わが子に私の代わりはいません。一緒に寝てくれる時期はそう長くありませんね。

親子関係はダイナミックに変わり続け、子の独り立ちがゴールです。次は親離れ・子離れにも脳科学で迫ってみたいですね。

(執筆: JST 広報課・松山桃世)



夫・真也さん(JST CRESTの研究代表者)も友情出演! 「子育て道は、男のたしなみ」。

社会技術研究開発センター (RISTEX)

「安全な暮らしをつくる新しい公/私空間の構築」領域研究開発プロジェクト「養育者支援によって子どもの虐待を低減するシステムの構築」

理系と人文・社会系の研究者が協力し、当事者の意見を踏まえて、親、子、家庭や社会、行政や法制の4つの視点から虐待リスク要因を分析します。個々の家庭のニーズにあった養育者支援を開発し、子どもの虐待低減をめざします。



長男に電極やセンサーをつけ、実験中。



JSTnews

May 2016

発行日/平成28年5月10日
編集発行/国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)総務部広報課
〒102-8666 東京都千代田区四番町5-3 サイエンスプラザ
電話/03-5214-8404 FAX/03-5214-8432
E-mail/jstnews@jst.go.jp ホームページ/http://www.jst.go.jp
JSTnews/http://www.jst.go.jp/pr/jst-news/



最新号・バックナンバー