

JST news

未来をひらく科学技術

6
2025

特集
1

有用な未知の反応を設計する「知能」創出
量子化学計算と情報科学を融合して挑む

特集
2

ネガティブな孤立から前向き「個立」へ
中学生向けプログラム「e-BOCCHI」を展開

03 特集1

有用な未知の反応を設計する「知能」創出 量子化学計算と情報科学を融合して挑む



08 特集2

ネガティブな孤立から前向きの「個立」へ 中学生向けプログラム「e-BOCCHI」を展開



12 イノベ見て歩き

バナナに感染する「フザリウム菌」を診断 病害を未然に防ぎ、ペルーで普及を目指す



14 NEWS&TOPICS

- ▶マウス体内の金ナノ粒子の分布を可視化
- ▶機能性流体活用し岩石の割れ目多方向に
- ▶内耳蝸牛の小さな内部構造を非破壊で3D化
- ▶光技術で磁石のとびとびの値を直接観測



16 さきがける科学人

ITを活用した「健康行動セキュリティ」を提唱 誘惑に負けやすい現代人を健康リスクから守る

九州大学 大学院システム情報科学研究院 情報知能工学部門 助教 中村 優吾



科学技術でSDGsに貢献！「STI for SDGs」アワード募集中

科学技術の活用で社会課題解決とSDGs(持続可能な開発目標)達成を目指す取り組みを表彰する「STI for SDGs」アワード。「誰一人取り残さない」社会を実現する流れを加速させたいという思いのもと、2025年度から、社会課題解決の実績はまだ少なくとも今後の成果に期待できる取り組みを対象とした「奨励賞」を新設しました。起業間もないスタートアップの皆さまや、研究成果の本格的な社会実装を目前に控えた研究機関の取り組みなども応募いただけます。大学生や高校生のサークル活動、部活動などでの応募も大歓迎です。サステナブルな未来を目指す皆さまの取り組みをお待ちしています。奮ってご応募ください！

◆応募締切:2025年7月16日(水) 正午 ※詳細はWebでご確認ください。
<https://www.jst.go.jp/ristex/sdgs-award/index.html>



JSTは、シンクタンク機能、研究開発、産学連携、次世代人材育成、科学と社会との対話など、多岐にわたる事業を通じて、持続可能な開発目標(SDGs)の達成に積極的に貢献していきます。



編集長 小林 里美
科学技術振興機構(JST)広報課

制作 株式会社角川アスキー総合研究所

印刷・製本 株式会社丸井工文社



岩田 覚

Iwata Satoru

東京大学 大学院情報理工学系研究科 教授
北海道大学 化学反応創成研究拠点
(WPI-ICReDD) 特任教授
ERATO副研究総括
(2019年度～24年度)

松岡 和

Matsuoka Wataru

北海道大学 大学院理学研究院 助教

前田 理

Maeda Satoshi

北海道大学 大学院理学研究院 教授
化学反応創成研究拠点
(WPI-ICReDD) 拠点長
2019年よりERATO研究総括

大城 泰平

Oki Taihei

北海道大学 化学反応創成研究拠点
(WPI-ICReDD) 特任准教授

原 祐

Harabuchi Yu

北海道大学 化学反応創成研究拠点
(WPI-ICReDD) 特任教授

特集

1

有用な未知の反応を設計する「知能」創出 量子化学計算と情報科学を融合して挑む

化学は、実験を繰り返す試行錯誤の学問からコンピューター上のシミュレーションへと進化してきたが、近年になって、量子化学計算や情報科学などを融合して化学反応の予測や制御を試みる動きが加速している。北海道大学大学院理学研究院の前田理教授と東京大学大学院情報理工学系研究科の岩田覚教授らは、化学反応における原子の動きの全貌を捉え、有用な未知の化学反応を次々に設計する「知能」を創出することを目指して、学際的な取り組みを進めている。

戦略的創造研究
推進事業ERATO

規模の大きな研究費をもとに、既存の研究分野を超えた分野融合や新しいアプローチによって挑戦的な基礎研究を推進することで、今後の科学技術イノベーションの創出を先導する新しい科学技術の潮流の形成を促進し、戦略目標の達成を目指す。

試行錯誤の学問から新領域へ 方程式解き構造や性質を解析

人類と化学の関係は、文明そのものと深く結び付いている。人類は古くから身の回りの物質を変化させるすべを知り、体系的な知識を蓄積することで、化学を発展させてきた。しかし、化学は実験を基盤とする学問であり、有用な材料や薬品を作り出すためには、多くの実験を繰り返す必要があり、多大な時間とコストがかかる。

北海道大学の前田理教授が率いるERATO「前田化学反応創成知能プロジェクト」は、試行錯誤の学問だった化学を、プロジェクト名称にもなっている「化学反応創成知能」という新たな学問領域に引き上げることを目指す。化学反応を予測・制御するために、反応がどのように起こるのかを理論的に解明する。その手法として注目されているのが、量子化学計算だ。量子化学計算では、原子の世界の出来事をつかさどる量子力学の基本方程式であるシュレディンガー方程式(図1)を近似的に解くことにより、原子や分子の

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + V\psi$$

図1 1926年にオーストリアの物理学者エルヴィン・シュレディンガーが発表した量子力学の基本方程式。

構造や性質、反応性を解析する。

シュレディンガー方程式が発表されたのは1926年だが、当時はそれを解いて実際の化学反応を計算することは困難だった。だが近年になって、解法とコンピューターの進歩により、現実的な化学反応のシミュレーションが可能になってきた。やってみなければわからなかった化学実験の結果が、コンピューターによって予測できるようになれば、材料開発のスピードアップ、実験にかかるコストや廃棄物の削減など、大きなメリットがある。

前田さんは、修士課程在籍時に量子化学計算に出会い、その難しさに惹かれ、研究者としてのキャリアを積んできた。「プログラミングやアルゴリズムを考えることが好き

だった私の適性を指導教官が見いだして、この分野へ導いてくれました。やってみたら熱中したというのがきっかけです」と当時を振り返る。

反応経路を人知超え自動探索 仮想的な力で変化を起こす

量子化学計算を用いて原子や分子の構造や性質、反応性を予測できるのであれば、どんな材料も医薬品もすぐに作れてしまうような気がするが、実際はそれほど簡単ではない。なぜなら、化学反応の主役となる、原子の動きの全貌を予測することは極めて困難だからだ。

前田プロジェクトが目指す「化学反応創成知能」では、量子化学計算、情報科学、マテリアルズ・イン

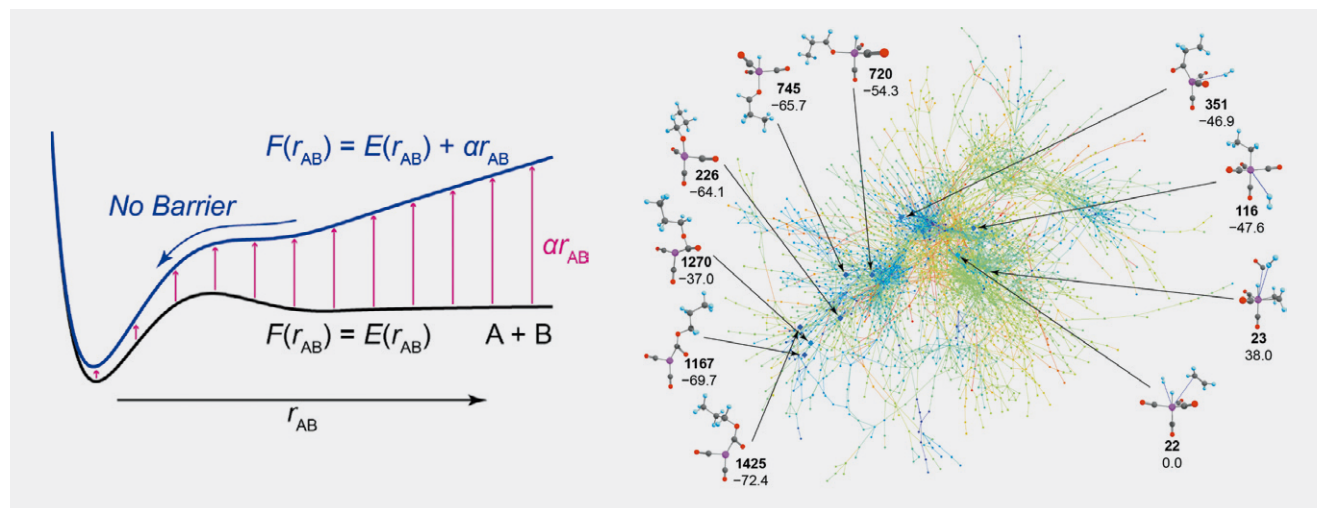


図2 AFIR法の概念図(左)とAFIR法で得られる反応経路ネットワークの例(右)。反応物AとBを未知の生成物Xへ変換するための経路を計算し、得られたネットワークを解析することで、反応の予測が可能になる。

出典:Satoshi M.et al., Springer, Cham,2020

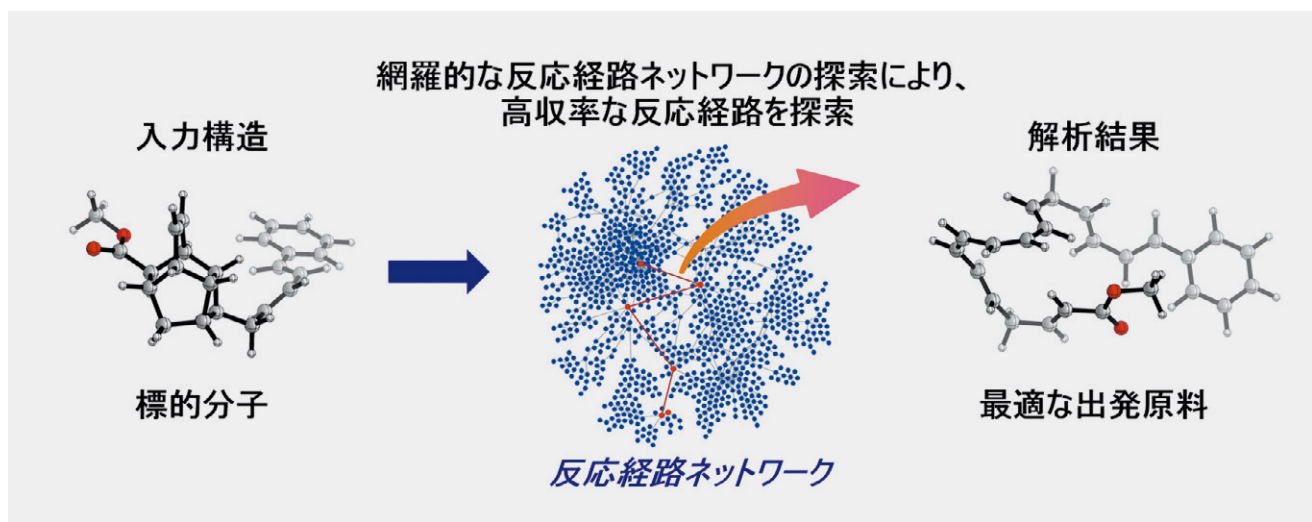


図3 可能性のある反応経路を網羅した反応経路ネットワークを使って、化学反応の経路を逆にたどる「逆合成解析」を実施すると、元になる最適な原料を高精度で予測できる。

フォーマティクスなどの技術を融合することで、化学反応における原子の動きの全貌を予測する。その基盤となるのは、前田さんらが世界に先駆けて開発した人工力誘起反応 (Artificial Force Induced Reaction, AFIR) 法である。

未知の動きの全貌を予測するには、化学反応が進む経路を、人が考えられる範囲を超えて自動探索できる計算法が必要となる。AFIR法は、分子同士あるいは分子の中の部分構造同士に仮想的な人工力をかけ、構造変化を起こす。この操作を系統的に繰り返すことで、与えた反応物を未知の生成物へと変換する経路を計算する。そうして得られる反応経路のネットワークを解析することで、未知反応の予測が可能となるのだ(図2)。

化学反応において、分子と分子は反応しやすい向きや場所があり、向きを変えながら分子同士を押し付けると、反応しやすい向きや場所に分子が勝手にそろっていく。前田さんは「押し付ける力のかけ方をうまくコントロールすることで、反応する構造を効率良く見つ

けることが可能になります」とAFIR法のポイントを説明する。

「逆合成解析」で最適原料予測 経路データベースを無償公開

前田プロジェクトの具体的な目標は、AFIR法を用いて、さまざまな反応物や触媒の組み合わせに対して反応経路ネットワークを計算し、データベースを作成すること。さらに、データベースを基に目的とする化学物質を合成するのに適した化学反応を迅速に設計するシステムを構築することだ。目標達成に向けた取り組みの中で種々の画期的な成果を生み出してきた。

2022年には、有機化学の知識や実験データを一切使用しない、量子化学計算のみによる「逆合成解析」を確立した。さらに、ある天然有機化合物に対して逆合成解析を適用し、実験で報告されている元の原料に逆合成されることを証明した(図3)。この成果は量子化学計算の究極の目的の1つである「新しい化学反応をゼロから予測し、実験的に実現する」ことに近づく

一歩であり、AFIR法と速度定数行列縮約(RCMC)法を組み合わせることで実現した。

AFIR法は網羅的な探索が可能だが、反応経路がいくつも枝分かれし、複雑で大きなネットワークを形成するため、その解析には膨大な計算量が必要になる。これに対してRCMC法は、注目する時間スケールに応じて区別する必要のない部分領域を順次縮約していくことによって、化学反応の挙動を効率的に計算する手法である。これをAFIR法と組み合わせ、反応経路の枝分かれの中から現実的に起こりうる分岐のみをRCMC法で選びながら探索を続けることで、不要な枝を刈り込んで計算量を削減できる。

さらに、2023年には、AFIR法で作成した化学反応経路データを収録したデータベースのプラットフォーム「SCAN (Searching Chemical Actions and Networks)」をオープンソースとして無償公開した(図4)。データ検索、可視化、データ解析をクリックのみで実行可能にし、複雑な化学反

応経路データを情報科学の専門家でなくても解析できるようにした。

遷移金属触媒の開発指針確立 微分と自動最適化の手法導入

2024年の米化学会誌に掲載された成果は、このプロジェクトの集大成の1つだ。この研究では、遷移金属を触媒とする反応において、触媒の新たな設計指針を確立。これまで多数の実験データから見積もる必要のあった設計指針を、量子化学計算と微分計算のみから求めることが可能であることを示した。

遷移金属触媒は、遷移金属とそれに結合する「配位子」と呼ばれる有機分子で構成されており、その種類によって触媒性能が変わる。そのため、温和な条件で効率の良い化学反応を実現するには、最も性能の高い配位子を探すことが重要になるが、配位子の数は膨大なため、その1つ1つを順番に試す従来の実験や計

算方法で求めると時間がかかり過ぎてしまう。

そこで、前田プロジェクトで量子化学グループに所属する松岡和助教と最適化グループに所属する大城泰平特任准教授は、配位子が触媒性能に与える電子配置的な効果と立体障害的な効果に絞って注目。これらの性質を少数の入力パラメーターとして計算する仕組みを作った。「配位子が触媒に与える性質を連続的なパラメーターと捉えて、パラメーターがつくる『傾き』を微分によって求め、連続最適化を用いることで、従来の手法より格段に効率良く最適化できるようになりました」と、松岡さんは語る。

この松岡さんと大城さんが開発した「バーチャル配位子アシスト最適化法」では、量子化学計算において、実際の配位子をモデル化したものを用いる(図5)。このモデル化した配位子の電子のおよび立体的な性質が触媒性能に与える影響を微

分により見積もることで、配位子の性質を自動的に最適化できる。これにより、目的の反応を最も効率良く進行させる手掛かりを得ることができるのだ。

松岡さんらは実際にパラジウム触媒を用いた反応において、既存の配位子よりも優れたものを、一度も実験をすることなく見いだすことにも成功した。コンピューター上での予測が可能になる今回の手法により、開発時間やコストに関する従来のさまざまな問題が解決し、社会に大きく貢献することが期待される。

数学など異分野の専門家集結 化学のみで困難な問題解決へ

この前田プロジェクトのユニークなところは、化学や数学、情報科学、材料学といった異なる専門分野のメンバーが集結し、それぞれの専門を生かすことで、化学の専門家だけで

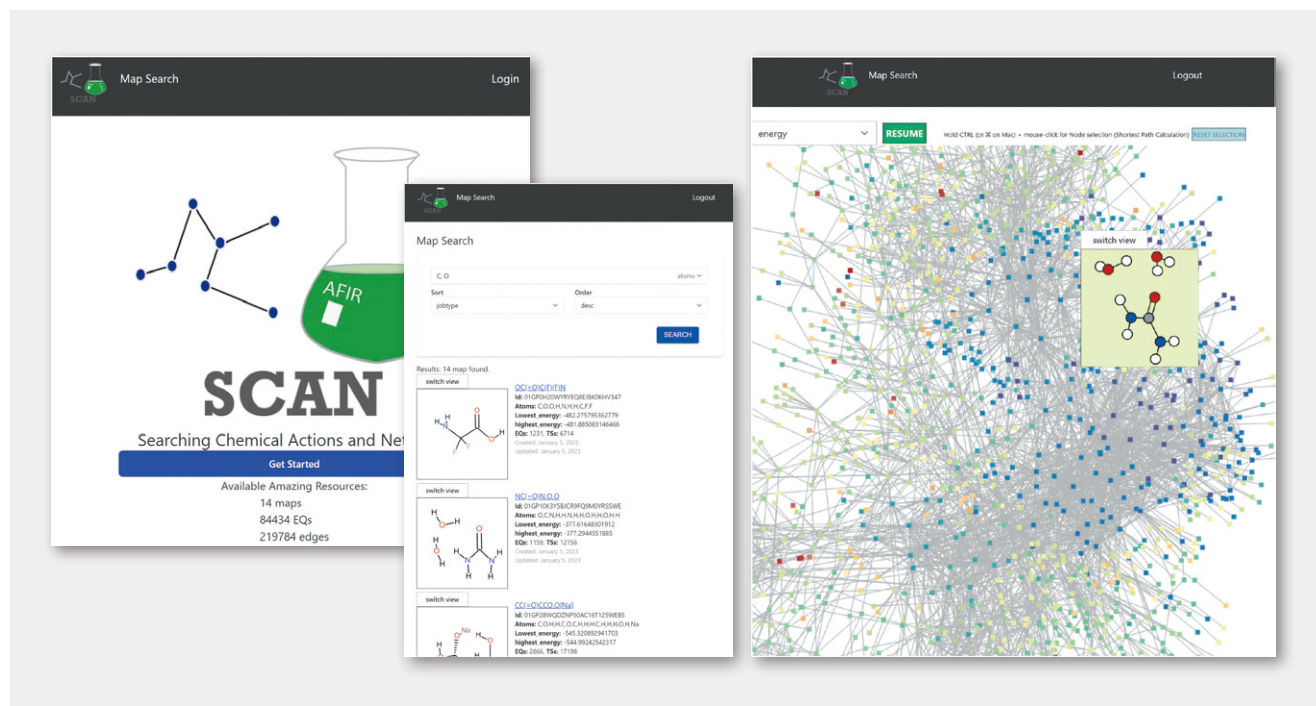


図4 AFIR法から生み出された化学反応経路データを収録したデータベースのプラットフォーム「SCAN」。ウェブページ(<https://scan.sci.hokudai.ac.jp/>)上で公開されており、化学反応経路の検索、可視化、探索、設計の全ての操作をクリックのみで実行できる。

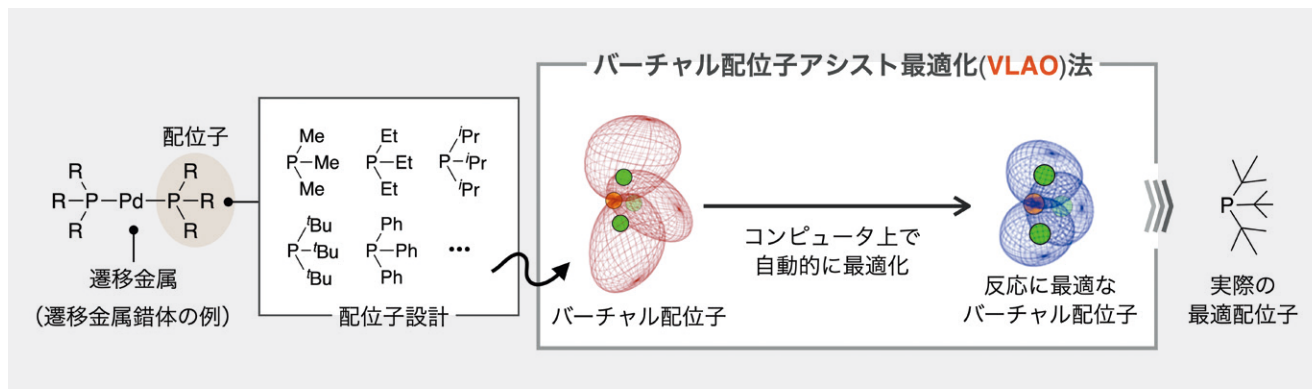


図5 配位子がくっ付いた遷移金属を触媒とする遷移金属触媒反応の量子化学計算において、実際の配位子をモデル化したバーチャル配位子を活用することで、性質が反応性に与える影響を微分計算で見積もり、最適化する。

は解けなかった困難な問題に挑んでいることにある。先に紹介した松岡さんが所属する「量子化学グループ」、大城さんが所属する「最適化グループ」のほか、データベースを構築する「化学情報グループ」、AFIR法によって見いだした反応経路に基づいて実際に合成化学実験をする「有機合成グループ」、ロボットを活用することで高速な実験を実現する「ロボット合成グループ」など7つのグループが協働している。

その中でも柱となっているのが、前田さんを中心とする化学分野と、東京大学の岩田覚教授を中心とする数学分野だ。岩田さんは、このプロジェクトの副研究総括を務めており、離散最適化をはじめとする数学的な手法で、大城さんと共に、化学反応経路ネットワークの解析やRCMC法の高速化に大きな貢献を果たしてきた。

化学と数学は同じ理系分野といっても、その中身は全く異なり、使われる専門用語も異なる。そのため、プロジェクト開始当初は、お互いの意思疎通にも苦労したと大城さんと松岡さんは語る。数学の研究者である大城さんは「最初は単語もわからなかったのですが、対話を重ねる中で、化学には数学

的に面白い問題がたくさんあると知りました。数学では難しい問題を化学では解けている、その背景を理解できて興味深かったです」と協働の成果を語る。

一方、化学の研究者である松岡さんは「化学には経験則が多いのですが、数学の専門家の先生と話をするうちに、厳密に定義された数学の世界の面白さを学びました。重要なところを抽出して、数学の問題に落とし込めば大きなメリットがあるということを学びました」と振り返る。前田さんは今回のプロジェクトの貢献者として、研究総括補佐を務める、北海道大学の原渕祐特任教授を挙げる。「最初はメンバー同士の意思疎通が難しかったところを、原渕

さんが根気よくつないでくれました。RCMC法も最初は原渕さんと大城さんと密に議論されて、数学を使うということが直近の成果にまでつながってきています」と称える。

このプロジェクトは、分野を超えた取り組みが功を奏した好例と言える。岩田さんは今後、融合的な研究、学際的な研究がどんどん増えると考えており「大変ですが、それだけに実りも大きい取り組みです。特に化学と数学をつなぐ人材はまだ非常に少ないので、プロジェクトに参画してくれた研究者はこれから先も、いろいろな成果を上げていてくれるとうれしいです」と期待をのぞかせている。

(TEXT:石井英男、PHOTO:島本絵梨佳)



近年台頭してきた機械学習ポテンシャル技術と、我々の技術を組み合わせることで、材料の中の反応を予測して設計指針を提示できるようになりました。我々の成果が社会で使われるようになる日も、そう遠くないと思っています。



菅原 大地

Sugawara Daichi

筑波大学 人間系 准教授

太刀川 弘和

Tachikawa Hirokazu

筑波大学 医学医療系 教授
2021年よりRISTEX研究代表者

櫛引 夏歩

Kushibiki Natsuho

弘前大学 大学院保健学研究科 助教

特集
2

ネガティブな孤立から前向きな「個立」へ 中学生向けプログラム「e-BOCCHI」を展開

単身世帯の増加や人間関係の希薄化によって社会から孤立する人が増えている。なぜ、人は「孤独であること」をネガティブに捉えてしまうのだろうか。筑波大学医学医療系の太刀川弘和教授を代表者とするプロジェクトでは、孤立や孤独の生成プロセスの解明や介入方法を開発し、2023年からはひとりぼっちでも前向きな考え方ができる「e-BOCCHI」プログラムを中学校で展開して一定の効果を上げている。太刀川さんらが目指すのは、孤立や孤独の状態でもメンタルヘルスが悪化しない「個立」だ。

社会技術研究開発事業

社会における具体的な問題や、科学技術の倫理的・法制度的・社会的課題(ELSI)に対して、研究者と社会の問題に取り組むステークホルダーが協働する研究開発を推進する。



コロナ禍を経て社会問題に 健康・創造的な生活が目標

人間は他者と関わり合って生活している。しかし、入学や就職、部署の異動といった生活環境の変化やそこでの人間関係によって孤独を感じることも少なくない。家族や友人にその気持ちを相談すれば、解決法を見いだせるかもしれないが、相談できる人がいない「社会的孤立」の場合はますます孤独を感じ、悪循環にはまってしまう。ここでの「孤立」とは他者とのつながりや助けがないという客観的概念を指しているが、主観的な概念である「孤独」は自分はひとりぼっちだ、という感情を意味する。

筑波大学の太刀川弘和教授と菅原大地准教授、弘前大学の榎引夏歩助教ら約25人による研究チームは、こうした孤独とどう向き合い、対処すべきかを解き明かすべく、研究を進めている。太刀川さんは精神科医でもあり、長年、自殺予防や災害メンタルヘルスの研究に携わってきた。以前から自殺の要因に孤立や孤独があることが指摘されており、太刀川さんもこの問題をなんとかしなくてはという意識が常にあったという。「新型コロナウイルス感染症が流行したことで、それまでひきこもりや高齢者といった特定の人の問題だと思われていた孤立や孤独が、社会全体の問題として認識されるようになってきました」。

一般に、社会から孤立していると孤独を感じやすくなるという傾向があるが、孤立している人全員が孤独を感じているかというとそうではない。また、社会的に孤立していても孤独を感じている人がい

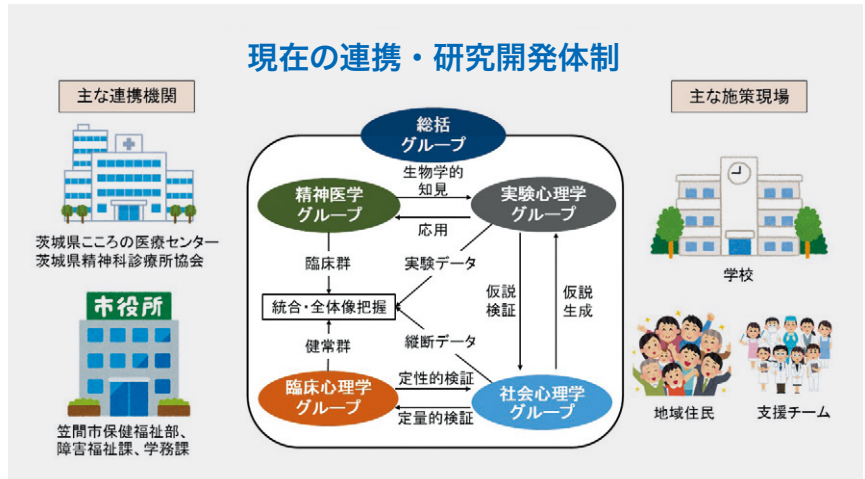


図1 それぞれの専門分野の研究を行うだけでなく、グループ間で情報を共有し、得られた成果を応用して研究を進めている。

るのも事実だ。これまでは、すでに孤立している人に相談を促すといった水際対策が中心だったが、もっと手前の段階で孤立や孤独を予防するという概念を作る必要があると感じた太刀川さん。

そのためには、孤立や孤独のメカニズムを明らかにし、介入する手法の検討や社会実装を進めなくてはいけない。最終目標は、孤立していても健康に、そして一人一人が創造的な生活を送れる社会の創生だ。「孤立」ではなく「個立」。課題名にある造語「個立」には、主観的にも客観的にもその思いを込めている。

プロジェクトは、精神医学、実験心理学、臨床心理学、社会心理学、そして総括グループの5つから成る(図1)。精神的な問題や集団の心理、

脳の機能など、孤立や孤独はさまざまな角度から研究する必要があるが、この体制により学際的に取り組めるのが強みだ。総括グループは、各分野の研究で得られた知見をまとめることに加えて、社会実装を進める場合の窓口の役割も果たす。

潜在意識と脳活動を調査 自尊心との関わりが明らかに

2021年11月にプロジェクトが始動し、まず菅原さんがリーダーを務める臨床心理学グループを中心に、孤立や孤独がどのような概念なのかを明らかにすることに取り組んだ。その結果、この2つは似た概念だが、一人でいても必ずしも不適応にはつながらない「孤高」や、無理や

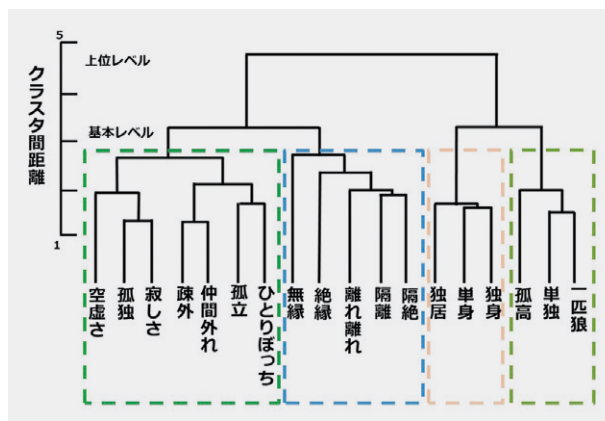


図2 孤立や孤独に関連する概念の構造を明らかにするために、一般成人を対象に各単語の類似度を評定してもらい、階層的な構造を検討した。

fMRIを用いた社会的排斥と潜在的個人要因の関連の検討

方法

サイバーボール課題：社会的排斥を操作



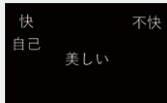
結果

個人要因と関連があった脳領域

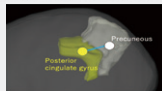
潜在自尊心：
右中前頭回、右後部上側頭回、左後部上側頭回、右前部海馬傍回、右淡蒼球

顕在自尊心：
右中前頭回、左下前頭回三角部、左後部上側頭回、左側頭後頭下側頭回、左角回、脳梁下皮質、右前部海馬傍回、左後側頭頭筋状回、左側頭平面

潜在連合テスト (IAT)：潜在自尊心、潜在孤独感を測定



機能的結合の解析（脳領域間の結びつきの強さ）



潜在自尊心とデフォルトモードネットワーク (DMN) 内の機能的結合に負の相関が見られた

DMN：自己に関する思考をする際に活動。抑うつ傾向の高い個人はDMNの活動が過剰になる (Hamilton et al., 2011)

結論：潜在指標が社会的排斥時の反応を予測する重要な指標となる可能性が示唆された

図3 社会的排斥課題による脳活動の賦活を示している。

り物理的に離された「隔絶」といった複数の概念に区別されることがわかった(図2)。人によっても捉え方が異なるが、概念を定義するという過程を経ることで、プロジェクト内で一定の共通理解を持てたと太刀川さんは語る。

また、健康危機に至るような孤立・孤独のメカニズムを解明するために、多方向からの調査研究も実施した。例えば、コロナ禍の影響や社会全体の孤独感の変遷を見るために、プロジェクト開始から半年ごとに一般の人に対する縦断調査を続けている。また、18歳から24歳を対象にする経験サンプリング調査も実施中だ。1日4回スマートフォンに通知が送られたタイミングで回答する調査で、1日の中での孤独感の変化や活動との関係を調べ、孤独の慢性化が生じる仕組みの解明につなげる。

また、自分が仲間外れ、つまり社会的排斥状態にある映像を見ながらfMRI装置で脳活動を記録する実験では、潜在的自尊心が低い個人は、仲間外れにされている間、デフォルトモードネットワークと呼ばれる反すうや抑うつ感情

と関連するネットワークを構成する楔前部と後帯状皮質の結びつきが強くすることが判明。つまり、潜在的自尊心が低い個人は、高い個人と比べて仲間外れに対する反応が過剰である可能性が示されたのだ(図3)。

「孤独感が脳でも感知されることはすでに知られていましたが、潜在意識をさぐる『潜在連合テスト』(IAT)と脳機能の今回の実験調査を通じて、単に孤立や孤独の状況にあることが問題なのではなく、そこには自尊心や自己アイデンティティーが影響を与えていることが明らかになりました。ここが新しい点です」と太刀川さんは研究の成果を話す。

「ひとりぼっち」の偏見減らす キャラクター通じ意味伝える

孤立・孤独に関わるさまざまな研究成果を受けて、社会実装に取り組む総括グループでは、中学生に向けた、ひとりぼっちでも前向きな考え方ができ、いざとなったら助けを求められる教育プログラム、通称「e-BOCCHI」の開発に取り組んだ。「将来、孤立や孤独を感じても困ら

ないように、義務教育課程が終わる前に予防教育するのがよいと考えたためです」と菅原さんは中学生を対象にした理由を語る。

日本では、孤立や孤独をテーマとした中学生向けの心理教育プログラムはこれまでになく、どのような内容にするかかなり悩んだそう。スクールカウンセラーとしても活動経験がある榎引さんを中心に議論を重ね、最終的に孤立や孤独の知識を身に付けながら孤立や孤独への偏見を減らし、困ったときにはSOSを出せるようにすることを目標とした。

授業は全3回で構成。第1回は否定的に捉えがちな「ひとりぼっち」にも良い側面があることを学び、認知の変容を目指した。対人関係について学ぶ第2回では、人とつながり過ぎてつらくならないように複数のつながり先を作ることの大切さや、ゆるやかな関係の作り方を学んだ。そして、第3回では一人でも楽しい過ごし方を見つけつつ、一人でつらいときのSOSの出し方、相談先などを紹介した(図4)。

また、中学生に孤立や孤独という抽象的な概念を言葉だけで理解してもらうのは難しいと考えたことから、教材にはそれぞれの言葉をイメージしたクマのキャラクターを登場させた。孤立しているがその状態をどう考えているかは客観的に



図4 研究チームメンバーが中学生に対して授業を行い、プロジェクト終了後は各中学校の教師も授業に取り入れられるように動画の制作を進めている。



図5 左から、コリトゥン、スティグマン、コドクン、ココー。中学生でも孤立や孤独の概念を理解できるよう、工夫が施されている。

はわからない「コリトゥン」、ひとりぼっちは悪いことだという偏見を広める「スティグマン」、ひとりぼっちを悪いことだと思っていて、怒りと悲しみの表情を持つ「コドクン」、ひとりぼっちでも楽しむことができ、必要な時には周囲にも関わることができる「ココー」の4キャラクターだ(図5)。

榎引さんが自ら作成したキャラクターは、コドクンがつらい気持ちをためたピンを抱えていたり、スティグマンがひとりぼっちへの差別や偏見を広めるためのマントを羽織っていたりと、見ただけでもその意味が伝わってくる。また、授業の各回ではグループワークやロールプレイも取り入れ、学習効果を高める工夫もした。

中高授業で一定の教育効果 不登校・成人向けにも制作

2023年に茨城県笠間市などの中学校3校で中学2年生に向けてe-BOCCHIの授業を実施。24年には、都内の私立高校など合計9校で

授業を行った。「生徒からは、今まで『ぼっち』は悪いことだと思っていたがそうじゃないことがわかって良かったという前向きな反応が多いですね」と榎引さん。授業の実施前後の心理尺度を比較しても、孤独感と抑うつについては減少し、困ったときにSOSを出せる援助要請と自尊感情は増加したという。

一定の教育効果を上げられたことから、今後も笠間市ではこのプログラムを継続していく予定だ。現在は学校に來ている生徒を対象にしているが、不登校の生徒もいる。教師からはそうした生徒へのアプローチを要望する声もあり、学校に來られない生徒に向けたe-BOCCHIを開発する話もあるという。

太刀川さんは中学生向けの社会実装としてはかなり良いペースで進んでいると手応えを感じている。また、成人向けに「探偵は動けない」という孤独に関する6つのエピソードから成る映画と、認知再構成法や行動活性化を含む認知行動療法を体験できる動画を組み合わせた介入プログラムを制作中だ。2025年

には、何らかの方法で公開したいと検討している。

2025年はプロジェクトの最終年度となる。太刀川さんらは、プロジェクトとしての提言を行うシンポジウムを秋に計画中だ。「今回、心理学的、生物学的に得られた知見を基に、孤立や孤独の状態でもメンタルヘルスが悪化しないようにするにはどうしたらよいかを伝えることが、このプロジェクトとしてのまとめになると考えています」。

e-BOCCHIや「探偵は動けない」などにより今回の研究成果が広く社会に実装され、健康な「個立」が実現するにはどのくらいの期間が必要なのだろうか。太刀川さんらは、日本社会には孤立や孤独が良くないものという偏見があり、その価値観を変えるには時間がかかると推測する。私たちが孤立や孤独に対する認識を改め、一日でも早く誰もがより生きやすい社会を実現するにはどうすればいいか、いま一度考えたい。

(TEXT: 肥後紀子、PHOTO: 島本絵梨佳)

「これからも多くの中学生にe-BOCCHIを実施して、彼らの今後の人生が少しでも豊かになればと願っています」(榎引さん)。「日本は個人より集団を重視する民族ですが、一人でもいいんじゃないかということは積極的に発信すべきだと思います」(太刀川さん)。「私たちが開発するさまざまな介入プログラムで、健康な「個立」というものがあることを知っていただきたいです」(菅原さん)。



社会実装につながる研究開発現場を紹介する「イノベ見て歩き」。第20回は、バナナの重要病害である萎凋病の病原体である「フザリウム菌」に対して、特異的診断法と感染被害を未然に防ぐための戦略を構築し、南米のペルーで検出技術の普及を目指す、東京農工大学大学院農学研究院生物制御科学部門の有江力教授を訪ねた。

有江 力

Arie Tsutomu

東京農工大学 大学院農学研究院 教授

2023年よりSATREPS研究代表者

佐々木 信光

Sasaki Nobumitsu

同 准教授

高橋 さくら

Takahashi Sakura

同 助教

バナナに感染する「フザリウム菌」を診断 病害を未然に防ぎ、ペルーで普及を目指す

(左から)東京農工大学カルラトリゴン大学院生、有江 力教授、高橋 さくら助教、佐々木 信光准教授

病原性高い新型萎凋病菌の脅威 地域住民の生活水準を高めたい

東京都内の大学とは思えないほど広大な農場が広がる、東京農工大学府中キャンパス。有江力教授の研究室で見せてもらったのは、青々と育っているバナナの苗だ。しかし、私たちがよく口にするバナナは今、感染症の危機にさらされているという。有江さんは「その元凶が萎凋病です」と切り出した。その病原体はいわゆる「かび」であるフザリウム菌の仲間で、土壌に潜み根から侵入し、維管束を通じて地上部に広がる。やがて茎が割れて葉が黄変し、最後には枯れて死んでしまう(図1)。

多くの植物はフザリウム菌による

萎凋病にかかる。有江さんたちは、以前からトマト萎凋病菌がどのようにしてトマトに対する病原性を獲得したのかを研究していた。そのため、トマトの原産地であるペルーを含むアンデスにおいて同菌のフィールド調査を行っていた。その中で、バナナ新型萎凋病菌「TR4」のパンデミックがペルーにも迫っていることを認識し共同研究を開始したという。

1950年代に中南米でバナナ萎凋病の感染が拡大し、当時の主要品種であるグロスミッチェルが栽培できなくなり、産地が崩壊、莫大な損害が発生したという。その後、萎凋病に罹病にくいキャベンディッシュが、世界の貿易バナナの主力となった。ところが90年代に入ると、フィリピン

やマレーシアなどの東南アジア地域で、TR4による被害が発生。現在ではオーストラリアやアフリカ、南米大陸にまで広がり、ペルーでも感染拡大が懸念されている。

この脅威に立ち向かうために、有江さんは鳥取大学と国際農林水産業研究センター、理化学研究所、ペルーの大学や研究機関と共同でJSTのSATREPSに応募し、採択された。この事業では、ペルー内陸のセルバと呼ばれるアマゾンのジャングル地域を対象に、萎凋病の診断や防除策などの確立と普及を目指している。この地域には、TR4はまだ侵入していないが、主食用のバナナに感染が広がれば住民の生活を直撃することになる。住民の収入が低いという社会問題もあり、イノベーションを通じて同地域のバナナ生産の価値を向上し、住民の生活水準までも高めることが目的だ。

短時間で測定可能なLAMP法 スペイン語マニュアルも整備

一方、佐々木信光准教授、高橋さくら助教は、バナナに重イオンビー



図1 健康なバナナ(左)の茎はきれいでみずみずしいが、萎凋病に感染すると(右)維管束が褐変して茎が割れる。

ムを照射して変異を誘導し、TR4に強いバナナを育種する研究を行っている。また、バナナの細胞分裂が盛んな茎頂^{けいちよう}という部分には、萎凋病菌は存在しない。そこで茎頂を元に組織培養し、同菌に感染していない健全苗を増殖して、農家に配るシステムをペルーで普及させることも目指している。

こうした実験で欠かせないのが、在来型・新型を問わず肉眼では見えない萎凋病菌の植物組織や土壌からの検出だ。バナナが同菌に感染していないか、そもそも土壌に菌がいるかどうか、研究のあらゆる場面で菌を検出する必要がある。病原体の検出といえば、新型コロナウイルス感染症で有名になったPCR法がある。しかしPCR法は、測定の際に3段階の温度変化の繰り返しを経るため専用の機器も必要で、結果が出るまでに数時間を要するという欠点がある。

そこで、有江さんたちはLAMP法に着目した。LAMP法とは、目的とする遺伝子の配列を元に設計した6種類のプライマーと呼ばれるDNA断片を用い、鎖置換法を利用して目的DNAを増幅するものだ。この方法では、セ氏約60度の定温で診断が可能で、約1時間で結果がわかる。有江さんは「LAMP法はDNAを爆発的に増やすため、短時間で萎凋病菌に特有の遺伝子の有無がわか

ります。必要な装置も簡易なもので済みます」と、設備が整っていないセルバ地域でも診断に使用しやすい方法であることをアピールする(図2)。

LAMP法そのものは確立された技術だが、萎凋病菌の診断にするための研究は決してスムーズではなかったという。感度が高いだけに、同菌がないサンプルが陽性となることがあったからだ。学生が学会イベントでデモンストレーションをして失敗したこともあったと振り返る。「でも、そういう失敗を経験して学生は成長します」と有江さんは語る。その後、LAMP法で同菌の検出に成功し、そのプライマーセットは試薬開発を行うニッポンジーン社(東京都千代田区)で製品化された。SATREPSのウェブサイトでは試験方法のマニュアルを公開しており、現地ペルーでも活用できるようスペイン語のマニュアルもある。

学生間交流や人材育成も盛ん 農学のスタートは現場にあり

有江さんたちは学生と共に定期的にペルーを訪ね、現地の学生や研究者、さらに農家を指導する担当者に診断のデモンストレーションを行うなど、人材育成にも関わっている。その際には学生が説明する場面も多い(図3)。「頭の中でわかって



図3 これまでにペルーに滞在し研究を行った学生は延べ10人を超え、国際交流も活発だ。

いるつもりになっていることも、他人に説明しようとするとうまくいかないことが多々あります。自ら説明しようとすることで、研究への理解も進みます」。

佐々木さんは「ペルーの方々とは文化も生活様式も違いますが、2週間に1回オンラインで会議をしているので相手のことがよく理解できるようになります。その上で直接対話することが大切ですね」と話す。高橋さんも「画面越しでは栽培や培養の様子がわかりにくくても、現地に行けば把握でき、研究の方向性もはっきりします」と、現地に行く重要性を説く。人材交流も盛んで、ペルーからの留学生カルラさんが現在研究室に在籍しており、反対に有江さんの研究室からペルーに長期で滞在した学生もいるという。

「農学のスタートは現場にある」。現場でどのような問題が起きているのか、その課題をどう捉え、現場に返していくかが自分の仕事だと、有江さんは考えている。有江さんたちの研究がペルー、さらには世界のバナナ産業を救うことにつながると願いたい。

(TEXT: 島田祥輔、PHOTO: 島本絵梨佳)

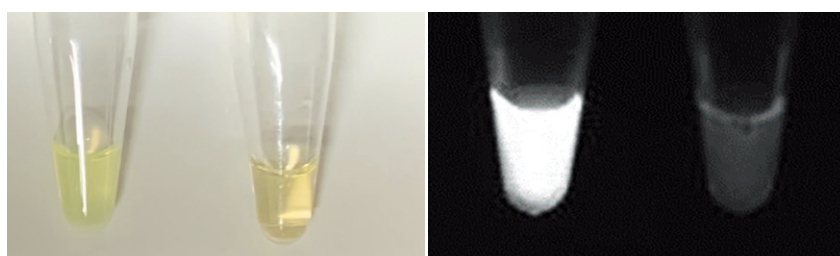


図2 LAMP反応の例。目視の場合、陰性であれば反応液の色は変化せず黄色いまま、陽性であれば淡い緑色に変化する。これに紫外線(UV)を照射すると、陽性であれば蛍光が観察される。

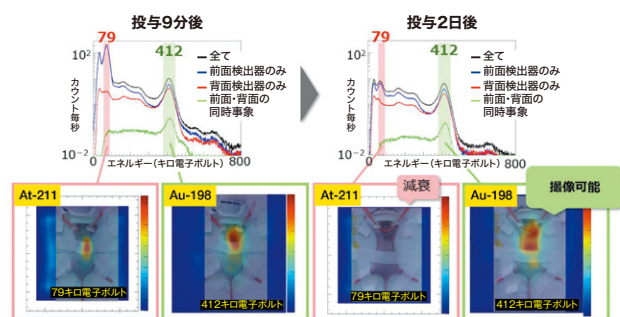
マウス体内の金ナノ粒子の分布を可視化 治療薬を長期追跡して効果的ながん治療を実現へ

手術不要で副作用の少ないがんの治療法として、放射性の治療薬を投与して腫瘍にダメージを与える核医学治療が注目されています。中でも、アルファ崩壊する放射性元素である質量数211のアスタチン (At-211) は、国内のサイクロトロンでも容易に製造できることから治療薬として有望視され、臨床応用へ向けた研究が進んでいます。しかし、半減期が7.2時間と短く、崩壊直後に放出されるX線の強度が2日後には約100分の1になるため、数日間にわたる体内での分布や動態を追跡できませんでした。

早稲田大学大学院先進理工学研究科の越川七星大学院生と同大学理工学術院の片岡淳教授らの研究チームは、At-211を腫瘍に届ける薬剤キャリアである金ナノ粒子の体内分布を直接可視化する手法を考案し、この問題を解決しました。同チームは、金の放射性同位体である質量数198の金 (Au-198) を用いて粒径5ナノ (ナノは10億分の1) メートルの粒子を合成。半減期が2.7日の同粒子とAt-211を結合し、マウスに投与した直後 (9分後) と2日後に、At-211が放出するX線と金ナノ粒

子が放出するガンマ線とのエネルギースペクトルを測定し、併せて独自開発のカメラでそれぞれの2次元画像を撮影しました。

投与9分後には腫瘍に集積しているAt-211と金ナノ粒子からのX線とガンマ線のピークが確かめられました。2日後にはAt-211のX線は減衰しましたが、金ナノ粒子のガンマ線は引き続き撮像できることを確認でき、金ナノ粒子の長期的な追跡が可能であることがわかりました。今回の手法により、抗がん剤など従来は撮像できなかったさまざまな治療薬の体内での分布を調べられるようになり、効果的ながん治療の実現が期待されます。(TEXT: 中條将典)



投与2日後にはAt-211からのX線 (79キロ電子ボルト) はほぼ減衰するが、Au-198からのガンマ線 (412キロ電子ボルト) は確認できる。

機能性流体活用し岩石の割れ目多方向に 新たな破砕法で地下資源開発のコスト低減など期待

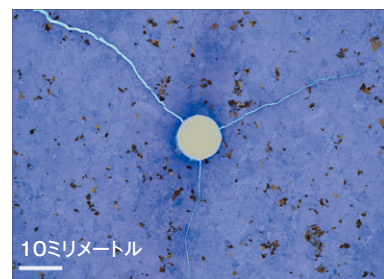
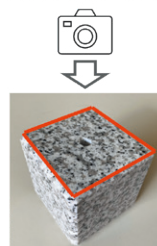
新しい資源として注目されているシェールガスの掘削や、地球温暖化対策の1つである二酸化炭素の地下貯留などでは、地下の流体を流れやすくすることが効率の良い手法につながります。地面に掘った縦穴を通して数キロメートルの地下に高圧の流体を流し込み、その圧力で岩石を破砕して人工的に割れ目を作る水圧破砕は、カギとなる技術です。しかし、従来の水圧破砕の手法では、割れ目の方向は地下の状態により一方向に決められ、それ以外の方向に作ることはできませんでした。

東北大学流体科学研究所の椋平祐輔准教授らの研究チームは、粘性が速度によって劇的に変化する「せん断増粘流体」と呼ばれる機能性流体を用いて、花こう岩から作った岩石試験片を破砕する実験を実施。試験片に空けた縦穴から多方向に割れ目を作ることに成功しました。せん断増粘流体は、微細な粒子が溶媒中に分散し、外からの力に対して集合体を作っており、それによる抵抗で粘性

が増します。地下の環境では、流速が速くなると一時的に固化します。同チームは、流体が固化する際に大きな圧力が生じ、多方向に割れ目ができたと考えています。

同チームが開発した手法によって、今までアクセスできなかった地下資源を回収できるようになるほか、地熱開発のように資源の貯留部が不均質に分布している状況でも貯留部に到達しやすくなり、掘削コストを下げられる可能性があります。さらに、近年ますます掘削深度が深くなっている鉱山開発での安全対策など、さまざまな分野への応用も待たれます。(TEXT: 中條将典)

鉛直方向から撮影



水圧破砕した花こう岩の試験片から作成した薄片を紫外線照射して撮影した顕微鏡写真。3方向に美しく伸びた割れ目が明瞭に見える。

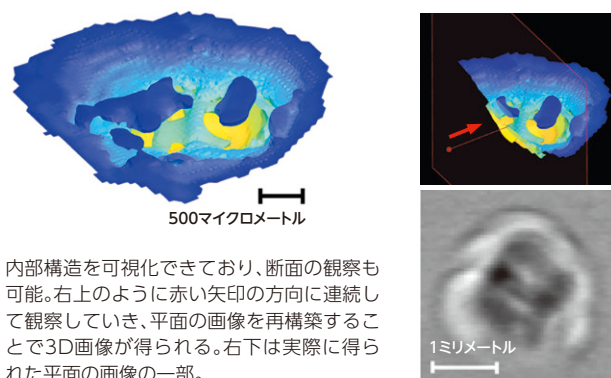
内耳蝸牛の小さな内部構造を非破壊で3D化 テラヘルツ波が反射し戻る時間で形状を観察し診断

難聴の多くは、耳の奥にある音をつかさどる器官である内耳^{かぎゅう}蝸牛の障害が原因とされています。内耳蝸牛は頭蓋骨深部にあるため、光計測では骨を透過できず、X線撮影では被ばくのリスクがあり、内部の観察が困難です。可視光と電波の中間帯に位置するテラヘルツ波は、内部を被ばくさせずに観察できることから、安心安全な技術として注目されています。しかし、波長は約300マイクロ(マイクロは100万分の1)メートルであり、それより小さなマイクロメートルレベルの対象物は観測できませんでした。

早稲田大学大学院情報生産システム研究科の芹田和則准教授および神戸大学医学部の藤田岳准教授らの研究チームは、マウスを用いた実験により、テラヘルツ波を利用して内耳蝸牛を観察しました。研究チームは、非線形光学結晶にフェムト(フェムトは1000兆分の1)秒オーダーの短い時間だけ強いレーザー光を照射すると、テラヘルツ波が局所的に発生して点光源として扱えることに着目。点光源から発生したテラヘルツ波が、蝸牛内部で反

射して戻ってくるまでの時間を測定して距離や形状を調べる独自の手法と、機械学習を利用した画像解析法を開発しました。これらを適用することで、内耳蝸牛内部の3次元構造をマイクロメートルレベルで初めて可視化し、断面観察にも成功しました。

今回の成果により、難聴を含む耳の病気の詳しい診断が実現し、耳の障害を早期に発見できるようになる可能性があります。さらに、生体内でのさまざまな診断や、テラヘルツ波を利用した新しい内視鏡や耳鏡など医用デバイスの開発が進むことも期待されます。(TEXT:中條将典)



内部構造を可視化できており、断面の観察も可能。右上のように赤い矢印の方向に連続して観察していき、平面の画像を再構築することで3D画像が得られる。右下は実際に得られた平面の画像の一部。

光技術で磁石のとびとびの値を直接観測 電子に情報を保持する量子デバイスの開発に道

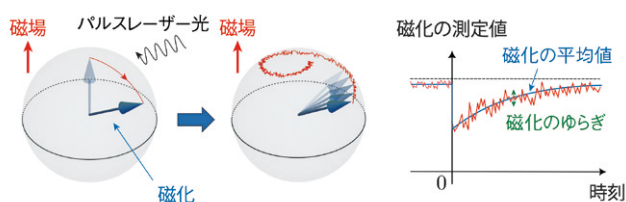
物理学の実験においてノイズは通常、精密な測定を妨げる邪魔者ですが、ノイズが重要な情報を担うことがあります。その典型例が、物理系の何らかの流れを担う粒子の数が統計的に変動することで生じる「ショットノイズ」です。

磁石は、電子が持つ小さな磁石に相当する電子スピンの同じ向きにそろうことで磁力を持ちますが、電子スピンは連続した値をとらず、磁石の向きと強さを表す物理量である磁化も非連続の値をとります。物理学では、連続しないとびとびの値をとることを量子化と呼びます。最近になって、磁石にマイクロ波を当てた際に流れる電流の変化を測定することで、磁化のショットノイズを観測する提案がされてきましたが、実験が困難でこれまで実現されていませんでした。

東京大学物性研究所の加藤岳生准教授らの研究チームは、近年の光計測技術の進歩により、磁化を効率良く高速で測定することに着目。磁化のショットノイズを光技術で測定する新手法を提案しました。同チームは、磁場の

中で安定した状態にある磁石にパルスレーザー光を当てて電子のスピンの向きを乱して元の状態に戻っていく時に、磁化の平均値周りの揺らぎとして観測されるショットノイズを理論的に定式化。このショットノイズを測定することによって、磁化の量子化の大きさを決定可能であることを示しました。

今回の成果により、1個1個の電子スピンの変化が磁化のショットノイズを通じて測定できるようになりました。磁石中の電子スピンを操作して情報を保持する量子デバイスの開発だけでなく、レーザー技術の有望な応用先としても重要です。(TEXT:中條将典)



磁石にパルスレーザー光を当てると、磁化は磁場の周りで回転しつつ、元の状態に戻っていく(左)。この時測定される磁化の平均値まわりの揺らぎの強度に磁化の量子化の情報が含まれる(右)。

ITを活用した「健康行動セキュリティ」を提唱 誘惑に負けやすい現代人を健康リスクから守る



娘と初めての雪遊び。道産子の僕にとって、雪は無条件に童心に返れる特別な存在です。

Q1 研究者を目指したきっかけは？

A1 高専で情報技術の未来に魅了

幼少期から好奇心旺盛で、工作から調理まで、変なモノを作っては妹や友人に披露し、その反応を楽しんでいました。何かを作って仕掛け、人の反応を確かめる遊びは、研究者となった今の自分の原点になっています。

中学では部活中心の生活で、漠然と普通高校への進学を考えていましたが、3年生の夏に函館工業高等専門学校の体験入学に参加し、考えが変わりました。研究を展示する先輩たちの姿を見て、それまで縁のなかった情報技術を使いこなす自分の未来像にワクワクし「ここで学べば絶対に楽しい」と直感して、高専への進学を決意しました。

研究者を本格的に目指すようになったのは高専の卒業研究を始めた頃です。サッカー部を引退し、空いた時間と体力を研究に注ぎ込みました。高専卒業後は、そのまま専攻科で2年間学んだ後、奈良先端科学技術大学院大学に入学し、IoTを扱う研究室に入りました。

中村 優吾
Nakamura Yugo

傲慢に研ぎ
謙虚に究める

Q2 現在取り組んでいる研究は？

A2 生活習慣を調節する仕組みづくり

私は「健康行動セキュリティ」という概念を提唱しています。人の自制心には限界があり、望ましい行動ができないことがよくあります。現代人はインターネットの発展で増えたさまざまな誘惑に負けやすく、それが生活習慣病の一因となっている可能性があります。病気などの健康リスクから身を守るためには環境をデザインする必要があります。と考え、人々が人工知能(AI)やIoTを使って生活習慣をコントロールできる仕組みをつくろうとしています。

これまでに、腹囲測定や姿勢推定で行動を可視化するベルト型ウェアラブルデバイス「Waiston Belt」や、香りを調整することで飲み物の味や印象を変化させるマグカップ「Aromug」、センサー付きの箸で食事内容を認識し、それを絵画として可視化して栄養バランスの良い食事を促すIoTシステム「eat2pic」などを開発しました。香りを使った味覚の拡張技術は、すでに国内飲料メーカーと共同研究を始めています。

また、モバイルゲームなどのデジタル依存を設計段階から防ぐための研究にも注力しています。最近では、アクティブユーザー20万人のモバイルゲームの開発者と協力し、ロード時間

延長や画面のグレースケール化といった介入がユーザーの行動に与える影響を世界規模で検証しました。



食事を取るたびに、絵が着色されていく「eat2pic」。和の感性をくすぐりつつ、自然に楽しく健康につながる仕組みの実現を目指しました。

Q3 研究者を目指す人にメッセージを

A3 自信と挑戦心を持ち、客観的に

今後は、これまでの研究を生かして健康行動セキュリティの概念を体系化していきたいです。同時に、AIoT(AI×IoT)を使った行動変容支援ツールを一般の人が簡単にカスタマイズできるキットの開発を進めています。

これから研究者を目指す人には、私のモットーである「傲慢に研ぎ、謙虚に究める」という言葉を贈りたいです。研究の初期段階では大きな自信と挑戦心を持って挑み、形にしていって段階では自分の意見を客観的に見つめて謙虚に取り組むことが大切です。

また、社会情勢や技術の進展にアンテナを張り続け、それに応じて自分の研究テーマやアプローチを柔軟に変えることも必要です。ぜひ、秘めた個性と社会とのバランスを大切にしつつ、世の中に山積する重要で複雑な問題に挑戦し、研究を楽しんでください。

(TEXT: 畑邊康浩)

九州大学 大学院システム情報科学研究 情報知能工学部門 助教
北海道出身。2020年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。同大学先端科学技術研究科特任助教を経て、21年より現職。同年よりさきがけ研究者。

