

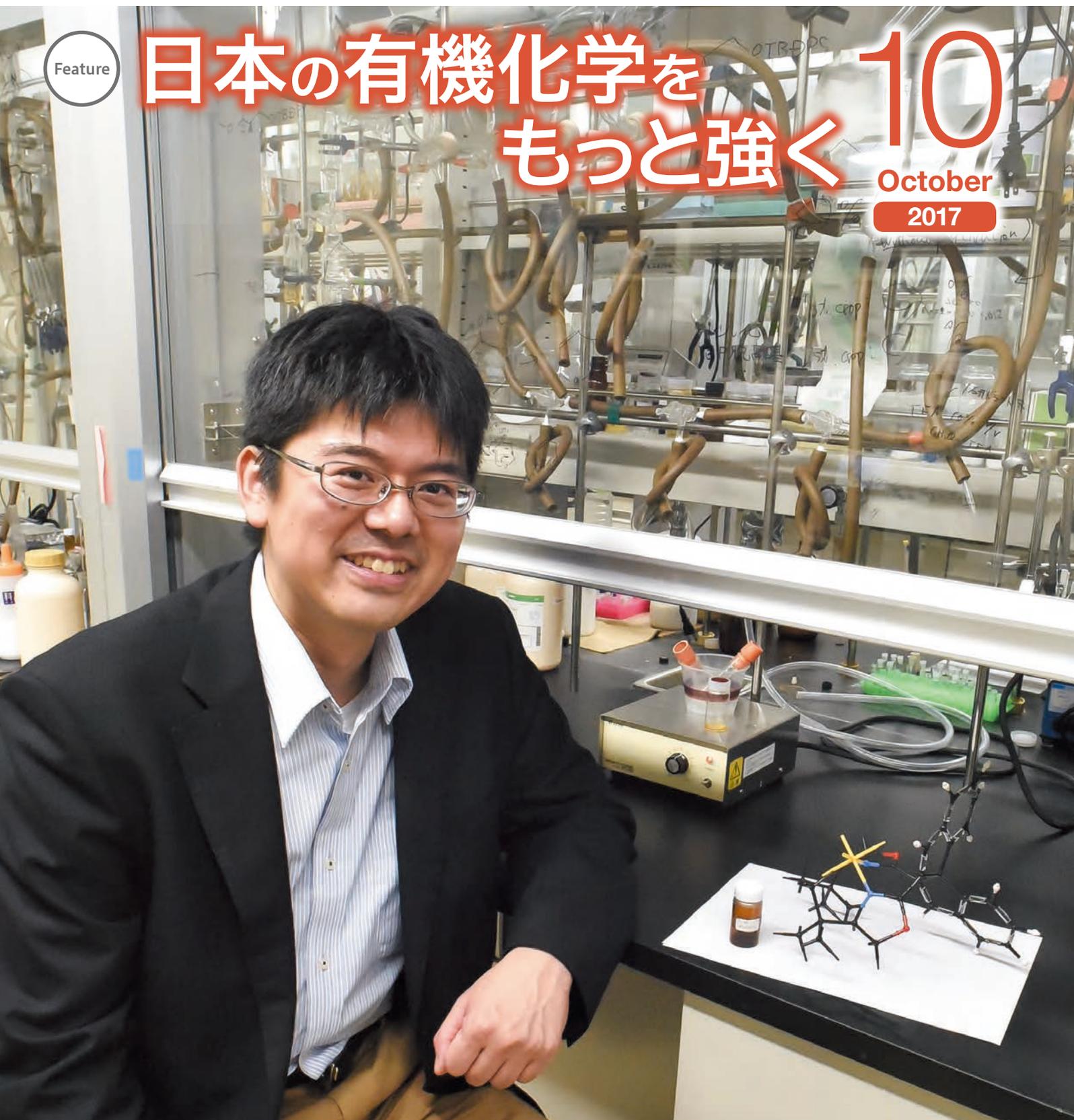
# JST news

未来をひらく科学技術

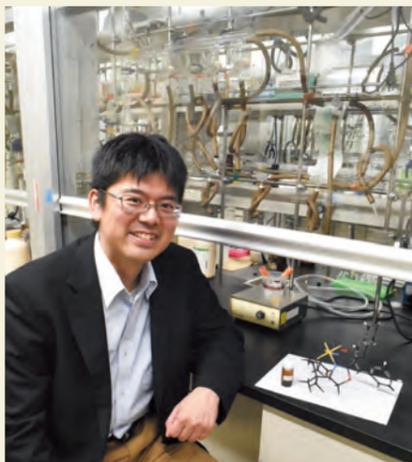
Feature

## 日本の有機化学をもっと強く 10

October 2017



3 Feature  
日本の有機化学をもっと強く



表紙写真

北海道大学大学院薬学研究院の松永茂樹教授は、希少金属であるロジウムに代わり、資源量が豊富なコバルトの触媒を開発した。反応工程数も減らし、製造費用や副産物削減も実現できる。ドラフトに置かれたビンにはコバルト触媒が入っている。



12 はかる 第5回  
細胞内の温度変化から  
ミクロの熱収支の謎に迫る



14 NEWS & TOPICS  
着られて洗えるデバイス「e-skin」を開発、  
個人向け提供を開始

CO<sub>2</sub>フリー燃料としてのアンモニアバリューチェーン形成に向けて  
「グリーンアンモニアコンソーシアム」を設立

生きた細胞でDNA収納の様子を観察することに成功  
カビの菌糸が伸び続ける仕組みを解明

16 さきがける科学人 Vol.66  
「機械翻訳」で社会に貢献  
中澤 敏明

JST情報企画部 研究員  
京都大学 大学院情報学研究所 民間等共同研究員



編集長：上野茂幸／企画・編集：今津杉子・菅野智さと・佐藤勝昭・月岡愛実・鳥井弘之・村上美江  
制作：株式会社ミュール／印刷・製本：北越印刷株式会社

日本の有機化学をもっと強く

有機化学は日本の「お家芸」ともいわれるほど、世界的に高いレベルを誇る。その強みを生かし、地球温暖化やエネルギー枯渇など、日本だけでなく世界が直面する問題解決への貢献をめざすのが、ACT-C「低エネルギー、低環境負荷で持続可能なものづくりのための先導的な物質変換技術の創出」だ。國武豊喜研究総括が語るACT-Cの集大成とともに、有機化学に新たな息吹を吹き込む若手研究者たちの挑戦を紹介する。



くにたけ とよき  
國武 豊喜

ACT-C 研究総括/  
九州大学 高等研究院  
特別主幹教授

1962年 ペンシルベニア大学大学院博士課程修了。カリフォルニア工科大学博士研究員、九州大学工学部教授、北九州市立大学教授、北九州産業学術推進機構理事長などを歴任。2016年より九州大学高等研究院特別主幹教授。14年 文化勲章、15年 京都賞受賞。

有機化学の伝統を未来へつなぐ

触媒の力で  
持続可能なものづくり

有機化学における日本人研究者の貢献は大きく、日本の有機化学を世界的なレベルに押し上げてきた。化学反応を効率的に進ませる触媒は、材料や医薬品などを作る技術として豊かな生活を支えている。省エネルギーや省資源を支える技術として、触媒はますます力を発揮すると期待される。

「ACT-Cは、日本が伝統的に強い分野と、社会的に重要な分野とを組み合わせたプログラムです」とACT-C研究総括の國武豊喜さんは語る。ACT-Cは、人工光合成を中心とする低炭素社会の実現、医薬品や機能性材料の持続的な生産、新しい機能性材料や有機エレクトロニクスの創出に重点を置いて、触媒による物質変換技術の開発をめざす。研究総括補佐にノーベル化学賞受賞者の根岸英一パデュー大学

特別教授を迎え、2012年度に発足した。5年目の今年、ACT-Cの研究開発活動はいよいよ集大成となる。

成果を最大限に  
引き出す仕組みに

集中的に効果を上げるため、研究課題の募集は2012年春の1回に限った。予想以上にたくさんの応募があったという。「どの提案も興味深く、面接を5日間も続けて絞り込みました」。現在は53の研究課題が研究者単独あるいはチームを組んで進められている。

「大学などの研究者は、研究以外の仕事も多く、とても忙しいのが現状です。研究に専念できる時間を確保することが、有機化学研究の未来のためには大切です」。そこでACT-Cでは、なるべく研究者に負担をかけず、研究の発展を促す仕組みづくりを心がけた。

ACT-Cの領域アドバイザーには世界的

な実績のある研究者10人が着任し、それぞれが担当する研究者と密接に交流してきた。研究者は3カ月ごとに、担当の領域アドバイザーに研究進捗レポートを提出する。この分野の発展を支えてきたベテランから寄せられた真摯なアドバイスに刺激を受けた研究者も多い。

全研究者が参加する年1回の研究報告会（領域会議）では、ポスター発表など研究者が分野の垣根を越えて広く交流できるように工夫し、共同研究の促進など、新たな研究ネットワークも生まれている。

世界レベルの環境で  
さらに高みをめざす

ACT-Cには、若手からベテランまで年代も専門分野も異なる研究者が集まった。「ベテランだから、若手だからという扱いの違いは一切ありません。大学の先生などは、要職に就いたり定年退職したりすると研究を退くことが多いですが、それでは

培ってきたノウハウが失われてしまいます。研究体制が整っていれば、ベテランの先生も研究者として参加できるプログラムとしました。

大学の学長や学会の会長を務めるようなベテラン研究者も、多忙を極めながら領域会議に毎回出席し、1人の研究者として自身のポスターの前に立ち、活発に議論していたという。

「世界的レベルの実力を持つベテラン研究者と同じ土俵に上がることは、若手研究者の自信になります。ベテランだけでなく、若手からも世界に問える研究成果が生まれました。もともと意識の高い研究者ばかりですから、実力者たちの刺激を受け、能力をより伸ばすことにつながったのでしょう。」

ACT-Cは、若手研究者の海外研究機関での講義を支援する「レクチャーシップ」制度を、JSTの他の事業に先駆けて導入した。単なる学会の口頭発表ではなく講演活動を支援することで、海外の研究者と議論や交流を深め、将来の国際的リーダーとして研鑽を積む機会を提供した。

「レベルの高い研究は何かを常に頭に置き、人と違うことや影響力が大きいことをやろうという意志をはっきり持つことが大

切です」と國武さんはエールを送る。

### 成果の実用化と有機化学の未来のために

ACT-C発足当初は、各研究課題が順調に進むことに常に気を配った。思うように成果が上がらないと聞けば、領域アドバイザーは研究者のもとを訪れて意見交換を繰り返し、手助けを惜しまなかった。研究の体制や進捗状況が安定するにつれて、世界と勝負できる質の高い論文や、日本化学会をはじめとする国内外の受賞など、成果も見えてきた。

「良い仕事を見るのはうれしく楽しいもので、大きな達成感を持っています。どれも興味深く、刺激を受けています。」

今後は研究成果を具体的な技術や実用

化につなげるための努力が求められる。産業への応用可能性を積極的に情報発信しようと、企業研究者との意見交換や発表の機会を設けている。今年3月には若手研究者と企業経験のある有識者とが意見交換する社会的貢献推進会議を開催した。8月には、化学関連の企業が集まる新化学技術推進協会(JACI)と連携した研究交流会を開催し、ACT-Cの研究成果の展開を検討している。

「日本の有機化学は、世界に負けにくい研究者の層も厚く、極めて高いレベルにあります。ACT-Cで期待以上の成果が得られ、この分野をもっと強くできると確信しました」と國武さんは力を込める。日本の有機化学のさらなる飛躍を担うのは、ACT-Cの研究者たちに違いない。

## ACT-C公開シンポジウム

### 第7回CSJ化学フェスタ JST特別企画「ACT-Cプログラムが生み出す未来の化学技術」

ACT-Cの研究成果を社会に発信するとともに、成果のさらなる展開などを議論します。

- 日 時：2017年10月17日(火) 10:00～17:05
- 場 所：タワーホール船堀(東京都江戸川区)
- プログラム：<http://www.csj.jp/festa/2017/program.html#C01>
- お問い合わせ：研究プロジェクト推進部ACT-C担当 E-mail: info-act-c@jst.go.jp



領域会議の集合写真。國武研究総括(前列右から2人目)、根岸研究総括補佐(同3人目)、領域アドバイザー、全研究課題の研究者が一堂に会した。



# 「切れない結合」を触媒で切る

さまざまな化学結合を切断する手法の開発に力を入れている大阪大学大学院工学研究科の鷹巣守教授は、有機化学の常識では切れないとされていた非常に安定なシグマ結合を、新しい触媒を用いて切断することに成功した。これまでの常識を覆したこの論文は世界中で引用され、医薬品開発や機能性材料開発の分野に大きなインパクトを与えている。

とびす まもる  
鷹巣 守

大阪大学 大学院工学研究科 教授

2001年 大阪大学大学院工学研究科博士課程修了。博士(工学)。米国マサチューセッツ工科大学、武田薬品工業化学研究所、大阪大学大学院工学研究科附属アトミックデザイン研究センター准教授などを経て、17年より現職。

## 化学結合の切断方法をもっと多様化させる

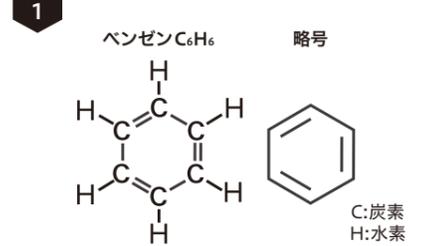
望みの有機化合物を化学反応によって生み出す有機合成は、結合の「切断」と「形成」からなる。しかし「結合の形成は研究が進んで成熟しているのに対して、切断のほうは軽視されがちでした」と鷹巣さんは指摘する。確かに、形成できる結合は多数開発されているが、切断できる結合は、炭素とハロゲン(塩素など)の結合や炭素間の二重結合など、種類が限られている。そして、従来の有機合成反応は、これらの切れやすい結合に依存してきた。ここに一石を投じたのが鷹巣さんである。「この依存から脱却するために、普通は切

ろうと思わない不活性な化学結合を切ろうと考えました。200～300度に加熱するような厳しい条件ではなく、実験室レベルの穏やかな条件で切断できる結合の種類を触媒技術の開発によって多様化しようと、メトキシ基(-OCH<sub>3</sub>)やシアノ基(-C≡N)など、約15種類の結合の切断方法を研究しています。

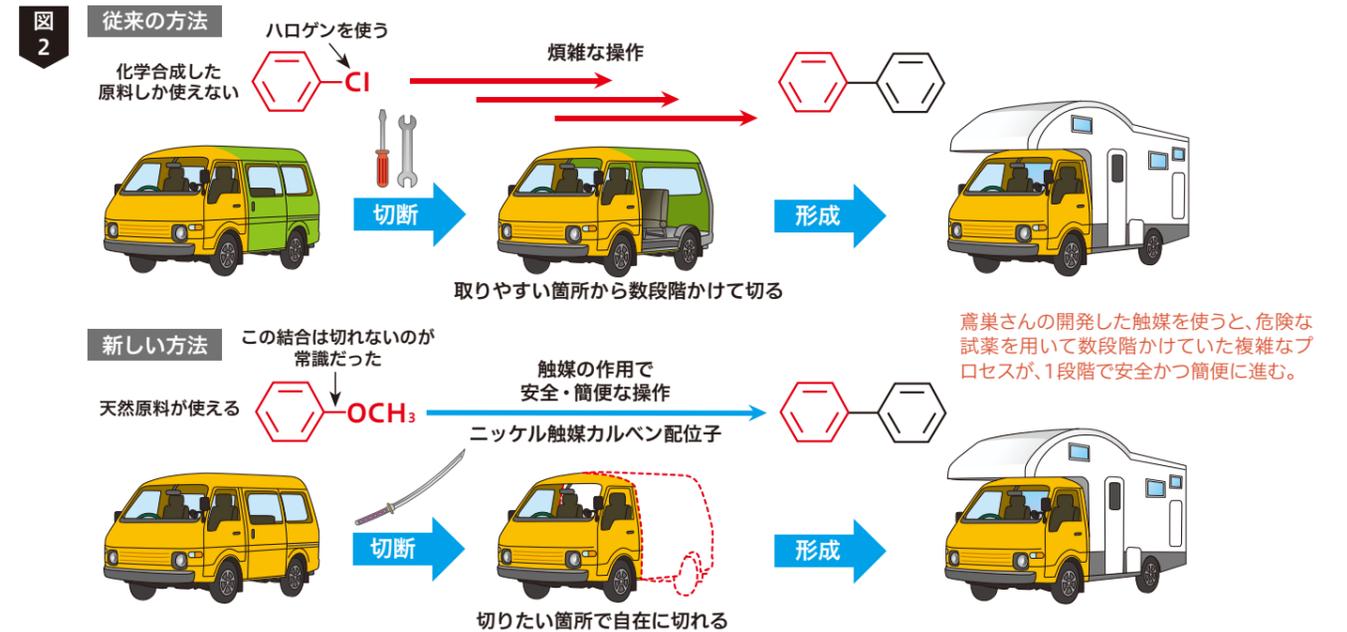
## 日本人化学者の十八番 クロスカップリングに新方法論

医薬品や機能性材料などの開発では、有用な化合物を探索するため、なるべく多種類の化合物を効率よく作る必要がある。そこで便利なのが、金属系触媒を利用してベンゼン環(図1)同士を直接つなげ

### 図1 ベンゼン環の構造



るクロスカップリング反応だ。細かい工夫を得意とする日本人を中心に、約50年前から数々の反応が開発され、2010年には根岸英一博士と鈴木章博士がノーベル化学賞を受賞。しかし、どの方法にも有害なハロゲンを使って「切れやすい結合」を作る工程が入っていた。



鷹巣さんはここにも新たな方法論を持ち込み、有機化学の常識では切ろうとも思わない「ベンゼン環とメトキシ基の間」を切ってみせた。有機合成として利用できるレベルでは世界初の成果で、ハロゲンを使わずに済む画期的かつ簡便な方法である(図2)。しかも、原料として使われる芳香族エーテルは天然由来の成分で、ハロゲンを使う場合に比べて環境負荷も小さい。この成果を発表した論文は多くの研究者に引用され、昨年のリサーチフロントアワードに選出された。米国のトムソン・ロイター(受賞当時)が、日本が世界をリードする先端研究領域で活躍し、貢献が認められた研究者を選出したもので、注目の高さがうかがえる。

有機化学は予想外の要因や理論が未確立の部分もまだ多く残されている。「実験を重ね、新たな仮説を立てていくのは大変です。でも、紙と鉛筆とフラスコ程度で、すぐに自分のアイデアを試せる手軽さ、自由度の高さが、有機化学の魅力です。しかも、成果が出れば社会に大きなインパ

クトを与られます」。

### 理屈を超える努力と洞察力でセレンディピティを引き寄せる

「新しい発見の影には必ず努力がある」と語る鷹巣さん。「理屈は狭い範囲でしか成り立たないもの。新しい発見は理屈を超えたところにあるものです。例えば、理屈上は酸を入れるべき場合なら、塩基を入れる実験もしてみるなど、理屈と正反対のことも実験します」。少年時代、推理小説の中のあっと驚くような謎解きが大好きだったというもうなづける。

小学校5年生の時の担任の先生が、どんな質問にも答えてくれたことが今につながっているという鷹巣さんは、教育にも熱心だ。学生には、他人の研究テーマに興味を持ち、首を突っ込んで意見すること、もらった意見は、たとえ的外れに思えても、向き合って自分の糧とすることを勧めている。新たな発見を見逃さない洞察力はこうして養われるのかもしれない。「何でも自由に言い合える環境を作るのが私の仕

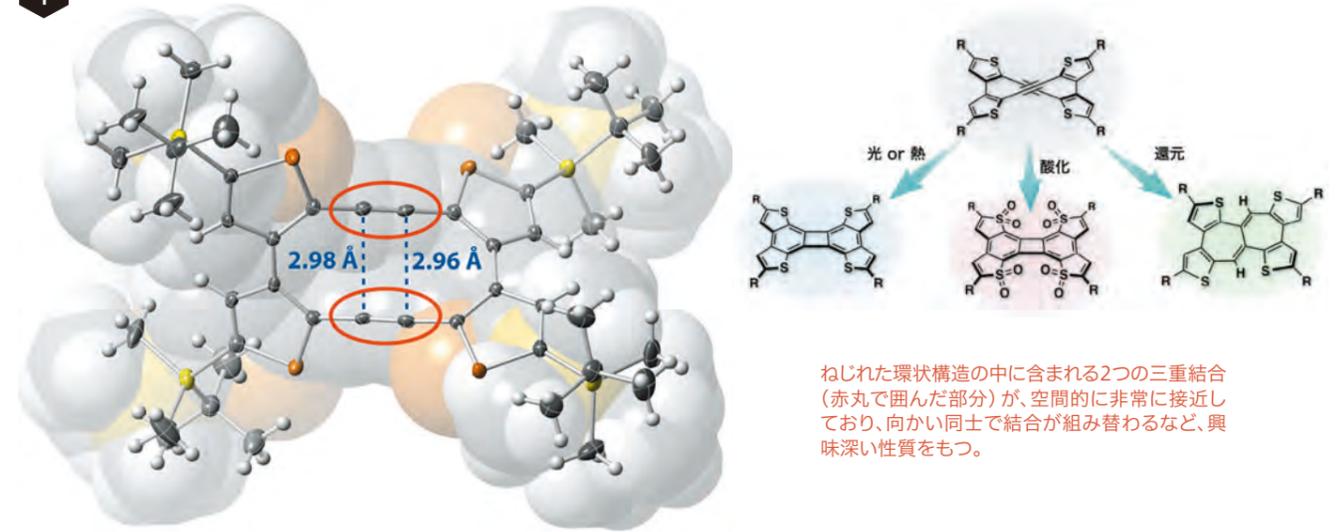
事だと思っています」。

### 社会とつながり、日本の有機化学の未来を切り開く

ACT-Cでは専門的な面だけでなく、社会的な意味での気づきも多かったと鷹巣さん。「企業の研究部門トップが語られた産学連携の在り方から、大学でしかない基礎研究の大事さを再認識しました」。若手のワークショップを通して、分野の壁を越える必要があることを痛感し、大阪大学の若手研究者を中心に月2回のランチミーティングも始めた。

4月から自分の研究室を主宰し、今後は具体的な出口として、有用な化合物の開発にも意欲を見せる。持続可能な社会のために、合成と反対の分解、つまり結合を切って原料に戻す研究にも強みが生かせるのではないかと考えている。「世界のトップに行く日本の有機化学の灯を私たちの世代が受け継いでいかなければ」と話す鷹巣さん。良い意味でのプレッシャーを感じながら、新たな挑戦を続けていく。

図1 ACT-Cの研究で合成に成功したパイ電子系分子(左)とその誘導体(右)



ねじれた環状構造の中に含まれる2つの三重結合(赤丸で囲んだ部分)が、空間的に非常に接近しており、向かい同士で結合が組み替わるなど、興味深い性質をもつ。

なります。論文の最初に示す図では、どのような課題をどのような考え方で解決するのか、新しい概念を描くことにこだわっています。不可能と言われるような性質や機能をもつ化合物を合成し、新たな材料開発を実現できたらうれしいですね。

有機化合物は分子設計の自由度が非常に高く、組み上げ方によって性質や機能を自在にデザインできる。そこが魅力でもあり、難しい面でもあるという。ACT-Cでは、パイ電子系分子のデザインと並べ方に着目した研究を進めている。

「有機エレクトロニクス材料において、分子は孤立した状態ではなく、多数が集まった固体状態で用いられます。そのため、1つ1つの分子の性質だけでなく、それらが密集した状態でどう振る舞うかが重要ですが、それを操るのは容易ではありません。私たちは分子のかたちに注目し、固体状態での並び方も含めて制御できるような優れたパイ電子系分子の開発に挑戦しています」。

### ねじれた分子で非平面を作る

まず、目的の物性をもちそうな構造式を紙に描いたり、模型を組んだりして分子をデザインする。その後、量子化学計算でシミュレーションし、目的の物性をもちうるかどうかを検証する。そして、狙いの分子を最先端の合成技術を駆使して創り上げ、得られた分子がどのような性質や機能をもつかを確かめる。

優れた発光機能や半導体特性を期待する場合、高い平面性をもった剛直なパイ電子系化合物が好んで用いられる。深澤さんのアイデアは、こうしたパイ電子系分子に非平面の構造をもたせることで、分子の並び方を制御するというものだ。とはいえ、思い通りの曲面構造をもつ分子を合成するのは非常に難しい。

これに対して深澤さんは、効率的合成法の開発から取り組んでいる。例えば、1つの環をひねって8の字にしたような構造をもつ化合物(図1)を効率よく合成する方

法を編み出した。この分子がユニークな磁気的性質や光学的特性をもつこともわかってきた。2つの三重結合を空間的に近い位置に強制的に配置することで、光や酸化・還元を受けて容易に新たな環状化合物に変換できる。

### 誰も作ったことのない優れた分子を作りたい

ACT-Cでは、日本が世界に誇る有機化学のトップランナーたちが、年齢や経験にとらわれず同じ土俵で忌憚なく意見を交換できたという。

「世代を超えた研究者間でネットワーク形成ができたことは、得難い経験でした」。炭素骨格自体のデザインのほか、従来の有機材料にあまり使われてこなかった元素を分子に組み込む研究にも意欲的に取り組んでいる。また、合成化学だけに終始するのではなく、生命科学や材料科学など、異分野連携にも積極的だ。「誰も作ったことのない、劇的に優れた物性をもつ分子を生み出したいですね」。

最近、気掛かりなのは、「小学生のなりた職業ランキング」の男女差だ。女の子のランキング上位にはあまり入らない「研究者」が、女の子にとっても身近で憧れの職業になることに、自身の活躍が少しでも寄与できればと考えている。

高校時代に新しい物質を生み出す化学に魅力を感じたという深澤さん。この世になかった物質を生み出し、社会に貢献すべく、挑戦を続けていく。

## 新たな機能をデザインし不可能を可能に

有機エレクトロニクス材料に用いられるパイ電子系と呼ばれる分子群は、分子自体の構造に加え、それらの並び方が性能を左右する重要な鍵となる。名古屋大学大学院理学研究科の深澤愛子准教授は、優れた機能性材料開発を視野にさまざまな新しい分子の設計と合成に挑戦している。

ふかざわ あいこ  
深澤 愛子

名古屋大学 大学院理学研究科  
准教授

2006年 京都大学大学院工学研究科博士後期課程中退。博士(理学)。名古屋大学大学院理学研究科助教、カルガリー大学(カナダ)訪問研究員などを経て、13年より現職。

### 新しい有機化合物のデザイナー

「昔から、どんな分子構造がどんな機能を発現するかということに興味がありました」

と話す名古屋大学の深澤愛子准教授。望みの機能をもつ分子をデザインするための、新たな分子設計の方法論を提示することにこだわってきた。「新たな分子のデザインは、学術的な壁を越える1つの鍵に



2つの三重結合が空間的に接近した構造をもつねじれた分子の模型を手に。

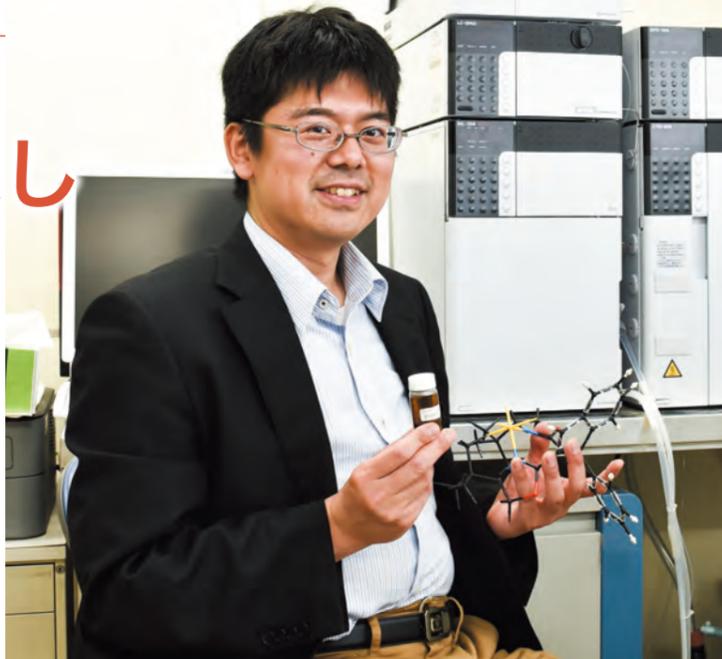
# コバルト触媒で宝探し

医薬品合成に利用される触媒の多くは、高価な希少金属だ。北海道大学大学院薬学研究院の松永茂樹教授は、資源量が豊富で安価な汎用金属に、希少金属を超える性能を持たせようと、独自の触媒設計に挑む。まだ知られていない触媒の組み合わせや機能の「宝探し」で、効率的で環境にやさしい医薬品合成をめざす。

まつなが しげき  
**松永 茂樹**

北海道大学  
大学院薬学研究院 教授

2001年 東京大学大学院薬学系研究科博士後期課程中途退学。博士(薬学)。同大学院薬学系研究科講師や准教授を経て、15年より現職。



## 夢の実現が 新たな夢を生む

有機化学の魅力は「ゼロから分子を自由に設計できること」だと、北海道大学大学院薬学研究院教授の松永茂樹さんは目を輝かせる。「アイデア1つで革新的な機能を持った触媒を生み出せます。有機化学には無限の夢があります」と言葉を続ける。

医薬品や液晶など日常生活を支える有機化合物の多くは、炭素が複雑に連なった骨格を持つ。結合させるのが難しい炭素同士を思い通りにつなぎ、新しい物質を作り出すことは化学者の長年の夢だった。金属触媒を活用して、これをかなえたのが「クロスカップリング反応」だ。

かつては夢だった化学反応が次々と実現され、有機化学は「成熟している」ともいわれるが、決してそうではないという。「ゼロから新しいものを生み出すことができる

からこそ、化学者はいつの時代にも次の夢を語る事ができる」と力を込める。

松永さんは、炭素-水素結合を一気に炭素-炭素結合に化学変換させようという「次世代クロスカップリング反応」に取り組んでいる。化学反応の工程を減らせるので、製造費用や副産物を抑えられる(図1)。

広く産業で利用されるロジウムは、わずか1段階で、原料の目的の位置の炭素-水素結合を化学変換できる優れた触媒だ。

「産地に限られるロジウムは、とても高価な金属です。地球に豊富に存在する安価な金属(汎用金属)に、希少金属と匹敵する高機能を持たせられないかと、独自の触媒の設計に挑みました。」

## スポーツ感覚で 触媒設計を楽しむ

松永さんが着目したのが、周期表ではロジウムと同族に属するコバルトだった。ロジウムと比較して単価は100分の1以下

だが、コバルトだけでは炭素-水素結合を1段階で化学変換できるほどの触媒性能を持たない。

「1つの金属では触媒性能が低くても、複数の金属をうまく組み合わせ、互いに協力させたり、分子を精密にデザインしたりすれば、高い触媒性能を発揮できるはず。どんな組み合わせから、どんな機能が生まれるのか——。予測が難しいからこそ、面白いのです。」

触媒の設計は「チーム戦術」であると言い、個々の分子をスポーツ選手になぞらえた。選手個人の能力に頼らずとも、選手たちが互いに弱点を補い合えば、チーム全体の力は高まる。「監督のような感覚で、実験という名の『試合』を楽しんでいます。」

試行錯誤を重ね、コバルトと酢酸イオンを組み合わせると、コバルト触媒の長所を維持しつつ、炭素-水素結合を活性化させる触媒性能を持つことを明らかにし

た。さらに、ロジウム触媒を用いた場合でも、炭素-水素結合の化学変換後に数段階の工程が必要な医薬品有用分子を、原料からわずか1段階で合成することにも成功した(図2)。

この成果を報告した論文は世界中から引用され、トムソン・ロイター社(受賞発表当時)のリサーチフロントアワードに昨年輝いた。汎用金属に高い触媒性能を持たせる基盤技術として、先端研究領域を切り拓いたことが高く評価された。

## 苦境を乗り越え 宝探しに成功

コバルト触媒の研究が佳境に入り、「これから勝負だ」と意気込んでいた折に、東京大学から北海道大学への異動が決まった。松永さんが開発したコバルト触媒は再現性が高く、世界中の研究者が瞬く間に飛びつき、競争は激化していた。競争相手が資金や研究員が十分な環境で研究する一方で、研究室を立ち上げることから始めなければならなかった。

「コバルト触媒で宝探しをしよう!」と学生と一緒にコバルト触媒の性能を徹底的に調べ、酸素と結合しやすい性質を見いだした。この性質を利用して、ロジウム触媒に必要なアルコール活性化処理の工程をなくして副産物も減らし、水しか排出しない合成技術を開発した。ロジウム触媒を超える、まさに「宝」のような独自の機能を探り当てたのだ(図3)。

「限られた条件で世界とどう勝負するか、作戦を練るのは楽しかったですね。ACT-Cの領域アドバイザーの助言や事務局の支

援のおかげで、研究室も短期間で整備できました」と当時を振り返る。

「ACT-Cは、ノーベル化学賞研究を超えようという気概にあふれた研究者ばかりで、とても刺激を受けました」。若手からベテランまで、年代も専門分野も異なる研究者との交流は有意義で、共同研究にも発展した。世界のトップを走ってきた領域アドバイザーの助言も原動力となったという。

## 伝統と情熱を 次世代に受け継ぐ

有機化学との出会いは学生時代にさかのぼる。有機合成の第一人者で、当時は薬学部教授だった柴崎正勝先生の講義を受け、研究を熱く語る姿に引き込まれた。

基礎研究の腕を磨き続けてきたが、医学部の研究者と組んで応用研究にも着手した。画期的な触媒を開発し、有機化学にとどまらず、他の研究領域でも使われることを夢見ている。

柴崎先生の研究室で「好き放題に実験させてくれたからこそ、力をつけられた」という。その経験をもとに、次世代の育成にも力を入れる。

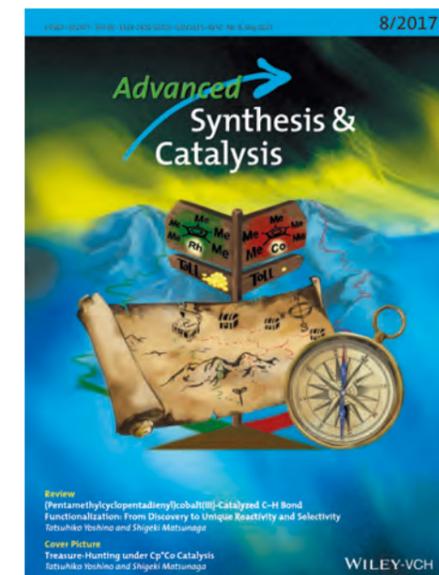
「研究に失敗はつきものですが、小さくても成功体験を持っていると、多少のことではへこたれません。1万回失敗しても、『次はきっと成功する』『教科書にないことを見つけるのは最高に面白い』と、壁にぶつかっても自力で乗り越える成功体験を積み重ねてほしい。」

研究室を主宰する立場になって、柴崎先生をはじめ恩師のありがたさを強くかみしめている。

「ご恩を直接返すことは難しいですが、次の世代の研究者を育てることで恩返しをしたい。世界で通用する有機合成化学者の卵を産業界へしっかり送り出していきます。」

日本の有機化学研究の伝統と情熱は、脈々と若い世代に引き継がれている。

図3

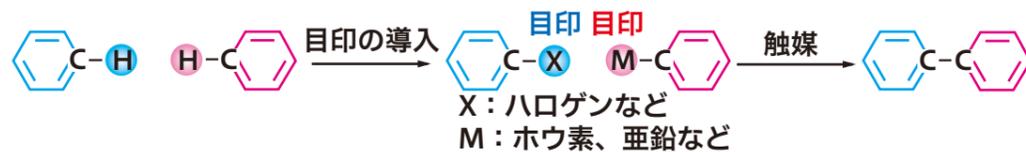


Journals: Tatsuhiko Yoshino and Shigeki Matsunaga; (Pentamethylcyclopentadienyl)cobalt(III)-Catalyzed C-H Bond Functionalization: From Discovery to Unique Reactivity and Selectivity. *Advanced Synthesis & Catalysis*. 2017, 359, 1245-1262. Copyright Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Reproduced with permission.

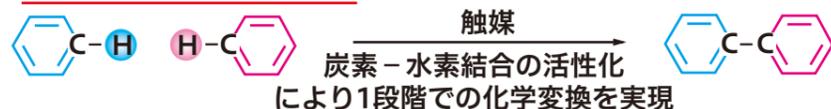
コバルト触媒が、ロジウム触媒と同等であるだけでなく(既知の宝)、ロジウムを超える独自の機能(未知の宝)を持つことを示すイラスト。論文が掲載された触媒専門誌の表紙を飾った。

図1

### クロスカップリング



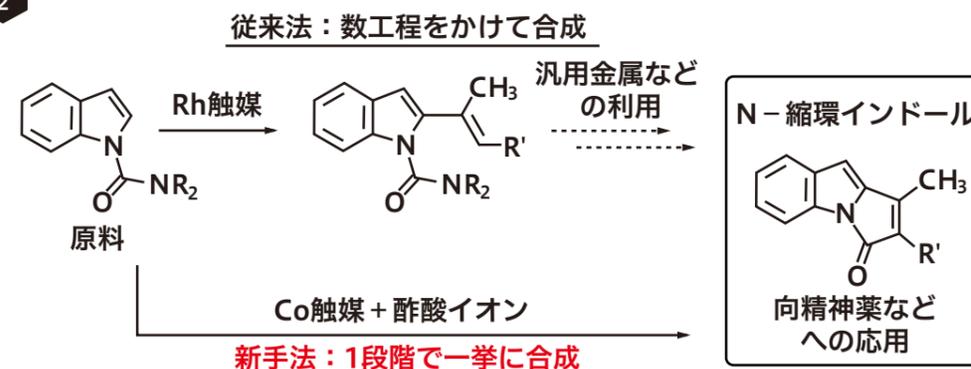
### 次世代クロスカップリング



- ・合成工程数の削減
- ・低コスト化
- ・廃棄物の削減

「クロスカップリング反応」では、原料の炭素-水素結合にハロゲンやホウ素などの目印を付けた後、触媒を介して炭素同士をつなぐ。目印の導入工程を必要とせず、炭素-水素結合から1段階で化学変換する「次世代クロスカップリング反応」が世界中で研究されている。

図2



従来法では、ロジウム(Rh)触媒による炭素-水素結合の化学変換の後に、汎用金属などを利用した化学変換が必要で、数段階の工程をかけて合成していた。コバルト(Co)触媒と酢酸イオンを組み合わせた新しい触媒によって、向精神薬などの有用分子であるN-縮環インドールをわずか1段階で合成することに成功した。

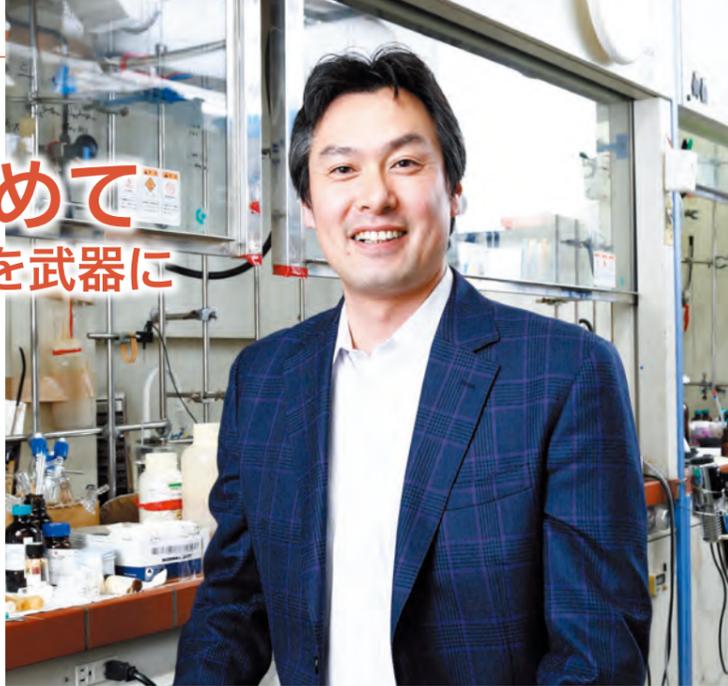
# 斬新な化学反応を求めて ひらめきと多様性とチーム力を武器に

京都大学の依光英樹教授の専門は「有機化学」と非常に幅広い。世界に衝撃を与える斬新な化学反応を追求し、有機化学の常識を覆し続ける異端児である。

よみつ ひでき  
**依光 英樹**

京都大学  
大学院理学研究科化学専攻 教授

2002年 京都大学大学院工学研究科博士課程修了。東京大学大学院理学系研究科博士研究員、京都大学大学院工学研究科准教授などを経て、15年から現職。



## 芳香環200年の常識に挑む

有機化学の根幹となる化学反応を幅広く研究する依光さん。その原動力は純粋な好奇心とひらめきである。常識に挑戦するその大胆な研究成果には、国内外の研究者から大きな反響がある。

その1つが「芳香環メタモルフォシス(変換)」(図1)だ。6個の炭素が環になったベンゼン環は「亀の甲」として知られる代表的な芳香環だ。4個の炭素と1個の窒素(N)、酸素(O)、硫黄(S)のいずれかが環になった5角形構造も芳香環の仲間である。芳香環を持つ分子は芳香族化合物と呼ばれる。

芳香環は剛直かつ丈夫で、芳香族化合物の機能と構造を担保する「背骨」だ。芳香族化合物から物質変換をする際は、芳香環を壊さず、外側に付いた枝葉部分だけを交換するのが、ベンゼン環の発見以来200年の常識である。

「機能の宝庫であり、普通は壊そうとは思

わない芳香環そのものを作り変える、いわば『背骨の整形手術』ができれば面白いなと思ったのです。芳香環を構成する元素を取り換えれば、まったく異なる機能が発現するはずですから。

有機化学の常識を覆す発想だったが、依光さんは芳香環の作り変えに成功する。世界的な反響が特に大きかったのが、ベンゾフランの「整形手術」だ(図2)。ベンゾフランは六角形のベンゼン環と五角形のフラン環が連なった非常に安定な物質だが、依光さんらはニッケルを触媒にして、フラン環の酸素(O)の隣にホウ素(B)を割り込ませ、1段階で六角形にするという妙技を確立した。得られたホウ素と酸素を含んだ環骨格は、新たな有機エレクトロニクス材料や生物活性物質の重要骨格として期待が高まる。この成果を米国化学会誌に発表すると、たちまち月間の「最も読まれている論文」の第1位となり、芳香環メタモルフォシスに一気に注目が集まった。

「芳香環は身の回りのあらゆるものに含ま

れます。もしも触媒などで芳香環を簡単に作り変えられるようになったら、化合物の合成戦略が大きく変わり、世界が変わります」と、依光さんは目を輝かせる。

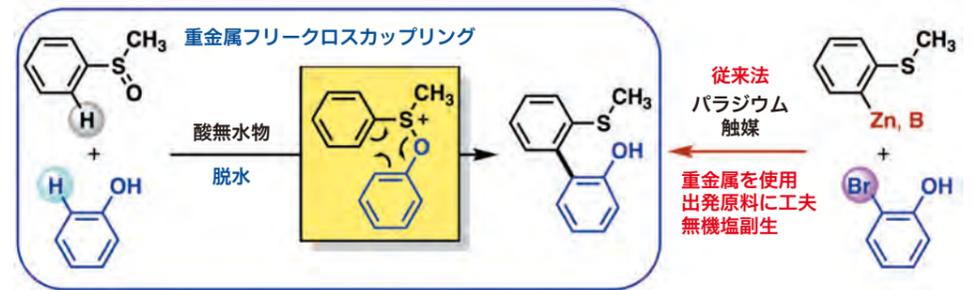
## 100年以上前の化学反応からヒントを得て

クロスカップリング反応は重金属触媒を使う方法が盛んに研究されてきたが(p.5参照)、依光さんは重金属触媒を一切使わないクロスカップリング反応を確立した(図3)。そのヒントになったのは、1909年にドイツの化学者ブメラーによって報告された硫黄化合物の反応である。

「ある特殊な硫黄化合物で何気なくブメラーの反応を試してみたら、まったく予想外のことが起こったのです。おかしいなと思って、分子の気持ちになってみたら、曲芸のような分子の動きが見えて。自然科学の奥深さを感じました」。その後、10年をかけて、この発見をクロスカップリング反応に展開した。「流行や既存の価値観にこだわらず、私自身が面白いと思えば、どん

## 図3 重金属フリークロスカップリング反応

硫黄原子を目印にして芳香環同士をクロスカップリングさせる。酸無水物による脱水に基づく、従来法とは一線を画すカップリング。重金属触媒を使うと、結合する場所を金属やハロゲンであらかじめ細工しておく必要もあり手間がかかる。



な反応でも研究します」と話す依光さん。悪臭のためあまり人気がない硫黄化合物やブメラー反応のような大昔の反応には、見逃された宝物が潜んでいると感じるからだ。

## インスピレーションをかきたてる化学反応を

ACT-Cについては、次のように語った。「ものづくりの根幹を担う有機化学反応に焦点を絞った事業は重要なはずなのに希少です。この分野は日本の研究者の層が分厚く、世界トップレベルの有機化学者が老いも若きも集まったACT-Cで切磋琢磨できたのは大きかったです。アドバイザーの玉尾皓平先生は、この分野を生み出し牽引してきた先駆者で、非常に的確な助言と温かいお言葉をくださいました。もともと自分の師匠と並び最も尊敬する化学者のお一人でしたが、その思いを新たにしました」。

依光さんはACT-Cで、天然色素のポルフィリンを元に、その機能を上回る新分子の合成を試みてきた。パイ電子系分子(p.7参照)の1種であるポルフィリンは座布団のような平らな骨格を持つ一連の化合物群である。光合成で働く葉緑素もポルフィ

リンの一種であり、光を集める機能を持つ。パイ電子系分子は平らであるほど電子の授受や光の吸収の効率が高まる。また、平面の中に埋め込まれた炭素以外の元素が物性に大きな影響を及ぼす。依光さんはこの座布団の周辺部に窒素を埋め込みながら平面を広げる手法を開発した(図4)。窒素は炭素より電子を1個多く持つので、その授受によって面白い応用を期待できると考えている。

「応用も大事ですが、私の場合は、自分が大好きな化学反応の基礎研究で際立った成果を出していくことが最大の社会貢献だと考えています。学生や研究者にインスピレーションを与えるような斬新な反応をどんどん開発していきたいですね」。

## 多様な個性を受け入れてくれるのが有機化学の魅力

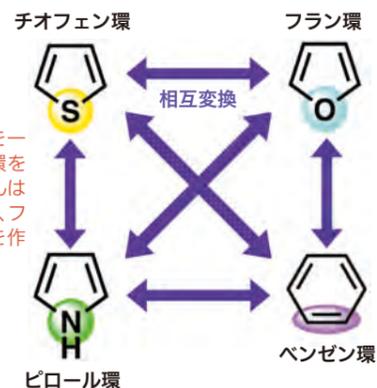
常に化学のことを考えているが、理路整然と考えるのは3割ぐらいで、残りの7割はひらめきという依光さん。「学生と話をしていて、頭が整理されてつながることも多いです。メンバーと気軽に議論できる環境は大事にしています」。

生涯一化学者と自称し、学生と同じ目線でいてくれた恩師の大島幸一郎京大

学環境安全保健機構長に就いて、教授になった今も実験室内に自分の机を置く。外国から親しい研究者が来れば、学生に拙い英語でも構わず1対1で議論をさせる。コミュニケーション力を培ってもらうとともに、一化学者としての自覚を持ってもらうためだ。芳香環メタモルフォシス、ブメラー化学、ポルフィリンなど、学生1人1人にばらばらのテーマを設定するのも、各自の研究に責任を持ってもらい、なおかつ研究室内で異分野融合を実現するためだ。「何をしたいのかわからないと言われることもあります。信念を持ってやっています」。指示待ちの学生は要らないと断言しているせいか、研究室には譜面通りに弾かない演奏家のような個性的な学生が集まる。そんな学生たちをまとめ上げ、独創性と協調性を兼ね備えた人を育てることが教員としての使命だと考えている。

「有機化学には多様な可能性が広がります。どんな人にも個性に応じた化学反応が見つかります。その後皆でわいわい議論することで、大きな成果につながります。皆にチャンスがあり、楽しめる学問なのです」と有機化学の魅力を語る依光さん。学生たちが世界で活躍してくれることを期待し、研究に、教育に、全力投球を続けている。

## 図1 芳香環メタモルフォシス



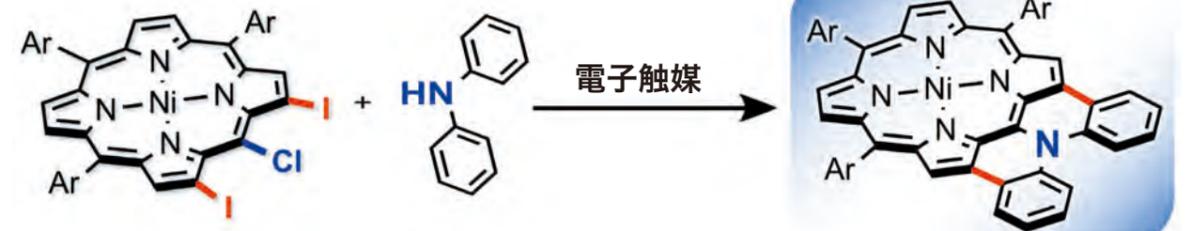
「頑丈で壊れないとされてきた芳香環を一時的に破壊し再構築することで、芳香環を別の芳香環に変換する」新手法。依光さんはすでに、チオフェン環からピロール環を、フラン環やチオフェン環からベンゼン環を作る手法を確立している。

## 図2 ベンゾフランの触媒による変換



## 図4 窒素埋め込み型ポルフィリンの合成

新たに開発した電子触媒による効率的窒素原子埋め込み法





すずき まどか  
**鈴木 団**  
科学技術振興機構 さきがけ専任研究者  
早稲田大学 理工学術院 招聘研究員

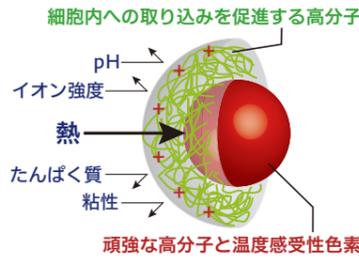
博士(理学)。2004年 早稲田大学大学院理工学研究科博士後期課程を満期退学。同理工学部助手、早稲田バイオサイエンスシンガポール研究所、早稲田大学総合研究機構 主任研究員(研究員准教授)を経て、17年より現職。

# 細胞内の温度変化から ミクロの熱収支の 謎に迫る

細胞内のエネルギーの流れをテーマに研究を進めている科学技術振興機構の鈴木団さきがけ研究者(早稲田大学理工学術院招聘研究員)は、細胞内部の微小領域の温度を測るナノ温度計の開発で実績を重ねている。これまで細胞内の温度は均一で周囲と同じという前提で研究されてきたが、刺激のある場合には周囲より温度が高い細胞小器官があることが示唆されている。生体の熱収支や熱による細胞の機能の制御などに働く新たな仕組みが見いだされる可能性がある。また、抗肥満薬やがんの温熱療法の開発などへの応用も期待できるという。

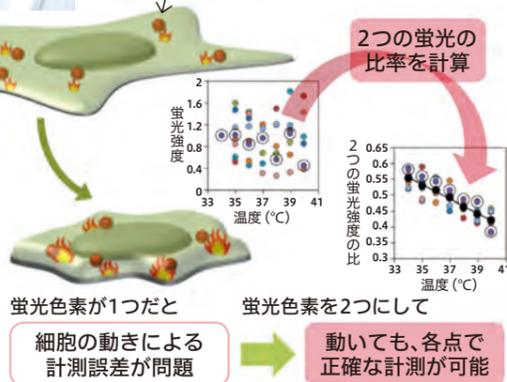
## 細胞内で温度を測る さまざまなナノ温度計

核、ミトコンドリアなどのさまざまな細胞小器官はそれぞれ異なる役割を担い、器官ごとに異なる化学反応が起きている。しかし、古典的な熱力学に基づいた検討や、細胞の局所温度を測る技術がなかったこともあり、個々の細胞や細胞内の温度は均一で実験温度と同じという前提の下で研究が進められてきた。状況が変わったのは2000年頃である。各国で微小領域の温度を測る技術(ナノ温度計)が盛んに開発され、異なる原理による計測にもかわらず、細胞小器官や、時には細胞ごとに温度が異なることを示す実験結果が発表されるようになったのだ。ナノ温度計の多くは、温度変化に伴って明るさや色などが変化する物質を細胞の中や周囲に置き、光学顕微鏡越しに撮影して、温度変化との関係を示すデータと照らし合わせることで



▲図1 ナノ粒子型温度計  
直径は約100ナノメートルで、外側は正(+)  
の電荷を帯びている。

50メートルプール(細胞)に対して、ソフトボール(ナノ温度計)ほどの大きさ



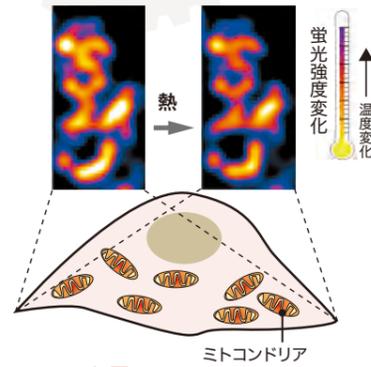
▲図2 細胞内のレシオ型ナノ温度計のイメージ  
温度に反応して蛍光強度が変化する蛍光色素と変化しにくい蛍光色素の2種類の蛍光色素を使って、細胞が動いても正確に温度が測れるようにした。2つの蛍光色素が発する明るさの比は温度と比例している。

で温度を推定する。ナノ温度計の材料には、低分子の蛍光色素、蛍光たんぱく質、ナノダイヤモンド、金の微粒子、量子ドットなど多様な種類がある。細胞より小さい熱電対型温度計(一般の電子体温計と同じ仕組み)の開発や、赤外線カメラの分解能を細胞1個のレベルにまで上げようとする研究もある。

「ナノ温度計には、温度以外の環境変化による影響を受けないこと(特異性)、狙った場所を計測できること(指向性)、高感度の3要素が重要ですが、3要素をすべて満たすものはまだありません」と鈴木さんは語る。

## 細胞生物学的手法と 組み合わせやすい蛍光顕微鏡を利用

生物物理学を専門とし、生物の仕組みと熱の関りに強い関心を持つ鈴木さんも、大学院生だった2004年頃からさまざまな方法で生体内の微小領域の温度計測や、熱による細胞機能や形態制御に取り組んできた。材料は低分子化合物の蛍光色素を中心に、目的に応じて使い分けている。蛍光顕微鏡を利用するナノ温度計は空間分解能が比較的高い。細胞生物学の実験手法とも組み合わせやすいため、温度変化の原因となった反応



▲図3 HeLa細胞(人のがん細胞の一種)のミトコンドリア温度測定\*  
(シンガポール国立大学との共同研究)

を推定しやすいのも大きな利点である。

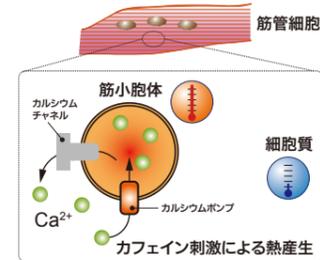
しかし、温度変化によく応答する蛍光色素は、カルシウムイオンの濃度変化や水素イオン濃度(pH)の変化にも応答することが多い。こうした温度変化以外の影響を受けないよう、初めは低分子の蛍光色素を直径数マイクロメートルの細いガラス管に詰めた。ガラスは化学変化を遮る上に熱伝導性が高いからだ。これを細胞の周りに押しつけることで、細胞の温度変化と細胞内のカルシウムイオン濃度変化との相関を調べることができた。

しかし、ガラス管では細胞の外側からしか温度を測れない。そこで鈴木さんらは、ガラスの代わりに、熱を遮らず、蛍光色素との相性もよいプラスチックでナノサイズの粒子を作り、その中に蛍光色素を詰めた(図1)。この温度計の表面は正(プラス)の電荷を帯びており、細胞膜に付着し、細胞が外部の物質を取り込む作用によって細胞内に取り込まれる。その後、細胞内の物質輸送や貯蔵といった役割を持つ小胞に入り、モーターたんぱく質に運ばれる。このナノ粒子の動きを追うことで、モーターたんぱく質の活性と細胞内の温度上昇との相関関係が定量的に計測できた。

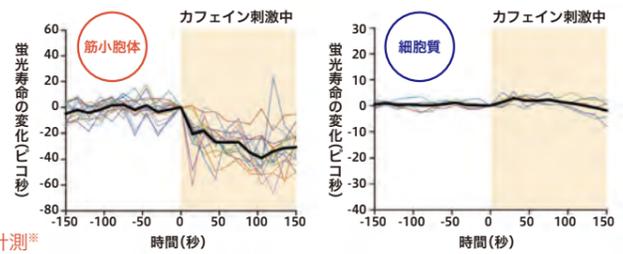
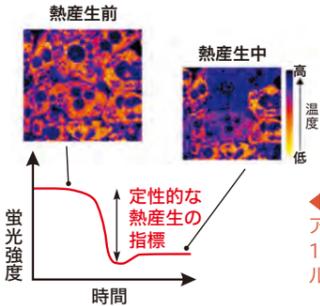
2014年にはこれを改良し、温度に応答する色素と応答しない色素を組み合わせた「レシオ(比率)型ナノ温度計」を発表している(図2)。

## 細胞に振りかけるだけの 低分子蛍光温度計

ナノ粒子に封入するのではなく、低分子の蛍光色素をそのまま細胞内に取り込ませて温度を測る手法でも研究を進めている。特定の細胞小器官に輸送されるように目印を付けておけば、細胞に振りかけるだけで狙った小器官を特異的に、ほぼ均一に染めることができる。かかる時間はわずか数分間だ。GFP(緑色蛍光たんぱく質)などのたんぱく質の蛍光色素と異なり、あらかじめ遺伝子に組み込み細胞に発現させる必要もない。鈴木さんらは、ミトコンドリア特異的に、あるいは小胞体特異的に集積して、温度変化を蛍光の強さや寿命の変化として捉えられる低分子色素を開発した(図3~5)。筋管細胞(C2C12細胞)では、カフェインによる刺激によって筋小胞体では一過的に約1.6度の温度



▲図4 筋管細胞の筋小胞体の温度計測\*  
(シンガポール国立大学、シンガポールA\*STARとの共同研究)



▲図5 褐色脂肪細胞の温度測定\*  
アドレナリン作動薬刺激によって、褐色脂肪細胞の小胞体の温度が上昇した。1つ1つの細胞で反応のタイミングが異なることが見て取れる。(シンガポール国立大学、ハーバード大学との共同研究)

上昇に相当する蛍光寿命の変化が見られたが、細胞質ではほとんど変化しなかった(図4)。また、アドレナリン受容体を刺激された褐色脂肪細胞が熱を放出する瞬間を1細胞レベルの解像度で動画として記録することに成功した(図5)。

これらの手法は、褐色脂肪細胞を活性化し、より多くのエネルギーを消費するような化合物を探して肥満の解消につながる薬剤を開発したり、人工的な熱源のそばにある細胞内で熱が伝わる様子を調べ(図3)、がんの温熱治療の効果を細かく解析したりすることなどに役立つと考えている。

## ナノ温度計で生物学の 教科書が変わる?

微小領域の温度計測は発展途上の分野である。そもそも温度という概念自体が、かつては蒸気機関を対象としていたようなマクロな統計値である。また、細胞の中で小器官ごとに温度の変化が1度以上異なることがあるというデータに対して、そこまで大きな変化が起きることはありえないと反論している研究者もいて、大きな議論になっている。1度の違いでも化学反応の平衡や、DNAやたんぱく質の構造は大きな影響を受ける。ナノ温度計の技術が確立し、細胞内や細胞小器官の温度、細胞内の温度分布が詳しくわかってくれば、生物学の教科書が書き換わるのではないかと考えている。

「生物は現在考えられているよりも熱効率が良い可能性もあるかと思うのです。細胞内で放出された熱エネルギーは、温度勾配に従う単純な拡散で細胞外に排出されるだけなのでしょう。同じ細胞内で熱源のすぐ隣にある別の反応や、あるいは隣の細胞で再利用され、例えば筋肉の収縮運動やモーターたんぱく質の動き、カルシウムイオン濃度変化といった機能を補助することに使われ、最後に残った熱が体温維持に使われるといったことが、もしかするとあるかもしれません」と鈴木さん。

生体制御に利用される信号としては、ホルモンや細胞内情報伝達物質などの化学的信号がよく知られている。鈴木さんは実は熱も制御信号の1つではないかという大胆な仮説を抱いている。「その仮説を証明し、生物学の新たな扉を開く開拓者の1人になれたらうれしいですね」と夢を語った。

\*図3は Chem Commun 2015, 51: 8044-8047から、図4はChem Commun 2016, 52: 4458-4461から、図5は Sci Rep 2017, 7: 1383 から、それぞれ一部改変して転載。

出資型新事業創出支援プログラムSUCCESS

1 話題

## 着られて洗えるデバイス「e-skin」を開発、個人向け提供を開始

生活の身近な存在となりつつあるウェアラブルデバイス。手首に装着することで歩数を計測したり、心拍数や血圧、睡眠の状態を確認したりできるものを中心に普及が進み、スポーツや健康・医療など、幅広い分野での活用が期待されています。しかし、装着時に違和感があったり、長時間の測定に向かなかつたり、測定の位置が限定されたりといった課題がありました。

こうした課題を解決するため、Xenoma社（代表取締役CEO：網盛一郎）は、伸縮する回路を布地の上に形成する技術を活用して、スマートアパレル「e-skin」を開発し、8月に個人向けに提供を開始しました。

e-skinは14個の伸縮センサーを持つ服「e-skinシャツ」に、「e-skinハブ」と呼ばれるコントローラーを装着して使用します。伸縮センサーを直接衣服に

埋め込んでいるため、軽量で、正確な動きを捉えられるのが特長です。Tシャツなどの上から着用するだけで、ヴァーチャルリアリティ（VR）などのゲームのコントローラーとして使用でき、また、ジョギングやヨガのようなスポーツの解析や工場などの作業員の動作解析にも用いることができます。

Xenoma社は、東京大学大学院工学系研究科の染谷隆夫教授が研究総括を務めるERATO「染谷生体調和エレクトロニクスプロジェクト」での成果を基に2015年に設立されたベンチャー企業で、SUCCESSが出資をしています。ERATOで開発された「伸縮するエレク

「e-skin」のイメージ映像が見られる（英語音声・日本語字幕）。  
[https://www.youtube.com/watch?v=ugPW\\_bXoks4](https://www.youtube.com/watch?v=ugPW_bXoks4)



トロニクス」の技術を応用し、さまざまなセンサーを全身にまとうことを可能にする、着用者の負担の少ない衣服型デバイスを開発することで、スポーツ、健康・医療、介護などの分野で先端技術の実用化を通じた社会への還元を進めています。



個人向けの提供が始まった「e-skin」。

戦略的イノベーション創造プログラムSIP  
 研究課題「エネルギーキャリア」

2 話題

## CO<sub>2</sub>フリー燃料としてのアンモニアバリューチェーン形成に向けて「グリーンアンモニアコンソーシアム」を設立

地球温暖化対策の推進とエネルギーセキュリティ向上に向けて、水素はエネルギーとして重要な役割を担うことが期待されています。

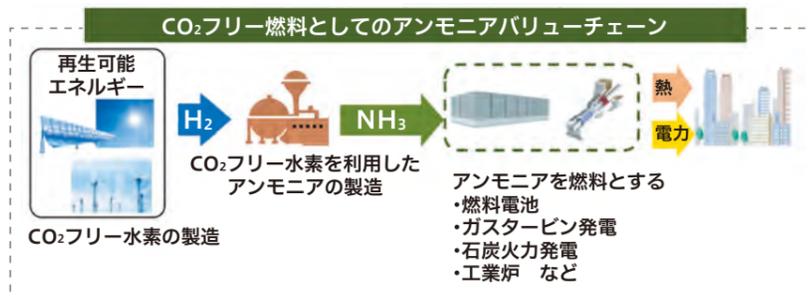
SIP「エネルギーキャリア」では、水素の製造、貯蔵、輸送、利用に至るバリューチェーン全域を視野に入れて研究開発を進めています。特に、水素を化学的に安定な液体として保存、運搬するエネルギーキャリアの1つであるア

ンモニアは、直接燃料として利用する分野（燃料電池、ガスタービン発電、石炭火力発電、工業炉など）で、社会実装に向けた多くの顕著な成果が上がっています。アンモニアは燃やしても二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）を発生しないことから、再生可能エネルギーの利用などで製造したCO<sub>2</sub>フリー水素を原料にすれば、まさにCO<sub>2</sub>フリー燃料となります。

SIPは2018年度末に終了しますが、

今後も継続的にこれらの成果を実用化、事業化へ発展させる取り組みが望まれています。そこで、7月25日「グリーンアンモニアコンソーシアム」（議長：村木茂SIP「エネルギーキャリア」プログラムディレクター）を設立し、CO<sub>2</sub>フリー燃料としてのアンモニアの供給から利用までのバリューチェーン形成に向けて、研究開発ならびに社会実装に向けた取り組みの検討を開始しました。

本会は、当該分野でSIPに参画する企業19社および公的研究機関3機関などで意見交換や情報交換を行い、より効率的かつ効果的な研究開発項目および目標設定のあり方、その他社会実装に向けた課題の解決策などを検討します。さらに、日本の産業が世界市場をリードし、高いプレゼンスを発揮できるビジネスモデルの構築をめざします。



グリーンアンモニアコンソーシアムでの検討範囲。

3 研究成果

戦略的創造研究推進事業CREST

研究領域「統合1細胞解析のための革新的技術基盤」

研究課題「超解像3次元ライブイメージングによるゲノムDNAの構造、エピゲノム状態、転写因子動態の経時的計測と操作」

## 生きた細胞でDNA収納の様子を観察することに成功

人間の体を構成する1つ1つの細胞には、全長2メートルにもおよぶゲノムDNAが収められています。

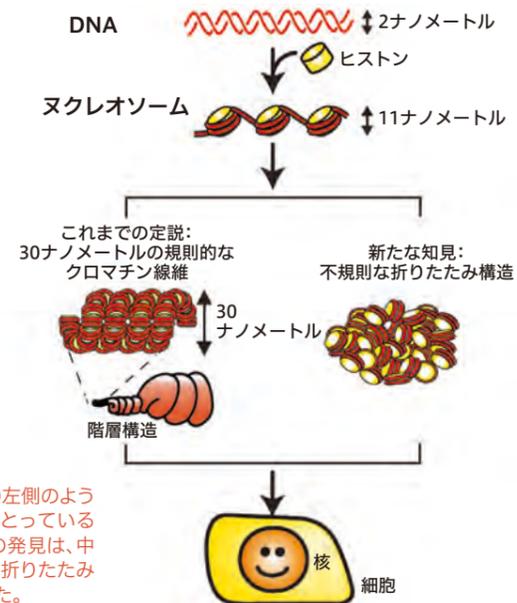
DNAは直径2ナノメートル（ナノは10億分の1）のとても細い糸で、「ヒストン」という樽状のたんぱく質に巻きついて「ヌクレオソーム」を作ります。ヌクレオソームはらせん状に規則正しく折りたたまれて「クロマチン線維」を形成し、さらにらせん状に巻かれて階層構造を作ると考えられてきました。しかし、規則正しいクロマチン線維は存在せず、ヌクレオソームが不規則に細胞内に収められていることがわかってきましたが、その構造は非常に小さいため従来の光学顕微鏡を用いて観察することは困難でした。

情報・システム研究機構国立遺伝学研究所の野崎慎研究員、前島一博教授らは、光学顕微鏡の分解能を超え、ヌクレオソームの1つ1つを観察できる超解像蛍光顕微鏡を構築し、生きた細胞

内のDNAの収納の様子を観察することに成功しました。その結果、DNAは不規則に折りたたまれ、「クロマチンドメイン」と呼ばれる小さな塊を形作っていることがわかりました。クロマチンドメインは細胞増殖、細胞分裂を通じて維持されており、遺伝情報の検索や読み出し、維持に重要な機能単位として働くと考えられます。

今後は、遺伝情報がどのように検索され、読み出されるのかについての

理解がさらに進むとともに、DNAの折りたたみの変化で起きるさまざまな細胞の異常や関連疾患の理解につながることを期待されます。



従来、DNAは図の中段の左側のように、規則的な階層構造をとっていると考えられていた。今回の発見は、中段右側のような不規則な折りたたみ構造であることを裏付けた。

4 研究成果

戦略的創造研究推進事業ERATO  
 野村集団微生物制御プロジェクト

## カビの菌糸が伸び続ける仕組みを解明

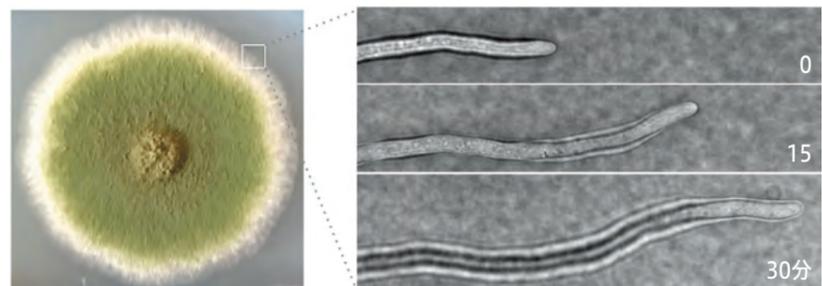
食品や浴室などに生えるカビは、生活に非常に身近な微生物です。発酵食品や有用酵素、抗生物質の生産など産業上重要なものもあれば、人間や農作物の細胞に侵入して病気を引き起こすものもあります。糸状の菌糸からなり、大量の酵素を分泌して有機物を分解し、菌糸の先端を伸長させることで成長します。筑波大学生命環境系の竹下典男国際テニュアトラック助教（当時、ドイツのカーlsruエ工科大学応用微生物学科グループリーダー兼任）らは、カビの菌糸が伸び続ける仕組みを、超解像顕微鏡を含む蛍光イメージング技術により解明しました。

菌糸細胞が先端を伸ばす際、菌糸先端でのアクチンと呼ばれるたんぱく質の重合化、酵素の分泌、細胞の伸長が周期的に起きます。また、細胞外からの

カルシウムイオンの一時的な取り込みも周期的に起き、これらのステップを同調させ制御していることを明らかにしました。さらに、菌糸細胞は一定の速度で滑らかに伸びるのではなく、いくつかの段階を周期的に繰り返すことで、細胞を徐々に伸ばし続けていることがわかりました。このような細胞伸長は、化学的、

物理的な細胞内外の刺激に対するより素早い応答や対応を可能にすると考えられます。

カビの伸びる仕組みを理解し制御できれば、さらに産業分野での品質や生産量の向上、バイオエネルギー分野の発展など、幅広い分野に貢献することが期待されます。



カビの菌糸が伸びる様子。周期的、段階的に一步一步、細胞を徐々に伸ばし続けている。

## 中澤 敏明

JST 情報企画部 研究員  
京都大学 大学院情報学研究所 民間等共同研究員

埼玉県生まれ。2007年 東京大学大学院情報理工学系研究科修了。10年 京都大学大学院情報学研究所修了、博士(情報学)。京都大学大学院黒橋・河原研特定研究員および特定助教を経て、13年よりJST研究員。「いくら機械翻訳が進化しても、全ての文を翻訳できるようににはならないでしょう。でもアイドルのブログで使われていそうな、記号のような言葉まで翻訳できるようなシステムを開発したいです」。

## 「機械翻訳」で社会に貢献

## グーグル翻訳の精度が上がった!

翻訳サイトに代表される、コンピューターによる翻訳を機械翻訳、自動翻訳といいます。実用的でないイメージも持たれがちですが、昨年、グーグル翻訳が翻訳方式を変え、精度が上がったと話題になりました。

機械翻訳で今も広く使われているのは統計的な方法です。大量の対訳文のデータなどから単語の意味や訳語の自然さを考慮した統計モデルを2種類作り、これを学習させた翻訳器が膨大な翻訳候補の中から最適な文を見つけ出します。

一方、2014年に「ニューラル機械翻訳」という全く新しい手法が登場しました。新しいグーグル翻訳も導入している手法で、人間の神経細胞での情報伝達の仕組みをまねた、ニューラルネットワークという計算モデルに基づいた翻訳法です。対訳文を与えるだけで翻訳に必要な情報をニューラルネットワークが自動的に学習します。

画像認識でいえば、猫をコンピューターに認識させるためには、今までは、猫の画像とともに「眼があるかどうか」といった判断基準を大量に人間が与える必要がありました。しかしニューラルネットワークを使えば、猫の画像をたくさん見せるだけで、コンピューターが判断基準も自動的に学習して猫を認識するようになります。ニューラル機械翻訳もこれに似たイメージです。

私はJST研究員として日中・中日機械翻訳実用化プロジェクトに参加しています。プロジェクトでは昨年度、このニューラル機械翻訳による翻訳システムを開発し、科学技術文献データベースJSTChinaの中日機械翻訳に適用しました。英語や中国語で発表される文献の数は膨大で、増える一方です。全て読み解くのは不可能ですから、機械翻訳で大まかに内容を把握できるだけでも大きな意味があります。ニューラル機

械翻訳はまだ新しい手法であり、改善すべき点もたくさんあるので、より精度を上げるための研究をしています。

## 研究者もいろいろな仕事の1つ

パソコンは子供の頃から好きでした。秋葉原に通って部品を買って組み立てたりするのが楽しく、コンピューターの勉強がしたいと思い工学部に進学しました。

中学、高校では帰宅部でしたが、体を動かしたくなり、大学ではバドミントン部に入りました。楽なスポーツというイメージで始めたのですが、体育館での練習は、夏は屋外より暑く、冬は底冷えし、きつかったです。振り返ってみると、スポーツの苦しい練習を積み重ねた先に試合での1勝があるところと、先の見えない研究を積み重ねて研究成果を出すところは、通じるような気がします。どちらも精神力も運も必要です。研究者には割とスポーツでも活躍した人がいるようですが、精神面で鍛えられるのかもしれないですね。

研究者という仕事の魅力は、社会の問題を解決したり、新しい発見をしたりできるところにあると思います。でも何か特別な仕事というわけでもありません。「研究者」という肩書がなくても、趣味や自分の仕事を突き詰めていて、研究者と呼びたいような人はたくさんいます。進路を考える時には、研究者もいろいろな仕事のうちの1つと捉え、視野を広く持ち、自分が好きで突き詰められそうなことを探するのが大事だと思います。私は研究者の道に進むかどうか随分悩みましたが、今は研究を通して社会の役に立つことが喜びであり、目標です。

(TEXT: 寺田千恵 / PHOTO: 浅賀俊一(上))



ニュージーランドのマウントクックにて。

## 科学技術情報プラットフォーム 日中・中日機械翻訳実用化プロジェクト

コンピューターによる自動翻訳をより人間的な翻訳に近づけるために、言葉の理解や大量の用例を利用した次世代翻訳方式の研究を行っています。日中科学技術文献の自動翻訳実用化プロジェクトに取り組むとともに、クラウドソーシングなどを利用した対訳コーパスの構築、翻訳結果の正しさを自動評価するための手法などの研究をしています。また機械翻訳の国際的なワークショップを創設し、機械翻訳研究の推進や機械翻訳の普及に努めています。

リサイクル適性(A)  
この印刷物は、印刷用の紙へ  
リサイクルできます。

R80

古紙パルプ配合率80%再生紙を使用

JSTnews

October 2017

発行日 / 平成 29 年 10 月 2 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