



新春特別対談 ②

## 科学技術と日本

五神 真 東京大学 総長 × 松本 紘 理化学研究所 理事長

研究最前線 ⑥

## 環境ストレスに強く 高収量の作物の開発を目指す

研究最前線 ⑩

## 場の理論で物質の最高性能を 引き出す

FACE ⑭

メタボロミクスと天然物化学を結ぶ研究者

TOPICS ⑮

- ・「nano tech 2016 第15回 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議」出展のお知らせ
- ・「スパコン『京』がひらく社会と科学 シンポジウム『スーパーコンピュータの今とこれから』」開催のお知らせ

原酒 ⑯

「それは私!？」

## 五神 真 × 松本 紘

東京大学 総長

理化学研究所 理事長

# 科学技術と日本

### ■ 日本の科学技術力は落ちていない

**松本：**本日は、東京大学の五神 真 総長をお迎えして、科学技術はどこへ向かい、日本はどのような役割を担うべきか、日本の科学技術の課題について意見交換をさせていただきます。

最近、日本の科学技術の力が落ちた、と言われます。私は落ちたとは思っていませんが、どのようにお考えですか。

**五神：**アジア諸国が台頭してきたことは間違いありません。東京大学は来年2017年に創立140周年を迎えます。その間、産業力や科学技術力において、日本はアジアで突出した存在でした。ただし、何千年という長い歴史を見れば、そういう状況は特殊で、中国や韓国、インドなどが力を付けてきたのはむしろ本来の姿に近づいている、と認識しています。そのような新しい時代において、これまで圧倒的な存在だった日

本が果たすべき役割と責任があると考えています。

では、次の時代を担う現在の学生の力は落ちているのか。少なくとも私が接している東京大学の学生たちの力が落ちたという印象は持っていません。

### ■ 新しい社会・経済の駆動原理を日本から発信する

**松本：**科学技術は今後、どこへ向かうと思いますか。

**五神：**科学技術の進展が人類社会を豊かにしてきたことは間違いありません。ただし、社会や経済の駆動原理は基本的に変わらず、科学技術の進展によって社会変化のスピードが加速したことで、不安定性が増しました。科学技術の進展によって何が決定的に変わったのか。それは、人類が地球環境に大きな影響を与える力を持ち、地球の有限性を意識しなければいけなくなったことです。そのような時代において、この駆動原理をどのように転換させ、科学技術をいかに活用すべきかということ、従来とは明らかに異なる価値観に沿って考えなければいけません。東西の文化を融合させて先進的な学問を築いてきた日本は、欧米とは異なる価値観を持っています。新しい駆動原理を発信していく資質と責任が日本にはあると考えています。

**松本：**大変力強いお考えですね。日本は「足るを知る」といった東洋思想を実践し、有限な島国で発展してきた歴史があります。また、総人口が減少に転じ、諸外国よりも先にさまざまな課題に直面しています。その中で地球の有限性を認識して、省エネルギー技術などをいち早く開発してきました。日本人はもっと自信を持つべきです。

**五神：**世界的にも、たくさんものをつくって売るというビジネスモデルから、知から新しい価値を生み出していく形に転換しつつあると思います。

**松本：**ただし、厳しいビジネス競争を繰り広げている産業界が、地球の有限性を認識した経済活動に自然に転換していくことは難しいでしょう。科学者は、人文社会学者や哲学者と



**五神 真**  
(ごのかみ・まこと)

1957年生まれ。東京大学卒業。理学博士。東京大学教授、同大学大学院理学系研究科長・理学部長、副学長などを経て、2015年4月より現職。専門は量子物理学。

も協力して、このまま大量生産・大量消費を続けていくとどのような悲惨な状況を招き得るか、警告を発する責任があります。

**五神：**文科系・理科系の融合を進め、社会や経済の新しい駆動原理を提示することも学界の責務です。課題解決型の研究テーマを設定するときにも、そのような高いビジョンを持たないと、研究自体が意味のないもの、時には害になってしまいます。

**松本：**私の経験では、大学が学部単位で、例えば文学部と理学部の研究者たちが集まって研究の内容や意義を議論することは少なかったですね。

**五神：**最近、状況が変わってきたと思います。基礎科学の分野でも、自分の研究を社会に役立てることが重要だと思っている研究者は多いと思います。また、文科系・理科系の壁を越えて新しい価値を生み出していこうと呼び掛けると、皆さん協力的です。それは、東日本大震災によって、一人一人が物事を深いレベルで考え直した結果かもしれません。特に今の大学生は、中高生の多感な時期に大震災が起き、大きな影響を受けたはずで、被災地でボランティアをしている学生たちと話をする機会があり、日本が大きく変わるきっかけになるかもしれないと思いました。

**松本：**東日本大震災のとき、科学者は口をつぐんでしまいました。学問が細分化したため、自分の専門分野は分かるが、専門外のことにコメントできない。しかしそれではいけないと、シニア層の科学者は言いだしています。一方、研究の現場にいる若手は、日々の実験や論文執筆に追われ、自分の研究の意義をじっくり考えたり、ほかの分野を見渡したりする余裕はないという人が多いと思います。論文だけで研究者を評価する論文至上主義を変えない限り、今の状況は大きく変わっていかないでしょう。

**五神：**評価の問題は非常に重要ですね。新しい価値を生み出すには、人とは違うことをやり始めなければいけません。才能ある人たちが、そのような研究にできるだけ多くの時間を使えるような評価の仕組みに変えていく必要があります。目の前の評価をクリアするために論文を書き続けることに労力を使い切ってしまう状況は、とてもまずいですね。

## ■ 人の流動化を促すハブ機能を強化する

**松本：**科学は何のためにあるのか、科学史において自分の研究をどう位置づけ社会にどう役立てていくのか。イノベーションの創出も含めて、そういう意識を研究者一人一人に持ってもらうのは、とても難しい課題だと思っています。

**五神：**才能ある人を生かし、イノベーションを生み出していく研究環境を、東京大学や理研だけですべてそろえるのは無理です。国全体としてバランスの良い研究体制をつくる必要があります。その研究体制をうまく機能させるには、人の流動性を高めなければいけません。

**松本：**確かに、人が動くことで才能をさらに発揮できることがありますね。例えば、東京大学から十倉好紀先生が理研に併任で来てくださり、創発物性科学研究センターを率いて、大学ではできない規模の研究環境・システムを生かして素晴らしい成果を挙げておられます。それにより理研の研究者も大きな刺激を受けています。

かつて、東京大学や京都大学、大阪大学などに理研の研究室がありました。東北大学にも本多光太郎先生の理研の研究



**松本 紘**  
(まつもと・ひろし)

1942年生まれ。京都大学卒業。工学博士。京都大学教授、同大学総長（2008年10月～2014年9月）などを経て、2015年4月より現職。専門は宇宙プラズマ物理学、宇宙電波科学、宇宙エネルギー工学。





室があり、それが金属材料研究所に発展しました。私が理事長に就任して「理研 科学力展開プラン」として定めた五つの柱の一つが、「イノベーションを生み出す『科学技術ハブ』機能を形成する」です。さまざまな大学や研究機関、企業との連携を今まで以上に推進して、理研が人の流動性を促すハブとなることを目指します。

**五神：**とても重要なことですね。十倉先生の物性物理の分野では、かつては教授と助手だけという大学の研究室でも、独創的な研究テーマを選べば世界的な研究ができました。ところが現在では、さまざまな装置による実験データがそろわないと1本の論文を書くことも難しくなり、大学の研究室の枠に収まり切らなくなっています。

物性物理以外のさまざまな分野でも、大学の研究室の枠にとらわれず、理研のような機関を活用して研究の規模を拡大することで、世界にアピールできる研究成果を生み出していくことが重要になっています。一方で、大学の使命である学生の教育、人材育成においては継続性が重要です。そこで、大学に籍を残したまま、ほかの研究機関にも雇用されて研究を進めるクロスアポイントメント制度の活用を奨励しています。

### ■ 流動性と安定性を両立させる

**松本：**若手研究者の育成でいえば、いろいろな研究機関で経験を積む流動性は必要だが身分は安定させたい、と私は考えてきました。研究の前に人としての生活があります。任期制の研究者として数年ごとに新しい職場を探さなければいけないのでは、安心して生活できません。五神総長は、「卓越研究員制度」を提案されていますね。

**五神：**卓越した研究者が、安定したポストに就きながら、産学官の機関や分野の枠を超えて活躍できる制度をつくり、若い人たちの研究職に引き付けることを目指しています。日本の産業界は、諸外国に比べて安定雇用を実現してきました。現在でも大学や研究機関の研究職と比べて、相対的に産業界

のポストは安定しています。米国は逆で、大学のテニユア（終身在職権）が最も安定的なポストで、産業界のポストは不安定です。だから若者たちがテニユアを目指して、研究職に集まります。日本でも研究職のポストを安定化させて、優秀な若者を引き付ける必要があります。

現在、40歳以下の若手の多くが任期制の不安定なポストに就き流動的ですが、安定的なポストに就いたシニア層は固定的です。全体として流動性と安定性を両立させるには、シニア層の流動性を加速させる必要があります。

**松本：**理研ではシニア層でも、任期制研究者は動かざるを得ない仕組みになっています。しかし大学では、教授になった人が動く仕組みをつくるのは難しいですね。

**五神：**私自身、22年間在籍した工学部から理学部へ移った経験があります。実験装置などの引越しに労力もコストも相当かかりましたが、動くことで研究が非常に活性化し、若い人たちが新しいことにチャレンジできました。やはり動くことが大切だと実感しましたが、日本では同じ大学内でも流動性はとても低いですね。米国で流動性が高いのは、新しいことにチャレンジするための大きな研究資金が必要などときには、新しい組織に動く必要があるからです。そういう仕組みは今の日本にはないですね。

**松本：**日本でも、組織を移ることが大きな研究資金を申請するときの条件になれば、大学のシニア層の流動性は高まるでしょう。

### ■ 才能をじっくり伸ばす仕組みを再構築する

**松本：**理研では研究者の多くが5年の任期制です。準備期間と次のポストを探す期間を除くと、じっくり研究ができるのは実質3年ほどです。それでは短過ぎるので、任期を5年から7年に延長することも考え始めています。すると、実質5年間じっくり研究できます。

**五神：**3年では、やる前から結果が予測できる研究しかできませんね。私は1988年、31歳のときに自分の研究室を持つことができました。そのとき一世代上のある先生から「3年くらい論文なんて書かなくていいから、何を研究するかじっくり考えなさい」とアドバイスを頂きました。さすがに3年間論文を





書かないという度胸はなかったので、2年目に書いてしまいました(笑)。しかしその先生は本当に3年間論文を書かなかったそうです。そういう余裕がないと、人と違った研究を始められません。しかし現在の日本では、3年間論文を書かないで済むポストはあまりありません。

**松本:** いつの時代も、飛び切り才能ある人の割合はそれほど変わらないと思います。そのような優れた人の才能をじっくりと思いつき伸ばす仕組みを、日本は捨ててしまった可能性があります。私は京都大学総長のとき、才能ある若者を選び、自由に研究させる「白眉プロジェクト」をつくりました。5年間評価を行わないことで、むしろすごい成果が出ています。理研でも今、同様の制度の設計をしているところです。

**五神:** 私も東京大学の工学系研究科にいたときに、同じような若手育成プログラムをつくり、若手研究者は素晴らしい研究成果を出しました。しかし、そのような改革に対して、従来の人事のやり方と整合しにくいこともあり広がりませんでした。

**松本:** 組織を預かる者としては、良いアイデアがあっても、自由裁量で使える資金がないと改革ができませんね。現在の予算は目的や期限が細分化されていて、自由度や機動性、継続性に制約があることが大問題です。

**五神:** 理研と大学が連携して相乗効果を発揮するためにも、効率的に運用できる予算の仕組みが必要ですね。

### ■ 企業の優秀な人材を生かす産学連携に

**松本:** 日本では、イノベーションがなかなか起きません。どこかに制度的な欠陥があるのでしょうか。

**五神:** 日本はイノベーションを生み出すことが不得手な産業構造になっています。優れたベンチャー企業が生まれても、そこにいち早く目を付けて買収することにたけているのは、外国資本です。

将来を見据えて、イノベーションを生み出す若者を育てることが重要です。一方で、日本産業の屋台骨を支える大企業にいる優秀な人材を生かす産学連携の仕組みをつくることも急務です。東京大学は産業界との共同研究の件数は多いのですが、予算が年間100万円ほどの小規模な研究がほとんどです。共同研究による特許もたくさん出していますが、実施さ

れているものがとても少ない。それは、権利関係などの整備が不十分で、大学と共同で特許を出すことが企業にとって大きなリスクになっているからです。

産学連携の仕組みの整備が急務だと私が考えたのは、研究室を卒業して大企業に就職した人たちに、現場の危機的な状況を聞いたからです。近年、日本の大企業でも外国資本の比率が急激に高まり短期利益を上げることが求められる中、長期的な視点に立った研究開発や人材育成がますます難しくなっているそうです。国の研究機関や国立大学を、企業の優秀な人たちが活躍できる場にする必要があります。

**松本:** 理研では、企業側がニーズを持ち込み、理研の研究者とチームをつくって研究開発を行う「産業界との融合的連携研究制度」を進めています。先日、あるチームの企業の人に話を聞いたところ、大変良い仕組みだが、製品化できる手前まで研究段階が進むと理研の研究者がスッと手を引いてしまう、と本音を漏らしていました。その段階になると、論文にはならない仕事になるからです。産学連携を進める上でも、論文以外の業績でも研究者を評価する仕組みに改める必要があります。

**五神:** 技術シーズを製品化・事業化までつなぐ「橋渡し研究機関」の機能を強化している産業技術総合研究所(産総研)などが本領を発揮すべき段階ですね。国全体のシステムとしてイノベーションを生み出す仕組みを完結させるには、大学と理研、産総研などの間を人が自由に動ける仕組みも必要です。

**松本:** 研究段階ごとに最適な場所があるはずですね。理研では、基礎研究からイノベーション創出まで、さまざまな研究段階で東京大学や産総研などとの連携をさらに深めていきたいと考えています。理研も2017年に創立百周年を迎えます。これまでの百年を礎に、次の百年を見据えて、国の科学技術戦略の担い手となっていきたいと思っています。今後ともよろしくお願ひ致します。本日はありがとうございました。

(取材・構成: 立山 晃 / フォトクリエイイト、撮影: STUDIO CAC)

環境資源科学研究センター（CSRS）植物ゲノム発現研究チームの温室に入ると、汗ばんでくる。室温が30℃に設定されているからだ。そこに並ぶ植物は、高さ数十cmで、葉は七つくらいに深く裂けている。「キャッサバです。デザートにもなるタピオカの原料と言った方がなじみがあるかもしれません。野外では高さ2〜3mになり、地下にイモができます。イモは、甘みのないサツマイモのような味で、なかなかおいしいですよ」と関 原明 チームリーダー（TL）。キャッサバはトウダイグサ科イモノキ属に属する熱帯性の低木で、南米原産だ。世界で5億人以上の人々が食糧としているほか、加工食品や工業製品、バイオ燃料の原料としても利用されている。植物ゲノム発現研究チームでは、植物が乾燥・塩・高温・低温などの環境ストレスに適応する仕組みを明らかにする研究と、キャッサバについての研究に取り組んでいる。得られた成果を利用して、環境ストレスに強い作物やイモの収量が多いキャッサバをつくり出すことを目指す。

## 環境ストレスに強く 高収量の作物の開発を目指す

### ■ 環境ストレス適応でのRNAの役割

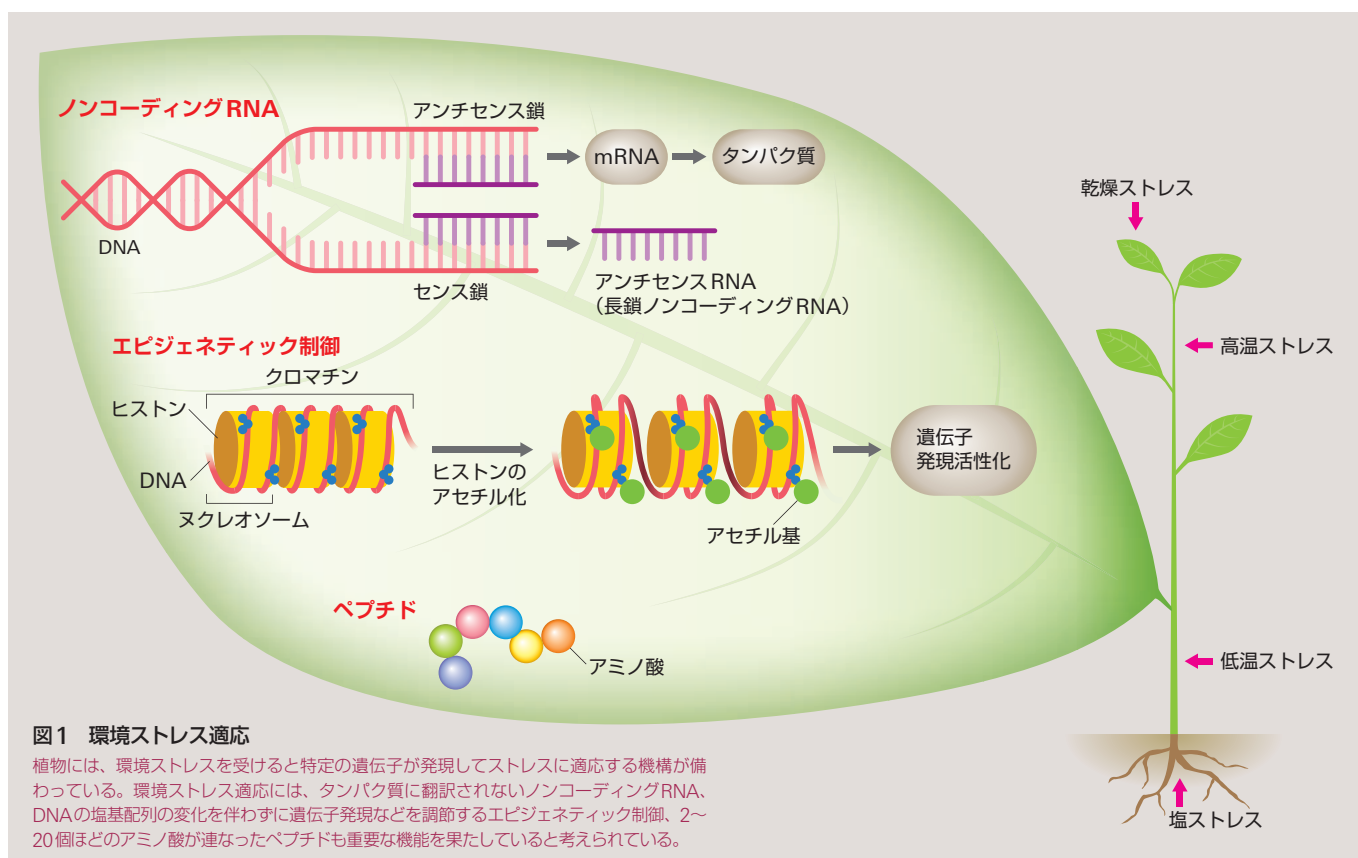
植物ゲノム発現研究チームは、二つの研究テーマを掲げている。「環境ストレス適応とキャッサバです」と関TL。

環境ストレス適応の研究から紹介しよう。植物は、乾燥や低温、塩など生育環境が悪化しても移動して避けることができない。そのため植物には、環境の変

化を感知し、適応して生き抜く仕組みが備わっている。関TLは、そのメカニズムの解明を目指してきた。理研植物分子生物学研究室（篠崎一雄 主任研究員、現 CSRSセンター長）の先任研究員だった2002年には、モデル植物のシロイヌナズナを用いて環境ストレスを受けたときに発現する遺伝子を網羅的に解析。

乾燥、低温、塩のストレスによって発現が誘導される遺伝子を大量に同定することに世界で初めて成功し、大きな注目を集めた。

「環境ストレス適応の研究は、乾燥や低温、塩害などに強い作物の開発につながり、食糧問題や環境問題の解決に役立つことから、研究者人口も多く、競



**関 原明** (せき・もとあき)環境資源科学研究センター  
植物ゲノム発現研究チーム  
チームリーダー

1966年、兵庫県生まれ。博士（理学）。京都大学農学部卒業。広島大学大学院理学研究科博士課程修了。理研植物分子生物学研究室前任研究員、ゲノム科学総合研究センター植物変異開発研究チーム上級研究員、植物科学研究センター植物ゲノム発現研究チームチームリーダーなどを経て、2013年より現職。2013年より科学技術振興機構CREST研究代表者（兼務）。



争も厳しいです。2006年に理研植物科学研究センター（PSC）で研究チームを立ち上げるとき、ほかの研究者がまだ注目していない切り口でやろうと考えました。それが、ノンコーディングRNA（非翻訳型RNA）とエピジェネティック制御で、その後ペプチドも加え、この三つに力を入れています」

一つ目のノンコーディングRNAとは？細胞の核の中には、4種類の塩基から成るDNAが入っている。DNAの一部が遺伝子としての機能を持つ。遺伝子が働くときには、遺伝子領域のDNAがRNAに転写され、不要な部分が取り除かれてmRNA（メッセンジャーRNA）になる。mRNAの塩基配列がアミノ酸に翻訳されてタンパク質がつくれ、機能を発揮する。しかし、細胞内にはmRNAのほかにもたくさんのRNAがあること、それらはタンパク質に翻訳されないことが分かってきた。そのようなRNAをノンコーディングRNAと呼ぶ。理研ゲノム科学総合研究センター（GSC）の林崎良英プロジェクトディレクター（現 予防医療・診断技術開発プログラム [PMI] プログラムディレクター）らが2005年、マウスで大量のノンコーディングRNAを発見して大きな話題となった。

「私たちは松井章浩<sup>あきひろ</sup>研究員を中心に、シロイヌナズナを用いて環境ストレスを受けると長鎖ノンコーディングRNAが大量に発現することを明らかにして、2008年に発表しました。長鎖ノンコーディングRNAが環境ストレス適応に関連していることを示した初めての例です」

さらに、長鎖ノンコーディングRNAの80%以上がmRNAに対して相補的なアンチセンスRNAであること、mRNAとアンチセンスRNAの発現量は相関していることが分かった。DNAは2本の鎖が結合した、らせん構造になっている。遺伝子が発現するときには結合がほどけ、アンチセンス鎖と呼ばれる方のDNAを鋳型としてmRNAが転写される。もう一方のDNAはセンス鎖と呼ばれる。このセンス鎖を鋳型とし、タンパク質に翻訳されない長鎖ノンコーディングのアンチセンスRNAが転写される場合がある（図1）。

「環境ストレス適応における長鎖ノンコーディングRNAの機能はまだ不明ですが、私たちの最近の研究から、古いmRNAと選択的に結合して壊すことでmRNAのターンオーバーに関わっているらしいことが分かってきました。詳細な解析を進めているところです」

**■ 環境ストレスを記憶し、備える？**

二つ目のエピジェネティック制御とは、DNAの塩基配列の変化を伴わずに遺伝子の発現を制御する仕組みである。関TLらは、エピジェネティック制御の中でもヒストン修飾に注目している。DNAは、ヒストンというタンパク質に約150塩基対ずつ巻き付いてヌクレオソームを形成し、連なったヌクレオソームが折り畳まれてクロマチンという構造を取っている。ヌクレオソームからはヒストンのアミノ末端（N末端）が出ていて、そこにアセチル基が付いてアセチル化されると、クロマチンが緩んで遺伝子発現が活

性化される（図1）。「ヒストン修飾による遺伝子発現の制御は動物や酵母ではよく知られていますが、植物では詳しく調べられていませんでした。そこで金鐘<sup>きむ じよん</sup>明<sup>みん</sup>研究員を中心に、シロイヌナズナで乾燥ストレスを受けると発現することが分かっている遺伝子について、ヒストン修飾の変化を解析しました。その結果、植物でもヒストン修飾が遺伝子の発現を制御していることを明らかにし、2008年に発表しました。ヒストン修飾のパターンは多様で、ダイナミックに変化し、遺伝子発現を巧みに制御していたのです」

乾燥ストレスがかかると、特定の遺伝子領域でヒストンのアセチル化が増加してクロマチンが緩み、遺伝子発現が活性化された。水を与えると、アセチル化は減少してクロマチンが密になり、遺伝子発現が抑制された。ここまでは予想されていたことだが、例外があった。「乾燥ストレスがなくなったのに乾燥ストレス時に増加したあるヒストンの修飾が残ったままで、クロマチンが緩んでいる遺伝子があったのです。植物は環境ストレスを受けると、それを記憶し、次に同じストレスを受けたときに素早く遺伝子を発現させて適応できる仕組みが備わっているといわれています。一部のヒストン修飾が残るのは、環境ストレスの記憶に関わっているのではないかと考えています」

また関TLは、金研究員、東京大学大学院生の藤<sup>とう</sup>泰子<sup>たいこ</sup>氏（現 東京大学理学部助教）らと共に、ヒストン修飾酵素の変異体から乾燥ストレス耐性を示すものを探索した。「それまで知られていなかっ





図2 キャッサバ

キャッサバ(学名*Manihot esculenta*)はトウダイグサ科の熱帯性の低木で、高さは2~3mになる。長さ30~70cm、直径5~10cmのイモが、幹の根元に放射状につく。左から、ベトナムの圃場、収穫したイモ、遺伝子組み換え体の葉と根。

まったく新しい乾燥ストレス耐性のメカニズムを見つけています。近いうちに論文発表できると思います」

■ 春に成長を再開させる仕組み

関TLらは、mRNAに転写された後の制御も環境ストレス適応には重要であることを明らかにして、2014年に発表した。植物を急に氷点下の環境に置くと枯れてしまう。しかし冬コムギやホウレンソウは、秋になって温度が下がっても枯れず、冬を越し、春が来て暖かくなると成長を再開する。越冬性植物は、温度が低下していく時期に“低温馴化”といって耐凍性を獲得し、温度が上がってくると“脱馴化”といって耐凍性を解除して成長を再開させる仕組みが備わっているのだ。低温馴化は古くから研究されているが、脱馴化についてはよく分かっていない。

そこで中南健太郎 研究員を中心に、越冬性のシロイヌナズナを用いて、低温馴化と脱馴化の過程で発現する遺伝子とタンパク質を詳しく調べた。すると、低温馴化時にmRNAに転写されるものの、タンパク質の合成は脱馴化時に起きる遺伝子が226種類もあった。遺伝子が発現してmRNAに転写されると、多くの場合はすぐにタンパク質が合成される。遺伝子の発現とタンパク質の合成に時間差があるのは、なぜだろうか。

関TLの考えはこうだ。「DNAがmRNAに転写されるには、ある程度時間がかかります。あらかじめ脱馴化に必要な遺伝子を発現させてmRNAを準備しておくことで、温度が上がったら実際

に機能するタンパク質を素早く合成して成長を再開できるようにしているのではないのでしょうか」。遺伝子の発現とタンパク質の合成は別々に解析することが多い。同時に網羅的に解析したことによって初めて得られた成果である。「あるmRNAは、環境が変化して実際に機能する時期までストレス顆粒に貯蔵されています。ストレス顆粒とはストレスを受けると一時的に形成される構造で、その機能も含めてmRNAを安定的に貯蔵して環境ストレスに素早く適応するメカニズムを明らかにしようとしています」

■ ペプチドで環境ストレス耐性を付与

三つ目のペプチドとは、2~20個ほどのアミノ酸が連なったものだ。関TLは、中南研究員、岡本昌憲 研究員(現 鳥取大学テニユアトラック助教)、PSC機能

開発研究グループの花田耕介 研究員(現 九州工業大学准教授)らと共に、環境ストレスがかかるとペプチドに翻訳されると考えられる短いmRNAがたくさんつくられることを世界で初めて明らかにした(図1)。ペプチドも環境ストレス適応において重要な機能を果たしている証拠をつかみ、詳しく調べているところだ。

関TLは、「植物が環境ストレスに適応する仕組みを理解するには、遺伝子だけでなく、ノンコーディングRNAやエピジェネティック制御、転写後制御、ペプチドなど複合的に見ていくことが必要」と指摘する。現在は、環境ストレス適応に関連している遺伝子を過剰発現させたり欠損させたりすることで、環境ストレスに強い作物の創出が試みられている。しかし、環境ストレスには強くなるけれども生育が悪くなる例も報告され



図3 重イオンビーム照射による育種

キャッサバの実から種子を取り出し、仁科加速器研究センターの重イオン加速器で重イオンビームを照射してDNA二重鎖切断による変異を引き起こす。発芽した個体を培養室や圃場で栽培し、成長が早い、イモの収量が多い、環境ストレスに強いなど、有用な形質を持つものを選び出す。



図4 植物ゲノム発現研究チームのメンバー  
タイやベトナムの学生も受け入れている。

ている。「ノンコーディングRNAやエピジェネティック制御によって遺伝子の発現を調和的に制御することで、生育を阻害せずに環境ストレスに強い理想的な作物ができる可能性があります。また、得られた知見を活用し、化合物やペプチドを外から作物に添加することで耐性を付与するという使い方もできるでしょう」

#### ■ 食糧問題解決の糸口となるキャッサバ

ここからは、もう一つの研究テーマであるキャッサバについて紹介しよう(図2)。なぜキャッサバなのだろうか。

関TLらは、2002年にシロイヌナズナの全遺伝子の約60%に当たる遺伝子の完全長cDNA(相補的DNA)を収集し、その情報を公開した。完全長cDNAは、mRNAを逆転写してつくったものだ。タンパク質に翻訳される情報のすべてを持っていることから、遺伝子の機能解析に役立つ。「シロイヌナズナを深く掘り下げることが重要ですが、ほかの有用作物を解析することも重要です。そこで、国内外の研究機関と共同でコムギやダイズなどについて完全長cDNAの収集・解析を進めていました。そのころ、コロンビアにある国際熱帯農業センター(CIAT)主任研究員の石谷 学さんから『キャッサバをやってみない? 面白いよ』と声を掛けられたのです。それが始まりです」

まず、乾燥や高温、酸などの環境ストレスを与えたキャッサバから1万1000種の完全長cDNAを収集し、2007年にPSCゲノム情報統合化ユニットの櫻井哲也ユニットリーダー(現 CSRS統合ゲノ

ム情報研究ユニット)と共にその情報を公開した。「キャッサバのことを知るにつれて、そして科学技術振興機構(JST)の大型予算が獲得できた2009年ごろから本格的に取り組みたいと考えるようになりました」と関TLは振り返る。

キャッサバは、東南アジアやアフリカ、中南米で栽培されている非常に重要な作物だ。そのイモは5億人以上の食糧源に、葉は家畜の飼料になっている。イモから精製した澱粉は、アミノ酸や甘味料などの食品、プラスチックや接着剤などの工業製品、バイオ燃料の原料にも利用されている。また栽培が容易で、貧栄養土壌でも育つことから、人口増加や気候変動に起因する食糧問題やエネルギー問題の解決に貢献できる作物としても注目されている。「私は以前から食糧問題の解決につながる研究をしたいと考えていました。そこで、イモの収量が多い、病虫害や環境ストレスに強いなど、高付加価値のキャッサバをつくることを目標に据えました」

日本ではキャッサバは育たないため、タイのマヒドン大学、ベトナムの農業遺伝学研究所(AGI)、そしてCIATと国際共同研究を進めている。「キャッサバについては遺伝子の発現を調べるマイクロアレイもなかったので、研究基盤から整備していきました。内海好規 研究員を中心に統合オミックス解析などによって有用遺伝子候補を発見し、それを過剰発現させた遺伝子組み換え体を樹立するなど、研究は着々と進んでいます」。遺伝子組み換え体はベトナムやCIATの圃場で栽培し、収量の変化など

#### 関連情報

- 2014年11月20日プレスリリース  
越冬性植物の遺伝子発現とタンパク質発現にタイムラグ
- 2008年9月9日プレスリリース  
環境ストレス応答時のクロマチンの状態変化を同定
- 2008年7月16日プレスリリース  
約7,300種のシロイヌナズナ新規ノンコーディングRNAを同定
- 2007年12月6日プレスリリース  
世界最大規模:キャッサバ(タピオカ)完全長cDNA 約11,000種を同定

を試験しているところだ。

仁科加速器研究センターの生物照射チーム(阿部知子TL)との共同研究で、キャッサバの種子に重イオンビームを照射し、突然変異を起こして新品種を生み出す研究も進めている。1万個以上の種子に照射し、得られた約1,000系統の栽培をベトナムの圃場で始めた(図3)。「興味深い形質を持つキャッサバが見つかり始めています」と関TL。

#### ■ 東南アジアからの熱い期待に応える

2013年、CSRSとAGIがキャッサバの分子育種に関する研究協力の覚書を締結する際には、ベトナムの副首相が理研横浜事業所を訪問した。「期待の大きさを感じました。私たちは人材育成も担い、タイやベトナムの学生が私の研究チームで博士の学位取得を目指して頑張っています(図4)。今後もキャッサバ研究のネットワークを強化していきたいですね」。2016年度からはカンボジアとの共同研究を始める計画だ。

「キャッサバの研究者は日本でも増えてきましたが、遺伝子組み換え体までつくっているのは私たちだけ。内海研究員が頑張ったおかげです。国内外の共同研究依頼が増え、東南アジアの国々や日本企業からの期待も大きく、もうやめるわけにはいきません」と関TLは笑う。「モデル植物を用いて環境ストレス耐性のメカニズムを明らかにすることも重要です。得られた知見を有用作物につなげ、食糧やエネルギーなど人類が抱える問題の解決に貢献していきたいですね」

(取材・執筆:鈴木志乃/フotonクリエイト)



天文学者たちは巨大望遠鏡ではるかかなたの宇宙を観測し、素粒子物理学者たちは巨大加速器によって極微の世界を探索して、未知の物理現象を見いだそうとしている。

「未知の物理現象は、身近な物質の中にも潜んでいます」と、

理研創発物性科学研究センター スピン物性理論研究チームの多々良 源チームリーダー (TL) は言う。

「宇宙論や素粒子物理の理論家たちが、宇宙誕生や物質の根源を説明する究極理論をつくらうとしているのに対し、

私たち物性科学の理論家たちは、相対論や量子論など既存の理論を駆逐することで

物質の新現象を探索して、応用につなげることを目指しています」。多々良TLたちは、

「場」の理論を用いて、物質中の電子のスピンの電荷が生み出す現象の本質に迫ろうとしている。

## 場の理論で物質の最高性能を引き出す

### ■ ネオジム磁石と相対論効果

相対論によると、物質が超高速で運動すると、時間が遅れるなど不思議な現象が起きる。「相対論の効果は、超高速で飛行する人工衛星や宇宙で起きる天

体現象だけでなく、身近な物質の中でも表れます」。多々良TLはネオジム磁石を手、「この強力な磁力はまさに相対論効果によるものです」と紹介する。

1980年代に佐川真人博士によって開

発されたネオジム磁石は、現在でも最強の永久磁石だ。ネオジム磁石は、理科の実験などに使うフェライト磁石の10倍以上の磁力を持ち、ハードディスクドライブや電気自動車のモーターなどさまざまな用途で利用され、装置の小型化や省エネルギー化に貢献している。

磁石の磁力は、その中の電子が生み出している。電子はマイナスの電荷を持つとともに、スピンという角運動量を持つ。そのスピン角運動量が磁力の主な源だ。

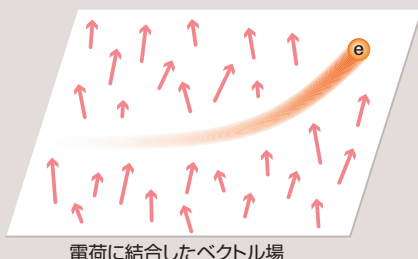
スピンは地球の自転に例えられる。自転に右回り・左回りがあり得るように、スピンにも向きがある。磁石では多くのスピンの向きがそろって全体として大きな磁力が現れるのだ。

では、ネオジム磁石とフェライト磁石では何が違うのか。「量子論から言えば正しい描像ではありませんが、ここでは原子は、原子核の周りを電子が回っていると考えてみましょう。太陽（原子核）の周りの軌道を、地球（電子）が自転（スピン）しながら公転しているようなイメージです」と多々良TL。

電子が原子核の周りを公転する状態は電流が円形に流れていると見なすことができ、それに伴って磁場（軌道角運動量）が生まれる。それが、自転に対応する電子のスピンの大きな影響を与えることがある。このようなスピン角運動量と軌道角運動量との相互作用を「スピン軌

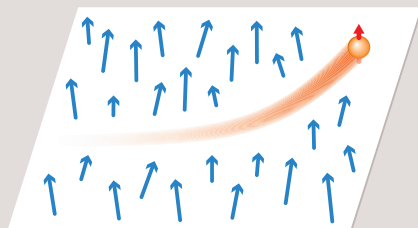
図1 物質に存在するベクトル場の概念図

#### A 物質一般



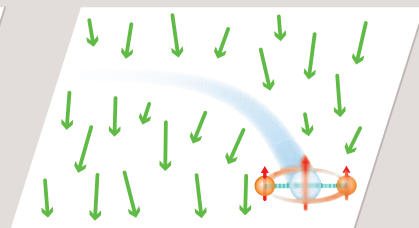
電荷に結合したベクトル場

#### B 金属の磁石



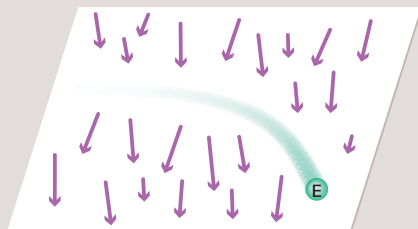
スピンの結合したベクトル場

#### C スピン軌道相互作用が強い磁性物質



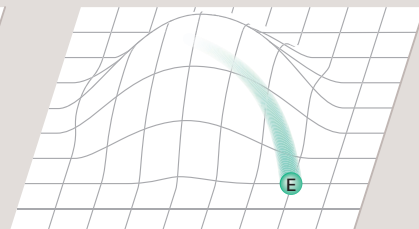
磁性とスピン軌道相互作用に結合したベクトル場

#### D-1 温度勾配をつけた物質



エネルギーに結合したベクトル場

#### D-2 温度勾配をつけた物質



エネルギーに結合したスカラー場

何らかの保存則が存在するところには、それに対応したベクトル場などの場がある。多々良TLは、物質中には電荷に結合したベクトル場 (A) のほかに、スピンの結合したベクトル場 (B)、さらに磁性とスピン軌道相互作用に結合したベクトル場 (C) やエネルギーに結合したベクトル場 (D) が存在すると指摘している。

例えば、電荷に結合したベクトル場 (A) の中で電子が移動すると、そのベクトル場のために電子の軌道がその電荷に依存して変化する。



## 多々良 源 (たたら・げん)

創発物性科学研究センター  
量子情報エレクトロニクス部門  
スピン物性理論研究チーム  
チームリーダー

1964年、埼玉県生まれ。博士（理学）。東京大学大学院理学系研究科物理学専攻博士課程修了。理研基礎科学特別研究員、大阪大学理学部助手、首都大学東京准教授などを経て、2012年、理研創発スピン物性理論研究チーム チームリーダー。2013年より現職。



道相互作用」と呼び、このスピン軌道相互作用が強力な磁石の実現に重要な役割を果たしている。

どのような磁石で、スピン軌道相互作用が強くなるのか。原子核は、プラス電荷の陽子と電荷を持たない中性子から成り、元素の種類は陽子の数で決まる。フェライト磁石の主成分は陽子26個の原子核を持つ鉄、ネオジム磁石の主成分は陽子60個のネオジムだ。

「原子核の陽子の数が多いほど、マイナス電荷の電子が強く引きつけられるため、軌道運動する電子の速度が速くなると見なすことができます。相対論によると、速度が光速に近くなると軌道角運動量は急激に大きくなり、スピン軌道相互作用が強まります。ネオジム磁石の陽子

数は鉄の2倍以上あるため、それだけスピン軌道相互作用が強くなるのです。スピン軌道相互作用が弱いとスピンの向きはばらばらになりがちですが、強くなるとスピンは軌道角運動量を通じて特定の方向にそろおうとします。ネオジム磁石は、相対論効果によりスピン軌道相互作用が強く、スピンの向きがそろい、強力な磁力が生まれます。つまり、相対論効果を一番強く実感することができるのは、宇宙ではなく、強力な磁石なのです」(図2)

### ■ スピンと電荷を強く結合させる

従来のエレクトロニクスでは、電子の性質のうち電荷を主に利用してきた。例えば現在のコンピュータは、半導体トランジスタに電流が流れるか、流れないかを、1と0に対応させて情報処理を行っている。

近年、電子のもう一つの性質であるス

ピンも活用して、さらに高性能の電子素子をつくり出すことを目指す「スピントロニクス」の研究が進められている。

例えば、現在のハードディスクは、スピン（磁化）の向きを1と0に対応させて記録し、それを電流に変換して情報を読み出している。このときの電流への変換は、ハードディスクの外部にできる磁場を磁気ヘッドで検出することで行われている。しかしその変換にはある程度のサイズが必要であり、変換効率も低い。スピントロニクス技術を用いれば、物質内部で電流への直接変換が可能となり、メモリーの省電力化・高集積化が実現できると期待されている。

このように従来のエレクトロニクスにスピントロニクスを組み込むには、スピンによって、より大きな電流を発生させることが重要だ。「スピントロニクスでは、スピンと電荷をいかに効率よく変換するかが重要テーマになっているのです。ここでは、スピン軌道相互作用を利用することがポイントになります」

2007年にノーベル物理学賞を受賞したフランスのアルベール・フェール博士たちの研究グループが最近、銀とビスマスから成るナノ（10億分の1）メートルサイズの素子の磁石層に磁場をかけて、銀とビスマスの界面に大きな電流を発生させる実験に成功した。「磁場をかけることで磁石層のスピンの向きが変わって『スピン流』が発生し、それが電流に変換されたと解釈されています」(図3)

電子の電荷の流れが電流であるのに対して、スピンの流れがスピン流だ。ビスマスと銀の層の界面は、スピン軌道相

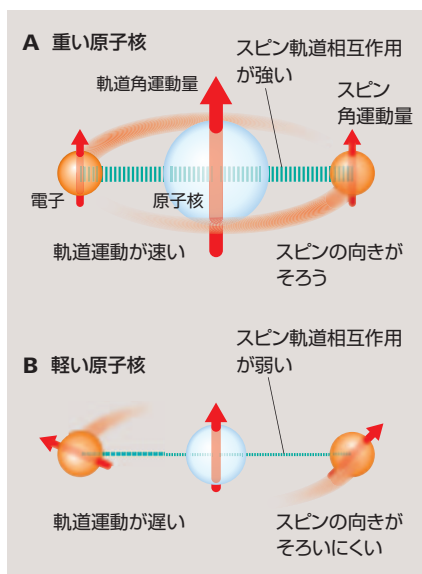


図2 スピン軌道相互作用の概念図

重い原子核の周りを回る電子の軌道運動は速いため、スピン軌道相互作用が強くなり、スピンは軌道角運動量に応じた特定の向きにそろおうとする(A)。逆に、軽い原子核の周りを回る電子の軌道運動は遅く、スピン軌道相互作用は弱いため、スピンの向きはそろいにくい(B)。

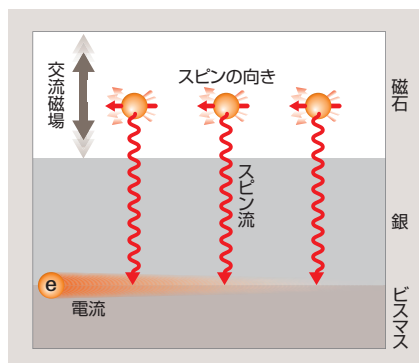
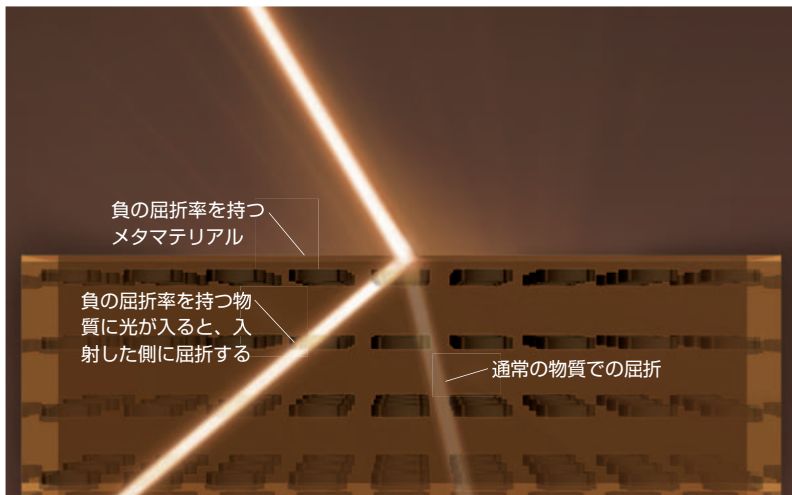


図3 スピン軌道相互作用が強いナノ素子の構造

磁石層に交流磁場をかけてスピンの向きを変化させると、スピン流が発生し、それに銀とビスマスの界面に存在するスピン軌道相互作用が働くことで大きな電流が流れる。この現象は、磁性とスピン軌道相互作用に結合したベクトル場(図1C)で説明することができる。このようなナノ素子は、超高感度の磁気センサーやスピン-電流交換素子などに応用できる可能性がある。



イラスト：吉原成行

図4 負の屈折率を持つメタマテリアルの概念図

スピン軌道相互作用が強い物質はもともとメタマテリアルになることを、多々良TLたちは指摘している。

相互作用がとても強い状態になっている。スピン軌道相互作用が強いほど、スピン流によって大きな電流が流れることが知られている。

「応用を目指した研究ならば、スピン流が電流に変換されたという従来の解釈で十分でしょう。しかし私は、スピン流が流れたことが、電流が発生したことの本质ではないと考えています。現象の本質を、相対論や量子論を駆使して考えることが私の研究スタイルです。華やかなスピントロニクス研究の主流とは、逆行していると思います……」

フェール博士たちが実験したナノ素子では、銀とビスマスの組み合わせが最もスピン軌道相互作用が強く、スピン流によって大きな電流が発生する。しかし、銀を銅に替えると電流が弱くなってしまふ。

「銀と銅は電気伝導に関しては性質がよく似ていますが、スピンと電荷の結合の観点では非常に異なった特性を持つのです。私はどのような物質を使えばスピンと電荷が強く結合するのか、原理を突き止めたいと考えています。それにより、元素の組み合わせの違いで電流の大きさがどのように変わるのか予測できるようにするはずですよ」

### ■ 保存則に対応した場

多々良TLは、「場」の理論によって物質で起きる現象の本質に迫ろうとしている。「場とは、空間の各点でエネルギーなど物理的に測定できる量（物理量）を

持つ存在を表す用語で、音波、電磁波などの波動や、電子、ニュートリノなどの素粒子も場の一種です」

自然界は、さまざまな「対称性」を持つ。対称性とは、ある操作をしても、その前後で物理法則は変わらないという性質だ。「例えば、電気を熱に換えるなどのエネルギー変換を行ってもエネルギーの総量は変わらないエネルギー保存則や、二つの物質が衝突した前後で運動量の総和は変わらない運動量保存則は、時間と空間が持つ対称性の帰結です」

こうした対称性のほかに、自然界に存在するいくつかの場は、「ゲージ対称性」という性質を持つことが知られている。化学反応などの前後で電荷の総量が変わらない電荷保存則は、ゲージ対称性の帰結だ。

「場の理論によると、一見、何もない真空中でも、ゲージ対称性に対応した場（ゲージ場）が広がっています。電場と磁場が結び付いた電磁場もゲージ場の一種です」

真空中でも光（電磁波）が伝わるのは、電磁場の場としての特性の表れである。「電磁場は、ベクトルポテンシャルという電磁場に固有のベクトル場によって表すことができます。それは大きさと向きを持つベクトルが空間に敷き詰められたイメージです」（図1）

ベクトルポテンシャルは、電磁気学の基礎方程式であるマックスウェル方程式において電場と磁場を記述するために導

入されたもので、長らく物理的に意味のない数学的な量と考えられてきたが、1986年、故 外村 彰博士（元 日立製作所フェロー・理研グループディレクター）によって、その実在が目に見える形で証明された。ベクトルポテンシャルは、電場や磁場より本質的な物理量だと考えられている。

何らかの保存則（対称性）が存在するところには、それに対応したベクトル場などの場がある。「物質中には、電荷保存則に対応した電荷に結合したベクトル場があります。物質中の電子の電荷が生み出す現象やすべてのエレクトロニクス現象は、電荷に結合したベクトル場によって、その本質を理解することができます」（図1A）

「さらに金属の磁石には、スピンの保存則が存在するので、スピンに結合したベクトル場があります。スピンだけを操作できる第2のベクトル場です」（図1B）

創発物性科学研究センターの十倉好紀センター長たちは、そのスピンに結合したベクトル場を「創発電磁場」と呼んでいる（『理研ニュース』2015年2月号「研究最前線」参照）。「私は『スピン電磁場』と呼んでおり、まだ学界で定まった名称はありませんが、スピントロニクス研究において重要な概念になっています」

電流を流すと電気抵抗によってジュール熱が発生して、その分の電気エネルギーが無駄になってしまう。一方、スピン電磁場でスピンだけを操作して情報処理を行うことができれば、ジュール熱は発生せず、省電力型の情報処理ができると期待されている。

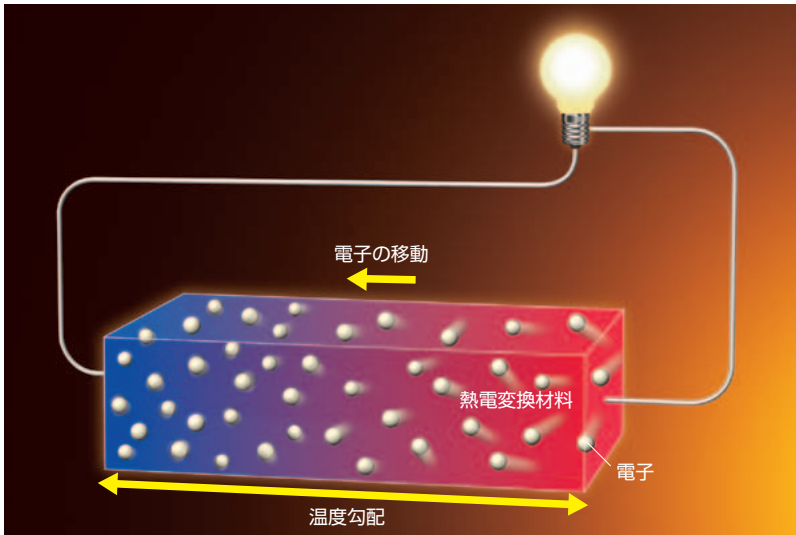


図5 熱電変換材料の概念図

イラスト：吉原成行

ある種の物質に温度勾配を与えると電流が流れ、発電することができる(ゼーベック素子)。逆に、電流により冷却・加熱を行うこともできる(ペルチェ素子)。

### ■ 第3のベクトル場を提唱

多々良TLたちは2012年から、スピン軌道相互作用の強い磁石や素子には、スピン軌道相互作用に関係する保存則が存在し、それに対応した第3のベクトル場があることを指摘している(図1C)。

「フェール博士たちのナノ素子でも、スピン軌道相互作用が強いので、第3のベクトル場があると考えられます。彼らの実験結果は普通、スピン軌道相互作用によってスピン流が電流に変換されたと解釈されていますが、私たちは、スピン流が流れると第3のベクトル場を介して電流が生じることが、この現象の本質だと考えています。私たちは、第3のベクトル場の概念によって、スピンと電荷が強く結び付いた現象の本質を理解する研究を進めています」

「さらに私たちは、スピン軌道相互作用の強い物質は、負の屈折率を持つメタマテリアルになり得ることを指摘しました」と多々良TLは続ける。

メタマテリアルとは、光(電磁波)の屈折率を自在に変えることができる物質だ。負の屈折率を実現できれば、極めて薄い眼鏡レンズや原子も観察できる光学顕微鏡レンズなど、夢のようなレンズが実現できると期待されている(図4)。

物体の背後から来る光の進行方向を変えて、物体で遮られないように迂回させれば、その物体は見えなくなる。メタ

マテリアルにより、透明マントもできるかもしれない。

「私たちは、スピン軌道相互作用の強い物質のメタマテリアル特性を、第3のベクトル場に基づいて調べる研究も進めています」

### ■ 温度勾配をベクトル場で表す新理論

物質に熱を加えて温度勾配を与えると、熱流や電流、スピン流などのエネルギー流が発生することが知られている。2015年、多々良TLは、温度勾配を与えた物質に現れる場を、ベクトル場で表す新理論を提唱した(図1D-1)。

「熱や温度勾配は物質全体に現れるマクロの現象なので、そのような現象をミクロの世界を記述する量子論の場に導入することは原理的な問題を含んでおり、厳密な議論は不可能です。ただし、局所的な熱平衡状態があればエネルギー保存則が成り立ち、それに対応した場を導入することも許されます。この状況では温度勾配を持つ物質内に新しいベクトル場が存在していると思えます。その場は、熱流や電流、スピン流などのエネルギー流を操作することができます。実際にその場の理論で温度勾配によって発生するエネルギー流をうまく計算することも確認しました」

ベクトル場はスカラー場(スカラーポテンシャル)によっても表すことができ

る(図1D-2)。約50年前、米国のラッティンジャーは、温度勾配を与えた物質に現れる場をスカラー場で記述する理論を提案している。

「スカラー場は山や谷のような起伏で場を表します。その理論により、例えば、磁石に温度勾配を与えたときに発生するスピン流の大きさを計算することができます。ただし、スカラー場の方程式は難しく扱いにくい理論でした。私は、それを計算がしやすいベクトル場で記述したのです」

発電機やエンジンに投入したエネルギーの大部分は、熱として捨てられている。そのような廃熱を高効率で電気に変換できる熱電変換材料が開発できれば、エネルギー問題の解決に大きく貢献できる(図5)。

多々良TLの新理論により、温度勾配で発生する電流などのコンピュータ・シミュレーションが容易になり、高効率の熱電変換材料など、熱を利用した新しい機能を持つ材料開発に役立つだろう。

### ■ 紙と鉛筆で新現象を探索する

合気道が趣味という多々良TLの研究室には畳が敷かれている。「研究の合間に、畳の上で時々、木刀を振って気分転換をしています」

「私自身は、コンピュータ・シミュレーションを行わず、紙と鉛筆を使った理論研究を進めています。これからも自然現象の本質を探り、面白い現象の探索を続けて、物質の最高性能を引き出すことを目指していきます」

(取材・執筆：立山 晃/フォトンクリエイト)



## メタボロミクスと天然物化学を結ぶ研究者

生物がつくる代謝物を質量分析計などで網羅的に解析するメタボロミクス。さまざまな代謝物の中から特定の代謝物を精製し、その化学構造と機能を明らかにして、人工的に合成する方法を開発する天然物化学。この二つの分野を結び付けることで、代謝物を効率的に解析して植物の多様な物質生産のメカニズムを解明する。また有用な代謝物を発見して医薬品や保健機能性食品の開発につなげる。それを目指している研究者が、環境資源科学研究センター (CSRS) にいる。統合メタボロミクス研究グループの中林 亮 研究員だ。自分の性格をあまのじゃくと分析。「人と同じことはやりたくないの、常に新しい手法を模索しています」。そんな中林研究員の素顔に迫る。



### 中林 亮

環境資源科学研究センター  
統合メタボロミクス研究グループ  
研究員

#### なかばやし・りょう

1980年、大阪府生まれ。博士(薬学)。鳥取大学農学部生物資源環境学科卒業。同大学大学院農学研究科修士課程修了。千葉大学大学院医学薬学府創薬生命科学専攻博士課程修了。理研植物科学研究センターメタボローム機能研究グループ特別研究員などを経て、2015年より現職。

「観戦も含めて球技が好き」と言う中林研究員。小・中学校では野球、高校ではハンドボール、大学ではソフトボールに打ち込んだ。理学療法士の両親に同じ道を勧められるも、「砂漠の緑化に貢献したい」と鳥取大学農学部へ。「環境問題には小学生のころから興味がありました。石油タンカーの座礁は生態系にとって大問題だ、ファストフード店のトレーの紙は無駄だ、と書いた作文が残っています」。研究分野は、天然物化学を選んだ。微生物がつくる代謝物を精製し、植物に投与して成長を促進あるいは阻害するなどの活性のある新しい代謝物を、ひたすら探した。「宝探しのように面白かったですね」

鳥取大学の大学院に進んだが、そう簡単には新しい有用代謝物は見つからない。「もっと楽な方法はないかと思案していたところ、セミナーでメタボロミクスという新しい分野があることを知りました。試料を質量分析計にかけると代謝物が網羅的に検出され、データベースで照会すれば既知か未知か分かるという。何と簡単な！ぜひその研究がしたいと、千葉大学の斉藤和季教授(現 CSRS副センター長・統合メタボロミクス研究グループグループディレクター)の門戸をたたきました。2010年からは理研植物科学研究センター特別研究員に。「実はメタボロミクスはまだ、最初にイメージした魔法のよう

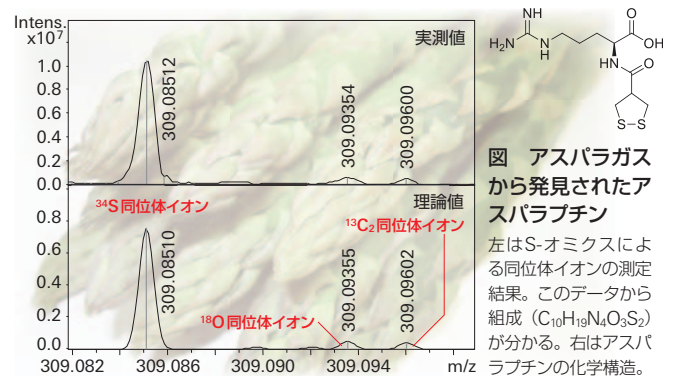


図 アスパラガスから発見されたアスパラプチン

左はS-オミクスによる同位体イオンの測定結果。このデータから組成(C<sub>10</sub>H<sub>19</sub>N<sub>4</sub>O<sub>3</sub>S<sub>2</sub>)が分かる。右はアスパラプチンの化学構造。

な技術ではなかったのです。そこで、代謝物を素早く的確に取りこぼさなく解析するための技術開発をしています」

2013年には、硫黄を含む代謝物を網羅的に高速・高精度に測定して化学組成を決定できるS-オミクスを開発。含硫黄代謝物に注目したのは、抗炎症や抗酸化作用があるからだ。そして、S-オミクスを用いてアスパラガスから未知の含硫黄代謝物を検出し、化学組成を決定することに成功(図)。さらに天然物化学の手法を使って化学構造を決定し、また血圧調節に関与している酵素に対して阻害活性があることを明らかにした。「この代謝物をアスパラプチンと名付けました。新興のメタボロミクスと従来の天然物化学にはそれぞれ専門家がいて、両者には距離がありました。幸いにも私は両方を知っていたので、二つの分野を結び付けることで有用な代謝物に素早くたどり着くことができました。現在は、保健機能性食品への応用も視野に入れ、アスパラプチンの詳細な機能を調べている。窒素を含む代謝物を解析するN-オミクスも開発中だ。

ある植物の代謝物のうち化学構造まで分かっているものは1割にも満たないといわれている。検出された代謝物をデータベースで照会すると、ほとんどが未知と出る。「その結果に落胆する人もいますが、私は未知が多いほどうれしいですね。未知は、新しい構造や機能の発見につながるということ。研究のやりがいがあります」。未知をなくしていくことも、任務の一つである。「未知の代謝物の構造を一つ一つ解析し、その情報をデータベースに入れていく。その手作業を積み重ねることで、既知情報を増やします。蓄積した情報を駆使することで未知の代謝物の構造を一齐に推定できるようになります。メタボロミクスが魔法のようになる日は必ず来るでしょう」

子どものころは植物には興味がなく、大学でも植物の種類を覚えたり葉から名前を答えたりするのは嫌だったが、今は植物園に行くのも楽しみの一つだ。「色や形が珍しい植物を見ると、どんな代謝物があるのか解析してみたいと、うずうずします。見たこともない化学構造の代謝物にもっと出会ってみたいですね」

(取材・執筆：鈴木志乃/フotonクリエイト)

## 「nano tech 2016 第15回 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議」出展のお知らせ

2016年1月27日(水)～29日(金)開催「nano tech 2016 第15回 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議」に、物理・工学系分野の研究成果を基礎として、産業連携のイメージを描きつつある最先端技術を出展します。出口となるデバイスが共通するテーマ、異分野を出口とするテーマなど、さまざまなテーマが集まりました。理研ブース内にて、ポスター発表に加えて研究者自身によるプレゼンテーションも予定しています。研究者との特に分野を超えたネットワーク構築の機会として、皆さまのご来場をお待ちしています！

日時	2016年1月27日(水)～29日(金) 10:00～17:00
場所	東京ビッグサイト東4・5・6ホール&会議棟 (東京都江東区有明3-11-1) 最寄駅：ゆりかもめ「国際展示場正門駅」、 りんかい線「国際展示場駅」
主催	nano tech実行委員会
後援	内閣府、総務省、文部科学省、農林水産省、経済産業省、 理化学研究所ほか
入場料	3,000円(Web事前登録の場合、入場無料)
詳細	<a href="http://www.nanotechexpo.jp/">http://www.nanotechexpo.jp/</a>

「nano tech 2015」の様子



International Nanotechnology Exhibition & Conference

**nano tech 2016**

国際ナノテクノロジー 総合展・技術会議

### 出展テーマ一覧

#### 有機半導体コロイドと3次元曲面素子の開発

－クリーンな素子製造－

イノベーション推進センター 光電子デバイス工学研究チーム

田島右副

#### 有機半導体材料、および新規 $\pi$ 電子系骨格の開発

創発物性科学研究センター 創発分子機能研究グループ

瀧宮和男・尾坂 格・川島和彰

#### 半導体ポリマー材料を応用した自己組織化構造制御

創発物性科学研究センター 創発機能高分子研究チーム

但馬敬介

#### 高コントラスト・低毒性MRI陽性造影剤の開発

創発物性科学研究センター 創発ソフトマター機能研究グループ

宮島大吾

#### 3次元Ex Vivo空間での遺伝子発現分布の測定

－TT法で全脳を網羅解析－

光量子工学研究領域 画像情報処理研究チーム

横田秀夫・於保祐子

#### RIビームでオンライン精密摩耗量測定 －摩耗のイメージング－

仁科加速器研究センター 産業連携チーム

吉田 敦

#### 効率的に試行錯誤する方法

物質・材料研究機構 原子エレクトロニクスグループ

金 成主

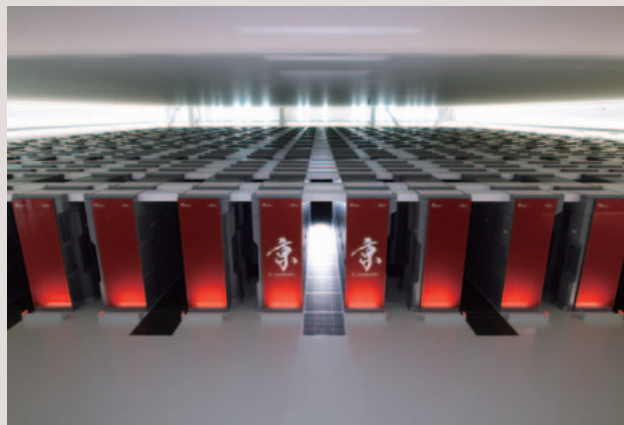
#### 物理モデリングシミュレーションによる革新的開発プロセス

インテグレーションテクノロジー株式会社(理研ベンチャー)

## 「スパコン『京』がひらく社会と科学 シンポジウム『スーパーコンピュータの今とこれから』開催のお知らせ

「京」の運用開始から4年、最新の研究成果をピックアップしてご紹介します。またHPCI戦略プログラム最終年度として、その集大成をポスター展示。さらに、現在開発が進められている後継機 ポスト「京」や、今後ポスト「京」を用いて研究を行う重点課題についてもご紹介します。

日時	2016年1月29日(金) 10:00～18:00
場所	よみうり大手町ホール(東京都千代田区大手町1-7-1)
参加登録	必要(参加費無料) 申し込みはWebまたはFAXで受け付けます。
詳細	<a href="http://www.aics.riken.jp/imakore/">http://www.aics.riken.jp/imakore/</a>
主催	理化学研究所計算科学研究機構 高度情報科学技術研究機構





## 『それは私! ?』

羽入佐和子 はにゅう・さわこ  
理化学研究所 理事

最近体重計を買い替えました。そしてうれしいことに、一日働くと、夜には3歳くらい若くなるのが分かりました。このままでいけば、2週間で20代に戻れます。ですが、残念なことに、一晩寝ると元に戻ってしまいます。ですので、なかなか若返りません。そこで、寝なければよいのではないか、試してみたいとも思いますが、今のところ実行できていません。一度朝方まで起きていて、仮眠を取る前に試してみると、少し元に戻ってしまっていました。結局同じことの繰り返しなのです。

これは「体内年齢」の話です。「体内年齢」とは何か。それは筋肉量、基礎代謝から算出されていて、それらが高いほど体内年齢は若くなる、のだそうです。体を動かすことが数値を高めるというだけの話かもしれません。いずれにしても、一日働くと何歳か若返ることができるのでしたら、一生懸命働かなくては。

「体内時計」という言葉を聞くこともあります。そもそも「体内」と「体外」を区別するものは何か。一つの空間にある身体の内と外とを区別するのは何か。あるいは、一般に「内」と「外」は何を根拠に区別できるのか。このような疑問を持ってしまうのは、私が哲学という分野に身を置いてきたからなのかもしれません。哲学では、使用されている概念をあらためて問い直すことも一つのテーマになります。

私は国立研究開発法人である理化学研究所に所属していますが、「国立」とは何か。「国によって設置された」研究所ですが、そのことは研究所の活動とどのような関係を持つのでしょうか。

学生のころ、哲学のテーマを考えたときの問題意識は、人間の科学的分析はどこまで可能か、その分析に限界があるとすれば、限界を超えたところに何かがあり得るのか、ということでした。

これは、「人間とは何か」という問いとして示されることもあります。

ドイツの哲学者カントは、この問いを三つに分けました。



写真・理事長定例記者懇談会  
対応(上)や、所内の託児施設  
視察(下)をする筆者



「人間は何を知ることができるか?」「人間は何をなすべきか?」「人間は何を望んでよいのか?」です。これらの問いが、「人間とは何か?」という問いに集約される、ということなのです。

コンピュータが急速に進化し始めていたときに学生時代を過ごした私の問題意識はむしろ、「人は、あるいは個人はどこまでデータ化でき、情報として表現できるのか?」「そのデータの集積は〈その人〉といえるか、いえないか?」「個人々の存在の特性はどこにあるのか、そして個人はなぜ尊重されなくてはいけないのか?」などでした。

多くの人々が生まれ、生き、さらにさまざまな物が存在している中で、「人」は特別な存在なのでしょう。

日本で最も優れた自然科学の研究所に身を置く機会を頂き、あらためて当時の問題意識を思い起こしています。

4月、満開の桜に迎えられ初めての理化学研究所での勤務が始まり、その数日後には雪が舞い、今、新たな年を迎えました。この10ヶ月足らずの間、常に周囲の職員の皆さまや研究者の方々にさまざまな形で支えていただいたことに感謝をしています。

新年を迎えてあらためてこの研究所のために、そして日々若くなるために、微力を尽くしたいと思います。

今年が、よい年でありますように。

2016年1月

羽入佐和子

創立百周年記念事業寄附金へのご支援のお願い

創立百周年(2017年)の記念事業寄附金へのご支援をお願いします。

問合せ先 ● 理研 外部資金室 寄附金担当

Tel : 048-462-4955 Email : kifuf-info@riken.jp

理研 寄附金  
Support RIKEN

理化学研究所 創立百周年  
RIKEN 100th Anniversary



http://www.riken.jp/