

# RIKEN NEWS

 **理化学研究所**

**SUMMER 2021**  
No.478

**研究最前線**

検出法開発からマスクの効果分析まで、  
新型コロナ研究で成果……p.04

肌のハリと潤いの相互作用を解明……p.05

磁石の中の小さな洞が社会を変える？

**スキルミオンと**

**アンチスキルミオン**……p.06

無機物なのにまるで生物……p.08

赤ちゃんマグロの餌を  
品種改良で大型化……p.09

**バイオの力で**

**脱石油のゴムづくり**……p.10

クモ糸の構造を再現、人工合成の糸口に……p.12

脳はいかにして“時間”を認識するのか？……p.13

植物ホルモン解析の達人！

情熱と技術で研究を支える……p.16

**基礎研究の意義は**

**どこにあるのか**……p.18

**特集**

**量子コンピュータの  
実用化加速へ**……p.02

**人がこころを感じる  
ロボットを目指して**……p.14

**私の科学道**

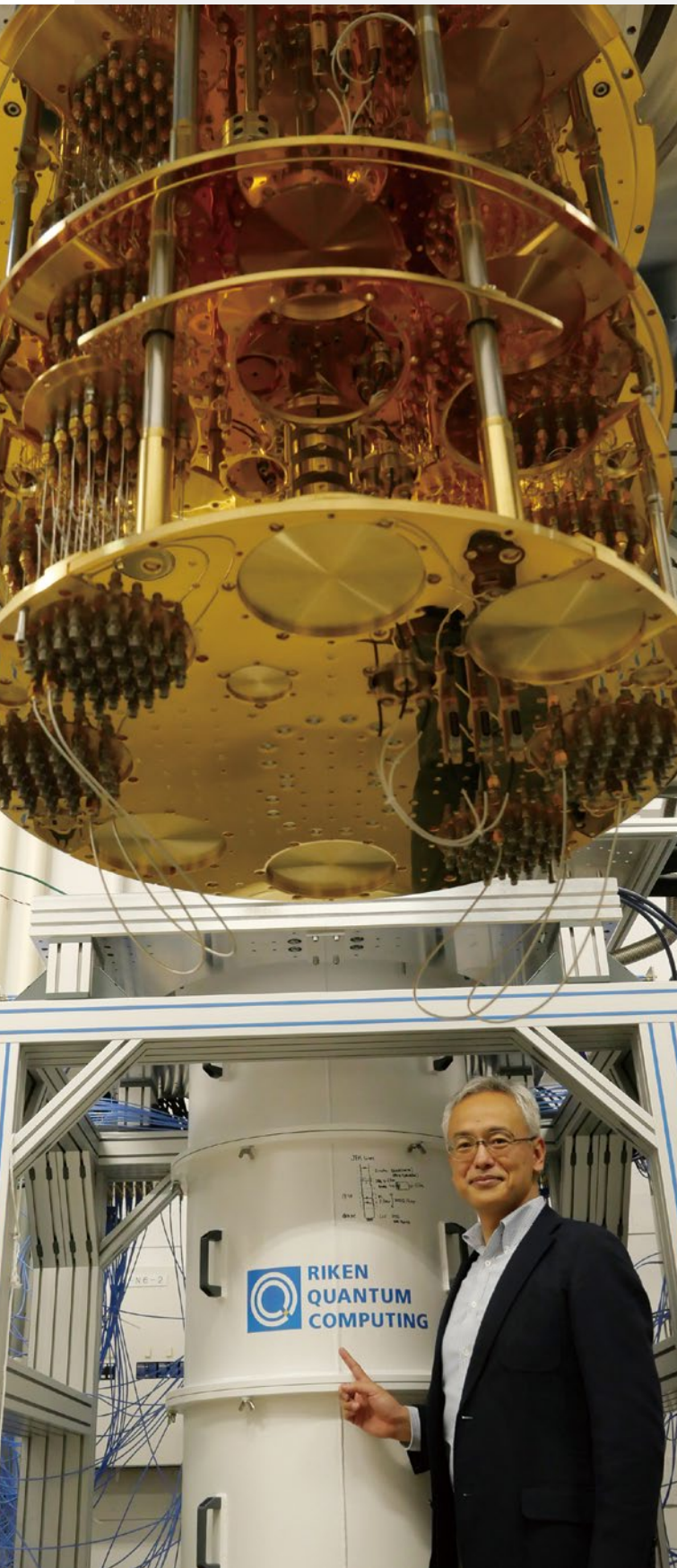
みんなを笑顔にさせる「強い力」……p.17

**原酒**

私なりの「研究支援専門職」……p.20

**科学道**  
Dreams to the Future

# 量子コンピュータの 実用化加速へ



16量子ビットの量子コンピュータ用チップを内蔵した巨大な冷凍機（奥）

## 量子コンピュータ研究センターが発足

量子コンピュータや量子暗号など、従来とは比較にならない潜在能力を秘めた量子技術の活用により、産業も社会も大きく変革する量子時代が到来したといわれている。その基盤となる研究を戦略的に進める国内8つの拠点の一つとして、2021年4月1日、理研に量子コンピュータ研究センター（RQC）が発足した。量子コンピュータの情報単位である「量子ビット」を、世界で初めて固体素子で実現した中村泰信センター長のもと14の研究室が集結し、日本の量子研究を牽引して、世界的な研究の進展に貢献しようとしている。

量子コンピュータには大きく分けて、「アニーリング方式」と「ゲート方式」という2種類の計算方式がある。実はどちらの研究にも、日本から発表された論文が基礎的な貢献をしている。いずれの方式に対しても、超伝導量子ビットを用いた超伝導量子コンピュータの研究開発が行われており、1999年、当時NECにいた中村センター長や蔡兆申<sup>ツァイ Zhao Shen</sup> TL (RQC超伝導量子シミュレーション研究チーム)らの研究チームが発表した実験の論文が基礎になっている。当時はまだ、量子コンピュータがすぐに実現すると考えていた研究者はほとんどいなかった。「1999年の論文では、私も1か所だけ“量子コンピュータ”に言及しましたが、こんなスピードで基礎的な研究が実用化に近づくとは思っていませんでした」。中村センター長は照れ笑いをしながらこう振り返る。

量子コンピュータの実用化が現実味を帯びる中で日本政府は2020年、「量子技術イノベーション戦略」を策定。この戦略に基づいて産官学が結集し、基礎研究から技術の実証、人材育成まで多角的に取り組み、海外の研究者らとも交流して国際的な

## 中村 泰信（なかむら やすのぶ）

量子コンピュータ研究センター  
センター長

1968年大阪府生まれ。東京大学大学院工学系研究科超伝導工学専攻修士課程修了。博士（工学）。1992年に日本電気株式会社（NEC）に入社、主席研究員などとして研究に従事。2002年から理研 客員研究員兼任。2012年東京大学教授、2014年から理研創発物性科学研究センター超伝導量子エレクトロニクス研究チームのチームリーダー（TL）。2021年より現職。

研究を行う「量子技術イノベーション拠点」を創設することを決めた。選ばれたのは、量子コンピュータの開発拠点として理研、そのほか、産業技術総合研究所、東京大学一企業連合、大阪大学、情報通信研究機構、量子科学技術研究開発機構、物質・材料研究機構、東京工業大学の八つだ。理研は、8拠点のまとめ役である「中核組織」の役割も担う。

## 量子の誤りとの戦い

従来のコンピュータは0と1の2進法の世界だ。量子コンピュータに対して古典コンピュータとも呼ばれる従来のコンピュータは、例えば電流の有無で0と1を区別し、1ビットは0か1かのどちらかを表す。量子コンピュータでは「重ね合わせ」や「もつれ」といった量子の不思議な性質を利用して、1量子ビットで0と1を同時に表したり、AとBという2個の量子ビットがあるときに、Aが0(1)ならBは必ず1(0)になるといった相関を持たせたりすることができる。量子ビットを1個増やすだけで同時に計算できる組み合わせの数が倍になり、その数は量子ビット数とともに指数関数的に増えるのだ。

量子コンピュータを古典コンピュータのように汎用性のあるものにし、かつ大規模な計算を実現できるようにするために、世界中で盛んに研究がおこなわれている。現時点では、計算の途中で生じるエラー（誤り）をきちんと修復できないため、小規模で限られた演算しかできないのだ。

熱など外部の要因によるノイズや量子ビット同士の干渉といった理由などのため、量子ビットが設定通り動作せず、演算に誤りが生じることがある。計算の途中でこれを検知し訂正することにより、正しい計算を続けられるようにすることが、将来の量子コンピュータにとっての重要な課題である。

中村センター長は「量子コンピュータの中では、確率的に一定の頻度で誤りが起きます。現在、理研で開発中の量子コンピュータでは超伝導材料で回路（表紙）をつくり、マイクロ波を使って量子ビットを制御しています。しかし、使うマイクロ波の強さや周波数など、制御パラメーターが非常に多いため、微妙な調整具合によっても誤りの発生確率が変わってしまうのです」と説明する。そして、「ちょっとした変化で量子ビットの機嫌が悪くなってしまう」と、まるでわが子のことを語るように言う。



### 「量子技術イノベーション拠点」の発足式典

2021年2月26日、式典とシンポジウムがオンサイトとオンラインのハイブリッド形式で開かれた。理研をはじめ8拠点の代表がパネリストとして登壇し、今後の方向性や連携のあり方について意見が交換された。

誤りを訂正しながら計算を進めることのできる大規模な量子コンピュータの実用化にはまだ相当の時間がかかると考えられており、前段階として、「有限の誤り発生確率を前提にして量子コンピュータの可能性と応用を探る」というのが現在の研究者と産業界のスタンスだ。

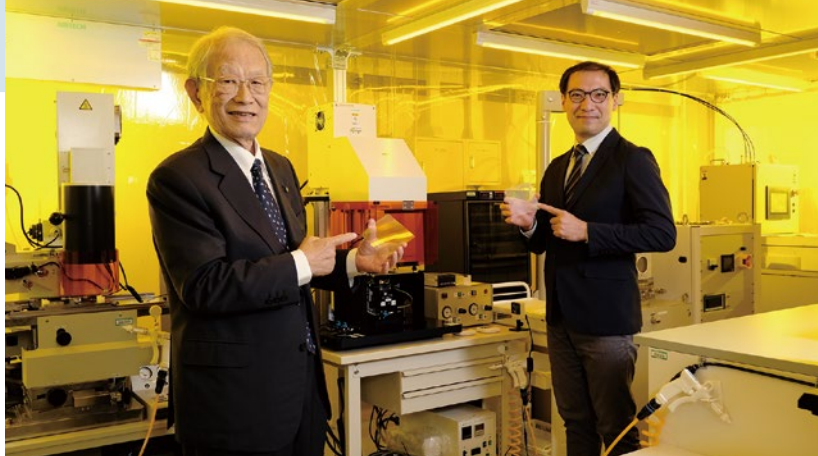
## 「量子情報科学」が異分野間の共通言語に

誤りを訂正しながら計算を実行できる量子コンピュータの実現に向け、量子ビットに対する制御の精度をどこまで高められるか。RQCでは、これまで理研で培われてきた研究成果に新たに加わったメンバーの知見も加え、さまざまなアプローチがとられている。樽茶清悟 TL（半導体量子情報デバイス研究チーム）は、RQCの母体となった創発物性科学研究センターで、シリコンを使った量子ビットの世界最高レベルの精度の制御に成功している。また、4月に東京大学から理研に着任した古澤 明 TLらは光を用いた量子コンピュータの実現を目指している。

「従来、超伝導デバイスと半導体（シリコン）回路、光技術などはそれぞれ異なる分野で研究されてきたのですが、いまや量子情報科学が分野をまたがる共通言語になり、より自由にアイデアの交換ができるようになりました。半導体回路で常識となっていることを超伝導デバイスに適用すると思わぬ課題解決策が見つかるなど、異分野交流のメリットは大きいですね。RQCでは、この良さを存分に生かしていきたい」と中村センター長は抱負を語る。

量子コンピュータの応用は、情報通信をはじめ、幅広い分野で期待されているが、そもそも何に使えるのかという点についてもまだ研究の余地があるという。「私個人は、最終的には量子コンピュータを使って量子の世界の性質をさらに解明していきたいと考えていますが、発展途上の研究領域だけに、可能性は無限。魅力的な研究分野なので、ぜひ若い人たちにも挑戦してほしいですね」

検出用のマイクロチップを手にする松本 紘 理事長(写真左)と渡邊力也 主任研究員



渡邊 力也(わたなべりきや)

開拓研究本部  
渡邊分子生理学研究室  
主任研究員

1981年静岡県生まれ。2009年大阪大学大学院工学研究科生命先端工学専攻博士課程修了。博士(工学)。大阪大学産業科学研究所の研究員、東京大学大学院工学系研究科講師などを経て、2018年より現職。

# 検出法開発からマスクの効果分析まで、 新型コロナウイルス研究で成果

## その数30超、理研の新型コロナ関連研究

世界保健機関(WHO)が2020年3月に新型コロナウイルスのパンデミックを宣言した翌月、理研は特別プロジェクトを立ち上げた。「人類生存の危機に瀕した今、まさに科学技術の真価が問われている」と、松本 紘 理事長自らリーダーシップを発揮し、研究を迅速に軌道に乗せるため理事長裁量経費を投じた。

特別プロジェクトの特徴の一つは多様性だ。免疫学や遺伝学といった生命科学から計算科学まで、さまざまな領域で新型コロナウイルスの克服を目指し、30以上の研究開発が進んでいる。もう一つの特徴は、他機関の研究に対する支援も同時に行っている点だ。文部科学省と連携した完成前のスーパーコンピュータ「富岳」の試行的な利用や、創業研究に役立つデータベースの公開など、有形無形の研究資源を世界中の研究者に提供している。

成果も次々に出ている。計算科学研究センターでは、大学や企業と共同研究で、「富岳」を使って飛沫についてシミュレーションを行った。屋内外での会食時や、公共の場において、マスクの材質の違いなどさまざまな条件下で、どんな大きさの飛沫がどう拡散するか、一目でわかる動画などで結果を公表した。

## 5分で結果の分かる検出法

2021年4月には開拓研究本部渡邊分子生理学研究室の渡邊力也 主任研究員らが、たった5分で新型コロナウイルスを検出する方法を発表した。容量が1,000兆分の1リットル単位の微

小な試験管を100万個も並べたマイクロチップと、酵素の1種、特定の条件下で光る蛍光レポーター(試薬)の三つを組み合わせたものだ。土台には、東京大学先端科学研究技術センターの西増弘志 教授らと共同で開発し、すでに特許出願していた1分子計測法があった。それを新型コロナウイルスの検出法に応用しようと共同研究を始めた時期にちょうど、特別プロジェクトのテーマの募集があった。「理事長の裁量経費による支援のおかげで、すぐに研究を本格化させることができました」。渡邊主任研究員は開発を始めた当初をこう振り返る。

## 一刻も早い実用化を目指す

診断の正確さは命にかかわる問題だ。渡邊主任研究員らは、検出感度の向上などを目指し、検出法の行程をすべて最適化するために、二千回以上も実験を繰り返した。

目指すのは、一刻も早い実用化だ。今後は臨床検査機器・試薬の大手企業、シスメックス株式会社と共に実用化を目指す。一環として、2021年中には東京医科歯科大学と共同で、感染者の検体を使い、検出法を改良する予定だ。

特別プロジェクトは2021年春、新たな段階に入った。科学技術基本法の改正により、今年度から理研の研究対象が人文科学にまで広がったことを受け、プロジェクトにもより広がりが出てきている。コロナ禍のステイホームにおける孤独の問題や、家族支援のあり方についても研究が立ち上がった。さらに、基礎的な研究開発を早く社会へ届けるために2021年度からはプロジェクト募集にあたり「早期実用化枠」も設けられた。松本理事長は「社会とつながる科学が今こそ必要だ」と強調する。

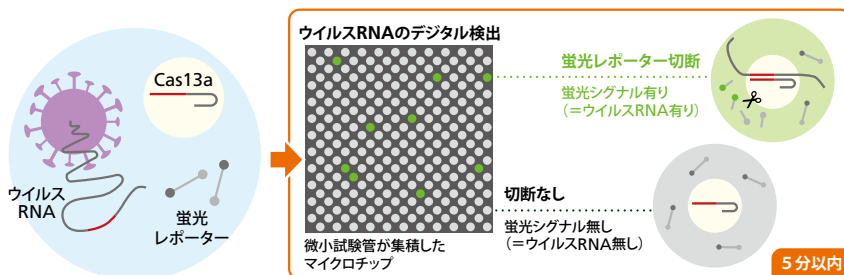


図1 世界最速の検出法「SATORI」

検体にRNAの特定の部位を認識したり切断したりできる酵素「CRISPR-Cas13a」と、ウイルスのRNAが存在する時に光る蛍光レポーター(試薬)を混ぜ、微小な試験管が並ぶマイクロチップに流す。直径約3μmの微小試験管には、ウイルスのRNAがほぼ1個だけ入る。マイクロチップ上の光る点を数えることで、標的ウイルスの個数が分かる。

# 肌のハリと潤いの相互作用を解明

## 日本の伝統技術でハリを再現に成功

再生医療の中でも、器官を丸ごとつくるといった難しいテーマに取り組んでいる生命機能科学研究センター器官誘導研究チームの辻孝チームリーダー（TL）。その一方で「私は、本当に豊かに生きるには、それだけでは不十分だと思っています」と話し、毛髪や歯の再生など人の生活の質（QOL）の向上につながる研究も続けてきた。そして今回、ハリを再現した人工皮膚モデルを開発した。

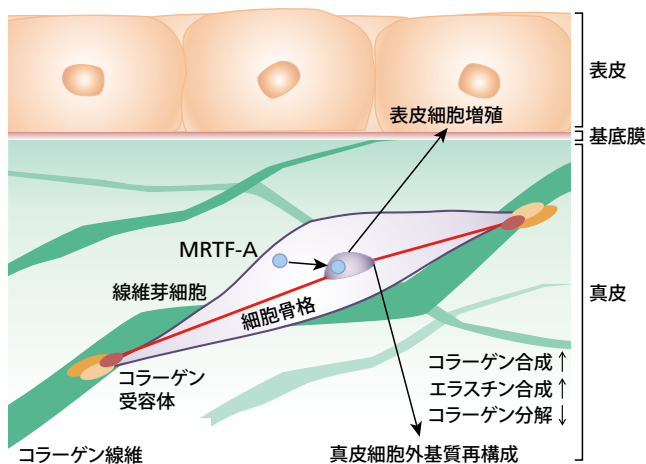
化粧品業界などでは、動物を使って安全性・有効性の試験が行われてきた。ところが近年、欧米を中心に動物実験が禁止され、動物実験代替法としての人工皮膚モデルを使った試験の重要性が増している。ただ皮膚細胞を培養してつくられる従来のモデルには、私たちの皮膚にある張力、つまり「ハリ」がない。このことに辻TLは違和感を覚えた。

「若い頃は、紫外線で日焼けしても回復が早いですが、年を取ると遅くなる。その上、ダメージを受けやすくなります。こういっ



【図1】ハリを再現した人工皮膚モデル

中央の白い部分が皮膚。透明な培養容器で皮膚の周囲を押さえている。



【図2】皮膚のハリをつくり出している真皮の構造

線維芽細胞をコラーゲン（濃い緑）やエラスチンが引っ張ることでハリが生じている。この引っ張り力が、転写因子のMRTF-Aを介して線維芽細胞に、コラーゲンやエラスチンを生産するように働きかけるのだ。



辻孝（つじたかし）

生命機能科学研究センター  
器官誘導研究チーム  
チームリーダー

岐阜県生まれ。1986年、新潟大学大学院理学研究科修士課程修了。九州大学大学院理学研究科生物学専攻 博士後期課程修了。2001年に東京理科大学 助教授、2007年には同大学教授。2014年より理研へ、2018年より現職。

た年齢に伴う皮膚機能の変化は、もしかしたらハリと関係しているのではないかと思うようになりました。だとするならば、ハリが再現されていない従来モデルは、老化してしわができた皮膚だけを再現していることになる。

こうして研究開発が始まり、約1年後には、ハリを再現した人工皮膚モデルの作製に成功した。皮膚細胞を培養する際に、周囲をガラス容器で挟んで縮まないように押さえることがあるが、この押さえ方が難しかったという。「皮膚が抜けないようにするために、極めて微妙な摩擦力が必要でした」。採用したのは、日本の伝統工芸で用いられる微細加工、やすり掛けの技術だ。「研究においても、日本人の繊細な美学を大切にしています」と辻TLは明かす。

## 生理機能も実際の皮膚に迫る

この人工皮膚モデルの性質をつぶさに調べた結果、コラーゲンの合成能力やさまざまな物質に対する反応性が向上しており、生理機能も従来モデルに比べて実際の皮膚に近いことがわかった。

さらに辻TLはこのモデルを使い、皮膚のハリと潤いに密接な関係があることを、分子レベルのメカニズムから明らかにした。皮膚のハリとは、真皮でコラーゲンやエラスチンが線維芽細胞を引っ張っているために生じる「張力」だ。辻TLは、この引っ張られているという情報が、線維芽細胞にさらにコラーゲンやエラスチンを生産するように働きかけていることを突き止めた。「『鶏が先か、卵が先か』と思われるかもしれませんが、ハリが失われると、ますますハリ成分がつかられなくなっていきます」

この人工皮膚モデルを使って過敏症の研究も始まった。この研究は医薬品や、有効性の確かな薬用化粧品の開発などに役立つことが期待される。しかし、辻TLはこれで満足してはいない。今回の人工皮膚モデルの開発は、毛や汗腺なども含んだ「器官系として完全な皮膚」をつくるという最終目標のファーストステップに過ぎない。

# 磁石の中の 小さな渦が社会を変える？ スキルミオンと アンチスキルミオン



図2 アンチスキルミオン物質

## 情報社会の未来の主役は「電子スピン」

創発物性科学研究センター（CEMS）強相関物質研究グループの軽部皓介 研究員の話は、渦をつくる電子スピンの紹介から始まった。「電子には、電流の元になる電荷と、磁石の元になるスピンという二つの性質があります。現在のICT（情報通信技術）の主役は電荷で、トランジスタをはじめほとんどの情報通信機器は電荷を精緻にコントロールすることで動いています。でも近い将来、磁石の性質を持つスピンのICTの主役に置き換わり、究極の省エネルギー情報技術が実現すると期待されています」

電子のスピンはよくコマのような自転に例えられる。自転と同様、電子スピンにも回転方向（右回り、左回り）という要素があり、それによって電子スピンの向きが生じる。右回りと左回りとでは向きが逆になるのだ。さらに、この電子スピンの向きは、磁性の方向に対応している。電子1個1個もスピンによって磁

石になっているが、通常物質では各電子のスピンの向きがバラバラで全体として打ち消し合っているため磁性は生じない。ところが、磁性体と呼ばれる物質では電子スピンの向きが全部そろっているため、全体として磁石になる。

「スキルミオンは、向きのそろった電子スピン（磁石）の中で、一部の電子スピンが渦状に並んだものです（図1左）。それは、穂が真っすぐ空に向かって伸びている麦畑の中に生じたミステリー・サークルのようなものです」。一方、アンチスキルミオンの渦は巻き方が違う（図1右）。どちらの渦も非常に多くの電子スピンの渦でできているが、電子スピン間の距離はとて短いので、渦の直径は1mの1億分の1ほどだ。

この渦は移動させたり、生成・消滅させたりすることができ、電荷と同じように精緻にコントロールできる。「ものすごく微弱な電流や電場で動かすことができるので、超省エネ型のICTの実現に向け、スキルミオンとアンチスキルミオンへの期待が高まっています」

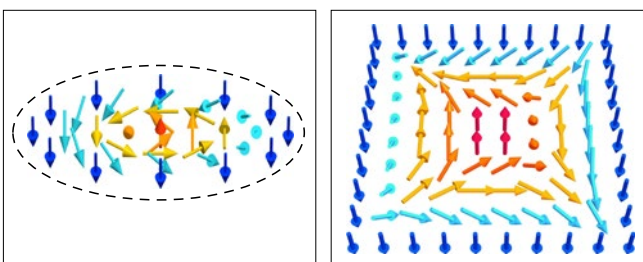


図1 スキルミオン（左）とアンチスキルミオン（右）

矢印は電子スピンの方向。

## ポケットに入れて持ち運べるスキルミオン

磁石の中にスキルミオンが存在することが理論的に予言されたのは1989年。20年後の2009年に、ドイツの研究グループが、マンガンとケイ素の合金の中にあるスキルミオンの集まりを確認した。スキルミオン1個1個を見るのに初めて成功したのはCEMSの十倉好紀センター長と干秀珍<sup>ウシユウジン</sup>チームリーダーで、2010年のことだ。-268℃から-243℃の極低温下で磁場をか

けることにより、鉄 (Fe)・コバルト (Co)・ケイ素 (Si) の合金の中につくられたスキルミオンを、特殊な顕微鏡で捉えたのである。

そして、2016年には軽部研究員が、広い範囲の温度で安定して存在できるようにする画期的な生成法を見出した。室温でスキルミオンのできる組成のコバルト (Co)・亜鉛 (Zn)・マンガ (Mn) の合金を磁場中で冷却すれば、室温から絶対零度 (-273°C) の近くまで、そして磁場がゼロになってもスキルミオンが安定して存在することを明らかにしたのだ。これが「スキルミオンをポケットに入れて持ち運べるようになった」と評価された。

軽部研究員は、京都大学で博士号を取得した直後、2015年に理研入所。理研での先行研究の結果を応用しながら試行錯誤を重ねたところ、1年という短期間で前述の成果を得ることができた。これをきっかけにさらに研究に打ち込んだ結果、アンチスキルミオン物質の発見に至った (図2)。

## 隕石プラスαで アンチスキルミオンをつくり出す

理論的にアンチスキルミオンができると予測された磁石の結晶構造は2種類あった。D<sub>2d</sub>対称性とS<sub>4</sub>対称性と呼ばれる構造で、ドイツのグループが見つけたのは前者だ。「私はS<sub>4</sub>対称性の物質で見つけてみようと思ひ、隕石の中に含まれる強磁性体のシュライバーサイトという物質を選びました。

シュライバーサイトは、鉄とニッケルとリンの合金だ。組成を工夫し、なんとか結晶軸のそろった単結晶をつくり出したがアンチスキルミオンはできなかった。そこで別の元素をごく少量加えることを考えた。「パラジウムを入れたところ、アンチスキルミオンが-170°C~130°Cという室温も含めた広い温度範囲でできたのです。研究室内で電子顕微鏡で確認できたのは、2019年夏のことです」

改めて、スキルミオンとアンチスキルミオンの違いは何か。それは渦の幾何学的な性質だ。その性質はトポジカル数というもので区別され、スキルミオンのトポジカル数は「-1」、アンチスキルミオンは「+1」だ。「今回の研究で、外から磁場をかけることにより、スキルミオンとアンチスキルミオンを相互に変換できることも明らかになっていま

### 軽部 皓介 (かるべ こうすけ)

創発物性科学研究センター  
強相関物質研究グループ 研究員

1987年栃木県生まれ。京都大学大学院理学研究科博士課程修了。2015年3月博士(理学)取得。同年4月より理研 特別研究員。2019年より現職。

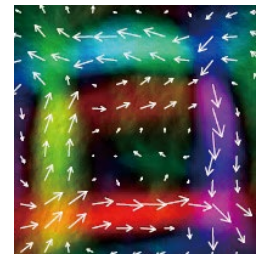
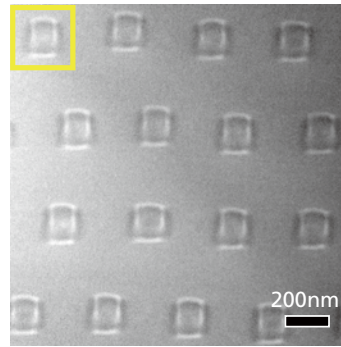
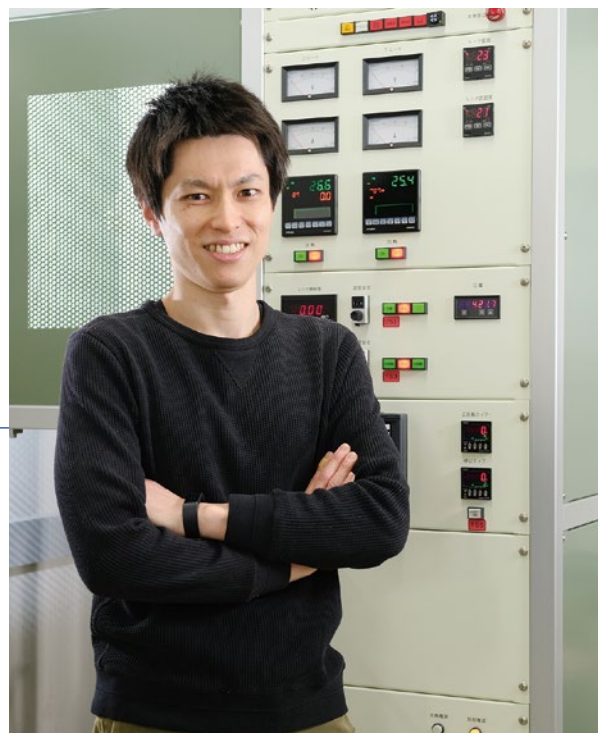


図3 ローレンツ透過型電子顕微鏡で観測されたアンチスキルミオン

左はアンチスキルミオンのローレンツ透過型電子顕微鏡像。右は左の黄色で囲われた部分の面内磁化分布。矢印は電子スピンの向き。

す。これを利用してトポジカル数+1と-1を電荷の『ある、なし』に対応させれば、コンピュータの『1、0』状態をつくれるわけです。これにより、従来のエレクトロニクスではできなかった超省エネのデバイスが実現できるのではないかと考えています」

## スキルミオンの物理学が社会を変える

今後の抱負は? 「いろいろありますが、一つは小さいサイズのアンチスキルミオンやスキルミオンが存在する物質をつくることです。実現すれば強い『創発磁場』をつくり出せます」

スキルミオンの近くを通る電子は、まるでそこに強力な磁場があるかのように、進行方向を大きく曲げられてしまう。この仮想的な磁場のことを創発磁場と呼ぶ。スキルミオンやアンチスキルミオンのサイズが小さければ、電子スピンの並びの傾きが大きくなるため、電子を曲げる創発磁場も大きくなるというわけだ。今回のアンチスキルミオンの直径をさらに10分の1にすると、数10~数100テスラもの巨大な創発磁場をつくり出せるという。一般の病院にあるMRIの磁場は1.0~1.5テスラだから、桁違いの強さだ。

なぜそのようなことが起こるのか、今までの電磁気学では説明がつかない。だが、そこには想像を超えた可能性が秘められているはずだ。「スキルミオンの性質が説明されれば、社会を大きく変えるような発展に必ずつながるはずですよ」と軽部研究員は力を込めて締めくくった。

### アンチスキルミオン物質をつくり出した実験器具の前で

試料を一定の温度分布の中で移動させることで結晶を育成する装置。結晶ができ上がるまで10日間を要した。

取材・構成：由利伸子／撮影：相澤正。



図1 水中に分散した酸化チタンナノシート

# 無機物なのに まるで生物

## 引き合う力と反発する力を操る

酸化チタンのナノシート、それがこの研究の主役である。酸化チタンは白い顔料や光触媒として利用される金属酸化物だが、アルカリ水溶液中で層状の結晶を剥がしていくと分子1個分の薄さのナノシートができる。極薄なのに面積は広く、まるで全てが表面の2次元物質といってもよいほどだ。

水の中ではこのナノシート表面に負電荷が密集している。「その形と性質が面白い」。そう思った創発物性科学研究センター創発生体関連ソフトマター研究チームの佐野航季 基礎科学特別研究員（以下研究員）は、これを水中に分散させた状態で調べることにした。シートの間には分子同士が引き合う力と、逆に表面の負電荷同士が反発する力が働いている。水中で二つの力のバランスが保たれていれば、分散液は安定している。「この力のバランスを制御できるのではないか」と佐野研究員は考えた。

水中にある余分な溶質イオンを遠心分離で取り除くと、表面

の負電荷によってシート同士が反発し、距離が大きく広がる。シート間の距離が可視光の波長と同程度の長さになったところで、分散液は鮮やかな色を示した。熱帯魚の皮膚に見られるような構造色だ。ナノシートの濃度を変えて反発力を制御すると、色はさまざまに変化した。このナノシート分散液は、光学検知センサー、フルカラー電子ペーパー、構造色インクなどに応用できるかもしれない。ナノの世界がマクロのモノにつながりそうだ。佐野研究員が修士課程の学生として理研で研究を始めた頃のことだった。

## 古い理論を使って新しい現象を知る

ナノシート分散液は温度にも応答して、ナマコのように硬さを変える。ナノシートの濃度を上げていくと、反発力が強く働くため、分散液は室温で軟らかいゲルとなる。だが、温度を55℃に上げると引力が相対的に強くなり、その結果、ナノシートは別の構造を持った硬めのゲルになった。反対に温度を下げれば軟らかいゲルに戻る。

シート間の距離と状態については、昔からよく知られた、コロイド現象を記述する理論で説明ができる。「古い理論を新しい物質に使ったからこそ、面白い現象が見つかった」と佐野研究員は振り返る。マクロの現象をナノレベルで制御できる醍醐味を示したこの成果のもう一つのポイントは、これまで有機化合物を材料に行われてきた刺激に応答するゲルの研究対象を、無機化合物に広げたことだ。通常は硬い無機化合物が、ナノレベルまで薄くするとフレキシブルになり、刺激に応答するようになる。無機化合物を使う流れをつくり始めた佐野研究員によって、新しい分野が開かれようとしている。

佐野研究員のもう一つのアイデアは、刺激反応に時間の要素を取り入れること。例えば、ある物質を与えるとそれを消費しながら時間とともに性質を変え、その物質がなくなると再び元に戻る。こんな不思議なナノシートゲルの研究も始まっている。



### 佐野 航季 (さの こうき)

創発物性科学研究センター  
創発生体関連ソフトマター  
研究チーム  
基礎科学特別研究員

1991年山口県生まれ。東京大学大学院工学研究科化学生命工学専攻博士課程修了。博士(工学)。米国マサチューセッツ工科大学への留学などを経て、2019年より現職。2020年より科学技術振興機構「原子・分子の自在配列と特性・機能」領域 さきがけ研究者を兼任。



# 赤ちゃんマグロの餌を品種改良で大型化



図1 ワムシの選別

## 光速の半分の速さのビームで品種改良

日本の原子核物理学を牽引してきた仁科加速器科学研究センターは、重イオンビームによる品種改良というユニークな研究でも知られている。自然界では、宇宙線などにより動植物の突然変異(自然突然変異)が起こることがある。重イオンビームを使うと、これと同じ原理で突然変異を誘発できるのだ。重イオンビームとは、原子核を光速の半分近くまで加速したもの。原子核1個の重イオンビームを照射するとピンポイントで遺伝子を変異し、周辺の遺伝子を傷つけない。

阿部知子チームリーダーが率いる生物照射チームは、原子の種類やビームの強さなど、動植物の種類ごとに適した照射条件を見つけることで、収穫量が多いイネなど、20年以上前から30種以上もの品種改良を行い実用化してきた。理研の第4代所長を務めた仁科芳雄博士の名を冠したサクラ「仁科乙女」や清酒「仁科<sup>ほまれ</sup>」もある。東日本大震災後には、塩害に強いイネや成長速度が速いワカメを開発し復興に向けて貢献している。

今回、常<sup>つね</sup>泉<sup>いずみ</sup>和秀 専任研究員(以下研究員)らは、水産研究・教育機構からの委託を受け、動物性プランクトンの一種、ワムシの品種改良に取り組んだ。クロマグロやマダイ、クエといった高級魚の、卵のふ化から始める「完全養殖」が難しいのは、仔魚の生存率の低さによる。その一因は、仔魚は成長とともに好みのプランクトンの大きさが変化していくのに対し、供給できるプランクトンの大きさは限られることにある。

## 顕微鏡下で「これだ」という1匹を捕獲

求められた大きさは、餌として使われているワムシより大きい320~400 $\mu\text{m}$ (1 $\mu\text{m}$ は1,000分の1mm)。常泉研究員らは、

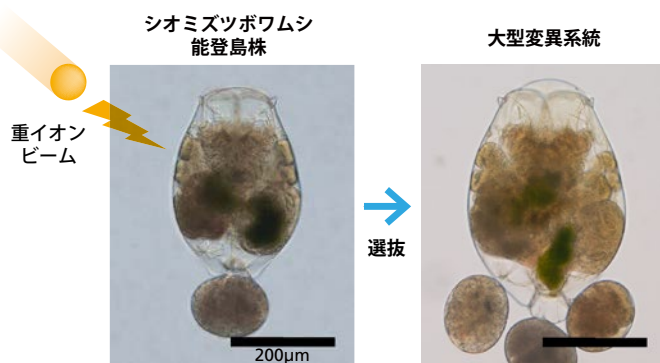
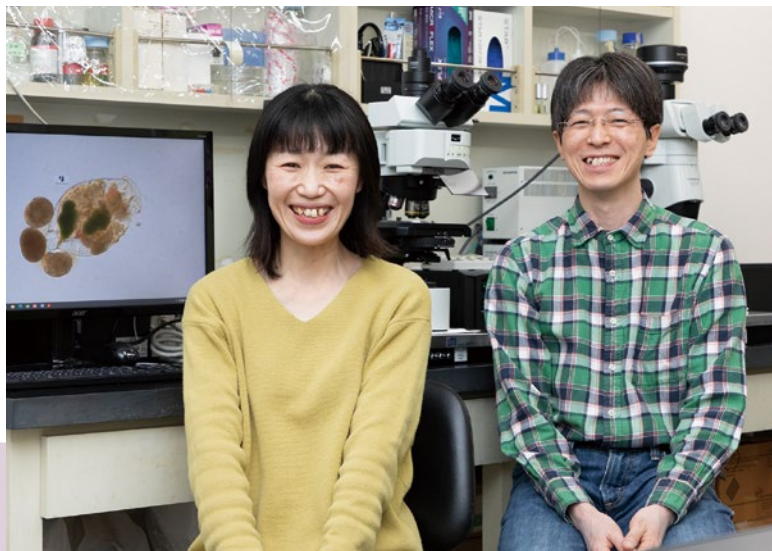


図2 系統の選抜

ワムシに重イオンビームを当てて突然変異を起こし、目指す大きさのワムシを選ぶことにした。突然変異を起こした大量のワムシを選別するために、写真を撮ってコンピュータで自動的に大きさを比べる計画を立てたが、ワムシの動きが思いのほか速く撮影は難航。

行き着いたのは、視覚と直感に頼った選別だ。ピペットを片手に顕微鏡をのぞいて、「これだ」と思うワムシを見つけたら、ピペットでその1匹を吸い取る(図1)。この方法で目指す大きさのワムシを選んでいった。こうして1,831系統のワムシから56系統を選び出し、さらに成長速度と増殖能力に優れた3系統に絞った。

1匹のワムシが産む卵の数は約25個。この全ての卵を別々に回収して解析を行うのが、オーソドックスな研究方法だ。これは網羅的ではあるが手間がかかり、数十系統しか解析できなかった。常泉研究員は半分照れながら、「目視と直感で大量にスクリーニングすることができたのは、僕がワムシの素人だったからです」と振り返った。



山田美恵子テクニカルスタッフⅡ(左)。「ワムシを選ぶ山田さんの右手はゴッドハンド」と常泉研究員。

### 常泉 和秀 (つねいずみ・かずひで)

仁科加速器科学研究センター  
イオン育種研究開発室  
生物照射チーム  
専任研究員

1968年静岡県生まれ。1995年、東京大学農学系研究科にて博士(農学)取得。同大分子細胞生物学研究所や理研 松本分子昆虫学研究室でショウジョウバエ発生分子メカニズムについての研究に従事した後、2012年より現職。重イオンビームを使った動植物の品種改良の研究に携わる。



# バイオの力で 脱石油の ゴムづくり

図1 微生物の培養(発酵)装置、ジャーファンメーター

国連が掲げるSDGs(持続可能な開発目標)の達成に向けて、石油に依存しないものづくりが注目されている。合成ゴムの主原料であるイソプレンやブタジエンを、石油ではなく、生物由来のバイオマス資源からつくろうとする研究もその一つだ。環境資源科学研究センター細胞生産研究チームの白井智量 上級研究員は、微生物の細胞中の化学反応(代謝反応)を解析する研究者だが、このバイオ製法の実用化も視野に入れて研究に取り組んでいる。

## 微生物を利用して脱石油製品をつくる

実験台の装置の中で泡を発生しながらクルクルと回る琥珀色の液体。白井上級研究員は、この小さな装置が、やがて見上げるほどのタンクになる未来を見すえている。そのタンクはコンビナートの一角にあり、そこから出るガスはパイプを通して、ゴムを製造する工場へと送られる。そして、そのゴムを使ったタイヤは世界各国へと輸出されてゆく……。「この製法は、きっと地球の環境改善に貢献するはずですよ」と目を輝かせる。

琥珀色の液体の中には無数の大腸菌が生きている。鍵を握るのはグルコース(ブドウ糖)からブタジエンをつくり出せる特殊な大腸菌だ。合成ゴムの主原料となるイソプレンやブタジエンは、石油から化学的に取り出されてきたが、白井上級研究員はこれをバイオ生産すべく取り組んでいる。2018年にイソプレンを世界最短で合成できる経路を、2021年4月には森 裕太郎 研究員と共に世界初のブタジエンのバイオ生産成功を発表した。

今や持続可能な社会に向けた取り組みは加速され、温室効果ガスの排出削減対策が不十分な国からの輸入品に課税する「炭素国境調整措置(CBAM)」が欧州連合(EU)を中心に検討されている。「輸出する企業にとっては、お尻に火がついている課題です」と白井上級研究員は求められるスピードを日々感じている。

微生物によるバイオ生産なら、原料を石油から植物に切り替えることができ、地下の炭素を掘り起こさずに地上で循環させられる。焼却処分すると温室効果ガスである二酸化炭素を排出する間伐材やサトウキビの搾りかすなども、微生物という「工場」を経ればゴムの原料へと生まれ変わる。さらに、ミドリムシ(ユーグレナ)やラン藻など光合成をする微生物を活用できれば、大気中の二酸化炭素を原料にしたゴムづくりもできるようになる。

### 白井 智量 (しらいともかず)

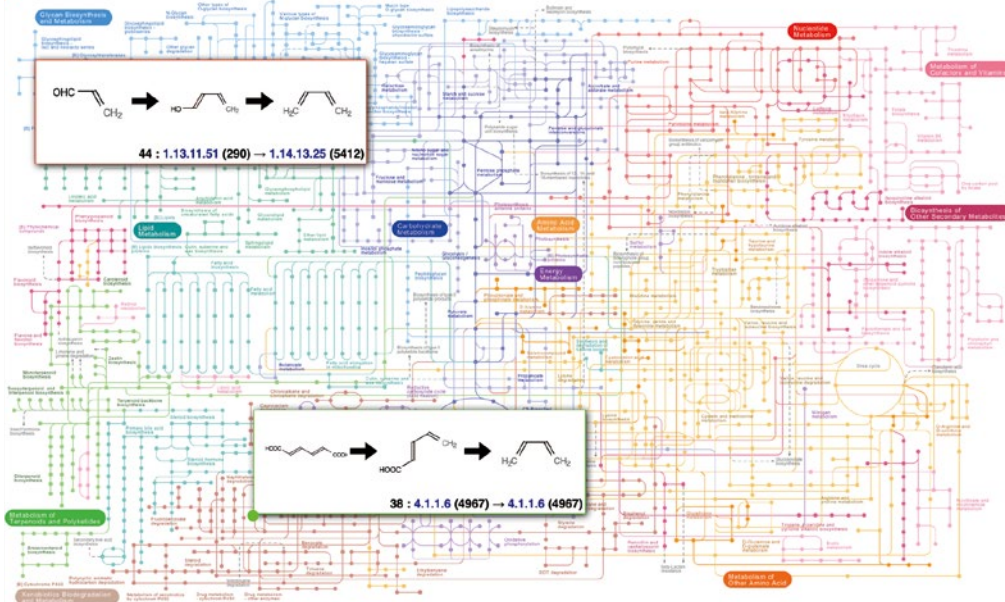
環境資源科学研究センター  
細胞生産研究チーム  
上級研究員

1978年兵庫県生まれ。大阪大学工学研究科応用生物学専攻博士課程修了。博士(工学)。三井化学株式会社などを経て、2012年理研入所。2020年より科技ハブ産連本部パトンゾーン研究推進プログラム バイオモノマー精算研究チームにて副チームリーダー兼任。2021年より現職。



図2 BioProVが示す候補経路

図中にある反応式はブタジエンを目的物質にしたときの提示候補経路の一例。種々の物質を合成しながら、知識や経験がなくても誰もが使えるツールへと、BioProVの性能を上げる研究も継続している。



## 複雑なパズルを解く「BioProV」

本来、大腸菌はイソプレンやブタジエンをつくれないので、遺伝子組み換えやゲノム編集の技術を応用して改変する。微生物が細胞内で多くの化学反応(代謝)を行うのは自らの生命を維持するためだ。工業化を考えれば、効率のよい生産は必須だが、目的物を多くつくるためだけに極端な改変をすれば、微生物が死んでしまう可能性さえある。微生物の中で起こる2,000以上の化学反応全体では、発熱・吸熱反応や、酸化・還元反応のバランスが取れていなくてはならない。そこで、この複雑なパズルのような問題を素早く解いてくれるのが「全てのバランスを考慮して反応ルートを設計できるコンピュータ・シミュレーションです」と白井上級研究員。

そうして2012年から白井上級研究員が手がけてきたのが、シミュレーションツール「BioProV」である。目的の物質と反応経路の長さを入力すると合成のための候補代謝経路を提示してくれる。このとき、「酵素を改変すれば起こりうる反応」も含めてシミュレーションできるのがBioProVの特長だ。人の手で改変できる箇所とできない箇所をBioProVが識別できるように、代謝反応を酵素反応のパターンによって分類してBioProVに学習させている。

2010年ごろ、白井上級研究員は、生物本来の代謝反応を利

用したプラスチックの原料づくりに取り組んでいた。だが、生物が自然につくり出す物質を原料にすると、プラスチック化の工程でかえってエネルギーやコストがかさむという壁に突き当たった。「現状の石油コンビナートに無理なく組み込める物質をつくらなくては意味がない」との思いから始まった研究がBioProVの開発だった。「それが一つの形として実現したのがブタジエンなのです」と白井上級研究員。

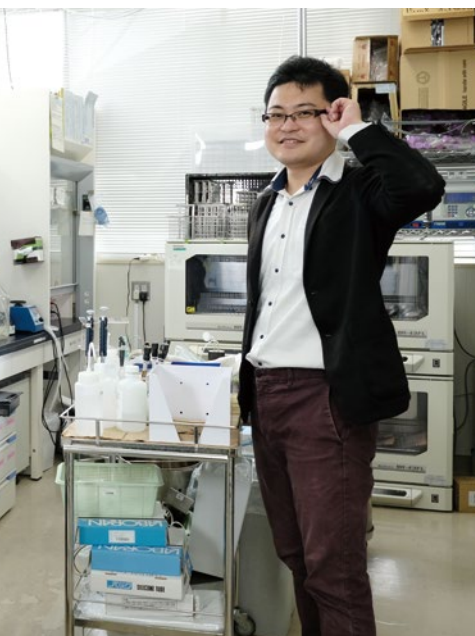
## 世界中の課題解決のために

基礎研究の実用化はなかなか困難で成功までには、「死の谷」が潜んでいると例えられるが、2004年から理研には、企業と理研による混成チームで実用化を図る「産業界との融合的連携研究制度」が開設されている。この制度を活用し、2020年4月に日本ゼオン株式会社と横浜ゴム株式会社からの提案で「バイオモノマー生産研究チーム」が理研内に設けられた。

チームで基礎研究時の5倍の容量へスケールアップを始めたが、それでも実験室でつくれるブタジエンは5Lの装置1台で1時間に1gほど。タイヤとしての性能を評価したい横浜ゴムが必要とするのは、サンプルだけでもkg単位であり、とても供給できない。

実用化に向けて、大量供給のためのエンジニアリング会社探しが始まった。日本ゼオンからチームに参加している谷地義秀チームリーダーと共に、現場を自らの目で確かめて構想を説明する。「企業側と研究者側の双方が説明するから話を聞いてもらえるのです。どちらか一方では無理だったでしょうね」と白井上級研究員は実用化のための労も惜しまない。

「すべての石油製品を生物につくらせるべきだとは思っていません。ただ、土地やバイオマス資源が豊富にある国々がその強みを生かせるように、選択肢の一つとしてバイオ生産を提示できれば、石油一辺倒の世界ではなくなると思っています」と白井上級研究員は抱負を語る。「BioProVを全自動化すれば誰でも使うことができるようになり、世界中で役立ててもらえます」。そのためにAIや機械学習もどんどん取り入れていくつもりだという。



白井上級研究員と森研究員

微生物内で白井上級研究員(左)が見出した経路に沿った反応を起こし、さらにその効率を大幅に向上させるためには、森研究員が行っている酵素の設計が極めて重要である。酵素工学が専門の森研究員は、「目的の反応だけに効率よく働きかける酵素を微生物自身につくってもらう遺伝子組み換え」という難題に挑んでいる。

# クモ糸の構造を再現、人工合成の糸口に

## クモ糸は軽量、強靱、生分解性

環境資源科学研究センター バイオ高分子研究チームの沼田圭司チームリーダー (TL) が注目しているクモ糸は、軽くて強靱、そして微生物が分解できる生分解性という特徴から、地球環境への負荷が小さい素材としても期待されている。クモ糸(牽引糸)は、タンパク質が一列に連なったとても細い糸が50本ほど束ねられてできている。しかし、クモの体内で細い糸がどのようにでき、どのように束ねられるのか、その仕組みは明らかになっておらず、人工合成や大量生産の課題となっている。

## 繊維化に必要なのは「液-液相分離」という現象

沼田TLたちは、まず牽引糸を構成するタンパク質と性質が似た遺伝子組み換えシルクタンパク質 (rMaSp2) を大腸菌につくらせ、その力学物性を解析しようと考えた。しかし、その中で偶然に液-液相分離という現象を見つけた。水と油が自然と分離するように、液体の中で、ある物質が集まって部分的に高濃度な状態になり、液相が二つに分離する現象だ。調べてみると、天然のクモ糸のタンパク質でもこの現象が起こっていた。

タンパク質はアミノ酸が連なってできており、タンパク質の両端はC末端、N末端と呼ばれている。解析の結果、rMaSp2のC末端にある特定のアミノ酸の繰り返し配列によって液-液

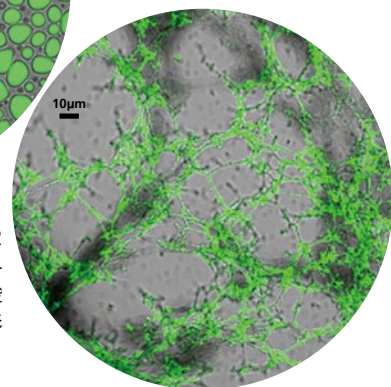
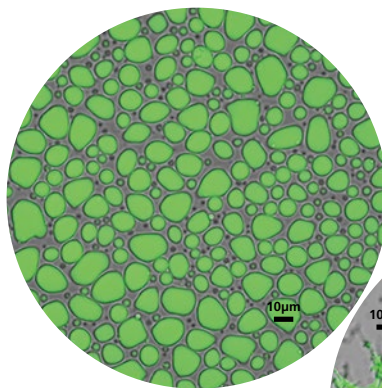


図1

中性でシルクタンパク質のrMaSp2にリン酸カリウムを添加すると液-液相分離状態になる(左)。これを酸性にすると、網目状の微小繊維が形成される(右)。

相分離が起きること、さらに酸性にするとN末端にある構造によって網目状の微小な繊維が形成されることも分かった。

この微小繊維を引っ張ると、牽引糸のように繊維が束ねられた構造になることも分かった。液-液相分離が起こらないと微小繊維ができない。また、クモが合成する天然のシルクタンパク質を使った実験でも、液-液相分離が確認されている。つまり、クモがつむぐ天然のクモ糸も液-液相分離を経由する仕組みである可能性が高く、この現象がクモ糸の人工合成に重要であることが示されたのだ。

今回の発見が元となり、クモ糸の人工合成が実現すれば、自動車のフレームに使われる強化材やシートのクッション材、生分解性の樹脂やフィルム、ファッション向けの繊維などに活用できると期待されている。実際、世界の数多くの企業がクモ糸を素材として使うための研究開発を進めている。

沼田TLはクモ糸以外にも天然の素材を分析し、人工的に模倣する分子設計の研究を通じて、新しい素材開発につなげたいと考えている。「私たちの研究室では、大きなテーマとして、タンパク質の部品であるアミノ酸をつなげる研究や、人工的につくったタンパク質を化学反応させて構造素材などに活用する研究

をしています。単純なユニットで多くの機能を持たせることができるタンパク質などの高分子に関心がありますね」と、天然素材を模倣する研究の面白さと応用の可能性について語っていたのが印象的だった。

### 沼田 圭司 (ぬまた けいじ)

環境資源科学研究センター  
バイオ高分子研究チーム  
チームリーダー

1980年生まれ。博士(工学)。東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程修了。米国タフツ大学 日本学術振興会海外特別研究員、2010年より理研バイオマス工学研究プログラム酵素研究チーム上級研究員、2012年より同チームリーダーを経て、2018年より現職。



国際色豊かな研究チームのメンバーと。



# 脳はいかにして “時間”を認識するのか？

藤澤 茂義 (ふじさわ しげよし)

脳神経科学研究センター  
時空間認知神経生理学研究チーム  
チームリーダー

1977年、岡山県生まれ。京都大学工学部卒業後、東京大学大学院薬学系研究科で薬学博士号を取得。米国ラトガース大学やニューヨーク大学の研究員を経て2012年、理研脳科学研究センター システム神経生理学研究チーム チームリーダー。2018年より現職。

## 手作り装置の実験から時間の謎に迫る

脳の中で記憶をつかさどる「海馬」。ここには、記憶の形成に欠かせない、いつ(時間)、どこで(場所)、何をした(出来事・エピソード)という3大要素をそれぞれ担う脳神経細胞群が存在する。最初に発見されたのは「場所細胞」だ。発見したジョン・オキーフ博士は2014年、ノーベル医学生理学賞を受賞した。次が「時間細胞」だ。約10年前、一定の時間が経つと反応する神経細胞群があると分かった。最後が、どんなことをどのような順序で行ったのかという出来事の記憶を担う「イベント細胞」だ。2017年、脳神経科学研究センター時空間認知神経生理学研究チームの藤澤茂義チームリーダー(TL)らが発見した。今回、藤澤TLらは海馬の神経細胞のうち、時間の記憶について解明するうえで欠かせない、時間細胞の働きを調べた。

研究チームの新保彰大 研究員たちは、ラットをトレッドミル上で長い時間あるいは短い時間走らせ、長い時間走った後には左、短い時間走った後には右に行けば水がもらえることを覚えさせた(図1)。課題1では、10秒と5秒を走らせ、それを覚えた後、課題2では時間を2倍にした20秒と10秒を走らせた。両課題とも正解して水をもらうには、時間の長短を識別し、記憶しておく必要がある。

ラットが課題1、2ともに正解を覚えた後、課題1→休憩→課

題2→休憩→課題1という順序で実験を実施。その最中に、超小型高密度電極でラットの海馬の時間細胞1個ずつの活動状況を記録した。その結果、課題1で走り始めて1秒後に活性化した時間細胞は課題2では2秒後、課題1で5秒後に活性化した時間細胞は課題2では10秒後と、ほとんどの時間細胞が、課題2では課題1の活性化までの時間の2倍の長さの時間で活性化していたことを発見した(図2)。つまり、時間細胞は1秒、2秒といった絶対的な時間経過に反応するのではなく、時間全体の10分の1が経過、半分の時間が経過、といった相対的な時間経過に反応していることが判明したのだ。

## 時間細胞と場所細胞の共通点見つける

先行する場所細胞の研究によると、脳内では空間を認識する際の基礎となる「空間マップ」が形成され、相対的な位置を認識していることが分かっている。今回の研究結果を受け、メカニズムに共通点がある時間の認識においても、基礎となる「時間マップ」や、さらには時間と空間の情報を統合した「時空間マップ」が存在するという仮説が立てられるようになった。

記憶の研究は未解明の部分がまだ多い。藤澤TLは「まだ富士山の2合目あたりにしか到達していないが、今後の研究で、時間情報が、空間や出来事の情報とどのように組み合わせさせて記憶が形成されるのかを明らかにしていきたい」と抱負を語る。

図1 ラットの行動実験課題

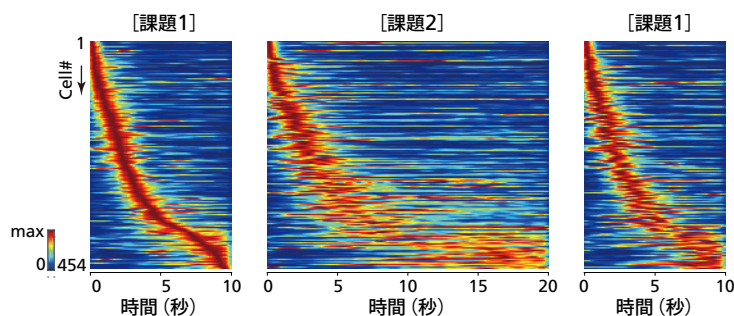
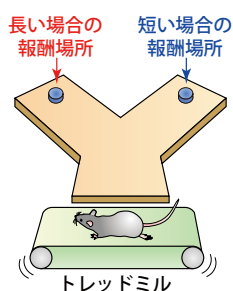


図2 海馬から記録された454個の時間細胞の活動

1本の横線が1個の時間細胞の活動。ほとんどの細胞で、課題1の実施中(左と右)で最も強く活性化した時間が、課題2(中央)では約2倍の時間に伸びている。

# 人がこころを感じる ロボットを目指して



**美濃 導彦** (みのう みちひこ)

情報統合本部  
ガーディアンロボットプロジェクト  
プロジェクトリーダー

1956年京都府生まれ。京都大学大学院工学研究科博士課程修了。工学博士。1995年京都大学工学部教授、2006年京都大学学術情報メディアセンターセンター長。2010年京都大学副理事を経て2018年より理研 理事。

## つくりたいロボットをつくらう！

2017年、松本 紘 理事長の発案の下、新たなロボットプロジェクトの立ち上げに向けた議論が始まった。人工知能研究のテーマの一つである「パターン認識」の研究に長年携わってきた美濃 導彦プロジェクトリーダー (PL) も、2018年の理事着任後からこの議論に参加するようになり、理研の総合力を活かせば高次元な知性を有するロボットを実現することができるのではないかと考えた。

これまでのロボットは、単にセンサーデータをもとにアクションを起こすものが主だったが、知性を持ったロボットをつくるためには、まず、センサーデータを認識し、言語化させなければならない。

画像情報から「机がある」「パソコンがある」と対象を認識して言語で表現し、さらに「机は片付いていないと不便だ。ちゃんと書類をそろえておこう」と認識した情報を元に推論し、自律的に行動できるロボットをつくりたいと美濃PLは言う。

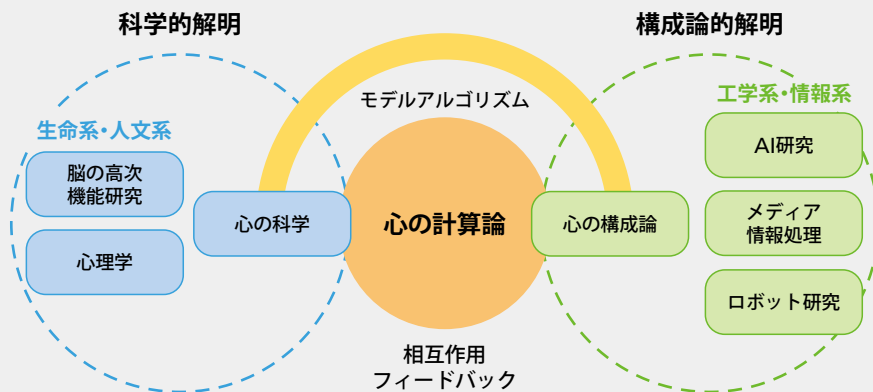
コンピュータの大きな可能性を感じたジョン・マッカーシーやロード・シャノン、そしてマービン・ミンスキーたちは、1956年のダートマス会議で「人工知能 (AI : Artificial Intelligence)」という言葉を用いて、「知識とは何か、いかにして計算機上に知識を構築するか、推論などの知識処理をどうプログラムするか」などの画期的な研究を開始した。

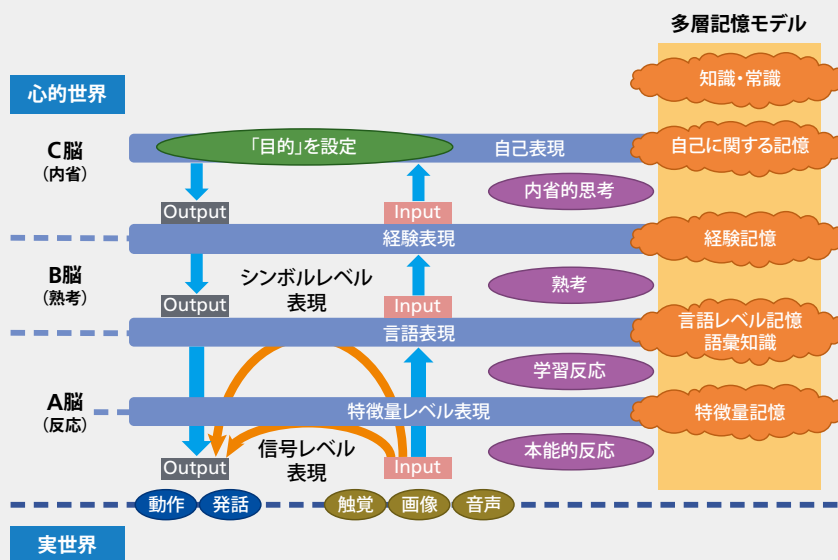
ところが、初期の人工知能研究は「そこに机がある」ことさえ認識できなかった。私たち人間が常識として持っている、一般的な物の認識がロボットには難題だったのだ。

## ガーディアンロボットの頭脳となる アーキテクチャ

ロボットが認識した情報を元に推論し言語化するためには、意味をどうやって理解させるかが、非常に大きな課題だ。今まではロボットに「椅子」は「座るもの」と教えていたが、これは意味の一部であって、椅子を踏み台にするかもしれないし、洗濯物

**図1**  
**新たなロボティクスプロジェクト**  
人間の認知機能を中心とするこころのメカニズム (知覚、認識、記憶、思考、注意、運動制御、感情、社会性) を計算論的に解明し、ロボット実装を通じて構成論的に実証する。





**図2** ロボットの階層アーキテクチャ

を広げて乾かすかもしれない。人がものに付与する意味はその人が置かれた状況に応じダイナミックに変わるが、ロボットにこのダイナミックに変わる意味を適切に認識させ、それに合った行動を選択させるのは非常に大きな課題だ。

美濃PLはミンスキーが提案した「心的活動の階層モデル」を参考に、今回のプロジェクトのアーキテクチャを構想した(図2)。A脳はセンサーデータをもとに外界を認識し、ロボットが行う動作の前提となる外界に関する知識をB脳に渡すとともに外界に働きかける動作を生成するアルゴリズムであり、B脳はA脳の外界に対する認識、アクションの結果を元に考えて推論し行動を起こす「主体」のアルゴリズムである。さらに、C脳は実際にロボットが行った動作、その動作を行った環境およびその動作の結果などを記憶して内省し、主体の次の動作のプランを修正するアルゴリズムである。

「言語表現に意味を持たせるには、B脳以上の世界に何か自律的な主体をつくる必要がある。主体にモチベーションを与えるために、まず『目的を与える』ことにしました。そうすれば、目的に沿って知識の活用と行動の方向性を自律的に判断し、決定することができるだろうと考えています」と美濃PLは言う。

## ガーディアンロボット開発のマイルストーン

このプロジェクトが実質的に始まったのは、2020年9月。チームリーダーたちは、それぞれ言語処理、画像認識、ロボット技術など、得意分野の知識と技術と経験を持っており、「チームリーダーが最先端の研究状況に基づいて協力して進めてくれば、きっといいものができる」と美濃PLは自信をのぞかせる。

この春には、自ら動き回り、見たことをしゃべる、ガーディアンロボット試作機第1号となる「ぶつくさ君」が起動した(図3)。さらに2021年度中には、例えば「勉強する」という目的を与えたとき、机、本、パソコンなど、目的に関連したものだけを話題にするような、少し高度な技術が搭載されたガーディアンロボット試作機第2号の完成を目指す。

「ぶつくさ君」やそれに続く自ら動き回るロボットの試作機は

**図3** ガーディアンロボット試作機第1号「ぶつくさ君」の実験の様子

「ぶつくさ君」は多くのモジュールで構成され、音声認識、物体・人物認識、環境認識、自己位置推定などの処理をするさまざまなサーバと通信をしながら応答を行う。



単体でもさまざまな機能を発揮するが、居室をはじめとして周囲の環境に張り巡らされたセンサーなどからなるネットワークにもつなげていく予定。また、人間を物理的に支援する複数のサポート型のロボット(小型の外骨格ロボットなど)も開発中で、最終的には自ら動き回るロボットとネットワークを介して協調・協働することを目指す。ネットワークを介して複数のロボットが協調・協働することで、より深く広い認識と行動が可能になり、人をさりげなく支援することができるだろう。

美濃PLは、このロボット技術で未来の社会を支えるガーディアンロボットをつくりたいと考えている。例えば、ガーディアンロボットと一緒に暮らして、心身の状態を把握し記録してもらい、高齢になって体が弱ってきたら散歩などの外出に付き添ってもらい、認知症で介護を受けるようになったら、それまでの記録を介護担当者に活用してもらおう。ガーディアンロボットの記録は単なるライフログではなく、会話を通して感情や思い出などその人間の内面に触れたものなので、生活の質(QOL)を保つのに役立つだろう。スマートフォンのような、社会生活を支える次のインフラだ。

「まずは、高齢者が、ガーディアンロボットとのコミュニケーションを楽しめればいいな、と思います。ちょっとわがままな子どもみたいなロボットで、『コラッ』と怒るとしょぼんとする、だけれどもこちらの感情を察し、楽しい思い出などを話題に仲直りをしようとする、そんな人間味のあるロボットを実現できればと思っています」

# 植物ホルモン解析の達人！ 情熱と技術で研究を支える

## 分析機器のメンテナンスと共に重要な 研究者とのコミュニケーション

「一つのサンプルから、およそ50種類の植物ホルモンの測定をします。ありがたいことに、多くの研究に携わらせていただいています。測定を待っているサンプルがたくさんあります」と環境資源科学研究センター質量分析・顕微鏡解析ユニットの小嶋美紀子 専門技術員。

国内外から送られてくるサンプルは、年間約3,000個。プラスチック製のチューブに入った一つ一つのサンプルには、変異株ごと、葉や根、茎や花などの部位ごと、あるいは刻々と変化する時間ごとに植物体内の変化を見ようとする研究者たちの期待が込められている。依頼されたサンプルから正確なデータを得るためには、常に分析機器のメンテナンスを行い、正常な状態を保つことがとても重要な業務になる。ただ、それだけでは正確なデータは得られない。サンプルは、植物ホルモン測定に適した方法で採取・調整され、かつ損傷なく受け渡される必要がある。そのためには研究者の協力が不可欠で、サンプリング方法を細かに記したマニュアルを作成し、さらには短時間で正確に理解してもらえるようWebページの作成も行った。

とはいえ、研究者と直接コミュニケーションを取ることも重要だ。対話によって、より意義のある解析サンプルを得るためのアドバイスができることもある。実はコロナ禍でリモートワークが進んだことが、良い方向に向かうきっかけとなった。「これまでなかなか打ち合わせができなかった遠方の研究者とも、モニター越しに直接話ができるようになりました」



**小嶋 美紀子 (こしま みきこ)**  
環境資源科学研究センター  
技術基盤部門  
質量分析・顕微鏡解析ユニット  
専門技術員

1977年生まれ。東北大学農学部応用生物科学科生物制御科学講座卒業。2001年より理研 植物科学研究センターのテクニカルスタッフに。環境資源科学研究センター生産機能研究グループなどを経て、2018年より現職。

## 研究を支えたい。その一心で技術を極める

大学卒業後に理研の技師となった小嶋専門技術員は、当時グループディレクター (GD) を務めていた名古屋大学の榎原均教授のもとで一から技術を学んだ。どんな状況でも投げ出すことなく必ず解決の方法を見出す責任感の強さと情熱は、やがて実を結ぶ。わずかな量のサンプルから精度高く、しかも50種類もの分子を一度に解析できる画期的な方法を確立したのだ。

この技術によって、遺伝学的なデータに加え、精度の高い植物ホルモン定量データを統合することができ、植物ホルモンの一つ、サイトカイニンが植物の成長にどのように作用するのか、そのメカニズムの解明に大きく貢献した。

この解析法を解説した論文は2009年、小嶋専門技術員が筆頭著者になり発表された。その後、『米国科学アカデミー紀要』や『ネイチャー』に掲載された論文など、じつに100本以上の論文に共著者として名を連ねている。そして、2016～2020年までの5年間で世界の「高被引用論文著者」に4回も選出されるという名誉に輝いた。

もっともっと研究者に貢献したいという思いから、現在は博士号取得も目指している。「技術面だけでなく、研究の内容に関する知見を提供して、役に立てたらと思っています」



図1 高速液体クロマトグラフィー、質量分析装置

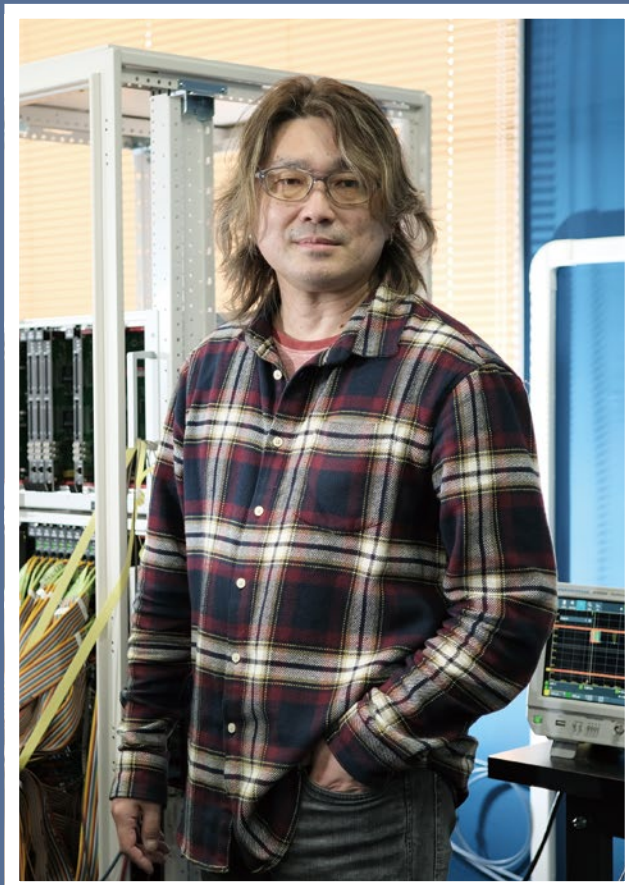


## 私の 科学道

開拓研究本部  
齋藤高エネルギー原子核研究室  
主任研究員

さいとう  
たけひこ  
齋藤 武彦

1971年東京都生まれ。1994年、筑波大学大学院にて修士（理学）を取得後、デンマークのコペンハーゲン大学大学院ニールス・ボーア研究所にてPh.D.を取得。米国ブルックヘブン国立研究所、独マックス・プランク研究所、独ヘルムホルツ重イオン科学研究所などを経て、2019年より現職。



みんなを笑顔にさせる  
「強い力」

### 知りたいこと、分からないことを 真つすぐに追いかけて

中性子星の中に存在すると考えられているハイペロンという粒子を含む特殊な原子核を研究する、開拓研究本部齋藤高エネルギー原子核研究室 齋藤武彦 主任研究員。幼い頃から負けず嫌いで反骨精神が旺盛なために集団には上手になじめないが、人を惹きつける一面もある。これまでの研究生活を振り返り、「余計なことは考えず、本当に知りたいことだけを追いかけてきた」と言う。だから、すでに分かっていることを学ぶ学校の勉強は大嫌い。大学卒業まで成績は芳しくなかった。そんな齋藤主任研究員が科学に興味を持ったのは小学生のとき。ある同級生が『相対性理論の世界』という本を手手に、「これ、分かるか」と得意げに聞いてきたのだ。悔しくてひそかに読んでみたところ、特殊相対論や原子核の話にすっかり魅了されてしまった。

やがて筑波大学に進学。4年生で配属された研究室で勉強とは違う研究の面白

さに触れ一気にやる気のスイッチが入った。同大学院で修士を取得後、デンマークにある憧れのニールス・ボーア研究所に留学し、博士号を取得。この頃を書いた原子核物理の論文が立て続けに学術雑誌に掲載され、研究者の道を歩み始めた。

研究を進める中で、地球には存在しない原子核（ハイパー核）に興味を持ち、狙いを定める。だがすぐには手をつけることができず、ドイツのヘルムホルツ重イオン科学研究所で原子核研究に携わりながら、好機を待った。

### 科学で東北の子どもたちを 楽しませたい

同研究所で順調に研究成果を重ねていた頃のこと。休暇中にハイパー核研究についてのあるアイデアが浮かんだ。さっそく所長にかけあったところ、「すごくいいね、やりなさい。ただし研究所からは一切サポートをしない」と言われた。

資金集めも人集めも、すべて独りでやることになったが、逆境であればあるほど燃える性格。たった5、6人でスタート

した弱小齋藤研究室は、やがて定説を覆す新しい原子核の存在を発表し、世界中の研究者を大騒ぎさせることになる。

いまや欧米や中国から数々のオファーがある中で、理研の研究環境に魅力を感じ、2019年の冬に23年ぶりに日本に帰ってきた。

2011年の震災の際にはドイツにいて直接的な貢献ができず、歯がゆい思いをした。その思いを胸に、東北の子どもたちに向けて「物質のはじまり」についての特別授業を2012年に始め、すでに400回を超えている。「深い痛みもつらさも経験した子どもたちに、世界の広さを知ってもらいたい。世界に羽ばたき、世界を変える力になってほしいのです」

「科学は芸術だと思う」と、研究における感性の大切さを強調する。未知のものに向けられる繊細な感性が、周囲の人に向けられれば、思いやりや気配りになるのだろう。またヘルムホルツ重イオン科学研究所で始めた一連の研究は今、実を結びつつある。原子核の解明に大きな進展が見られるかもしれない。

# 基礎研究の意義はどこにあるのか

宇宙はどのように誕生したのか。物質はなぜその物質であり続けるのか。生命の源はどこにあるのか。根本的な問いを追求する基礎研究は、成果が出てもすぐに具体的な実用化につながるものが少なく、はたから見ると何をやっているのかよくわからない部分がある。基礎研究とは、いったいどんなことをしているのか、数理創造プログラム (ITHEMS) の初田哲男プログラムディレクター (PD) に聞いた。

## 誰も知らないことを知りたい

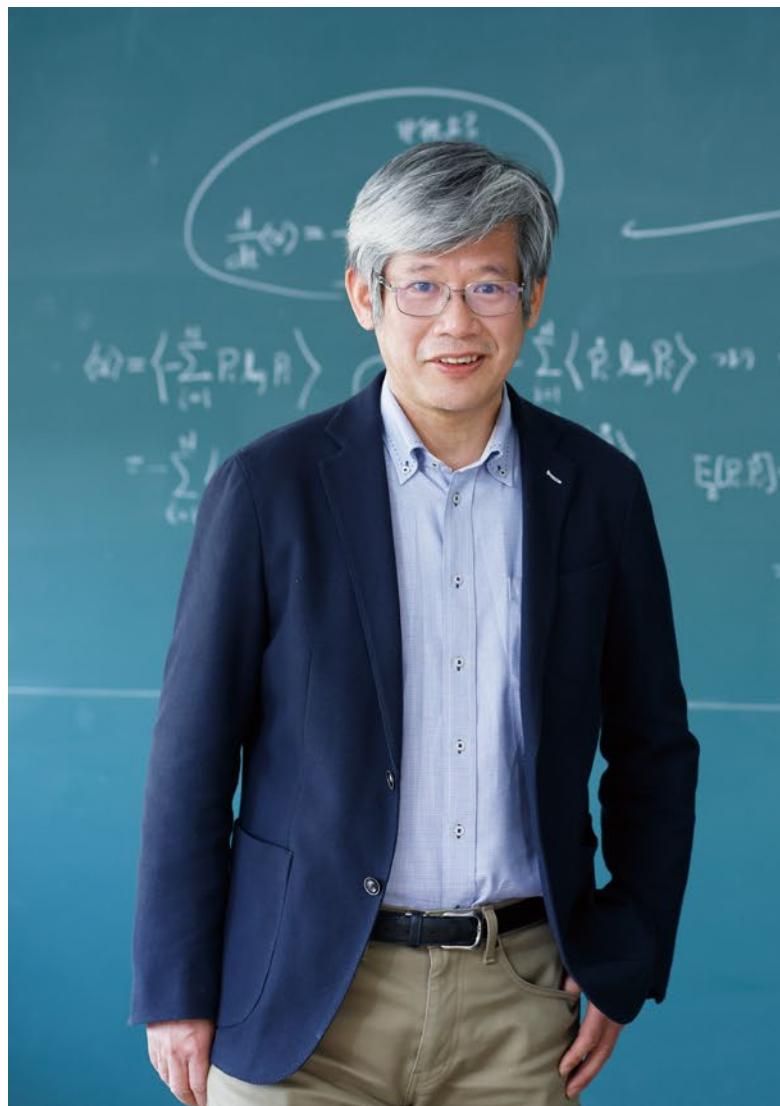
「小学生の頃はエジソン、アインシュタイン、湯川秀樹などの伝記を読むのが好きでした。あと、鉄腕アトムやスター・トレックといったアニメやテレビ番組をよく見ていました。あの頃は、社会全体が科学技術に夢や希望を抱いていた時代でもあり、私も物理学へと興味をひかれていきました」

子どもの頃をこう振り返る初田PDは、その後大学や大学院で物理学を学び、理論物理学者になった。物質の最小単位である素粒子や原子核などの理論を使い、初期の宇宙や天体の内部構造などについての研究を続けている。

最近、特に興味を持っているのが中性子星やブラックホールといった密度が極端に大きな天体だ。どちらも内部構造をはじめ不明な部分が多く謎に包まれている。「観測データは徐々に集まっていますが、これらを系統的に理解する理論的な方法がまだ確立されておらず、ゼロから積み重ねている状態です。人類がまだ誰も理解していない現象を理解するために研究を進めています」

## 基礎研究は役に立つのか

基礎研究では成果がすぐに具体的な利益を生む例は少ないため、「役に立つ」「役に立たない」という議論がされがちだ。しかし、初田PDは「そのような議論にはあまり意味がない」と語

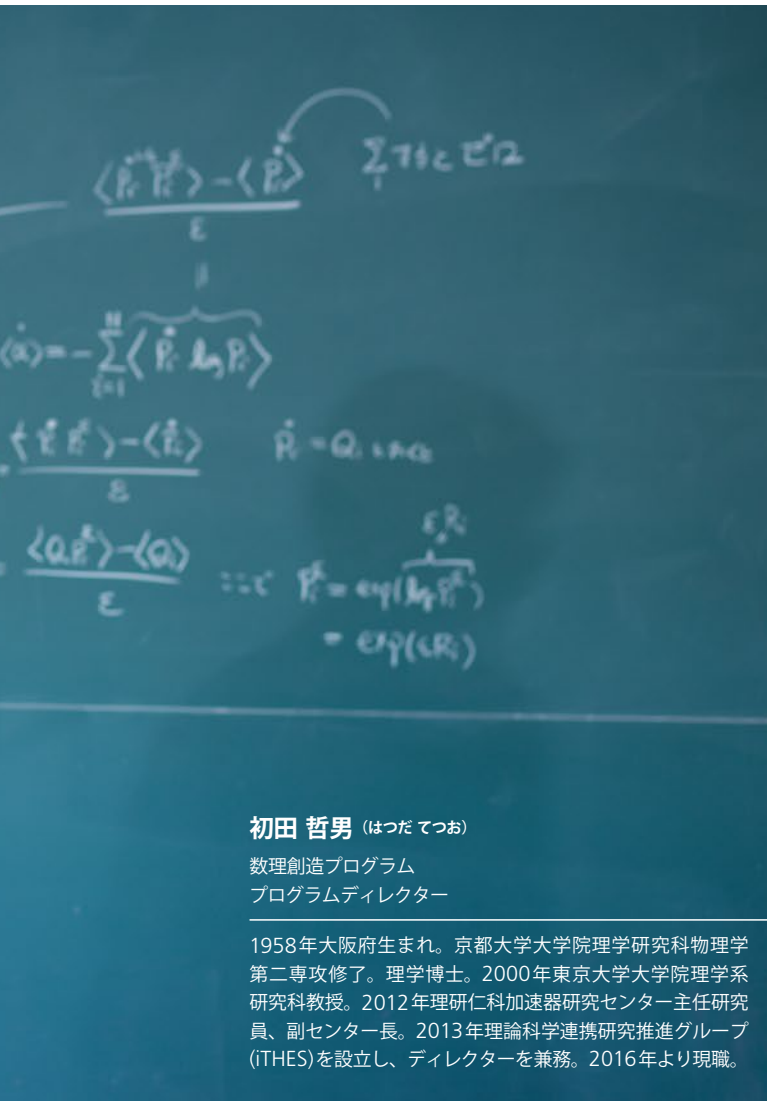


る。「そもそも、『役に立つ』という言葉は、話している人の立場によってその意味合いが変わります。それぞれの立場から、『役に立つ』『役に立たない』という話だけをして話がかみ合いません」

例えば、アインシュタインが発表した相対性理論。人びとの宇宙観を一変させ、現代物理学の基礎を築いた画期的な理論で、物理学者から見ると、基礎科学のさまざまな分野をつなぐとても役に立つ理論だ。ただ、この理論が直接経済効果をもたらすものではないので、例えば、会社を経営するにあたっては、役に立たないものかもしれない。

だが、現代に生きる私たちは知らず知らずのうちに、相対性理論をほとんど毎日活用している。カーナビゲーションシステムやスマートフォンの地図アプリでは、GPS (全地球測位システム) を利用して、自分のいる位置を正確に表示する。このとき、相対性理論の影響を計算しないと、正確な位置を割り出すことはできない。つまり、相対性理論は発表から100年以上の時を経て、人びとの生活を便利にし、企業に利益をもたらしているのだ。

また、現在、世界中で猛威を振るう新型コロナウイルスの解決策として注目されているmRNAワクチンを1年以内という短期間で開発できたのも、地道に基礎研究を続けてきた研究者が



### 初田 哲男 (はつだ てつお)

数理創造プログラム  
プログラムディレクター

1958年大阪府生まれ。京都大学大学院理学研究科物理学第二専攻修了。理学博士。2000年東京大学大学院理学系研究科教授。2012年理研仁科加速器研究センター主任研究員、副センター長。2013年理論科学連携研究推進グループ(iTHES)を設立し、ディレクターを兼務。2016年より現職。

いたからだ。初田PDが研究している中性子星やブラックホールに関する知見も、将来、画期的な利用法が開発されるときが来るかもしれない。

## 多様な研究が人類への貢献につながる

基礎研究は、これまで誰も知らなかったことを明らかにして、新しい知識として蓄積する営み。この活動そのものが人類に大きく貢献している。歴代のノーベル賞受賞者たちも、基礎研究

には科学的な価値とともに、既存の技術の限界を打破し大きなイノベーションを創出する可能性があることを指摘してきている。

「研究者は、何かの役に立つから研究するものではありません。とにかく明らかにしたいこと、知りたいことがあるから研究しています。自分の興味に基づいて研究を進めるからこそ、世界で誰も知らないことを明らかにできるのです」と初田PD。

基礎研究の中には、社会を根本から変えてしまうイノベーションにつながるものもある。だが、どの基礎研究から画期的なイノベーションが生まれるのか、それはいつなのかは誰にもわからない。だからこそ、たくさんの研究者が自身の興味や発想をもとにして、さまざまな研究をし続けることが大切になる。

富士山の標高が高いのは、広い裾野があるからだ。多様な研究をしっかりと育み、裾野を広げていくことでしか、世界をリードするような画期的な研究は生まれてこない。「だからこそ、一人一人の研究者の興味からたくさんの基礎研究が進められる土壌をつくる必要があります」

## 基礎研究を持続させるために

実は今、19世紀から20世紀にかけては資金的に国家に支えられていた基礎研究は世界的に“危機”に瀕している。初田PDは、基礎研究を支えるための新たな仕組みが必要になると考え、そのひとつとしてベンチャー企業設立を提案し、それが株式会社社理研数理の誕生へとつながった。

広報活動にも力を入れている。基礎研究の営みは、回り回って社会に大きな変革を起こし、人びとの生活を支えているものの、実際にどのような研究が行われているのか、世の中に伝わりにくい。だからこそ、研究者が自らの研究について伝える必要性を感じている。

「私にとっての研究は、散らかった部屋をきちんと整理整頓するように、ものごとを数理的に整理して、統一的に理解していくこと。その結果を論文として発表することで、人類共通の知識となります。しかも知識は、累積して熟成される。こうした蓄積があるからこそ、社会を一変させるような技術が生まれてくるのです。この重要性をより多くの人たちと共有しながら、基礎研究を持続的に進めていくための仕組みも模索し続けたいと考えています」



「知の共有も科学者の仕事」と語る初田PDは、プリンストン大学が出版した『Usefulness of Useless Knowledge』の日本語版監訳、ノーベル賞受賞者・大隅良典東京工業大学栄誉教授や隠岐さや香名古屋大学教授とによる共著『「役に立たない」研究の未来』の上梓の他、講演活動にも力を入れている。

## 私なりの 「研究支援専門職」

伊藤美帆 いたう・みほ

生命医科学研究センター  
センター長室  
研究支援専門職



2018年、生命医科学研究センター発足時の Research Coordination Section の面々。筆者は左から3人目。

私の職務である「研究支援専門職」は、理研の中でもまだ始まったばかりの職制だ。

理研の規程によると、産学連携、国際協力、知財管理、所内連携、研究資金の獲得支援・管理、アウトリーチ、学術集会開催または所内国際環境向上支援に関する業務を行う人、と定義されている。

簡単にいうと、研究の現場には実際に手を動かして研究をする「研究者」以外に、その研究に関わるさまざまな申請や国内外の共同研究先との調整、研究資金を得るための情報収集や分かりやすく研究のアピールをするいわゆる「研究のまわりにいる」人たちが存在し、研究とはその人たちが研究者と協力してはじめて成り立つものである（と、少なくとも私は信じている）。昔から研究まわりの人々はたくさん働いていたのだが、それが「専門職」というポジションとして確立したのはつい最近である。

私が所属する生命医科学研究センターでは2021年7月現在、50の研究室を38名の支援系職員で支えている。研究支援専門職を含む支援系職員は元研究者や私のようにサイエンス関連の企業出身など多様なバックグラウンドを持ち、その専門も多種多様だ。プロジェクトが大きくなればなるほど関わる人たちも多く、いろいろな知識も必要とされるため、ラボ専属の職員以外は状況に合わせてチーム編成され、大概是掛け持ちで複数のプロジェクトに参加している。私は主に広報を担当しているので、イベントなどの企画を立てたり、研究者への取材協力やプレスリリース作成の手伝いもする。……かと思えば、共同研究先への窓口にもなるし、国際プロジェクトのイベントを行うために夜遅くに海の向こう側とミーティングをする時もある。

さまざまな知識を持つ人たちが一緒に活動するからこそ、お互いに知らないことを補い合い互いに学びながら研究の外堀を埋めていくのがこの仕事のイメージだ。そして中央にいる研究者が安心して研究を進める状況をつくり出す、まさに「縁の下の力持ち」集団でもある。

しかしこの仕事、やりだしてみると自分の専門以外の部分も色々求められる。そして定義の通り「研究まわり」にはありとあらゆる業務が含まれているので、この登用試験を受ける時には自分の「専門性」について深く考えさせられた。専門的に広報を学んだことのない自分がここで通用するのかと不安にも感じた。その時にある人に言われた言葉がある。

「君が今できることとやりたいことは違うかもしれない。今は自分の強みを前面に出して自分のやりたい方向に舵を切り続ければきっとその方向にいけるよ。研究支援専門職にはまだ形はないのだから。」

研究支援専門職としての完璧な形はまだないのだから自分でつくればいい。そう思ったら少し肩の力が抜けた。その方はもしかして「仕事に対しての姿勢」の一般論を語ってくれただけかもしれない。でも専門性にこだわりすぎた自分にはその方の言葉が染みた。自然に今できる目の前にあることに注視し、やれることをやってみようにした。そして今の私がいる。まだまだ発展途上。スペシャリティを持ちながらオールマイティも目指す。

それが私なりの研究支援専門職だと今は思っている。

最新記事はウェブサイトでご覧いただけます。

『RIKEN NEWS』は、理研の研究の最前線や研究者の人物像に迫るウェブコンテンツ「クローズアップ科学道」を再収録した季刊誌です。最新記事は理研ウェブサイトにて随時更新中。ぜひご覧ください。



[www.riken.jp/pr/closeup/](http://www.riken.jp/pr/closeup/)

理研の活動をご支援ください。

理研の研究の充実、さらなる発展は、法人や個人の皆さまからのご寄附で支えられています。

問い合わせ先 外部資金室 寄附金担当

[kifu-info@riken.jp](mailto:kifu-info@riken.jp) [www.riken.jp/support/](http://www.riken.jp/support/)



各種ハルフ配合率10%再生紙を使用



この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。