

# RIKEN NEWS

 理化学研究所

FALL 2021  
No.479

## 研究最前線

**ランキングトップが描き出す「富岳」の実力**……p.02

脳の“宇宙”を捉える光学顕微鏡……p.04

ビタミンDで高効果の新型コロナウイルスワクチン開発……p.05

**宇宙探索の新たな扉を開くX線観測**……p.06

休眠中の卵胞が目覚める必要条件を発見……p.08

植物の代謝を分子レベルで解明し、  
機能性植物をつくり出す……p.09

ミドリムシに期待大！  
持続可能な社会の立役者に……p.10

腸内細菌共存の秘密を  
解き明かす新手法……p.11

**医療から宇宙まで  
研究を支える基盤施設  
—Spring-8とSACLA—**……p.12

分子を1個単位で分析、  
世界最高感度の顕微鏡……p.14

液体ヘリウムの上に電子を浮かべてつくる  
量子コンピュータ！……p.15

虐待はなぜ起こる？  
親子関係を科学する……p.16

## 特集

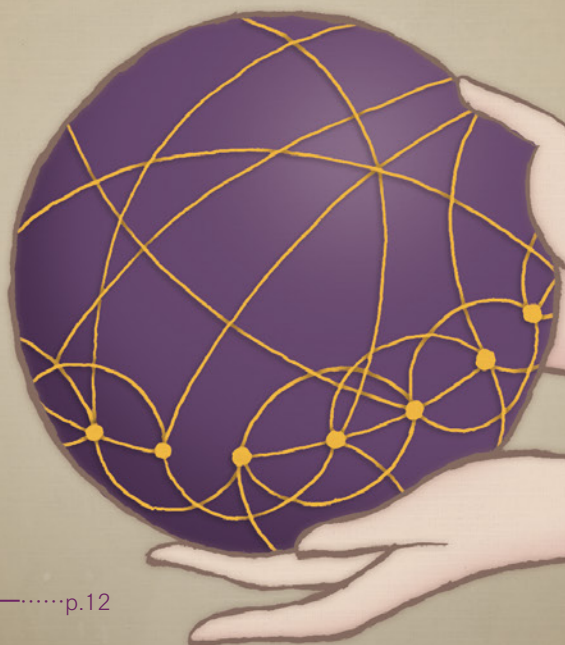
**AI時代が問いかける  
人と社会の未来像**……p.18

## 私の科学道

「鋼鉄魂」で歩む科学道……p.17

## 原酒

ソウゾウの話……p.20



科学道  
Dreams to the Future



# ランキングトップが描き出す「富岳」の実力

2021年6月、スーパーコンピュータ「富岳」は、半年に一度発表される性能ランキングのうち4部門で、3期連続の世界第1位を獲得した。2020年11月には人工知能(AI)に特化したランキングでも好成績を取めている。それぞれのランキングは、「富岳」のどのような性能を示しているのだろうか。計算科学研究センター大規模並列数値計算技術研究チームの今村俊幸チームリーダー(TL)と同センター高性能ビッグデータ研究チームの佐藤賢斗TLに聞いた。

## 計算の速さのランキング

スパコンの性能はスパコンのハードウェアが進歩し、スパコンの使用場面が広がるにつれてさまざまな角度から評価されるようになった。「富岳」が1位を獲得した4つのランキング(図1)のほか、省エネ性能を競うランキング、さらにいくつか試行段階のランキングもある。

ランキングとして最初に登場したTOP500は、決まった問題を決まったプログラムで解いて計算の速さを純粋に競う。一般に、ランキングでは問題が与えられ、それを解くためのプログラムをつくるが、TOP500の問題ではすでにHPLというプロ

ラムが確立されている。解く対象は連立一次方程式(図2)。なぜかという、スパコンではさまざまな方程式を解く際に、そのままでは解けないため数学的に変形して連立一次方程式にするからだ。連立一次方程式は四則演算を駆使すれば解くことができる。このランキングで、「富岳」は2位のスパコンの3倍近い計算速度を達成して1位となった。「TOP500では数時間も計算を続けるので、1位となったことは『富岳』が速いだけでなく長時間安定して稼働できることの現れでもあります」と、今村TLは解説する。

しかし、TOP500は発表が始まってから年数を経るにつれ、「問題の内容がスパコンで実際に行われる計算とかけ離れ、スパコンのハードウェアの進歩にも対応していない」と指摘されるようになった。こうした指摘に応じて2014年に開始されたのがHPCGである。HPCGの問題はスパコンの重要な用途であるシミュレーションの性能を評価するのに適している。シミュレーションとは法則に基づく計算により未来を予測するもので、例えば天気予報には大気の運動法則に基づいたシミュレーションが利用されている。シミュレーションの際にも連立一次方程式を解くのだが、そのタイプはTOP500と異なり解き方も違う。HPCGはこのような計算に焦点を当てており、1位になったことは「富岳」のシミュレーション性能の高さを示す。その性能は新型コロナウイルス関連のシミュレーションでも遺憾なく発揮されている。

## 社会現象もスパコンで解析

2010年に登場したGraph500は、少し毛色が違う。グラフとは一般に、頂点と辺でデータ間の関係を表すものだ(図3)。現代社会で起こる現象には巨大なグラフで表せるようなものが増えている。「例えば、SNSにおける人と人とのつながりはグラフで表せます」と佐藤

図1 スパコンの主な性能ランキング一覧

名称	概要	開始年
TOP500	膨大な数の未知数を含む連立一次方程式を解く速さを競う。解き方は決まっており、HPLと呼ばれるプログラムが使われる。	1993年
Graph500	グラフを解析する性能のランキング。グラフの一つの頂点からほかのすべての頂点に到達する経路を見つけるのにかかる時間を競う。	2010年
HPCG	TOP500とは異なるタイプの連立一次方程式をTOP500とは異なる解き方で解く速さを競う。	2014年
HPL-AI	TOP500と同じ連立一次方程式を解くが、TOP500では64ビットで表した数値を使って計算することが定められているのに対し、32ビットや16ビットの数値を使ってもよいとして計算の速さを競う。	2019年
MLPerf HPC	上の四つのような性能テストではなく、実際に研究に使うディープラーニングのプログラムを実行するのにかかる時間を競う。	試行段階

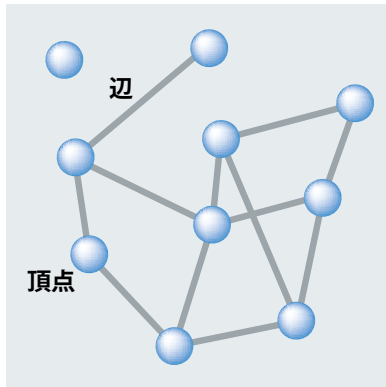
$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n = b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n = b_2 \\ \vdots \\ a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \cdots + a_{nn}x_n = b_n \end{cases}$$

図2 連立一次方程式

$x_1, x_2$ などを未知数、 $a_{11}, a_{12}$ などを係数、 $b_1, b_2$ などを定数項と呼ぶ。TOP500では係数がどれもゼロではない連立一次方程式を解くのに対し、HPCGでは係数の多くがゼロである連立一次方程式を解き、解き方もTOP500とは異なる。

図3 グラフ

右のグラフはごく簡単なものだが、SNS内の人のつながりなどの社会現象は、多数の頂点を多数の辺でつないだ巨大なグラフとなる。グラフ内のある頂点と別の頂点の間につながりがあるかどうか、ある頂点から別の頂点までの距離はどのぐらいかなどを解析することにより社会現象の特徴を抽出できる。



TL。そして、そのグラフを解析すると中心にいるのはAさんだとか、BさんとCさんの距離は近いといったことが分かり、「Dさんは知り合いではありませんか?」といった提案も可能になる。こうしたグラフの解析がスパコンの重要な用途の一つとなってきたため、その性能を比べるGraph500が登場したのだ。「富岳」は、1兆個以上の頂点をもつグラフの解析で圧倒的な性能を示し1位となった。

## AI時代のランキング

今村TLはHPL-AIを担当した。佐藤TLには2020年に試行が始まったMLPerf HPCに関して話を聞いた。この二つはAIで画像を認識するときによく使われるディープラーニングの手法と関係が深い。

HPL-AIは、数値の桁数を減らして計算したときの計算速度を競うものだ。スパコンでもパソコンでもコンピュータが扱える数値の桁数はあらかじめ決まっており、最近のスパコンでは64ビットが標準となっている。ビットとは、大まかに言うと数値を二進数で表した場合の1桁のことで、64ビットは十進数では16桁程度にあたる。計算に使う数値の桁数が多ければ計算結果の

精度は上がる。しかし、ディープラーニングの計算では、それほど精度を要求されない部分もあるため、そういう部分では桁数を減らして計算し、計算時間を短くすることが多い。また、最近のAI用途に特化したコンピュータは少ない桁数での計算が強化されている。こうした背景から提案されたのが、HPL-AIのランキングだ。

桁数を減らした計算は簡単そうに思えるが、そうではない。8桁しかない電卓で8桁×8桁の計算をするとエラーが出るよう

に、桁数が少ないと計算はすぐに破綻してしまう。「HPL-AIで解く問題はTOP500と同じなので、すでに確立されているHPLを改良しようと思ったのですが、それではうまくいかず、結局、自分たちでプログラムを一から書きました」と、今村TLは苦勞を振り返る。

これまでの四つのランキングは、性能を測るための専用の問題で能力を競うものだったが、佐藤TLが担当したMLPerf HPCでは、宇宙論と異常気象の研究に実際に使われるプログラムの実行にかかる時間を競う。「富岳」が参加したのは宇宙論のプログラム(CosmoFlow)で、

ディープラーニングにより宇宙の構造の3次元像をたくさん学習するものだ。

一般に、ディープラーニングのような大規模なプログラムは、基本的な計算を行うルーチ的なプログラム(これを「カーネル」と呼ぶ)を駆使して実行される。このため、プログラムを速く実行するにはカーネルがスパコンのハードウェアをうまく使いこなす能力を持ち、計算を速く実行できる必要がある。しかし、これまで、「富岳」のハードウェアに適したディープラーニング向けのカーネルは存在しなかった。そこで、別のスパコン用のカーネルを「富岳」に合わせて改良することにした。「富岳」を共同開発した富士通株式会社のチームの努力で改良は成功し、「富岳」は2020年11月のランキングで日本の別のスパコンに次いで2位となった。「今回改良したカーネルは学習する対象が違っても使えるので、今後、『富岳』でディープラーニングの計算をするときに活躍すると思います」と、佐藤TLはランキングに参加した意義を語る。

着眼点の異なる4つのランキングで1位を獲得し、AI時代に向けてのステップアップも達成して総合的な実力の高さを示した「富岳」。今後は、日本が目指すSociety 5.0の実現に貢献すると期待されている。

### 今村 俊幸 (いまむら としゆき)

計算科学研究センター  
大規模並列数値計算技術研究チーム  
チームリーダー

1969年愛知県生まれ。京都大学大学院工学研究科応用システム科学専攻単位取得退学。博士(工学)。日本原子力研究所計算科学技術推進センター研究員、電気通信大学准教授などを経て、2012年より理研計算科学研究機構大規模並列数値計算技術研究チーム チームリーダー。2018年より現職。



### 佐藤 賢斗 (さとう けんと)

計算科学研究センター  
高性能ビッグデータ研究チーム  
チームリーダー

1984年神奈川県生まれ。東京工業大学大学院数理計算科学専攻博士課程修了。博士(理学)。同大学術国際情報基盤センター研究員、米国ローレンス・リバモア国立研究所研究員などを経て2018年より現職。

開発した顕微鏡の前で。上部から入ったレーザー光が対物レンズ(右上に写っているシルバー色の筒状の部分)を通して、中央の台上のサンプルを照射する。

# 脳の“宇宙”を捉える 光学顕微鏡

昔から、脳に存在する膨大な数の神経細胞の活動は、夜空に広がる星々のきらめきに例えられてきた。しかし、実際にそれを見た人は一人もいない。なぜなら、複数の脳領域を一度に観察できる顕微鏡がなかったからだ。脳神経科学研究センター触覚生理学研究チームの村山正宜チームリーダー(TL)は、これを実現できる顕微鏡の開発に成功。この顕微鏡を用いて、マウス的大脑皮質に効率的な情報処理の仕組み(スモールワールドネットワーク性)があることを発見した。

## 多領域にわたる神経活動を捉えたい

近年は分子や細胞レベルの研究が進み、これを基盤として、一つの脳領域の神経活動についての理解が格段に深まっている。一方で多くの科学者が、脳の神経活動を広視野で観察したいと夢見てきた。

こうした中、夢の実現に向けて村山TLが実際に行動する端緒となったのが、2015年に学術雑誌『ニューロン』、2016年に『サイエンス』に成果を発表した一連の研究である。村山TLは、脳の離れた領域間の相互作用が、脳が正常に機能するために重要であることを突き止めた。これら論文の掲載前から、すでに領域間相互作用の重要性を認識していた村山TLは、2014年、一つ一つの神経細胞を高解像度で観察でき、同時に生きた動物の脳を広視野で観察できる顕微鏡の開発に乗り出していた。

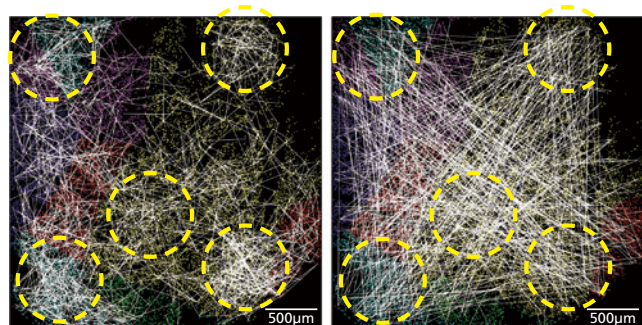
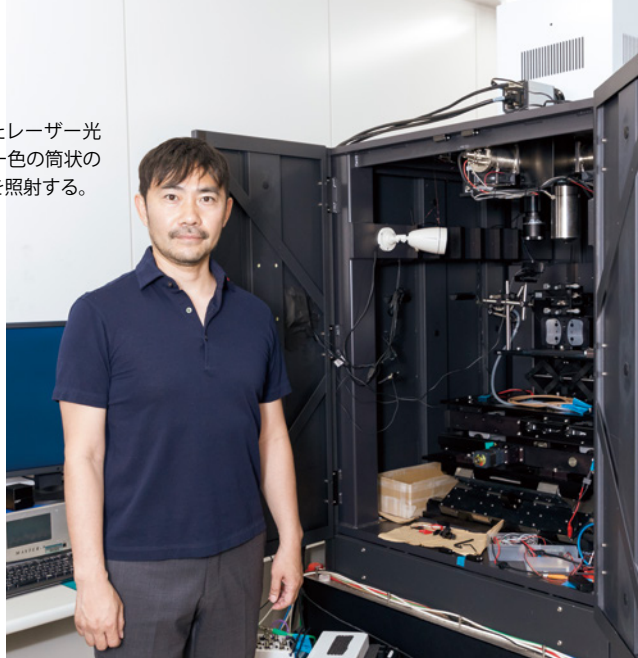


図1 大脑皮質のスモールワールドネットワーク性

マウス的大脑皮質の神経ネットワークを解析。脳の領域ごとに神経細胞を色分けしている。領域内の短い結合(左・クラスター性、黄色丸で囲まれた部位)とともに、領域をまたぎ、クラスターを結ぶ長い結合(右・スモールワールド性)が存在する。統計解析より、大脑皮質は、小さな領域で密なコミュニケーションを行うクラスター性と、遠隔でも少ない接続回数で到達できるスモールワールド性を併せ持つ、“スモールワールドネットワーク”であることが分かった。



村山 正宜(むらやま まさのり)

脳神経科学研究センター  
触覚生理学研究チーム  
チームリーダー

1977年宮城県生まれ。2006年東京薬科大学大学院生命科学研究所博士課程修了。博士(生命科学)。博士課程の頃から、顕微鏡などの実験装置を自ら開発。2006年、スイス・ベルン大学生理学部博士研究員。2010年から理研で研究室を主宰、2018年より現職。東京大学大学院医学研究科兼務。

## 日本の技術力を結集した顕微鏡

このプロジェクトは5大学、3企業、2研究所が連携する大規模なもので、完成までの道のりは険しかった。

「広視野で観察するには大きな対物レンズが必要ですが、高精度の大きな対物レンズをつくるのはとても難しいのです。大型で高感度の光検出器も必要です。また、一つ一つの神経細胞を高解像度で観察できることを証明するには、神経細胞の活動を検知するためのカルシウムセンサーを広い脳領域の神経細胞に発現させる必要があります。その方法も新たに開発しました。さらに、大量の画像データから細胞体だけを自動検出するためのアルゴリズムや、大規模細胞数の解析方法も一から構築しました。さまざまな問題を同時並行で解決していきました」

日本屈指の顕微鏡関連技術を持つ企業をはじめ、各分野の専門家の知識と技術力を結集して、ついに、広視野・高解像度・高速撮像・高感度・無収差(ぼけやゆがみが無い)を同時に満たす2光子顕微鏡の開発に成功した。

「共同研究者の誰か一人が欠けても、この成功はありませんでした」と村山TLは振り返る。

## 「スモールワールドネットワーク性」を発見

この顕微鏡で得られたデータを解析したところ、マウス的大脑皮質は“スモールワールドネットワーク”(図1)であることを発見し、効率的な情報伝達が行われていることが分かった。

これまでも実験装置を自ら開発し、数々の発見をしてきた村山TL。「夢は、この顕微鏡を使って、まったく新しい神経現象を発見することです。それが脳機能とどう関連しているか、そのメカニズムを掘り下げて、脳の謎を解明していきます」

[表紙] 毬の模様かスモールワールドを、着物の柄がハブ細胞(影響力の大きな神経細胞)を表す。それぞれの線はネットワークであり、オールジャパン体制の研究開発をも表す。

取材・構成：秦千里／撮影：盛孝大

# ビタミンDで高効果の 新型コロナウイルスワクチン開発

効果を高めるアジュバント（免疫賦活剤）としてビタミンDを使い、湿布のように皮膚に貼るだけで取り扱いがとて簡単な新型コロナウイルスワクチンの研究開発が進んでいる。生命医科学研究センター分化制御研究チームの福山英啓 副チームリーダー（TL）らが開発するこの「貼るワクチン」が実用化すれば、注射の打ち手となる医療従事者の確保が難しい地域でも接種が進められ、副反応も抑えられると期待されている。

## 鍵を握るビタミンD

福山副TLの開発するワクチンがユニークなのは、ワクチンと一緒に投与して、その効果を高めるために使用されるアジュバントにビタミンDを使っている点だ。これまでアジュバントにビタミンDが使われたことはない。

もともとインフルエンザワクチンを研究していた福山副TLは、さまざまなアジュバントの効果を調べている最中に、それまで知られていなかった、ビタミンDによって活性化する免疫系の経路を発見した。

ワクチン接種や感染後に、再感染や重症化が起こりにくいのは、免疫系の細胞が病原体の特徴を覚え、同じ病原体が体内に入ってきた際に素早くその病原体を攻撃する抗体をつくるからだ。病原体の特徴の記憶に重要な役割を果たすのは「メモリーB細胞」。ビタミンDによって活性化された免疫反応によって、メモリーB細胞がより多くつくられることが分かった。

体内でビタミンDが働く際にはまず、ビタミンD受容体とい

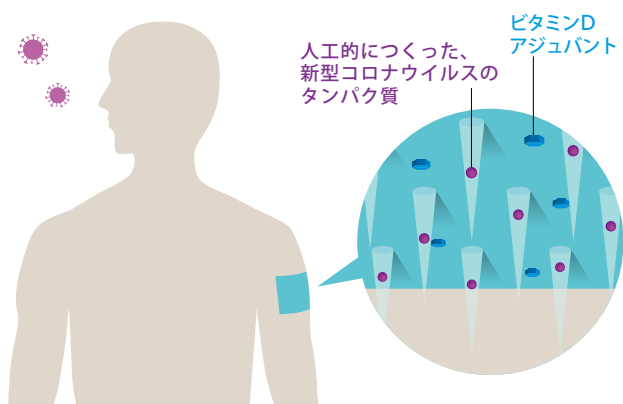


図1 貼る新型コロナウイルスワクチンのイメージ

パッチ状に、数十～数百 $\mu\text{m}$ （1 $\mu\text{m}$ は1,000分の1mm）という微細な針がたくさん並ぶ。針には、人工的につくった、新型コロナウイルスの表面にある突起状のスパイクタンパク質とビタミンDを入れる。肩などに貼り、時間が経つと、針が溶けてワクチン成分が体内に染みこんでいくような仕組みを目指す。

## 福山 英啓（ふくやま ひでひろ）

生命医科学研究センター  
分化制御研究チーム  
副チームリーダー

1969年大阪府生まれ。大阪大学大学院医学研究科、博士（医学）。大阪大学医学部助手、米国ロックフェラー大学研究員、仏ストラスブール大学分子生物学研究所研究員などを経て、2013年より理研統合生命医科学研究センター上級研究員、2019年より現職。仏国立保健医学研究所上級研究員、横浜市立大学客員准教授を兼務。



う細胞内にあるタンパク質に結合する必要がある。いろいろな種類の細胞を調べたところ、皮膚の表皮にあるケラチノサイトという角化細胞に最も多くのビタミンD受容体があると分かった。

「皮膚に塗るビタミンD軟膏は、皮膚の病気の治療薬としてすでに薬事承認を受け、国内で使われています。ですからビタミンDを使った皮膚から吸収させるワクチンなら、比較的副反応が少なくできるのではないかと考えました」と福山副TLは話す。

## マイクロニードル付きパッチを活用

福山副TLが開発を進めているワクチンのもう一つユニークな点は、「貼る」という新しい形態だ。美容液を含んだ微細な針がたくさん並ぶパッチを、目元などに貼る新しい形態の顔パック、「マイクロニードルパッチ」の美容液をワクチン溶液に置き換え、皮膚に貼るだけで注射のような効果を得ることができないか、と検討を進めている（図1）。

新型コロナウイルスは、表面に突起状のスパイクタンパク質がある。ヒトに感染する際には、それがまず細胞に結合する。本ワクチンの主成分は、このスパイクタンパク質を人工的につくったものだ。スパイクタンパク質を構成するアミノ酸の一部を変更することで、変異株に対する効果や、安定性を高めることができる。

今後、製薬企業やマイクロニードル製造企業と共同で実用化を目指す。2021年秋には、まずマウスで効果を確認する実験を始める予定だ。

# 宇宙探索の 新たな扉を開く X線観測

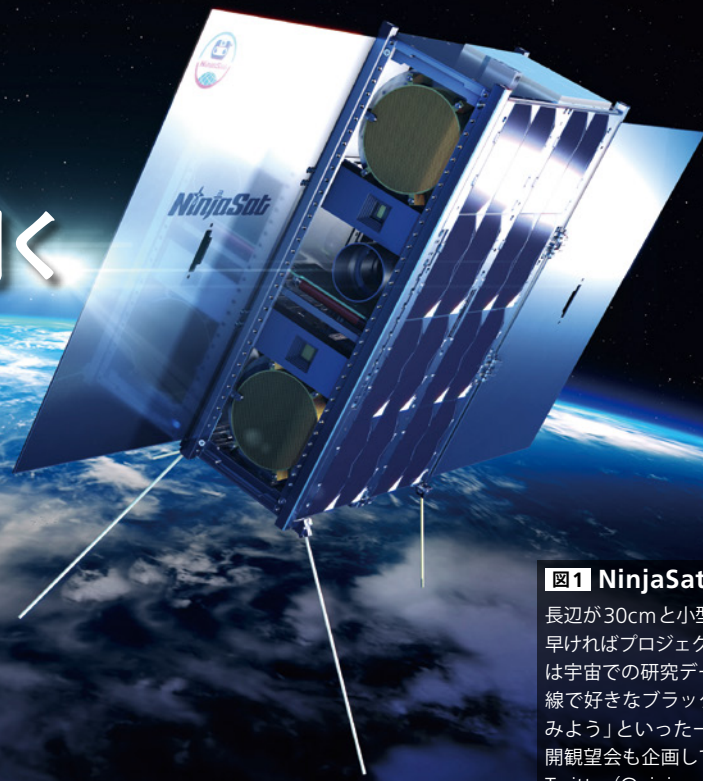


図1 NinjaSatのイメージ

長辺が30cmと小型。開発期間も短く、早ければプロジェクト開始から1年後には宇宙での研究データが得られる。「X線で好きなブラックホールを観測してみよう」といった一般市民に向けた公開観望会も企画している。最新情報はTwitter (@ninjasat\_xray) で発信中。

20年前、理研の採用面接で「私がX線偏光観測を実現します」と大きな野望を宣言した開拓研究本部 玉川 徹 主任研究員。宇宙をX線で観測するX線天文学の中でも、波の規則性を表す“偏光”を捉えるX線偏光観測は格段に難しく、「最後のフロンティア」と呼ばれてきた。20年の研究を経て今、X線偏光観測衛星の打ち上げ最終テストが行われている。間接的な証拠から想像で語られてきた宇宙の姿を、観測から明らかにしようとしている。

## 宇宙空間に出てX線で宇宙を見る

太陽や星から降り注ぐ光。人類は、その光から天体の存在を知り、その性質を解き明かしてきた。可視光よりも高いエネルギーを持つX線も地球に向けて飛んでくるが、X線は地球をとりまく大気で遮られて地上には届かない。そのため、天体からのX線を捉えるには宇宙に出て観測する必要がある。

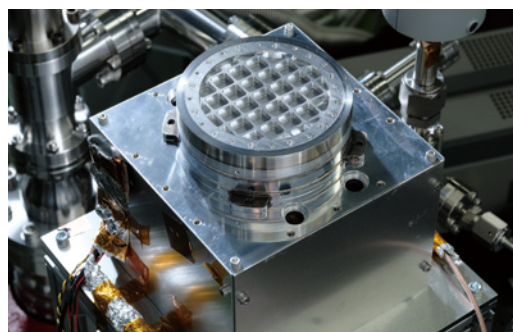


図2 超小型人工衛星に搭載する小型X線検出器

玉川主任研究員は人工衛星にX線観測装置を載せ、宇宙を探究している。「星の爆発のような激しいイベントが起こると、X線が放出されます。地上からでは何の変化も捉えることができませんが、宇宙に出てX線観測をすると初めて見えてくる現象がたくさんあります」と玉川主任研究員。

地球の周りを90分で回る国際宇宙ステーション (ISS) の船外でも、X線観測が行われている。理研が開発し、ISSに搭載された「全天X線監視装置 (MAXI)」は、宇宙の四方八方を観測することができ、現在までに14個のブラックホール、17個の中性子星などの新天体を発見してきた。MAXIは2022年3月から、同じくISSに搭載されている米国航空宇宙局 (NASA) のX線観測器「NICER」と連携する計画が進んでいる。

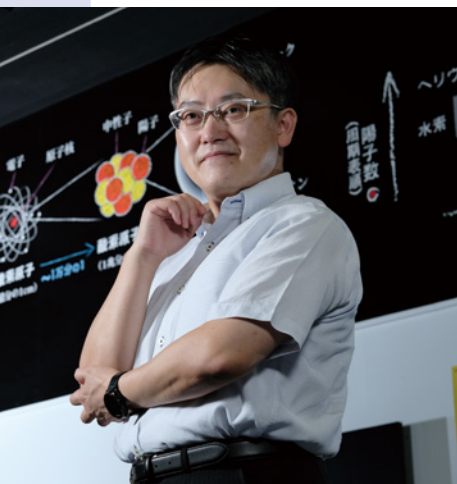
## 気軽に宇宙実験ができる時代をつくる

「わずか5年前と比べても、宇宙へのアクセスはかなり身近になりました。宇宙実験も大型プロジェクトに頼らず推進できるはず」と話す玉川主任研究員は、榎戸輝揚 理研白眉研究チームリーダーと共同で超小型観測衛星「NinjaSat」(図1)の開発プ

### 玉川 徹 (たまがわ とおる)

開拓研究本部  
玉川高エネルギー宇宙物理研究室  
主任研究員

1970年兵庫県生まれ。東京大学大学院理学系研究科物理学専攻博士課程修了。博士(理学)。2000年理研宇宙放射線研究室協力研究員、牧島宇宙放射線研究室専任研究員などを経て、2009年より准主任研究員として玉川高エネルギー宇宙物理研究室を主宰。2018年より現職。



プロジェクトにも力を注ぐ。

大型衛星の場合、研究プロジェクトが開始されても、実際の宇宙での観測は10年先というのが常だ。その点、NinjaSatは素早く実現でき、観測計画も自由に決めることができる。例えば、ISSでMAXIが明るい天体を見つけたら、すぐにNinjaSatの観測をその方向へ切り替えることも可能だ。というのも、MAXIは90分で地球を1周しながら観測する装置で、何か強いX線を捉えても、次にその方向を観測できるのは90分後だ。一瞬強いX線を捉えても、90分後には鳴りを潜めてしまった現象も数多い。NinjaSatなら、MAXIの89分間の空白を埋めることが可能だ。

NinjaSatはX線検出器(図2)を搭載し、2023年に打ち上げが予定されている。将来的には理研が持つ横のつながりを活かして、化学・生物分野などへの「超小型宇宙実験室」の提供を目指している。

## 最後のフロンティア、 X線偏光観測の幕開け

1962年から始まったX線天文学には、「最後のフロンティア」と呼ばれる未開の分野がある。X線偏光観測だ。玉川主任研究員は、研究者になりたてのところにX線偏光観測への挑戦を決意した。「難しくても、まだ誰も取り組んでおらず、やがて大きくブレイクする分野に挑戦しようと考えたのです。博士課程での原子核研究から得た、観測装置のアイデアもありました」

X線偏光観測で分かるのはどんなことか。例えば、ブラックホールに吸い込まれるガスが放出するX線にはあらゆる方向に振動するX線が混在している。これまでのX線天文学は、この混在しているX線の全体のみを捉えていた。しかし、ブラックホールの周囲で明るく輝く降着円盤(図3)から放出されるX線は、振動がある一方向に揃った「偏光情報」を持っている。このX線偏光を取り出すと、天体が何千光年離れていても、小さな降着円盤の形が分かるのだ。また、X線偏光は可視光よりエネルギーが高いため、ブラックホールの中心からわずか100kmほどの、降着円盤の一番内側の情報も知ることができる。ブラッ

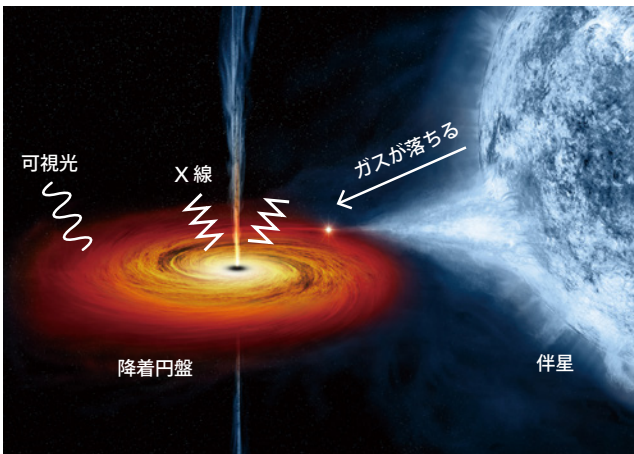


図3 ブラックホールに伴星から物質が流れ込むイメージ

伴星からブラックホールに落ち込むガスで降着円盤がつけられる。

画像提供: NASA/CXC/M.Weiss

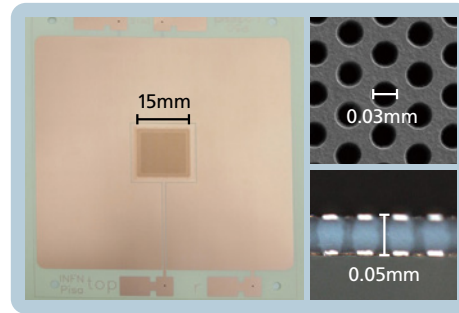


図4 NASAで最終テスト中のIXPE衛星(右)とGEM

衛星の下部に玉川主任研究員が提供したGEMが納められている。15mm角、厚さ0.05mmの「液晶ポリマー」と呼ばれる特殊なプラスチックを銅箔で挟んだもの。この板に0.05mmごとに直径0.03mmの孔を均等に開けてある。この孔に1箇所でも欠陥があると、偏光情報は正確に取り出せない。この精度の高さこそ理研の特許技術の賜物だ。

画像提供 (IXPE衛星): Ball Aerospace

クホールの近くでは時空が歪むと予想されているが、その真偽を確かめることも可能だ。

ところが、X線偏光を感度良く捉える観測装置がなかった。可視光と違って、天体からのX線は飛んでくる量も少ない。これを確実に捉える仕掛けを開発しなくてはならない。

そこで、飛んできたX線の持つ偏光の情報を十分な感度で取り出すための「ガス電子増幅フォイル(GEM)」(図4左)を開発した。X線偏光観測の心臓部であり、「これだけ増幅性能が高く、振動や熱といった宇宙での過酷な使用環境に耐えるGEMをつくれるのは世界中で我々だけです」と胸を張る。その言葉を裏付けるように、GEMは世界初の高感度X線偏光観測衛星「IXPE」(図4右)を開発するイタリアとNASAによるチームから提供を要請された。2021年末からいよいよ宇宙でX線偏光観測が始まる予定だ。

「従来のX線天文学の延長ではなく、まったく次元の異なる観測が始まります。次々に新たな知見が得られるはずです」

## 宇宙は観測したいことであふれている

X線偏光観測で確かめたいことは山ほどある。星が爆発した後に残される中性子星には地球上で到達できる最高磁場の1億倍、100億テスラの強い磁場を持つものがあり、量子電磁力学という理論から真空が歪むと予想されている。地上では検証できない理論だが、中性子星から放出されるX線偏光を使えば検証が可能だ。「X線偏光という観測手段を手に入れたら、ぜひ、世界で初めての検証を手掛けたい。その夢が現実味を帯びてきています」と玉川主任研究員。「理論家の予想とは違う」結果が出るのが、実験家としては一番楽しみです」といわずらっぽく笑った。

「近い将来、月に住めるようになったら人工衛星を使わずに、月の庭からX線偏光の観測ができる」「宇宙の果てまで見通せるほどX線観測の感度を上げて、ビッグバン後に最初に誕生した一番星からの情報を観測したい。そうすれば宇宙の始まりが明らかになります。でも時間が足りるかな」と夢は尽きない。宇宙は観測したいことであふれている。

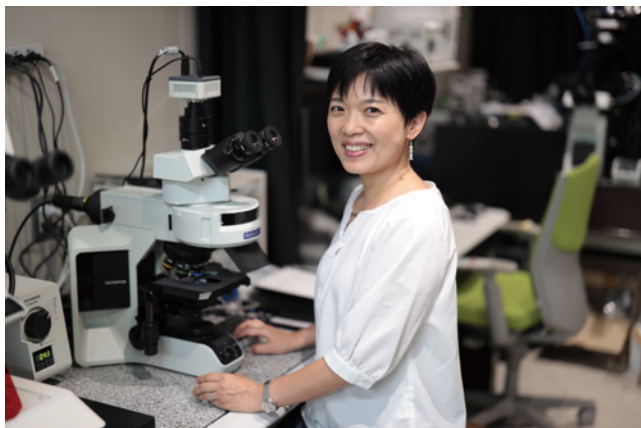
# 休眠中の卵胞が目覚める 必要条件を発見

ほとんどの哺乳類では、卵子のもとになる卵母細胞は出生前につくられ、その後新たにつくられることはない。卵母細胞は成長を開始するまで、周りを特殊な細胞に囲まれた「原始卵胞」の状態でお巣内で眠っている。生命機能科学研究センター個体パターンニング研究チームの高瀬比菜子 研究者らは、眠っている原始卵胞が目覚めて活性化するのに必要なシグナルを発見した。不妊治療などに役立つ可能性があるかと期待が高まっている。

## 卵胞は周りの細胞と歩調を合わせて成長

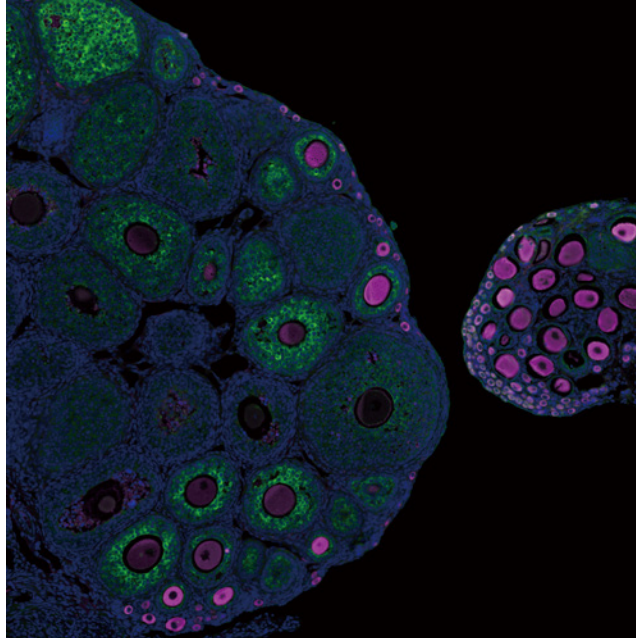
卵母細胞は一つずつ、その成長を助ける特殊な細胞に包まれており、卵胞と呼ばれる構造をとっている。ヒトの場合、初潮の頃にはお巣内に約30万個の原始卵胞があると考えられており、その中から毎月数百個が目覚め、成熟に向けて成長を始める。途中で成長が止まるものなどもあり、成熟した卵子になって排卵されるのは基本的に毎月1個だ。

卵母細胞を包む細胞は「顆粒膜細胞」と呼ばれる母体側の体細胞であり、次世代をつくる卵母細胞に栄養などを供給する。原始卵胞の時点では、まだ顆粒膜細胞になっていない前顆粒膜細胞の状態、扁平形をしている。



**高瀬 比菜子** (たかせ ひなこ)  
生命機能科学研究センター  
個体パターンニング研究チーム  
研究者

1983年富山県生まれ。東京大学理学系研究科博士課程修了。博士(理学)。米スタンフォード大学留学後、東京医科歯科大学医歯学総合研究科テニュアトラック助教を経て、2018年より現職。博士課程在学中より、さまざまな細胞の基になる未分化な「幹細胞」やその周りの微小環境(ニッチ)について研究している。



**図1** マウスのお巣

正常なマウスのお巣(左)とWntタンパク質が働かないマウスのお巣(右)。ピンク色に染まっているのは卵子のもとになる卵母細胞、緑色が顆粒膜細胞。Wntタンパク質が働かない場合、大きく育った卵胞が観察されず、そのためお巣の大きさ自体も非常に小さい。

前顆粒膜細胞は、活性化し成長すると立体的なころんとした形へと姿を変え、卵母細胞の成長を助けることができるようになる。卵母細胞と前顆粒膜細胞の活性化や成長のタイミングが合わないと、成熟した卵子はできない。しかし、どのように前顆粒膜細胞が活性化されるのか、これまで分かっていなかった。

## 目覚めにはWntタンパク質が必要

高瀬研究者らは、マウス実験で、「Wnt」という分泌型タンパク質のうちの3種類が前顆粒膜細胞の活性化に寄与する可能性を発見した。マウスのお巣でこれらのWntタンパク質が働かないようにしたところ、前顆粒膜細胞は扁平なままで成長せず、卵母細胞の成長も遅くなり、不妊になった(図1)。調べると、血液中のホルモンの状態がヒトの「早発お巣不全」の状態と似ていた。これは、さまざまな理由でお巣の働きが低下するために無月経となる病気で、不妊の原因の一つだ。40歳未満の女性の約1%に発症するとみられている。

Wntタンパク質が働かないマウスのお巣の培養実験では、既存のWnt活性化剤を投与すると扁平な前顆粒膜細胞が立体になり、卵子も成熟した。高瀬研究者は「ヒトの不妊のうち顆粒膜細胞の機能不全に原因があるものは、Wnt活性化剤を使った治療法で改善する可能性があります」と話す。

中学生時代に、環境中の微量の化学物質が生命にもたらす深刻な影響について警鐘を鳴らした、レイチェル・カーソンの著書『沈黙の春』を読んで研究の道を志したという高瀬研究者は、「生物の根本的な営みを明らかにしたいと研究しています」と語る。生命が次世代に受け継がれていく仕組みを解き明かすため、原始卵胞が活性化される最初のきっかけなど、まだ不明な点の多い、卵母細胞と顆粒膜細胞の成長過程についての研究に力を入れる予定だ。生殖メカニズムの基礎研究を通じて、臨床にも役立つ知見を提供することを目標としている。



# 植物の代謝を分子レベルで解明し、機能性植物をつくり出す

生物の体内では、さまざまな物質が合成や分解を繰り返す「代謝」が行われており、これによって生命活動が維持されている。実に精巧で緻密な代謝の仕組みを分子レベルで明らかにすることを旨とする、環境資源科学研究センター代謝システム研究チームの平井優美チームリーダー（TL）に話を聞いた。

## 代謝の経路はまるで地下鉄の路線図

「代謝」という言葉は日常でもよく使われるが、科学的には、動植物はじめ全ての生体が生きていくために、外界から体内に取り入れた物質を、生命活動に必要な化合物に変換したり、分解してエネルギーを取り出したりする一連の反応を意味する。代謝の反応経路を示した「代謝マップ」は、複雑なネットワーク構造をしており、まるで大都市の地下鉄路線図のようだ（図1）。

「代謝は非常に精緻なメカニズムによって制御されています。生命の精緻さや複雑さへの強い興味が私を研究の道へ導きました。まずは植物においてその仕組みを分子レベルで理解したい」。そう話す平井TLは、全代謝物（メタボローム）を網羅的に調べるメタボローム解析などの技術を駆使して、植物の代謝にかかわる分子のメカニズムを解明している。

## 二次代謝産物の再利用経路を発見！

代謝には、生命維持に必要な不可欠な「一次代謝」と、それ以外の「二次代謝」がある。植物の二次代謝産物には、害虫からの防御や環境適応などに役立つものが多く、自ら動くことのできない植物の生存戦略の要といえる。

平井TLは、これまでの通説を覆す新たな経路を発見した。「二次代謝産物は、代謝経路のデッドエンド、つまり代謝の行き止



**平井 優美**（ひらい まさみ）

環境資源科学研究センター  
代謝システム研究チーム  
チームリーダー

1965年千葉県生まれ。東京大学大学院農学系研究科博士課程修了。博士（農学）。千葉大学大学院薬学研究院研究員などを経て、2005年、理研植物科学研究センター代謝システム解析ユニット ユニットリーダー。2013年より現職。

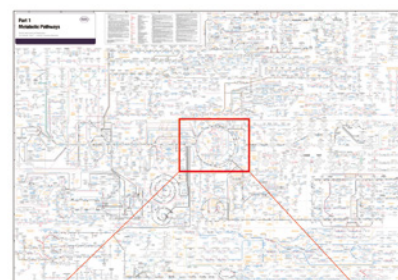
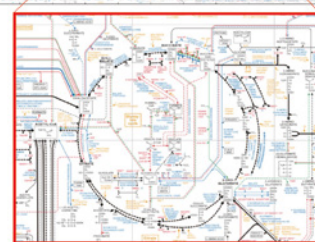


図1

### 代謝マップの一例 （大腸菌）

拡大した環状の経路は、微生物と植物に存在するグリオキシル酸回路（酢酸や脂肪酸を炭素源として利用するための代謝経路）。



スイスの製薬会社ロシュ・ダイアグノスティクス株式会社「Metabolic Pathways」より  
([https://www.roche.com/sustainability/philanthropy/science\\_education/pathways.htm](https://www.roche.com/sustainability/philanthropy/science_education/pathways.htm))

まりといわれていました。しかし、私たちはアブラナ科の植物がつくるグルコシノレートという二次代謝産物が、さらに分解されて一次代謝に再利用される経路を発見し、2021年5月に発表しました。終着駅と思われていた二次代謝産物ですが、始発駅の方に戻る経路が存在していたのです」

実はこの発見、私たちの健康にも関わりがある。グルコシノレートは、植物にとっては害虫に対する防御の役割を果たすが、人体にとっては発がん抑制などの健康促進効果を持つ。今回明らかになったグルコシノレートの分解経路を、逆にブロックできれば、グルコシノレートの量を増やした機能性野菜が開発できるかもしれない。

## 代謝を自在にデザインする

しかし、ことはそれほど簡単ではない。「代謝マップは固定された経路のように見えますが、実際は細胞内に何千種もの代謝物や酵素が混ざり合って存在し、必要なときに必要な経路だけが働きます。複雑に絡み合った経路から、なぜ必要な経路だけを誘導できるのかを解明しないと、思い通りに代謝を制御することはできません」

今、平井TLが目していることのひとつが「液-液相分離」という現象だ。これは水と油のように液体が混ざり合わずに2相以上に分離することをいう。細胞内では、代謝に関わる物質が「液-液相分離」によって区画化されていて、それが代謝の制御に関わっている可能性がある。

「まだ知られていない代謝のメカニズムを明らかにし、代謝を自在にデザインできるような応用につなげたい」と平井TLは意欲を見せる。

# ミドリムシに期待大！ 持続可能な 社会の立役者に

小学校の理科で習う、水中の微生物「ミドリムシ」。今、食品や燃料への応用が注目されている。理研でも、研究成果の実用化・社会への活用を推進する「バトンゾーン研究推進プログラム」の下、ミドリムシを利用したバイオ燃料や健康食品などを開発・販売する株式会社ユーグレナの鈴木健吾氏を微細藻類生産制御技術研究チームのチームリーダー（TL）として迎え入れ、植物ゲノムを研究するバイオ生産情報研究チームの持田恵一TLが副TLを担って研究を進めている。

## 食料にも燃料にもなるミドリムシ

鈴木TLは大学3年のときに、ミドリムシの生き物としての面白さと、社会に役立つ可能性に強くひかれた。

「ミドリムシは、光合成をする植物的な性質と、べん毛で動く動物的な性質を併せ持つ単細胞生物で、科学的にも非常に興味深い生き物です。ビタミンやミネラルなどの栄養も豊富で、大量培養すれば世界の食料問題の解決に寄与できるうえ、光合成で二酸化炭素を吸収するため、気候変動問題の解決策としても、さらには、体内で油脂をつくるので、バイオ燃料の原料としても期待されており、まさにサステナブルな社会の立役者なのです」

鈴木TLは、ミドリムシの学名であるユーグレナを社名に冠した、株式会社ユーグレナ設立に参画。同社は、2021年6月に、使用済み食用油とミドリムシ由来の油脂を原料にしたバイオジェット燃料を導入した実用機での初フライトに成功した。

## ゲノム編集で「スーパーミドリムシ」をつくる

バイオ燃料の実用化には、生産の効率化が必須。鍵となった

### 鈴木 健吾 (すずき けんご)

科技ハブ産連本部  
バトンゾーン研究推進プログラム  
微細藻類生産制御技術研究チーム  
チームリーダー

1979年神奈川県生まれ。東京大学大学院農学生命科学研究科修士課程在学中、2005年に(株)ユーグレナを設立し、取締役就任。博士(農学・医学)。2018年より現職。(株)ユーグレナ 執行役員 研究開発担当。

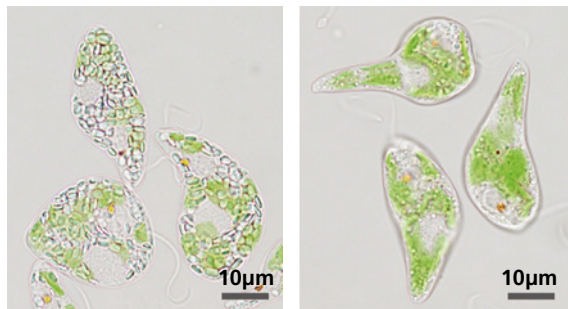


図1 ミドリムシ（微細藻類ユーグレナ）

左は野生のミドリムシ。右はゲノム編集により油脂の元である多糖（パラミロン）をつくらないようにしたミドリムシ。左図の体内にある粒が多糖類の一種であるパラミロン。

のは遺伝子改変により体内でより多くの油脂をつくる「スーパーミドリムシ」の誕生だった。そこで活躍したのが、持田副TLが持つ遺伝情報解析などの技術だ。

狙った遺伝子を高精度で操作できるゲノム編集だが、ミドリムシでは安定した遺伝子の改変が不可能とされてきた。持田副TLと野村俊尚<sup>としむさ</sup> 研究員(環境資源科学研究センター バイオ生産情報研究チーム)はこの通説を覆し、ミドリムシの高効率なゲノム編集を実現(図1)。「さまざまな遺伝子を改変して機能の変化を調べ、油脂の産生のほかにも有用な遺伝子がないかを探しています」と持田副TLは話す。

この技術によって、さらなる産業利用の可能性が広がった。例えば、ミドリムシは酸素がある環境下ではプラスチックや機能性食品に用いられる多糖をつくり、酸素がない環境下では多糖を変換してバイオ燃料の原料となる油脂をつくる。この物質生産のスイッチに関わる遺伝子を操作できれば、多糖と油脂の生産量のコントロールが可能になる。

## 市民と一緒に新たなミドリムシを探す 「みんなのミドリムシプロジェクト」

自然界にも、未知のミドリムシの種が存在するかもしれない。そこで、日本全国の中高生たちに湖沼の水を採取して送ってもらう「みんなのミドリムシプロジェクト」を立ち上げた。市民をも巻き込んで、社会実装を目指すミドリムシ研究はいつそう加速している。

### 持田 恵一 (もちだ けいいち)

科技ハブ産連本部  
バトンゾーン研究推進プログラム  
微細藻類生産制御技術研究チーム  
副チームリーダー

1975年福井県生まれ。横浜市立大学大学院総合理学研究科博士課程修了。博士(理学)。2015年から理研で研究室を主宰、2018年より現職。本務は環境資源科学研究センター バイオ生産情報研究チーム チームリーダー。



# 腸内細菌共存の秘密を 解き明かす新手法

生態系に新たな生物が入ってきたり環境が急変すると、その生態系は変化し、別の形の安定に向かうことがある。バイオリソース研究センター統合情報開発室の鈴木健大 開発研究員は、慶應義塾大学、北海道大学との共同研究により、微生物生態系の安定状態や変動要因を解き明かす解析手法を新たに開発した。研究モデルとなるバイオリソース（生物遺伝資源）として重要な腸内細菌について集団としての組成の安定性や、安定状態に至る道筋を俯瞰的に捉える手法として期待されている。

## 地形図を見るように 腸内細菌集団の変化を捉える

ヒトの腸内に棲息する腸内細菌は約1,000種類、100兆個に及び、一つの生態系を形作っている。腸内に新たな細菌が入ってくると、細菌集団としての構成が変わり、やがて安定状態に向かう。しかし同じ菌が入ってくる場合でも、外部から入る順番、食事、感染、加齢などの環境要因によっては、必ずしも同じ構成に安定していくとは限らない。

鈴木開発研究員らは、この腸内細菌の変動を、あたかも地形図を見るように大局的に捉えるため、「エネルギーランドスケープモデル」を用いて解析する手法を提唱した。近年、脳科学分野で脳の各部位の活動状態の解析に利用されてきたものだ。この手法を使うと安定状態がいくつあり得るのか、現在の状態が

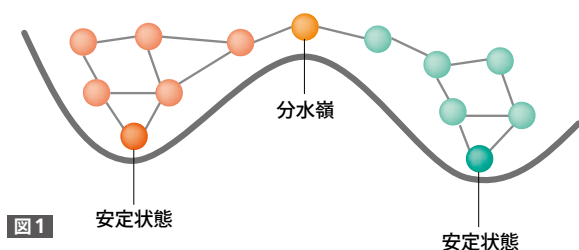
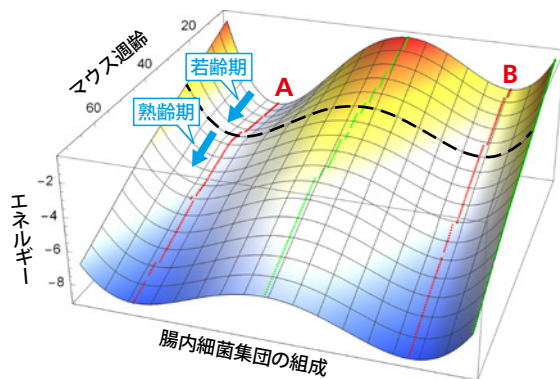


図1 エネルギーランドスケープ解析における安定性

下に行くほど安定性が高い。安定状態が複数の場合もある。色のグラデーションで互いに移りやすい組み合わせのグループを表現。

## 図2 マウス腸内細菌集団の安定性を示す「地形」性

腸内細菌集団の組成は、図のAやBなど低い地点で安定になる。しかし、加齢によってAとBを隔てる峰が低くなると、AからB、BからAに遷移しやすくなる。



鈴木 健大 (すずきけんた)

バイオリソース研究センター  
統合情報開発室  
開発研究員



1981年新潟県生まれ。東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻博士課程修了。博士(学術)。東京大学学術支援専門職員、国立環境研究所特別研究員などを経て、2018年より現職。

安定状態からどのくらい隔たりがあるかなどを一望できる。

この手法では、菌が「いる」と「いない」の情報だけを使う。例えば5種類の腸内細菌の一つの組み合わせを、【いる、いない、いる、いない、いない】のように表すと、最も小さい変化は、菌の有無が一つだけ変化した組み合わせで、例えば【いない、いない、いる、いない、いない】となる。一つの組み合わせを一つの点と見なし、菌の有無が一つだけ変化した他の組み合わせと線で結んでいくと、図1のように、変化の道筋を示すネットワークが出来上がる。菌の組み合わせの変化はこのネットワークをたどりながら進む。

エネルギーランドスケープ解析では、菌の組み合わせを示す「点」に「高さ」の情報を与える。高さとは点が見れる確率のことで、出現確率が高いほど安定な状態といえる。ランドスケープ(地形)として表す際は、出現確率が大きいほど低い場所、小さいほど高い場所を示すため、安定状態の点は窪地に位置する(図1、2)。

## 健康な腸内細菌の組み合わせを 復元できる可能性も

幼稚園児の頃は昆虫の研究者に憧れていたと語る鈴木開発研究員。大学時代にアサリの模様と数理モデルの関連性に気づいたことも、数学を使って生物の現象を解明する理論生物学をライフワークに選ぶきっかけの一つだった。

「この手法による解析で、腸内細菌の組み合わせと健康や病気との関連を知ることができます。さらに、健康時の組み合わせに戻せる変化の道筋も明らかになるかもしれません。今後さらに検証していきたいですね」と抱負を語る。私たちの周りに存在する生態系をはじめ、生命現象のさまざまな状態遷移の理解に使えるだけでなく、広く他分野へ応用できる手法として期待される。

# 医療から宇宙まで 研究を支える 基盤施設

## — SPring-8 と SACLA —

兵庫県佐用町にある理研の播磨地区。ここに、光速近くまで加速した電子の進行方向を曲げたときに発生する「放射光」を利用し、物質の内部や原子レベルでの構造を見ることができる大型放射光施設「SPring-8」と、微小な原子や分子の化学反応など一瞬の動きを観察できるX線自由電子レーザー施設「SACLA」がある。その活用の幅は国内外を問わず、基礎研究だけでなく産業利用も含めて、医療から宇宙研究までますます広がっている。

### SPring-8 と SACLA が生み出す光

ものを見るには光が必要だ。小さなものを見るには、対象となるものよりも短い波長の光でなければならない。SPring-8 や SACLA は 0.1nm (1nm は 10億分の 1m) の波長の光を発生させることができる (図 1) ため、原子や分子などのナノの世界を観察できるのだ。SPring-8 の電子ビームから生み出される放射光の明るさ (輝度) は太陽の約 100 万倍もあり、物質の詳細な観察を可能にする。さらに、SACLA の X線レーザーはその 10 億



**石川 哲也** (いしかわ てつや)  
放射光科学研究センター  
センター長

1954年静岡県生まれ。1982年東京大学大学院修了。工学博士。高エネルギー加速器研究機構助手、東大工学部助教授などを経て、1995年理研マイクロ波物理研究室主任研究員。1997年に播磨研究所の発足とともにX線干渉光学研究室主任研究員。2006年から放射光科学総合研究センター長。センター名の改称により2018年から現職。



### SPring-8 と SACLA

SPring-8 と SACLA は、安定した一枚の強固な岩盤の上に建てられている。ナノの世界を観察する上では、わずかな振動でも観察に大きな影響を与えるためだ。さらに、月と太陽の引力による影響も無視できないため、それを相殺するように運転プログラムを調整している。

倍も明るい。このX線レーザーによって、化学反応の過程における原子や分子の一瞬の動きを捉えることができるのが SACLA の強みだ。

SPring-8 と SACLA は、産学官の研究開発の基盤となる国内外に広く開かれた特定先端大型研究施設として、利用者は年間延べ約 1 万 7,000 人に上る。大学などの研究機関の研究者の利用が大半だが、約 2 割は産業界だ。利便性向上のため、SPring-8 に試料を送ってもらい、施設側で測定してデータを送り返すサービスを行っており、コロナ禍においても研究活動を支える基盤として活動している。

### SPring-8 の活用 (1) 「はやぶさ 2」

二つの施設の利用領域は、新素材の開発や創薬、宇宙や地球内部の探索、さらには身近な商品の改良など、とても幅広い。利用者とともに試料の特性などに応じた新しい解析法を開発しており、年々、活用法が増えている。SPring-8 を例にその活用方法を紹介しよう。

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の探査機「はやぶさ 2」が小惑星リュウグウから持ち帰った隕石や微粒子。この隕石や微粒子の中に有機物や含水鉱物が存在する可能性があるが、これらは X線の吸収が弱く、識別が難しい。そこで、複数の非破壊的なマイクロイメージング技術を組み合わせた新たな解析方法によって、隕石中の含水鉱物や炭素質の分布を観察することに取り組んでいる。

「SPring-8 は使い方次第で運用開始時に想定していたよりずっと多くものを見られることが分かりました」と放射光科学研究センターの石川哲也センター長は語る。「産学官を問わず多様な問題の本質を見ることができるので、応用の仕方を工夫すればさらに広範な問題解決につながります。SPring-8 は Super Photon ring 8GeV の略称ですが、今では Solution Providing ring (問題の解決法を提供できるリング) とも言われるようになりました」。SPring-8 はさらに前進していく。



### 放射光科学研究センターの研究者、技術者たち

放射光科学研究センターでは約80人の研究者、技術者たちが働いている。前列左から二人目が石川センター長。

## SPring-8の活用(2) 低燃費タイヤやECMOの改良

ナノレベルの解析が社会にどう生かされているのか、具体例を紹介しよう。タイヤメーカーの住友ゴム工業株式会社は、SPring-8でゴムの解析を行い、低燃費タイヤの開発に成功した。タイヤには、スリップしないように路面をしっかり捉えるグリップ性能が欠かせない。だが、グリップ力が強すぎると燃費は悪くなる。ゴムの材料に、グリップ力などを高める補強材として配合されているのがシリカ(二酸化ケイ素)だ。ゴム中のシリカ微粒子の状態をSPring-8で三次元で観察したところ、シリカ同士がぶつかり合うことでグリップ性能が高くなる一方、シリカ部分が発熱して燃費が悪くなることが分かった。そこでシリカの構造を変えて発熱を抑えた結果、グリップ性能と低燃費を両立させながら、耐久性を向上させたタイヤが誕生した。

新型コロナウイルス感染症が重症化し、肺の機能が低下した患者にも使われる体外式膜型人工肺(ECMO)の改良も進行中だ。ECMOには、機械と患者をつなぐ管の中に血栓ができやすいという問題がある。東京大学と九州大学の研究チームは、管の内側の高分子(ポリマー)材料の表面に中間水と呼ばれる水分子が存在すると、ポリマーと緩やかに相互作用して血液の成分が管に付きにくくなり、血栓ができにくいことを突き止めた。そこで、SPring-8でポリマーと水分子の状態を解析したところ、ポリマーに特定の化学構造があると、それが足場となって中間水が形成されることが分かった。SPring-8でその構造を持つさまざまなポリマーと水分子の作用を分析したことで、より血栓のできにくいポリマー材料の設計に成功した。現在、実用化に向けて企業と共同開発中だ。

## SPring-8アップグレード計画

1997年の運用開始からほぼ四半世紀を経たSPring-8。今も最先端の科学に貢献しているが、現在、今の100倍~1,000倍明るい光を発生できるようにするアップグレード計画が進められている。輝度が高くなるほど、同じ時間内に得られる情報が増えるので、ニーズの高まるビッグデータが得られるようになる。

アップグレードによって、消費電力削減も狙う。石川センター長の念頭にあるのは2030年に向けた「持続可能な開発目標(SDGs)」や、温室効果ガスの実質的な排出ゼロを目指す「2050年カーボンニュートラル」だ。2021年8月には「グリーンファシリティ宣言」を行い、一層の省エネルギー化を進める。「日本の創意工夫や技術の粋を集めて完成したSPring-8は、当初、世界の同等の放射光施設の中では格段の省エネを実現していました。やがてそれが世界標準になり、さらに上をいく施設も出てきています。今回のSPring-8のアップグレードでは、再び、新たな世界標準になるものを目指します」

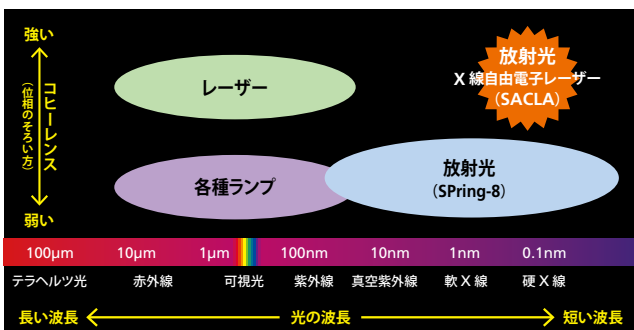


図1 光の種類とその波長

光の波長が短くなるほど小さなものが見える。SPring-8が生み出せる放射光の波長領域は幅広く、硬X線から真空紫外線、さらには赤外線にも及ぶ。また、SPring-8に多数設置されているアンジュレータは、電子を何度も繰り返し蛇行させることで、発生した光を重ね合わせて強い光をつくる装置である。SACLAでは、このアンジュレータを何台も一直線に設置し、線型加速器で圧縮・加速した電子ビームがその中を通ることで、X線領域のレーザー光をつくりだすことができる。

今田 裕 (いまだ ひろし) 写真右

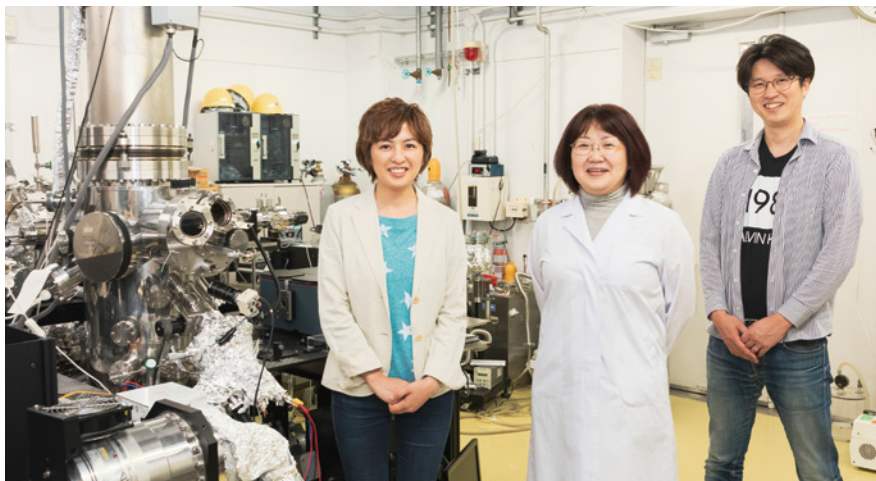
開拓研究本部  
Kim表面界面科学研究室 上級研究員

1981年、米国コロラド州生まれ。東京工業大学大学院理工学研究科物性物理学専攻博士課程修了。博士(理学)。2010年より理研特別研究員。2020年より現職。

数間 恵弥子 (かずま えみこ) 写真左

開拓研究本部  
Kim表面界面科学研究室 研究員

1984年、東京都生まれ。東京大学大学院工学研究科応用化学専攻博士課程修了。博士(工学)。2015年より理研基礎科学特別研究員、2018年より現職。



探針づくりを担う長谷川 志 研究パートナータイマー (中)。金と銀の探針を開発した数間研究員は「探針の品質は研究の再現性や効率を左右します。“匠の技”で、長谷川さんは再現性よく高品質の探針をつくれます」と称賛する。

# 分子を1個単位で分析、世界最高感度の顕微鏡

2021年4月、開拓研究本部Kim表面界面科学研究室の今田裕 上級研究員と数間恵弥子 研究員は、異なるテーマで同時に文部科学大臣表彰若手科学者賞を受賞した。どちらも、独自に開発した世界最高感度の走査型トンネル顕微鏡(Scanning Tunneling Microscope: STM)を使い、これまで分子の集団でしか分からなかったエネルギー変換や化学反応の詳細を、分子1個の単位で捉えることに成功した研究だ。これらの成果は、デバイスや材料の開発に新たな知見を与えると期待され、注目を集めている。

## 1個の分子が放つわずかな光を測る

光合成や太陽電池など、光をエネルギーに変換する現象では分子から分子へエネルギーが移動している。エネルギーを受け渡す分子までの距離など、分子の状況は1個1個異なるが、分子1個だけを調べる方法はなく、詳細に調べることはできなかった。

STMは、探針という先端が極めて細い金属の針で試料表面をなぞりながらスキャンし、探針と試料の間に流れる電流から試料の形状などを捉える顕微鏡だ。今田上級研究員は、STMと高感度の光の検出機構を組み合わせた世界最高感度の「光STM」を開発。顕微鏡で観察している1個の分子にエネルギーを与え、その分子が発するわずかな光の波長やエネルギーを測定可能にした。

2016年、今田上級研究員は、1個の分子から隣接する分子にエネルギーが移動する様子や分子間の距離によるエネルギー移動効率の違いを分子の発光から明らかにした。さらに2021年には、1個の分子の性質を精密に計測できるまで光STMの分析能力を向上させることに成功した。

今田上級研究員は「光STMの性能向上はライフワークとして継続し、独自の基礎研究を発展させて新たな現象の発見を目指す

していきたい。加えて、これからは『量子』を利用したエネルギー移動やエネルギー変換の制御などの応用研究も行いたい」と抱負を語る。

## 分子1個の化学反応を追う

「金 有洙 主任研究員の指揮の下に共同開発してきた多様なSTMのおかげで、私たちの研究室から次々とインパクトの大きな論文を発表してきました」と話す数間研究員は、理研に入所する前から「近接場光」という光が引き起こす化学反応(光化学反応)を研究してきた。

近接場光とは、可視光をnm(1nmは10億分の1m)サイズの金属に当たったとき、その周囲数十nmの空間ににじみ出る光だ。その強さ(電場の密度)が10倍から1,000倍にも高まるため、効率よく光化学反応を引き起こせる可能性を持つ。だが、近接場光は、金属表面から数nm、分子1個分離れるだけでも急激に減衰してしまう。「何万個もの分子の集団ではなく、分子1個1個について研究をしたい」との思いから、数間研究員は研究分野を変える決意をし、Kim表面界面科学研究室の一員になった。

2018年、数間研究員は近接場光をSTMの探針から分子に照射し、その分子が二つに分かれる化学反応の様子を世界で初めて捉えた。2020年には銀の基板上で酸素分子1個が分解する反応も観測した。その反応メカニズムには研究者の間で複数の予想があったが、数間研究員はデータに裏付けられた新しい反応メカニズムを提案した。

研究を行う動機を数間研究員は「今は十分に活用されていない可視光を近接場光の光化学反応で有効利用したいのです。太陽光の50%を占める可視光を使えば、エネルギー問題の解決につながるはずですよ」と語る。

# 液体ヘリウムの上に 電子を浮かべてつくる 量子コンピュータ!

2021年、理研に量子コンピュータ研究センターが発足するなど、量子コンピュータの開発は加速度的に進展している。その情報単位である「量子ビット」の開発にユニークな視点から取り組んでいるのが量子コンピュータ研究センター浮揚電子量子情報理研白眉研究チームの川上恵里加 理研白眉研究チームリーダー（白眉TL）だ。量子コンピュータの性能を飛躍的に高める新たな量子ビットの開発が期待されている。

## 電子が真空中にあったらいいのに!

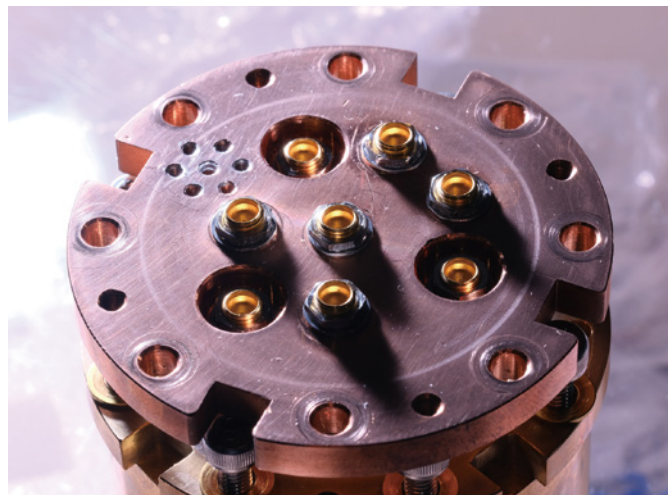
量子コンピュータは、0と1を重ね合わせた特殊な状態（量子状態）をつくり、それを量子ビットという情報単位にして計算を行う。現在、企業や大学などで利用が始まっている量子コンピュータは、超伝導物質でできた電極を組み合わせて量子状態をつくる超伝導量子ビットを用いたものだ。他にも、半導体やイオンを利用するものなど、さまざまな方法で量子ビットの開発が試みられている。

川上白眉TLが研究を進めているのは、液体ヘリウムの表面から10nm（1nmは10億分の1m）ほど上の真空中に電子を浮か



**川上 恵里加** (かわかみ えりか)  
量子コンピュータ研究センター  
浮揚電子量子情報理研白眉研究チーム  
理研白眉研究チームリーダー

慶應義塾大学大学院で博士（工学）を取得後、2016年オランダ・デルフト工科大学にてPh.D.を取得、同年沖繩科学技術大学院大学博士研究員。2017年から科学技術振興機構さきがけ研究員兼務、2020年より現職。



**図1** 液体ヘリウム上に電子を浮かべるための  
サンプルホルダー

直径10cmほどのサンプルホルダーを冷凍機に入れて極低温に冷やす。左上の小さな七つの孔がある場所に、液体ヘリウムを流しこむためのラインをつなぐ。金色に光る八つの穴から量子ビットへ信号を送ったり、量子ビットからの信号を受け取ったりする。

べ、量子ビットとして活用する新しい方法だ。電子は小さいため、集積しやすい。さらに電気的性質と磁気的性質を併せ持つ特徴を利用して、演算に有利な量子ビットをつくることができる。

当初は、半導体などの固体中で電子を用いた量子ビットをつくる研究をしていた。しかし固体中では、取り除くことができない不純物や結晶の欠陥などにより、量子ビットとして用いるのに不都合な相互作用が生じてしまう。このような問題がほとんどない真空中に量子ビットを置くことが理想的だが、それでは量子ビットの状態を検出が難しいという問題がある。試行錯誤の末に行きついたのが、真空中で液体ヘリウム上に電子を浮かべて、量子ビットとする方法だった。

この方法のボトルネックは電子の量子状態の検出にあるが、川上白眉TLは博士研究員時代に、これを電気的に検出する方法の開発に成功した。現在、この方法の感度を高め、1個の電子の量子状態を検出するための研究を進めている。

## 期待される量子コンピュータの高性能化

大学院で修士号を取得した後、量子コンピュータ研究のためにオランダのデルフト工科大学の門を叩いた。「デルフトで、初めて、固体中の1個の電子の検出シグナルを測定できた瞬間が忘れられない」とほほ笑む。いつか自分の研究室を持ちたいと理研白眉制度に応募し、採用された。この制度は、並外れた能力を持つ若手研究者に、研究室主宰者として独立して研究を推進する機会を提供するものだ。

「採用された直後は、プレッシャーに感じたり、不安に思ったりしたこともありましたが、でも今は自分の研究をしっかりと進めていくことに集中しています」。レベルの高い研究者に囲まれて、日々、刺激を受けているという。

「高性能な量子コンピュータができれば、それを使って高温超伝導の仕組みなど、未解決の物理現象を解明したいですね」と、その先の抱負も語ってくれた。

# 虐待はなぜ起こる？ 親子関係を科学する

子どもの虐待事件が後を絶たない。そもそもなぜ、親は虐待をしてしまうのだろうか。私たちの全ての行動は、基本的に脳によって制御されていることから、脳科学のアプローチにより、虐待を防ぐ具体的なヒントを得られる可能性がある。4人の子どもの母親でもある脳神経科学研究センター親和性社会行動研究チームの黒田公美チームリーダー（TL）は、自身の子育ての経験を生かしながら、親子関係の仕組みを科学で解き明かしている。その成果は、人文社会系の専門家からも高い関心が寄せられており、大きな反響を呼んでいる。

## 脳というブラックボックスを開く

黒田TLが親子関係を脳科学の視点で探ろうと思ったのは、精神科で研修医をしていた頃の経験がきっかけだった。

「心の問題を抱えている人の多くが、過去の親子関係に悩んでいることを知りました。子どもの頃の親子関係が精神発達や心の健康に影響することは、現象としてはよく知られていますが、精神や心をつかさどる脳の中で何が起きているのかはまだ解明されていません。私は脳というブラックボックスを開けて、脳内で何が起きているかを一つ一つ明らかにしたいと思っています」

2013年、黒田TLらは抱っこして歩くと赤ちゃんが泣きやむ仕組みをヒトの乳児とマウスの実験で解明した。さらに、マウスの実験を通して、子育てに必須な脳部位や、子への攻撃に関わる脳部位も突き止めた。現在はこうした脳科学の知見やノウハウを生かして、現代人が抱える社会問題にも切り込んでいる。

## 哺乳動物の虐待要因から、 ヒトの虐待要因を探る

「ヒト以外の哺乳動物でも、虐待に相当する行動がみられま

### 黒田 公美（くろた ぐみ）

脳神経科学研究センター  
親和性社会行動研究チーム  
チームリーダー

1970年東京都生まれ。大阪大学医学部卒業後、同大学院医学部附属病院精神神経科に入局。2002年大阪大学医学系研究科博士課程卒業。博士（理学・医学）。2002年カナダ・マギル大学に留学し、親子関係の研究を始める。2008年から理研で研究室を主宰、2018年より現職。



図1 大きく三つに分類された虐待が起こる要因



図2 わが子を抱っこする黒田 TL

母親が「座って抱っこ」から「抱っこして歩く」に行動を切り替えると、数秒以内で赤ちゃんの動きが少なくなり、泣き止み、また心拍間隔が増加し（心拍が遅くなる）、リラックスしていることが分かった。

す。子育てに関わる脳のメカニズムは、哺乳動物の間である程度共通していると考えられるため、動物で分かった虐待要因を現代の人間社会に当てはめて調査することで、子ども虐待に至ってしまう背景要因が分かるのではないかと考えました」

そこで黒田TLは、児童虐待の有罪判決を受けて服役している養育者にアンケート調査を行った。その結果を、動物の虐待要因の分類と比較したところ、ヒトにも適用できることが分かった（図1）。

調査の結果、動物だと一つあっても子育てができなくなるような要因が、ヒトでは複数重なっているケースが多くあった。

「遺伝子や過去の環境は変えられませんが、現在の脳や環境を変えることはできます。虐待を減らすためには、虐待した加害者をただ責めるのではなく、親や家庭が抱えている問題に焦点を当て、それに合わせた支援をすることが必要です」

黒田TLは、人文社会系の研究者らとともに、養育者支援による虐待低減を目指したシステムの構築や、政策提言に向けた活動も行っている。

「児童虐待に限らず、子どもや家庭への支援のための政策決定に関わっているのは法律や経済など、人文社会系の専門家が多いのが現状です。自然科学系研究者も、もっと現実社会に対し積極的にエビデンスというパスを出して、政策決定の現場に近い人にシュートを決めてもらう。そういう社会的な貢献を果たしていければと思っています」

また、黒田TLは、子育てに困っている家族を支援するためのプログラムにも携わり、コロナ禍ではそれをリモートにも拡充している。さらに、支援プログラム受講後の親の認知や行動の変化とそれらに相関する脳部位を明らかにする研究も並行して進めている。

「研究を社会に役立てたい」と、科学研究の枠を超えてパワフルに活躍する黒田TLの挑戦は続く。



## 私の 科学道

革新知能統合研究センター  
目的指向基盤技術研究グループ  
音楽情報知能チーム  
チームリーダー

## 浜中雅俊

はまなか まさとし



# 「鋼鉄魂」で歩む科学道

1974年東京都生まれ。2003年、筑波大学大学院工学研究科博士課程修了。博士(工学)。大学在学中から工業技術院電子技術総合研究所にて研究を始め、2003年より産業技術総合研究所情報処理研究部門客員研究員(日本学術振興会特別研究員-PD、科学技術振興機構さきがけ研究員)、2007年より筑波大学大学院システム情報工学研究科講師、2014年より京都大学大学院医学研究科研究員、2017年より現職。

革新知能統合研究センター目的指向基盤技術研究グループ音楽情報知能チームの浜中雅俊チームリーダー(TL)は、ヘヴィメタルのマニアで、自らもエレキベースを演奏する。いろいろな出会いに恵まれながら、大好きな音楽を研究対象にまで昇華させた浜中TLに、音楽との関わりと研究に対する思いを聞いた。

### 中学2年でヘヴィメタルに目覚め、バンド三昧の青春時代

研究領域は「音楽情報処理」。生成音楽理論(Generative Theory of Tonal Music: GTTM)という音楽の構造を分析する理論をベースに、AI(人工知能)を駆使して楽曲の構造を解析する分野である。「GTTMは音楽の階層構造を記述するモデルです。楽曲の中で幹となる音符を探し出し、そこから枝葉となる音符までの構造を分析して、作曲や編曲を支援する技術につなげていきます」と浜中TL。

音楽との出会いは、中学2年生の頃。友人の影響で洋楽に目覚め、近所の図書館で借りたCDを聴いてヘヴィメタルに

夢中になった。高校2年生からは仲間とバンドを組みベースギターを担当。ヘヴィメタルやハードロックのコピー演奏に熱中した。「あの頃は英語も数学も赤点レベルで、自分が将来研究者になるなんてまったく想像していませんでしたね」

日本大学理工学部に進学後はヘヴィメタル系のバンドサークルに所属し再び音楽漬けの日々を送ったが、学部3年生のときに転機が訪れた。後に恩師となる教授に勧められて「感性情報処理」の研究室に入り、音楽と情報処理を融合させるテーマと出合ったのだ。「当時取り組んでいたのは、即興演奏ができるギタリストシミュレーターの開発でした」

### 初心者からプロまで音楽を楽しむアプリの研究へ

この出会いがきっかけとなり、筑波大学大学院に進学。連携大学院制度を使い工業技術院電子技術総合研究所(現・産業技術総合研究所)の研究室に所属した。「あと5年間バンドができるから(笑)」との思いで修士・博士課程一貫の5年間の

コースを専攻したものの、国際学会などで研究論文を定期的に発表するなど、研究に熱が入り、博士号を取得した後も産業技術総合研究所で音楽情報処理に関する研究を続けた。

こうして研究者の道を着実に歩み始めた浜中TL。GTTMをベースにした作曲支援技術にディープラーニングを組み合わせるなど、先進的な研究を進めていく。2017年からは理研で研究を始め、AIを使った音楽の新しいつくり方、聴き方の可能性を追究するなど、研究領域は一層の広がりを見せている。

「音楽が好き」というルーツの上に今の研究があります。ヘヴィメタルの精神、不屈の<sup>メタルだま</sup>「鋼鉄魂」を研究に活かして、多くの人に役立つ成果を出したい。先日公開した、スマートフォンのiPhone用アプリもその一つ。現在は、初心者でも自由に作曲ができるアプリなどを開発中です。ホログラムの技術を用いて、アーティストの実写映像と楽曲をコラボさせた動画作成ツールの開発など、新たなテーマにも挑戦していきたいと思っています」

# AI時代が 問いかける人と 社会の未来像

2021年4月、科学技術基本法が改正され科学技術・イノベーション基本法が施行された。これを受け、理研の研究活動内容を定める「国立研究開発法人理化学研究所法」も改正され、研究対象は自然科学だけでなく、人文社会科学も含まれることになった。人類が直面する課題を解決するために、より総合的な科学力への期待が高まっている。身近な存在になりつつあるAI（人工知能）と人間社会の関係性について、革新知能統合研究センター社会における人工知能研究グループ人工知能倫理・社会チームの鈴木晶子チームリーダー（TL）に話を聞いた。

## AI時代を生き抜くヒントを歴史に求める

ウェブサイトの検索エンジンに「AI倫理」と入力すると、800万件以上の記事がヒットする。AIの社会実装が急速に進む中、世界中の人々が、AIによる利便性を享受する一方で、その未知の技術に対する不安を抱えている証拠だろう。AIによって、医療、教育、金融、物流などさまざまな分野で、大きな変化がすでに起こっている。人間とAIが共存するために、私たちは今、どのような問題意識を持つべきなのだろうか。科学哲学、教育哲学、倫理学、人類学などのバックグラウンドを持つ鈴木TLは、過去の技術革命に目を向ける。

ガリレオやニュートンが活躍した17世紀の科学革命、それに伴って起きた機械や動力による18世紀の産業革命は、人間のコミュニケーションに劇的な変化をもたらした。その変化とは、顔の見える共同体組織から顔の見えない社会的組織への転換だ。社会の都市化によって、人々が農村から都市に流入し、地縁や血縁の中で暮らしていた人間は、新しい対人関係に直面する。「私がここで注目したいのは、顔の見える共同体とともに消えた“何か”です。技術革新によって得たものの一方で失われてゆくものに、人類が目を向けてこなかったことに研究者として強い問題意識を持っています」

AI技術の発展が情報技術を革新し、コミュニケーションにも革命をもたらした。これまでも人間は自ら創造した技術や道具



**鈴木 晶子** (すずきしょうこ)

革新知能統合研究センター  
社会における人工知能研究グループ  
人工知能倫理・社会チーム  
チームリーダー

上智大学文学部、同大学院文学研究科修了。文学博士。1982年から1989年までドイツ・ケルン大学哲学部留学。1997年から京都大学教育学部助教授、2003年より同大学大学院教育学研究科教授。2005年から2014年まで日本学術会議会員（第一部）。2009年から2010年までベルリン自由大学客員教授。2016年より現職。京都大学教育学研究科教授を兼務。専門は、科学哲学、教育哲学、倫理学、人類学。

を駆使してきたが、情報化やデジタル化時代の到来により、さらにAIをはじめとする新たなツールを手に入れた。だが他方で、便利なツールの登場によって使わなくなった能力を失いつつある。例えば、パソコンの普及により、漢字を思い出せなくなったという話をあちこちで聞く。漢字以外にも記憶を探るよりインターネットで調べた方が早い。「昔の人は、好きな詩人のお気に入りの一編を暗唱して聞かせてくれたりしたものです。記憶と想起は強く結びついています。記憶能力が衰退すると、クリエイティビティにも影響が出る可能性も否定できません」

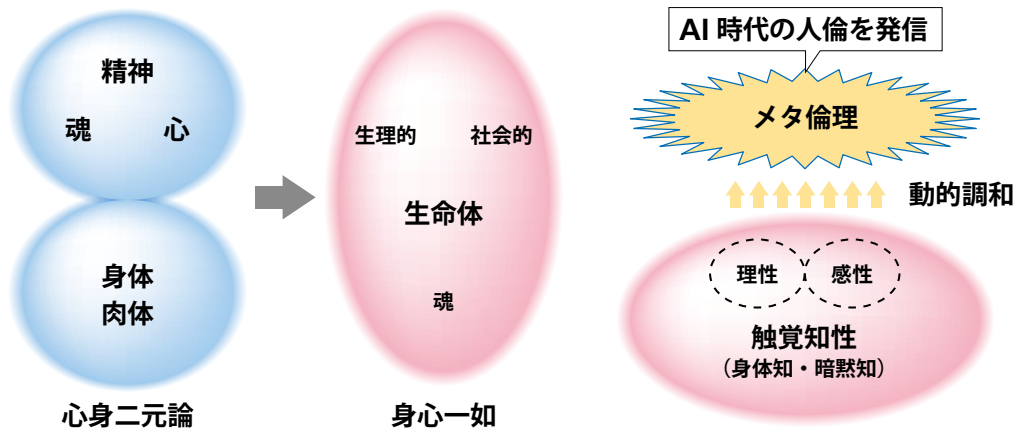
## 失われてゆくものに目を向ける

鈴木TLの専門は、「触覚知性(タクト)」の研究だ。触覚知性とは、触覚を通じた空間認知やリズム感覚、感情、振る舞いのようなもの。暗黙知や身体知と呼ばれる能力で、環境との接触面に働く感覚や知性ともいえる。「人間はオギャーと生まれると母親の肌に触れ、やがて伝い歩きや二足歩行をしながら、接触によって自分がこの世界でどのような位置にいるかを把握していきます。そして自然に他者との物理的、心理的距離を測るスキルを獲得するのです。私は、こうした言語化が難しい人間の認知や熟達のメカニズムを人文社会科学の視点から解明しよう

図1

### AI時代に必要とされる ヒューマンズムの転回

AI時代において、社会や個人の捉え方は大きく変わろうとしている、と鈴木TL。個人主義や心身二元論に基づく理解を転回するキーワードは「触覚知性」と「動的調和」だ。



としています」。近年は、こうした暗黙知、身体知さえも定量化、可視化してAIに学習させようと試みる研究分野もある。触覚知性のような能力さえAIに委ねるようになったとき、人間はどうなるのか？これは、研究者でなくとも気になるところだ。

人間は、道具を用いることを通して、道具との間にある種の関係性を構築してきた。その関係性のなかで、自らの力を強化する道具を使いこなす術を養い、それを身体の一部のように用いるようになった。この過程で人間は道具を活用するためのコミュニケーションを習得し、能力の組み換えを繰り返してきた。AIという新たな道具の登場によって、人間の能力は大きな変化と向き合うことになるだろう。「今こそ、能力の定点観測が必要です。AIによって失われてゆく能力に目を向けつつ、新たに獲得した能力を駆使し、人間だからできることは何か、人間性のありかを深く考えるチャンスだと思います」

### 倫理とは「人として生きる倫・道(みち)」

鈴木TLが率いる人工知能倫理・社会チームでは、研究にあたって三つの考え方を共有している。一つ目は、「AIは人間の技術文明の一つ」ということ。AIを単なる技術として捉えず、これまで人類が築き上げてきた技術文明の歴史に、AIによって新たな1ページが加わったという視座を提案している。二つ目は、「人間の定義も変わることを意識する」。AI技術が人間を凌駕する未来を考えるならば、まず人間とは何かを理解する必要がある。動物との比較で人間の特性を定義していた時代を経て、今こそ機械との比較を通して、人間性を再定義すべきだと考え

ている。三つ目は、「AI時代の倫理や法のあり方を熟考する」。AI技術が急速に発展する中、OECD(経済協力開発機構)やUNESCO(国際教育科学文化機関)などの国際機関でもAIの法規制や倫理についての議論が盛んに行われている。

各国政府はもとより巨大IT企業は、いずれも新たな技術が格差を拡大することなく、幸福な人間社会を実現することを目指して、法や倫理のグローバルなスタンダードを打ち出そうとしている。鈴木TLは危機感を持ってこうした動きを注視している。「グローバルな視点だけではなく、それぞれの国や文化などローカルな視点が活かされるような、“グローバルな倫理基盤”を検討する必要があります。スマートシティの構築も人々が大切にしてきた価値や習慣、経験知など文化を活力としていくことが鍵となります。AI倫理も生命倫理と同様に、それぞれの国や地域の文化や価値観に合わせたルールづくりが肝要です。倫理とは、人として生きる倫・道。倫理を支える倫理、いわば“メタ倫理”について価値多元化、文化多様性に応答できるようなものが求められるでしょう」

### AI時代の "Human Ethics" を国際発信する

鈴木TLの研究チームでは、新しいプロジェクトとして、AI時代のHuman Ethics(人間倫理)について検討し国際発信していく計画だ。東洋の伝統的な表現でいえば「人倫」となる。人が人としてこのAI技術文明時代をいかに生きていくか、万物とのつながりや動的なバランスを求める東洋的な和の精神、一言でいうと動的調和を、西洋的な思想と融合し得る道を探るような「新しいフィロソフィー」の構築を目指していくという(図1)。

哲学はすべての学問の源だ。自然科学も人文社会科学も同じルーツを持つ。つまり、それぞれの研究領域を深く掘り下げていけば、同じ水脈にたどりつくということになる。AI時代の人間倫理が問われる今こそ、哲学の知見を自然科学の分野でも大いに役立てるべきだろう。「自然科学系の研究者は、仮説を立てる際に、もう一つの仮説の可能性を議論できる相手を人文社会科学の分野に持ってほしい」と力説する鈴木TL。自然科学との対話を通して、人文社会科学の知見にも新たな発見があると期待を寄せている。



# ソウゾウの話

池亀 幹太 いけがめ・かんた

施設部 施設課 調査役

10代を過ぎたとある学校で3つのソウゾウを叩き込まれました。技術者養成を掲げていたその学校では、想像してモノを創造するのが技術者であり、さらに創造後

仕事(や勉強)が一区切りしたら、時には騒々しいバカ騒ぎも必要だ、というわけです。私はといえばもっぱら騒々の担当で、それは学生の頃はもちろん理研施設課で電気担当として7年が過ぎ、50歳が見えてきた今でも変わっていません。

さて、騒々の話。

「フィエスタが爆発した。そう表現する以外、形容のしようがない」とヘミングウェイは言いました(『日はまた昇る』高見浩 訳、新潮文庫)。その爆発を私も体験してきました。そう、「牛追い祭り」の異名で知られる、スペインのサン・フェルミン祭です。

マドリードから列車で数時間、パンプローナの街にたどり着いたのは2018年7月。終着駅に近づく列車内でそそくさと白と赤の祭り仕様の衣装に着替える乗客を見て、「そんなに急がなくても」と思っていました。駅を出た瞬間にそれが間違っていたことに気がきます。乳飲み子からシニアまで、誰もが白と赤の格好をしているのです。スーツケースを引きずったジーンズ姿の私は浮きまくり……。

翌日の朝、改めて白と赤の衣装に身を固めた私は、がちりと柵で区切られた牛追いのコースに入りました。旧市街を貫くコースの端から牛がスタートします。朝8時、花火が鳴ったその瞬間、まさに「爆発」です。コースに入った大馬鹿者たち(もちろん私もその一人)のボルテージは最高潮。ゴールの闘牛場までは約800m。牛のすぐ前を走ったまま闘牛場に入って行けたらヒーロー間違いなし。勇気を示せば皆から称えられる、それが牛追いです。

コース途中からスタートすることにした私は、牛が近づいた雰囲気を感じて走り始めました。大混雑のコースの中、後ろから来る牛を気にしつつ(といっても人が多くて牛は



「爆発」前でまだ余裕があるコース内の筆者。



一つ間違えばこんな目に遭っていたかも?(観光客は皆こうやって写真を撮る)

見えない)、周囲(特に前)を走っている大馬鹿者たちにぶつからないよう、しかも全速力で前に走る。もう軽いパニックです。コース上の誰もが興奮しています。疾走する10頭近くの牛は体重500~600kg(らしい)。でかくて速くて、とにかく転んだら一巻の終わり。大馬鹿者たちから踏まれ蹴られ覆いかぶされ、牛にも踏まれるかもしれません。骨折で済めばいいほうでしょう。

コースの端よけて嵐のような牛たちをやり過ごした後、ゴールの闘牛場に向かいます。牛のすぐ前を走って勇気を示す、なんてことはできるわけもなく、それどころか走っている牛を間近で見るのさえほんの一瞬ですが、こんなに興奮する瞬間は人生でそう多くはありません。

闘牛場では、先に着いている大馬鹿者たちが、まだバックヤードに入っていない牛と闘牛の真似事を行っています。私はもみくちゃになってゴールしたほかの大馬鹿者たちとハイタッチ。妙な一体感があります。全ての牛がバックヤードに入られると花火が鳴って牛追いは終わりです。こんなことが1週間毎朝行われ、テレビで(多分スペイン全土に)生中継されます。スペイン人とは実に楽しい人たちです。

その翌日も大馬鹿者の一人となった私は、幸い怪我なく帰国し仕事に戻ったのでした。コロナ禍の今も、次なるソウゾウに向けて、ソウゾウを巡らす日々を過ごしています。

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。お問い合わせ先 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。