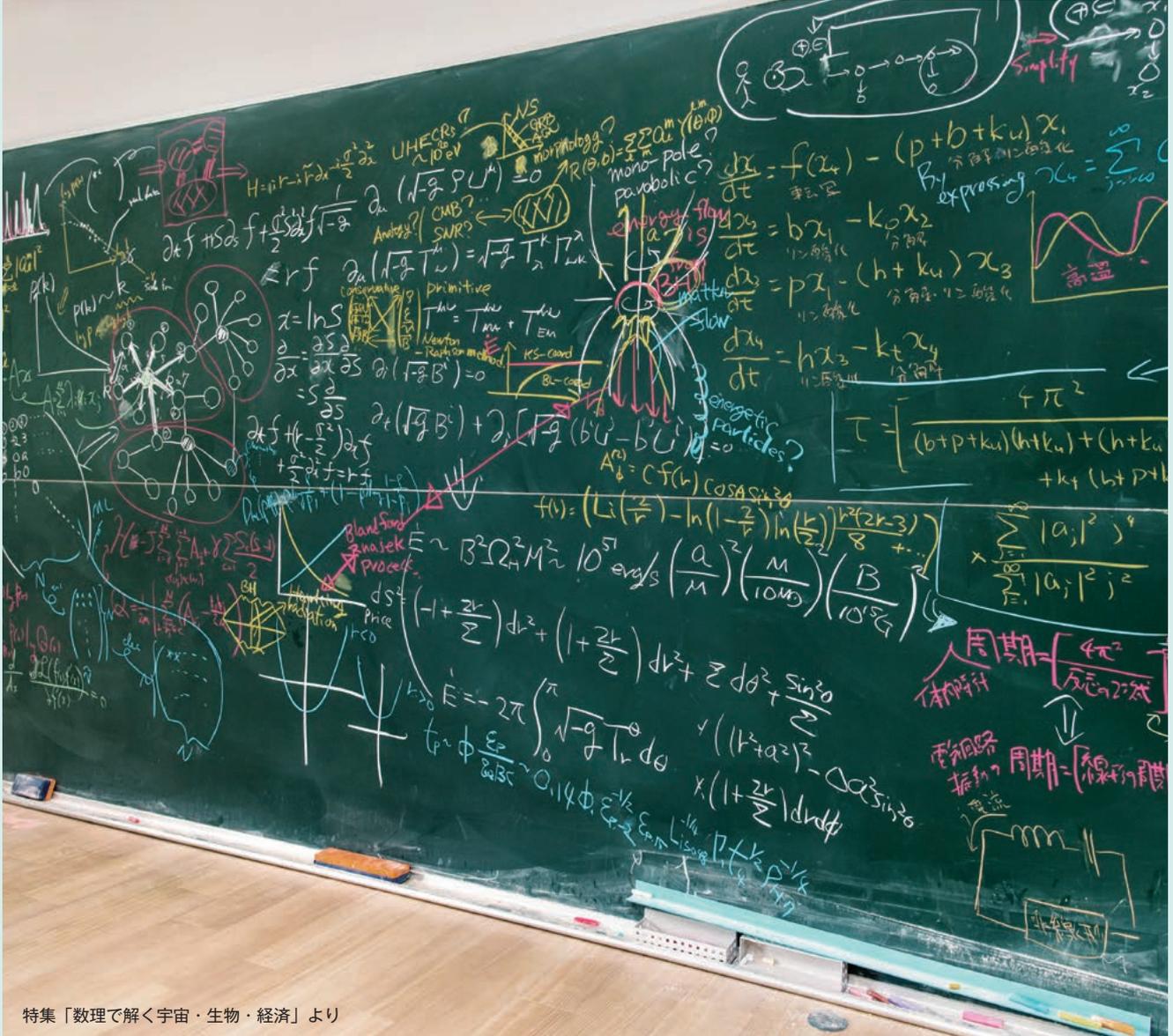


# RIKEN NEWS

No. **458** 2019 **8**



特集「数理で解く宇宙・生物・経済」より

02 研究最前線

## 超難問を攻略する革新的アルゴリズム

06 特集

## 数理で解く宇宙・生物・経済

10 特集

## 生命科学を先導する研究基盤を築く

12 FACE

バイオリソースの品質管理で植物科学の最前線を支える

13 SPOT NEWS

- ・てんかん発症の新たな神経回路を発見
- ・新技術で免疫細胞の大規模解析に成功

14 私の「科学道100冊」

生と死と宇宙と

15 TOPICS

- ・理研サイエンスレクチャーを函館で開催
- ・科学講演会 in 静岡を開催
- ・横浜地区一般公開を開催

16 原酒

「何でスキー好きなの？」

大規模化しているシミュレーションやデータ解析を高速・高精度で行うには、複雑な数式を計算する際の手順、つまりアルゴリズムを工夫する必要がある。計算科学研究センター（R-CCS）大規模並列数値計算技術研究チームを率いる今村俊幸チームリーダー（TL）は、シミュレーションやデータ解析に必要な計算の中で最も難しい問題の一つである行列の固有値計算について、革新的なアルゴリズムを考案。それをもとにソフトウェア「EigenExa」を開発し、2013年にはスーパーコンピュータ「京」を用いて、過去最大規模、世界最高速の固有値計算に成功した。現在は、「京」の後継機である「富岳」の性能を最大限に発揮できるアルゴリズムを開発中だ。

# 超難問を攻略する革新的アルゴリズム

## ■ 高速化の鍵はアルゴリズムにあり

現代の科学研究や産業では、スーパーコンピュータ（以下、スパコン）を用いたシミュレーションやデータ解析が欠かせないものになっている。「京」では、創薬、地震・津波、気象、宇宙、ものづくり、材料開発など幅広い分野のシミュレーションやデータ解析が行われてきた。

「私たちは、ハードウェアの性能を最大限に発揮して、より高速でより高精度のシミュレーションやデータ解析を実現できるアルゴリズムを開発しています」と今村TL。アルゴリズムとは、問題を解くためにどのような計算をどの順番で行うかという計算手順のことである。

ここでシミュレーションの流れを簡単に紹介しておこう（図1）。まず、知りたい現象について方程式を使って記述する。その方程式をコンピュータで計算できる数式に書き換える。次に、複雑な数

式を整理し、速く正確に解くにはどの順番で計算すべきか、アルゴリズムを考える。アルゴリズムをコンピュータが理解できる言葉で書くことをプログラミングといい、コンピュータは与えられたプログラムに従って計算を実行する。計算結果は、膨大な量の数値データとして出力される。そのままでは人が理解することは難しいため、数値データから必要な情報を引き出して可視化し、それを解析する。この流れを繰り返し、現象のメカニズムを解明していくのだ。シミュレーションを行うには複数のアルゴリズムを組み合わせるの必要があり、プログラムの集合をソフトウェア（アプリケーションソフトウェア）と呼ぶ。研究チームでは、ソフトウェアの開発、ソフトウェアを集めたライブラリーの整備も行っている。

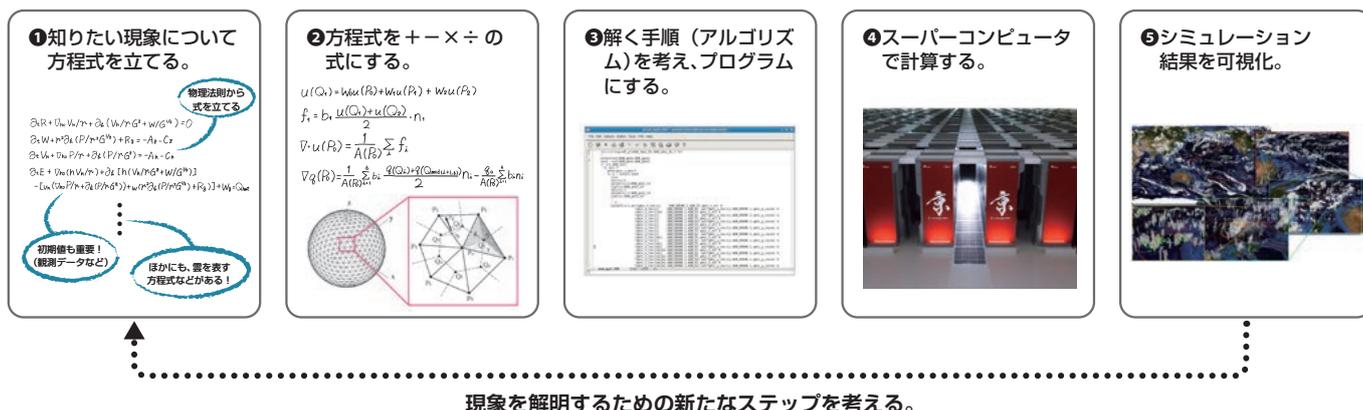
近年、観測装置やコンピュータの性能が大幅に向上したことで得られるデータ

や扱うことができるデータが増加し、シミュレーションもデータ解析も急激に大規模化している。大規模で複雑な計算ほど時間がかかってしまう。計算を高速化しようにも、コンピュータの数を増やしたり性能を上げたりとハードウェアを変えるのは簡単にできることではない。しかし、「諦める必要はない」と今村TLは言う。「新しいアルゴリズムを開発することで、ハードウェアはそのままでも、計算時間を大幅に短縮し、精度を向上させることができるのです」

## ■ 代表的な超難問、行列の固有値計算

「シミュレーションやデータ解析に必要な計算の中で最も難しいものの一つが、行列の固有値計算です」と今村TL。「行列の固有値計算について数式を使わずに表現するのはとても難しいのですが」と断った上で、こう説明する。「行列

図1 シミュレーションの流れ



### 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。



とは数字を縦と横に配列したもので、さまざまな情報を表す数字の集まりです。それらの情報の特徴を決める数値を固有値といい、固有値を計算によって求めることを固有値計算といいます」

行列の固有値計算は、半導体デバイスや新薬の設計、新材料開発などのための大規模シミュレーションや、バイオインフォマティクスや社会科学などで用いられるビッグデータにおけるデータ相関関係の解析を行う際に必ず登場する。

それほど重要な計算であることから、行列の固有値計算のアルゴリズムはすでにある。しかし、それらは1990年代後半のスパコン用に開発されたものだ。1990年代後半のスパコンと「京」では並列化の規模が大きく違うため、従来のアルゴリズムでは「京」の能力を生かし切ることができない。「京」の理論ピーク性能は10ペタFLOPS（1秒間に10<sup>16</sup>回の計算を行う）と非常に高い。しかし、従来の行列の固有値計算アルゴリズムを「京」で実行すると、その性能は理論ピーク性能の10%以下になってしまうのだ。

理論ピーク性能は理論上の最高値であり、実際にソフトウェアを動かしたときの実行性能はそれより低くなるものだが、理論ピーク性能の20%程度を目標にすることが多い。行列の固有値計算の計算量は1行当たりの要素の個数の3乗に比例して増加するため、「京」とはいえ理論ピーク性能の10%以下では大規模な行列の固有値計算は現実的ではない。そこで今村TLは、「京」の特性に合っていて、その性能を最大限発揮できるアルゴリズムの開発に取り組んできた。「数学の問題を解く場合、解は一つですが、アプローチの方法はたくさんあります。ハードウェアに合ったアプローチを選ぶことが重要です」

### ■ 行列の固有値を高速で計算できる 「EigenExa」

行列の固有値計算は複雑な計算が必要なため、固有値を求めやすい形式に変換してから計算するのが一般的だ。例えば、実対称行列（行列の左上から右下への対角線を基準にして要素が対称に分布する行列）に変換する

称に分布している行列を対称行列といい、全ての要素が実数のものを実対称行列という）が与えられた場合、通常、中間形式として帯行列（対角線からその上下にもゼロでない要素が带状に分布する行列）に変換する（図2）。

従来のアルゴリズムでは、まず実対称行列を三重対角行列（帯行列のうち対角線上の要素に加えてその上と下にゼロでない要素がある行列）に変換する前処理を行う（図3緑線）。次に三重対角行列の固有値を求めてから、最初に与えられた行列の固有値を計算する後処理を行う。

「前処理によって行列が表している情報が減り、固有値を求めやすくなります。しかし、前処理の計算に時間がかかってしまうのです。このボトルネックを解消できれば、全体の計算時間を減らすことができるはずですよ」と今村TL。

この問題を解決しようという試みは以前からあり、例えば、実対称行列をまず帯行列に変換し、さらに三重対角行列に変換するという、前処理を2段階で行うアルゴリズムも開発されている（図3青

図2 さまざまな行列

行列は、数字を縦と横に配列したものである。1行の要素の個数を「次元」と呼び、ここでは5×5の5次元行列の例を示している。



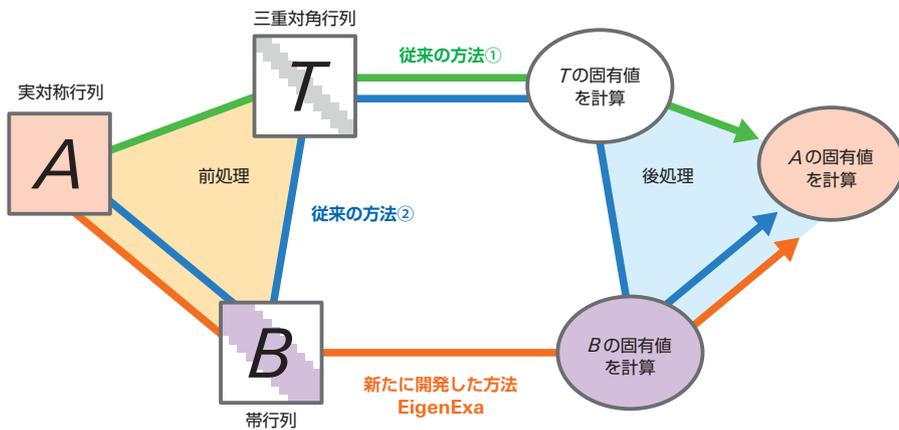


図3 行列の固有値計算の新しい方法

従来の方法①（緑線）では前処理の計算時間が多くなる。従来の方法②（青線）では前処理の時間は短くなるが、後処理の時間が多くなる。EigenExaによる新しい方法（赤線）では、帯行列の固有値を求める。三重対角行列の固有値を求める場合に比べて計算量は数倍増加するが、前処理の計算時間が少なくて済むため、全体の計算時間は従来の二つの方法より少なくなる。

線)。この場合、前処理部分を高速化できる。しかし、後処理部分の計算量が2倍以上になってしまい、全体の計算時間を短縮することはできていなかった。

「私は、新しい工夫を入れて、従来とは異なるアルゴリズムを考えました」と今村TL。コンピュータの心臓部といわれるのが、CPU（中央演算装置）である。「京」は8万個以上のCPUで構成され、それぞれのCPUが同時に計算することで、速く、たくさんの計算ができる。CPUは、メモリに置いてあるデータを順番に取り出して計算を行い、場合によってはその結果を別のCPUに転送する。CPUからメモリへデータを取りに行く回数が多いと、全体の計算時間が多くなってしまいます。今村TLはその状態を、「作業をしているとき、一つの作業ごとに別の階にある書類を取りに行くようなもの」と例える。「書類を取りに行く回数が少なくて済むように手順を変えることで、かかる時間を短縮できます」

そうした考え方に基づいて、行列の要素を個々に分けて計算していたものを、ある程度の大きさのブロックにまとめて一括処理するように計算手順を変えることで、高速化を実現。CPUとメモリが単純な構成になっているという「京」の特性に合った手順である。具体的には、前処理で三重対角行列に変換せずに、直接、帯行列を経由して固有値を計算するという方法だ（図3赤線）。今村TL

らは「京」共用開始の翌年の2013年、この新しいアルゴリズムをもとに行列の固有値計算のソフトウェアを開発。固有値を意味するeigenvalueの「Eigen」と10<sup>18</sup>を表す「Exa」を組み合わせ、「EigenExa」と名付けた。Exaを使ったのは、10ペタ（10<sup>16</sup>）FLOPSの「京」より計算性能が向上する後続機への拡張も意識していたからだ。

EigenExaの性能を検証するため、縦に100万個、横に100万個の数字が並んだ100万×100万の行列の固有値計算を「京」を用いて行った。すると、従来のスパコンとソフトウェアでは1週間かかると見積もられていた計算が、約1時間で完了した。それまでに行われた最大規模の固有値計算は40万×40万の行列で、初代の「地球シミュレータ」を用いて3時間半かかっている。100万×100万の行列の固有値計算を1時間で行ったというのは、規模、速度ともに最高記録である。「大規模な固有値計算は時間がかかり過ぎるために現実的でないとされていましたが、EigenExaの登場はこれまで不可能だとされていたシミュレーションやデータ解析を可能にしました」

■ 超難問への挑戦は続いている

EigenExaを実行したときの「京」の速度は、理論ピーク性能の16%だった。従来のソフトウェアを実行した場合より大きく向上しているものの、今村TLは

関連情報

- 2013年12月5日プレスリリース  
「京」を使い世界最高速の固有値計算に成功
- 2019年5月30日トピックス  
「京」シャットダウンおよびセレモニー開催について
- 2019年5月23日トピックス  
ポスト「京」の名称「富岳（ふがく）」に決定

納得していなかった。理論ピーク性能の20%の実行性能が出ると見積もっていたからだ。なぜその値に達しなかったのだろうか。

行列の固有値計算のように大規模な並列処理の場合は、離れているCPU同士の通信を必要とするため、計算速度の高速化が難しいといわれている。EigenExaを実行したときの速度が上がらないのも、CPU間の通信に原因があることが分かった。「高速道路の本線上を時速100kmで走ることができる車でも、インターチェンジから入るときは低速から加速し、出るときには減速しなければいけません。それと同じで、CPU間で通信するとき、始まりと終わりは通信速度が低下してしまうのです」と今村TLは解説する。「CPU間で一度に通信するデータ量を増やすアルゴリズムにすることで、通信時間のロスを減らしました。現在では、EigenExaを実行したときの「京」の性能は、理論ピーク性能の20%以上と見積もられています」

EigenExaはオープンソースソフトウェアとして一般に公開され、利用されている。「アルゴリズムの開発は数学的な面白さがあります。しかし、数学的な興味だけで開発したのでは、論文を書いて終わりです。アルゴリズムやソフトウェアは、公開され多くの人に使っていただいでこそ、開発した意味があると考えています」

普通、ユーザーの反応は、開発者にまで届くことはない。しかし、EigenExaは理研内にもユーザーが多く、直接コメントをもらうこともある。「計算が速く

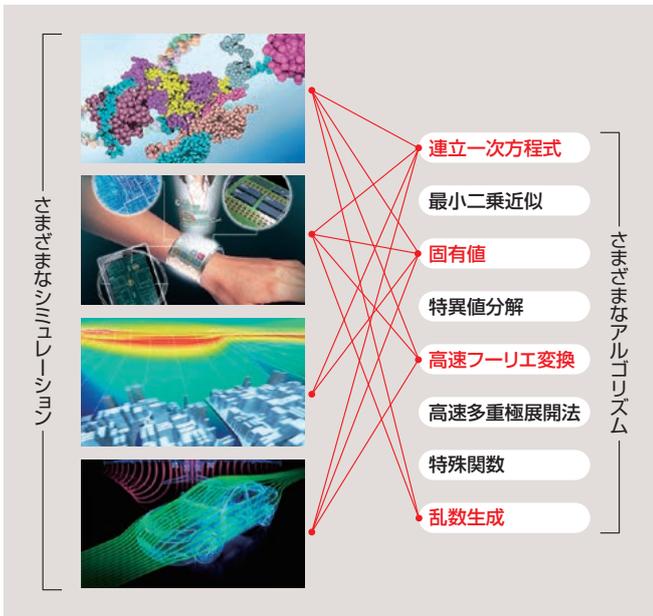


図4 代表的なシミュレーションと必要な数値計算アルゴリズム  
シミュレーションでは、さまざまな数値計算アルゴリズムが不可欠である。赤字は、大規模並列数値計算技術研究チームで開発している主な数値計算アルゴリズム。

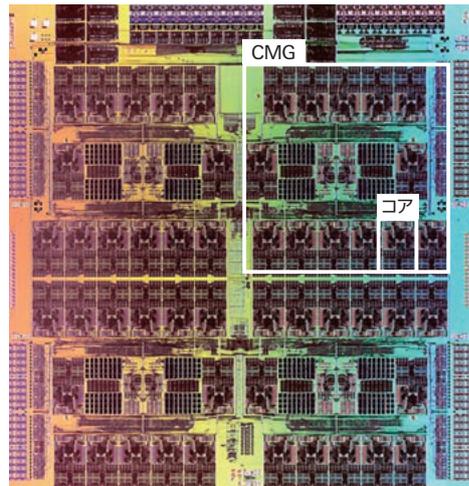


図5 スーパーコンピュータ「富岳」のCPU内部  
「富岳」のCPUは四つのコアメモリーグループ (CMG) から成り、各CMGに計算を担当する12個のコアと1個の制御用コアが搭載されている。1個のCPUに搭載されている計算用コアは48個である。写真は試作機 (提供: 富士通)。

なったと言われると、とてもうれしいですね。EigenExa誕生までは長かったですから」。今村TLが行列の固有値計算のアルゴリズム開発を始めたのは、大学院生のときだ。「指導教官からテーマをいくつか提示され、その中で一番難しいといわれたものを選びました。それから20年以上にわたって、新しいプログラム言語や新しいハードウェアが登場するたびに書き換えながら開発を続け、EigenExaにたどり着いたのです」

しかし、行列の固有値計算のアルゴリズム開発は終わっていない。EigenExaで固有値計算ができるのは、行列の対角線上を基準にして要素が対称に分布している対称行列だけである。要素が対称に分布していない非対称行列の固有値計算は、計算量が対称行列の数倍になるため、計算できる行列の規模が限られていた。その状況を変えようと、非対称行列を対象とした固有値計算のアルゴリズム開発も始めている。

大規模並列数値計算技術研究チームでは、連立一次方程式や3次元高速フーリエ変換、非線形方程式、乱数生成などのアルゴリズム開発も行っている (図4)。「『京』の利用者の多くは、最先端の問題を扱っているのです、こちらが驚くような難しい相談を持ち掛けられることもしばしばです」と今村TL。「でも難しいほど、またそれを解決できれば新しいこ

とができるようになると言われると、挑戦のしがいがあります。私たちのアルゴリズムが最先端のシミュレーションやデータ解析を支えていると同時に、私たちは最先端の問題を提示してもらっている。互いに支え合う関係なのです」

### ■「京」の後継機、「富岳」へ向けて

「京」は2019年8月に共用を終了する。これまでポスト「京」と呼ばれていた後継機は、名称も「富岳」に決定し、2021年ごろの共用開始を目指して開発が進められている。

「『富岳』の性能を最大限に発揮して、高速・高精度でシミュレーションやデータ解析を実現できるアルゴリズムの開発も進めています」と今村TL。「富岳」は、最大で「京」の100倍の実行性能を目指す。「『京』と『富岳』の違いはたくさんありますが、一つは、CPUの中に入っているコアの数です。この点を考慮したアルゴリズム開発が必要になります」

「京」も「富岳」もCPUの中にはコアと呼ばれる演算回路が入っている。「京」では1個のCPUに8個のコアが入っていたが、「富岳」では48個になる (図5)。「『京』ではCPUごとに8個の仕事を用意しておけばよかったです、『富岳』ではその6倍用意しなければいけません。コアごとの仕事量を均等に配分できれば、効率的に計算ができて全体の計

算時間が短くなります。一方、仕事量に偏りがあると、計算を終えて遊んでいるコアが出てきて全体の計算時間が長くなります。そのため、48個のコアに仕事をどのように割り当てるかという部分が重要になってきます。また「富岳」ではCPUの数も増えるため、CPU間の距離も長くなる。「通信時間が大きくなるようにする対策など、アルゴリズムの面でも共用開始までにやらなければいけないことがたくさんあります」

今村TLは、「世界に通用するアルゴリズムをつくりたい」と言う。「『京』や『富岳』、それぞれの性能を最大限に発揮させることを目指してきました。一方で、特定のハードウェアだけでなく、いろいろなハードウェアで使え、しかもどのハードウェアでも高速計算が可能なアルゴリズムがあれば、シミュレーションやデータ解析はさらに発展するでしょう。それも大事なことです」。最近では、CPUの代わりにGPUという、画像処理を得意とする処理装置を用いたコンピュータが増えている。そこで、世界に通用するアルゴリズムへの一歩として、CPUでもGPUでも使えるアルゴリズムの開発にも取り組んでいる。

「やはり難しい問題ほど挑戦のしがいがありますからね」。今村TLの控えめな笑顔の奥に自信が見えた。

(取材・執筆: 鈴木志乃/フotonクリエイト)

理論科学や計算科学、純粋数学の研究者が分野を横断して自由闊達に研究を行う数理創造プログラム (iTHEMS)。設立3周年を迎えたiTHEMSでは今、どのような研究が行われているのか。最新の研究事例を6名の研究者に聞いた。

# 数理で解く宇宙・生物・経済

## ■ 連携のハブを整備して頭脳還流を図る

——iTHEMSの現状について教えてください。

**初田**：客員を入れると50名ほどの研究者が集結しています。さらに理研 神戸地区を皮切りに、京都大学、東北大学、東京大学、九州大学に「SUURI-COOL」と名付けた連携研究室を整備しました。海外では、米国のローレンス・バークレー国立研究所、カリフォルニア大学バークレー校との連携研究室を拠点として、量子情報科学などの日米共同研究を進める計画です。

iTHEMSの研究者は、それらの連携研究室に行き、各地の研究者と長期的に共同研究を続けることができます。そこで新しいものを生み出し、その知見を携えて戻ってくるのが期待されているのです。それを「頭脳還流」と呼んでいます。

文部科学省と経済産業省が2019年、『数理資本主義の時代』というレポートを発表するなど、数理・数学研究の重要性が広く認識されるようになりました。iTHEMSをさらに発展させ、世界的にユニークな研究プログラムを確立したいと思います。

今回は、宇宙と生物に関するiTHEMSの研究成果と、経済を対象にした研究について紹介しましょう。

## ■ 高エネルギー宇宙線の発生源の一つは、

### 遠方銀河の中心にある巨大ブラックホールだった

——まず宇宙に関する研究成果からお聞きます。

**井上**：2017年9月22日、南極の氷床を利用したニュートリノ観測施設の「IceCube」望遠鏡で、高いエネルギーを持つニュートリノが観測されました (図1)。ニュートリノはほかの物質とほとんど相互作用することがない粒子ですが、広大な氷床に膨大に含まれる水分子とまれに衝突して光 (チェレンコフ光) を発することがあります。それを捉えたのです。

発生源を同定するため、世界中の望遠鏡が追跡観測を行いました。私はスペインのカナリア諸島ラ・パルマ島にある、「MAGIC」望遠鏡の観測に参加して、ニュートリノの到来方向に強いガンマ線を出す天体があることを突き止めることに貢献しました (図2)。それは約40億光年離れた「ブレーザー」として知られていたTXS 0506+056という天体でした。

——ブレーザーとは？

**井上**：遠方にある銀河の中心に巨大ブラックホールがあり、そのすぐ近くから噴き出すジェットが偶然、地球の方向を向いて



図1 ブレーザー天体から南極に飛来するニュートリノやガンマ線の想像図

図2 ニュートリノの到来方向にMAGIC望遠鏡が捉えたガンマ線天体

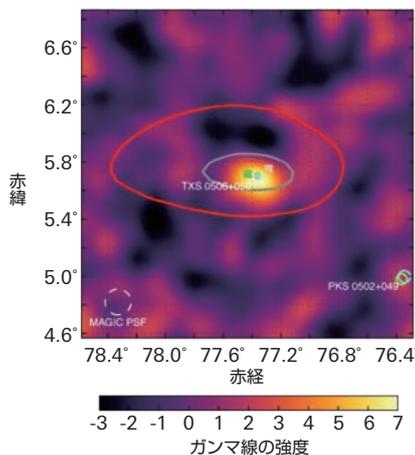
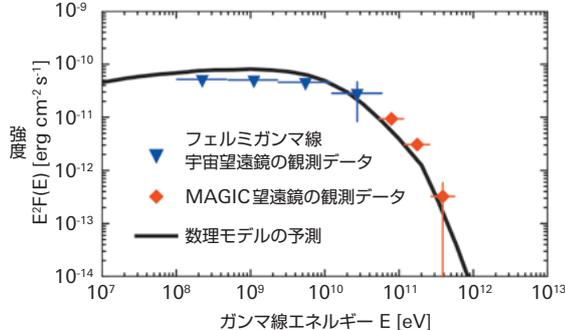
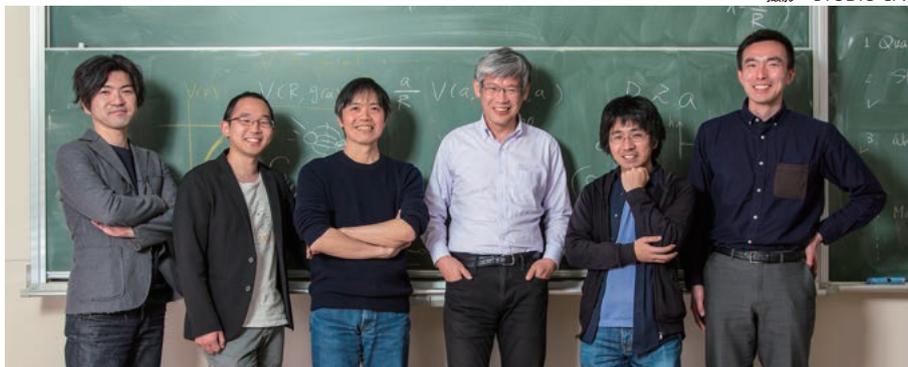


図3 TXS 0506+056からのガンマ線の観測データと数理モデルのスペクトル予測



赤い線で囲んだ円内 (確率90%) やグレーの円内 (確率50%) が、IceCubeの観測データから推定されたニュートリノの到来方向。その範囲内に強いガンマ線を放つ天体TXS 0506+056を捉えた。

左から、日高義将 専任研究員、土居孝寛 基礎科学特別研究員（仁科加速器科学研究中心）、井上 進 研究員、初田哲男プログラムディレクター、儀保伸吾 特別研究員、黒澤 元 専任研究員。



いる天体がブレーザーです（図1）。実は、私が研究者として初めて書いた論文のテーマがブレーザーでした。遠方銀河の中心の巨大ブラックホールの近くからジェットが出る仕組みは分かっていません。私はその仕組みを説明する数理モデルをつくり、ジェットからどのような電磁波やニュートリノが発生するのか予測する研究を続けてきました。TXS 0506+056から観測されたガンマ線のスペクトルは、数理モデルに基づき矛盾なく説明できます（図3）。また、そのスペクトルの形状は、ジェットからニュートリノが発生しやすい状況であることを示唆するものでした。

——ニュートリノの観測から何が分かるのですか。

**井上：**ジェットを構成する粒子の正体についても議論があり、主に電子とその反粒子である陽電子から構成されると考える研究者もいました。高エネルギーのニュートリノが発生するには加速された陽子が必要です。ニュートリノが観測されたことで、陽子がジェットの重要な構成要素であることが分かりました。また、ニュートリノのエネルギーも測定できたので、TXS 0506+056のジェットでは、どれくらいの量の陽子が加速されているのか推定することができます。

ジェットはブラックホールのすぐ近くから出ています。数理モデルと観測に基づきジェットが出る仕組みを解明することは、ブラックホールの物理を理解することにつながります。また、ジェットは周囲のガスを圧縮して星の形成を促進している可能性があることも分かってきました。ジェットの研究は銀河の進化を理解する上でも重要です。

——ニュートリノの観測では、1987年に大マゼラン雲で発生した超新星SN1987Aから飛来したニュートリノを、岐阜県にある観測装置「カミオカンデ」で捉えた小柴昌俊 博士（2002年ノーベル物理学賞受賞）らの研究が有名ですね。

**井上：**SN1987Aのニュートリノのエネルギーは約100万（ $10^6$ ）電子ボルト（eV）です。太陽でも同じくらいのエネルギーのニュートリノが発生しています。可視光のエネルギーが約1eVなので、その100万倍です。一方、TXS 0506+056から飛来したニュートリノのエネルギーは約100兆（ $10^{14}$ ）eVとはるかに高いものです。そのような高エネルギーのニュートリノが宇宙に飛び交っていることは予測されていましたが、高エネルギーの

ものほど数は少なく、しかもニュートリノは物質とほとんど相互作用することがないので観測が難しかったのです。IceCube望遠鏡によって2012年以降は数多くの高エネルギーニュートリノが観測されるようになりましたが、高い信頼度で発生源を同定できたのはTXS 0506+056が初めてでした。

高エネルギーニュートリノの発生源のうち1割がブレーザーと予測され、残りの9割は謎です。IceCubeは拡張される計画ですから、高エネルギーニュートリノがさらに数多く観測されるようになるでしょう。MAGIC望遠鏡の隣では、さらに高精度でガンマ線を観測する「CTA」望遠鏡の建設が進んでいて、私もその観測計画に参加しています。それらの観測データを数理モデルで分析して、残りの9割の発生源を解明したいと思います。

——高エネルギーニュートリノの発生源を解明することで、どんなことが分かるのでしょうか。

**井上：**宇宙には、宇宙線と呼ばれる高エネルギーの荷電粒子も飛び交っていますが、その発生源もよく分かっていません。荷電粒子の進路は磁場で曲げられてしまうため、宇宙線を観測しても発生源が同定できないのです。しかし電気的に中性であるニュートリノは直進するので、今回のように発生源の同定が可能です。宇宙線を構成する荷電粒子の大部分は陽子です。加速された陽子から発生するニュートリノがTXS 0506+056から観測されたことで、ブレーザーが陽子を加速して高エネルギー宇宙線を発生させる天体の一種であることが初めて裏付けられました。100兆（ $10^{14}$ ）eVのさらに100万倍の $10^{20}$ eVという超高エネルギー宇宙線も観測されています。その起源は天文学における大きな謎です。発生源を同定して、荷電粒子が超高速に加速される仕組みを解明したいですね。

また、iTHEMSに参加したことで生物学者の話を聴く機会が増え、宇宙生物学の研究を始めてみたいと考えようになりました。高エネルギー粒子を発生する天体の近くでは、生物は生存できません。どのようなタイプの銀河ならば生物が生存できるのかにも興味が湧いてきました。

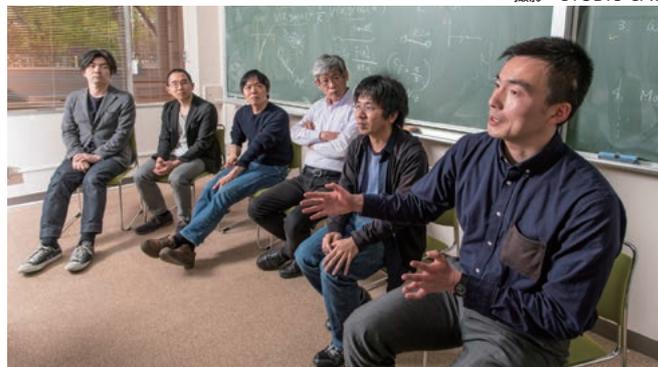
## ■ 音の解析手法で体内時計にまつわる60年来の謎を解く

——次に、生物に関する研究成果について紹介してください。

**黒澤：**私たちは、目覚まし時計が鳴らなくても、朝になると自

関連情報

- 2019年2月21日理研プレスリリース  
体内時計を安定化する新しい仕組みを発見
- 2017年6月9日理研プレスリリース  
体内時計が温度に影響されない仕組み



然と目覚めます。それは細菌からヒトまでのほとんどの生物種に、地球の自転に合わせた約24時間周期の体内時計が備わっているからです。体内時計に従って、睡眠と覚醒、体温や血圧の変動、ホルモン分泌のタイミングなどが制御されています。光が遮断された環境であっても、周期は一定です。その体内時計を動かす仕組みの解明が進み、2017年のノーベル生理学・医学賞の対象になりました。

—どのような仕組みで体内時計は動くのですか。

**黒澤：**生物の細胞の中では、ある遺伝子が活性化して特定のタンパク質のつくられる量が増えていきます。しかし一定量に達すると遺伝子の活性にブレーキがかかり、タンパク質の合成量が減ります。このタンパク質は徐々に減っていくため、ある程度減少したところで再び遺伝子が活性化します。特定のタンパク質の量が24時間周期で増減することで、体内時計が制御されているのです。このような仕組みが、ショウジョウバエや哺乳類を使った実験によって解明されてきました。

しかし、体内時計には大きな謎があります。遺伝子が活性化してタンパク質がつくられる過程は化学反応です。温度が高くなるほど分子同士の衝突頻度が高くなり、化学反応が速く進みます。一般に温度が10℃上がると反応速度は2~3倍になります。従って、温度が高くなると体内時計に関わるタンパク質の合成速度が速くなり、周期が24時間よりも短くなるはずですが。しかし1950年代に、温度が高くなっても体内時計の周期はほぼ一定に安定していることが明らかにされました。なぜ、体内時計は温度に左右されないのか。それが60年以上にわたる大

きな謎です。私たちは、体内時計の仕組みを記述する数理モデルをつくり解析することで、周期が安定化するために必要な要因を予測した研究成果を2017年6月に発表しました。

そのときの予測は、温度が高くなった分、つくられるタンパク質の量が増えて、タンパク質の増減を示す波の振幅は大きくなるが、増減の周期は変わらないというものです。ラットの培養細胞を用いた実験で、予測どおり高温になると振幅が大きくなるのが分かりました。

一方、体内時計研究の世界的リーダーの一人である上田泰己<sup>ひら</sup>チームリーダー（理研 生命機能科学研究センター 合成生物学研究チーム）らは、哺乳類の体内時計の周期に重要な化学反応は、温度が高くなっても反応速度は変わらないことを実験で明らかにしました。その知見も数理モデルに取り込み、異分野の解析手法で周期が安定化するのに必須の要因を探りました。

—異分野の解析手法とはどのようなものですか。

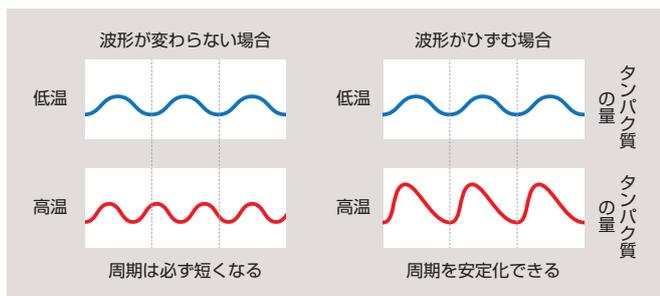
**儀保：**私は学生時代、音響工学を専攻しました。音も体内時計も振動現象なので、数学を使うと同じような手法を用いて記述したり解析したりすることができます。

音では、振動する波形は音色に相当し、ひずんだ波形は金属的な鋭い音に聞こえます。私は音色を解析する手法で、体内時計の周期がどのように決まるのか調べてみたのです。すると、温度が高くなったときに振幅が大きくなるだけでなく、波形がひずまないと周期が安定化しないことが分かりました（図4）。

—その研究成果を2019年2月に発表されました。これで60年来の謎は解けたといえますか。

**黒澤：**ぜひ、実験系研究者に検証していただきたいと思います。波形のひずみが実験で確認できれば、60年来の謎の核心部分が解けたこととなります。確認できない場合には、数理モデルのもとになった、体内時計の仕組みに関する理解のどこかが間違っていた可能性があります。その間違っていた点を解明することで、遺伝子やタンパク質についての理解が大きく進展するかもしれません。数理モデルによる研究は、そのような形で生物学に貢献できるのです。

**儀保：**シアノバクテリアという進化的に古い細菌（原核生物）は、ショウジョウバエや哺乳類とは異なる仕組みの体内時計を持つことが知られています。その数理モデルを解析したところ、



**図4 波形がひずむことによる周期の安定化の模式図**  
体内時計に重要なタンパク質の増減を示す波は、その波形が変わらなければ高温になったときに必ず増減の周期は短くなる（左）。高温になったときに波形がひずむことにより、増減の周期が安定化する（右）。

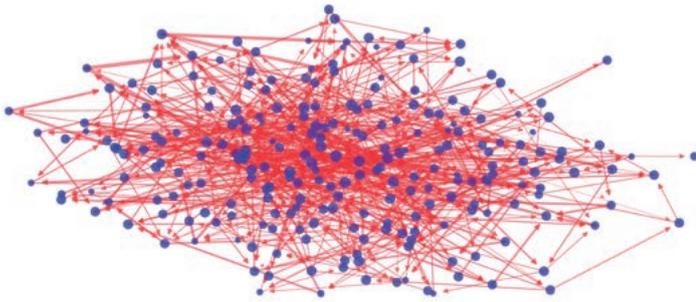


図5 データ解析による金融ネットワークのイメージ

各点が企業を表し、その大きさが資産量を表す。矢印は金の流れで、その量の多さに対応して距離を近く、線を太く表示してある。

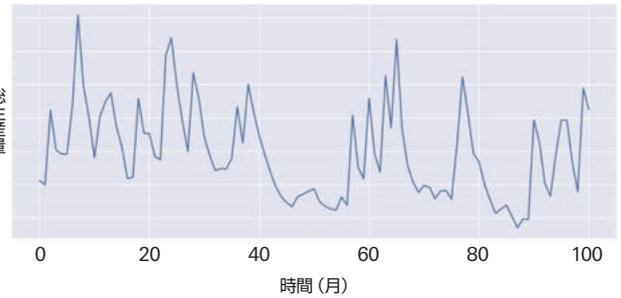


図6 企業全体の総生産量の推移のイメージ

このようなデータの推移に法則があるのかどうか探っている。

やはり波形がひずまないと周期が安定化しないことが分かりました。また、電気回路に見られる振動を記述するモデルでも、同様な結果が得られました。私は、さらにさまざまな振動現象を調べて、波形がひずんで周期が安定化する現象がどこまで普遍的なのか調べ、理論を深めていきたいと思っています。

—ほかに音響工学の手法が有効な現象はありそうですか。

**儀保:** iTHEMSのセミナーで、重力波など物理の振動現象の話をお聴くと、どんな音なのか解析してみたいですね。

**日高:** 経済の景気循環も振動なので、音響工学の手法が適用できるかもしれません。

## ■自然科学の手法でビッグデータから経済法則を見いだす

—iTHEMSでは、経済に関わる研究も行われているんですね。

**土居:** あるメガバンクから提供された数十万社に上る企業の5年分の入出金データ（企業名は匿名化されている）を、情報通信技術サービスコーディネーターの(株)JSOLと一緒に解析しています。私と日高さんは陽子や中性子を構成するクォークという粒子の研究を続けてきました。iTHEMSには、物理だけでなく生物や数学などの研究者がいます。それらの分野の手法やAI（人工知能）の機械学習の手法を適用することで、金融データの背後にある法則を見いだすことが目標です。

—クォークの世界と経済現象に共通点があるのですか。

**日高:** 物理学では、クォークなどの粒子が集まった多体系でどのような現象が起きるのが大きなテーマです。粒子を企業経営や家計に置き換えると、経済は多体系の現象だといえます。

自然科学ではしばしば、同じ条件で何度も実験を繰り返して観測を行い、理論予測が正しいかどうか検証する手法を取ります。一方、経済のような社会科学の対象は多くの場合、同じ条件で起きる現象は1回限りのものなので、予測の検証が難しいケースがほとんどです。もっとも、近年では数理研究やAI技術の進展、コンピュータの性能向上のおかげで、ビッグデータと呼ばれる膨大な情報を解析して法則を見だし、理論モデルをつくり、高い精度の予測をすることができるようになってきました。21世紀は、ビッグデータの解析をもとに理論体系を構築することが主流になるでしょう。金融データの解析はその一例です。

—従来の経済学が見いだしていない法則を発見できそうですか。

**日高:** 従来の経済学では、何らかの仮定のもとに理論モデルをつくってきました。まず、企業や人間は経済的な合理性に基づき行動するという仮定があります。しかし、人間には感情があり、合理的に行動するとは限りません。そこで心理学との融合により行動経済学が発展しました。さらに、脳神経科学の知見を取り入れた神経経済学も進展しています。一方、私たちは、そうした仮定を設定するのではなく、ビッグデータから法則を見いだして、理論モデルをつくらうとしています。

—どのような予測が可能になりそうですか。

**土居:** 共同研究先のメガバンクからは、企業の成長性など金融の実務に役立つ予測を期待されています。まず私たちは、先入観を持たずに金融データを解析して、何が分かるのか、何かの法則があるのかどうかを探っています。

**日高:** 当面の目標は、企業間でお金をやりとりする金融ネットワークの特徴を説明できる理論モデルをつくることです（図5・図6）。この研究は始まったばかりですが、将来は、理論モデルとリアルタイムの金融データにより、金融ネットワークの未来予測ができるようにしたいと思います。最終的には、経済に関するさまざまなビッグデータを解析してモデルをつくり、景気が後退したとき、どこに公的資金を投入すれば景気を回復させることができるのか、といった政策提言にも使える予測ができるようになればいいですね。

**黒澤:** 金融ネットワークは生態系の食物網と似ているので、種の共存や絶滅など生物学の知見が重要な手掛かりを与えてくれる可能性があります。また逆に、企業の栄枯盛衰を予測する経済モデルができれば、それを生態系の変動予測に適用して思いもかけないことを発見できるかもしれません。そのような異分野を結び付ける議論が日常的にできることがiTHEMSの特徴ですね。

**初田:** ここで紹介したような宇宙・生物・経済など、さまざまな分野のテーマを一つの組織で扱っている数理の研究機関は、世界的にも例がないと思います。iTHEMSでは、異分野を結び付けて新しい分野を生み出すこと、異分野から刺激を受けてそれぞれの専門分野をさらに発展させること、その両方からブレークスルーを巻き起こしていきたいですね。

（取材・構成：立山 晃／フotonクリエイト）

2019年4月、バイオリソース研究センター（BRC）の新センター長に城石俊彦氏が就任した。

2001年にバイオリソースセンターとして設立され、2018年に改称された現BRCは、実験動物（マウス）や実験植物、ヒト・動物細胞、微生物、遺伝子など、生命科学に欠かせない生物遺伝資源（バイオリソース）の収集・保存・開発・提供において日本の中核となる専門機関だ。細胞の保存数世界第1位、マウス・植物・遺伝子の保存数世界第2位、微生物の新種登録株数世界第3位を誇るBRCを、どのようにかじ取りしていくのか。城石センター長に聞いた。

## 生命科学を先導する研究基盤を築く

### ■ バイオリソースの付加価値を高めて

#### 生命科学を次のステージへ導く

——就任に当たり、運営方針をお聞かせください。

**城石：**バイオリソース事業を中核に、その利用を促進するための研究開発を進める、という従来の基本方針に変わりはありません。バイオリソースを使ってどのような研究ができるのか、それを示す情報と合わせて提供することに注力していきます。

——具体的には、どのような情報ですか。

**城石：**特に重要なのは、全遺伝情報である「ゲノム」と、形態や生理的な性質が観察できる形で現れた「表現型」の二つです。ゲノムのわずかな違いにより表現型がどのように変わるのかを理解することが、生命科学における大きな課題となっているからです。そのような研究で先端を走っているバイオリソースがマウスです。

撮影：STUDIO CAC



#### 城石俊彦（しろいし・としひこ）

バイオリソース研究センター センター長

理学博士。1981年、東北大学大学院理学研究科博士課程修了後、1984年、国立遺伝学研究所 助手、同 系統生物研究センター 助教授、教授、センター長を経て、2013年、国立遺伝学研究所 副所長。1999～2008年、理研ゲノム科学総合研究センター動物ゲノム機能情報研究グループ プロジェクトディレクターを兼任。2019年4月より現職。

私は国立遺伝学研究所で長年、マウスを用いた研究を進めるとともに、理研でも1999～2008年、「大規模マウス突然変異体作製プロジェクト」を進めました。化学物質を使ってゲノムにランダムな変異を起こし、表現型の変化を網羅的に調べる研究です。そこから受け継いだ技術などを生かし、BRCでは全遺伝子を1個ずつノックアウトしたマウスの表現型を解析する国際マウス表現型解析コンソーシアム（IMPC）に参加しています（『理研ニュース』2017年4月号「特集」）。ヒトには2万個余りの遺伝子がありますが、機能がよく分かっているものはまだ2,000個ほど。マウスの遺伝子も2万個余りで、ほとんどがヒトと共通しているため、その解析はヒトの遺伝子を理解する貴重な情報となるのです。IMPCのデータは2021年にそろそろ予定ですが、それもまたゲノムに書かれた情報の一部でしかありません。その先にはまだ解明すべき情報があります。

——その先とは？

**城石：**IMPCでは、遺伝子1個の情報が丸ごと欠けた場合の表現型を解析しています。しかし、タンパク質をつくるアミノ酸の種類と数、並び方が書かれた遺伝子の領域は、ゲノムの2%にすぎません。ヒトの病気の原因となるゲノムの変異には、主に二つのタイプがあります。一つは、遺伝子の一部に変異が起き、1個のアミノ酸が別の種類に変わることなどでタンパク質の機能が変化するもの。もう一つは、遺伝子のスイッチに変異が起き、タンパク質がつくられる量に変化するものです。スイッチはゲノム上の残り98%の領域に書かれています。病気の原因は、スイッチの変異によるものが多いことが分かってきました。

BRCでは、国内のさまざまな病気の患者由来のヒトiPS細胞を保存・提供する「疾患特異的iPS細胞」のバンク事業を実施しています。さらに、その疾患特異的iPS細胞を解析して、病気の原因となっているゲノム変異を突き止める研究を進めています。多くの病気には複数の変異が関係しています。BRCでは、日本人の疾患特異的iPS細胞で突き止めた複数の変異を、ゲノム編集技術によってマウスに導入し、疾患モデルマウスを開発



する計画です。

こうした研究の基盤整備のために、ヒトのゲノム解析や臨床の研究者との連携を強化していく方針です。これまで、希少疾患の原因解明は遅れていましたが、ゲノム情報を高速で読み取ることができる次世代シーケンサーにより、希少疾患を発症した子どもと、発症していない両親のゲノム全域を比較して、病気に関係している変異を突き止める研究が世界中で始まっています。ゲノム編集の技術で、病気と関連する可能性のある複数の変異を1個ずつマウスに導入して表現型を解析し、どの変異を導入したときに症状が激しくなるのかを突き止め、薬のターゲットを絞り込むといった研究にも、BRCは貢献していきます。

### ■ AIや数学を駆使して、生命科学の基本法則を探る

——病気の発症には、環境も関係していますね。

**城石:** 糖尿病になりやすいゲノムの変異があっても、食事などの環境要因によって糖尿病を発症しない人がいます。そのような環境要因を探るため、餌の違いなどでマウスの表現型に生じる変化を調べる研究が世界中で進められています。植物でも、高温などの環境ストレス下で、生育や遺伝子発現がどう変化するのかといった研究もあります。さらに、共生する微生物も重要な環境要因の一つです。BRCには植物と微生物の両方を扱う高度な技術があります。土壌中の養分を植物に供給し、病気から植物を守る役割があるといわれる菌根菌と植物との共生関係の解明を進め、農業に貢献することも目指しています。

——BRCの今後の課題は何ですか。

**城石:** 膨大な情報を解析するために、AI（人工知能）など情報技術や統計学など数学に強い人材を集めることです。マウスなどの表現型解析では3次元画像を撮影しますが、大量の画像データの中から形態などの微妙な違いがあるものを見つけ出すのに、AIの活用が不可欠になるでしょう。また、正常と異常を判別するには、統計学による分析が欠かせません。

生命は、膨大な種類と量の遺伝子やタンパク質が相互作用して複雑なネットワークをつくっています。ゲノムのある箇所に変異を入れると、そのネットワークの一部が崩れて表現型が変化し、病気が発症する。そうした事例を研究することで、ネットワークの一端を知ることができます。私たちは、さまざまなバイオリソースを通して、生命の複雑なネットワークを安定化させている基本法則の解明に貢献したいのです。物理学では万有引力の法則などいくつもの基本法則が発見されています。しかし生命科学で基本法則といえるのは、私の知る限り、メンデルの遺伝の法則のみです。さまざまなバイオリソースから情報を引き出し、その膨大な情報をAIや数学を駆使して解析することで、生命科学の基本法則を解明するための研究基盤を築いていきます。

### ■ 生命科学の研究基盤を発展させ次世代へ継承する

——BRCのセンター長を引き受けられたときの思いは？

**城石:** BRC設立時の初代センター長である森脇和郎先生は、日本でバイオリソースの重要性をいち早く主張され、後任の小幡裕一先生（現 BRC 特別顧問）と二人三脚でBRCを築かれました。私はその森脇先生のもとで育ちました。今は亡き森脇先生から、「後を頼む」と言われた気がしたのです。

多くの研究者は、バイオリソースなどの研究基盤の上に立ち、自分の興味のある課題を探求しています。私もそうでした。しかし、研究を十分に理解した誰かが、研究基盤の整備をしなければなりません。それは科学の最先端の仕事ではないというイメージがあるかもしれませんが、バイオリソース事業は、生命科学が今後どこへ向かうべきか、それを指し示すいわば水先案内の仕事です。この事業が途切れてしまうと散逸してしまうバイオリソースもあり、継続性が強く求められます。BRCなくして世界の生命科学研究はない。私は、それくらいの決意で臨んでいます。

（取材・構成：立山 晃/フォトンクリエイト）

## バイオリソースの品質管理で 植物科学の最前線を支える

バイオリソース研究センター（BRC）は、生命科学研究所に不可欠な生物遺伝資源（バイオリソース）を国内外の研究者に提供している。

BRCの品質管理は世界最高の水準にあり、

取り違いや不純物混入などによるリコールの発生率ゼロを2017年度から連続して達成中だ。

高い信頼性を支えるのは、卓越した技術を持つ職員たち。

その一人が実験植物開発室の阿相幸恵テクニカルスタッフⅡ（TS）だ。

「自分のやりたい仕事を続けられていて、

すごくラッキーだと思います」と語る阿相TSの素顔に迫る。



### 阿相幸恵

バイオリソース研究センター  
実験植物開発室  
テクニカルスタッフⅡ

#### あそう・ゆきえ

1980年、神奈川県生まれ。東京農業大学農学部農学科卒業。民間企業を経て、2005年より理研 実験植物開発室でリソース業務に従事。2017年より現職。

「父がよく丹沢や尾瀬に連れていってくれたり、祖母が花好きだったりした影響か、子どものころから植物や自然が大好きでした」。そう振り返る阿相TSは1999年、東京農業大学農学部に入部。「当時、遺伝子組換え食品の安全性が大きな話題になっていました。自分の手で遺伝子組換えをしてみようと、園芸植物を扱っている研究室に。卒業後は、研究関連の仕事をしたくて、民間企業の研究補助業務を行う派遣スタッフになりました。そこで遺伝子工学の技術を身に付けたのですが、扱っていたのは動物だったため、やはり植物研究に携わりたいと思っていたんです」

2005年に理研の実験植物開発室へ。「大学で同期だった夫との結婚を機に、横浜市の実家から夫の郷里の茨城県に移り住むことになり、県内で職を探しました。そのとき、つくば市にあるBRC実験植物開発室の募集を見つけたのです。最初は開発室の研究プロジェクトに携わり、やがてバイオリソースの品質管理の担当になりました」

実験植物開発室では、植物の遺伝子材料や種子、培養細胞を保存・系統維持し、提供している。「私を含めて3人のスタッフで品質管理を行っています。依頼のあった材料を、ほかの種類と取り違えることなく提供することが主な任務です。遺伝子材料は現在、約62万種類を保存していますが、どれも見た目では区別が付きません。種子や培養細胞も同じです。まず



植物の遺伝子材料を-80℃で保存している超低温冷凍庫

寄託を受けた段階で、情報どおりの特徴を持つかどうか検査します。提供するときにも検査を行い、依頼された種類と一致するか、不具合がないかを確認してユーザーに発送します。植物の遺伝子材料の提供数は年間400～500件に上ります」

阿相TSは主に遺伝子材料を担当し、培養細胞や種子の検査も行う。「ダブルチェックで検査を行う体制です。時には寄託者からの情報とは異なる特徴を示す材料が寄託されるケースもあります。予想外の検査結果が出たときには、ほかの担当スタッフとも相談しながら、その結果が出た謎を解いていきます」。国際プロジェクトにも一員として携わり、遺伝子を破壊したシロイヌナズナの検査を行い、約3,000系統の高品質化に貢献した。

BRCには常に最新の材料が寄託されてくる。また、検査技術や装置も日進月歩だ。「材料や技術について分からないことがあれば、開発室の研究員に尋ねることができる環境はありがたいですね。ユーザーが今、どんな材料や情報を必要としているのかを知るために、学会に参加することもあります。自分のスキルアップも目指しているため、最新の材料や装置を扱ったり研究動向を勉強したりする機会がある今の環境は、とても恵まれていると感じています。次世代シーケンサーと呼ばれる装置を使えば、従来よりも多くの遺伝情報が検査で得られます。今後は品質管理の幅を広げ、研究に有用な情報も併せてユーザーに提供していきたいですね」

「家に帰ると、目まぐるしい日常が待っています」と阿相TS。「小学生2人の習い事の送り迎えや家事に追われる」とこぼしながらも、「忙しいのが好き」と涼しげに笑う。体を動かすことが好きで、高校時代はバレーボール部、現在は地域のママさんバレーで汗を流す。多忙な中でも職場に来ると、気持ちはさっと切り替わるのだという。「野菜や果物を食べることは大好きですが、実は、植物を育てることは苦手です（笑）。でも、農業高校の教師をしている夫の実家が農家なので、いずれ挑戦するかもしれません」

（取材・執筆：立山 晃／フォトンクリエイティブ、撮影：STUDIO CAC）

## てんかん発症の 新たな神経回路を発見

2019年5月16日プレスリリース

てんかんは世界の全人口の1%以上の人が発症する頻度の高い神経疾患である。てんかん発作の一つ「欠神発作」では、数秒から数十秒程度の間、意識を失い、はた目には動きを止めてぼんやりとした状態になる。本人も自覚がない場合が多い。

脳神経科学研究センター 神経遺伝研究チームの山川和弘 チームリーダー、宮本浩行 研究員（現 東京大学特任講師）、立川哲也 研究員らの共同研究グループは、欠神発作が引き起こされる大脳基底核を介した新たな神経回路を発見した。従来は大脳皮質～視床の回路が中心かつ唯一の発生機構とされてきたが、その通説を覆すものである。

てんかん、知的障害、自閉スペクトラム症などの患者では、

中枢神経系のいくつかのタンパク質に関わる遺伝子に変異が報告されている。共同研究グループはこれらのうち2種の遺伝子 *Scn2a*、*Stxbp1* を欠損させたマウスがともに欠神発作を引き起こすこと、それらが脳皮質から大脳基底核の一部である線条体の特定の細胞への興奮性入力低下により引き起こされていることを明らかにした。さらに過去の知見と併せて考察したところ、大脳皮質～大脳基底核～視床を介する回路が発症神経回路と想定された。

共同研究グループは、一般的な欠神てんかんモデルとして研究されているラットにおいても、大脳皮質～線条体の興奮性入力を高めると欠神発作が減少し、抑えると欠神発作が増加することを見だし、このことから今回発見した回路によって一般的な欠神発作も説明できると結論付けた。

これらの研究はてんかんの治療だけでなく、意識に関連する神経回路や運動障害疾患の理解にも広い寄与が期待できる。

●『Nature Communications』（2019年4月23日）掲載

## 新技術で免疫細胞の 大規模解析に成功

2019年5月20日プレスリリース

免疫細胞は病原体やがん細胞を排除する働きを担う一方で、関節リウマチや1型糖尿病など自己免疫疾患の原因ともなる。免疫細胞が働く仕組みを遺伝子の解析から解明すれば、健康維持や病気の予防・治療にも資するだろう。しかし、解明には膨大な数の細胞を一つ一つ調べる必要があり、現実的ではなかった。

生命医科学研究センター 免疫遺伝子発現研究YCIラボの吉田英行 上級研究員ら国際共同研究グループは、マウスから86種類の免疫細胞を単離し、約7,000の遺伝子について発現制御に関連するゲノム領域と、そこへの結合が推定される200以上の転写因子、発現制御に何らかの関わりを持つと考えられる50万カ所以上のゲノム領域の同定に成功した。

研究グループが注目したのはゲノムの構造だ。ゲノムを構成するDNAはヒストンタンパク質に巻き付いてヌクレオソームという基本単位をつくり、それが連なってクロマチンと呼ばれる構造を取る。遺伝子発現を制御する転写因子は、ゲノム上の特定の配列に結合して機能するが、このとき、凝集していたクロマチンが緩み、開いた状態に変化する。逆に、開いたクロマチンを検出できれば、転写因子が結合して制御する領域を探し当てることができるのだ。

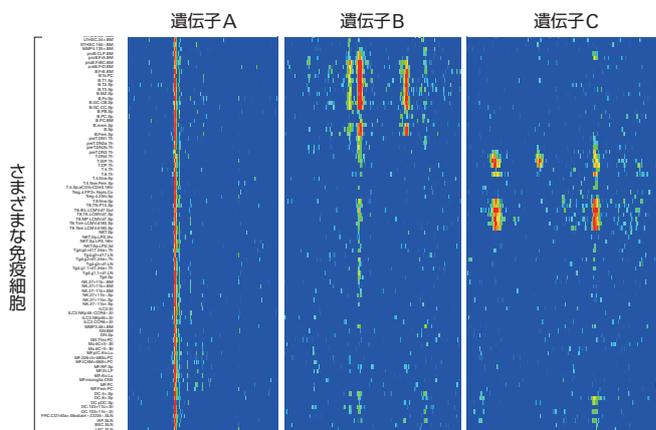


図 免疫細胞ごとに多様なオープンクロマチン領域

クロマチン構造が開いたオープンクロマチン領域を赤で表示。遺伝子Aに近い領域では、異なる免疫細胞でも共通して開いた構造を取り、遺伝子B、Cに近い領域では、細胞ごとに構造が異なっている。こうした相違が細胞ごとの遺伝子発現の違いを生む。

研究グループは、数億ものDNA配列を同時に解析可能な次世代シーケンシング技術を用いて、開いたクロマチン領域を検出できる「網羅的オープンクロマチン領域解析」を行い、転写因子とその制御領域との結合を網羅的に調べた（図）。これらの結果から、T細胞やB細胞、マクロファージなど免疫細胞の系統ごとの分化において重要と考えられる転写因子と制御領域を推定し、ダイナミックに変化する転写制御領域を同定した。

本研究は免疫細胞の多様で複雑な転写制御を俯瞰し、遺伝子発現制御の全体像を理解することに大きく貢献するだろう。

●『Cell』（2019年2月7日号）掲載

理研では、書籍を通じて、  
科学者の生き方・考え方や科学の面白さ・素晴らしさを届ける  
「科学道100冊」プロジェクトを進めています。  
理研の研究者たちは、どのような本に出会い、影響を受け、  
科学者としての生き方や考え方へつなげてきたのでしょうか。

## 生と死と宇宙と

坂井南美 さかい・なみ

開拓研究本部 坂井星・惑星形成研究室 主任研究員

小学生のとき、東北地方への修学旅行を前に、東北ゆかりの文学作品が紹介された。「その一つが宮澤賢治の『銀河鉄道の夜』でした。最初の印象は、暗いし、よく分からない。でも、銀河鉄道が宇宙を走っていく、あのイメージは好きでした。人はどこから来てどこに行くのか、生と死についての疑問が生まれ、引き込まれていきました」。天体望遠鏡を買ってもらった直後だったこともあり、毎晩のように夜空を見上げていた。

中学生のとき、数学・物理塾で薦められて読んだ坂口安吾の『桜の森の満開の下』も印象に残っている。「山賊が満開の桜の木の下で愛する女を誤って殺してしまい、その体が花びらになって消えていくという怖い話なのですが、その風景を想像すると、とても美しい。それは宇宙に共通しているな、と感じました。宇宙は、少し怖いけれども美しい。そんな不思議な感覚を味わいたくて何度も読みました」

また、中学校の英語の授業で、サン＝テグジュペリの『星の王子さま』を読むことに。「英語が嫌いだったので、何が書いてあるのかよく分かりませんでした。まずは日本語で、と翻訳を読みました。これも生と死の話ですが、哲学と宇宙が結び付いた世界観が魅力的で、大好きな本になりました」

物理が好きだったことと、宇宙についても学べることから、早稲田大学理工学部物理学科へ。統計力学の授業で、自分でテーマを決めて調べるという課題が出た。アルバイトをしていた前述の塾で、偶然「宇宙に水はどのくらいあるのだろうか」という話になり、水をテーマにしようかと考え始めた。そんなとき友人から「物理が好きなら絶対好きになる」と薦められたのが、池澤夏樹の『スティル・ライフ』だ。「バーで水の入ったグラスを見つめながらチェレンコフ光の話をする、冒頭のシーンから引き込まれました」。その会話の背景には、巨大なタンクを水で満たした「カミオカンデ」で宇宙から飛来したニュートリノが発するチェレンコフ光を捉えたという、ノーベル賞の対象にもなった発見がある。その後継の「スーパーカミオカンデ」をテーマに選んだ。「宇宙と水。今の私の研究にもつながる言葉と、このときに出会いました」。以来、池澤夏樹の本をたくさん読んできた。「池澤さんが翻訳した『星の王子さま』を見つけたときはうれしかったですね」

宇宙の研究を職業にすることに不安があったが、やってみようという気持ちが勝って大学院へ進むことに決めた。「相談

撮影：STUDIO CAC



に乗ってもらった研究者に、宇宙の何をやりたいの?と聞かれ、即答できませんでした。そこで、なぜ宇宙が好きなのか考えてみました。すると、たどり着いたのが『銀河鉄道の夜』。宇宙の中で私たちはどうやって生まれたのか、起源を知りたいのだと気付いたのです」

東京大学大学院では、惑星系の形成過程でどのような物質がつくられるかを明らかにするため、世界中の電波望遠鏡で観測を行った。米国にあるグリーンバンク望遠鏡を訪れたときのこと。「売店で『But it was Fun』という本を見つけました。教科書を除けば、自分で買って読んだ初めての英語の本でした」。そこには別の電波望遠鏡があったが、ある夜突然、ごう音とともに崩れ落ちたのだという。「崩壊から新しい望遠鏡の建設までドキュメンタリー風に語られていて、原因を探るサスペンス的な要素もあり、ドキドキしながら読みました。しかも苦労の歴史なのに『だけど楽しかったよ』という書名を付けてしまう。私は楽観的で、楽しむことが大事だと思ってきたので、それでいいんだという自信にもなりました」

2015年に理研で研究室を立ち上げ、惑星系の形成過程が多様であることなどを解明してきた。「私たちの太陽系は、ありふれた存在なのか、まれな存在なのかを、明らかにしたい。構造などの物理的な面と、物質という化学的な面の両方から迫ることで、私たちの起源にたどり着けると考えています」

宮沢賢治の本を読み返したいと思うが、最近よく読んでいるのは、ヨシタケシンスケの『りんごかもしれない』や、島田ゆかの「バムとケロ」シリーズ。3歳と6歳の子どもたちがお気に入り絵本だ。読むたびに新しい発見があり、一緒になって楽しんでいる。「子どもたちもいろいろな本に出会ってほしいですね」

(取材・執筆：鈴木志乃/フotonクリエイト)

## 理研サイエンスレクチャーを函館で開催

理研は、北海道函館市で開催される「はこだて国際科学祭2019」（8月17～25日）に合わせて「理研サイエンスレクチャー」を函館で8月25日に開催します。はこだて国際科学祭の今年のテーマ「食」にちなんで、理研の研究者より安心して安全な食料生産や持続可能な循環型農業への利用を目指した研究活動を紹介いたします。

日時	2019年8月25日(日) 11:00～12:00 (開場10:30)
場所	函館市中央図書館 視聴覚ホール (北海道函館市五稜郭町26-1)
アクセス	函館市電「五稜郭公園前」から徒歩10分、 函館バス「中央図書館前」下車すぐ
参加	無料・事前申し込み不要(先着150名)
講演	<b>微生物の力を利用して農業へ貢献する研究</b> バイオリソース研究センター 植物-微生物共生研究開発チーム チームリーダー <b>市橋泰範</b>
問い合わせ	理研 広報室 TEL: 048-467-9443 (直通)



市橋泰範チームリーダー

## 科学講演会 in 静岡を開催

理研は2016年より、理研の研究拠点の所在しない都市で科学講演会を開催し、理研になじみの薄かった方々との新しいつながりを創出してきました。今年は静岡県静岡市で開催します。

日時	2019年9月14日(土) 講演会 13:00～15:30 (開場 12:00)、展示 12:00～16:00
場所	静岡県男女共同参画センターあざれあ(静岡県静岡市駿河区馬淵1-17-1)
アクセス	JR静岡駅から徒歩9分
参加	無料・先着300名(事前参加登録の方優先) <a href="http://www.riken.jp/pr/events/events/20190914/">http://www.riken.jp/pr/events/events/20190914/</a>
講演	<b>赤ちゃんはどうやって母語の母音や子音が聞こえるようになっていくんだろう？</b> 脳神経科学研究センター 言語発達研究チーム チームリーダー 馬塚れい子 <b>“海を耕す”新時代を目指す環境診断と予測</b> 環境資源科学研究センター 環境代謝分析研究チーム チームリーダー 菊地 淳
問い合わせ	理研 広報室 TEL: 048-467-9443 (直通)



馬塚れい子チームリーダー



菊地 淳チームリーダー

## 横浜地区一般公開を開催

理研では、研究内容や理研の活動への理解を深めていただくため、毎年1回各地区の施設を一般の皆さまに公開しています。今年の横浜地区一般公開は「未来が実る、科学との出会い。」をテーマに開催。世界最大級のNMR(核磁気共鳴装置)など普段は足を踏み入れることができない研究施設見学や、バイオ燃料電池をつくって発電させる体験イベントなど、小さなお子さんから大人まで楽しめるイベントが盛りだくさんです。研究の

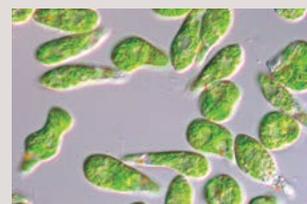
最先端を紹介する講演会・セミナーもあります。ぜひ、未来を育てる研究現場を体感してください。

入場無料、雨天決行。理研のオフィシャルグッズ「理研グッズ」の販売も行います。

日時	2019年9月21日(土) 10:00～16:30 (入場は15:30まで)
場所	神奈川県横浜市鶴見区末広町1-7-22
アクセス	JR鶴見小野駅から徒歩15分。JR・京急鶴見駅から臨港バス(鶴08系統)「ふれーゆ」行きで「理研・市大大学院前」下車徒歩1分。JR・京急鶴見駅から無料シャトルバス運行あり。時刻表詳細は以下URL参照。
詳細	<a href="https://www.yokohama.riken.jp/openday/">https://www.yokohama.riken.jp/openday/</a>
問い合わせ	理研 横浜事業所 TEL: 045-503-9111 (代表)



体験イベント・ラボツアーには、専用ウェブサイト(左欄参照、8月19日受付開始)から事前申し込みが必要な場合や、当日抽選券や整理券を配布する場合があります。ぜひ事前にご確認ください。



国内の湖沼で採水・サンプリングをし、既存の野生株とは異なるミドリムシ収集を目指す「みんなのミドリムシプロジェクト」の中間報告会もあります。このプロジェクトは、全国の皆さまからの寄付金により実施しています。

## 「何でスキー好きなが」

仲村高志 なかむら・たかし

放射光科学研究センター NMR 研究開発部門  
NMR 応用・利用グループ 専任技師

私は南国土佐の生まれで、22歳までは何の疑問もなく高知で一生を終えようと考えていたし、実際25歳の春まで高知を出ることなく過ごした。大学卒業の年に大学院が1年後にできることが分かり、進学を決めたことで運命が変わった。京都大学から帰郷し高知大学大学院で教鞭を執られた先生に「若いうちは挑戦しなくてどうする、(世界は広いのだから) 郷土での仕事は後になってもできる」と背中を押された。先生自身の体験からの言葉が心に響き、外の世界に出ることを決め、大阪の会社に就職し、滋賀に赴任した。

それによって広がった世界の一つがスキーである。南国土佐とはいわゆる、実は冬は結構寒い。中国山地と四国山地を越えてやって来る「からっ風」のせいである。2度の山越えて空気は乾燥しており雪は大変珍しく、子どものころは降ると大騒ぎしたものだ。およそ雪とは無縁の少年時代だった。スキーとの出会いは会社に入ってから20代半ばのころで、雪質も(今だから分かるのだが) 良くない滋賀県のスキー場で足に長い板を付けて歩くこともままならず、服は汗まみれでびしょびしょになり、全然楽しくなくて二度としたくないと思った。ここで続ける人と一生やらない人が決まるといってよく、私はやめる側だった。ここまでは雪を知らずに過ごした人がたどる道だと思うし、今でも旧友たちには「何でスキー好きなが(土佐弁)」と聞かれることが多い。

転機は2度目のスキー、会社員時代のアメリカ出張中の休日に現地と同僚と訪れたロッキーマウンテン、ラブランド(全米でも人気のスキーリゾート)での経験である。標高3,000mを超える土地の雪質はジープンで滑って転んでもぬれないくらいサラサラで、気持ちよく滑れるので、スキーって面白いじゃないかと勘違いしたのだ。

その後は、スキーに誘われると喜んで行くようになった。



写真1・筆者。2018年、NMR 研究開発部門のパンフレット作成時にプロのカメラマンさんに撮ってもらったお気に入りの1枚。

写真2・いつも通っているスキー場の雪景色。左下の写真は平成最後のスキーと令和最初のスキーのチケットと、たくさん滑った人がもらえるノベルティグッズ(ステッカー、マグカップ)。



ボーゲンで滑っては疲れて休む「ビール時代」(仲村さんは何をしに来ているのか、とよく揶揄されていた)を長く過ごすのが楽しくなり、その当時の仲間にはとても迷惑を掛けたと思うが、スキー&温泉を毎年楽しむようになった。

その後、理化学研究所にご縁があり、分子構造解析室(環境資源科学研究センター 分子構造解析ユニット)でNMR測定の支援に携わるようになった(最近のメインは時間の空きを使って開発していた超電導磁石の仕事だが、それは本誌「研究最前線」の方でお話できる日を目指したい)。そこには越野広雪さん(現ユニットリーダー)が在籍しており、高校時代にはトップを目指していたというスキーヤーの滑りに魅せられた。このころには私も徐々にボーゲンを脱しつつあり、毎年自分のスキルが向上することに楽しみを覚え、いまだにうまくなろうと足しげく通っている。

スキーの楽しさって何だろう、とこの原稿を書きながら思い返してみた。アウトドアスポーツなので天候に左右され、つらいときも多いのに、なぜまた行ってしまうのか。一番はやはり非日常を感じるためではないかと思う。特に、自分の青春時代になかった白銀の世界は格別で、真っ白な静寂感を味わいたくなるのだ。

### 寄附ご支援のお願い

理研を支える研究者たちへの支援を通じて、日本の自然科学の発展にご参加ください。

問合せ先 ● 理研 外部資金室 寄附金担当

Tel: 048-462-4955 Email: kifu-info@riken.jp (一部クレジットカード決済が可能です)

