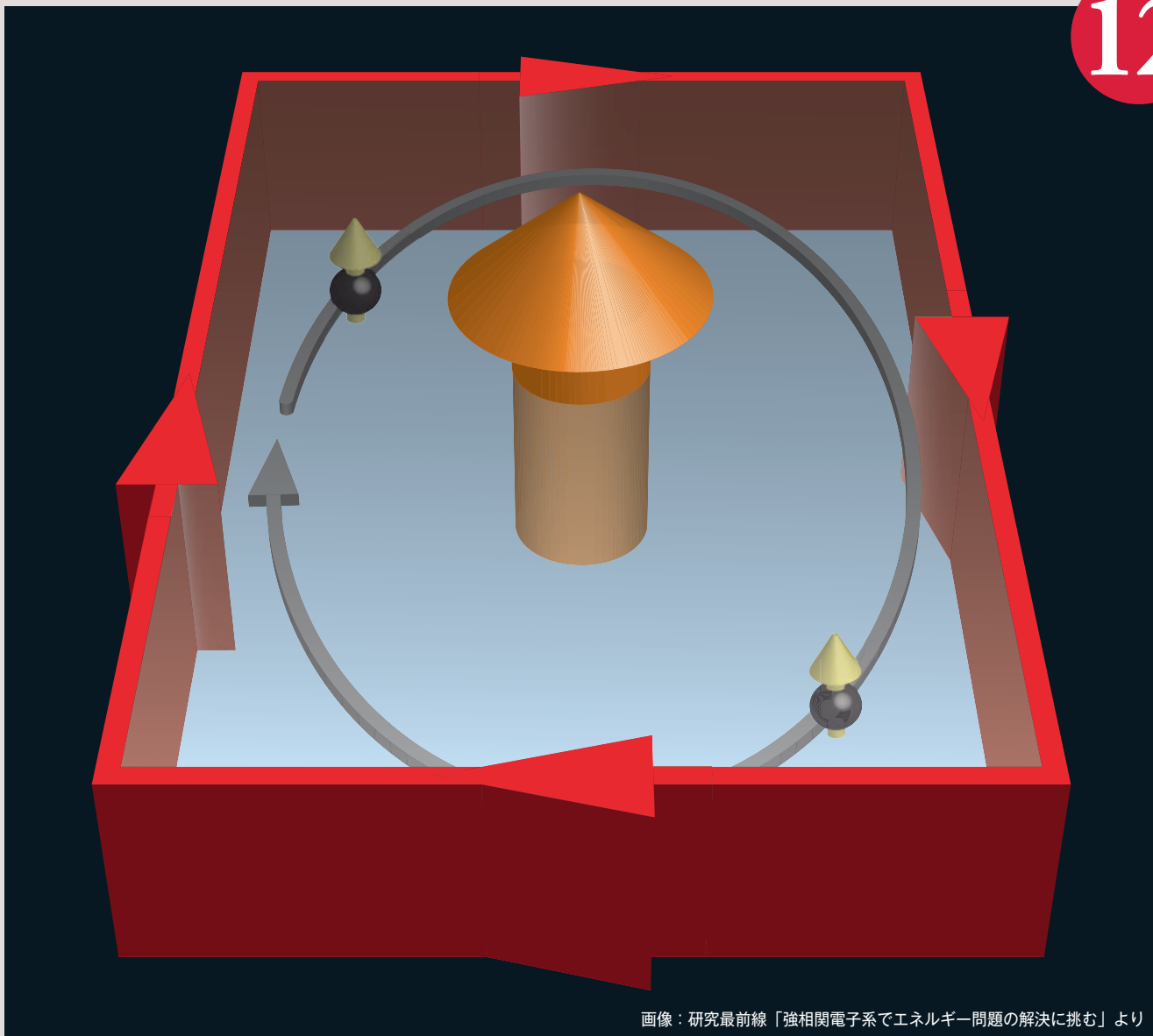


# RIKEN NEWS

No.402 December 2014

12



画像：研究最前線「強相関電子系でエネルギー問題の解決に挑む」より

研究最前線 ②

## 強相関電子系でエネルギー問題の解決に挑む

研究最前線 ⑥

## 覚醒しているときに、なぜ感覚が鋭くなるのか？

特集 ⑩

## 国際連携による質の高い研究で感染症に立ち向かう

FACE ⑭

スーパーコンピュータ用のプログラミング言語を開発する研究者

TOPICS ⑮

- ・新理事に有信睦弘氏
- ・統合生命医科学研究センター長に小安重夫氏
- ・放射光科学総合研究センター新研究室主宰者の紹介
- ・多細胞システム形成研究センターの発足について

原酒 ⑯

伝統ある座敷芸を演じて

「私たちは既存技術の延長線上で改良を行うのではなく、まったく新しい原理の技術を生み出し、エネルギー問題の抜本的な解決に貢献することを目指しています」  
 そう語る理研創発物性科学研究センター（CEMS）の川崎雅司グループディレクター（GD）たちは、電子がぎっしり詰まった強相関電子系の物質を用いて、極めて高い変換効率の太陽電池やエネルギーをほとんど消費しない情報処理装置の実現を目指している。

## 強相関電子系でエネルギー問題の解決に挑む

### ■ 理論効率100%の強相関太陽電池

現在普及している半導体の太陽電池では、光エネルギーを電気エネルギーに変換する効率は40%程度が限界だとい

われている。「つまり、光エネルギーの60%は無駄になっているのです」と川崎GDは指摘する。

なぜ60%も無駄になってしまうのか。

まず、半導体太陽電池の原理を簡単に紹介しよう（タイトル図A）。ある一定以上のエネルギーを持つ光子（光の粒子）が半導体に当たると、原子核に捕らえられていた電子が励起されて自由に動くことができるようになる。こうして電荷の運び手（キャリア）となるマイナス電荷の電子と、プラス電荷の正孔のペアが、1対生まれる。そのペアが分離して電子は負極、正孔は正極に移動してたまることで電気が流れる。

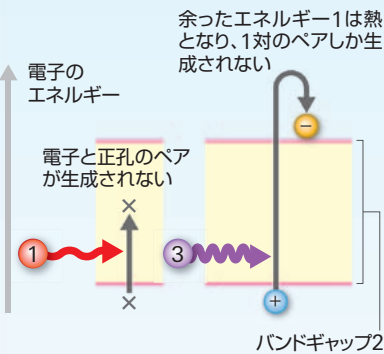
「電子が励起されて、電子と正孔のペアができるのに必要なエネルギーをバンドギャップと呼び、それは物質の種類によって決まっています。バンドギャップよりもエネルギーが低い光子が当たっても、電子と正孔のペアはできず、そのエネルギーは無駄になります。また、半導体では、バンドギャップを超える高いエネルギーの光子1個が当たっても、生成される電子と正孔は1対だけです。余ったエネルギーは無駄になります。こうして光エネルギーの大半が無駄になるため、半導体太陽電池の変換効率には限界があるのです」（タイトル図A）

「そこで私たちは、電子がぎっしり詰まった強相関電子系と呼ばれる物質を使った太陽電池で、光エネルギーを無駄なく電気エネルギーに換えることを目指しています」と川崎GD。

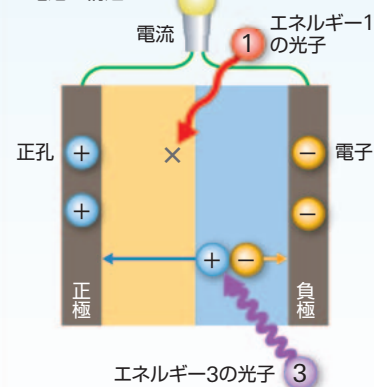
強相関電子系にもさまざまな種類の物質がある。身近な例では磁石も強相関

#### 理論効率100%の強相関太陽電池の原理

##### ■ バンドギャップと電子・正孔の生成

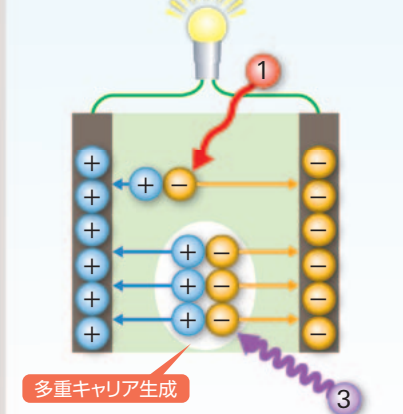
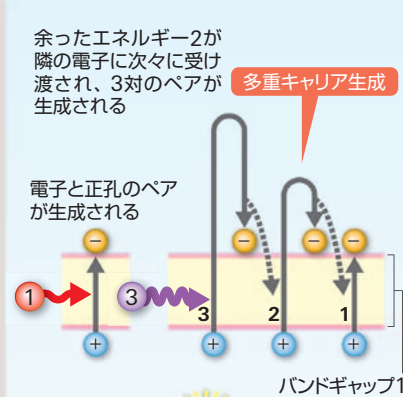


##### ■ 電池の構造



#### A：半導体太陽電池

バンドギャップが2の半導体では、エネルギー1の光子が当たっても電子と正孔のペアはできず、そのエネルギーは無駄になる。また、エネルギー3の光子が当たっても1対の電子と正孔のペアしかつかず、余った1のエネルギーは無駄となる。



#### B：強相関太陽電池

バンドギャップが狭い1の強相関電子系の物質を用いると、エネルギー1の光子も無駄にせず電子と正孔のペアをつくることできる。さらに、エネルギー3の光子が当たると3対の電子と正孔のペアができる多重キャリア生成が起きて、光エネルギーを無駄にせず電気エネルギーに変換できる。

**川崎雅司** (かわさき まさし)

創発物性科学研究センター  
副センター長  
強相関物理部門  
強相関界面研究グループ  
グループディレクター

1961年、大阪府生まれ。工学博士。東京大学大学院工学系研究科化学エネルギー工学専攻博士課程修了。東京工業大学大学院 助教授、東北大学金属材料研究所 教授などを経て、2011年より東京大学大学院工学系研究科 教授。2007年、理研交差相関物性科学研究グループチームリーダーを経て、2013年より現職。



電子系的一种だ。

「バンドギャップが狭い強相関電子系の物質を太陽電池に用いることで、エネルギーの低い光子でも電子・正孔対を生成させることができます。半導体でバンドギャップが狭い物質を用いてしまうと、それ以上のエネルギーの光子が当たっても電子と正孔が1対しかできないので無駄になるエネルギーが増えてしまいます。一方、強相関電子系では、光子1個のエネルギーの高さに比例して生成される電子・正孔対の数が増える多重キャリア生成が起きるため、理論上、100%の変換効率を実現できます」(タイトル図B)

なぜ、半導体では多重キャリア生成が起きず、強相関電子系では起きるのか。「多重キャリア生成は、余ったエネルギーを隣の電子へ次々に受け渡して励起することによって起きます。それが起きるかどうかは、物質中の電子が互いに影響し合うことができるかどうかによります」

半導体中で動くことのできる電子の密度は低く、互いに遠く離れているイメージだ。「そのため、電子はほかの電子と関わりなく挙動します。電子が影響し合うことができないので、余ったエネルギーを隣の電子へ受け渡すことはできません」

ただし、半導体を量子ドットと呼ばれるナノ(10億分の1)メートルサイズの粒子(量子ドット)にすると、その小さな空間に閉じ込められた電子は影響し合うようになり、多重キャリア生成が起きることが、間接的に確かめられている。

一方、強相関電子系では、動くことのできる電子の密度が高く、ぎっしり詰まっているイメージだ。「原子の数と同じくらい動くことのできる電子があると、ある電子が隣の原子へ移ろうとしても、すでにそこにいる電子と反発し合って動けない、といったことが起きます。電子はほかの電子の状態によって挙動を決めるのです。そのような強相関電子系では、電子は影響し合い、多重キャリア生成が起きます。強相関電子系は、物質全体にわたり量子ドットが密に並んだ、「究極の量子ドット」だといえます」

■ 多重キャリア生成を実験的に確かめる

多重キャリア生成による強相関太陽電池という発想について、その可能性を強相関理論研究グループの永長直人GD(CEMS副センター長)たちが2010年に検証した。永長GDたちは理論シミュレーションを行い、強相関電子系の物質で多重キャリア生成が起き得ること、そして、多重キャリア生成が起きやすい物質や電流として外部に取り出せる条件

を、世界で初めて明らかにした。

「強相関電子系が実際に高効率の太陽電池として利用できることを確かめるには、発電量を測定して多重キャリア生成が起きるかどうかを実験で調べる必要があります」

2014年、川崎GDたちはペロブスカイト型マンガ氧化物という強相関電子系の物質を用いた太陽電池を作製して、発電量を測定する実験を行った。「その測定データを分析したところ、多重キャリア生成が起きているらしいことが分かりました」

強相関電子系の物質中の電子が、反発し合って身動きが取れない状態は、電気が流れない絶縁体である。その状態に光や磁場など外部からわずかな刺激を与えると、電子が動きやすくなり金属となる。多重キャリア生成は、光を当てて絶縁体から金属に変わるときに起きる(図1)。

「強相関電子系に磁場をかけると絶縁体と金属が競合した最適な状態をつくり出すことができます。そのような状態に

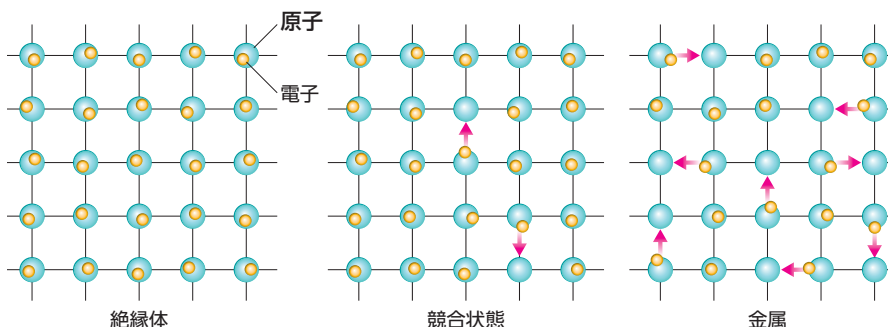


図1 強相関電子系における三つの状態

原子の数と同じくらい動くことのできる電子があると、互いに反発し合って身動きができず、電気が流れない絶縁体となる。その状態に光を当てると電子が動きやすくなり金属となる。多重キャリア生成はそのときに起きる。絶縁体と金属の境界の競合状態をつくり出すと、多重キャリア生成が起きやすくなる。

光を当てると、多重キャリア生成がいつも起きやすくなります。私たちが作製した強相関太陽電池に磁場をかけて最適な競合状態にして光を当てたところ、発電量が12%増加しました。磁場をかけて発電量が増加することは半導体では絶対に起きない現象なので、多重キャリア生成が起きたと考えられるのです」

### ■ 変換効率1%の壁を越える

「今回の実験ではまだ、多重キャリア生成が起きることを実証したとまでは断言できません」と川崎GD。「1個の光子のエネルギーに比例して生成される電子・正孔対の数が増え、発電量が増加することを、定量的に示す必要があります。そのような強相関太陽電池の原理を実証する実験を行うとともに、発電効率を向上させる取り組みが必要です。今回、実験に使った強相関太陽電池の変換効率は、わずか0.001%ほどです」

太陽電池で発電するには、電子・正孔対が分離して、それぞれが負極・正極までたどり着く必要がある。半導体は電子や正孔が移動しやすい性質がある。そのため、電子が移動しやすいn型と正孔が移動しやすいp型の半導体を接合するだけで、電子・正孔対を分離させ負極・正極へ移動させることができる。

「一方、強相関電子系の物質では、電子や正孔は移動しにくい性質があります。電子・正孔対は分離しにくく、また分離しても再結合してしまい、負極・正極までたどり着きにくいという課題があるのです。実は、同じ課題を有機半導体の太陽電池も抱えています」

CEMS超分子機能化学部門の瀧宮和男GDや但馬敬介チームリーダーたちは、有機半導体を塗るだけで高効率に発電できる塗布型の有機薄膜太陽電池(OPV)の研究を進めている(本誌2014年4月号および7月号「研究最前線」参照)。

「私たちは超分子機能化学部門の研究者と日常的に情報交換を行っています。私たちのセンター名にある“創発”とは、複数の異なる要素が組み合わせることで、それぞれの要素を単純に足し合わせた以上の優れた機能が現れることを指します。CEMSでは、異なる分野の研究者が交流することで創発を起こし、新しい原理の技術を生み出すことを目指しています」

塗布型のOPVでは、発電効率が1%を超えた2000年くらいから多くの研究者や企業が研究に参加するようになった。現在では、変換効率15%の塗布型OPVが販売される日も近いといわれている。強相関太陽電池も1%の壁を越えれば、参加者が増え実用化が急速に進むはずだ。

「私たちには、強相関太陽電池で電子と正孔を電極までたどり着きやすくする構造のアイデアがあります。その構造を

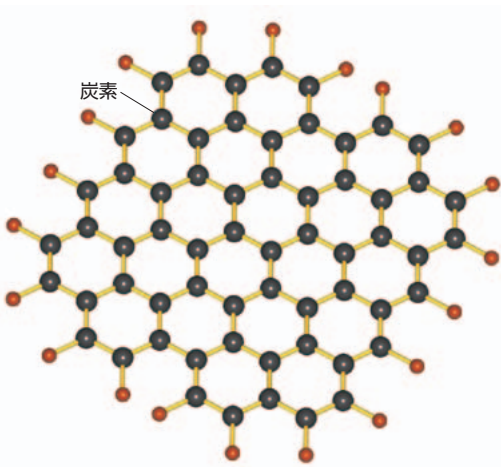


図2 グラフェンの分子構造

炭素から成る2次元シートのグラフェンでは、室温で強い磁場をかけるとエッジ電流が起きることが分かった。

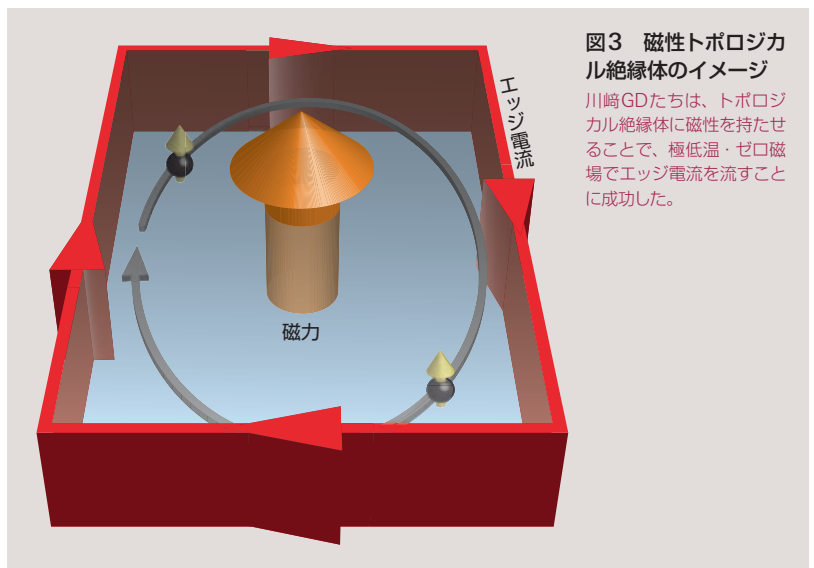


図3 磁性トポロジカル絶縁体のイメージ

川崎GDたちは、トポロジカル絶縁体に磁性を持たせることで、極低温・ゼロ磁場でエッジ電流を流すことに成功した。

#### 関連情報

- 2014年8月18日プレスリリース  
「異常量子ホール効果の量子化則を実験的に検証」
- 2014年8月1日プレスリリース  
「太陽電池の接合界面に相競合状態を持たせ光電変換効率を向上」

実験で確かめるとともに、多重キャリア生成が起きやすく、電子と正孔が移動しやすい最適な物質を探索することで、東京オリンピック・パラリンピックが開かれる2020年までには変換効率1%の壁を破りたいと思います」

#### ■ 電気抵抗を受けないエッジ電流

「私がエネルギー問題に興味を持ったのは第一次石油ショック（1973年）が起きたときで、小学校6年生でした。そして高校生のときに読んだ『水素エネルギー』（太田時男 著、講談社現代新書）という本がきっかけで、エネルギー問題を抜本的に解決する新しい技術を開発することを志しました」

東京大学に進学して、半導体の研究を進めていた川崎GDは、大学院博士課程のときに研究テーマを切り替えた。「1986年に高温超伝導体が発見され、私もその研究を行うことにしました。高温超伝導体も強相関電子系の一種です。そのときから、強相関電子系の研究をずっと続けてきました」

超伝導は、物質を冷やしていくと、ある温度以下で電気抵抗を受けない超伝導電流が流れる現象だ。

1980年、電気抵抗を受けずに電流が流れる別の現象が発見された。極低温にした半導体に強い磁場をかけると、量子ホール効果により、試料の端に「エッジ電流」が流れることが分かったのだ。

パソコンなどの情報機器を使っていると、すぐに熱くなる。それは情報処理を行うときに電流が流れ、電気抵抗によって発熱するからだ。その発熱分のエネ

ルギーは無駄になっている。

電気抵抗を受けないエッジ電流を情報処理に使うことができれば、究極の省エネルギー技術となる。しかし、半導体にエッジ電流が流れるのは、0.01K（0K＝マイナス273.15℃）ほどの極低温に限られる。さらに、強い磁場を発生させるために大きなエネルギーが必要だ。極低温・強磁場がエッジ電流を実用化する際の障壁になっている。

#### ■ 室温・ゼロ磁場のエッジ電流で情報処理を行う

2007年、グラフェンと呼ばれる炭素の2次元シートでは、室温でエッジ電流が流れることが分かった（図2）。本来、電子は陽子の1,836分の1の質量があるが、そのエッジ電流で流れる電子は質量がほぼゼロの粒子として振る舞い、超高速で移動する。ただし、グラフェンにエッジ電流を流すには強い磁場が必要だ。

さらに2007年には、トポロジカル絶縁体と呼ばれる強相関電子系の物質にも、その表面には質量ゼロの電子が存在することが明らかになった。

「トポロジカル絶縁体でも半導体と同様に極低温で強い磁場をかける必要があります。2014年、私たちはトポロジカル絶縁体に磁性を持つ元素であるクロム（Cr）を混ぜた磁性トポロジカル絶縁体をつくり出すことで、磁場をかけないゼロ磁場でエッジ電流が存在することを明らかにしました（図3）。さらにその磁性トポロジカル絶縁体は、数十Kほどの温度でエッジ電流が流れる可能性が

あることも分かりました」

数十Kは、従来の0.01Kに比べて3桁も高い温度だ。「数十Kから室温までは、1桁しか違いません。室温・ゼロ磁場で質量ゼロの電子のエッジ電流が流れる、磁性トポロジカル絶縁体をつくり出せる可能性が十分にあります。それには不純物や結晶の欠陥がない磁性トポロジカル絶縁体を作製する技術が鍵になります」

川崎GDたちは、室温・ゼロ磁場を目指すとともに、エッジ電流を用いて情報処理を行う方法の研究を進めている。「2020年までには、トポロジカル絶縁体のエッジ電流を使ったメモリーや論理回路のデモンストレーションができるようにしたいですね」

#### ■ 新しいエネルギー革命を目指す

強相関電子系研究の第一人者であるCEMSの十倉好紀センター長は、「イノベーション“4”」を提唱し、その一つでも達成できれば、持続可能な社会に向けた新しいエネルギー革命が本格的に始まる、と述べている（本誌2013年6月号「特集」参照）。強相関太陽電池やトポロジカル絶縁体のエッジ電流を利用した情報処理は、イノベーション“4”を実現する有望な技術として期待されている。

川崎GDは、それらの基礎研究を進めるとともに、自ら生み出した技術を実用化するためにベンチャー企業にも携わっている。「新しい原理、新しい材料を生み出して社会に役立てると同時に、自分ももうける（笑）。それが目標です」

（取材・執筆：立山 晃/フォトンクリエイト）

脳には膨大な数の神経細胞があり、それらが互いにつながり合い、複雑な神経回路をつくっている。その神経回路を信号が巡り、情報処理されることで、さまざまな機能が生まれる。「神経回路は固定されたものではなく、生後の発達や環境に応じて変化します。神経回路がどのように変化することで情報の処理効率を変え、適切な機能を生み出しているのか、そのメカニズムの解明を目指しています」と脳科学総合研究センター（BSI）大脳皮質回路可塑性研究チームの津本忠治チームリーダー（TL）は言う。ターゲットは視覚だ。津本TLは、多数の神経細胞の活動を、種類を区別して同時に観察できる2光子励起カルシウムイメージング法を遺伝子改変動物に適用。2014年にはそれを駆使して、目覚めているときに感覚が鋭くなる神経回路の仕組みを明らかにした。

## 覚醒しているときに、なぜ感覚が鋭くなるのか？

### ■ 神経細胞の情報伝達

目から入った光の情報は、網膜にある視細胞が受け取り、電気信号に変換される。その電気信号が視神経を経て大脳の後頭葉にある視覚野に運ばれ、神経細胞が反応することで、明暗や色、形などが認識される。ヒトの脳全体には約

1000億個、大脳皮質には約150億個の神経細胞があり、複雑な神経回路を形成している。視覚野の神経回路がどのように動作することで情報を処理し、認識しているのか。そのメカニズムを明らかにすることが、津本TLの研究テーマだ。神経細胞はどのように情報を伝えている

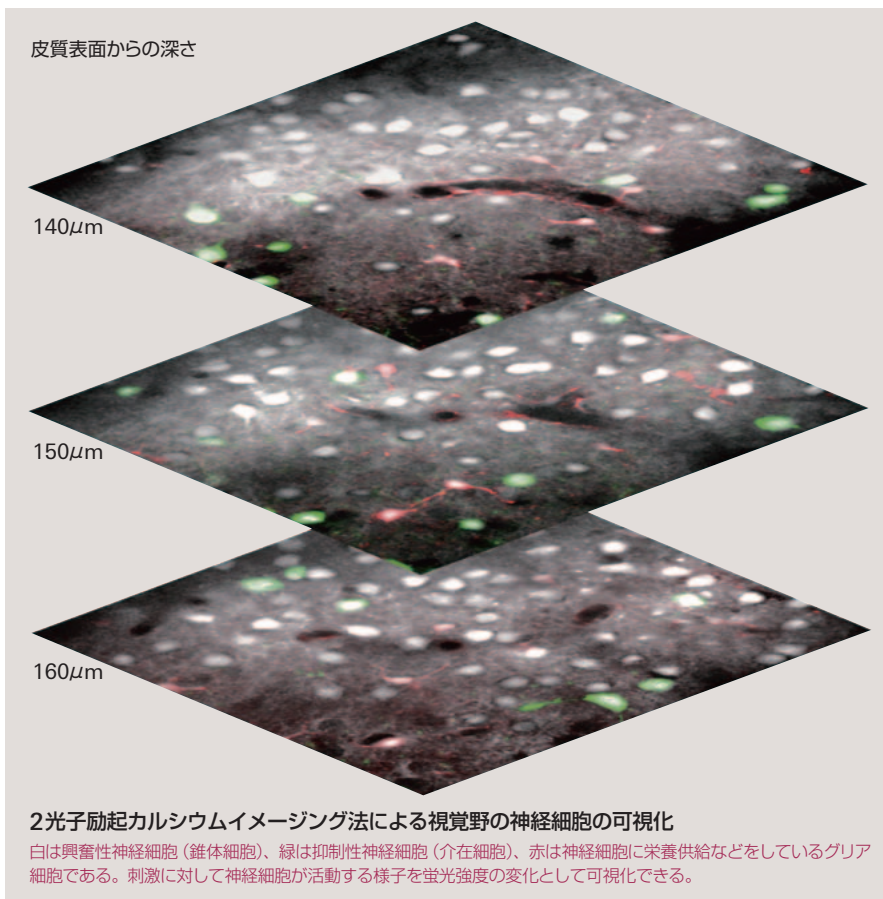
のだろうか。神経細胞は、核がある細胞体から長い軸索といくつにも分岐した短い樹状突起が出ていて、それらがほかの神経細胞とつながっている。樹状突起は情報を受け取る入力装置、軸索は情報を送る出力ケーブルだ。

情報は、軸索の中を電気信号として伝わる。しかし、シナプスと呼ばれる軸索の末端と次の神経細胞の細胞体や樹状突起との間には数万分の1mmほどの隙間があり、電気信号はそこを跳び越えることができない。シナプスまで電気信号が伝わると、神経伝達物質と呼ばれる化学物質が分泌される。その伝達物質が次の神経細胞の表面にある受容体に結合すると、電気信号が生じるのだ。

大脳皮質の神経細胞は、主に2種類だ。細胞体が錐体形で軸索が長い錐体細胞と、細胞体の多くが星のような形で軸索が短い介在細胞である。シナプスから放出する神経伝達物質も違う。錐体細胞はグルタミン酸を放出してほかの神経細胞を興奮させ、介在細胞はガンマアミノ酪酸（GABA）を放出してほかの神経細胞の興奮を抑制する。それ故、錐体細胞は興奮性神経細胞、介在細胞は抑制性神経細胞とも呼ばれている。

### ■ 多数の神経細胞の活動を同時に記録

脳の情報処理のメカニズムを解明するには、神経細胞の活動を調べる必要がある。1950年代から使われているのが、先端が非常に細い電極を脳に刺して神経細胞が活動したときの電位変化



**津本忠治** (つもと・ただはる)

脳科学総合研究センター  
大脳皮質回路可塑性研究チーム  
チームリーダー

1942年、富山県生まれ。医学博士。大阪大学医学部医学科卒業。同大学医学部助手、西ドイツ（当時）マックスプランク生物物理化学研究所研究員、金沢大学医学部助教授、米国カリフォルニア大学バークレー校客員研究員、大阪大学医学部教授などを経て、2005年より理研脳科学総合研究センターユニットリーダー。2009年より現職。2005～10年に日本神経科学学会会長を務める。



を記録する微小電極法だ。

「微小電極法は、脳科学の発展に大きく寄与してきました。しかし、1回に1個からせいぜい数個の神経細胞の活動しか記録できません。脳における情報処理は、多数の神経細胞から成る複雑な神経回路で行われています。数個の神経細胞の活動だけを調べても、情報処理のメカニズムはほとんど分かりません」と津本TLは指摘する。

「多数の神経細胞の活動を同時に、しかも細胞の種類を区別して調べること。それが、私たちの大きな目標でした。そして2007年、2光子励起カルシウムイメージング法を用いて、多数の神経細胞の活動を同時に、しかも興奮性と抑制性を区別して観察することに世界で初めて成功しました」(タイトル図)

「2光子励起カルシウムイメージング法を実験動物に応用するには、とても苦労しました」と津本TL。まず、抑制性神経細胞だけで緑色蛍光タンパク質(GFP)が発現するように遺伝子を改変したマウスに着目した。蛍光顕微鏡で観察すれば、抑制性神経細胞だけを可視化できる。しかし、神経細胞の活動は分からない。そこで、カルシウムイオン(Ca<sup>2+</sup>) 蛍光指示薬に注目。神経細胞が活動すると細胞内のCa<sup>2+</sup>濃度が上昇する。Ca<sup>2+</sup> 蛍光指示薬は、Ca<sup>2+</sup>と結合すると白色の蛍光を発するものだ。

「遺伝子改変マウスの脳内にCa<sup>2+</sup> 蛍光指示薬を注入して蛍光顕微鏡で観察すれば、抑制性は緑、興奮性は白と色分けして、それぞれの活動を蛍光強度の変化として可視化できると期待しまし

た。顕微鏡の視野に入る数百個の神経細胞を同時に観察できます。ところが、Ca<sup>2+</sup> 蛍光指示薬とGFPの蛍光同士が干渉してしまい、うまくいきませんでした。諦めずに試行錯誤を繰り返し、新しいCa<sup>2+</sup> 蛍光指示薬を使うことで、ようやく干渉の回避に成功したのです」

蛍光顕微鏡は2光子励起走査型を使う。従来の蛍光顕微鏡では、1個の蛍光分子が1個の光子を吸収して励起状態になって発する蛍光を捉える。2光子励起型では、1個の蛍光分子が2個の光子を同時に吸収して励起状態になる。励起光の波長は1光子励起の約2倍だ。波長が長いと散乱が少ないため励起光が深くまで届き、深部を高解像度で観察できる。焦点位置を徐々に深くしていけば、立体的なイメージングも可能だ。

津本TLは早速、2光子励起カルシウムイメージング法を用いて視覚野の神経細胞の活動を調べた。具体的には、麻酔をかけたマウスの眼前にディスプレイを置いて、さまざまな傾きのしま模様の画像を映し、神経細胞の活動を観察した。麻酔状態では意識はないが、目を開いていれば光の情報が視覚野に伝わり、神経細胞は活動する。視覚刺激にさまざまな傾きのしま模様を使ったのは、視覚野の神経細胞には方位選択性といって特定の傾きの輪郭にしか反応しない性質があることが知られているからだ。

実験の結果、興奮性神経細胞は特定の傾きのしま模様だけに強く反応した。一方、抑制性神経細胞は、どの傾きのしま模様に対してもほぼ一様に反応した。つまり、興奮性神経細胞は方位選

択性が非常に強いが、抑制性神経細胞は方位選択性を持たず、反応に大きな違いがあることが明らかになった。

**■ 覚醒によって神経細胞の反応が変化**

津本TLらは最近、2光子励起カルシウムイメージング法を用いて新たな実験を行った。「物の見え方は、目覚めていて意識があるかどうかや、特定の対象に注意を払っているかどうかによっても変わります。覚醒しているときや注意を払っているときは、感覚が鋭敏になります。覚醒や注意によって神経回路の情報処理機能が変わるのでしょうか。変わるとすれば、どのように変わるのでしょうか。まず覚醒で感覚が鋭敏になる仕組みを明らかにすることを目指しました」

抑制性神経細胞だけでGFPが発現する遺伝子改変ラットの脳内にCa<sup>2+</sup> 蛍光指示薬を注入し、麻酔をかけておく。そして、ラットの眼前のディスプレイにしま模様の画像を映し、意識がない麻酔状態から麻酔が切れて意識がある覚醒状態に移るときに、視覚刺激に対する神経細胞の反応がどう変わるかを観察した(図1左)。覚醒したかどうかは、脳波で判定できる。

実験の結果、覚醒すると抑制性神経細胞の反応が大きくなることが分かった。興奮性神経細胞は一見すると変化がないようだが、詳細に解析すると、反応の大きさは変わらないが反応の減衰が速くなることが明らかになった(図1右)。「覚醒によって、抑制性神経細胞と興奮性神経細胞の反応が変わることが分か

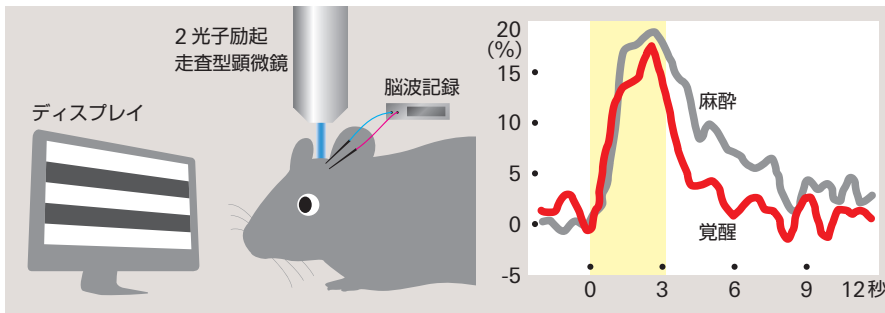


図1 覚醒時の視覚刺激による興奮性神経細胞の反応

左は、2光子励起カルシウムイメージング法の実験の模式図。眼前のディスプレイに映ったしま模様をさまざまな方向に動く。右は、視覚刺激に対する興奮性神経細胞の反応。麻酔状態から覚醒状態に移ると、興奮性神経細胞は反応の減衰が速くなる。黄色の部分は視覚刺激を与えた時間で、縦軸は反応の強さを示す。

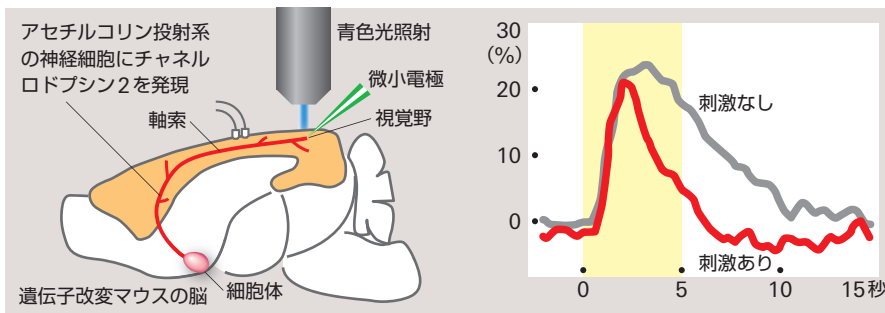


図2 アセチルコリン投射系刺激による興奮性神経細胞の反応

左は、光遺伝学を用いた実験の模式図。麻酔状態にある遺伝子改変マウスの脳に青色光を照射してチャンネルロドプシン2が発現しているアセチルコリン投射系の神経細胞だけを活性化。右は、微小電極を用いて記録した興奮性神経細胞の反応。アセチルコリン投射系を刺激すると、興奮性神経細胞は反応の減衰が速くなる。

りました。では、どのような仕組みで反応が変わるのだろうか。それを明らかにするため、別の実験を行いました」

### ■ 光遺伝学で神経細胞の活動を制御

津本TLが目にしたのは、アセチルコリンという神経伝達物質を放出する神経細胞である。その細胞体は前脳基底核にあり、大脳皮質のさまざまな場所に長い軸索を伸ばしていることからアセチルコリン投射系と呼ばれている。「覚醒による脳機能の変化にはアセチルコリンの放出が関わっているのではないかとわれていたのですが、詳細は不明でした。そこで、アセチルコリン投射系を刺激すると視覚野の神経細胞の反応がどのように変わるかを調べてみることにしました。問題は、どのようにアセチルコリン投射系を刺激するかでした」

前脳基底核は脳の深い位置にある。電極を刺して電流を流す方法もあるが、ほかの神経細胞も刺激してしまうため、アセチルコリンと覚醒との関連が分からなくなってしまう。その問題を解決したのが、遺伝子工学と光の技術を融合し

た光遺伝学である。

まず、アセチルコリン投射系の神経細胞だけでチャンネルロドプシン2というタンパク質が発現するように、マウスの遺伝子を改変する。その脳に青色光を照射すると、チャンネルロドプシン2のチャンネルが開いてイオンが移動し、その神経細胞だけが活性化。しかもチャンネルロドプシン2は細胞体だけでなく、大脳皮質に伸びた軸索にも発現しているため、光を脳の表面に照射すれば神経細胞を活性化できる(図2左)。チャンネルロドプシン2の代わりにハロロドプシンを発現させて黄色光を照射すれば、その神経細胞だけの活動を抑制できる。神経細胞の活動を容易に制御できる光遺伝学は、神経回路の機能解析に役立つことから近年、大変注目されている。

### ■ 覚醒で感覚が鋭敏になる仕組み

津本TLは、麻酔をかけた遺伝子改変マウスの脳に青色光を照射してアセチルコリン投射系を活性化し、視覚野の神経細胞の活動の変化を調べた。「抑制性

細胞は反応が大きくなり、興奮性細胞は反応の大きさは変わらず減衰が速くなりました(図2右)。麻酔状態から覚醒状態に移ったときの变化と同じです。これは、覚醒による脳機能の変化にはアセチルコリン投射系が関与していることを明確に示す初めての証拠です」

さらに脳を薄く切り出して詳しく調べ、覚醒時の視覚刺激に対する神経回路が明らかになった(図3)。覚醒時には、前脳基底核のアセチルコリン投射系が活性化し、抑制性神経細胞の視覚刺激に対する反応を増大させる。その結果、興奮性神経細胞の反応が抑制される。ただし、抑制性神経細胞による興奮性神経細胞の抑制は時間遅れで働くため、興奮性神経細胞の反応の大きさは変わらず減衰のみが速くなるのだ。

「アセチルコリン投射系は抑制性と興奮性、両方の神経細胞を活性化すると考えていたので、この結果は驚きでした。しかしよく考えると、興奮性神経細胞の反応の減衰が速くなるというのは、感覚の鋭敏化にとって理にかなっています。神経細胞は反応しているときに次の刺激が来ても、反応できません。反応が速く減衰することで、次に来る刺激に反応しやすくなり、感覚が鋭敏になるのです」

今回の成果は、覚醒によって活性化される感覚を鋭敏にする回路が存在すること、そしてその回路の仕組みを明らかにした画期的なものだ。「今後は、注意を払うことによっても同じ感覚鋭敏化回路が働くのかを明らかにしていきます。覚醒は麻酔で制御できますが、注



#### 関連情報

- 2014年7月23日プレスリリース  
「覚醒や注意が感覚を鋭くする脳回路を解明」
- 2010年1月27日プレスリリース  
「脳発達の「臨界期」が終了した後も変化する神経細胞群を発見」
- 2007年2月21日プレスリリース  
「動きの異なる脳細胞の活動を色分けして観察することに成功」

意を払っているかどうかは制御が難しく、実験方法を検討しているところです」

### ■ 可塑性のメカニズムに迫る

「神経回路は固定されたものではありません。環境に応じて神経回路が変化することで、処理効率を調整しているのです。神経回路の変化は、特に生後の発達期に顕著に見られます。今回は詳しく紹介しませんが、臨界期の可塑性のメカニズムについても研究を進めています」

生後、神経回路が集中的につくられた

り回路の再構成が起きたりする時期があり、臨界期と呼ばれている。例えば、生後初期に片目を一時的にふさいでみると、視覚野の神経細胞がその目から入った光刺激に反応しなくなることが、ネコやマウスの実験で知られている。そのように神経細胞の反応が変化する性質は可塑性と呼ばれ、可塑性は臨界期を過ぎると失われると考えられてきた。津本TLはマウスで片目をふさぐ実験を行い、興奮性神経細胞は臨界期を過ぎると可塑性をほとんど失うが、抑制性神経細胞は臨界期を過ぎても可塑性を保持し

ていることを明らかにした。臨界期についての常識を覆す成果である。「2種類の神経細胞の違いを追究することで、可塑性のメカニズムを解明しようとしています」と津本TL。「可塑性や感覚の鋭敏化、方位選択性などを生み出しているのは、主に抑制性神経細胞だと考えています。視覚野の神経細胞は約80%が興奮性で、抑制性は約20%しかありません。少ない数で情報処理を制御する仕組みをぜひ明らかにしたいですね」

津本TLは「新しい技術がないと新しい発見はない」との考えから、これまでも最先端の技術を取り入れたり、組み合わせたりして、視覚神経回路の解明を進めてきた。さらなる解明のためには、どのような技術が必要なのだろうか。

「抑制性神経細胞は、数種類あります。それを区別して観察したいですね。また、光遺伝学はますます重要になるでしょう。光の照射によってチャネルロドプシン2を発現している不特定多数の神経細胞が活性化されてしまいますが、1個あるいは狙った数の神経細胞だけを活性化できるようにしたい。さらに、脳を露出させたり体を傷つけることなく神経細胞を活性化できる技術も必要です」

視覚神経回路の情報処理メカニズムを解明できる日は来るのだろうか。津本TLは即答した。「BSI、そして理研には、蛍光タンパク質、遺伝子改変、レーザーなどさまざまな技術の専門家がありますし、最先端の装置もあります。その環境を活かせば、遠くない将来、視覚神経回路をひもとくことは可能でしょう」

(取材・執筆：鈴木志乃/フォトンクリエイト)

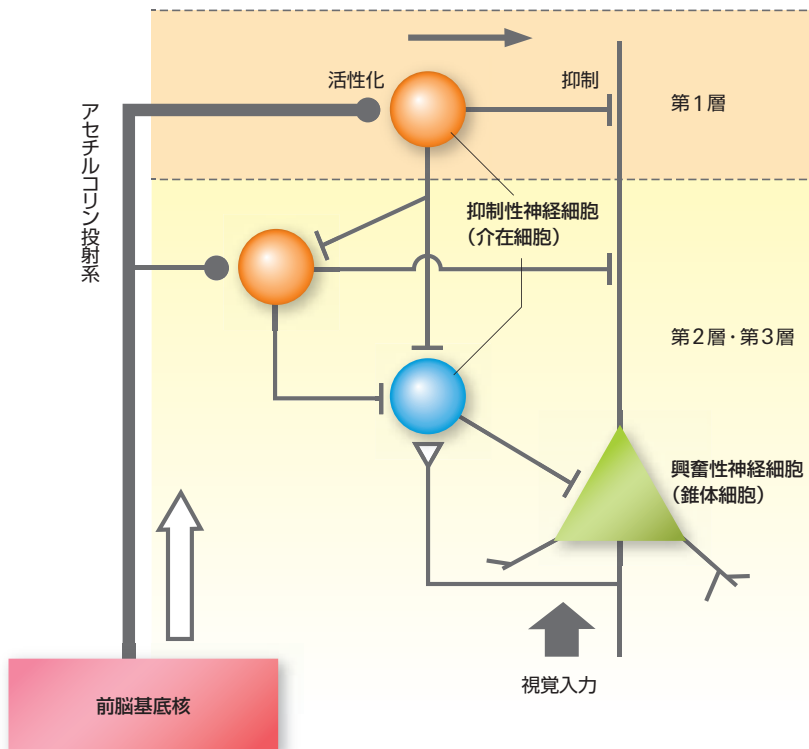


図3 覚醒による視覚反応の鋭敏化とその神経回路

覚醒によって前脳基底核のアセチルコリン投射系が活性化される。放出されたアセチルコリンが主に視覚野の大脳皮質第1層の抑制性神経細胞を活性化する。活性化した抑制性神経細胞は、興奮性神経細胞の視覚入力に対する反応を抑制する。興奮性神経細胞を抑制する回路は時間遅れで働くため、興奮性神経細胞の反応の大きさは変わらず、減衰が速くなる。反応の減衰が速くなると次の刺激に反応しやすくなり、感覚が鋭敏化する。

現在、西アフリカで流行している

エボラ出血熱の感染拡大を世界中が懸念している。

そのような感染症に立ち向かい、日本と世界の安全を守るために、

文部科学省の主導により「感染症研究国際ネットワーク推進プログラム (J-GRID)」が進められ、

理研の新興・再興感染症研究ネットワーク推進センター (CRNID) が支援を行ってきた。

アジアやアフリカに日本の研究者が常駐して、相手国の研究者と共同研究を進めてきたJ-GRIDの

これまでの成果と今後への提言を、CRNIDの永井美之センター長に聞いた。

# 国際連携による質の高い研究で 感染症に立ち向かう

## ■ 感染症に国境なし、感染症研究に国境あり

— J-GRIDは2005年度にスタートしました。

**永井:** その背景の一つに新型肺炎SARSの教訓がありました。2002年11月に最初の患者さんが報告されたSARSは、8ヶ月間で29ヶ国・地域に感染が拡大しました(2003年9月26日時点)。

国	発足年	カウンターパート	日本側
タイ	2005	国立予防衛生研究所	大阪大学
	2011	マヒドン大学熱帯医学部	
	2005	国立家畜衛生研究所	
ベトナム	2005	国立衛生疫学研究所	長崎大学
		バックマイ病院など	国立国際医療研究センター
中国	2005	中国科学院 生物物理研究所	東京大学
		中国科学院 微生物研究所	
		中国農業科学院 ハルビン獣医研究所	
	2005	*	北海道大学
ザンビア	2007	ザンビア大学 サモラ・マシエル獣医学部	
インド	2007	国立コレラおよび腸管感染症研究所	岡山大学
インドネシア	2007	アイルランガ大学熱帯病研究所	神戸大学
フィリピン	2008	熱帯医学研究所	東北大学
ガーナ	2008	ガーナ大学 野口記念医学研究所	東京医科歯科大学
日本	2005	理化学研究所 新興・再興感染症研究ネットワーク推進センター (CRNID)	
アソシエイトメンバー			
ケニア	2011	ケニア医科学研究所	長崎大学
ミャンマー	2011	ミャンマー国立保健研究所	新潟大学

\*北海道大学は世界各地での試料収集と解析の実績を踏まえて、当初(2005年)は特定の海外拠点を持たないで発足した。

### 図1 感染症研究国際ネットワーク推進プログラムの研究拠点

第1期(2005~09年度)は「新興・再興感染症研究拠点形成プログラム」(感染症研究ネットワーク支援センター)、第2期(2010~14年度)は「感染症研究国際ネットワーク推進プログラム」(新興・再興感染症研究ネットワーク推進センター)。

グローバル化が進む現代では、感染症に国境はありません。しかし、感染症研究には国境があります。新型肺炎SARSの感染が拡大したとき、患者さんの情報や病原体サンプルの入手が難しく、対策を立てることが困難でした。日本は科学的な貢献もできませんでした。

そこで、感染症が流行しているアジアやアフリカに研究拠点を設け、日本の研究者が常駐して相手国の研究者と長期にわたる共同研究を進め、相互理解を築く。そして、相手国で新たな感染症が広がり始めたときには、すぐにその病原体のサンプルを相手国と共有して高度な解析を行い、それをもとに対策を講じる。そのような目的でJ-GRIDは始まりました。

ほぼゼロから研究拠点を築いていく必要がありました。センター長就任当初(2005年)は、日本の研究者が常駐することが果たして可能なのかと、大変困難でリスクの高い事業であると思いました。しかし、現在までに、8ヶ国13ヶ所の研究拠点に加え、2ヶ国2ヶ所のアソシエイトメンバーから成るネットワークが形成され、活動しています(図1・図2)。

J-GRIDの目標として私は、相手国、日本、世界の感染症対策に資する、①質の高い研究、②技術革新、③人材育成、そして④有事の際の機敏な対応、⑤成果の社会還元を掲げました。

お手本にしたのは、オックスフォード大学(英国)の熱帯医学ネットワーク(NW)やパスツール研究所(フランス)の国際研究NWです。それぞれ40年、120年以上の歴史があります。

このような国際連携は継続性が重要です。第1期(2005~09年度)の事後評価委員会からは、「かつてないプラットフォームができた。科学技術外交のお手本、長期にわたり実施すべき」という評価を頂きました。実際に、このプログラムを長期に継続させるためには、第2期(2010~14年度)で研究活動を最大化させ、J-GRIDの存在意義を証明する必要があると考えまし

図2 J-GRIDの活動例



コウモリに潜むウイルスの探索(ザンビア)



デング熱を媒介する蚊のボウフラの採取(ベトナム)

た。そこで、私はプログラムディレクターとして、2人のプログラムオフィサーと共に、「質の高い研究」を目指し、各拠点と激しい膝詰め談判（ヒアリング）を行い、「選択と集中」に努めました。さらに、2人のオフィサーは世界を飛び回って現地実情把握に努め、きめ細かなアドバイスをしました。

### ■ 狩りをするならサバンナへ、養殖物より天然物

——第2期では、どのような成果が挙げられましたか。

**永井：**海外拠点発の論文数が飛躍的に増えました（図3）。顕著な実例をいくつか挙げましょう。

タイにはブタの肉や血液などの生食の習慣があります。そのため致死率10%を超えるブタ連鎖球菌に感染する人が多く、大問題になっています。大阪大学のタイ拠点ではブタ連鎖球菌の病原性や分子疫学の研究結果をタイ側に報告しました。それらが科学的根拠となり、タイ政府は2012年から“ブタの生食をやめよう”というキャンペーンを実施し、感染者数、死亡者数とともに劇的に減ってきました。大阪大学拠点の大石和徳 主任研究員（現 国立感染症研究所）はキャンペーン開始時にタイ保健大臣から表彰されました。

私が最もオリジナリティーが高いと評価するのが、東北大学のフィリピン拠点での研究です。エンテロウイルス68（EV68）が、小児の重症呼吸器感染症を引き起こす病原体の一つであることを発見しました。それまで、EV68はまったく注目されませんでした。フィリピンのタクロバンなど数地区で重症呼吸器感染症の患者さんから病原体サンプルを集めて分析し、EV68の関与を発見したのです。

米国のペンシルベニア州やジョージア州、アリゾナ州、日本やオランダでも、このウイルスが重症呼吸器感染症を引き起こしていることが明らかにされました。2014年の夏から秋にかけては米国全土で爆発的に広がっています。フィリピン拠点の発見を糸口に、いまやEV68は無視できない存在として広く認識されています。

この研究を2011年に発表した論文の筆頭著者は、東北大学の大学院生である今村忠嗣さんです。彼はEV68の遺伝子解析やEV68が侵入する際の宿主側の受容体を決定するなど研究をさらに進め、2014年に東北大学総長賞を受賞しました。

これらの研究は、日本には絶対にはできません。感染症研究に当たっては、事の起こっている現場に踏み込むことで初めて「知」が生まれるのです。「狩りをするなら、サバンナへ」です。あるいは、研究室で冷凍保存されてきた「養殖物」ではなく現場の「天然物」へアクセスできるかどうか重要なのです。

### ■ 信頼関係を築き有事に備える技術革新

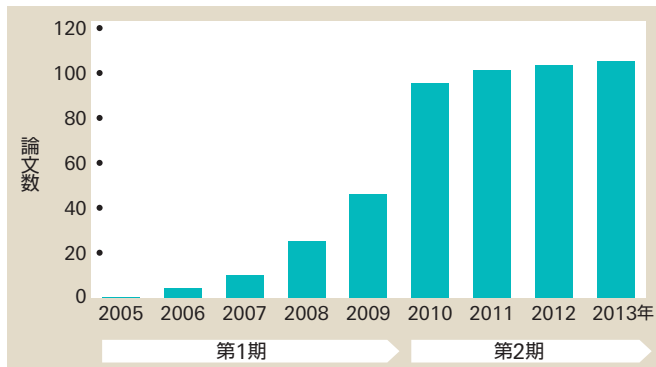
——人材育成でも成果が出ているのですね。技術革新の面ではいかがでしょうか。

**永井：**感染症が疑われる原因不明の疾患が発生したとき、大阪大学にある病原体迅速同定システム（RAPID）を、J-GRIDの各拠点が利用できる体制を築きました。RAPIDの開発は当初、CRNIDのコーディネートのもと、大阪大学と理研の共同研究として始まりました。患者サンプルから抽出した全遺伝情報を次世代シーケンサーで解析して、病原体データベースと照合して病原体の種類を絞り込みます。いわゆるメタゲノム解析手法です。

2012年春、ベトナムのある地域で原因不明の皮膚炎が発生し、新しい感染症の出現かと、緊張が走りました。ベトナムには長崎大学の拠点があり、RAPIDのことを知ったベトナム側から患者の血清と病変皮膚サンプルが大阪大学に送られ、病原体を調べてほしいと要請がありました。このような有事の際に患者試料を外国の機関に渡すのは、よほどのことがない限りあり得ないことです。ベトナム側の長崎大学とJ-GRIDへの信頼があったからこそです。結局、この皮膚炎は感染症ではなく化学物質が原因らしいことが分かりましたが、このケースは有事の際の予行演習のようになりました。

2014年は日本でもデング熱が発生しましたが、それとよく似た蚊媒介感染症の一つにチクングニア（CHIK）熱があり、東南アジアやアフリカで大流行しています。タイにある大阪大学マヒドン大学拠点の岡林環樹さんたちは、イムノクロマトという手法によるCHIKウイルス（CHIKV）の迅速検出キットを開発しました。このキットは、J-GRIDのタイ、インドネシア拠点に加えて、パストゥール研究所NWのラオスとセネガル拠点で「十分使い物になる」との評価を得ました。デング熱と同様に、CHIK熱も日本への上陸は時間の問題ですから、このキットは

図3 J-GRIDからの発表論文数年次推移



日本でも有用なものとなるでしょう。

またタイ拠点では、日本の栄研化学㈱が開発したLAMP法という簡易かつ迅速な遺伝子診断技術をコレラ流行現場に導入し、コレラ対策に絶大な威力を発揮しています。タイ保健当局から大変感謝され、その功績により岡田和久研究員はタイ王女から表彰されました。

こうして技術革新という面でも顕著な進展がありました。

### ■ 情報の発信と交流を図る

——各拠点間の情報の共有や交流も図ってきましたね。

**永井**：原則として年1回、「アジア-アフリカ新興・再興感染症リサーチ・フォーラム」を開催しています。J-GRIDの各研究拠点の相手国と日本側の研究者が一堂に会し、その年の研究成果を発表して議論するとともに、経験や情報を交換し合ったり新しい共同研究の相談をします。年々参加者が増え、2014年は250名を超える研究者が集まる盛大な新興・再興感染症の国際学会に成長しました。

また、J-GRIDはパスツール研究所NWとの交流も進めており、ジョイントシンポジウム開催のほかに、先ほど紹介したようにCHIKV診断キットの評価に発展しています。

一般の人たちに向けた情報発信も行ってきました。例えば、タイやベトナムなどの拠点では、在留邦人の方々に、その国の感染症の状況や感染から身を守る方法について情報提供する活動を続けています。日本国内ではCRNIDがタイムリーな企画で随時、市民公開講演会を開いています。例えば「感染症を媒介する蚊」（2013年2月）は今年のデング熱上陸で現実のものとなり、「エボラ出血熱など今話題の感染症」（2014年8月）は開始30分前に会場が満員になりました。

### ■ 新興・再興感染症制御プロジェクトへ

——第2期は今年度で終了します。

**永井**：第2期の事後評価委員会から、「第1期で設置した海外研究拠点を活用して目覚ましい成果を挙げ、国内外の感染症研究に大きく貢献している」という評価を頂きました。CRNIDの活動にもほぼ満点の評価を頂きました。第2期では研究活動も啓発活動も本格化したことが明らかです。しかし、成果

はまだまだ初歩的で全世界へのインパクトという点では物足りません。スケール感のある団体戦を組織できるリーダーを必要としています。

——今後の体制はどのようになりますか。

**永井**：J-GRIDおよびCRNIDは、2015年4月に設立される予定の新しい独立行政法人「日本医療研究開発機構」に移り、国立感染症研究所などと連携して同機構の9課題の一つ、「新興・再興感染症制御プロジェクト」（図4）を進める中心的プレーヤーに位置づけられる見込みです。

このプロジェクトは、感染症研究を推進するとともに、その成果を治療薬・診断薬・ワクチンの開発などにつなげていくことで、感染症対策の強化を目指しています。具体的な研究テーマとしては、インフルエンザ、デング熱、薬剤耐性菌、感染性下痢症の4つが重点課題として掲げられています。

第2期では拠点間の連携研究として、先ほど紹介したRAPIDの活用とともに、デング熱のような蚊媒介性感染症、下痢症、結核菌に関する研究を進めてきました。私は今年度で任期を終えますが、新興・再興感染症制御プロジェクトでは、そのような拠点間連携研究を格段に強化し、インパクトある団体戦を勝ち抜くこと、さらに個人戦においても優れた発想のもとに時代を画す成果を挙げてほしいと考えています。

また、治療薬・診断薬・ワクチンの開発は、最初から相手国と一緒に進め、倫理面のトラブルや知的財産の争いが生じないようにすることが大事だと思います。感染症の治療薬やワクチンを開発して、その効果や安全性を確かめるには、流行地域での住民と患者さんなどの協力が必須です。また、治療薬やワクチンが完成しても、やがて多くの治療薬には薬剤耐性体が現れ、ワクチンも効かなくなるといったことが起きます。ですから、アジアやアフリカでの感染症の監視を、相手国との信頼関係を維持しながら続けていく必要があります。これまでと変わらず質の高い基礎研究を行うことを前提に、治療薬やワクチンなどの開発を進めていくことが重要です。質の高い基礎研究からしか、社会に役立つ成果は生まれません。

### ■ 造物主からの贈り物「センダイウイルス」

——永井センター長ご自身は、センダイウイルス（SeV）などの研

**永井美之** (ながい・よしゆき)

新興・再興感染症研究  
ネットワーク推進センター  
センター長

1939年、岐阜県生まれ。医学博士。名古屋大学大学院医学研究科博士課程単位取得。名古屋大学医学部附属病態制御研究施設 教授、東京大学医科学研究所 教授、国立感染症研究所エイズ研究センター長、富山県衛生研究所長などを経て、2005年より現職。東京大学・名古屋大学名誉教授。



究で紫綬褒章や日本学士院賞を受けられるなど、大きな成果を挙げてくれました。

**永井**：SeVは1950年代に東北大学で発見されました。多くのウイルスには「アクセサリー遺伝子」と呼ばれる遺伝子群があります。それは、「削除しても感染性は完全には破壊されないもの」と定義されていました。その機能は、アクセサリー遺伝子を削除したウイルスと元のウイルスを、細胞レベル、個体レベルで比べることにより明らかになります。私はそれらの遺伝子群が発現しないように遺伝子改変したSeVの変異体の作製に成功し、「アクセサリー」の定義を満たすこと、その機能は宿主(マウス)の自然免疫に対抗するために必須であることを突き止め、「ウイルスアクセサリー遺伝子vs.自然免疫」という新しい学問領域を拓くことができました。

そのような研究で培った遺伝子改変技術をもとに、SeVをベクター(遺伝子の運び屋)として利用する技術の開発を始めました。このウイルスに外来の遺伝子を組み込むと、感染した宿主の体内で効率よく発現して多量のタンパク質をつくり出します。気道での発現量は既存のウイルスベクターよりも数千倍から1万倍に達します。また、SeVは感染した宿主の遺伝子に挿入されることはなく発がんなどの恐れは原理的にないこと、元来、ヒトへの病原性がないなど、安全性に優れています。

私が開発したSeVベクター技術は、バイオベンチャーのディナバック(株)に移転され、大きく発展しました。

——現在、SeVベクターを用いたエイズワクチンの開発が進んでいるそうですね。

**永井**：SeVベクターを使ってエイズウイルス由来のタンパク質をヒトの体内で発現させ、エイズウイルスに対する免疫反応を誘導する方法です。2013年に、アフリカのルワンダとケニア、英国において安全性試験(フェーズI)が始まりました。今のところ特段の有害事象は見られません。

九州大学では、下肢の末梢動脈疾患である重症虚血肢という血行障害を、あるタンパク質を発現させることで、血管を新生させ治療する臨床試験(フェーズI/IIa)が終了しました。こちらも特段の有害事象はなく、かなりの治療効果も期待できるという結果となりました。

さらにSeVベクターを用いてiPS細胞(人工多能性幹細胞)を生成する研究も進んでいます。生成効率が良く、導入した遺伝子(リプログラミング因子)がベクターともども消去できるという特長があるため、欧米や日本で広く利用され始めました。

応用範囲が広く、しかも効率が良い、ヒトへの病原性がないということは、うれしい想定外です。SeVは天からの有り難い贈り物に思えてきます。2014年1月には『SeVベクター：利点と応用』を編集し、名門出版社Springerから出版されました。しかし、いずれの応用も、今後、大規模な臨床試験をクリアしなければならず、その資金調達が最大の課題です。

**■ 問題意識とアイデアを研ぎ澄ます**

——質の高い研究を実現するには何が必要ですか。

**永井**：40年余りの研究生活を通して、アイデアは次から次へと湧いてきますが、冷静に考えると、その多くがやらなくてもいいことです。“何をやるか”ではなく“何はやらないでおくか”という「引き算的思考」を経て、問題意識、アイデアを研ぎ澄ましていくことが大事だと思えるようになりました。こうした個人レベルでの絞り込みを踏まえた上で、スケール感ある団体戦も成り立つと思います。

継続は力なり、です。一方で、伝統は革新の積み重ねである、ともいわれます。ようかん・和菓子の老舗「とらや」の第17代当主、黒川光博さんの言葉だそうです。日本医療研究開発機構という新しい枠組みの中で、新興・再興感染症制御プロジェクトが革新を積み重ねて発展することを期待しています。

1. オールジャパンでの医薬品創出
2. オールジャパンでの医療機器開発
3. 革新的医療技術創出拠点プロジェクト
4. 再生医療の実現化ハイウェイ
5. 疾病克服に向けたゲノム医療実現化プロジェクト
6. ジャパン・キャンサーリサーチ・プロジェクト
7. 脳とこころの健康大国実現プロジェクト
8. 新興・再興感染症制御プロジェクト
9. 難病克服プロジェクト

図4 日本医療研究開発機構の9課題

(取材・構成：立山 晃/フォトンクリエイト)

## スーパーコンピュータ用の プログラミング言語を開発する研究者

計算科学研究機構 (AICS) プログラミング環境研究チームの

中尾昌広 特別研究員 (以下、研究員) は、並列プログラミング言語

「XcalableMP」の開発に取り組んでいる。気象や地震などの

シミュレーションを計算機で実行するには、どんな計算を

どの順番で行うかを記述した命令書、プログラムが必要である。

特に『京』のような超並列計算機では、命令を数万個のプロセッサに

分けて同時に計算するため、プロセッサ間のデータのやりとりも

記述する必要があり、プログラムはとても複雑になる。XcalableMPを

使うと、複雑になってしまうプログラムを簡単に記述でき、

かつ計算機の性能も十分引き出すことができる (図)。XcalableMPは

2013年、並列プログラミング言語の世界的なコンテストである

「HPCチャレンジ賞クラス2」の最優秀賞を日本で初めて受賞。

「デザインを追求し、それを形にすることが楽しい」

と語る中尾研究員。その素顔に迫る。



### 中尾昌広

計算科学研究機構  
プログラミング環境研究チーム  
特別研究員

なかお・まさひろ

1980年、大阪府生まれ。博士 (工学)。  
同志社大学大学院工学研究科知識工学  
専攻博士前期課程修了。NTTアドバ  
ンステクノロジ(株)入社。同志社大学大  
学院工学研究科知識工学専攻博士後期  
課程修了。筑波大学計算科学研究セン  
ター研究員を経て、2013年より現職。

「高校時代は文系で、図書館に通って月に50冊は本を読ん  
でいました。どのジャンルも好きですが、そのころは推理小  
説に夢中でした」と中尾研究員。しかし文系科目より理系科  
目の方が得意で、また当時本格的に普及し始めたパソコンな  
どの情報機器に将来性を感じ、同志社大学工学部の知識工  
学科に進学。研究者になろうと思った最初の契機は学部2回  
生のときだ。「課題レポートの作成がとても楽しかったのです。  
高校までの授業は知識を学ぶだけで楽しくありませんでした  
が、自分で考えて問題を解決することがどんどん楽しくなっ  
ていきました」

次の契機は修士1回生のときだ。開発費の支援を受けられ  
る情報処理推進機構の未踏ソフトウェア創造事業に応募し、  
採択された。「参加者は研究者や博士課程の学生が多く、そ  
の方々との交流は刺激的で、研究を続けたくまりました」。そ  
のまま博士課程に進むことも考えたが、工学のように社会と  
密接に関わる分野では社会人経験がある方が良い研究ができ  
ると思い、修士課程修了後エンジニアとして企業に就職した。

偶然出身大学の近くに出向することになり、研究室に定期

従来の並列プログラミング言語

```
int array[MAX];
main(int argc, char **argv){
  MPI_Init(&argc, &argv);
  MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &rank);
  MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &size);
  dx = MAX/size;
  llimit = rank * dx;
  if(rank != (size-1)) ulimit = llimit + dx;
  else ulimit = MAX;
  temp_res = 0;
  for(i=llimit; i < ulimit; i++){
    array[i] = func(i);
    temp_res += array[i];
  }
  MPI_Allreduce(&temp_res, &res, 1,
  MPI_Finalize();
}
```

コードが難しくて  
メンテナンスしにくい……

XcalableMP

```
int array[MAX];
#pragma xmp template t(0:MAX-1)
#pragma xmp nodes p(*)
#pragma xmp distribute t(block) onto p
#pragma xmp align array[1] with t(1)
main(){
  #pragma xmp loop on t(1) reduction (+res)
  for(i = 0; i < MAX; i++){
    array[i] = func(i);
    res += array[i];
  }
}
```

簡単に書いて  
読みやすい!!

図 スーパーコンピュータ用並列プログラミング言語「XcalableMP」

的に顔を出していた。そして2年後、機が熟し、博士課程に  
進学。人工知能的な手法を用いてタンパク質の立体構造を  
予測する研究を行った。その後、筑波大学計算科学研究セ  
ンターの研究員となり、当時まだプロトタイプだった  
XcalableMPの開発に参加。「それまでの研究内容とはまったく  
違います。しかし、大学院でも研究のスピードを上げるた  
めにパソコン同士をネットワークケーブルで接続した並列計  
算機を自作して並列プログラムを動かしていたので、自分の  
経験を活かしつつ新しいことに挑戦できる良い機会でした」

2013年に理研AICSへ籍を移し、XcalableMPの開発を続  
けている。「プログラムの書きやすさと計算性能の両立を目指  
しています。そのためには、計算機の複雑な動作を単に隠す  
のではなく、計算機がどのように動作するのかを直感的に理解  
しやすく情報を整理してプログラムを書けるように、言語を  
デザインすることが大切だと考えています」。デザインには以  
前から関心があり、XcalableMPのホームページ (<http://xcalablemp.org>, <http://omni-compiler.org>) や発表で用いるス  
ライドやポスターの作成でも分かりやすいデザインを心掛け  
ているという。「物語の構成が優れている本が特に好きでし  
た。適切なタイミングで必要な情報を分かりやすく読み手に  
提示するという点は、今の研究に通じるものがあります」

中尾研究員には目標が二つある。「AICSには私のような計  
算機を研究する計算機科学者と、計算機を使ってシミュレー  
ションなどを行う計算科学者がいます。双方の力を合わせる  
ことで、より有益な成果を出すことができます。計算機科学  
に軸足を置きつつ計算科学の研究にも貢献したい、というの  
が一つです。また研究の多くは税金で行っているため、私た  
ちには得られた成果を一般の方に伝える責任があります。研  
究成果を正確に分かりやすく伝える活動もしていきたいです」

現在、「京」の後継機の開発が進められている。中尾研究員  
は「XcalableMPを進化させて、後継機でも使えるプログラミ  
ング言語を開発したい」と意気込む。「人工知能の研究で得た  
知見を応用することで、さらに高性能なプログラミング言語  
を開発できるのではないかと考えています」

(取材・執筆：鈴木志乃/フotonクリエイト)

## 新理事に有信睦弘氏

2014年10月24日、有信睦弘氏が理事に就任しました。当研究所の発展に尽力された米倉 実氏は2014年10月23日をもって退任しました。



### 有信睦弘 (ありのぶ・むつひろ)

1947年、岡山県生まれ。1976年3月、東京大学大学院工学系研究科博士課程修了、博士（工学）。1976年4月、東京芝浦電気株式会社（現 株式会社東芝）採用。同社執行役常務（研究開発センター所長、経営監査部長）、顧問などを歴任。2009年4月、横浜国立大学理事。2010年4月より東京大学監事。

## 統合生命医科学研究センター長に小安重夫氏

2014年10月10日、統合生命医科学研究センター長に、同センターのセンター長代行を務める小安重夫氏が就任しました。



### 小安重夫 (こやす・しげお)

1955年、東京都生まれ。東京大学理学部卒。理学博士。（財）東京都臨床医学総合研究所研究員、ハーバード大学医学部助手、同助教授、同准教授、慶應義塾大学医学部教授を経て、2011年12月、理研免疫・アレルギー科学総合研究センター副センター長（非常勤）。2012年4月、免疫システム研究グループディレクターを兼務。2013年4月、統合生命医科学研究センターセンター長代行（常勤）、免疫細胞システム研究グループディレクター（兼務）。

## 放射光科学総合研究センター 新研究室主宰者の紹介

新しく就任した研究室主宰者を紹介します。

①生まれ年、②出生地、③最終学歴、④主な職歴、⑤活動内容・研究テーマ、⑥信条、⑦趣味



先端光源開発研究部門  
部門長

### 後藤俊治 ごとう・しゅんじ

- ①1962年
- ②大分県
- ③東京大学大学院工学系研究科修士課程
- ④富士通株式会社、公益財団法人 高輝度光科学研究センター（現在）
- ⑤放射光に関連したX線光学
- ⑥もう一歩掘り下げて考える。ただし実践は難しい。
- ⑦ギター、工作



理論支援チーム  
チームリーダー

### 玉作賢治 たまさく・けんじ

- ①1967年
- ②石川県
- ③東京大学大学院工学系研究科博士課程
- ④理研放射光科学総合研究センター
- ⑤X線の光学、特に非線形光学
- ⑥木鶏
- ⑦囲碁・将棋

## 多細胞システム形成研究センターの発足について

「研究不正再発防止をはじめとする高い規範の再生のためのアクションプラン」に基づき、2014年11月21日付で、発生・再生科学総合研究センターを多細胞システム形成研究センターに再編しました。センター再編に伴い、一部の研究チームを、

ライフサイエンス技術基盤研究センター、生命システム研究センター、主任研究員研究室へ移管しました。

詳細は下記URLをご参照ください。

[http://www.riken.jp/pr/topics/2014/20141114\\_1/](http://www.riken.jp/pr/topics/2014/20141114_1/)

## 伝統ある座敷芸を演じて

皆川 匠 みなかわ・たくみ

和光事業所研究支援部総務課 係員

「獅子は古来より神の使いとして考えられてきました」。これは私が毎年獅子舞を奉納する際の客寄せの口上です。毎年元日と2日、埼玉県にある新座観音というお寺で獅子舞の奉納をさせていただいています。私が参加するようになって、すでに15年がたちました。始めた当時はまだ小学校5年生。それ以来、家で新年を過ごしたことはなく、「正月って、ほかの人はどう過ごしているの?」という疑問を抱えたまま大人になってしまいました。

長年奉納をしていると、「今年も獅子舞を見に来ました」と初詣に来られた方から声を掛けてもらうこともあります。下手な演技はできない、と気が引き締まる瞬間です。人前で演奏することで学んだことの中でも、「お客さんの期待を上回るパフォーマンスを見せること」が一番心に留めています。お客さんにとっては、こちらがプロかアマチュアかというのはあまり重要ではなく、楽しめたかどうかが重要だと思っています。期待以下や予想の範囲内の出来では、次回は声が掛からないかもしれません。同じ場所でもやり続けているからこそ、毎回毎回、どうやってよりよくなるかを考えています。ちなみに、お正月はおひねりなどがもらえるので、中高生の時代の貴重なお小遣い稼ぎの場になっていました。その点でも機会減少は死活問題(笑)。どれだけ実現できたかはさておいて、そんな心構えを学んだのもこの場からでした。

獅子舞を見たことがある人はご存知かもしれませんが、獅子頭はライオンの顔が元になっており、かなり怖い表情をしています。父が若いころから和太鼓や踊りなどの伝統芸能に親しんでいたため、物心がついたころには獅子舞は知っていましたが、小学校に上がるまでは怖くて直視することができず、伴奏がちょっとでも聞こえてくると、その場から一目散に逃げ出していました。両親いわく、舞手が父ということは分かっていたようなのですが……。



写真1・新座観音での公演風景。中央で太鼓をたたいているのが筆者。



写真2・筆者と獅子頭

獅子舞は、舞手とおはやしの演奏者(太鼓と笛が1名ずつ)の計3名で行っています。私が参加するようになってから微妙に変化はあったものの昨年まで、踊り手=父、和太鼓=私、篠笛は母or妹という構成で、皆川家一同で獅子舞を演じ続けています。今年のお正月からは、私も獅子の役を担当するようになりましたが、これが大変。獅子頭(2kg程度)を顔の高さまで持ち上げたまま踊ると、腕がすぐに疲れて上がらなくなります。演舞は全部で10分近く。今や還暦間近の父がこんなに大変な役を十数年も担い続けていたのかと気付いたとき、ただただ驚くばかりでした。なお、私たちの演じる獅子舞は、お神楽のような神事ではなく、祝いの席などで演じられる座敷芸。冒頭で“奉納”という言葉を使ったのですが、神聖な雰囲気よりも、場が和み、盛り上がるような、どこかコミカルでなじみ深い表現をします。まだまだ未熟者ながら、この伝統ある“座敷芸”を満足に演じるべく、日々精進を重ねています。

### 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)

理研 寄附金  
Support RIKEN

http://www.riken.jp/