

研究最前線 ②

## 構造で光を操るメタマテリアルの 実用化を目指す

研究最前線 ⑥

## ヒトの形はどうできる？ 数理で解く

SPECIAL TOPIC ⑩

## 今後百年の礎を築き、未来を拓く

TOPICS ⑭

- ・ 松山内閣府特命担当大臣(科学技術政策)が 理研革新知能統合研究センターを視察
- ・ 「理化学研究所科学講演会 in 金沢」を開催
- ・ 「スパコンを知る集い in 長野」を開催
- ・ 「科学道 100冊ジュニア フェア」 全国の書店・図書館で開催中!
- ・ 新研究室主宰者の紹介

原酒 ⑯

思考の軌跡  
Miracle of Thought

2000年ごろから、光を自在に操る

「メタマテリアル」が注目され始め、透明マントや

原子スケールの分解能を持つ光学顕微鏡が実現できると期待された。

現在、欧米や中国、韓国を中心にメタマテリアルの研究が

盛んに進められているが、実用化された例はまだ少ない。

田中拓男 主任研究員率いる田中メタマテリアル研究室では、息（呼気）に含まれる

がん関連分子を高精度で検出する技術をメタマテリアルで実現して、

がん検診に実用化することを目指している。

# 構造で光を操るメタマテリアルの 実用化を目指す

## ■ 波長より小さな構造で

### 光学の常識を超える

メタマテリアルは、光の波長より小さな構造体を大量に集積化して、従来の光学の常識を超えて光を自由自在に操れるようにした人工材料である。常識を超える現象の一つが、負の屈折率だ。負の屈折率を持つ物質に光が入ると、入射した側に急角度で曲がる（図1）。

負の屈折率を持つメタマテリアルが実現できれば無限に小さな物を可視光で観察できる、という論文を英国の研究者たちが2000年に発表し、メタマテ

リアルが世界中で注目されるきっかけとなった。

光（電磁波）は、電場と磁場が相互作用しながら空間を伝わっていく波だ。その波の波長の長い方から、電波、赤外線、可視光、紫外線、X線、ガンマ線に分類される。

波長より小さな物は、その波長の光では見えないというのも従来の光学の常識だ。可視光の波長は、約400~700nm（1nm=10億分の1m）なので、直径0.1nmほどの原子を光学顕微鏡で観察することはできない。もし可視光で原子ス

ケールの物を見たり加工したりすることができれば、さまざまな分野の科学や技術にブレークスルーをもたらすはずだ。例えば、光学顕微鏡で生きた細胞を原子スケールの分解能で観察できれば、生命科学は飛躍的に発展するだろう。

早くも2000年、米国の研究グループが、電波の一種で波長がmmやcmのマイクロ波を入射させたとき、負の屈折率を示すメタマテリアルの作製に成功した。その後、可視光に対して負の屈折率を持つメタマテリアルの実現を目指した開発競争が世界中で始まった。

図1 負の屈折率

負の屈折率を持つ物質に光が入ると、入射した側に急角度で曲がる。

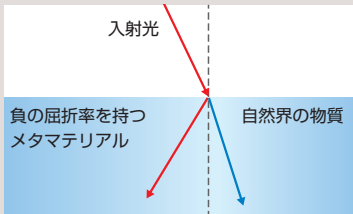


図2 屈折率を決める比誘電率と比透磁率

自然界の物質は、可視光付近の電磁波の磁場の波と相互作用せず、比透磁率が1.0に固定されている。メタマテリアルは、波長より小さなコイルによって電磁波の磁場の波と相互作用させて比透磁率を制御することで、屈折率を自在に変える。

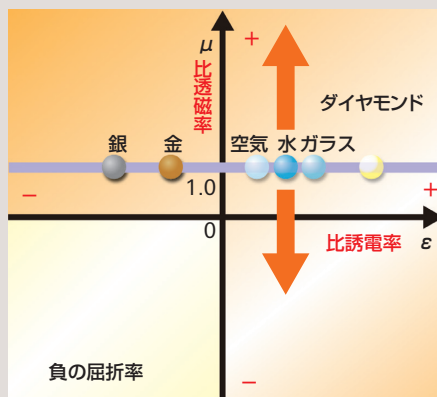
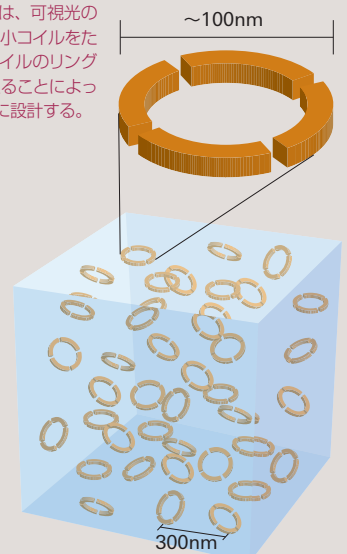


図3 可視光のメタマテリアルのイメージ

可視光のメタマテリアルを実現するには、可視光の波長（約400~700nm）より小さい微小コイルをたくさんつくり込む必要がある。微小コイルのリング部分の長さや、切れ目の数などを変えることによって、特定の周波数の光と共振するように設計する。



**田中拓男** (たなか・たくお)田中メタマテリアル研究室  
主任研究員

1968年、兵庫県生まれ。工学博士。大阪大学大学院工学研究科博士課程修了。同大学基礎工学部電気工学科助手を経て、理化学研究所研究員。2008年、准主任研究員。2017年より現職。量子工学研究領域 フォトン操作機能研究チーム チームリーダーを兼務。



それ以外にも2006年には、前述の英国の研究者たちが、特殊な屈折率の分布を持つ物質で見せたくない物体を覆えば、その物体は見えなくなる、という論文を発表。透明マントをつくる技術として多くのマスコミがメタマテリアルを取り上げ、一般にも知れ渡った。

**■ 可視光のメタマテリアルを目指して**

大阪大学において、光学顕微鏡の技術をもとに3次元で物を見たり加工したりする研究を続けてきた田中主任研究員は、2003年に理研に入り、2004年ごろにメタマテリアルの研究に取り組み始めた。

「可視光の屈折率を自在に操るメタマテリアルを作製するには、可視光の波長よりも小さいnmスケールの3次元構造を大量に物質中につくり込む必要があります。それは技術的に難しく、数十年は実現不可能だと思っていました。それでも理研では、長期的に取り組める新しい研究テーマに挑もうと思っていたので、可視光のメタマテリアルに興味を持ちました。難しいことに挑戦することで、その過程で副産物もたくさん生まれると期待しました」

メタマテリアルは、どのようにして屈折率を制御するのか。屈折率( $n$ )は、物質と電場の波との相互作用を示す比誘電率( $\epsilon$ )の平方根と、物質と磁場の波との相互作用を示す比透磁率( $\mu$ )の平方根の積で決まる( $n = \sqrt{\epsilon} \times \sqrt{\mu}$ )。「ところが、可視光付近の波長では、自然界にある物質は磁場の波とは相互作用せず、比透磁率は1.0で固定されています

( $\mu = 1.0$ )。物質の屈折率は比誘電率だけで決まるというのが光学の常識でした。メタマテリアルを使って、比誘電率とともに比透磁率も制御できれば、屈折率を自在に変えることができます」(図2)

そのための重要な手法が、電磁波の磁場の波と相互作用する、切れ目の入った微小コイルを物質の中に大量につくり込むことだ(図3)。

「中学校の理科で習うように、コイルの近くで磁石を動かすと、電磁誘導の原理によってコイルに電流が流れます。その電流がコイル内部に新たな磁場をつくり出します。コイルに電磁波を当てたときも同様で、電磁波の磁場成分の周期変化に応じてコイル中の電子が振動して電流が流れ、新たな磁場をつくり出します。コイルは大きさや形で決まる固有の共振周波数を持っています。それと同じ周波数の電磁波が入射すると、電磁波の磁場とコイル中の電子が共振し、電磁波がコイルに吸収されます。このとき物質の比透磁率が1.0から大きく変化します。コイルがつくる磁場の波が電磁波の磁場の波と干渉して強め合うと比透磁率は1.0より大きくなり、弱め合うと比透磁率は1.0より小さくなります」

比誘電率と比透磁率を両方ともマイナスの値にできれば、負の屈折率を実現できる。また、比透磁率を1.0よりも大きくして屈折率を高くできれば、その分、レンズを薄くすることができる。

ただし、それには金属を加工して、nmスケールの3次元コイルを大量に物質の中につくり込む必要があるのだ。田中主任研究員たちは2009年、透明な材

料の中に金や銀のイオンを混ぜ、そこにレーザーを当て、焦点を少しずつずらしながらnmスケールの3次元構造物を描いてつくる技術を開発した。

「現在でも、nmスケールの3次元構造物を作製する手法は、それほど種類がありません。最大の課題は大量生産です。1mm角のメタマテリアルをつくるにも、数十兆個もの微小コイルをつくり込む必要があります」

レーザーや電子ビームで描く方法は、正確に3次元構造をつくり出せることができるが、時間もコストもかかり、微小コイルの大量生産が難しい。一方、自然に構造ができる現象(自己組織化)を利用する手法は、短時間・低コストで大量生産できる可能性があるが、正確性に欠ける。

「そこで、二つの手法のいいとこ取りを狙いました」と田中主任研究員。まず、電子ビームで中央部だけが太い直線状のパターンを描く(図4②)。「このような直線状のパターンならば、電子ビームで素早く描くことができます。その後は自然に構造ができる現象を利用します」

金とニッケルの薄膜をつくり、余分な部分を取り除き、一部が太くなった金-ニッケルの細線をつくる。最終的に、この細線は太い部分だけで基板に接着した状態となり(図4⑤)、自然に丸まってコイルができる(図4⑥)。

これまで作製されたメタマテリアルは、数 $\mu$ m角(1 $\mu$ m = 1,000分の1mm)までのものがほとんどだった。田中主任研究員たちは、数mm角のメタマテリアルの作製に成功した。そのメタマテリアルは、赤外線に対する屈折率が0.35と、



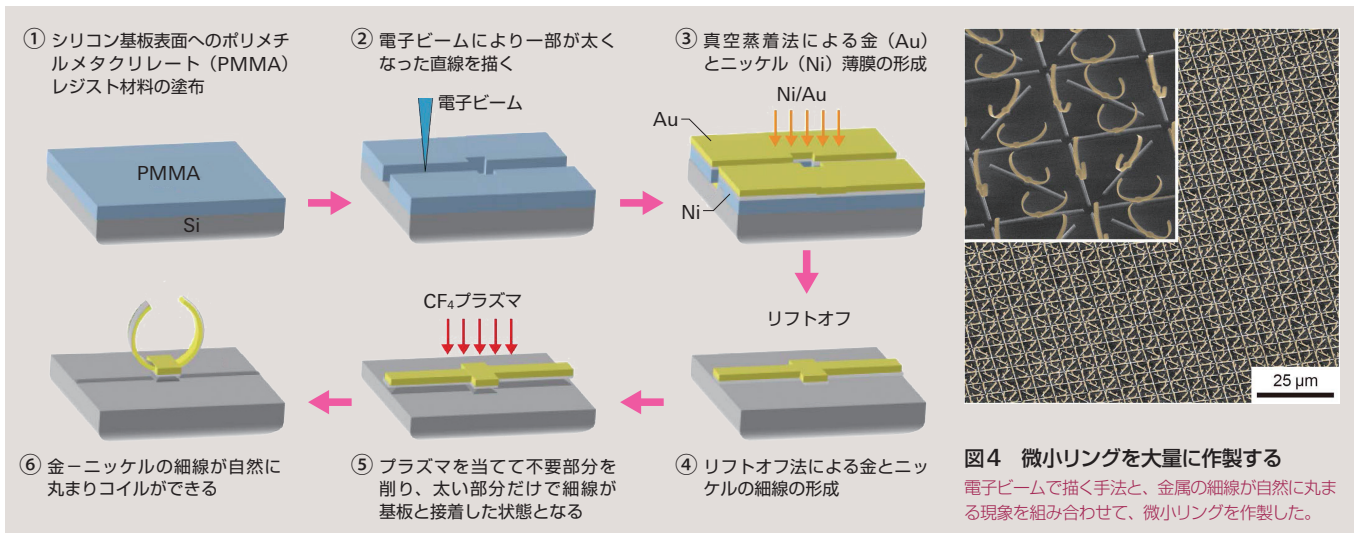


図4 微小リングを大量に作製する  
電子ビームで描く手法と、金属の細線が自然に丸まる現象を組み合わせ、微小リングを作製した。

真空の屈折率1.0よりも低い。

この方法で作製したコイルのサイズは数 $\mu\text{m}$ だが、可視光のメタマテリアルには、nmスケールのコイルをつくり込む必要がある。「nmスケールのコイルの形状は急カーブです。金の細線が自然に丸まる現象では、そのような急カーブを描くことが難しいので、別のアイデアも検討中です」

■ ナノ構造で色をつくる

田中主任研究員たちは、メタマテリアルで色をつくる研究も続けてきた。

例えば、青く見える物質は、白い光が物質に当たり、そこに含まれる紫から緑、黄、赤などの光が物質に吸収され、青の光だけが吸収されず反射している。紫や緑、黄や赤の光の電場によって物質中の電子が振動すると熱が発生する。それにより光のエネルギーが熱となって失われることで、光が物質に吸収されるのだ。

「あらゆる色の光を吸収して、まったく反射しない真っ黒な材料は、現実には存在しません。唯一、ブラックホールがそうかもしれませんが……。炭素は黒色ですが、高密度にすると備長炭のように黒光りしてしまいます」

毛羽立った布のような厚みのある材料により、黒に近づける方法がある。毛の隙間に光が捉えられ、やがて光が減衰する。

「メタマテリアルは、屈折だけでなく吸収も同じ原理で制御することができま

す。私たちは、毛羽立った布のような厚みのある材料ではなく、光の波長よりも薄い、平面なメタマテリアルで真っ黒な材料をつくることを目指しました」

そこで、電子ビームによりnmスケールの四角形構造を描いた(図5左)。「この四角形構造にある波長の光を照射すると、四角形構造中の電子が共振して光のエネルギーは熱に変わり吸収されます」

この四角形構造は、「光版の楽器のようなものです」と田中主任研究員は説明する。「ギターの弦を指で押さえて長さを変えると、振動の仕方が変わって異なる音色(音の波長)で鳴ります。同じように四角形構造の1辺の長さや間隔を変えることで、吸収する光の波長を選択す

ることができます」

田中主任研究員たちは、微細な四角形構造を持つメタマテリアルにより吸収する光の波長を選択することで、可視光全域にわたるさまざまな色をつくることに成功した(図5右)。その色は構造が壊れない限り半永久的に退色することがない。また、ペンキと比べて、約500分の1の重さに軽減できる。さらに赤・緑・青をつくる四角形構造を混ぜることで、黒色をつくるにも成功した。

四角形構造は比較的単純だが、膨大な数の数百nmスケールの構造を一つ一つ電子ビームで描くため、このままの手法ではmm角以上の大面積のメタマテリアルをつくることは難しく、新しい加工技術の導入が必要である。

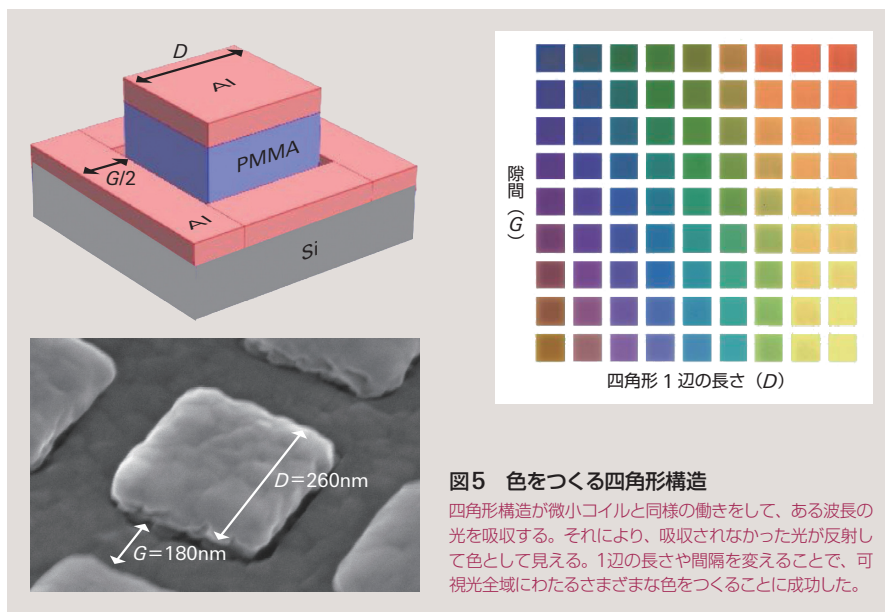


図5 色をつくる四角形構造  
四角形構造が微小コイルと同様の働きをして、ある波長の光を吸収する。それにより、吸収されなかった光が反射して色として見える。1辺の長さや間隔を変えることで、可視光全域にわたるさまざまな色をつくることに成功した。



## 関連情報

- 2017年4月26日プレスリリース  
アルミニウムのナノ構造体で「色」を作る
- 2014年10月24日プレスリリース  
真空より低い屈折率を実現した三次元メタマテリアルを開発
- 「理研ニュース」2009年4月号「研究最前線」

## ■色をつくる技術をがん検診に応用する

「メタマテリアルの作製技術にはまだ課題が多いのですが、現在の技術でもメタマテリアルが役に立つことを示したいと思います」。そう語る田中主任研究員たちは、メタマテリアルで色をつくる技術を、がん検診に応用しようとしている。

がん検知犬は、ヒトの息（呼気）のにおいを嗅ぎ分けて、がんにかかった人を高い確率で見つけ出すことができることが知られている。「それは、息の中にがん特有の分子が含まれているからです。私たちは、メタマテリアルを用いてその分子を高精度で検知する微小なセンサーを開発中です」

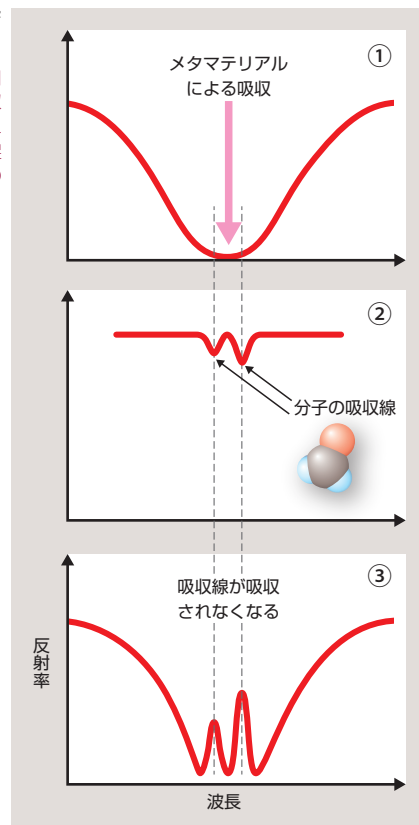
どのような仕組みで特定の分子を検出するのか。「それぞれの分子は、特定の波長の赤外線を吸収します。その吸収線を捉えることで特定の分子を検出する手法があります。ただし従来の手法では、吸収線の信号を強くするために、明るい赤外線を当てていました」

それは晴天で星を見つけるようなものだ、と田中主任研究員は言う。「当てた赤外線のほとんどが反射して背景光となり、それが邪魔になって吸収線を見つけることが難しいのです。夜空で星が見えるのは、星の明るさが増したからではなく、背景光が暗くなるからです。私たちは、背景光を暗くするためにメタマテリアルに光を吸収させることにしました」

まず、目的の分子の吸収線を含む波長域の赤外線を吸収するメタマテリアルを用意する（図6①）。その上に目的の

## 図6 メタマテリアルで分子を検出する原理

メタマテリアル吸収体上に目的の分子が付着すると、吸収線の波長の光だけが吸収されなくなり反射する。それを捉えることで目的分子に特有の吸収線を検出する。



分子が付着すると（図6②）、吸収線の波長に対してメタマテリアルが共振しなくなり、吸収線の波長だけが吸収されなくなる（図6③）。「ギターの例で言うと、同じ音色で鳴る二つの弦をつないでしまうと、その音色が出なくなるような現象です」

こうして目的の分子が付着すると、吸収線の波長だけが吸収されずに反射するようになる。それを検出するのだ。「原理的には、単一分子の検出も可能です。蛍光物質などの目印を付けて単一分子を検出する方法はありますが、手間がかかります。目印を付けずに単一分子を検出したいと思います」

感度を高めるには、目的分子が確実にメタマテリアル上に来るようにする必要があります。そのために、nm~ $\mu$ mスケールの流体チップを利用した装置の検討を進めている。その装置には大面積のメタマテリアルは必要なく、現在の技術でも十分に作製が可能だ。

「ある程度、装置の感度にめどが立った段階で、医療分野の人たちとの共同研究も始めたいと思います。このような微小なセンサーを、スマートフォンなどに組み込めば、毎日のようにがん検診を行うことができるようになります。がん特有の分子が見つかった人は病院で精密検査を受けて、がんを早期に発見できるようになるでしょう」

がんに限らずさまざまな病気に関係する分子を、息から高精度で検出できる微小センサーをメタマテリアルで実現できれば、予防医療・治療の切り札となるはずだ。

## ■メタマテリアル研究で出遅れる日本

「電磁波だけでなく、地震波や津波をメタマテリアルで制御することを提案している人も海外にはいます。共通しているのは、波の波長よりも小さな人工構造物で波を制御することです」

メタマテリアルは、社会のさまざまな分野での応用が期待され、欧米だけでなく中国や韓国でも盛んに研究が行われている。「韓国では数年前に大きな国家研究プロジェクトが始まりました。一方、日本ではそのような研究プロジェクトはなく、メタマテリアルの研究者は20グループ程度と10年以上前からあまり増えていません。欧米企業は役に立つかわからない段階から新技術分野に参入しますが、日本の企業は本当に使えると分かった段階にならないと参入しない傾向があります。このままでは、メタマテリアルの基本特許は全て海外の研究者や企業に押さえられてしまうかもしれません」

そのような状況を変えるためにも、田中主任研究員は、可視光のメタマテリアルの実現を目指した基礎研究とともに、応用研究にも力を入れていくつもりだ。

（取材・執筆：立山 晃／フォトンクリエイト）

森下喜弘ユニットリーダー（UL）は、生命システム研究センター（QBiC）の発生幾何研究ユニットを率いている。英語名はLaboratory for Developmental Morphogeometryだ。「Morphogeometryは、形態を意味するmorphoと幾何学を意味するgeometryを組み合わせた造語です。私は、生物の体の形がどのようにつくられていくかを、幾何学の言葉で記述したいのです。その思いを研究ユニット名に込めました。そして、理論の研究者と実験の研究者がほぼ同数で、密接に連携して研究を進めているというのも、私たちの大きな特徴です」  
生物の形はどのようにできるのか。発生生物学の究極のテーマに数理学から挑む。

## ヒトの形はどうできる？ 数理で解く

### ■ 発生生物学の究極のテーマ

「ヒトの形がどのようにできるのか。そのメカニズムを知りたいのです」と森下ULは話し始めた。

生物の始まりは、受精卵というたった1個の細胞である。1個の受精卵が分裂して数を増やし、また多様な種類へと分化し、固有の形と機能を持つさまざまな組織・器官が生まれ、最終的に複雑な形をした生物となる（図1）。1個の細胞からどのようにして生物の形が自動的にできていくのかは、発生生物学の究極のテーマである。20世紀後半からの分子生物学の発展によって、ある遺伝子がなくなるとある器官ができなるといったことが分かるようになり、どの遺伝子がどの器官の形成に関係しているかについての理解は、ずいぶん進んだ。

「入力と出力の関係は分かってきましたが、その間、つまりどのようにして脳

や心臓といった複雑な器官の形がつけられるのかは、まだブラックボックスです。形ができるメカニズムを明らかにするためのアプローチはいろいろありますが、発生幾何研究ユニットでは理論と実験の融合研究によって形ができるルールを抽出して、それを幾何学の言葉、つまり数式で記述することを目指しています」。幾何学とは、図形の性質について研究する数学の一分野である。

### ■ 宇宙、複雑系を経由して生物の形へ

森下ULの専門は応用数学である。なぜ生物の形ができるメカニズムの研究をするようになったのだろうか。しかも東京工業大学での専攻は機械宇宙工学だ。「高校時代、毛利 衛まもるさんの宇宙飛行や国際宇宙ステーション計画など人類の宇宙活動の話題がたくさんありました。その影響で、宇宙に関わる仕事をしたいと思ったのです。しかし講義や実習の多くが地球で使われている機械工学で、宇宙に特化したものはわずか。しかも、自分はエンジニアに向いていないことに気付いてしまったのです。はんだ付けなど実習ではいつも最低点でした。2年生が終わるころには、自分のやりたいのはこれではない、と思い始めていました」

そうした中でも、講義で気になる言葉があった。「機械工学の先生たちは、生物はよくできている、と言うのです。そ

れを聞き、生物を理解できたら面白いだろうなと漠然と興味を持ちました」

当時、森下ULは授業が終わると図書館で過ごしていた。そんなとき、何冊かの本と出会う。「生命は数式で記述できる、しかも複雑系でカオスが現れると書いてあり、わくわくしました。でも、その複雑系やカオスとは何かが分からない。数学は嫌いでしたが、その意味を理解するために一生懸命勉強しました。そして、影響を受けた本の著者であるあい合原一幸先生のもとで学ぶため、東京大学大学院に進みました」

遺伝子ネットワークに関する数理的な研究で博士号を取得。そして九州大学の数理生物学研究室の特任助手に。「遺伝子ネットワークは電子回路のようなものです。数式で記述しやすいものの、生物らしさを研究しているという気がしませんでした。そこで、形に注目した研究を新たに始めることにしました」。具体的には、四肢ができる過程について数式で表した数理モデルをつくり、その数式をコンピュータで解いてシミュレーションする、という研究だ。しかし、その成果を発生生物学の学会で発表すると、そんなのは生物の四肢ではない、そんなシミュレーションは意味がない、と批判されてしまった。

「今ならばその批判も納得できるのですが、当時は腹が立ちましたね。ちょうど科学技術振興機構（JST）のさきがけ

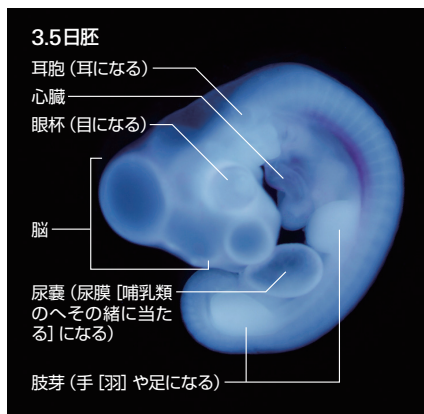


図1 ニワトリの胚発生

**森下喜弘** (もりした・よしひろ)  
 生命システム研究センター  
 生命モデリングコア  
 計算分子設計研究グループ  
 発生幾何研究ユニット ユニットリーダー

1976年、東京都生まれ。博士(科学)。東京大学大学院新領域創成科学研究科複雑理工学専攻博士課程修了。九州大学大学院理学研究院数理生物学研究室特任助手、同助教、JSTさきかけ研究者などを経て、2012年より理研 発生・再生科学総合研究センター 発生幾何研究ユニット ユニットリーダー。2014年より現職。



研究者に採用されて研究環境が整ったので、自分のシミュレーションが正しいことを示そうと、実験の研究者と共同研究を始めました。私は、発生生物学の論文などから得た生物学者が想定している仮説をもとに、四肢の発生現象を数式で記述して数理モデルをつくり、計算していました。ところが、四肢の発生現象を計測して数値化してみると、その仮説自体が違っていたのです。生物の形がどのようにできるかを数式で記述し、正しく理解するには、現象を見たことのない理論の研究者だけでは駄目で、実験の研究者と密接にやりとりしながら研究を進める必要があることを痛感しました。それを実現するべく、発生幾何研究ユニットを立ち上げたのです」

現在、発生幾何研究ユニットに所属している研究者は森下ULを含めて7人。工学や応用数学、数理生物学を専門と

する理論研究者が3人、分子生物学や発生生物学を専門とする実験研究者が4人という内訳だ。

■ **見えない部分を計算で補う**

「生物は大きく、その形は複雑なので、いきなり個体丸ごとを対象とするのは無理です。心臓や脳といった器官の形から始めるのが妥当でしょう」と森下UL。「器官は、同じ働きをする細胞が集まった組織が変形していくことで、特有の形がつくられていきます。まず、組織の形が時空間的にどのように変わっていくかを捉える必要があります」。器官の多くは、シート状の組織がチューブ状や袋状となり、それがさらに変形してつくられる。脳や心臓もそうだ。そこで森下ULは、シート状の組織からつくられる器官を研究対象とした。

近年、顕微鏡の技術が急速に進展し、

深い所にある細胞まで広範囲に高解像度で観察できるようになった。それでも、一つの器官がつくられる全過程について、組織を構成する全ての細胞を追跡して観察し続けることは不可能だ。「だからこそ数理学の出番なのです。組織・器官の一部の細胞だけ、また飛び飛びの時点しか見えなくても、得られたデータを数理的な手法を用いて解析することで、見えない部分を補うことができます。そのための解析手法の開発に取り組み、2017年に発表しました」

その解析手法とは、次のようなものだ(図2、表紙)。まず、組織の一部の細胞を蛍光で標識する。標識する細胞は、観察する組織を構成する細胞の1~数%でいい。そして、発生過程のいくつかの時点で、標識した細胞の位置を計測して3次元座標を求める。次に、その3次元座標を2次元座標に変換する。

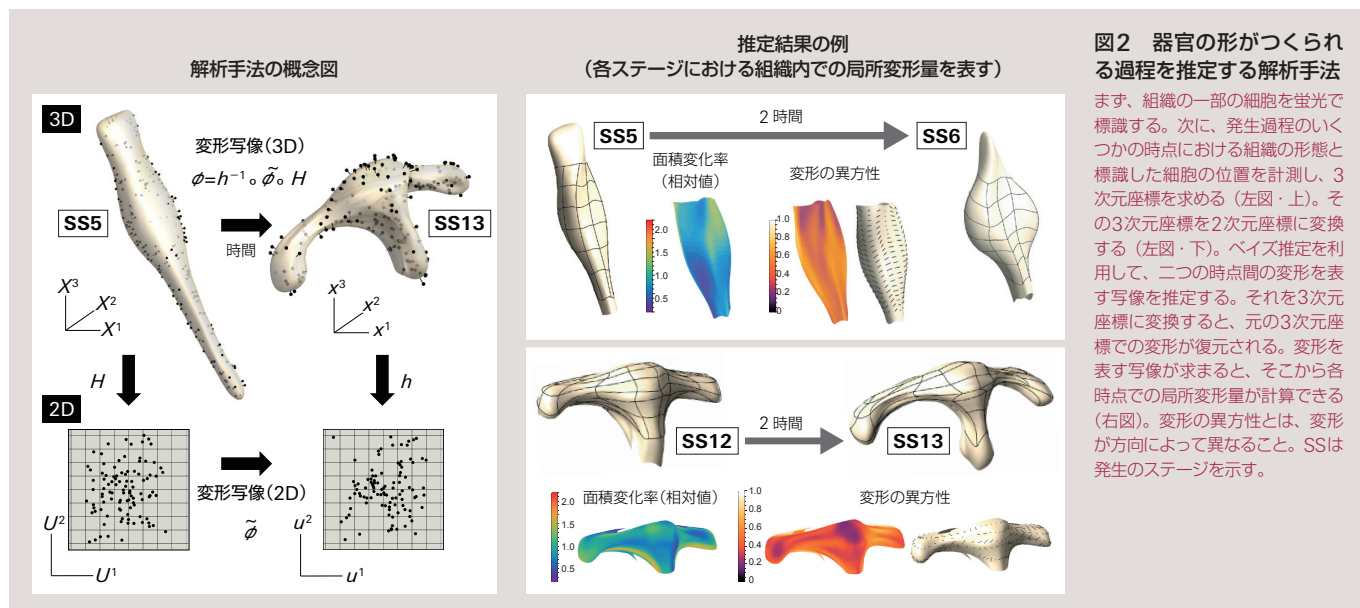


図2 器官の形がつけられる過程を推定する解析手法

まず、組織の一部の細胞を蛍光で標識する。次に、発生過程のいくつかの時点における組織の形態と標識した細胞の位置を計測し、3次元座標を求める(左図・上)。その3次元座標を2次元座標に変換する(左図・下)。ベイズ推定を利用して、二つの時点間の変形を表す写像を推定する。それを3次元座標に変換すると、元の3次元座標での変形が復元される。変形を表す写像が求まると、そこから各時点での局所変形量が計算できる(右図)。変形の異方性とは、変形が方向によって異なること。SSは発生のステージを示す。

表紙・図2~4 出典：Yoshihiro Morishita et al., Nature Communications, 8,15 (2017)



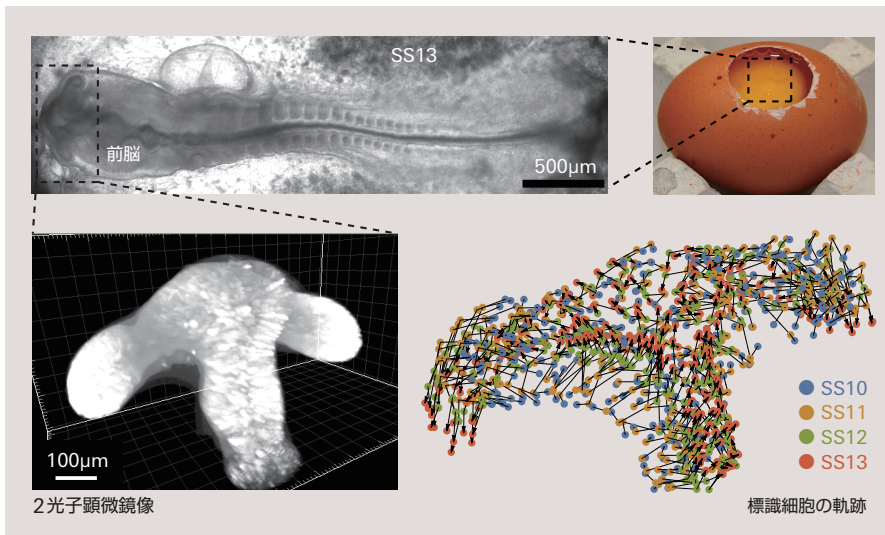


図3 ニワトリ胚の前脳の発生

脳は、1層の神経上皮細胞が並んだチューブ状の神経管が変形することで形態が出来上がっていく。変形量を計算するためには、組織の1~数%の細胞に蛍光標識を付け、発生過程のいくつかの時点における組織の3D形態と標識した細胞の位置座標を計測する必要がある。

チューブ状や袋状の組織は3次元だが、1層の細胞が並んだシート状の組織からできているので、2次元にした方が本質を捉えることができるためだ。「地球上の地点は緯度と経度で表されます。それを平面地図上の座標に変換するイメージですが、図法によっては高緯度ほど面積が大きくなってしまいます。そのようなひずみを考慮して解析を進めることが重要です」

次に、二つの時点間の変形を2次元座標系で記述する数式をつくる。「ベイズ推定という、観測結果から原因を確率的に推定できる手法を利用します。ベイズ推定では事前分布と呼ばれる条件が必要です。ここでは組織内部と境界の変形は滑らかであるという条件を入れました」

いったん2次元座標系で二つの時点間の変形を示す式が得られれば、あとは適切に変換することで3次元座標での変形が復元される。この解析手法を用いれば、器官ができるまでの組織全体の変形過程を限られた情報から推定することが可能だ。

### ■ 眼胞の形ができる過程を解析

森下ULは、開発した解析手法の有効性を確かめるため、ニワトリの前脳の発生過程に応用してみた(図3)。

脳は、神経上皮細胞が1層に並んだ神経板が内側に湾曲し、胚の背側で融合してできた神経管と呼ばれるチューブからつくられる。細胞が分裂を繰り返して

数が増え、神経管は大きくなり、また複雑に変形していく。その過程で、神経管の頭側に当たる前脳の一部が左右に飛び出して眼胞という器官ができる。その先端がくぼんで眼杯となり、レンズや網膜が形成され、目となる。

開発した解析手法を用いたところ、発生初期から眼胞が形成されるまでの変形過程を推定することに成功。しかも、推定された変形は、新たに計測した細胞の行き先もよく予測できることから、解析手法は有効であり、しかも推定の精度が非常に高いことが示された。

「変形過程は座標を用いて数値化されるので、各時点、各場所における、体積の変化量や、どの方向に伸びた、縮んだといった変化量も計算できます。それによって、どこで細胞が増殖しているのか死んでいるのか、あるいは細胞が大きさや形を変えているのか、また細胞がどう動いているのかが分かり、形ができるメカニズムを明らかにすることができます」

森下ULは、開発した解析手法によって求めた発生初期から眼胞が形成されるまでの変形過程をもとに、組織の各時点、各場所における変形量を計算した。その結果、変形は組織の各場所で細胞の小集団が一つの軸方向につぶれることで起きていることが分かった(図4)。その傾向は、発生初期から眼胞が形成されるまで観察された。

森下ULは当初、左右に飛び出した先

端だけで細胞が盛んに分裂して組織の体積が変化することで、眼胞の形状ができるシナリオも考えていた。そのシナリオでシミュレーションすると、確かに眼胞と同じ形ができたからだ。「変形量の計算から導き出された形態形成のメカニズムは、意外でしたね。器官の外形の変化を観察しただけでは、何通りものシナリオが考えられます。細胞の位置座標を測定して、データを適切に解析することで初めてシナリオを絞り込むことができるのです」

### ■ 形ができるメカニズムは器官に共通か

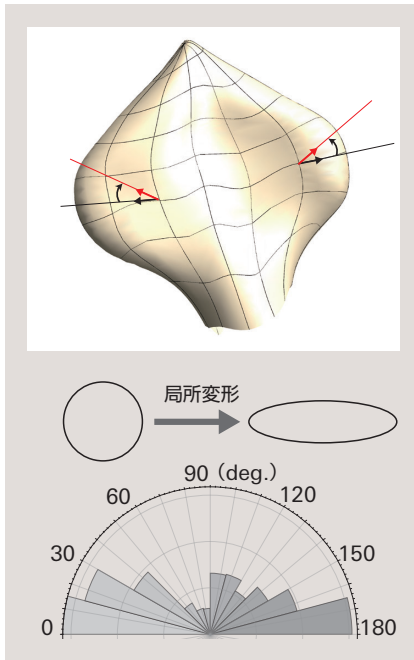
発生幾何研究ユニットでは、この研究について二つの方向で進めている。

一つは、ニワトリ胚における眼胞の発生に関するより詳しい研究だ。「細胞を詳しく観察したところ、細胞の大きさや形状には大きな変化はなく、また細胞の分裂方向にも規則性がないことが分かりました。ということは、組織の変形は細胞が移動して並び替わることによって起きていると考えられます。現在、それを確かめるべく、より詳細な実験を進めているところですよ」

もう一つの研究の方向は、開発した解析手法をほかの器官に応用して、器官が形づくられるメカニズムに共通性があるのか、ないのかを明らかにすることである。現在、ニワトリの心臓の発生について調べているところだ。「最近の研究によって、この二つの器官の形ができていく過程では、共通なルールがあるらしいことが分かってきました」と

**図4 推定された変形写像から計算された局所的な変形量**

各点の局所的な変形の方向と量から、前脳の初期発生における形態の変化は、組織の体積変化が眼胞の先端に集中するなど空間的に非一様な成長によって起こるのではなく、組織の各場所ので細胞小集団が一つの軸方向につぶれることで実現することが明らかとなった。



森下UL。「ただし、心臓と眼胞の形の違いをつくり出すメカニズムもあるはず。それも明らかにしたいと思っています」

森下ULは、「本当に知りたいのは、ヒトの形がどのようにできるかです」と言う。しかし、ヒトの胚でこのような実験はできない。「発生の初期段階は種間で共通している部分が多いので、モデル生物で形がつけられるメカニズムを明らかにし、それをヒトの形の理解へとつなげていきたいと考えています」

### ■ 細胞の時空間の認識と相対性理論？

研究ユニットの立ち上げから5年半。森下ULは、「当初の計画より遅れ気味なので、もっと頑張らなければ」と表情を引き締める。「40歳までにやるべきことのリストをつくっていたのですが、やり残したこともたくさんあります。相対性理論を完全に理解するという目標もその一つです」

相対性理論はアルバート・アインシュタインにより提唱された時間と空間に関する理論である。生物の発生の理解に、なぜ相対性理論が必要なのだろうか。「発生過程において胚の大きさや形は目まぐるしく変わります。そうした中で、細胞はそれぞれ分裂したり移動したり分化したりして、体づくりが正しく進行していきます。細胞は、今は発生ステージのどの段階で、自分が胚のどの位置にいるのか、つまり時間と空間の情報を認識しているはず。しかし、そのメカニズムが分からない。特に時間と空間を統合して扱うことが難しいのですが、相

対性理論にそのヒントがあるのではないかと考えています。実際、細胞の時空間の認識について理論の構築を試みると、不思議と相対性理論と似ているところが出てきます。まったく関係ないかもしれませんが、でもこうかもしれないなと感じたことを納得いくまで突き詰めていくことで、もしかしたら細胞の時空間の認識についての普遍的な理論をつくれるのではないかと考えています。そんな野望を抱いています。生物学の基礎理論をつくるためには、相対性理論をはじめ、まだまだたくさん勉強する必要があります」

### ■ 細胞はどれくらい賢いのだろうか

細胞は、自身の置かれた状況や周囲で起きていることを正しく把握することができる。そうした考えの流れの中で、森下ULは、細胞競合というテーマにも取り組んでいる。細胞競合とは、細胞がほかの細胞を排除する現象である。異なる性質を持つ細胞に対して化学的な作用によって細胞死を起し、排除していることが知られている。最近では、力学的に押し出して排除する場合もあることが分かってきた。こうした競合現象はがん細胞のような明らかな異変がある場合にだけ見られるわけではなく、器官の正常な発生中にも起きている。組織を構成する細胞は遺伝的に均

### 関連情報

- 2017年5月2日プレスリリース  
臓器が形作られる過程を復元する計算手法を開発

一であるにもかかわらず、ある細胞は排除されある細胞は生き残って私たちの体をつくるのだ。

「排除される細胞と生き残る細胞はどのように選択・決定されているのでしょうか。細胞は賢いから、周囲の化学的・力学的な状態の変化から、きつと離れた所で起きているイベントも認識しているはず。どれくらいの精度でどれくらい離れた所まで認識できるのかを知りたいですね」と森下UL。

特に、力学的な情報は、実験的に計測することが難しい。シミュレーションは、そのような現在の技術では実験が難しい現象にもアプローチできるという利点がある。さらに、シミュレーション結果から、どこで何を計測すれば現象の理解に役立つか、どういう実験をすべきかを提案することもできる。こうした点でも、理論と実験の研究者が同じスペースで日々研究をしていることは、大きな強みになる。

森下ULは、「細胞は賢い」と繰り返し言う。「私たちが最も効率の良い情報伝達回路をつくったぞ、と自慢しても、実は生物の細胞内のシグナル伝達回路や脳の神経回路でそれと同じものがつくられていたりします。そのような細胞が増えたり分化したり、死んだり、並び替わったりして生物の形ができていきます。生物の形がどのようにできるのかを数式で記述するのは、きつととても難しいことでしょう。私がおじいちゃんになってもできないかもしれません。でも、ずっと突き詰めていきたいですね」

(取材・執筆：鈴木志乃/フォトンクリエイト)

## 今後百年の礎を築き、未来を拓く

理化学研究所（理研）は、2017年に創立百周年を迎えました。次なる百年においてもわが国の科学技術の向上を図り、産業界などとの連携を強化し、社会から信頼されるかけがえのない研究所を目指すことを誓う機会として、2017年4月26日、東京国際フォーラムにて、天皇后両陛下のご臨席を賜り創立百周年記念式典を開催。その中で、松本 紘<sup>ひろし</sup> 理事長が「今後百年の礎を築き、未来を拓く」と題して講演を行いました。その内容をここに紹介します。



### ■ 理研の特長

理化学研究所はこれまで、分野を限定せずに自然科学全般の研究を進めてきた。どんな分野のどんな研究にでも取り組んでいくという研究姿勢から、結果として、多くの新しい領域を開拓することになった。物理、化学、工学、計算科学、生物学、医科学、数理科学と、多種多様に広がっている科学の領域の中で、常に新しい領域にチャレンジしていくことが、これまでも今後も、理化学研究所の責務と考えられる。

理化学研究所の強みは何かと考えると、次の四つを指摘することができる。

第一に、大学にない大型設備、大型施設を開発・運用して、研究および研究者に貢献できること。これは特に強調してよい点である。

二つ目は、研究室の単位や規模が大きいこと、長期・大型のプロジェクトの計画・実行ができること。

三つ目は、研究支援のための技術者を多く配置し事務方の質も高い、そして事務方と研究者の壁が非常に低いこと。

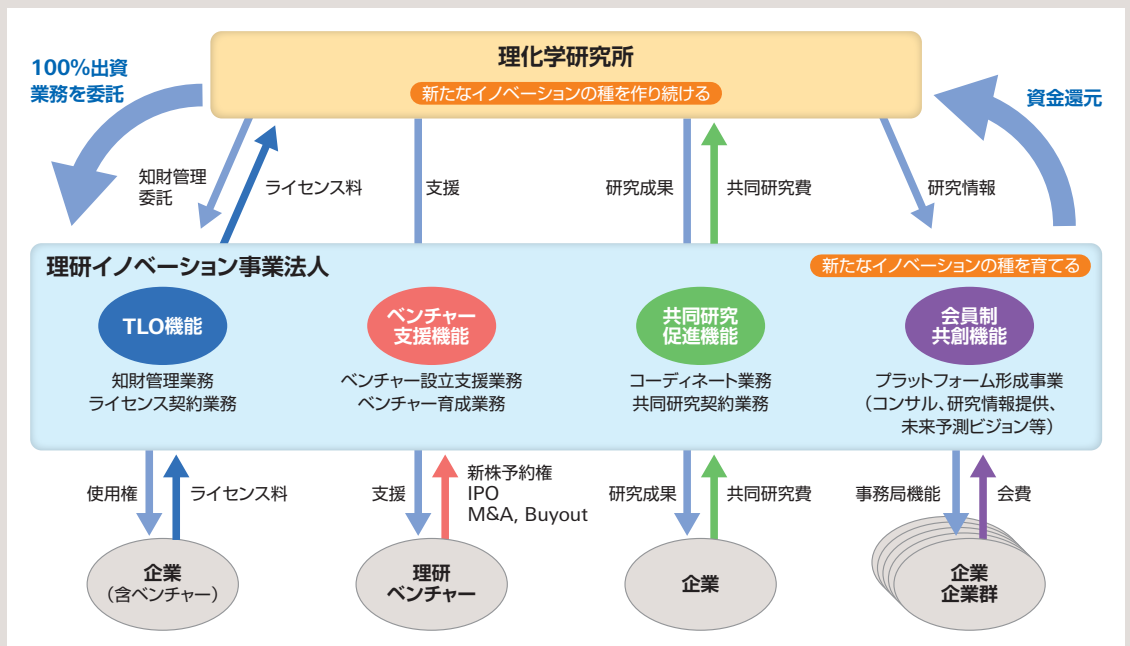
四つ目は、一番重要なことだが、学際領域の開拓がしやすい状況にあること。言い換えれば、理研では各学問分野の垣根が非常に低い。そのよい例として、分野の異なる研究者が日常的に活発に議論していることが挙げられる。

### ■ 改革しなければならない課題

このような理研の優れた特長がある一方で、改革しなければならない課題もある。

その一つが人事制度改革で、すでに着手している。これまで定年制の研究者と任期制の研究者が局在するような形であったが、今後は、流動性と安定性の両方を兼ね備えた研究人事制度システムをつくる必要がある。つまり1割の定年制研究者に対して9割の任期制研究者がいるのが現状であるが、今後は、

図1 理研イノベーション事業法人





若手研究者、PI（研究室主宰者）等の研究系職員全てに対して、研究所全体で無期雇用対任期雇用を4対6くらいにする。特に若い人が理研で働き続けることのできる制度に改定したい。

二つ目は財務改革である。理研は現在、日本国から「特定国立研究開発法人」としての指定を受けている。しかし、政府の財政状況を考えると、理研の予算が今後飛躍的に伸びることは期待できない。したがって、当面は自分たちで独自の収入を回り、自律的な経営、研究所運営を進める必要がある。そのため財務改革が必要になる。

例として1931（昭和6）年の財団法人理研の財政状況を見ると、政府補助金は25万円ではなかった。当時の理研は直営工場を持っており、ビタミンA、合成酒、感光紙などの売上が約113万円で、利益は31万8000円あった。そのほか、理研は理化学興業（株）という子会社を持っており、そこから特許権の実施報酬を財団理研本体に回収する仕組みを備えており、その額が32万3800円あった。つまり、財団理研は政府補助金の約2.5倍も稼いでいたのである。ただ注意すべきなのは、このような全体の仕組みが、大河内正敏所長のリーダーシップに大きく依存していたことである。

もちろん、このような状況を生み出すことは、現在の理研では不可能に近い。しかし、少しでもその方向に向けて手を打つ必要がある。当初は、子会社は理化学興業1社であったが、それ以降どんどん増えて、理研産業団（コンツェルン）とよばれるようになる。つまり、財団理研を中心にいろいろな会社と協力関係が結ばれるとともに、理化学興業という子会社の下に多くの会社群をつくって、それらを経由して産業界とつながっていた。

理研コンツェルンは、最盛期の1939年頃には63社121工場あった。その中には、戦中戦後の苦難を乗り越えて現在でも活動している会社がいくつもある。今日では、「理研と親しむ会」\*が組織され、協力関係を積み上げている。\*2017年7月「理研と未来を創る会」に名称変更

現在、理研で考えているのは、イノベーション（新技術に基づく社会変革）をスムーズに進めるために、新たに「理研イノベーション事業法人」を設立する可能性であり、すでに検討を開始している（図1）。この事業はいわゆる産学連携を進めるが、四つの機能を備える予定である。

つまり、基本は、①TLO機能（知財管理業務、ライセンス契約業務）と②ベンチャー支援機能であるが、それ以外に、③会員制の共創機能を持たせたい。これは、限られた会員だけが最新情報を共有しながら新しいものを創り出す議論を行うものである。そこで出てきたアイデアをもとに、④共同研究を活性化して、その資金の一部を理研に還流させる。情報と研究成果を

図2 理研の科学道



このような形でまわすことができれば、理研の財務も改善されると考えられ、検討を始めている。

三つ目の改革は研究員の意識改革である。われわれは何のために研究しているのか。何のための理研なのか。そのことを一人一人しっかりと考えていただきたい。そして次の百年に向けて、理研のあるべき姿勢を科学道という言葉に託したい（図2）。研究者を育む道、理研が担うべき研究の道、人を育て、科学の新しい価値を生み出す道。科学技術ハブという理研に集う道、大学、他の研究機関、国研（国立研究開発法人）などをつなぐ道。このようなさまざまな科学の道を、あるべき姿を常に議論しながら整備していきたい。

理研の使命は国立研究開発法人理化学研究所法という法律に書かれており、「科学技術の水準の向上を図る」ことにある。しかしそれだけではない。研究者は、理研のためだけでなく、わが国の科学技術全体のためだけでなく、産業界を含めた日本全体のため、また世界のための理研という意識を強く持つ必要がある。

## ■ 人類文明と理研

現在の人類は、地球上のさまざまな場所で豊かな生活を送れるようになり、人口が爆発的に増えている。その結果、資源不足、エネルギー不足が起こることは目に見えている。そんな危うい人類文明を支えているのが、学術研究であり、その上に立った基礎科学であり、技術開発である。これら学問の連環が細ると、滅亡への谷へ落ちる危険性が高まる。

人口が増えてさらに豊かになれば、人類文明が限界を超えて衰退へと向かうこともありうる。これをいかに防ぐか。人口が増えてもやっつけられる新しい倫理観が必要になる。この点では、日本には昔から非常にすぐれた倫理観がある。吾唯足知（われただ足るを知る）がそれである。さらに、「もったいない、みっ

ともない、かたじけない」という精神もある。研究者もこのような普遍性のある思想や倫理観を世界に発信し、広く議論していく必要があるかもしれない。

理論物理学者のスティーブン・ホーキング博士は、突然の核戦争や遺伝子操作されたウイルスの事故により、地球生命体がこの地球上で全滅する危機が高まっていると指摘しているが、私もそれを感じる。地球上でうまくやっていくことを追求するのは当然だが、万が一のことも考えて、宇宙に目も向ける必要がある。

さらに必要なのは、「社会のための科学」から「未来社会のための科学」へと考え方を変えることである。

昨今イノベーションが声高に叫ばれているが、科学技術は、産業界のみならず社会の変革にどう関わるかが重要である。これまでは研究者が新知識を発見し目利きがそれを拾い上げて、産業界ないしは社会につなぐという構図がとられてきたが、それだけでは不十分である。

人類文明の行く末を考えたとき、社会はどうあるべきかというビジョンがなければならない。つまり、夢を語ること、将来を模索することが極めて重要である。理研ではイノベーション・デザイナーという人材を養成しようとしている。来るべき次の百年に社会はどうなるのか、どうあるべきか、常にそれを見通しながら、研究現場にフィードバックをかけることが彼らの役割である。

真のイノベーションとは、広範囲な研究の上に立って成立するものでなければならない。そのベースとなるのは高度な知識であり、資源としての人である。そうした人々の知が生み出す真のイノベーションを成し遂げるのが、公的機関である理研の使命である。

高度な知識といえば、かつては発表された学術論文が全てであった。理研が「理化学研究所彙報」を発行していた理由でもある。例えば、朝永振一郎先生の業績であっても、学術誌で刊行されてそれで終わりであった。しかし今は、そこからの展開が重要となっている。大きな学術ビッグデータを通して、そのノウハウ、特許等の知的財産、関係する研究者など、個々の知識との組み合わせにより、高度な知識がより高度化するからである。

理研は資源としての人を育ててきたとあってよい。1922年には「主任研究員制度<sup>\*1</sup>」（独立研究室）が確立し、今日に至るまでの理研発展の礎となった。1986年には、「国際フロンティア研究システム<sup>\*2</sup>」を導入し、任期制の職員を採用した。1989年には、「基礎科学特別研究員制度<sup>\*3</sup>」をつくり、若手研究者に研究のチャンスを与えてきた。2001年には、「独立主幹研究員制度<sup>\*4</sup>」をつくり、若手ながら主任と同様のPIとしてやっ

けることにした。

2017年から「理研白眉制度<sup>\*5</sup>」をつくり、若い研究者を選抜し、予算も与え、主任研究員のような立派な研究者に育つ次世代研究リーダーを育成したいと願っている。

今後とも、時代に合った研究システムを構築しながら改善し、国内外にモデルとして提示していきたいと考える。

世の中全体の変革や革新を目指すためには、イノベーション・デザイナーや、研究者、目利き人材、メンター、産業界の多くの人々が手をつなぐ必要がある。そのためにも、理研を一つの核として医療機関、企業、研究機関、大学をつなぐ「科学技術ハブ」を形成していかねばならない。コンバージェンス（収斂）という言葉があるが、小さな沢が何本も集まって大河となるように、研究開発全体を徐々に集中させるように推進していく必要がある。

## ■ 百年先の理研

最後に、今後百年の理研がどうなるか考えてみたい。百年先の予想はなかなか難しいが、1901（明治34）年、1月2日の報知新聞に有名な百年後の世界の予想が発表された。電話もない時代にもかかわらず、「無線電信電話」が普及し、買い物も便利になって、クレジットカードや宅配便のような世界が実現すると予想されていた。それらを含めて23項目の予想の多くはすでに実現されている。

では、今後の百年についてはどうか。いろいろな検討がなされているが、「百年後の社会予想」のような10のテーマはどうか（図3）。

このうち、2の意味は曖昧だが、最低生活保障や公共資本主義など、社会福祉の面がより強く出た社会になる、という予想かと思われる。ともあれ、この2と7以外は科学技術が大きく貢献できる課題である。例えば理研で現在行われている研究

図3 「百年後の社会予想」

科学技術、エネルギー、寿命・疾病、労働・収入、社会、コミュニケーションの未来

- 1 生産工場や科学技術研究のロボット化、無人化
- 2 ベーシックインカム、公共資本主義、価値の変化
- 3 環境、資源、エネルギー問題の解消
- 4 人工光合成、酪農業の工業化
- 5 モノの現地生産、ロジスティックスの変化
- 6 バーチャルリアリティによる体験・移動の代替
- 7 地方分散型社会の発達
- 8 サイバー機器と身体一体化
- 9 代替器官・臓器等の普及と死の概念の変容
- 10 人類の宇宙進出と地球外資源の活用

（公益財団法人未来工学研究所 未来社会研究会資料より抜粋）



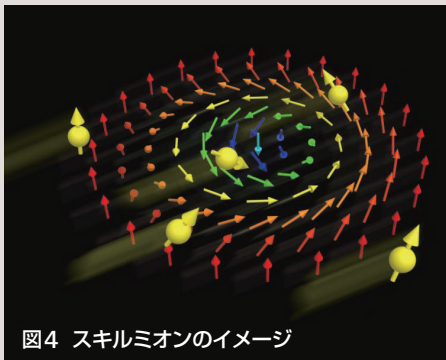
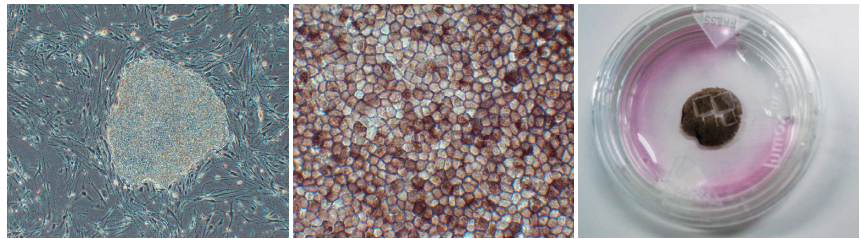


図4 スキルミオンのイメージ



ヒトiPS細胞      網膜色素上皮細胞 (RPE細胞)      移植用RPEシート

図6 移植用の網膜色素上皮細胞シートの作製

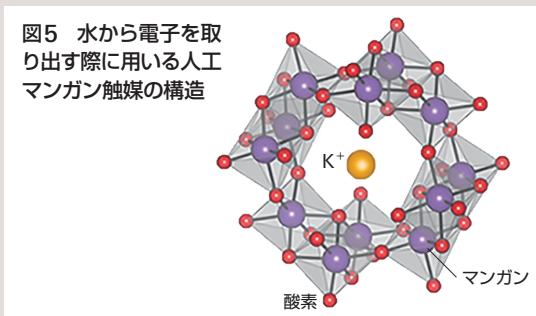


図5 水から電子を取り出す際に用いる人工マンガン触媒の構造

が、このような方面にどう関わるかを考えることも重要である。

3の資源あるいは環境、エネルギー問題の解消には、例えば十倉好紀センター長の創発物性科学研究センターで行われているスキルミオンの研究が関係する(図4)。スキルミオンは回路素子の新しい概念であり、現行の10万分の1という省電力で100倍の高集積化が期待できる。

4の人工光合成については、中性の水から電子を取り出す「人工マンガン触媒」の開発に成功している(図5)。これをもって植物が行っている光合成に近いプロセスを構築しようとする研究が、すでに環境資源科学研究センターの中村龍平チームリーダーによって進められている。

9の代替器官・代替臓器の可能性として、その第一歩を多細胞システム形成研究センターの高橋政代プロジェクトリーダーが進めている。これには西川伸一、笹井芳樹両博士が進めてきたES細胞による先行研究がある。高橋プロジェクトリーダーらは加齢黄斑変性の患者の皮膚からiPS細胞を作製し、そこから網膜色素上皮細胞シートを作って、それを患者の目に移植した。手術は成功している。今後の研究によって、加齢黄斑変性で目の見えなくなった人が、再び視力を回復する可能性も開かれつつある(図6)。

国連では、持続可能な開発のための2030アジェンダによって、これからの世界がどこに向かうべきかの提案を「持続可能な開発サミット」で採択している。この中の多くの研究テーマに対して、理研が取り組めるのではないかと考えている。人類が直面する地球規模の問題解決に、自然科学研究が貢献でき

る可能性は非常に大きい。今後は、さまざまな分野を融合させ、さらに人工知能(AI)も加えながら進んでいくとみられる。しかし、それだけでは十分でない時代が必ずやってくる。そうなったとき、経済学、文学、天文学、歴史、語学など、人間文化を広くカバーしている学問や芸術と協力しながら、どうしたら世界が生き残れるかを考え、問題に取り組むことになるはずである。

われわれは過去50年、100年と、いろいろな研究を進めてきた。今後百年、未来社会の中で理研がどのように貢献できるのかを常に考えながら、前進していきたいと思う。そのためには哲学や倫理学の専門家も巻き込む必要がある。

われわれの将来は、子、孫、曾孫、玄孫…へと脈々とつながっていく。200年ぐらい先のスパンを常に頭の片隅において、孫たち、曾孫たち、その先の子供たちが常に満面に笑みを浮かべながら日々を送れるような世界を維持したいと思う。研究者一人一人が覚悟を持って生きていただきたいと願う。

理研は、次の百年先を見据え、大きなビジョンと至高の科学力をもって、豊かな国民生活の実現と国際社会の発展に貢献していく。

- ※1 主任研究員制度：財団理研第3代所長の大河内正敏が創設。14研究室で始まり、現在まで続く。
- ※2 国際フロンティア研究システム：わが国でいち早く導入された研究員の任期制雇用。全体の1/3に及ぶ外国人雇用、地方自治体との連携による研究の地方展開を特色とし、わが国の脳科学研究の総本山となる脳科学総合研究センターの誕生へとつながる。
- ※3 基礎科学特別研究員制度：優秀な若手研究者に自由な発想で主体的に研究できる場を提供する制度。2007年には外国籍研究者を受け入れる国際特別研究員制度が発足、2016年に両者は統合され、より世界に開かれた制度となった。
- ※4 独立主幹研究員制度：若手研究者が新たな研究分野を拓いていくことを目的に設立。2010年からは国際主幹研究員制度として外国籍の若手研究者も積極的に採用。採用した18人は国内外で研究室主宰者として活躍中。2016年度に制度終了。
- ※5 理研白眉制度：科学的、社会的にインパクトの高い野心的な研究に挑戦しようとする若手研究者を対象に、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。2018年1月以降雇用開始予定。



## 松山内閣府特命担当大臣（科学技術政策）が理研革新知能統合研究センターを視察

2017年9月14日、松山政司<sup>まさし</sup> 内閣府特命担当大臣（科学技術政策）が理研革新知能統合研究センター（東京都中央区）を視察しました。

杉山<sup>まさし</sup> 将センター長らが、ほぼ1年前に発足した革新知能統合研究センターの整備状況と研究概要を説明、また、最近の国際会議で発表した研究成果や、企業との連携センターの概要について紹介しました。

松山大臣からは、「Society 5.0の実現に向けて、理研の革新知能統合研究センターの取り組みは重要と認識しており、しっかり後押ししたい」とのお言葉を頂きました。



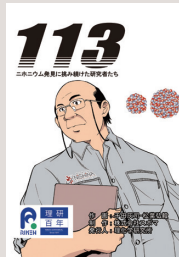
松山大臣（中央）に説明する杉山センター長（左）

## 「理化学研究所科学講演会 in 金沢」を開催

本講演会では、松本<sup>ひろし</sup> 理事長による特別講演「今後百年の礎を築き、未来を拓く」、田中克典 主任研究員（田中生物機能合成化学研究室、写真左）による講演「お菓のルネッサンスが到来!」、加藤忠史<sup>ただみ</sup> 副センター長（脳科学総合研究センター、写真中）による講演「双極性障害の原因を探る」をお届けします。

また、展示会場では、理研の百年の歴史が分かる特別展示「理研展」、科学の面白さをお伝えする「科学道100冊」「科学道100

冊ジュニア」展などを開催します。スタンプラリーでは二ホニウムのマンガ（写真右）を配布します。講演会と合わせ、ぜひお楽しみください。



日時	2017年11月23日（祝・木） 講演会 14：00～16：30（12：00開場） 展示 12：00～17：00
場所	金沢歌劇座（石川県金沢市下本多町6番丁27番地） 2階大集会室（講演会）、1階第9・10会議室（展示）
アクセス	金沢駅東口から北陸鉄道バス「東部車庫」「金沢学院大学」 行きで約20分、「本多町」下車徒歩1分
主催	理化学研究所
後援	石川県、金沢市、北國新聞社
参加申し込み方法	当日可・事前参加登録優先（下記URLもしくは電話）。 未就学児のご参加はご遠慮ください。 URL：http://www.riken.jp/pr/events/events/20171123/ TEL：048-467-9954

## 「スパコンを知る集い in 長野」を開催

スーパーコンピュータやシミュレーションの役割・重要性をご紹介する一般向け講演会を開催。防災・減災、宇宙の謎など身近なところでのスパコン利用や、スパコンのビジネスでの活用例を紹介します。

日時	2017年12月2日（土）13:20～16:00（受付12:50から）
場所	ホテルメルパルク長野メルパルクホール （長野県長野市鶴賀高畑752-8）
アクセス	JR長野駅東口から徒歩5分

主催	理化学研究所 計算科学研究機構
後援	長野県、長野県教育委員会、長野市、長野市教育委員会、 信州大学、NHK長野放送局、信濃毎日新聞社
協賛	計算科学振興財団、高度情報科学技術研究機構
参加申し込み方法	WEB参加登録フォーム（www.aics.riken.jp/shirutsudoii） もしくはFAXに氏名（ふりがな）、職業、FAX番号、ご連絡先（電話番号等）、年齢、講演会で質問したいことを記入の上、048-825-3274までお申し込みください。
問い合わせ	TEL：078-940-5596

## 「科学道100冊ジュニア フェア」全国の書店・図書館で開催中!

理研と編集工学研究所は、理研創立百周年の2017年春に、科学の面白さ、深さ、広さが伝わる「科学道100冊」を選書した「科学道100冊フェア」を全国の書店・図書館で開催しました（現在も一部書店、図書館で実施中）。秋からは

第2弾として、子どもたちに向けてワクワクするような100冊を選んだ「科学道100冊ジュニア フェア」を全国の書店・図書館で開催しています。ぜひお立ち寄りください。

※書店・図書館によって開催期間が異なる

ります。詳しくは下記URLから特設サイトをご覧ください。

<http://www.riken.jp/pr/kagakudo100/>

問い合わせ：科学道100冊委員会

TEL：03-5301-2214（編集工学研究所内）

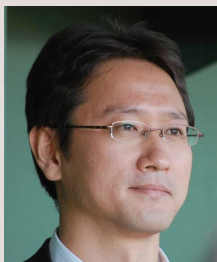
E-mail：info@kagakudo100.jp

## 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

### 創発物性科学研究センター



超分子機能化学部門  
創発超分子材料研究チーム  
チームリーダー

**夫 勇進** ブ・ヨンジン

- ①1973年 ②大阪府 ③早稲田大学大学院理工学研究科博士課程 ④早稲田大学助手、オックスフォード大学（英国）博士研究員、山形大学助教、同准教授 ⑤半導体微粒子の精密合成と高機能化 ⑥アンチ“Simple is best” ⑦ビール、広島東洋カープ

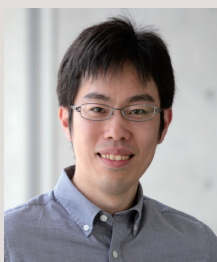


統合物性科学研究プログラム  
量子電子デバイス研究ユニット  
ユニットリーダー

**山本倫久** やまもと・みちひさ

- ①1976年 ②静岡県 ③東京大学大学院理学系研究科物理学専攻博士課程 ④東京大学大学院工学系研究科助手、同助教、同講師、同特任准教授 ⑤半導体ナノ構造や原子層物質における量子力学的自由度の電氣的制御 ⑥ほかの人がやらない研究を行う、多くの視点から物事を見る ⑦ピアノ

### 多細胞システム形成研究センター



心臓再生研究チーム  
チームリーダー

**木村 航** きむら・わたる

- ①1978年 ②東京都 ③東京都立大学大学院理学研究科生物科学専攻博士課程 ④浜松医科大学、テキサス大学（米国）、筑波大学 ⑤酸素代謝と心臓再生 ⑥体が資本 ⑦書店巡り



比較コネクティクス研究チーム  
チームリーダー

**宮道和成** みやみち・かずなり

- ①1979年 ②愛知県 ③東京大学大学院理学系研究科生物化学専攻博士課程 ④スタンフォード大学（米国）博士研究員、東京大学大学院農学生命科学研究科特任准教授 ⑤神経回路の可視化と機能解析 ⑥愉悅に勝る勉勵はなし ⑦ソーシャルゲーム

### 統合生命医科学研究センター



免疫恒常性研究チーム  
チームリーダー

**秋山泰身** あきやま・たいしん

- ①1964年 ②広島県 ③京都大学大学院薬学研究所博士課程 ④ペイラー医科大学（米国）、慶應義塾大学、東京大学 ⑤免疫系による恒常性維持機構の解明 ⑥清く正しく美しく ⑦カーブが得点したら宮島さんを歌うこと

### 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  
経済経営情報融合分析チーム  
チームリーダー

**星野崇宏** ほしの・たかひろ

- ①1975年 ②東京都 ③東京大学大学院総合文化研究科博士課程、博士（学術）、博士（経済学） ④統計数理研究所、東京大学、名古屋大学、慶應義塾大学経済学部教授 ⑤統計的機械学習の因果推論への応用と経済経営現象理解への応用 ⑥人間到る処青山あり ⑦ジョギング

### 科学技術ハブ推進本部



医科学イノベーションハブ推進プログラム  
医薬プロセス最適化プラットフォーム推進グループ  
分子設計インテリジェンスユニット  
ユニットリーダー

**池口満徳** いけぐち・みつり

- ①1967年 ②福岡県 ③東京大学大学院農学系研究科博士課程 ④東京大学、横浜市立大学 ⑤生体系の分子シミュレーション ⑥楽しく研究する ⑦音楽鑑賞



## 思考の軌跡

Miracle of Thought

工藤知子 くどう・ともこ

和光事業所経理部契約課 副主幹

墨が好きだ。墨との触れ合いはさまざまな方法があるが、私にとってはその一つが写経になっている。理研で働き始めてから自然に行くようになった。

日々黙々とパソコンに向き合う最中、不意に「……疲れた」とつぶやいたとき、決まって「そうだ。写経に行こう」となっていることに、あるときふと気が付いた。

■  
仕事はごく当たり前のことでもっぱら制限と付き合いながら進めていくしかない。理研の職員は大きく「事務方」と「研究方」に分けられる。私が所属するのは前者で地味な部門であるが、研究と仕事の大変さは変わらない。その中でも仕事を丹念に進められるコツとは、何だろうか？

■  
毎度仕事疲れを背に行う自己流の写経は、息を吸い背筋を意識的に伸ばして息を吐く、墨をする、筆に墨を吸わせる、文字を一定のリズムでつづっていく。集中し過ぎて息を止めてしまうと、ただただ疲れる作業になるので、呼吸は意識的に行う……。気が付けば写経は終わる。

■  
一番身近で仕事をする人であった先考は、達筆で文字を書くときは万年筆か筆と決まっていた。子どものころはインクと墨液の区別がつかず、全て墨（小学生の書道の時間に起因する）だと思っていた。なので、私の頭の中で「仕事をする人」＝「文字を書く大人」と単純な刷り込みがあったのだろう。

■  
ここまで書いて気が付けば、私の仕事をする人の原点は文字を書く人を転じて墨を使う人になっているのかもしれない。

■  
さて、先の問いについて。私が思い至った丹念に仕事を進めるコツは、長期的な視点を保つ頑固さと、苦勞する方向を見抜くセンスであると思っている。

■  
この思考の軌跡を描けた場合、どんな仕事環境下でも私は心穏やかに過ごすことができる傾向が強い。こう書くと、ものすごく考え込んでしまう変な人のような気も



写真1・筆者近影



写真2・「墨コレクション」の一部。青い表装の掛け軸以外は筆者の蹟。下部絵はがきは自作の年賀状の数々。寺社仏閣巡りも趣味の一つで、御朱印帳は6冊目。

■  
するが、考えることは誰にも拘束できない自由度が高いもので、唯一与えられた平等条件と割り切っている。日々、思考の浅深や飛躍があるのも面白い。

■  
そして、仕事人の私にとって、よりの確な思考の軌跡を得る鍵が写経になった。仕事で大きく行き詰まると、決まって写経している記憶があるし、それ以外では行かないし。

■  
なお、我流思想家の副作用は、ものすごく面倒くさがり屋になったこと。考え過ぎてやり始める前が一番険しい状態になってしまうのだ。——自分のこと、大切に感じる家族や友人を思いやって行動して考えることがよいと思う。

■  
今日もあれこれ考えて、時折、筆を執る。

### 創立百周年記念事業への寄附金のお願い

創立百周年（2017年）の記念事業へのご支援をお願いします。

問合せ先 ●理研 外部資金室 寄附金担当

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

理研 寄附金  
Support RIKEN

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



http://www.riken.jp/