

RIKEN

NEWS

No.440 February 2018

2



FACE 「洗濯できる太陽電池からソフトロボットを目指す研究者」より

研究最前線 ②

生物の形づくりの素過程を解く

研究最前線 ⑥

「京」で新材料候補を探索する

記念史料室から ⑩

理研から生まれた工芸、 それを支えた美校出身者たち

FACE ⑫

- ・ 流体力学ルネサンスを目指す理論物理学者
- ・ 洗濯できる太陽電池からソフトロボットを目指す研究者

TOPICS ⑭

- ・ 茅 幸二 先生を偲んで
- ・ 「スパコンを知る集い in 大津」を開催
- ・ 5年目を迎える「理研グッズ」

原酒 ⑯

通勤時間と目出し帽

生物の発生過程では、細胞の集まりから、さまざまな組織や器官の形がつくられていく。形態形成は非常に複雑な現象であるが、多細胞システム形成研究センター（CDB）形態形成シグナル研究チームの林 茂生チームリーダー（TL）は、さまざまな組織、さまざまな生物に共通する形態形成の素過程を見つけ、その仕組みを理解しようとしている。最近では、気管の長さや太さの制御には、細胞と細胞外環境との対話が重要であることを明らかにした。最先端のライブイメージングを駆使した形態形成研究の最前線を紹介しよう。

生物の形づくりの素過程を解く

■ 形態形成の素過程を解き明かしたい

私たちヒトは、たくさんの細胞が集まってできている多細胞生物である。しかし細胞が集まっているだけでは、生物として機能できない。まず、細胞が仕事を分担するために分化する必要がある。そして同じ種類の細胞が集まって組織をつくり、役割を果たせる形をつくらなければならない。それを形態形成という。

「生物の形態形成は、私たちが工業的に物をつくるのとは、まったく違います」と林TL。例えば、私たちが自動車をつくるときは、たくさんの部品を用意し、それを設計図に従って組み立てていく。部品が足りないと完成しない。一方、生物は部品も自分でつくる。そして、設計図を見せられているわけでもないのに、決まった形をつくることができる。「生物は素晴らしい」と林TLは何度も繰り返す。「私は、細胞の集まりがどのように

して、さまざまな形をつくり出すのか、形態形成の仕組みを知りたいのです」

林TLが目指すのは、形態形成の素過程の理解だ。「形態形成はとても複雑な現象ですが、さまざまな組織、生物に共通する基本的な過程があるはずですよ。それを『素過程』といいます。その数は、多くはないでしょう。それを全て見つけて理解すれば、形態形成の複雑な仕組みを解明できると考えています」

■ 多重化によって確実に陥入する

動物の発生は、1個の受精卵から始まる。受精卵が細胞分裂を繰り返して数を増やすとともに、さまざまな種類の細胞へと分化し、さまざまな組織がつくられていく。その過程で最初に行われるのが、上皮細胞から成る上皮組織だ。上皮組織は、細胞が互いにぴったりくっつき、シート状になっている。その上皮組織が折れ曲がり、体の内側に向かって陥入していくことで管構造が形成され、脳や気管や腸などがつくられていくのだ。林TLは、上皮組織を題材にキイロショウジョウバエを用いて、形態形成の素過程を明らかにしようとしている。

「上皮組織を折り曲げるとするのは、とても大変なのです」と林TL（図1）。上皮組織を構成する細胞は密着して互いに引っ張り合っているため、上皮組織は平らな状態が維持されている。「平らであるようにする上皮組織が、どのような仕

組みで折れ曲がるのか。私たちは、気管が形成される過程で上皮組織が折れ曲がって陥入していく様子を蛍光顕微鏡を使ったライブイメージングによって詳細に観察することで、その仕組みの解明に取り組んできました」

上皮組織の一部が折れ曲がる過程を観察していた近藤武史（たけふみ）基礎科学特別研究員（現 京都大学大学院生命科学研究科 特定助教）は、あることに気付いた。上皮組織を構成する細胞は円柱状である。ところが、くぼみ始めた上皮組織の中央にある細胞1個だけが丸くなっているのだ（図2）。「私は最初、たまたまだろうと思いました」と林TLは振り返る。「しかし、彼は何十回も実験を繰り返し、くぼみの中央に丸い細胞が1個あるのは偶然ではないことを明らかにしました。円柱状の細胞は分裂をするときに丸くなります。つまり、上皮組織がくぼむとき、その中央にある1個の細胞が細胞分裂を始めるということが分かりました」

細胞分裂をしない変異体を用いて気管の形成を観察したところ、上皮組織の陥入が遅れたり、陥入が起きなくなったりすることが確かめられた。「並んでいる円柱状の細胞のうち1個が細胞分裂のために丸くなることで、上皮組織が不安定になって折れ曲がるのです。これが、上皮組織の折れ曲がりの一つの仕組みでした。この研究には続きがあります。上皮組織を上から観察すると、くぼみ始

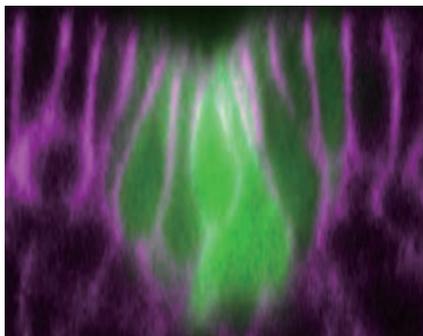


図1 上皮組織の陥入開始

上皮組織の断面像。後に気管になる上皮細胞（緑）が表面（上）から内部（下）に落ち込んでいく様子。細胞の境界をマゼンタで示している。

林 茂生 (はやし・しげお)

多細胞システム形成研究センター
形態形成シグナル研究チーム
チームリーダー

1959年、大阪府生まれ。京都大学大学院理学研究科生物物理学専攻博士課程修了。博士（理学）。米国コロラド大学博士研究員、国立遺伝学研究所教授などを経て、2000年より理研発生・再生科学総合研究センター形態形成シグナル研究グループグループディレクター。2014年より現職。



める前に中央部がキュッととなっている様子が見えるのです」

細胞同士が引っ張り合うことで上皮組織は平らな状態が維持されているが、くぼみができる中央の細胞は周りの細胞に押されているのだ。「圧縮と同時に細胞分裂が始まり、折れ曲がりが起きるので。細胞分裂を起こす圧縮運動が、上皮組織の折れ曲がりの二つ目の仕組みであることが分かりました」。圧縮運動が妨げられる変異体では陥入がうまく進まないことも確かめられた。

次に、圧縮運動と細胞分裂の両方を阻害してみた。「陥入に関わる二つの現象を阻害したのですから、陥入が起きなくなると予測しますよね。ところが、陥入する速度が遅くなったり、場所が乱れたりするものの、陥入が完全になることはありませんでした。実は、三つ目の仕組みがあったのです」

それはFGF（線維芽細胞成長因子）というシグナル物質だった。FGFは、細胞分裂と圧縮運動が正常で陥入が速やかに起きている場合は、気管の管をつくる

ために働く。細胞分裂と圧縮運動のいずれかあるいは両方に異常があつて、陥入が起きるタイミングが遅れると、FGFが陥入を起こす働きも兼ねるのだ。細胞分裂、圧縮運動、FGFの三つを全て阻害すると、陥入が完全に起きなくなる。

「発生過程では、さまざまなアクシデントが起きます。一つ問題が起きるだけで全ての発生が停止してしまったら大変です。仕組みを多重化することで、陥入が確実に進むようになっていたのです」

■ バックリングを利用して形をつくる

「上皮組織は体の内側に向かって陥入した後、さらに折れ曲がって管構造がつくれます。これは、バックリング（座屈）と呼ばれる変形で、ものづくりの現場では避けるべきものです」と林TLは指摘する。真っすぐな棒の両端から軸方向に力をかけていき、一定の荷重を超えると折れ曲がる。それが、バックリングだ。工業的には、材料を硬くするか、しなやかにするかのどちらかで、バックリングの発生を避けている。

「バックリングを避けるというのは、生物でも同じです。しかし、バックリングは必ずしも困りものではなく、生物はバックリングを積極的に使うことで、平らなシートから管という新しい形をつくり出しているのです。新しい形をつくるためには、そういう大胆なことも必要だったのではないのでしょうか」

■ 細胞と細胞外マトリクスの対話が 気管の長さとおさを制御

「ショウジョウバエの気管は、胴体にぴったり収まる長さになっています。設計図を見ているわけでもないのに、どうしてちょうどいい長さになるのか。不思議に思いませんか」と林TLは問い掛ける。

気管を不必要に長くしない仕組みがあると考え、董波 研究員（現 中国海洋大学 教授）が気管が過剰に長くなる変異体を観察。「長過ぎる気管は、くねくねと蛇行します。しかしランダムに曲がるのではなく一定の波長で周期性を持って蛇行しています。周期性があるという

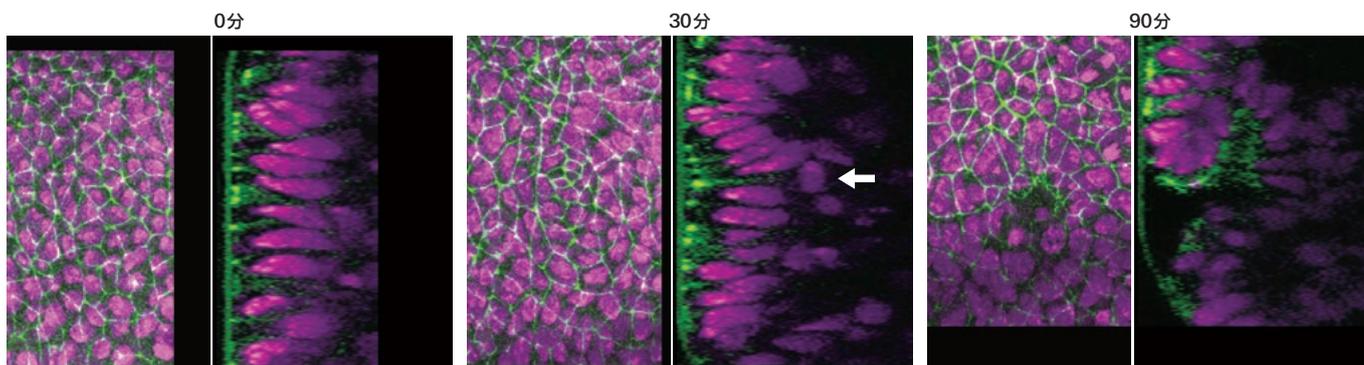


図2 上皮組織の陥入と気管原基の形成

上皮組織を上から見た像（左）と断面像（右）。断面像では右が管腔側。上皮組織は、円柱状の細胞が並び、互いに引っ張り合って表面は平らになっている（0分）。気管になる領域の中央にある細胞が圧縮されて表面がくぼみ、その細胞は丸くなって（矢印）細胞分裂を始める（30分）。平らだった上皮組織が陥入し、さらに折れ曲がって管構造が形成される（90分）。

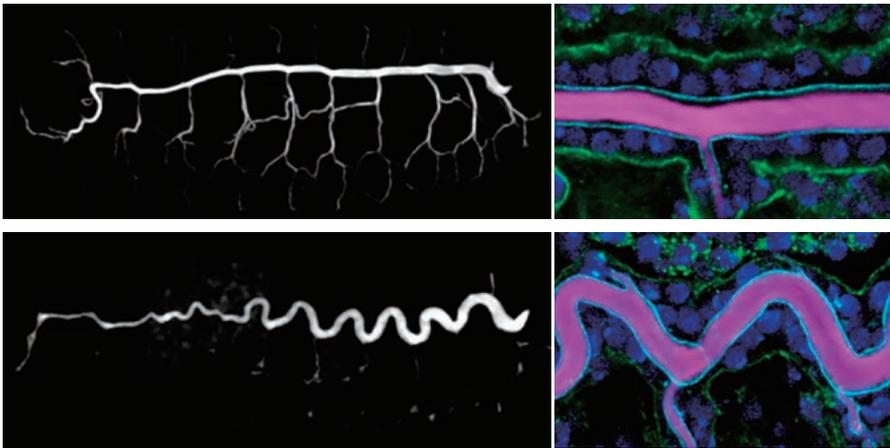


図3 ショウジョウバエ胚の気管系

上は野生型、下は細胞の拡張力に関わる遺伝子に異常があるshrub変異体。中央の太い管が、変異体では過剰に伸長して波打つように湾曲する。右は、気管上皮細胞の頂端側（管腔側）の細胞膜を水色、基底側の細胞膜を緑色、細胞核を青で染め分けたもの。管腔は細胞外マトリクス（マゼンタ）で満たされている。変異体では、頂端側の細胞膜が過剰に伸長して波打つように湾曲している。細胞の数は、野生型と変異体でほとんど変わらない。

ことは、何らかの物理的な性質を反映しているのではないかと考え、詳しく調べていくことにしました」と林TL (図3)。

気管が過剰に長くなる変異体は、いくつか報告されている。林TLらは、変異体を原因遺伝子ごとにグループ分けしたところ、三つのタイプがあることが分かった。一つ目は、気管を形成する上皮細胞が前後に伸びようとする「拡張力」に関わる遺伝子に異常があるもの。二つ目は、気管の内側部分（管腔）を満たしている細胞外マトリクス（基質）の「弾性力」に関わる遺伝子に異常があるもの。ショウジョウバエの場合、発生期の気管の管腔にはタンパク質とキチン質を主成分としたマトリクスが充填されていて、孵化直前に分解・吸収される。マトリクスは、ねばねばしたゲル状で、前後に伸びようとする細胞に対して抵抗する力として働く。変異体では、マトリクスの特性が変化しているのだ。三つ目は、細胞とマトリクスをくっつける「接着」に関わる遺伝子に異常があるものだ。

共同研究者のEdouard Hanezo氏（フランス・キュリー研究所、現 英国・ケンブリッジ大学）は、気管の物理モデルを作成し、気管の形成をシミュレーションした。すると、細胞の拡張力がマトリクスの弾性力を上回ると、気管が過剰に伸長して一定の波長で周期的に蛇行した。また、細胞とマトリクスの接着が弱い場合も、気管が過剰に伸長した。

「シミュレーションは、細胞が前後に伸びようとする拡張力と、それを引っ張るマトリクスの弾性力が釣り合うことで気管の長さが決まることを示しています」と林TLは解説する。「生物は設計図を見せられなくても、細胞とマトリクスの対話によって適正な長さの気管をつくることのできるのです」。細胞とマトリクスの接着に異常があると対話ができず、気管が過剰に伸長してしまう。

「気管が過剰に伸びると、くねくねと蛇行します。これはバックリングです。細胞とマトリクスとの対話は、バックリングを回避する仕組みでもあるのです」

気管のサイズについては、長さのほかにも、もう一つ不思議なことがある。気管の断面を見ると、同じ太さでありながら、1個の細胞がリング状になり管をつくっているところや、2個あるいはもっと多くの細胞から成るところなど、さまざまな

のだ(図4左)。当然、細胞の1個1個の大きさは変わってくる。「1個1個の細胞が最終的につくらなければいけない気管の太さを知っていないと、そのようにはなりません。しかし、設計図を見ているわけでもない。細胞同士はどのようにして気管の太さの情報を共有しているのか、大きな謎でした」

気管の太さの制御には、細胞骨格のアクチン繊維が関わっていることが知られている。アクチン繊維は、アクチンというモノマー（単量体）がつながって繊維状になったもので、状況に応じて長さを変え、細胞と細胞の接着や細胞分裂などに重要な役割をしている。そのアクチン繊維ができない変異体では、気管の太さが不ぞろいになってしまう。しかし、アクチン繊維が気管の太さをどのように制御しているのか、その仕組みは明らかになっていなかった。

林TLらは、気管がつくられていく過程のアクチン繊維を詳細に観察。すると、まず気管を構成する細胞の管腔側にアクチンが集まり始める様子が見えた。



図4 気管のアクチンリング

左は模式図。気管の太さは均一だが、細胞が1個のところや複数のところがある。細胞内の管腔側にはアクチン繊維が形成され、その端は隣の細胞のアクチン繊維の端と連結している。1個の細胞が気管をつくっているところでは、アクチン繊維が一周して反対側の端と連結する。右は蛍光顕微鏡の画像で、アクチンリング（緑）の間隔は均等になっている。

関連情報

- 2015年6月25日CDBニュース
アクチン繊維の自己組織化が管の形を整える
- 2015年1月8日CDBニュース
管の形を外側から決める？
- 2014年5月2日プレスリリース
細胞外マトリクスの形態形成における新たな動きの発見
- 2013年1月14日プレスリリース
組織形成における細胞分裂の新しい役割の発見
- 2007年11月16日CDBニュース
EGFRシグナルの波が上皮の陥入を促す

やがてアクチンはつながり、管腔に沿うように繊維状になる。複数の細胞が気管をつくっているところでは、アクチン繊維の端は隣の細胞のアクチン繊維の端とぴったり合って連結している。1個の細胞が気管をつくっているところでは、アクチン繊維が一周して反対側の端と連結している。アクチン繊維が管腔を取り巻くようにリング状になっていることから、アクチンリングと呼ばれる(図4右)。

林TLらは、気管の太さが不ぞろいになってしまう変異体も観察。正常な個体ではアクチンリングは一定間隔で並ぶが、変異体ではアクチンリングの間隔が広がっていた(図5)。気管の物理モデルを作成してシミュレーションした結果も同様になった。これらの結果から、どのようなことが言えるのだろうか。

「アクチン繊維が収縮すると、気管の管腔を満たしている細胞外マトリクスによる反発を受けます。このアクチン繊維の収縮力とマトリクスの反発力が釣り合うことで気管の太さが決まるのではない

かと考えています。この仕組みであれば、細胞が1個のところでも、複数のところでも、気管の太さは一定になります」。変異体では、アクチン繊維の収縮力とマトリクスの弾性力がうまく釣り合わないために安定しないのだと考えられる。気管の形成途中には、くびれができては消えていくという繰り返し、あちらこちらで見られた。

「気管の長さや太さが細胞とマトリクスとの対話によって制御されていることが明らかになりました。これは今まで知られていなかった仕組みです」と林TL。「マトリクスをつくるのは細胞です。細胞が環境をつくり、自らがつくった環境によって形づくりが進んでいく。自律的に完結した工場をつくっているのです。やっぱり生物は素晴らしいですね」

■ いい画像は、いい想像力を刺激する

「物理学ではニュートンの法則によって、リングの落下も太陽系の惑星の公転も理解できます。形態形成の素過程が分かれば、あらゆる組織、器官、生物

の形態形成を理解し、予測できるようになるでしょう。それを私たちは目指しています」と林TL。「形態形成の理解には、遺伝子だけでなく、細胞と細胞外環境の対話など巨視的な視点も必要のことが分かってきました。視野を広くすることでこそ、形態形成の素過程の理解が進むのではないのでしょうか。林TLらは今、発生の過程でマトリクスの組成がどのように変化していくのかを調べている。

形態形成シグナル研究チームのホームページには、思わず見入ってしまうほどきれいな画像や動画が多数掲載されている。「生物の組織を、頭を空っぽにして見る。どこに惹かれるか、どこを不思議だと思うかを、自分自身に問い掛ける。そして、その点に注目して、なぜそうなるのかを解き明かしていく——それが私たちの研究スタイルです」と林TL。「そのとき、画像は重要です。画像は英語でimage、そしてimagingには想像するという意味があります。いい画像は、いい想像力を刺激しますから」

(取材・執筆：鈴木志乃/フォトクリエイト)

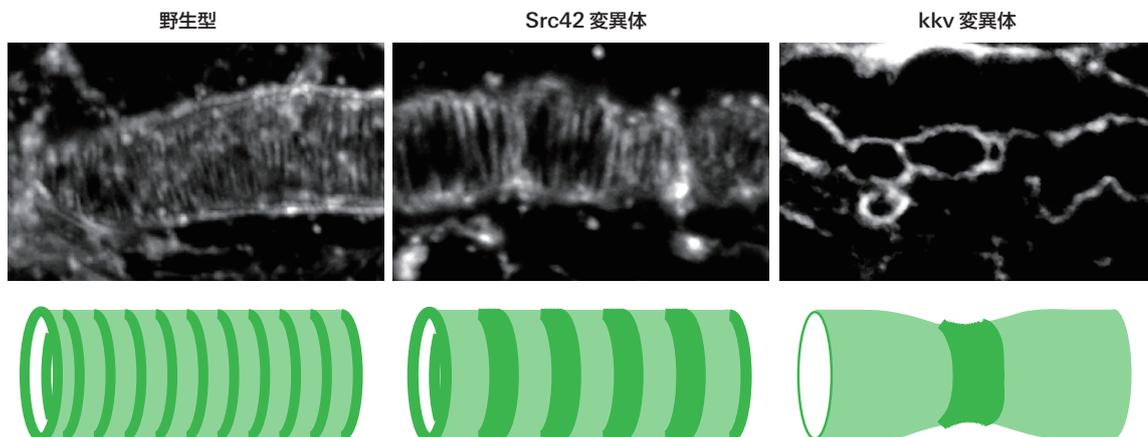


図5 アクチンリングの形成と気管の太さ

野生型ではアクチンリングの間隔は均等で、気管の太さが均一である。細胞間接着の関連因子を欠損した場合(Src42変異体)や、細胞外マトリクスを欠損した場合(kkv変異体)は、アクチンリングが太くなったり間隔が広がったりして、気管の太さが不ぞろいになる。

これまで、新しい機能を持つ材料を開発するために、さまざまな化合物をつくり、その機能を調べる実験が繰り返されてきた。計算科学研究機構（AICS）量子系分子科学研究チームの中嶋隆人チームリーダー（TL）たちは2017年、スーパーコンピュータ「京」の中で1万種類以上の化合物をつくり、その中からペロブスカイト太陽電池の新材料の有力候補を発見することに成功した。さらに中嶋TLたちは、次世代理論分子科学の構築を目標として、これまで計算することが難しかった、さまざまな環境にある複雑で大きな分子を高精度で計算できる分子理論と計算手法の開発を進めている。それにより、次世代のスパコンの中でさまざまな化合物をつくり、最適な新材料候補を発見できるようにすることを目指している。

「京」で新材料候補を探索する

■ 11,025種類の化合物から 新材料候補を選び出す

桐蔭横浜大学の宮坂 力 教授らが2009年に発表したペロブスカイト太陽電池は、米国の科学雑誌『Science』で2013年の10大ブレイクスルーの一つに選ばれるなど、大きな注目を集めた。

ペロブスカイト太陽電池は基板に材料を塗るだけで製造できるため、従来のシリコン系太陽電池などに比べて低コスト化が実現できる。しかも、軽くて薄く、曲げることができるため、これまで設置が難しかった場所や用途で使えると期待されている。太陽の光エネルギーから電気への変換効率も、2009年には3.8%だったが、現在では20%を超え、実用レベルに達している。

ただし課題もある。その一つが有毒な鉛を使うことだ。そこで、有毒な元素を使わずに高い変換効率を実現するペロ

ブスカイト太陽電池の新材料の開発が望まれている。

「私たちは、その材料開発を『京』で行うことにしました」と中嶋TL。「ペロブスカイト太陽電池は、ペロブスカイトと呼ばれる結晶構造を持つ化合物を使います。私たちは、その中の『二重ペロブスカイト ($A_2BB'X_6$ 型)』の化合物に注目しました」(図1)

$A_2BB'X_6$ は、A、B-B'、Xという三つのサイトに分かれる。中嶋TLたちは、Aに3種類、B-B'に49種類（第2族～第15族内の金属原子）、Xに3種類の元素を当てはめることで、合計11,025種類の化合物を、「京」の中で仮想的につくった。

「次に、それぞれの性質を計算して、ペロブスカイト太陽電池の材料としてふさわしいものを選び出しました」

ここでペロブスカイト太陽電池の仕組

みを簡単に見てみよう(図2)。まずペロブスカイト層に太陽光が当たると、①マイナス電荷の電子とプラス電荷の正孔のペアができる。②そのペアはすぐに分離してペロブスカイト層内を移動し、③電子は電子輸送層を経て負極へ、正孔は正孔輸送層を経て正極に蓄積される。④電極を結ぶと電気が流れる。

ペロブスカイト太陽電池の材料としてふさわしい化合物の主な性質は、①太陽光が当たって電子と正孔のペアができやすいこと、②ペロブスカイト層内を電子と正孔が移動しやすいこと、③ペロブスカイト層から電子が電子輸送層へ、正孔が正孔輸送層へ流れやすいことだ。もちろん、 $A_2BB'X_6$ 型の二重ペロブスカイト結晶構造を安定に保つことが必須だ。

「例えば、ペロブスカイト層から電子が電子輸送層へ、正孔が正孔輸送層へ流れやすいかどうかは、エネルギーバンドという電子状態を計算することで調べることができます。ペロブスカイト層と正孔輸送層の価電子帯というエネルギーバンドの位置(エネルギーの大きさ)に少し段差があると、正孔が最も流れやすくなります。電子でも、ペロブスカイト層と電子輸送層の伝導帯のエネルギーバンドの位置に少し段差がある状態が最適です。それぞれの段差が大きいと、正孔や電子が流れにくくなり、電極にたどり着く確率が低くなって発電効率が低下する原因となります」(図3)

11,025種類の化合物の中から太陽電池の材料としてふさわしい性質の化合物を選び、有毒な鉛、水銀、カドミウム、

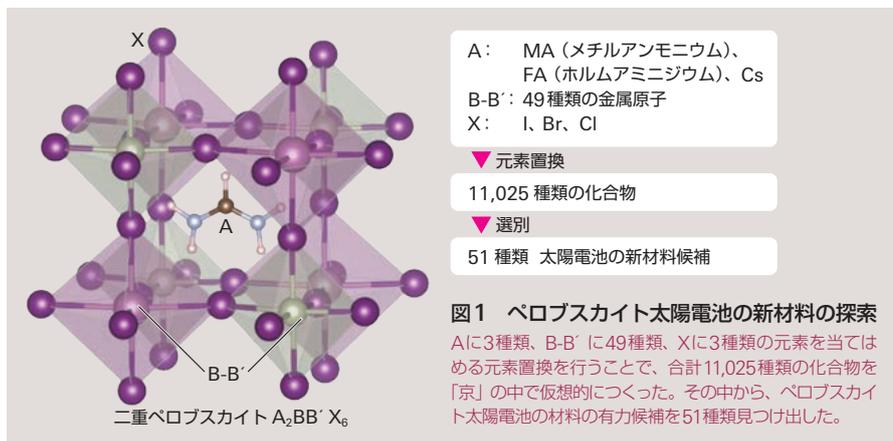


図1 ペロブスカイト太陽電池の新材料の探索
 Aに3種類、B-B'に49種類、Xに3種類の元素を当てはめる元素置換を行うことで、合計11,025種類の化合物を「京」の中で仮想的につくった。その中から、ペロブスカイト太陽電池の材料の有力候補を51種類見つけ出した。

中嶋隆人 (なかじま・たかひと)

計算科学研究機構
量子系分子科学研究チーム
チームリーダー

1967年、鳥取県生まれ。博士(工学)。早稲田大学大学院工学研究科化学専攻修士課程修了。京都大学大学院工学研究科合成・生物化学専攻博士課程研究指導認定退学。東京大学大学院工学系研究科准教授などを経て、2010年より現職。



ヒ素、タリウムを含むものを除外すると、最終的に51種類の化合物が残った。それらはいずれも実験で合成されたことがない、初めて見つかった化合物であり、ペロブスカイト太陽電池の材料の有力候補だ。

「51種類という数は、意外と少ないと感じました」と中嶋TL。その51種類のB-Bサイトの元素の組み合わせを周期表の族で分類すると、①第14族—第14族(16個)、②第13族—第15族(16個)、③第11族—第11族(7個)、④第9族—第13族(6個)、⑤第11族—第13族(4個)、⑥第11族—第15族(2個)の6タイプに分かれる。「太陽電池にふさわしいB-Bサイトの元素の組み合わせには、法則性があることが分かったのです」

■ 実験データからAIで変換効率に重要な性質を見つけ出す

51種類の中で変換効率が最も高い化合物はどれか? 「それを計算だけから導

き出すことはできません。51種類の化合物のうちいくつかを実際に合成し、変換効率を含むさまざまな性質を測定する必要があります。その実験データを人工知能(AI)の機械学習で分析すれば、変換効率と関連が強い性質が何かを見つけ出せます。その関係性が分かれば、51種類の全ての化合物について、変換効率を計算で予測できるようになります。実験家の方にはぜひ、何種類かの化合物を合成して、変換効率などを測定していただきたいですね」

実用化には、変換効率だけでなく、製造のしやすさや耐久性なども重要だ。今回は、AサイトとXサイトにそれぞれ3種類の元素を当てはめたが、それ以外の元素を用いることで、より良い材料ができる可能性がある。「化合物の候補の数や情報を増やして材料ライブラリーを拡充することで、ペロブスカイト太陽電池の開発に貢献することができます」

■ レアメタルフリーのペロブスカイト光触媒を発見

ペロブスカイト構造を持つ化合物の中には、光が当たると水が酸素と水素に分解する反応を促進する、光触媒の機能を持つものがある。そのような材料は、水から水素燃料を生み出す人工光合成システムの材料として有望だ。

中嶋TLたちは、「京」を使って太陽電池と同様の手法で、ペロブスカイト光触媒の新材料を探索する研究も進めている。「29,000種類以上の化合物をつくり、光触媒に関わる性質が優れているものを40種類ほど選び出しました」

すでに報告されているペロブスカイト光触媒の多くは、高価なレアメタルを含んでいる。そのため、レアメタルを含まない高効率のペロブスカイト光触媒の材料が望まれている。

「私たちが『京』で見つけ出したものの中には、レアメタルを含まない化合物が6種類あります。それは実際に合成され

図2 ペロブスカイト太陽電池の仕組み

- ① マイナス電荷の電子とプラス電荷の正孔のペアができる
- ② そのペアはすぐに分離してペロブスカイト層内を移動
- ③ 電子は電子輸送層を経て負極へ、正孔は正孔輸送層を経て正極に蓄積
- ④ 電極を結ぶと電気が流れる

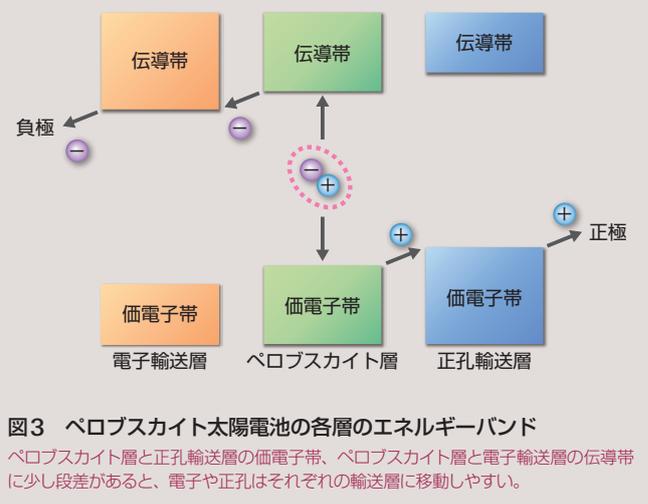
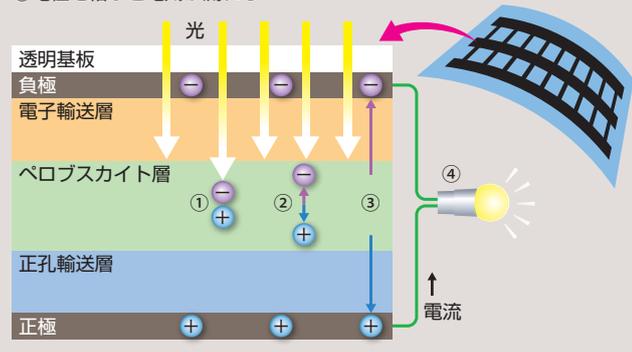


図3 ペロブスカイト太陽電池の各層のエネルギーバンド
ペロブスカイト層と正孔輸送層の価電子帯、ペロブスカイト層と電子輸送層の伝導帯に少し段差があると、電子や正孔はそれぞれの輸送層に移動しやすい。

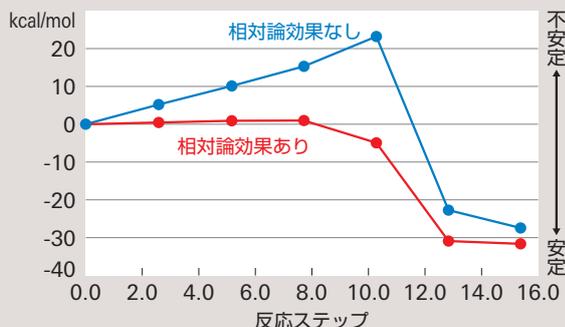
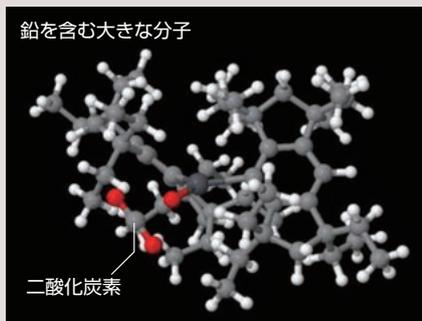


図4 化学反応のしやすさと相対論の効果

鉛を含む大きな分子が二酸化炭素を取り込む過程の、化学反応のしやすさをNTChemで計算した(右図)。相対論の効果を入れないで計算すると、反応ステップ(横軸)の10.0にかけて不安定性が増大して反応が進まない。相対論の効果を入れて計算すると、反応ステップの全段階で不安定化が起きず、反応が進む。鉛のような重い元素を含む分子の化学反応において、相対論効果が重要であることを示している。

たことがないものですが、ペロブスカイト光触媒の材料として有望です」

■ 巨大分子の性質を導き出す NTChemを開発

人工光合成には、お手本となる材料がある。生物が光合成で用いているタンパク質だ。岡山大学の沈建仁教授たちは大型放射光施設SPring-8を使って、光合成で中心的な役割をする光化学系IIというタンパク質の構造解析に成功。『Science』は、それを2011年の10大ブレイクスルーの一つに選んだ。

光化学系IIは、マンガンを含む約100万個の原子から成る巨大分子だ。その構造を参考に、金属と有機物を組み合わせた錯体などの巨大分子を設計して、人工光合成システムあるいは太陽電池の優れた材料を開発できる可能性がある。「しかし既存の計算法では、せいぜい100個ほどの原子から成る小さな分子しか、その性質を高精度で計算することが難しいという課題がありました」と中嶋TLは指摘する。

量子論のシュレーディンガー方程式を解けば、原子や分子の性質を全て計算することができる。しかし、複雑な分子になると正確に解くことができないので、何らかの近似が必要になる。「分子中の1個の電子が分子全体に広がった軌道(分子軌道)を動き回ると仮定して近似を行い、分子の性質を高精度で計算する『分子軌道法』という手法があります。私たちは、分子軌道法の適用範囲を大きく広げて、さまざまな環境にある複雑で大きな分子の性質を高精度で計

算できる分子理論と計算手法の開発を進めてきました」

その成果として、「京」の特徴に合わせて並列計算できる分子科学計算ソフトウェア「NTChem」を開発し、外部の研究者が利用できるように2013年に公開した。NTChemの特徴は、1,000個ほどの原子から成る大きな分子の性質を高速で計算できることだ。「従来の計算法では、分子を構成する原子の数の3乗で計算量が増えてしまうので、大きな分子の計算が難しかったのです。原子の数にはほぼ比例して計算量が増えるような計算法を導入しました」

タンパク質などの生体分子は、周囲に水がある環境で本来の機能を発揮する。NTChemは周囲に水がある場合とない場合の違いなど、さまざまな環境における電子状態の計算を行うことができる。

「さらに、相対論の効果を入れて計算できることもNTChemの大きな特長です」と中嶋TL。

超高速で運動する電子を持つ物質には相対論の効果働く。原子核は原子番号と同じ数の陽子を持つ。遷移金属などの原子核はたくさんの陽子を持つため、その近傍の電子は大きなプラス電荷によって強く引き付けられ超高速で運動する。光速に近くなるにつれて運動する電子の質量は重くなるので、相対論の効果を検討しないとと比べ、原子核にさらに引き付けられ分子軌道が縮む。そのため、遷移金属などを含む分子の電子状態を計算するには、相対論の効果を入れる必要があるのだ。

「私たちは、NTChemによって、原子

番号82の鉛を含む大きな分子と二酸化炭素との化学反応を、相対論の効果を入れた場合と入れない場合で計算してみました」(図4)

すると、相対論の効果を入れた計算では、鉛を含む分子は二酸化炭素を取り込みやすいが、相対論の効果を入れない計算では、二酸化炭素を取り込みにくくなるのが分かった。「分子軌道の形によって、化学反応の起きやすさは異なります。相対論の効果をきちんと計算することで、遷移金属を含む触媒分子などの分子軌道を正しく計算して、その機能を知ることができます」

相対論の効果は、分子がどの波長の光を吸収しやすいかといった性質にも影響する。従って、相対論の効果を入れることは、太陽電池や人工光合成システムの新材料を探索する上でも重要だ。

■ 「京」とNTChemで フラレンの電子状態を計算

中嶋TLたちは2016年、「京」とNTChemを組み合わせ、フラレンの性質を世界最高の精度で計算することに成功した。

60個の炭素がサッカーボール状につながったC₆₀フラレンが1985年に発見され、その発見者には1996年のノーベル化学賞が贈られた。C₆₀は電気を通す性質があり、有機太陽電池など、さまざまなデバイスの材料として注目を集めている。

ただし、炭素からフラレンをつくるときに必要なエネルギーである「生成熱」を実験で正確に測定するのは難し

関連情報

- 2017年10月5日プレスリリース
「京」でペロブスカイト太陽電池の新材料候補を発見
- 2016年3月16日プレスリリース
スーパーコンピュータでフラーレンの性質を探る

い。生成熱は炭素同士の結合がどのくらい安定かといった基本的な物性の指標となる。

従来は、生成熱を理論的に計算することも難しかった。生成熱の計算には、高精度の電子状態の計算が必要だからだ。「1個のフラーレンは、高精度で電子状態を計算するには大き過ぎ、金属結晶のように同じ構造が周期的に並んだものとして計算するには小さ過ぎる分子でした」

中嶋TLたちは、 C_{60} に加えて、炭素が70個、76個、78個、84個、90個、96個、180個、240個、320個で構成される10種類のフラーレンについて、生成熱を計算した。 C_{60} は、炭素が構成する五角形12個と六角形20個が組み合わさってサッカーボール構造をつくっている。六角形は安定な構造だが、五角形はゆがんで不安定化の原因となる。炭

素の数が多い大きなフラーレンほど、五角形の割合が減り、六角形の割合が増える。

炭素の六角形だけで構成された原子1層分のシートをグラフェンと呼ぶ。フラーレンを大きくして六角形の割合が増えていくと、全て六角形から成るグラフェンの構造に近づいていくため、その生成熱はグラフェンにほぼ等しくなると予想されていた。

「私たちが電子状態を高精度で計算したところ、フラーレンを大きくしても、グラフェンの生成熱には近づかないことが分かりました(図5)。その原因は五角形のゆがみが予想外に大きくなり不安定化することです。私たちは、10種類のフラーレンの計算から得られた知見から、大きなフラーレンの生成熱を計算できる一般的な理論式を導き出すことに成功しました」

グラフェンは、高速の電子(質量のないディラック電子)が流れるなど、その物性が大きな注目を集めている。グラフェンと生成熱が異なる大きなフラーレン分子は、グラフェンにはない優れた特性を持つ新しい材料となる可能性がある。

■ポスト「京」とNTChemで 巨大分子の新材料を発見する

冒頭で紹介したペロブスカイト型の太陽電池や人工光合成システムの新材料を探索する計算は、NTChemではなく、結晶のように同じ構造が周期的に並んだ固体のバンド構造を計算する既存法を利用して行ったものだ。

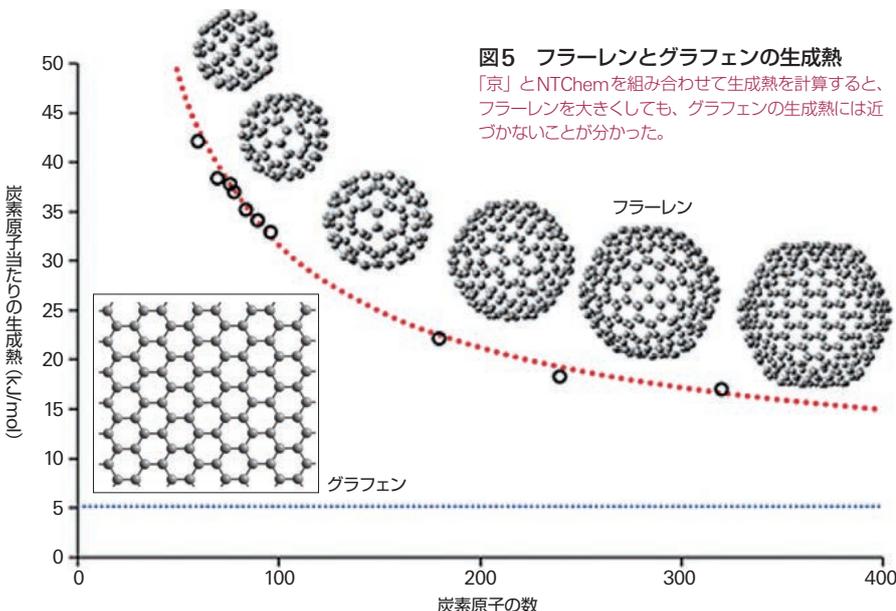
「将来的には、ペロブスカイトのような固体系の電子状態についても、NTChemを使って既存法より精度よく計算できるようにしたいと考えています」と中嶋TL。

AICSでは、2020年ごろの稼働を目指してポスト「京」の開発が進められている。ポスト「京」では、「京」で1年かかる問題を数日で解けるようになる。

「ポスト『京』とNTChemを組み合わせ、1万個ほどの原子から成る巨大分子の性質を計算することを目指しています。ポスト『京』の中で数百万種類以上の巨大分子をつくり、その中から最適な材料を選び出すことができるようになるでしょう」

2020年代、次代理論分子科学に基づき、ポスト「京」でさまざまな新材料を発見する時代が訪れようとしている。

(取材・執筆:立山 晃/フォトンクリエイト)



理研から生まれた工芸、 それを支えた美校出身者たち

2017年11月、理研は石川県金沢市で「科学講演会 in 金沢」を開催した。冒頭の松本 紘 理事長あいさつでは、開催地・金沢と理研を結ぶ存在として、人間国宝・寺井直次氏（写真1）の名前が紹介された。日本の伝統工芸である蒔絵作家であり、人間国宝（重要無形文化財保持者認定）となるまで技を窮めた寺井直次氏と理研に、どのような関係があるのだろうか。理研と芸術家、異色に思える組み合わせの謎を探る。

理研初の「美校出」、寺井直次

寺井直次は、1930年に東京美術学校（現 東京藝術大学）漆工科に入り、日本の現代漆工芸の草分け的存在である六角紫水 主任教授に師事した。在学中から、日本を代表する技術である漆工芸を海外へ紹介したいという思いが強く、当時の輸出漆器の質の低さやそれに伴う悪評に危機感を持っていたようだ。この思いから、日本とは異なる温湿度の土地でも狂いが生じない金胎漆器にとりわけ強い関心を抱いていた。金胎漆器とは、金属を素地とし漆を施す技術だ。そして、理研で開発されたアルマイトという新素材を知ることになる。

一方そのころ、理研はアルマイト製品の普及・輸出のため、金胎漆器の可能性を模索していた。理研第三代所長・大河内正敏 博士は、親交のあった六角氏に「理研に美校出が欲しい」と要請、手を挙げたのが寺井だった。こうして、寺井は1935



写真1 寺井直次作「金胎蒔絵水指 梅」

1975年、初めて作品に金胎を用い第22回日本伝統工芸展に出品。寺井は戦後、理研を退職し漆工芸の道を歩む。理研で開発したアルマイト金胎漆器の技を窮めたほか、独自の卵殻技法が評価され人間国宝となった。

（所蔵・写真提供：石川県立美術館）

年、理研で初めて美校出身の研究生となり、アルマイトに漆を定着させる研究にいそむこととなる。

アルマイトは、腐食しやすいアルミニウムの表面を酸化被膜で覆ったもので、1920年代に宮田 聰が中心となり理研で開発された。理研は、1928年にアルマイト製品製造に乗り出し、1931年に商標登録、1932年には販売を開始していた。寺井が入所した2年後（1937年）、アルマイト漆器の試験工場として「理化学研究所静岡工場」（写真2）が輸出漆器の産地だった静岡に建設され、アルマイト加工およびアルマイト漆器の量産が始まった。

軽量性、強度、耐食性、加工性に優れたアルマイトは、薬缶、鍋、弁当箱として知らない人はいないというほどに市民生活に普及した。とりわけ、アルマイト製の弁当箱は大変な人気を博した（写真3）。それ以前はアルミ製の弁当箱が一般的だったため、いわゆる日の丸弁当（白米に梅干し）にすると梅干しの塩分でふたに穴が開くということがあった。また、録音盤素材としても広く使用され、終戦時の玉音放送もアルマイト盤に録音された（『理研ニュース』2005年5月号「記念史料室から」）。

入所した寺井は、アルマイト製作時の電解液の濃度や温度、電流を調整し、漆が剥離しない条件を研究した。そして、酸化被膜に生じる微細な孔に漆が浸透することで剥離しにくくなることを発見している。一方、なぜか作家として活動した形跡



写真2 財団法人理化学研究所静岡工場の正門（静岡県静岡市）

現在は、静岡工場の流れをくむ理研軽金属工業株式会社が操業を続けている。

（写真提供：理研軽金属工業株式会社）



写真3 理研で製作されたアルマイト製弁当箱と録音盤「RIKEN DISC」の文字が読める。

はない。東京美術学校を主席で卒業するほどの才能を有していたにもかかわらずだ。寺井作品を多く所蔵する石川県立美術館で漆工芸を専門とする学芸員の有賀 茜^{あるが あかね}さんは、「当時の日本には、漆工芸に衰退の影があり、工芸技術として生き残るためには海外に出るしかない。そんな切迫感から軽くて丈夫で狂うことのない金胎、とりわけアルマイトに懸けるような思いがあったのではないのでしょうか。寺井にとって、理研での研究生生活は楽しいものだったのかもしれませんが」と語る。新素材アルマイトと伝統工芸の漆。理化学研究所と東京美術学校卒のアーティストは、出会うべくして出会ったのだった。

1939年、米国ニューヨークで開催された万国博覧会に、理研は国会議事堂を描いた三面衝立屏風^{ついでてびょうぶ}（写真4）と大花瓶、2点のアルマイト漆器を出品。製作指導はアルマイト発見に携わった宮田が当たり、六角と寺井も加わり理研静岡工場で作られた。これを機に、理研アルマイト漆器は拡大を遂げ、静岡工場は1940年、理研電化工業株式会社と改組、財団理研から独立した企業となり、理研コンツェルン（理研産業団）の一翼を担っていく。

東京美術学校から理研にやって来たのは寺井だけではない。寺井に続いて入所した3人も紹介しておこう。

生駒 弘

1人目は、生駒 弘である。東京美術学校の六角のもとで学んだ生駒は、卒業後、沖縄で琉球漆器の製作・振興で活躍していた。その生駒に注目し、理研に呼び入れたのも大河内所長であった。生駒は1940年、理研静岡工場に工芸部長として赴任し、翌年、台湾に新たに建設された新竹工場の工場長となった。南国風の琉球漆器の要素を取り入れて輸出増強を図り、アルマイト漆器を貴重な外貨獲得品として育てていく。残念ながら、生駒の理研時代の作品は史料として残っていない。理研退職後は、故郷の秋田に戻り、ご子息・生駒親雄氏と共に生駒漆芸工房を立ち上げ、秋田県産さわぐるみを素地とした、軽くてゆがみの少ない漆工芸「生駒塗」を生み出し、秋田を代表する工芸品に育てていった。

柏崎栄助

奇遇なことに生駒 弘 夫人の従兄弟に、柏崎栄助という、同じく東京美術学校の卒業生がいる。柏崎は、東京美術学校図案科を卒業して、国内各地で工芸調査に携わった後、1940年に理研静岡工場に入る。理研電化工業時代の1943年ごろに製作した、美しい染色アルマイトの小箱が、現在も福岡県立美術館に残っている。銀、紫、赤に染色した細いアルマイト板をはり付け、黒漆のラインが走るデザインで、当時流行した



写真4 三面衝立屏風
（所蔵・写真提供：理研軽金属工業株式会社）

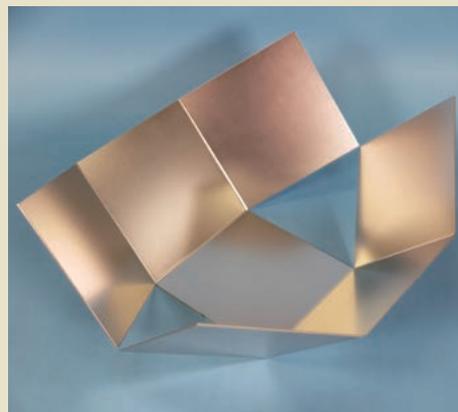


写真5 フルーツ籠
レプリカ製造は、2016年、亀井 透氏のご子息・亀井薫氏の発案で、株式会社久宝金属製作所によって製作された。

アールデコの影響か、青年期を過ごした沖縄の琉球織の影響か分かりかねるが、現代にも通用するモダンさが感じられる。

亀井 透

3人目は、1940年に東京美術学校洋画科を卒業し、技手として入所した亀井 透^{とほろ}だ。亀井は学生時代、後に戦後日本のインダストリアルデザインを確立する柳 宗理^{そうり}と共に学び、日本のデザイン界に衝撃を与えたフランスのインダストリアルデザイナー、シャルロット・ペリアンの薫陶を受けた。卒業時には銀時計を拝領するほどの成績優秀者であり、理研静岡工場ではデザイン研究室長に任じられている。理研が商工省とも連携し、国策の殖産興業の一環として取り組んでいたアルマイト漆器において、輸出力強化につながる新しいデザインを模索した。残念ながら当時の亀井作品は残っていないが、写真や資料をもとに復元したフルーツ籠が、理研記念史料室に寄贈されている（写真5）。アルマイト素材の特性を活かしたデザインは、現在でも通用する斬新なものだ。

理研で研究開発された新素材アルマイトは、専用工場を設け、一企業に発展するまでに、国内市場でも輸出品としても普及、拡大した。この成功と発展の陰に、美校出身アーティストたちの働きがあったのだ。

流体力学ルネサンスを 目指す理論物理学者

水や空気などの流体のマクロな状態を記述する「流体力学」と、物質の最小単位である電子やクォークなどの素粒子を記述する「量子論」をつなごうとしている理論物理学者がいる。

理論科学連携研究推進グループ (iTHES) の

本郷 優 基礎科学特別研究員 (以下、研究員) だ。

「素粒子がたくさん集まって複雑な状況に置かれたときに

何が起きるのか、よく分かっていません。

それを、量子論に基づき『流れ』を記述することで理解したいのです」

そう語る本郷研究員の素顔に迫る。



本郷 優

理論科学連携研究推進グループ
分野横断型計算科学連携研究チーム
基礎科学特別研究員

ほんごう・まさる

1987年、埼玉県生まれ。博士 (理学)。
東京大学理学部物理学科卒業。東京大
学大学院理学系研究科博士課程修了。
2016年より現職。

「大学受験の予備校時代に、電流と磁場の関係を示す公式を電磁気学の基本法則 (ビオ・サバールの法則) から導き出せることを学びました。高校では暗記するだけだった公式を自分の手で導き出せるとは思っていませんでしたから、非常に感動した記憶があります」

東京大学理学部物理学科へ進み、原子核物理を学んだ。「学部までは、すでに分かったことを勉強します。そのころは、高校の物理の先生になるつもりでした。大学院に進み、現代物理学にも分かっていない面白い問題がたくさんあることを知りました」

本郷研究員が目にしたのは、クォーク・グルーオン・プラズマ (QGP) だった。誕生直後の宇宙は超高温・超高压で、陽子や中性子を構成するクォークやグルーオンという素粒子がばらばらになったQGP状態が実現していたと考えられている。理研も参加する国際研究グループが、米国の重イオン衝突型加速器RHICや欧州の大型ハドロン衝突型加速器LHCでQGPを再現する実験を進めていた。「その実験により、QGPは非常にさらさらした液体として、流体力学に従って膨張していることが分かってきたのです」

流体力学の系統的な研究は18世紀にすでに始まり、基礎方程式となるナビエ・ストークス方程式も19世紀には確立されていた。「20世紀に、素粒子を記述する量子論が進展しました。

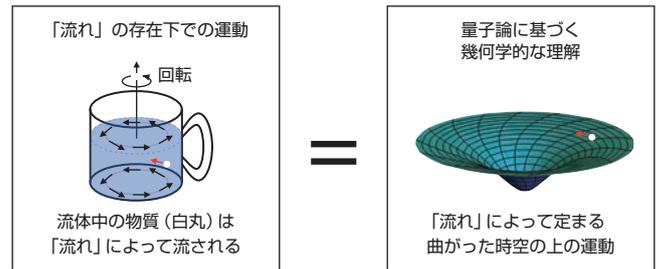


図 量子論に基づき「流れ」の幾何学的な理解

本郷研究員は、流れが存在する局所的な熱平衡状態を、曲がった時空を記述する幾何学によって理解することに成功した。それは、一般相対性理論において、物質間に働く重力が曲がった時空の効果として記述されることに似ている。流れに起因する曲がった時空により、流体中に生じるさまざまな輸送現象を統一的に記述できる。

量子論と流体力学をつなぐ研究も行われましたが、全体として流れがない状態に対してしか完全な記述はできていませんでした。私は、膨張するQGPのように、クォークなどの素粒子がたくさん集まって時間とともに状態が変わっていく『流れ』に興味があります。『量子論と流体力学をつなぐことこそが私の問題だ。私がやらなくて誰がやる』と思うようになり、研究者を志すようになりました」

本郷研究員は2017年、量子論に基づき、流れを幾何学の言葉によって統一的に記述できることを明らかにした。「流れの効果は、曲がった時空を用いて記述できます (図)。ただし、まだ理解が進んでいない流れもたくさんあります。例えば、ぐちゃぐちゃに乱れた流れを表す『乱流』です。そもそも乱流状態を理論的にどう定義すべきかすら、まだよく分かっていません」

南部陽一郎 博士は、物質の電気抵抗がゼロになる超伝導現象をヒントに「自発的対称性の破れ」を発見し、2008年にノーベル物理学賞を受賞した。それは分野を超えた現代物理学の普遍的な概念になっている。「南部先生は生前 (2010年ごろ)、最近は流体力学が面白い、と語っておられたそうです。南部先生は『10年先に行く物理学者』でした。私は、2020年代は『流体力学ルネサンス』の時代になるかもしれないと思っています。現代物理学に普遍的な新概念を、流体力学研究の新たな流れの中から発見できるかもしれません」

2016年11月、理研に純粋数学の研究者も参画する数理創造プログラム (iTHEMS) が設立された (『理研ニュース』2017年12月号「特集」)。「数学者は、式の中の一つの記号も誤解が一切生じないように定義します。一緒に飲みに行くと、『物理学のあの説明では、全然分からないよ!』と文句を言われたりします (笑)。ものの見方がまったく異なり、カルチャーショックも大きいのですが、新たな発見・協力が促進される刺激的な環境がつくられてきています」

(取材・執筆: 立山 晃/フォトンクリエイト)

洗濯できる太陽電池から ソフトロボットを目指す研究者

2017年9月に発表された「洗濯できる太陽電池」が大きな注目を集めている。

創発物性科学研究センター（CEMS）

創発ソフトシステム研究チーム（染谷隆夫チームリーダー）の
福田憲二郎 研究員たちによる研究成果だ。

水に強く伸縮可能な超薄型の太陽電池を衣服に貼って、
血圧や体温を継続的にモニターするセンサーの電源にするなど、
さまざまな応用が期待される。

福田研究員の素顔を紹介しよう。



福田憲二郎

染谷薄膜素子研究室、
創発物性科学研究センター
創発ソフトシステム研究チーム
研究員

ふくだ・けんじろう

1983年、長崎県生まれ。博士（工学）。
東京大学大学院工学系研究科物理工学
専攻博士課程修了。山形大学大学院理
工学研究科電気電子工学分野 助教など
を経て、2015年10月より現職。

「父が勤務医で兄も医学部へ進んだので、私も医者になるつもりでした。でも、高校2年生のとき、友達の見舞いに訪れた病院の雰囲気になじめず、医者を目指すことをやめました」。そして東京大学工学部物理工学科へ。「学科の中で異色だった染谷研究室に入りました。そこでは、薄い電子素子をつくる研究が行われていて、とにかく手を動かしてやってみよう、という研究スタイルが私の性に合いました」

2011年に染谷研究室で学位を取り、山形大学を経て2015年、理研CEMSに新設された創発ソフトシステム研究チームへ。「研究室の机を買ったところから始めました。2016年春に東大の染谷研究室から甚野裕明 君（大学院生リサーチ・アシエイト）が加わり、薄い太陽電池をつくる研究を本格的に開始しました」

東大の染谷研究室では2013年、伸縮可能な超薄型の電子回路の開発に成功していた。引き伸ばしたゴムシートの上に薄い電子素子を貼り付けたもので、元に戻したとき蛇腹構造となり、伸縮可能になる。一方、CEMS 創発分子機能研究グループ（瀧宮和男グループディレクター）では2012年、高効率の有機薄膜太陽電池の新材料（PNTz4T）を開発していた。「その二つを組み合わせれば、薄くて伸縮可能な高効率の太陽電池ができます。でも、それだけではインパクトが弱い。付加価値を付けられないかと3人でアイデアを出し合い議論

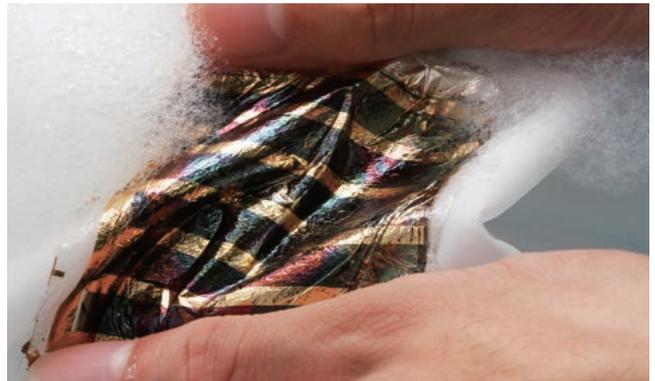
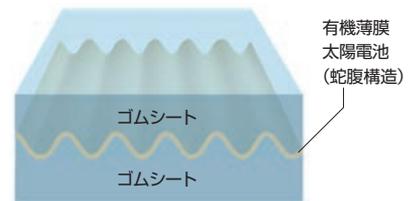


図 洗濯できる太陽電池

有機薄膜太陽電池（厚さ3 μ m）を、引き伸ばした2枚のゴムシートで挟み込むことで、水に強く蛇腹構造で伸縮可能な太陽電池が実現した。エネルギー変換効率は7.9%。ただし大気に30日間触れ続けると、その効率が半減する。実用化に向けて、変換効率や大気安定性を高める取り組みを進めている。

有機薄膜太陽電池を貼り付けた白いワイシャツを洗濯している。



を続けました。あるとき、染谷先生が『貼り付けた有機薄膜太陽電池の表面がむき出しだと引っかきなどですぐに壊れてしまうので、両側から挟んでみてはどうか』と仰りました。ゴムシートで挟み込むことで水にも強くなり、洗濯できる太陽電池が実現しました」（図、表紙）

福田研究員たちは、軽くて柔軟な材料から成る小さなソフトロボットの実現を目指している。「ソフトロボットが自由に動き回るには、光や振動、熱など環境中にあるエネルギーを電力に変換する電源が必要です。洗濯できる太陽電池の研究もそのために始めました。単にソフトロボットを実現するだけでなく、それでどんなことができるのか、新しい価値を示すことを目指しています」

福田研究員は中学校の吹奏楽部でトランペットを吹き始め、高校や大学でも続けた。「大学院に進んだとき、ある女子校の100名を超える吹奏学部のコーチを頼まれました。私が指揮をした都大会予選では、最初の年も2年目も銅賞でした。私が担当する前の年は銀賞だったので悩みました。自分の実力を上げるためにレベルの高い楽団に入って学び、指導に生かしました。そして3年目で金賞を受賞。これまでの人生で一番うれしかったですね」

「少数の上級生が多数の下級生を盛り立てることで金賞が取れました。それは研究室の運営にも通じるところがあるかもしれません。いずれは独立して研究室を主宰し、新しい研究分野を切り開きたいですね。そのためのアイデアや独創性を養いたいと思います」

（取材・執筆：立山 晃/フォトンクリエイト）

茅 幸二 先生を偲んで

川合眞紀 理研 研究顧問

理研 主任研究員、理事を経て、2016年より自然科学研究機構分子科学研究所長。

理研の主任研究員研究室を束ねた組織として、2002年4月に中央研究所（DRI：Discovery Research Institute）が発足しました。茅 幸二 先生は、フロンティア研究システムと合併して基幹研究所（ASI：Advanced Science Institute）に組織替えるまでの2004年から4年間、中央研究所の3代目の所長を務めました。加えて、和光研究所所長もお務めでした。この間、理研の運営に対して科学者が自発的に関与をする機会の重要性を訴えられ、理研科学者会議の設立を提案されます。発足当時の



2006年文化功労者のお祝いにて。左から和子夫人、茅先生、筆者。



2012年、玉尾皓平 基幹研究所長（現 研究顧問）と。

科学者会議には、理事会から研究担当理事と科学者ではない理事のお二人が参加され、理事会関与の下でのスタートでした。それでも茅先生は、この科学者会議を大事にされました。ミレニアムプロジェクトなどに代表されるように、理研の研究政策に国の関与が強化された時期に、科学者の声をまとめることの重要性を説いたのでした。茅先生は、東京大学の長倉三郎 門下で、学生時代を理研で過ごされた経験から、若い科学者が自由な発想で伸び伸びと研究できる環境こそが、優れた研究を生む根源であると考えておられました。

野依良治 前理研理事長は、社会に尊敬される理研を目指して、研究開発の階層に、個人知、理研知、社会知という概念を導入されましたが、茅先生は野依先生の考えに共感し、社会知の醸成には、科学者と企業人が直接語り合うことが必要であると考えられ、三菱化学株式会社の小林喜光 社長（当時）を説得して企業研究者とアカデミアの研究者が定期的に懇談する「語る会」を設立されました。「語る会」での数年の議論からは、現在、内閣府革新的研究開発推進プログラム（ImPACT）に採択された高分子化学研究の課題が提案されるなど、ユニークな活動でした。

「良いと思ったら即、行動」が茅先生の信条で、物腰は柔らかいのですが、周りの者を巻き込む強さは驚くばかりです。茅先生のバイタリティーは、研究だけにとどまらず、何事にも全力投入でした。

葉山の茅先生宅でのバーベキューには、たくさんの研究者や事務の方々が集い、時には鍋奉行ならぬBBQ奉行の玉尾皓平先生の指示を仰ぎながら、おいしい湘南の幸をごちそうになったりもしました。和子夫人もご一緒に参加される毎年のスキーなど、茅先生の楽しい話題は尽きません。これから先、ご一緒できないと思うと寂しい限りです。ご冥福をお祈りします。

「スパコンを知る集い in 大津」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・重要性をご紹介します一般向け講演会を、長野、大分に続き3月に大津市で開催。日用品の開発や環境保全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 | 2018年3月10日（土）13：20～16：00（受付12：50から） |
| 場所 | ピアザ淡海 ピアザホール（滋賀県大津市におの浜1-1-20） |
| アクセス | JR大津駅から京阪・近江バス「草津駅西口行」か「石山駅行」で「大津署前」下車徒歩約10分／京阪電車石場駅から徒歩約5分 |
| 主催 | 理化学研究所 計算科学研究機構 |
| 後援 | 滋賀県、滋賀県教育委員会、滋賀県地域情報化推進会議、大津市、大津市教育委員会、NHK大津放送局、京都新聞 |
| 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/shirutsudo ）にて、もしくはFAX（048-825-3274）にて氏名（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、お申し込みください。 |
| 問い合わせ | TEL：078-940-5596 |

5年目を迎える「理研グッズ」

理研のオフィシャルグッズ「理研グッズ」の販売が始まったのは2014年4月。この春で5年目を迎える。反響と、今後の展開予定を広報室担当者に聞く。

——「理研グッズ」誕生の経緯を教えてください。

一般公開などのイベントの際に記念品を無料配布していますが、公的機関としてあまり高価なものを無料配布することはできません。一方で、理研を訪問した思い出に、手で長く愛用してもらえるものを提供したいという思いもあり、新しい広報ツールとして販売という形を取りました。理研と国民の皆さまのつながりをより深めていくことにつながればと願っています。

——始めてみてどうでしたか？

イベント会場で販売していると、「理研の消しゴムで勉強するんだ！」という中学生や、孫の入学祝いにと文具類をお買い求めになる方などにお会いできて、私たちもうれしくなります。時には「研究者の気分になって読書でもしたい」と白衣を買いたいとご主人が、奥さまとのご相談の末、断念することも（それが複数回ありました）。

——収入はどのようなのですか？

全額、理研グッズの企画・製作に使われています。理研との思い出の品を購入された方のお金が、次の理研グッズへと姿を変えて、別の方の手に渡っていくのです。

——どこで入手できますか？

和光・横浜・播磨地区内の売店などで、見学や共同研究で理研を訪問した人が手に取ってくれています。また、理研主催のイベントでも出張販売することがあり、お土産として人気です。所外では、理研の展示室がある科学技術館（東京都千代田区）のミュージアムショップとネットショップ、また科学技術広報財団のウェブサイト（<http://www.pcost.or.jp/>）でも購入することができます。理研和光地区の近隣にある和光市総合福祉会館の売店でも、地域の品として扱っていただいています。

——人気アイテムは？

理研で発見した113番新元素ニホニウムに関連アイテム（写真上）は、老若男女問わず人気があります。マグカップは内側の113mlあたりのところにラインを入れたのがウケています！113にちなんで、2016年11月3日のイベントで発売開始した「113番元素の作り方手ぬぐい」は、当日の販売枚数がちょうど113枚といううれしい偶然もありました（写真中央、現在販売終了）。

——最新アイテムは？

理科実験でおなじみのピーカーや、理系心をくすぐる試薬瓶

に、理研のキーコンセプト「科学道」をデザインしたシリーズ（写真下）です。ペン立てや小物入れ、お部屋のインテリアにもなるかと。



113番元素の作り方手ぬぐい

写真上から時計回りに、ニホニウムマグカップ（赤・青）963円、ニホニウム手ぬぐい1,278円、バンドナ（周期表柄、紺・赤）612円、ニホニウムキーホルダー639円（全て税抜価格）。



理研のキーコンセプト「科学道」の文字をデザインした理科実験でおなじみのピーカー889円と、試薬瓶（今春発売予定）1,019円（全て税抜価格）。

※「理研グッズ」は一般公開でお買い求めいただけます。4月には和光地区、播磨地区で一般公開を開催予定です。一般公開の詳細は、次号のTOPICSで紹介いたします。

通勤時間と目出し帽

砂川玄志郎 すながわ・げんしろう

多細胞システム形成研究センター
網膜再生医療研究開発プロジェクト
基礎科学特別研究員

私は通学時間が好きだった。30年前、中学生だった私は片道2時間をかけて福岡から久留米まで通っていた。電車とバスを含めて、1日のうち4時間近くを通学に充てていたことになる。しかし、この1日15%の時間にいろんなことを経験した。無数の本を読んだ。ゲームボーイもやった。宿題もした。弁当も食べた。将棋もやった。恋もした。細かいことは覚えていないが、友人たちとたくさんの無駄話をした。くだらないけど有意義な電車生活だった。

2017年の春に神戸から京都に越した。偶然にも再び片道2時間をかけて京都から神戸に通っている。昔と異なり、非生産的だが刺激的な会話をしむ仲間もいない。ところが、この4時間の通勤時間が青春の通学時間と同じくらい大切な時間になっている。誰にも話し掛けられることなく、冷房・暖房の程よく効いた空間で、思索にふけることができる。しかも、顔を上げて横を見やれば車窓には季節に応じた田舎から都市部にかけてのさまざまな風景が目まぐるしく流れていく。こんなぜいたくなオフィスはなかなかない。電車オフィスは自分の知的活動の主たる現場となっている。

一つだけ例を挙げたい。私は、夏場は短パンにTシャツで過ごしている。そんな自分でも昭和の小学生のように年中半袖半ズボンでいるわけではない。先日、秋も深まり、道路に落ち葉が目立つようになったところに、職場の同僚から「砂川さんが長ズボンはいてる～」とわざわざ指摘された。僕はほのかな悔しさを隠しながら「いやいや、これは長めの半ズボンですよ」と返した。この「長めの半ズボン」というフレーズが頭から離れず、帰りの電車オフィスでその理由を考え始めた。帰りの2時間を要約すると次のようなことを考えた。確かに長ズボンと半ズボンは丈が違う。逆に共通点は何か。どちらも胴体を出す穴1カ所と足を出す穴が2カ所ある布である。それではTシャツはどうか。



筆者近影。二穴族の水着を装着している。



服飾穴分類。ぶんどしと手袋、目出し帽とズボンが同じ族に分類される。

Tシャツには腕を通す穴が2カ所あり、胴体と首を通す穴が1カ所ずつある。合計4カ所。ボタンの付いた前開きシャツは穴が2カ所だけであり、二穴族と呼べる。マフラーは穴が一つもない布であり、無穴族。興味深いことに、手袋は穴が一つのように見えるが、広げて引き伸ばしていくと1枚の布になる。つまりマフラーと同じ無穴族となる。ここで自分の間違いに気付いた。ズボンは穴が3カ所ではなく2カ所であり、前開きシャツと同じ二穴族である。目出し帽も二穴族になる。Tシャツも四穴族ではなく三穴族だ。ぶんどしは無穴族、腹巻きは単穴族、サンダルは単穴族か二穴族、ロンパースは無穴族から四穴族まで存在する。

このように、電車オフィスは最高の知的生産(?)の現場となっている。集中できるだけでなく、電車内から五感を通して絶え間なく入力される刺激が私の脳を活性化させているのであろう。そして、思考が途切れて、ふと目に入る電車内の風景が若いころの通学の記憶に重なり、懐旧の情にかられるとき、30年という時間は無力である。

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/