



 No.365
 November 2011

RIKEN NEWS

02 研究最前線



Tsukasa Matsuo

元素を自在に結合させて、 高機能材料をつくる

09 SPOT NEWS

水表面の分子構造は
「乱雑な液体+強い水素結合ペア」だった

10 FACE

iPS細胞の万能性をいかに維持するか、
その難題に挑む研究者

11 TOPICS

- ・「RIKEN Honorary Fellow」を
デビッド・ボルティモア教授に
- ・新監事に清水至氏
- ・新研究室主宰者の紹介

12 原酒

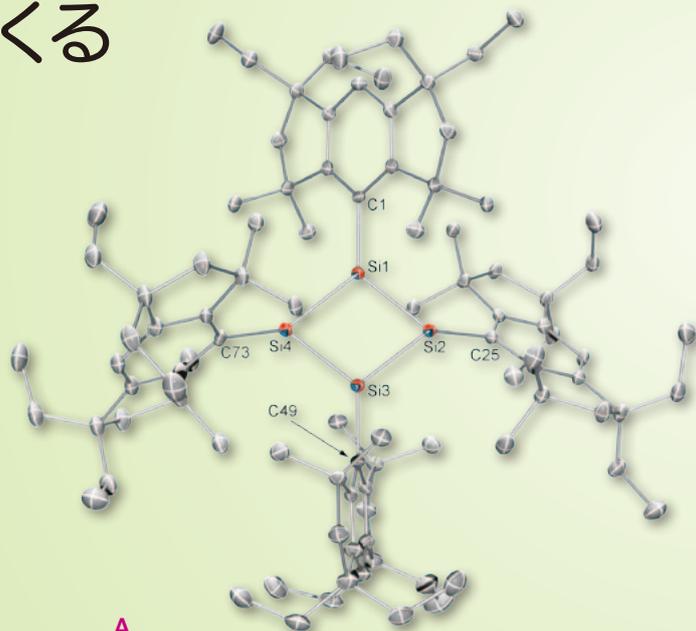
仙台支所のチームワーク力
「ママチャリ・レース」を通じた絆

06 特集

介護支援ロボットの实用化 を目指し、「RIBA-II」を開発

元素を自在に結合させて、 高機能材料をつくる

松尾 司 副ユニットリーダーたちは2011年、ケイ素4個がひし形につながった化合物を世界で初めて合成し、大きな注目を集めている。元素を従来にない形で結合させると、優れた機能を発揮する可能性があるため、基礎化学だけでなく、電子工学や省エネルギー技術の革新にもつながると期待されているからだ。松尾副ユニットリーダーたちは、新しい鉄の化合物の合成にも取り組み、レアメタル（希少金属）を使わない強力な磁石の実現を目指している。



A
X線による解析で明らかになった分子構造。4個のケイ素（赤色）がひし形をつくり、その周りを4個のRind基が取り囲んでいる。

人類の英知が生み出した物質

「不思議なことに、炭素（C）とケイ素（Si）が結び付いた有機ケイ素化合物は自然界に一つもありません。“すべての有機ケイ素化合物は、人類の英知が生み出した人工物質である”——東北大学4年生のとき、櫻井英樹 教授のその言葉に感銘を受け、櫻井研究室に入りました」と松尾 司 副ユニットリーダー（副UL）は振り返る。

炭素は私たちの体をつくる有機物の中心元素。一方、ケイ素は地球をつくる岩石の主成分であり、ガラスや半導体としても利用されている無機物の中心元素だ。

元素周期表を見ると、炭素のすぐ下にケイ素が位置している（図1）。元素周期表の縦列（族）に並ぶ元素は化学的な性質が似ている場合が多い。「しかし、自然界における炭素とケイ素の役割はまったく異なっています。私たちは、炭素やケイ素を従来にない形で結合させて、優れた機能を持つ新材料をつくり出そうとしています」

機能を担うπ電子

では、どのような方法で優れた機能を生み出すのか。「主役はπ電子です。π電子が有機材料の機能を担っているからです」と松尾副UL。

π電子とは何か、簡単に説明しておこう。原子同士が、電子を1個ずつ出し合って結び付く共有結合を単結合、2個ずつ出し合うときを二重結合、3個ずつ出し合うときを三重結合

という。二重結合や三重結合はπ結合とσ結合という異なる2種類の結合で結び付いており、単結合はσ結合だけで結び付いている。σ結合は結合力が強く、分子の骨格を形成する。一方、π結合はσ結合に比べ結合力が弱い。「このπ結合を担うのがπ電子です。π電子は結合のつながり方によっては化合物の中を、かなり自由に動くことができます」（図2）

白川英樹 筑波大学名誉教授は電気を通すプラスチックをつくり出した業績により、2000年にノーベル化学賞を受賞した。そのプラスチックで主役を演じているのもπ電子だ。

鉄や銅などの金属では、それぞれの原子から離れて自由に動き回っている電子“自由電子”がある。金属に電圧をかけると、この自由電子が1方向に流れて電流となる。一方、プラスチックは有機物の一種であり、自由電子は存在しないため、普通は電気を通さない絶縁体である。

「白川先生がつくり出した電気を通すプラスチックは、水素を1個結合した炭素が二重結合と単結合を交互に繰り返し鎖のように長くつながった“ポリアセチレン”という有機化合物です（図3）。白川先生は、そこに臭素やヨウ素を加えてπ電子を動きやすくすることで、電気を通す性質を持たせたのです」

金属に比べ軽量な、電気を通すプラスチックは現在、携帯電話などさまざまな電子機器に広く利用されている。

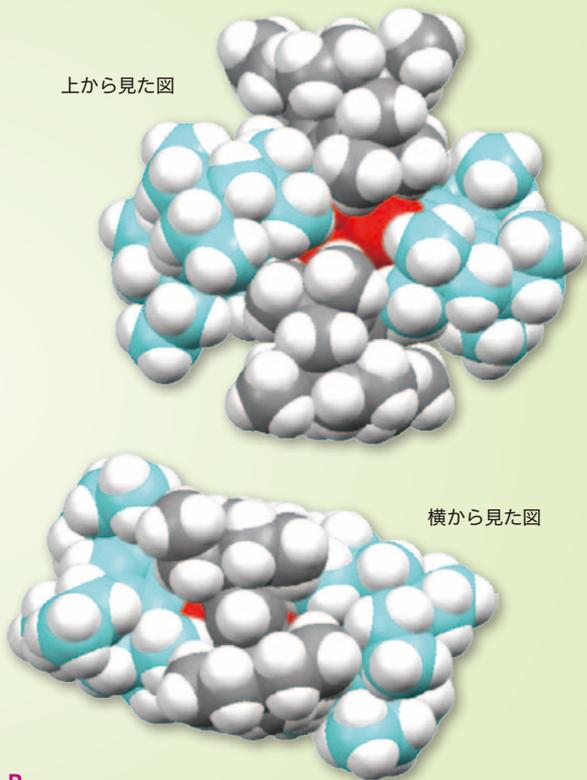
Rind基が不可能を可能にする

「π電子の動きをコントロールすると、電気を流せるだけで

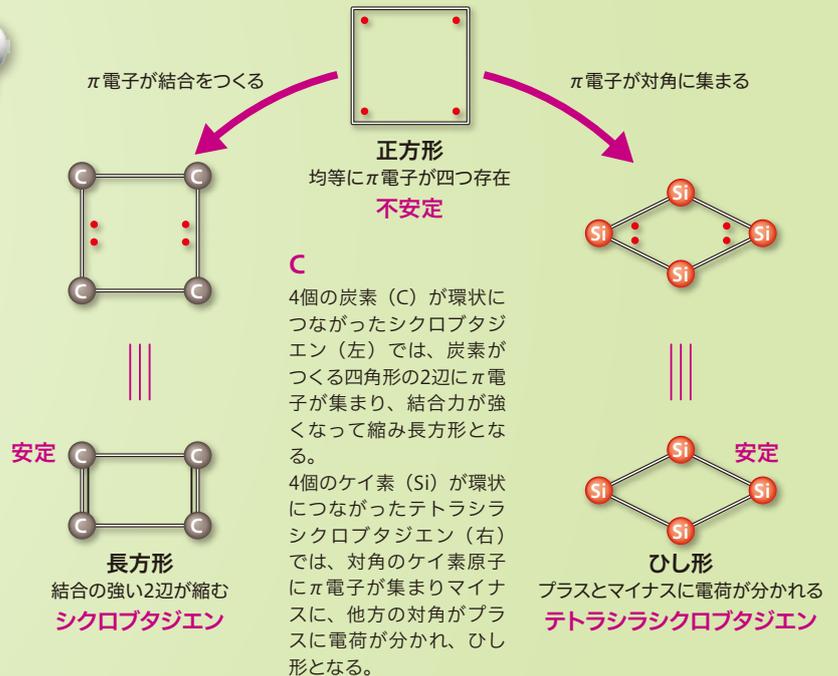
世界で初めて合成された4個のケイ素が環状につながった「テトラシラシクロブタジエン」

ケイ素4個が環状になった化合物で、4個の π 電子を持つ。この化合物を詳しく調べることによって、ケイ素の結合の仕方や π 電子の性質を理解し、高機能材料を生み出すための知見が得られると期待されている。

図A・B: 「Suzuki, K., Matsuo, T., Hashizume, D., Fueno, H., Tanaka, K. & Tamao, K. A planar rhombic charge-separated tetrasilacyclobutadiene. *Science* 331, 1306-1309 (2011).」から転載。©2010米国科学振興協会 (AAAS)



B
原子の大きさを表現した分子構造。4個のRind基（青色・灰色・白色）がびたりとかみ合って4個のケイ素（赤色）を包み込み、空気から保護していることが分かる。



なく、色を変えたり発光させたりすることができます」。現在、優れた機能を持つ有機材料をつくる研究が世界中で行われている。松尾副ULたちの研究の独創的なところは、元素周期表の上から3列目、第三周期以降のケイ素などの π 電子を利用しようとしている点だ。それには、ケイ素などの二重結合や三重結合を安定させる必要がある。「しかし1970年代まで、それは不可能とされていました。その理由は、第三周期以降の元素の二重結合や三重結合は結合力が弱く、空気中の酸素や水と反応してすぐに壊れてしまうからです」

1981年、ケイ素同士の二重結合を持つ化合物が初めてつくられた。それは空気と反応させないように化合物を覆って保護する「立体保護基」を利用して合成された。その後、ケイ素の二重結合や三重結合を持つさまざまな化合物が作られてきたが、空気中では数分で壊れてしまうものばかりだった。従来の立体保護基では、化合物を空気から長時間保護することができないからだ。それでは材料として利用できない。

このような状況が約30年間続いたが、松尾副ULたちは2010年、ついに空気中において固体状態で1年以上も安定なケイ素同士の二重結合を持つ化合物をつくることに世界で初めて成功した。それが「ナフチル置換ジシレン」(図4)だ。「ナフチル置換ジシレンにはケイ素同士の二重結合に炭素と「Rind基」がつながっていて、室温で発光します。これは、ケイ素の π 電子と炭素の π 電子が相互作用することで発光すると考えられます」

この化合物の合成に成功したポイントは、理研基幹研究所の所長で、機能性有機元素化学特別研究ユニットの玉尾皓平ULが開発したRind基という新しい立体保護基だ。1981年、Rind基を合成するときの原型となる化学反応はすでに報告されていた。しかし、その反応はほとんど利用されることがなかった。玉尾ULは、京都大学在籍時にRind基を合成するために、その反応を活用することを思い付いた。

Rind基は多数の炭素と水素からなる巨大分子で、①合成しやすい、②従来の立体保護基とは異なり原子の数を変えて大きさ（かさ高さ）を調節できる、という利点がある。大きさ

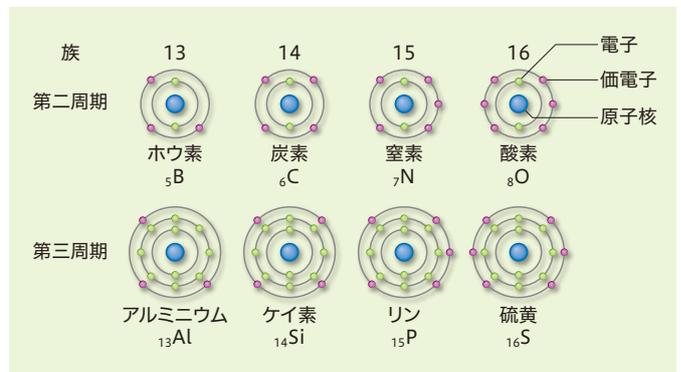
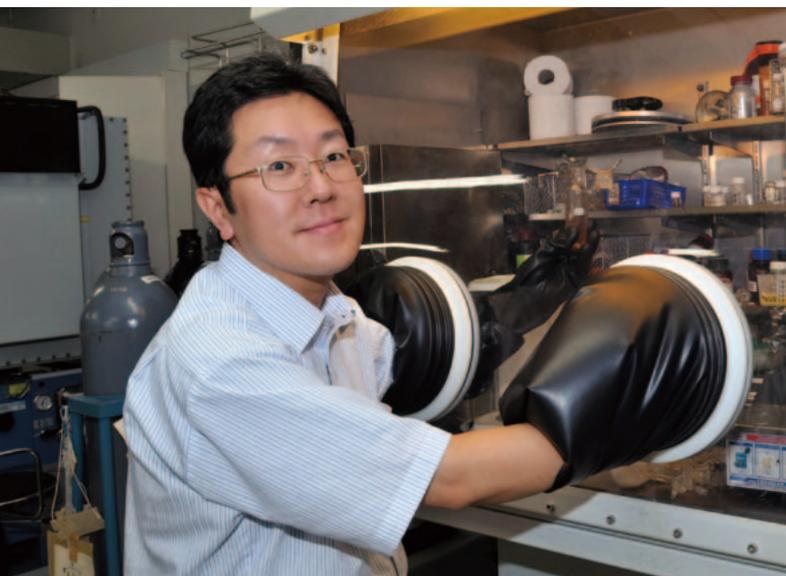


図1 炭素とケイ素の周りの元素
それぞれの元素で原子核の周りを回る電子の数が異なる。最も外側を回る電子（価電子）が共有結合などの化学反応で働く。同じ族の元素は価電子の数が等しく、化学的性質が似ている場合が多い。

化学研究の面白い瞬間は、
 予期しない化合物の形を見たとき。
 そして、なぜその形になるのか、
 原理が分かったときです。



撮影：STUDIO CAC

松尾 司 Tsukasa Matsuo

和光研究所 基幹研究所
 機能性有機元素化学特別研究ユニット 副ユニットリーダー

まつお・つかさ。1970年、北海道生まれ。博士（理学）。東北大学理学部化学科卒業。筑波大学大学院博士課程化学研究科修了。筑波大学先端学際領域研究センター 助手を経て、2001年、分子科学研究所 助手。2007年、理研 副特別研究ユニットリーダー、2008年より現職。

を調節することで、目的の化合物の周囲をRind基がびたりと組み合わせさせて包み込み、空気から長時間保護できるのだ。

「実は、私は有機ケイ素化学からしばらく離れ、金属錯体を用いた窒素や一酸化炭素の反応の研究をしていました。しかし、ケイ素のことはいつも頭から離れず、シランと呼ばれる水素化ケイ素化合物を用いて二酸化炭素からメタンに変換する新しい触媒反応を開発しました。そして今後の方向性について悩んでいた時期に、玉尾所長から声を掛けていただいたのです。従来は不可能だったことを実現できそうなRind基に魅力を感じたこと、そして自分のこれまでの知識と経験をフルに生かせると思い、2007年に理研に来ました」

松尾副ULたちは、現在までに大きさの違う約20種類のRind基をつくり、新しい化合物を次々に生み出している。「Rind基という独自の立体保護基により、ケイ素の二重結合のように従来にない形で元素を結合させた化合物をつくる。そしてケイ素のπ電子の機能を引き出し、優れた機能を持つ新材料を生み出そうとしているのです」

「新しい化合物をつくる時、分子模型を組み立て、時にはそれを床に転がして形が安定かどうか調べてみる必要があります」と語る松尾副ULたちは2011年、世界から大きな注目を集める化合物を発表した。

4個のケイ素がひし形をつかった

「何だ、これは！」。鈴木克規^{かつのり} 基幹研究所研究員がつくり出した化合物の分子構造を見て、松尾副ULたちは驚嘆した。4個のケイ素がひし形をつくっていたのだ（タイトル図A）。ケイ素4個が環状につながった“テトラシラシクロブタジエン”の合成は世界初だ。松尾副ULたちは2011年3月、この発見を米国の科学雑誌『Science』に発表、化学結合の本質に迫る研究として高い評価を受けている。

なぜ、それほど高く評価されているのか。まず炭素がつくる環状の化合物について見てみよう。

6個の炭素が環状の正六角形をつくるベンゼンは、とても安定だ（図2）。「ベンゼンには6個のπ電子があり、それらが正六角形中をぐるぐる回ること、結合力が平均化して力が偏らないため、安定していると考えられています」

ところが不思議なことに、炭素4個が環状につながったシクロブタジエンはとても不安定だ。「シクロブタジエンは合成がとても難しく、性質が未解明で神秘性を秘めています。そのため、“有機化学のモナリザ”と呼ばれています」

シクロブタジエンには4個のπ電子がある。シクロブタジエンでは、炭素がつくる四角形の2辺にπ電子のペアが集まり、結合力を強めて2辺が縮まり長方形に変形して安定化する（タイトル図C左）。「ただし安定化するといっても、シクロブタジエンの周りを厳重に取り囲んで保護しないと、互いにくっついてすぐに壊れてしまいます」

では、4個のケイ素が環状につながったテトラシラシクロブタジエンの形はどうか。「シクロブタジエンと同じく長方形になると予想していました。ところがひし形になったのです。私たちはテトラシラシクロブタジエンではない別の化合物をつくったのかもしれないと疑いました」

その後、共同研究者の京都大学・田中一義教授たちの理論計算により、テトラシラシクロブタジエンでは、対角にある2ヶ所のケイ素原子にπ電子のペアが集まり電氣的にマイナ

図2 ベンゼンとπ電子

ベンゼン (C₆H₆) は、6個の炭素 (C) が二重結合と単結合で交互につながり正六角形をつくる。二重結合の一つはσ結合として骨格をつくり、もう一つはπ結合となる。π結合を担うπ電子は移動することができる。ベンゼンでは、6個のπ電子が正六角形中をぐるぐる回り、安定になる。

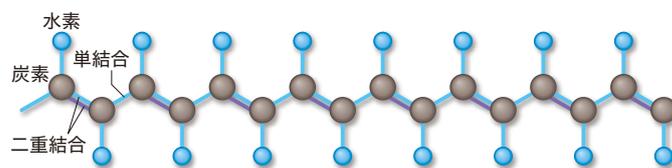
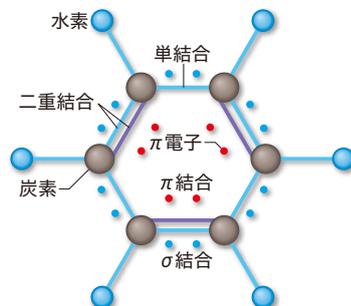


図3 ポリアセチレン

白川英樹 博士は、ポリアセチレンの炭素のπ電子を動きやすくすることで、電気を通す性質を実現した。

スに、他方の対角がプラスとなり、ひし形に変形して安定化することが分かった(タイトル図C右)。「田中教授たちの理論計算により、私たちが合成したのはテトラシラシクロブタジエンである、と確信できました」

この研究により、シクロブタジエンとテトラシラシクロブタジエンでは、 π 電子が異なる性質を示すことが明らかになった。安定化すること自体が難しいケイ素の π 電子の性質は、未解明な部分が非常に多く優れた機能を秘めていると期待されている。松尾副ULたちの研究は、その解明に大きく貢献すると考えられ、高く評価されているのだ。

さらに松尾副ULたちは今、Rind基を用いて6個のケイ素が環状につながった化合物をつくり出そうとしている。それはどのような形をしているのだろうか。「世界中の多くの化学者がその合成に挑戦していますが、いまだ誰も成功していません。私たちは、その合成の一番近いところにいます」。機能性有機元素化学特別研究ユニットの期限は、2012年3月だ。「それまでに絶対につくる、できると信じて頑張っているところです」

松尾副ULには、さらにその先の夢がある。「白川先生がつくり出した電気を通すポリアセチレン。その炭素をケイ素に置き換えた化合物をつくることです。ケイ素の π 電子を動きやすくすることにより、炭素のポリアセチレンよりも優れた機能を持つ材料になる可能性があります」

レアメタルを使わない強力な磁石をつくる

「私たちはRind基を使ってたくさんの化合物をつくってきましたが、これからは機能の優れているものに的を絞り、応用に向けた研究へ進んでいきたいと思えます」と、松尾副ULは展望を語る。

有望なものの一つは、ケイ素のポリアセチレンのように、ケイ素の π 電子を利用するもの。もう一つは、発光するナフチル置換ジシレンのように、ケイ素と炭素の π 電子が相互作用することで優れた機能を発揮するものだ。「ナフチル置換ジシレンで有機ELデバイスをつくると1時間余りで明るさが半減してしまうなど、実用化にはまだ課題が多く残されています。しかし、この研究をさらに発展させれば、消費電力が少ない省エネルギー型の発光材料をつくり出すことができると期待しています」

松尾副ULたちがRind基で生み出した化合物はケイ素を含むものだけではない。「実は、半数以上がケイ素を含まないものです。ホウ素やリン、硫黄、ゲルマニウムなどの典型元素、鉄や銅、金などの遷移金属、さまざまな元素の個性に着目して化合物をつくってきました」

一般に、鉄の化合物は1個の鉄原子に4~6個の原子がつながっていないと安定化しないが、松尾副ULたちは、1個の鉄原子の両側に硫黄原子とRind基が直線的につながった“直線型二配位構造鉄錯体”の合成に成功した(図5)。

「鉄の化合物の研究は、理研仁科加速器研究センター 岩崎

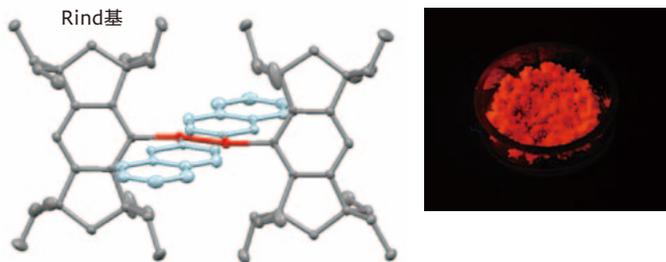
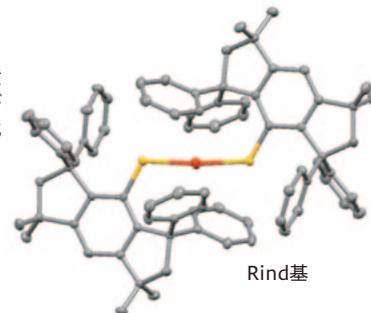


図4 ナフチル置換ジシレン

ケイ素同士の二重結合(赤色)に炭素(水色)とRind基(灰色)がつながっている(左図)。この化合物は室温で発光する(写真)。

図5 直線型二配位構造鉄錯体

1個の鉄原子(赤色)の両側に硫黄原子(黄色)とRind基(灰色)が直線状につながっている。この化合物は大きな内部磁場を示す。



先端中間子研究室の渡邊功雄 専任研究員、小林義男 専任研究員と一緒にを行っています。物理学者は物質の性質を測定する優れた技術を持っており、面白い物質を探しています。私たち化学者はそのような物質を合成して彼らに提供しています。合成した直線型二配位構造鉄錯体を測定したところ、異常に大きな内部磁場を示すことが分かりました。研究の初期に、理研の“連携の芽ファンド”で支援していただいたことが、このような成果につながりました」

強力な磁石はハイテク製品や省エネルギー技術に欠かせない。例えば強い磁石を使えば、少ない消費電力で大きな力を生み出す小型・軽量のモーターが実現できる。現在、強力な磁石としてネオジム磁石が多く使われている。しかし、ネオジムは地球上に偏在している金属だ。このように現在の高機能材料には、地球上に偏在していたり、資源量の少ないレアメタルを使っているものが多い。そこで鉄や硫黄、ケイ素のように、資源量が多く、ありふれた元素で高機能材料をつくり出すことが、現在の化学に強く期待されている。

「鉄錯体のようなありふれた元素を組み合わせた化合物で強い磁石をつくる。簡単ではありませんが、それも私たちの大きな夢です」。松尾副ULは2011年10月から、科学技術振興機構(JST) さきがけプロジェクト「新物質科学と元素戦略」の一環として、鉄化合物の研究を発展させる。研究統括は、鉄系超伝導物質を発見した東京工業大学の細野秀雄 教授だ。

松尾副ULたちが英知を結集して実現を目指す高機能材料は、省エネルギーや資源問題の解決に大きく貢献すると期待されている。

(取材・執筆: 立山 晃/フォトンクリエイト)

関連情報

- 2011年3月11日プレスリリース
「4つのケイ素で“ひし形”の新環状化合物を初合成」

介護支援ロボットの実用化を目指し、「RIBA-II」を開発

2015年、要介護者が569万人になる——。このような予測があり、高齢化社会を迎えた日本で介護者の不足が極めて深刻化している。介護では、要介護者をベッドから車いすへ、車いすからベッドへと移す移乗作業が重労働であり、介護の現場では移乗作業を支援するロボット開発の要望が高い。

理研と、自動車用の防振ゴムで世界トップシェアを誇る東海ゴム工業株式会社（以下、東海ゴム）は2007年8月、理研の「産業界との連携制度」に基づき、介護支援ロボットの実用化を目指して「理研-東海ゴム人間共存ロボット連携センター（RTC）」を設立した。そして2009年8月、世界で初めてとなる実際の人間を移乗できる双腕型ロボット「RIBA」を発表。さらに今年8月、その後継機「RIBA-II」を発表し、話題を呼んだ。

実用化に向けて着実に進む介護支援ロボットの開発について、RTCロボット実用化研究開発チームの郭 士傑チームリーダー、白岡貴久研究員、佐藤 侑研究員、ロボット感覚情報研究チームの向井利春チームリーダーに聞いた。

■80kgの人を床から抱き上げる

——まず2年前に発表したRIBAについて教えてください。

向井：私たちは理研で「RI-MAN」というロボットを開発し、2006年に発表しました。そのときは18.5kgの人形しか抱き上げることができませんでした。RIBAでは、体重61kgの実際の人を抱き上げることに成功しました。

——RIBAとRIBA-IIの違いは。

郭：RIBA-IIは80kgの人を抱き上げることができます。これで大部分の要介護者の移乗作業が可能になりました。さらにRIBA-IIでは、ベッドだけでな

く、床に寝ている人も抱き上げることができます（図1）。

——床からの抱き上げが、なぜ必要なのですか。

郭：認知症の方などはベッドから落ちる危険性があるため、床にマットレスを敷いて、そこに寝ていただくケースがあります。そのような方を抱き上げて車いすに移乗させる作業は、2人掛かりの重労働です。この作業を、1人の介護士がRIBA-IIとの協調作業でできるようにしました。

そのためにRIBAの機構を変更し、モーターを増強するとともに補助バネ

を導入しました。床から人を抱き上げるとき、RIBA-IIは前傾姿勢になります。そのときバネを伸ばして力を蓄え、縮む力を抱き上げるときに利用します。全体に必要な力の1~2割をこのバネで生み出すことができます。

——特に苦勞した点は。

郭：RIBA-IIもRIBAと同様、安全で優しく要介護者に接するために、全身を柔軟な材料で覆っています。そしてRIBA-IIでは、床からの抱き上げを実現するために腰関節の回転角度を90度以上と大きくしました。その変形に対応できる柔軟な外装の設計・製作に最も苦勞しました。

複数の案についてモデル試験を行い、最終的に人間をまねた構造にしました。つまり、前傾したときに邪魔にならないように腹には“骨”を設けず、柔軟な“皮膚”だけにしました。

また、床から抱き上げるときに大きく前傾した姿勢になるので、転倒しないように、足元の重い蓄電池を後ろへずらすなどしてバランスを取りました。120kgの荷重でも転倒しないように設計した結果、RIBA-IIの体重は、RIBAより50kg重い230kgになっています。

——床からの抱き上げは、最初からうまくいったのですか。

佐藤：人形に重りを付けて85kgまで実験を行い、人形での抱き上げ自体はすぐうまくいきました。しかし、人の場合は不安感を与えないことも重要で、試乗を繰り返し、かなり試行錯誤をして今の動作にたどり着きました。

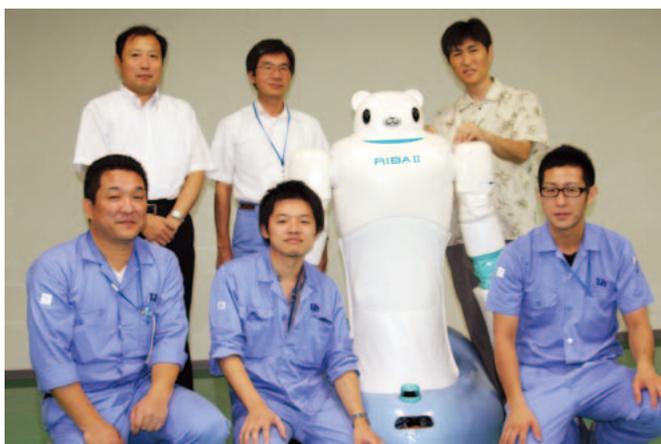
——RIBA-IIに最初に抱き上げられた人は誰ですか。

白岡：私です。最初は怖かったけれど、今は乗り心地は快適ですよ。

■ゴム製の触覚センサを開発

——どのようにRIBA-IIを操作するのですか。

向井：腕を取って動作を教えるように操作します（図1左）。そのために触覚



後列左から、郭 士傑チームリーダー、伊藤弘昭氏、向井利春チームリーダー。前列左から、吉川武明氏、白岡貴久研究員、佐藤 侑研究員。伊藤氏と吉川氏は、東海ゴムでSRセンサを用いた床ずれ防止アクティブマットレスの開発を担当している。

図1 RIBA-IIによる床から車いすへの移乗作業



人がRIBA-IIの腕を触って操作する（左）。RIBA-IIは大きく前傾姿勢を取り、床から人を抱き上げる（中）。抱き上げた後、車いすに移乗させる（右）。このような移乗作業を連続で2時間行うことができる。また、RIBA-IIでは床に貼られた磁気テープに沿って自律走行することもできる。

センサが腕や胸に付いています。この操作方法はRIBAから引き継いだものです。RIBAでは私が開発した半導体センサを使いましたが、RIBA-IIではゴム製のSRセンサを採用しました。理研で開発した信号処理技術を導入したもので、東海ゴムのメンバーが中心になって開発しました。

——なぜゴム製を採用したのですか。

郭：最大の目的はコストダウンです。半導体センサよりコストを一桁も下げることができます。構造がシンプルで大面積に成形しやすいという利点もあります。私たちは、このゴム製センサを「SRセンサ」と呼んでいます。

——SRセンサの仕組みは。

白岡：誘電ポリマーのシートを導電性ゴム電極で挟んだ構造をしています（図2）。SRセンサに人が触れたり押したりすると、誘電ポリマーが圧力を受けて薄くなるように変形し、電極間の距離が縮みます。すると誘電ポリマーの静電容量が大きくなります。その大きさから圧力を導き出すのです。

郭：実は、今年の5～6月ごろまで、このSRセンサがきちんと動くかどうか不安でした。電磁ノイズが入りやすいという大きな問題があったからです。

——触られていないのに、触られたと勘違

いしてしまうのですね。

郭：そうです。RIBA-IIが思い通りに操作できなくなってしまう恐れがありました。この問題を白岡研究員たちが解決してくれました。

白岡：電磁ノイズが入りにくくなるようにゴムの材料や製法を変え、センサを別の材料で保護したり、信号処理の方法を改良することで、何とか解決することができました。

向井：現在のRIBA-IIでは、腕と胸だけにSRセンサを付けていますが、将来はロボットの全身をSRセンサで覆う予定です。介護支援ロボットのように人の身近な場所で働くロボットは、何かに接触した場合、いち早く察知して安全を確保する必要があるからです。

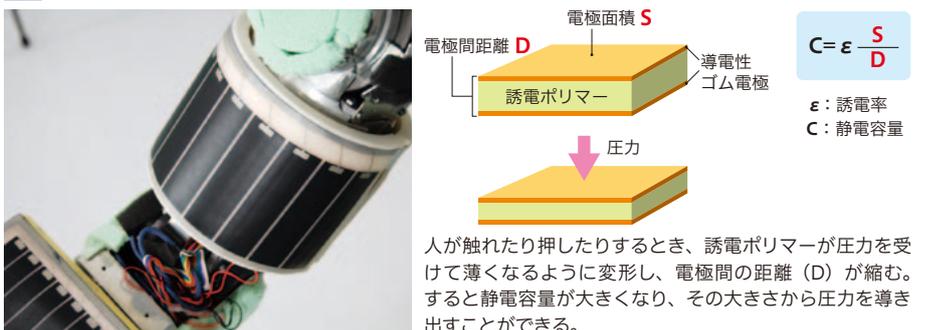
郭：開発は難しいのですが、大きく変

形する関節などもSRセンサで覆う計画です。

向井：現在は、抱き上げるときにSRセンサで体重だけを計測していますが、重心などを計測して抱き方も改善したいと思います。

郭：東海ゴムでは、ロボット用に開発したSRセンサを利用して、床ずれ防止用マットレスの開発も進めています（図3）。寝返りができない人には、床ずれを防ぐために、昼夜を問わず2～3時間ごとに姿勢を変えてあげる必要があります。SRセンサで圧力のかかっている箇所を検知して、圧力の分散を自動的に行うことで、介護する人たちの負担を大きく減らすことができます。このように、ロボット開発で生み出した技術は、ほかの製品にも生かすことが

図2 RIBA-IIの腕に取り付けられたSRセンサとその原理図



人が触れたり押したりするとき、誘電ポリマーが圧力を受けて薄くなるように変形し、電極間の距離(D)が縮む。すると静電容量が大きくなり、その大きさから圧力を導き出すことができる。

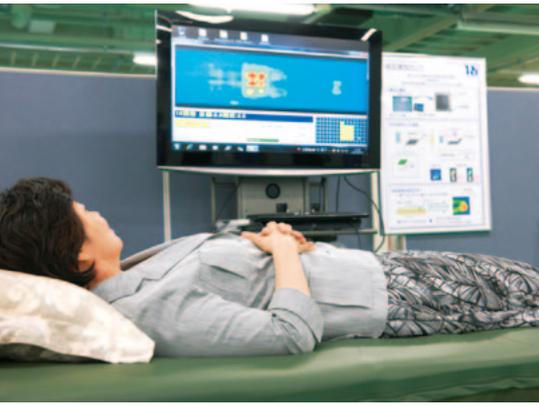


図3 SRセンサを用いた床ずれ防止アクティブマットレス

SRセンサで圧力がかかっている箇所を検知する。マットレスには小さな空気袋が敷き詰められていて、圧力が均等になるように高低差を調整して人型にマットレス面を自動で変え、床ずれを防止する。東海ゴムではこのマットレスを2012年に試験販売することを目指している。

できます。

■ロボットの安全基準づくり

——今後、介護支援ロボットの実用化に向けてどのような取り組みが必要ですか。

郭：これまでRIBA-IIが抱き上げてきたのは成人の健常者だけです。来年度にはRIBA-IIを実際の介護現場で試験することを目指しています。

向井：RIBA-IIの試験に際しては、理研の研究倫理委員会に申請して許可を得ます。そこで認められているのが、今のところ成人の健常者だけなのです。介護現場で実際に要介護者を対象にして試験するには、考えられる危険性などを全部洗い出し、対策を施す必要があります。将来、実用化するには、さらに厳しい安全基準をクリアする必要がありますでしょう。

——国の安全基準はあるのですか。

向井：まだありません。そもそも、介護支援ロボットのように人の身近な場所で、人と接して働くロボット自体が存在していないため、安全基準がまだないのです。私たちは安全基準づくりにも関わっていきたくて考えています。

■使い勝手を向上させる

——介護支援ロボットの普及に向けて、特

に課題になることは何ですか。

郭：安全性を確保した上で、使いやすさを向上させることが大切です。現在、介護のための移乗リフトが商品化されています。しかし準備が面倒だったり、作業に時間がかかってしまうなどの問題があり、施設ではほとんど普及していません。RIBA-IIも、実際の介護現場での使いやすさを追求していく必要があります。

——具体的な改善点は。

郭：まだRIBA-IIを介護士の方に操作してもらっていません。初めての方でも移乗作業の操作を的確にできるかどうかを試していただき、検証していく必要があります。

RIBA-IIは、床から抱き上げて車いすに移乗するのに、約1分かかります。もう少し速く、という要望もありますが、まずは操作に慣れていない方でも確実に1分程度で移乗作業ができるようにしたいと思います。

移動速度も課題です。RIBA-IIは、秒速70cmで移動しますが、それでも遅いという意見をいただいています。朝、介護施設では人員が少なく、介護士の方が早足で動き回り、作業をされている様子をよく見かけます。RIBA-IIも、もっと身軽に動くことができるようにする必要があります。

向井：RIBA-IIは体重が重いので、安全のため秒速70cmという速さに抑えています。体重の重い物が速く動く慣性力が大きくなり、すぐには止まらなくなるからです。また、230kgもあると法律上、導入できない建物もあります。普及のためには、180kg以下のダイエットを行うこと、そして早足ができるようにする必要があります。

——移乗作業の支援以外で、介護に役立つ機能はありますか。

向井：リハビリを支援する機能を追加したいと考えています。私たちのロボットの長は、人と接して力のやりとりができることです。例えば、自力で歩く練習をしている人に寄り添って、

倒れそうになったら支える、といったことをできるようにしたいと思います。

■社会に欠かせない存在にする

——2007年8月にRTCが設立されて4年が過ぎました。理研と企業の連携研究は順調に進んできましたか。

向井：とても順調だと思います。当初、2012年3月までだったRTCの期限も、2015年3月まで延長されることになりました。

郭：理研と東海ゴムのメンバーが一体感を持って研究を進めています。連携がとてもうまくいっていると自負しています。

——連携をうまく進める秘訣は。

向井：理研のメンバーは、センサや制御技術が専門です。一方、郭チームリーダーたち東海ゴムのメンバーは、機械設計や材料開発が得意です。得意とする分野が異なるので、介護支援ロボットの実用化という共通の目的の前では、互いの存在が本当に必要になってくるのです。このような関係がうまくいく秘訣だと思います。

郭：やりがい大きいことも、うまくいっている大きな理由でしょう。RIBA-IIを発表した後、わざわざ四国の介護施設から見学に来られた方がいました。介護の現場は労働環境が厳しいと聞きます。そのような中、介護支援ロボットは労働環境改善の希望の光なのです。私たちのロボットは、その期待に応えられる可能性があります。

向井：私たちの身の回りで、本当に役立つ人と接するロボットは、まだ実現されていません。介護支援ロボットという今までになかったものを社会へ送り出し、欠かせない存在にすること。それは研究者人生をかける価値が十分にあることだと思っています。

(取材・構成：立山 晃/フotonクリエイト)

関連情報

- 『理研ニュース』2009年11月号(特集)
「世界初、人を抱き上げる介護支援ロボット“RIBA”」

水表面の分子構造は「乱雑な液体+強い水素結合ペア」だった

2011年9月28日プレスリリース

水は、私たちに最も身近な物質の一つだが、その性質はいまだ解明されていないことが多い。その一つが表面の分子構造だ。水の内部は水分子同士が水素結合して安定しているが、空気と接する表面（界面）では上に水分子が存在しないため不安定な状態にある。この不安定さを解消するため、表面には何らかの特別な分子構造が形成されているはずだが、諸説があり長年論争が続いてきた。今回、理研基幹研究所 田原分子分光研究室の二本柳聡史基幹研究所研究員と山口祥一専任研究員、田原太平主任研究員らは、東北大学大学院の森田明弘教授、石山達也助教らと共同で、これまでの説を覆す「水表面は活発に運動している乱雑な構造」という結論を導き出し、論争に決着をつけた。大気環境や医療分野の研究に新しい指針を示すと期待されるこの成果について、二本柳基幹研究所研究員に聞いた。

——科学が発展した今、水の性質について未解明なことが多いのは、意外な感じがしますね。

二本柳：私たちの身の回りには、実はいまだに分らないことが多いんです。水表面は非常に薄く、水分子がたった1~2層しかありません。水全体から表面だけを分離して調べる計測法に限られていたため、表面の分子構造が未解明だったのです。水表面の分子構造について、今まで有力だった仮説に、氷のように秩序ある構造をしているという「ice-like water（氷的な水）」があります。ただ、この説も理論計算や熱力学的な見地から間違いだとの指摘があり、研究者の間で長年論争が続いてきました。

——開発した新しい計測法について教えてください。

二本柳：従来、水表面の分子構造を調べるには、水分子の振動スペクトル[※]を測定する「和周波発生分光法」がありました。私たちは、この手法に光の位相を同時に測定できる機能を取り入れた「ヘテロダイン検出振動和周波発生分光法」を独自に開発しました（図1）。この手法を使うと、水全体の中から表面にある分子だけを選んで計測できるので、分子構造をより詳細に調べることができます。

——どんな実験をしたのですか。

二本柳：開発した手法を使って水表面の水分子の振動スペクトルと信号光の位相を測定しました。また、東北大学が新しくつくった柔軟かつ分極的な性質を組み込んだ「水分子のモデル」を使って、水表面の分子構造をシミュレーションし、得られた分子構造に対する振動スペクトルを計算しました（図2）。その結果、測定と計算で得た振動スペクトルがほぼ完全に一致したのです。このことから、水表面は「氷構造」ではなく、「活発に運動している乱雑な構造」、つまり基本的には「液体構造」であることが分かりました。また、水表面の最外層には内部より強い水素結合で結ばれた

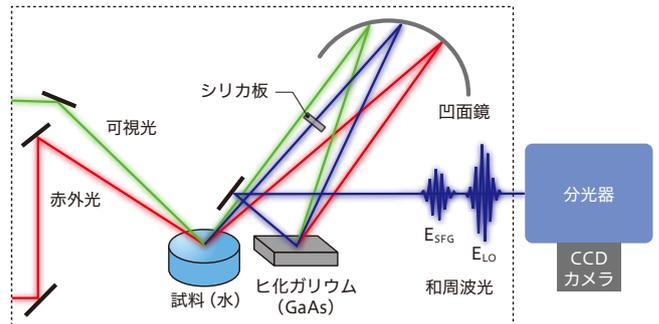


図1 ヘテロダイン検出振動和周波発生分光法の仕組み

可視（緑）と赤外（赤）のレーザー光を同時に試料表面に照射すると、和周波光（青、 E_{SFG} ）が発生する。これらの三つの光は凹面鏡によって集められてヒ化ガリウム（GaAs）の結晶に集光され、可視光と赤外光から二つ目の和周波光（ E_{LO} ）が生じる。このとき一つ目の和周波光（ E_{SFG} ）はシリカ板を通過することによって到着時間が遅れている。時間差のついた二つの和周波光は分光器内で干渉し、干渉パターン（周期構造）が測定される。このパターンを解析すると光の位相情報が得られ、より詳細に表面分子の構造や挙動を理解できる。

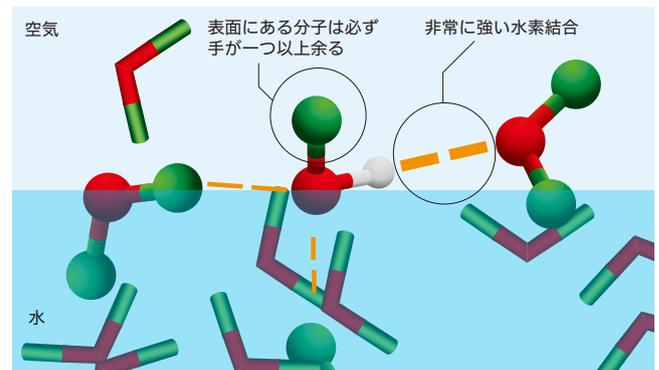


図2 分子動力学シミュレーションによる水表面の相互作用モデル

赤は酸素原子、緑は重水素原子、白は軽水素原子を示す。水分子はお互いに水素結合で結ばれているものの、かなり大きく運動している。計測と計算の結果から、表面にある分子同士の間非常に強い水素結合が見つかった。

水分子のペアが存在することも確認しました。この「乱雑な構造の中に強い水素結合のペアが存在する」という描像は、熱力学的な考察とも矛盾しません。

——今後の期待は。

二本柳：水表面の性質を理解することは、水と空気、水と油、さらには水と細胞膜といった界面の化学を理解する上で本質的な課題です。今後、大気環境や医療をはじめ幅広い分野での基礎研究や応用研究に、今回の成果が新しい指針を与えることを期待しています。

※ 振動スペクトル：分子がどのような赤外光の波長に応答するかを示すグラフ。分子の赤外光応答は、分子の振動（伸び縮みの繰り返し運動）に対応しているため、振動スペクトルと呼ばれる。

●『Journal of The American Chemical Society』オンライン版（9月7日）掲載



Yuki Hasegawa
長谷川由紀

横浜研究所
オミックス基盤研究領域
LSA要素技術開発ユニット
研究員

1978年、東京都生まれ。博士（理学）。1996年、都立日比谷高等学校卒業。2000年、米国カリフォルニア州立大学ハイワード校卒業。2006年、横浜市立大学大学院博士課程修了。理研ゲノム科学総合研究センター研究員を経て、2008年4月より現職。

多様な細胞に分化できるiPS細胞（人工多能性幹細胞）。その万能性を維持している因子を発見し、注目を集めている研究者がいる。理研オミックス基盤研究領域LSA要素技術開発ユニットの長谷川由紀 研究員だ。「iPS細胞の培養は難しく、すぐ万能性が失われてしまいます。私は面倒くさがりなので、もっと簡単に培養できないか、と思っていたのです」。iPS細胞の万能性を維持する因子があるに違いない。そう考えて実験を重ねた結果、「CCL2」というタンパク質が重要な役割を果たしていることを発見し、今年7月に発表。CCL2を加えて培養すると、万能性が維持される。この発見は、iPS細胞のより簡単・安価な培養手段の開発につながり、再生医療や基礎研究への貢献が期待されている。「小さなことでもハッピーになれる単純な性格。でも、しつこい」。そんな長谷川研究員の素顔に迫る。

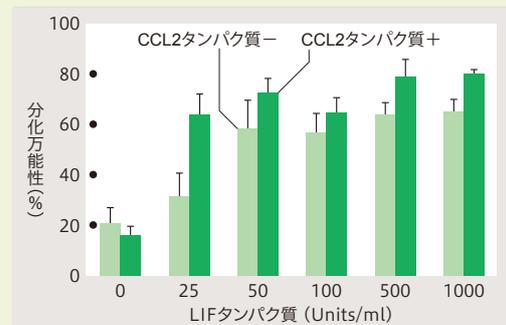
iPS細胞の万能性をいかに維持するか、その難題に挑む研究者

「女の子同士の双子なんです」と長谷川研究員。3歳からピアノ、小学4年生からはバイオリンを習っていた。「本が大好きでした。家にある本を片っ端から読み、中学時代の愛読書は松本清張や司馬遼太郎。数学と理科は嫌いでしたね」。そんな長谷川研究員だが、高校では理系コースを選んだ。「大学のオープンキャンパスで実験教室に参加したら、とても楽しかったから。それに、家族がみんな理系だったので、理系以外の職業が思い浮かびませんでした」

高校卒業を前に、長谷川研究員は一大決心する。「米国の大学に行くことにしました。双子の姉とずっと一緒にいたので、社会に出てから一人でやっていけるのか不安でした。一度離れてみるべきだと思ったのです」。そして渡米。「すぐに後悔しました（笑）。不慣れた英語で自分から話し掛けることができずに、いつも一人でいました」。ストレスでつぶれそうな留学生を見かねた大学のカウンセラーが、「趣味はないの？」と声を掛けてくれた。「バイオリンを持ってきたことを思い出し、弾き始めたんです。音楽に言葉は必要ありません。友達もできて、心が楽になりましたね」

学費を出して応援してくれる両親に感謝しながら、必死に勉強した。「どの教科も授業に付いていだけで精いっぱいでしたが、遺伝学だけは面白いと思えたのです。パーキンソン病を患っている知人がいたこともあって、遺伝性疾患に関心がありました。授業で、その治療には基礎研究も重要だと知り、研究者の道を考えるようになりました」

大学を卒業して帰国。大学院を探していたとき、理研横浜研究所の連携大学院が横浜市立大学に開設されることを知った。「林崎良英先生（理研オミックス基盤研究領域長）に会いに行くと、“私も変わっていると言われるけれど、いきなり海外の大学に行くなんて君も相当変わっているね”



と言われました。国際色豊かで、研究者から直接指導を受けられる環境に惹かれ、連携大学院の1期生になりました」

大学院修了後は理研横浜研究所の研究員として、細胞の遺伝子制御ネットワークの研究に携わった。そして2008年、オミックス基盤研究領域に所属し、iPS細胞を使った研究を開始。「京都大学の山中伸弥先生とともにiPS細胞をつくった高橋和利先生に、樹立・培養の方法を直接指導していただきました。成功までの苦しみや熱い想いも聞くことができ、大きな刺激を受けました」

そして2011年、iPS細胞の万能性の維持にCCL2タンパク質が重要な役割を果たしていることを発見（図）。「今回はマウスのiPS細胞ですが、CCL2はヒトのiPS細胞の万能性の維持にも効く可能性があり、実験を進めています。ヒトのiPS細胞を万能性を維持したまま培養することは、マウスの何倍も難しいんです。CCL2を添加することでそれが可能になれば、再生医療にも貢献できます」

「研究をやっていると99%が失敗」と長谷川研究員。「でも私は、簡単には諦めません。1%の成功のために、しつこくやり続ける。好きな言葉は、Perseverance。屈しない姿勢という意味です」。柔らかい笑顔の奥に強さが見えた。

（取材・執筆：鈴木志乃／フォトンクリエイト）

→ 「RIKEN Honorary Fellow」をデービッド・ボルティモア教授に

当研究所は米国カリフォルニア工科大学のデービッド・ボルティモア教授（同大学名誉学長）に「RIKEN Honorary Fellow」



左からアリス・ファン博士、ボルティモア教授、野依理事長

の称号を授与しました。この称号は、研究所の活性化や国際性を高めるため、さまざまな分野において世界的に傑出した実績と見識を有する方に授与するものです。これまで、2005年11月に江崎玲於奈博士（1973年ノーベル物理学賞受賞）、2007年7月にマハティール・ビン・モハマド博士（マレーシア元首相）、2011年3月に李遠哲博士（1986年ノーベル化学賞受賞）へ授与いたしました。

ボルティモア教授は、RNAをDNAに転写する逆転写酵素の発見により、1975年に37歳の若さでノーベル生理学・医学賞を受賞されました。また、1997年から2006年までの間、カリフォルニア工科大学の学長を務めるなど、卓越した科学業績のみならず研究所や大学の運営を通して科学の発展に尽力されました。

2011年10月6日、授与式（写真）および特別講演会を理研横浜研究所で開催。ボルティモア教授より「Control of the Inflammatory Process」と題して講演いただき、多くの参加者と活発な交流が行われました。

→ 新監事に清水 至氏

10月1日、清水至氏が監事に就任しました。当研究所の発展に尽力された廣川孝司氏は9月30日をもって退任しました。



清水 至（しみず いたる）

神奈川県生まれ。公認会計士。1972年3月、中央大学商学部会計学科卒業。1976年8月、監査法人太田哲三事務所（現「新日本有限責任監査法人」）入所。公会計部部門長、公会計部シニアパートナーを歴任。

→ 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研究テーマ、⑥信条、⑦趣味

仁科加速器研究センター



理研BNLセンター 計算物理研究グループ
グループリーダー

出淵 卓（いずぶち たく）

①1970年 ②東京都 ③東京大学大学院理学系研究科博士課程 ④金沢大学、ブルックヘブン国立研究所（米国） ⑤高エネルギー物理学、計算科学 ⑥ゆっくり急げ ⑦読書、映画TV鑑賞



産業連携チーム
チームリーダー

吉田 敦（よしだ あつし）

①1963年 ②千葉県 ③東京工業大学大学院理工学研究科博士課程 ④理化学研究所 ⑤仁科センター加速器の産業界への共用促進事業 ⑥一生懸命 ⑦パン焼き

原酒

仙台支所のチームワーク力

「ママチャリ・レース」を通じた絆

南出泰亜 Hiroaki Minamide

和光研究所 基幹研究所
テラヘルツ光源研究チーム
チームリーダー

数年前から全国で「ママチャリ・レース」(買い物かごが付いた主に女性用の一般的自転車を使ったレース)が流行っているのをご存じだろうか。仙台空港近くの名取サイクリングコースでも、2005年から毎年9月に「げんきNATORIママチャリ8時間耐久レース」が開催されている。1チーム8人で1周4kmの周回コースを一人ずつ走り、途中交代は自由。勝負は8時間で何周走破できたかで決まる。

私が仙台郊外の自宅近所の方々とこのレースに参加するようになったのは、“運動不足の解消に”と近所の方々が話している輪に加わったのが発端である。2009年の初参加のときは、直前になって仙台空港から飛行機で別の場所に移動しなければならぬ用事が入ってしまった。しかし、“過酷なレースだから土壇場でキャンセルは許されない”とメンバーに諭され、一人一時間のノルマをこなした後、レース会場から空港に移動し、体力消耗も甚だしいまま飛行機に乗った。そのときの記憶がくっきりと刻まれている。

実は、そのレースに大谷知行チームリーダー(テラヘルツイメージング研究チーム)も参加されていて、偶然会場で出会ったのをきっかけに話が進展。以来、仙台支所のほかのメンバーも加わってレースに参加することになった(写真)。次のレースからは、自宅近所の方々と仙台支所のメンバー数名を合わせた2チームでの参加となり、特に2チーム間でお互いを意識しながら競い合う楽しい競技となった。自分の出番が来るまでの間は、バーベキューや東北名物の芋煮などを楽しみながら皆で盛り上がる。当然、お酒は厳禁なので地元の方が差し入れてくださった栄養ドリンクでの乾杯だ。特に昨年9月のママチャリ・レースでは、外国人研究員も加わり、大会後のゲームなどで地場産品をたくさん獲得して大いに盛り上がった。

ささいなことから大きく発展したママチャリ・レースへの参加であったが、今年はレース自体がない。この記事を執筆している9月は、例年ならレース開催の時期ということもあり、昨年のレースが懐かしく思い出される。というのも、3月11日に東日本大震災が起き、レース会場一帯が津波で壊滅してしまったからだ。宮城県名取市閑上地区といえ、お分かりになるか



写真：ママチャリ・レースに参加した仙台支所メンバー。前列右端が筆者。

と思う。真っ黒な津波が平野をのみ込む映像がテレビで何度も流された、あの海沿いの地域だ。瓦礫は整理されたものの山積みのみまで、辺りは流された家の基礎部分があるだけの平原となっている。サイクリングコースは、地盤が沈下して海水が入り、コースを囲む松林の葉が茶色く変色してしまい、見るも無残な状況である。レース開催のとき、閑上地区の方々が周到な準備をして全国からの参加者を温かく迎え入れてくださったことを思い出すと、胸が苦しくなる。思い出の場所が無残な姿になってしまったせいか、メンバーのほとんどははまだ昨年のレースを話題にしない。哀惜の念に堪えないのだろう。つい最近になって少しずつ、別の場所で開催されるママチャリ・レースへ参加しよう、との声が出始めた。

今、あらためてチームワークや絆の大切さを感じる。研究でも目標達成には研究者間の信頼と協力関係が欠かせない。ママチャリ・レースなどのさまざまな日ごろのイベントを通じて、地域の方々、そして仙台支所のメンバーとより緊密な関係ができればと思っている。末筆ながら、引き続き東日本大震災へのご支援をお願い致します。

謝辞：本稿は、玉尾皓平 基幹研究所長のご助言を頂いて寄稿させていただきました。お礼申し上げます。

『理研ニュース』メルマガ会員登録中！

下記URLからご登録いただけます。

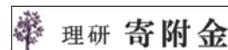
<http://www.riken.jp/mailmag.html>

携帯電話からも登録できます。



寄付ご支援のお願い

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。



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

問合せ先：理研 外部資金部 推進課 寄付金担当

TEL: 048-462-4955 Email: kifund@riken.jp

(一部クレジットカード決済が可能です)