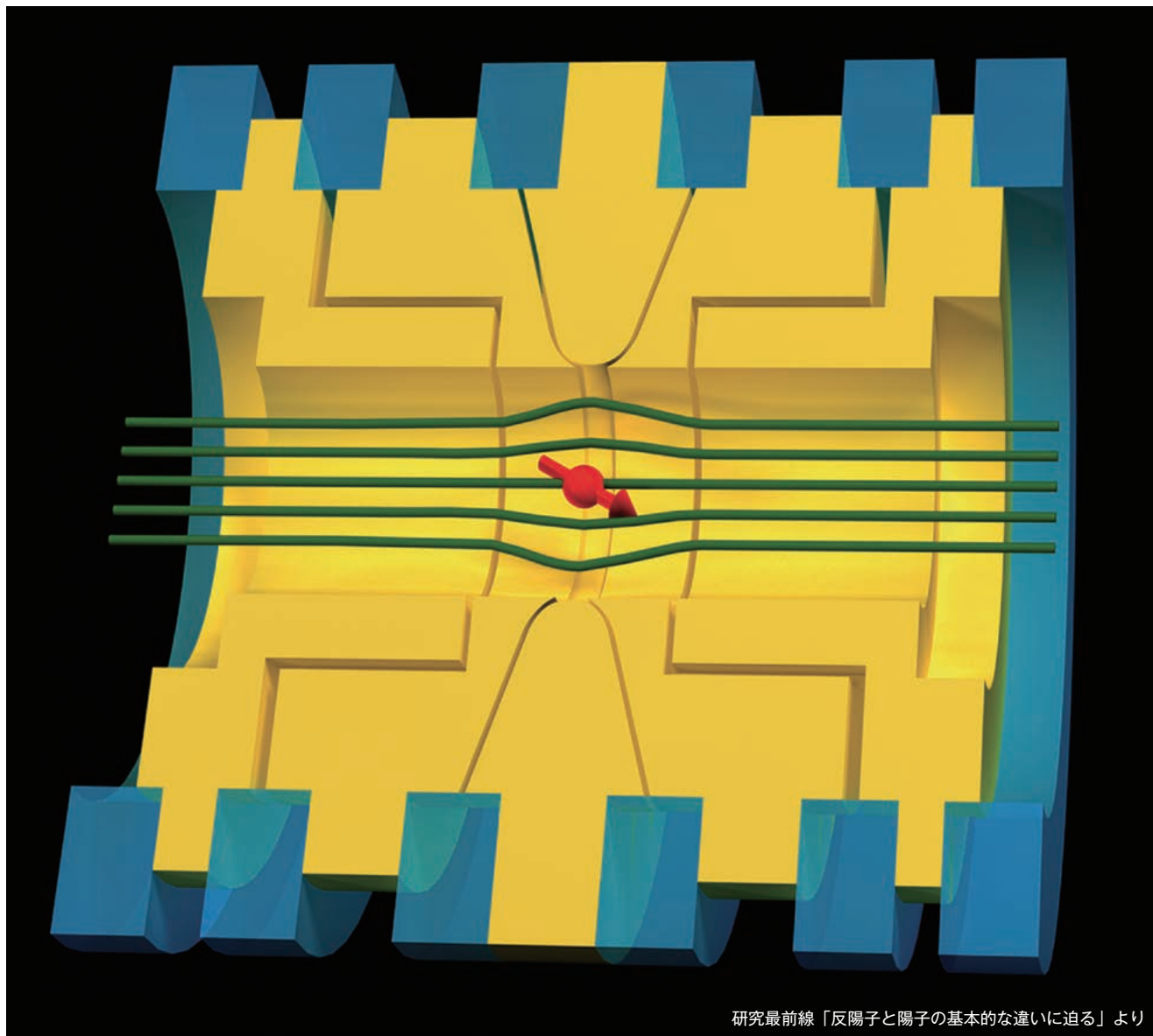


RIKEN NEWS

No. **456** 2019 **6**



研究最前線「反陽子と陽子の基本的な違いに迫る」より

02 **研究最前線**

切れてもまたつながる機能性ポリマー

06 **研究最前線**

反陽子と陽子の基本的な違いに迫る

10 **特集**

革新的AIで未来社会を拓く

14 **私の「科学道100冊」**

親子関係を脳科学の言葉で語る

15 **TOPICS**

- ・平井内閣府特命担当大臣が革新知能統合研究センターを視察
- ・国際周期表年2019
- ・理研「桜舞賞」表彰式を挙げる

16 **原酒**

巨星墜つ

「新しい触媒を開発し、従来は不可能だった化学反応を実現して、新しい機能を持つ材料をつくり、社会に貢献する。それが私たちの目標です」と環境資源科学研究センター 先進機能触媒研究グループの侯 召民グループディレクター (GD) は語る。最近では、自己修復するポリマーを開発し、大きな注目を集めている。この新しい機能性ポリマーは、タイヤやシーリング材などさまざまな用途での利用が期待されている。「新しい触媒を使うと、新しい構造と組成を持った材料ができます。しかし、どのような機能を持つかは、調べてみないと分かりません。時には予想外の機能性材料ができる。自己修復するポリマーも、まったく予想していませんでした」
「化学は面白い」と侯GDは繰り返す。有機金属化学の最前線を紹介しよう。

切れてもまたつながる機能性ポリマー

■ 重ねたフィルムが一体化

「偶然の発見でした」と、侯GDは興奮気味に話し始めた。「私たちは、独自に開発した触媒でポリマーを合成し、それをフィルム状にして伸び率を調べていました。計測を終えたフィルムを重ねて置いていたのですが、しばらくして手に取ると、フィルム同士がくっついていたのです。完全に一体化して離すことができず、とても驚きました。このポリマーには自己修復性能があるのではないかと考え、フィルムを切って切断面をくっつけてみたら、数分で切る前の状態に戻ったのです。詳しく調べていくと、このポリマーはゴムのように伸びたり縮んだりするだけでなく、自己修復と形状記憶が可能で新しい機能性材料であることが

分かりました」(図1、図2)

2019年2月にこの機能性ポリマーの開発に成功したことを発表すると、新聞だけでなくテレビニュースでも取り上げられた。「切ったり形を変えたりした物が元に戻るというのは分かりやすく、映像としても面白いですからね。反響は大きく、いろいろな分野の企業から問い合わせがありました。私たちが想定していなかった用途も多く、一つずつ実用化に向けた検討を始めています」

この自己修復特性と形状記憶特性を持つ新しい機能性ポリマーは、どのようにして誕生したのだろうか。

■ 新しい触媒で新機能をつくり出す

「新しい触媒を開発し、その触媒の特

徴を活かした化学反応を実現し、新しい機能を持つ材料をつくり出す。それが私たち先進機能触媒研究グループの基本コンセプトです」と侯GD。触媒とは、それ自身は反応の前後で変化しないが、化学反応を促進させる物質のことである。「新しい触媒は従来できなかった化学反応を可能にし、これまでつくれなかった新しい組成や構造を持った化合物をつくることができます。新しい組成と構造があれば、新しい機能が生まれます」

研究グループのターゲットの一つが、機能性ポリマーの創製である。ポリマーとは、小さな分子が鎖のようにつながってできた高分子である。小分子1個をモノマー、モノマーがつながることを重合と呼ぶ。ポリマーは私たちの生活のさまざまな場面で使われている。例えば、包装材料や容器、農業用フィルムなどに使われているポリエチレンは、エチレンが重合したポリマーである。エチレン($\text{CH}_2=\text{CH}_2$)をはじめ、プロピレン($\text{C}_2\text{H}_4=\text{CH}_2$)、ブテン($\text{C}_3\text{H}_6=\text{CH}_2$)などのように分子内に炭素-炭素二重結合($\text{C}=\text{C}$)を持つ炭化水素化合物を総称してオレフィンといい、オレフィンを重合してできるポリマーをポリオレフィンと呼ぶ。

「ポリオレフィンには現代社会に欠かせない重要な材料です。しかし、ポリオレフィンには水素と炭素だけでできているた

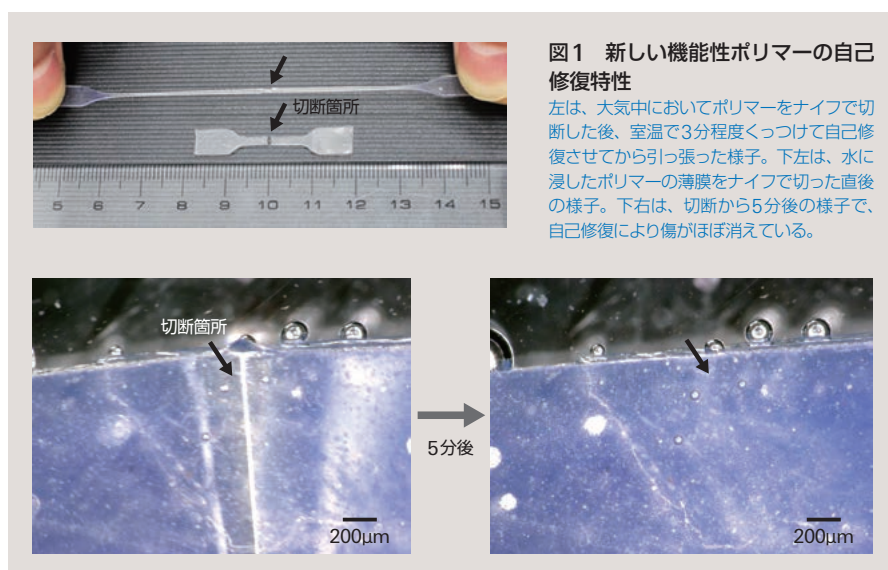


図1 新しい機能性ポリマーの自己修復特性
左は、大気中においてポリマーをナイフで切断した後、室温で3分程度くっつけて自己修復させてから引っ張った様子。下左は、水に浸したポリマーの薄膜をナイフで切った直後の様子。下右は、切断から5分後の様子で、自己修復により傷がまぼ消えている。

侯 召民 (コウ・ショウミン)

環境資源科学研究センター
先進機能触媒研究グループ
グループディレクター

1961年、中国山東省生まれ。中国石油大学卒業。九州大学大学院工学研究科応用化学専攻博士課程修了。工学博士。理研基礎科学特別研究員、カナダ・ウィンザー大学ポスドク研究員などを経て、2002年より理研侯有機金属化学研究室 主任研究員。2013年より現職。環境資源科学研究センター 副センター長を兼務。



め、機能が限られ用途も限定されています」と侯GDは指摘する。化合物において分子内の電荷分布に偏りがある場合を極性、偏りがない場合を非極性という。ポリオレフィン是非極性のため、極性官能基を含む高分子材料や顔料、ガラス繊維などの親和性が低く、それらと混合して利用するのは難しかった。「極性官能基を含むポリオレフィンができれば、さまざまな材料に混合させて、安定性や強度を高める改質剤として使うなど用途が広がります。そこで多くの研究者が目指したのが、ヘテロ原子を含むオレフィンとエチレンの共重合でした」

有機化学の分野でヘテロ原子とは炭素と水素以外の原子をいい、よく使われるのは窒素や酸素、硫黄、リンである。ヘテロ原子を含むと化合物内で電荷の偏りが生じるため、極性オレフィンとなる。また共重合とは、2種類以上のモノマーが重合することをいう。

これまでも世界中で、ヘテロ原子を含む極性オレフィンとエチレンの共重合を目指し、さまざまな触媒を用いた研究が行われてきた。しかし、なかなか成果は上がらなかった。

触媒にはいろいろな種類があるが、現在幅広く使われているのは、遷移金属を中心として周りに配位子と呼ばれる有機物が結合している有機金属錯体だ。金属が化学反応を促進し、配位子がその働き方をコントロールする。中心の金属を変えると触媒の性質が変わるのだが、チタンやジルコニウムに代表される4~6族の遷移金属を用いた触媒では、ヘテロ原子が触媒の作用を著しく減少させ、共重合が進行しない場合が多かった。ニッケルやパラジウムなどの8~11族の遷移金属を用いた触媒では、共重合が進行するものの、ヘテロ原子を含む極性オレフィンの反応性がエチレンに比べてとても低いため、得られたポリオレフィン中の極性オレフィンの割合は低く、また分子量も上がらなかった。

極性オレフィンの割合がある程度高くなければ期待した機能は表れない。また、ひも状のポリオレフィン同士が絡み合うことで材料が強くなるが、分子量が小さい、つまりポリオレフィンが短いと、絡み合いが少ないため強度が出ない。

「従来の触媒ではヘテロ原子を含むポリオレフィンをつくることは難しい。そこ

で私たちは、希土類金属を用いた触媒によって、その難題に挑むことにしました」

■ 希土類触媒による新たな反応の開拓

希土類とは、原子番号21のスカンジウムと39のイットリウム、ランタノイドと総称される57から71のランタンからルテチウムまでの合計17元素をいう。希土類はレアアースとも呼ばれ、電子機器や電気自動車の製造に欠かせないものとして、最近注目されている。しかし侯GDによると、希土類触媒はこれまであまり研究されてこなかったという。希土類触媒は、空気や湿気に触れるとすぐに壊れてしまうので、非常に扱いにくいのだ。だが侯GDは、希土類には遷移金属にはない特徴があり、その特徴を活かした触媒をつくれれば従来の触媒では不可能だった反応によって新しい材料をつくることができると考え、1990年代から希土類触媒の開発を行ってきた。

実は、希土類触媒はヘテロ原子を含む極性オレフィンの重合には向かないというのが、多くの化学者の認識だった。重合反応では、炭素-炭素二重結合が開き、次々に結合していく。つまり、重合



図2 新しい機能性ポリマーの形状記憶特性

変形前のポリマーの薄膜(1)を、50°Cの湯の中で軟らかくして変形させ、そのまま室温で冷やすと硬くなって変形した形状を保持できる(2)。それを再び50°Cの湯の中に入れると(3)、元の形状が速やかに復元される(4)。ポリマーの薄膜は無色透明なので、見分けやすいように文字の部分にインクで黒く塗ってある。

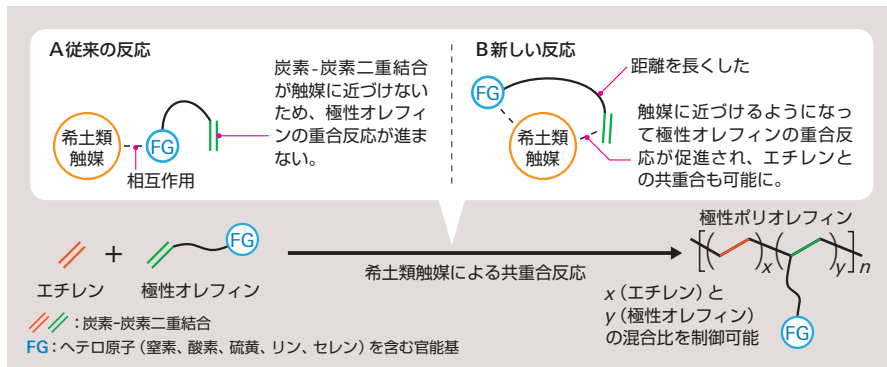


図3 希土類触媒によるエチレンと極性オレフィンとの共重合反応

極性オレフィンにはヘテロ原子を含み、ヘテロ原子は希土類と強い相互作用を示す (A)。炭素-炭素二重結合とヘテロ原子の間の距離を長くすると、ヘテロ原子だけでなく炭素-炭素二重結合も希土類に近づくことができ、重合が促進される (B)。炭素-炭素二重結合とヘテロ原子の間の距離、そして極性オレフィンの量によって、エチレンと極性オレフィンの組成比を制御できる。

を進めるには、炭素-炭素二重結合を希土類に近づけて反応を促進させなければいけない。しかし希土類はヘテロ原子の方に強い親和性を示すため、肝心の炭素-炭素二重結合が希土類に近づけず重合反応が進まないのだ。

侯GDには作戦があった。「極性オレフィンの炭素-炭素二重結合とヘテロ原子の間が適当に離れていれば、ヘテロ原子が希土類に引き寄せられたときに炭素-炭素二重結合も希土類に近づくことができ、重合反応が促進されるはずです。そうした分子の設計と自在な合成は私たちが得意とするところですよ」

実際、希土類触媒によって、炭素-炭素二重結合とヘテロ原子の間を離れた極性オレフィンを反応させると、重合が速やかに進行。エチレンを加えて反応させると、ヘテロ原子を含む極性オレフィンとエチレンの共重合が進んだ (図3)。得られたポリオレフィンにおける極性オレフィンの組成比と分子量も高い。

侯GDらは希土類触媒によるこの新反応を、ヘテロ原子によって促進されるオレフィン重合を意味する Heteroatom-assisted Olefin Polymerization の頭文字を取って「HOP」と名付け、2017年に発表。極性ポリオレフィンの合成が可能になり、機能性ポリマーとして利用用途の拡大が期待できるとして注目を集めた。

自己修復性能を持つポリマーを開発

触媒に用いる希土類の種類、反応させる極性オレフィンの量や種類を変えると、得られるポリオレフィンの組成や構造が変わる。すると、機能も変わる。侯

GDらは2017年以降も、関連するさまざまな反応の研究に取り組んできた。その一つが、スカンジウムを触媒に用いたエチレンとアニシルプロピレン類との共重合反応である (図4)。アニシルプロピレンは酸素を含む極性オレフィンだ。

共重合によって得られたポリオレフィンは、エチレンとアニシルプロピレン類の組成比がほぼ3:2で、分子量も比較的高かった。侯GDらは、まずエラストマー物性を測定。エラストマー物性とは、ゴムのように伸びたり縮んだりする性質である。得られたポリオレフィンは伸び率約2,200%、つまり22倍も伸びるという優れたエラストマー物性を示した。「エラストマー物性を持つことは予想の範囲内」と侯GD。エラストマーという言葉は、elastic (弾力のある) と polymer (ポリマー) に由来する。「一方で、自己修復性能を持つことはまったく予想外でした」。初めて気付いたときの驚きは、冒頭で紹介したとおりだ。

近年、自己修復性能を持つ材料の研究開発が活発に進められている。損傷を自律的に修復できるとメンテナンスも容易になり、長寿命化も期待できる。ところが従来の自己修復材料は、精巧な分子設計によって水素結合やイオン相互作用などを活用したものが多く、空気中では自己修復性能を発揮するが、水中では水素結合やイオン相互作用が壊れてしまうため機能しない。また多くの場合、自己修復には光や熱、圧力など外部からのエネルギーが不可欠だ。しかも精巧な分子設計による複雑な構造をしているため、合成には多段階の化学

反応を要し、大量合成が難しいという問題もある。

「私たちが合成したポリオレフィンは、大気中だけでなく水中、しかも酸性やアルカリ性の水溶液中でも自己修復性能を示します。外部からのエネルギーは一切不要です。そして、エチレンとアニシルプロピレンという入手しやすい原料から1段階で簡単に合成できるので、大量合成にも向いています」

自己修復の鍵は交互ユニットと結晶ユニットのバランス

このポリオレフィンは、形状記憶特性も持っている。50℃の湯に入れて軟らかくしたポリオレフィンを変形させ、そのまま室温まで冷やすと、変形した状態で硬くなる。それを50℃の湯に入れると、元の形状に戻る (図2)。形状固定率と形状回復率はともに99%で、形状記憶特性として非常に優れている。しかも、繰り返し変形させても機能は低下しない。アニシルプロピレンの置換基を変えることで、形状記憶特性を発揮する温度が変わるのも大きな特徴である。用途に応じて、形状が変形・復元する温度を制御したポリオレフィンを合成できる。「触媒に用いる金属や配位子を変え、それぞれの反応や生成物の物性を一つずつ詳しく調べていって分かったことです。新材料の開発の背景には、こうした地道な実験の積み重ねがあるのです」

しかし、画期的な機能性ポリマーを開発したにもかかわらず、侯GDは手放しでは喜ばずにいた。「それらの特性を発現する理由が分からなかったのです」

関連情報

- 2019年2月7日プレスリリース
新しい機能性ポリマーの開発に成功
- 2017年7月22日プレスリリース
機能性ポリオレフィンの合成・制御に成功

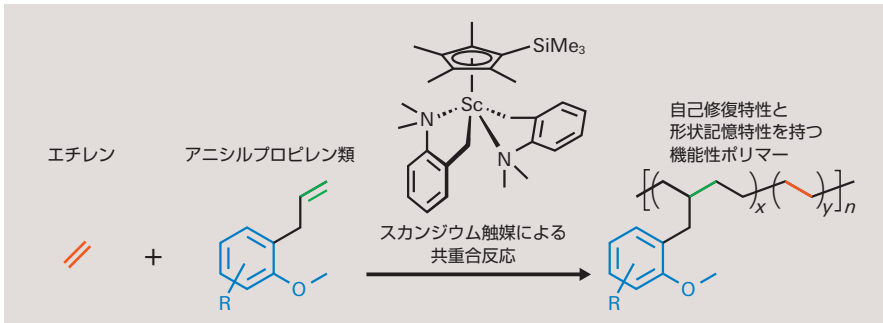


図4 スカンジウム触媒によるエチレンとアニシルプロピレン類の共重合反応

アニシルプロピレン類に含まれるヘテロ原子の酸素 (O) が希土類のスカンジウム (Sc) と強い相互作用をする。そのとき、酸素と炭素-炭素二重結合の間の距離が適度に長いので、炭素-炭素二重結合もスカンジウムに近づくことができる。その結果、アニシルプロピレン類とエチレンとの効率的な共重合が起きる。アニシルプロピレンの置換基 (R) をさまざまに変えるとポリマーの動きやすさが変化し、熱物性を制御できる。

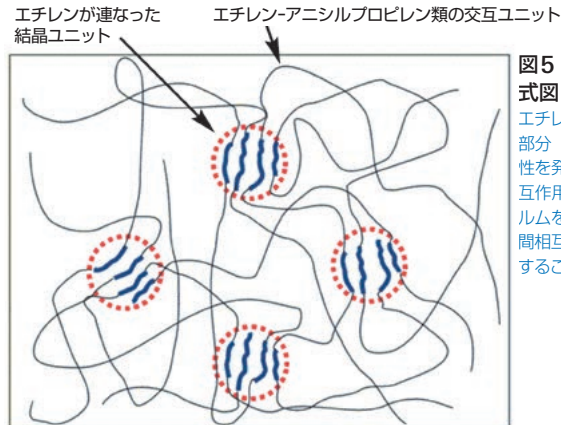


図5 新しい機能性ポリマーの構造の模式図

エチレンとアニシルプロピレン類が交互に連なった部分 (交互ユニット) は絡み合い、エラストマー物性を発現する。エチレンが連なった部分は分子間相互作用によって集まっている (結晶ユニット)。フィルムを切断しても、エチレンが連なった部分が分子間相互作用によって集まって結晶ユニットを再構築することで、自己修復性を発現する。

そこで、九州大学先導物質化学研究所の高原 淳 教授らの協力を得て、大型放射光施設 SPring-8 で X 線を用いてポリオレフィンの構造を解析した。その結果、このポリマーは、アニシルプロピレン類とエチレンが交互に連なった「交互ユニット」と、エチレンとエチレンが連なった「結晶ユニット」から成る、マイクロ相分離と呼ばれる構造を取っていることが分かった (図5)。「私たちは最初、自己修復と形状記憶に重要なのは交互ユニットだと考えていました。ところが、結晶ユニットと交互ユニットのバランスが大事だったのです。これも大きな驚きでした」と侯 GD。

エチレンとアニシルプロピレン類が交互に連なった部分は動きやすく柔らかい成分として機能する。それによってエラストマー物性が発現する。エチレンとエチレンが連なった部分は、分子と分子が互いに引き付け合う分子間相互作用によって集まり結晶を形成し、物理的な架橋点として機能している。シートを切断すると交互ユニットも結晶ユニットも分

断されるが、断面をくっつけておくと分子間相互作用によって結晶ユニットを再構築するとともに、交互ユニットが分子運動によって再び絡み合う。その結果、自己修復が可能になっていたのだ。このメカニズムで形状記憶特性も説明できる。分子間相互作用は水の影響を受けない。だから、大気中だけでなく水中、しかも酸性やアルカリ性の溶液中でも自己修復や形状記憶を発現できるのだ。

■「化学は面白い」

この研究は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議が主導する革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) 「超薄膜化・強靱化『しなやかなタフポリマー』の実現」の研究課題「高性能希土類触媒によるタフポリマーの開発」の一環として進められた。国際連合が2016年に定めた17項目の持続可能な開発目標 (SDGs) のうち、「つくる責任 つかう責任」に大きく貢献する成果である。

「新しい触媒をつくと、新しい組成・構造を持った材料ができて、新しい

機能が生まれる。その信念で研究を進めてきましたが、今回の自己修復するポリマーの開発によって、そのやり方は間違っていなかったのだとさらに自信を深めることができました」と侯 GD。

この自己修復するポリマーには、実用化の可能性も大きく広がっている。「これまでゴムが使われていたところ、例えばタイヤや防水シート、シーリング材などに、さまざまな用途が期待されています。まだ詳しくお話しできませんが、医療分野からも注目されています」。その一方で、侯 GD は「基礎研究でもやらなければいけないことが、まだまだたくさんある」と言う。「いろいろな機能を付加できないかと検討しているところです。例えば、電気伝導性を持たせた自己修復ポリマーができれば、さまざまな用途があるでしょう」。もちろん、思いどおりにいかないこともある。「思ったとおりの反応や組成、機能が出なくても、そこで分かったことは知識の一部になります。すると、次はこうしてみようとアイデアが浮かぶのです」

侯 GD は「化学は面白い」と何度も繰り返した。「今回紹介した機能性ポリマーの開発のほかに、私たちは、とても安定な窒素分子の結合を常温常圧で切り、アンモニアや窒素を含む有機化合物を合成する化学反応や、二酸化炭素を有効活用するための化学反応などの開発も進めています」。これからも、先進機能触媒研究グループから画期的な触媒や化学反応、そして機能性材料が生まれ出されることだろう。

(取材・執筆：鈴木志乃/フォトンクリエイト)

開拓研究本部 Ulmer基本的対称性研究室の

ステファン ウルマー

Stefan Ulmer主任研究員が率いる国際共同研究チームは、

反陽子と陽子の磁気モーメントなどの基本物理量を精密に測定・比較することで、

物理学の大前提である「CPT対称性」が

成り立たない現象がないかどうかを確認している。

その実験は、宇宙から反物質が消えた謎の解明につながるかもしれない。

反陽子と陽子の基本的な違いに迫る

■ 消えた反物質の謎とCPT対称性

「なぜ星や銀河に満ちた宇宙が存在するのか理解したい」とUlmer主任研究員は語る。宇宙がビッグバンで始まったとすると、超高温・超高压の光から同数の粒子と反粒子が対生成され、それらが完全に対消滅して光に戻るか、粒子から成る物質の宇宙と同量の反粒子から成る反物質の宇宙があるかのどちらかになると考えられる。

反粒子の質量や寿命などの基本物理量は、粒子の対応する物理量とまったく同じとされ、電荷の符号は反対で絶対値は正確に等しい。もし、粒子と反粒子が全て対消滅して、光だけで物質のない宇宙になったら、星や銀河は形成されず、もちろん私たちのような生命体も生まれなかったはずだ。

ところが不思議なことに、観測されるのは物質から成る星や銀河だけで、反物質から成る星や銀河は見つかっていない。「なぜ反物質は消え、物質だけが残っているのか。それが大きな謎です。物質の主要な構成要素である陽子と、反物質の主要な構成要素である反陽子の基本物理量に違いがあれば、反物質が消えた謎を解明できるかもしれない。その謎に向き合い、答えを得ることを目指して、私は研究をしています」

しかし、粒子と反粒子の基本物理量に違いがあれば、大発見である。なぜなら、現代物理学の大前提である「CPT

対称性」が破れている、つまりCPT対称性が成り立たず、非対称であることになるからだ。

C (Charge) は電荷を入れ替えること、P (Parity) は空間の左右・上下・前後を入れ替えること、T (Time) は時間の進行を逆転させることだ。CPT対称性は、この三つの操作を同時に行った場合、物理法則はまったく変わらないことを意味している。

C、P、Tのいずれかを単独で操作した場合、対称性が破れていることはすでに分かっている。また、K中間子と反K中間子においてCとPの二つの操作を同時に行う「CP対称性」が破れていることも、1960年代に確認された。さらに21世紀に入り、日本を含む世界のいくつかの研究グループにより、ニュートリノやB中間子という粒子とその反粒子の崩壊過程の違いが高い確度で観測され、

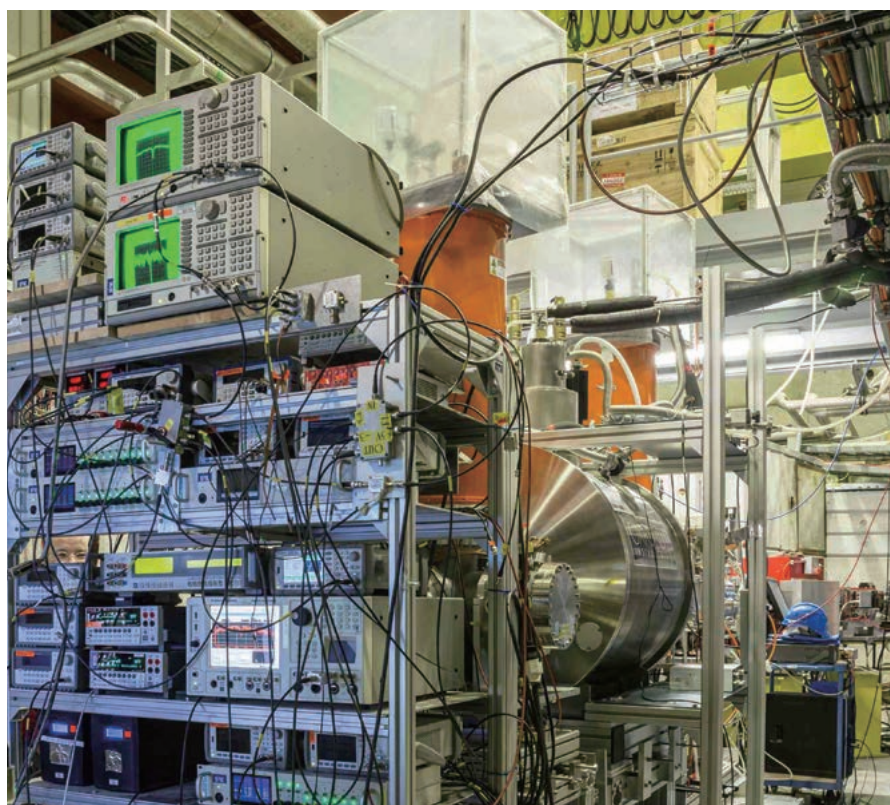


図1 CERNにある磁気モーメント精密測定装置群

写真中央にある銀色の筒状の冷却容器の中に反陽子を閉じ込めるペニングトラップが内蔵されている。

Stefan Ulmer

(ステファン・ウルマー)

開拓研究本部
Ulmer基本的対称性研究室
主任研究員

1977年、ドイツ・テュービンゲン生まれ。Dr.rer.nat. ドイツ・ルプレヒト・カールス大学ハイデルベルク校大学院物理・天文学科博士課程修了。2011年、理研山崎原子物理研究室 国際特別研究員。Ulmer国際主幹研究ユニット 国際主幹研究ユニットリーダーなどを経て、2018年より現職。



それらの粒子と反粒子においてもCP対称性が破れていることが分かった。

しかし、粒子と反粒子のCPT対称性が破れている証拠は発見されていない。

■ 磁気モーメントの測定に

ブレイクスルーを起こした！

「私たちは、陽子と反陽子の磁気モーメントに違いがあるかを知るために、可能な限り精密に測定して比較する実験を続けています」(図1)

陽子と反陽子は、スピンという自転に似た性質を持ち、小さな磁石として働く。その磁石の強さと向きが磁気モーメントだ。ただし、陽子や反陽子の磁石の強さは一般的な方位磁石の 10^{24} 分の1(1兆分の1のさらに1兆分の1)しかない。そのため、陽子と反陽子の磁気モーメントを精密に測定することは極めて困難で、不可能とさえいわれていた。

2000年代までは、原子核の周囲を回る電子を反陽子に置き換えたエキゾチック原子の分光実験により、反陽子の磁気

モーメントの測定が行われてきた。しかしその方法では、反陽子の磁気モーメントは、1,000分の1ほどの精度でしか測定できなかった(図2)。その精度では、陽子と反陽子の磁気モーメントは一致していたので、さらに高精度の測定を行い、CPT対称性が破れていないかどうかを確認することが求められていた。

ブレイクスルーが起きたのは、2011年だ。当時、ドイツのルプレヒト・カールス大学ハイデルベルク校の大学院生だったUlmer主任研究員が、陽子や反陽子の磁気モーメントを精密に測定できる技術の開発に成功したのだ。

そして2012年から、Ulmer主任研究員は理研の一員として、東京大学やドイツのヨハネス・ゲーテンベルク大学マインツ校、マックス・プランク研究所、重イオン研究所などによる国際共同研究グループを率い、陽子や反陽子の磁気モーメントなどを精密測定してCPT対称性が破れていないかどうかを確認するプロジェクト(BASE)を主導してきた。

その舞台は、反陽子を生成し、実験に利用できるように減速して供給する、世界で唯一の施設がある欧州原子核研究機構(CERN)だ。

反陽子は物質の中の陽子と衝突すると対消滅してしまうため、物質を可能な限り取り除いた超高真空中に閉じ込める必要がある。Ulmer主任研究員らは、磁場と電場をかけて荷電粒子を閉じ込める「ペニングトラップ」と呼ばれる手のひらサイズの装置を用いて、1個の陽子や反陽子を長期間閉じ込め、磁気モーメントを精密に測定する実験を始めた。

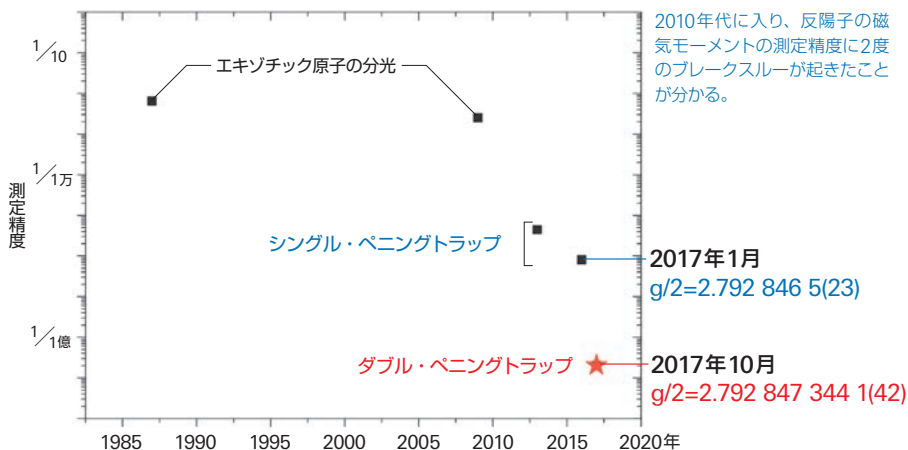
どのようにして磁気モーメントを測るのか。陽子や反陽子は磁力線の周りに巻き付くように周期運動(サイクロトロン運動)をする(図3左)。また、磁場があるとスピンの向きが首振り運動(ラーモア歳差運動)を行う(図3右)。ラーモア周波数をサイクロトロン周波数で割った値が磁気モーメントに比例した量($g/2$)に対応する。

陽子や反陽子がサイクロトロン運動をすることにより、検出器に数フェムト(1,000兆分の1)アンペアという微小電流が流れる。それを測定してサイクロトロン周波数を導き出せる。一方、陽子や反陽子のスピンの首振りという小さな運動は検出器で直接捉えられないため、ラーモア周波数の測定は難しい。

「私は、磁気モーメントの向きを測定することができる連続シュテルン-ゲラッハ効果を利用することにしました」

それは、1989年にノーベル物理学賞を受賞した米国のハンス・デーメルト博士が提唱したものだ。「デーメルト博士

図2 反陽子の磁気モーメントの測定精度の進展



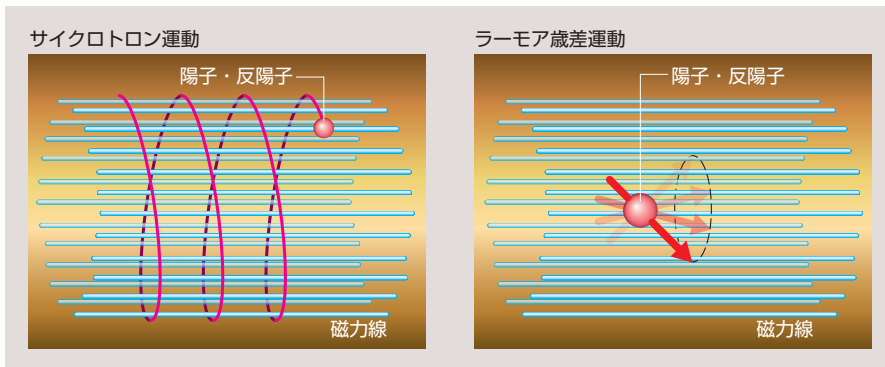


図3 磁気モーメントを導き出す原理

磁場の中で陽子や反陽子は、サイクロトロン運動とラーモア歳差運動を行う。ラーモア周波数をサイクロトロン周波数で割った値が磁気モーメントに比例した量 (g/2) に対応する。

はこの効果を使って、電子と陽電子の磁気モーメントを測定しました。それを陽子・反陽子に適用するには、電子・陽電子に比べて1万倍の高い感度を持った装置が必要です。2011年に、そのような高感度の装置をつくり、陽子・反陽子の磁気モーメントを精密に測定できるようにしたことが私の業績の一つです」

ラーモア周波数の測定法はこうだ。高周波の交流磁場を陽子や反陽子に照射すると、スピンの向きが反転する。いろいろな周波数の高周波を照射してスピンを反転させることで、高周波の周波数とスピンの反転確率の関係を求め、そこからラーモア周波数を導き出せる。

しかし、その測定で課題になるのが、スピンの反転したことを、どうやって確かめるかだ。均一な磁場では、スピンの上向き（アップ）と下向き（ダウン）のときで違いが現れない。一方、不均一な磁場では、陽子や反陽子が磁力線に沿った方向（軸方向）に振動する際、その振動周波数がスピンの向きでわずかに変化する（図4）。

「連続シュテルン-ゲルラッハ効果を用いた手法のポイントは、その軸方向の振動周波数を観測して反転を確かめることです。それにより、同じ粒子を用いて、反転させてはその向きを確認することを何回も繰り返すことができます」

2017年1月、Ulmer主任研究員らは反陽子の磁気モーメントを1,000万分の8の精度で測定することに成功した（図2）。「強い不均一磁場をかけるほど高精度の測定ができます。デーメント博士が1980年代に電子・陽電子の測定で用いた磁場の変化率は1,000テスラ/m²。一方、私たちの陽子・反陽子の測定では、300倍の30万テスラ/m²という強い不均一磁場をかけて測定しました」

CERNではUlmer主任研究員らの実験装置の隣で、米国ハーバード大学の研究グループもペニングトラップを用いた同様の実験を続けている。Ulmer主任研究員らの1,000万分の8という精度は、2013年に発表されたハーバード大学のグループによる測定値の精度よりも約6倍高い。

■ 第二のブレークスルー、ダブル・ペニングトラップを開発

Ulmer主任研究員らは2017年10月、反陽子の磁気モーメントを10億分の1.5の精度で測定することに成功した（図2）。2017年1月より精度が2桁半高い。高精度化をどのようにして実現したのか。「ダブル・ペニングトラップという独自の手法を導入しました。10億分の1.5という測定精度は、反物質の物理学において画期的な成果だと思います」とUlmer主任研究員。

それまではUlmer主任研究員率いる国際共同研究グループも、ハーバード大学の研究グループも、ペニングトラップの1カ所に反陽子を閉じ込め、サイクロトロン周波数とラーモア周波数の両方を測定する「シングル・ペニングトラップ」を用いてきた。

前述のようにスピンの反転を確認するには不均一な磁場をかける必要がある。しかし、不均一磁場ではサイクロトロン運動に乱れが生じ、その周波数を高精度で測定することが難しい。そこで

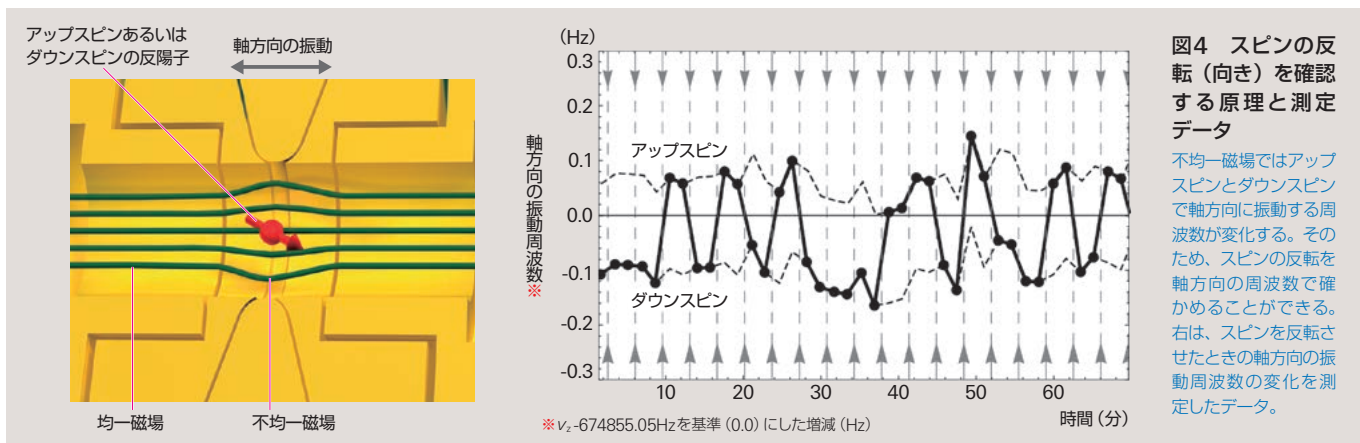
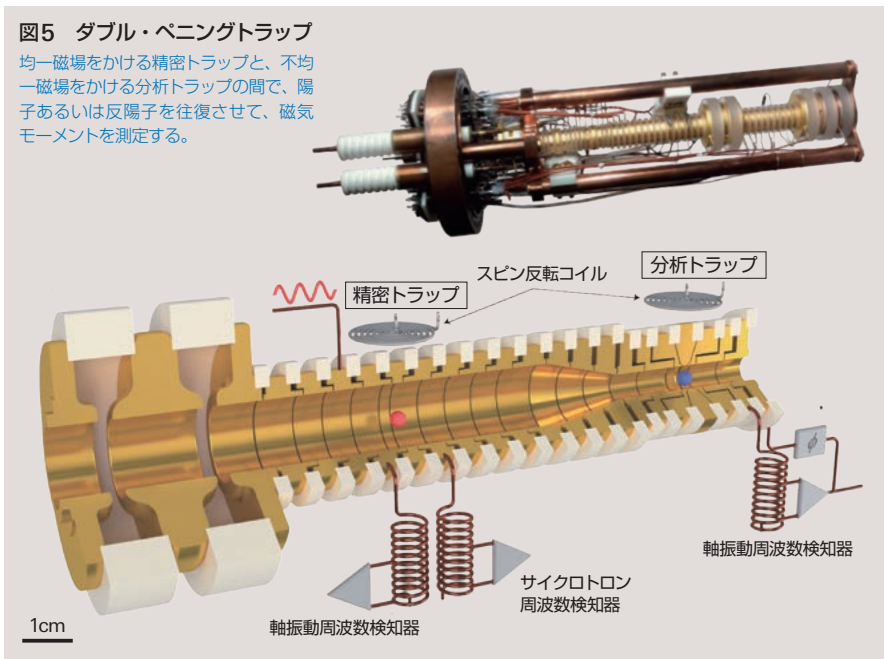


図4 スピンの反転（向き）を確認する原理と測定データ

不均一磁場ではアップスピンとダウンスピンで軸方向に振動する周波数が変化する。そのため、スピンの反転を軸方向の周波数で確かめることができる。右は、スピンを反転させたときの軸方向の振動周波数の変化を測定したデータ。

図5 ダブル・ペニングトラップ

均一磁場をかける精密トラップと、不均一磁場をかける分析トラップの間で、陽子あるいは反陽子を往復させて、磁気モーメントを測定する。



Ulmer主任研究員は、反陽子を閉じ込める場所を、均一磁場をかける「精密トラップ」と、不均一磁場をかける「分析トラップ」の2カ所に分けた(図5)。それがダブル・ペニングトラップだ。

まず、均一磁場の精密トラップでサイクロトロン周波数を測定するとともに、高周波を反陽子に照射してスピンを反転させる。その反陽子を、不均一磁場をかけた分析トラップに移動させ、軸方向の振動周波数を測定して反転したかどうかを確認する。2個の反陽子をそれぞれのトラップに閉じ込め精密トラップと分析トラップの間を往復させて独立に測定し、磁気モーメントを10億分の1.5の精度で導き出した。

陽子の磁気モーメントについてはすでに2014年、ダブル・ペニングトラップを用いて10億分の3.3の精度で測定することにUlmer主任研究員らが成功していた。それから3年後にUlmer主任研究員らは、自然界に存在しない反陽子の磁気モーメントを、宇宙に遍在する陽子の磁気モーメントより高い精度で決定したのだ。

両者の値を比べると、その測定精度の範囲では陽子と反陽子の磁気モーメントは一致しており、CPT対称性はなお保たれていた。

Ulmer主任研究員らはペニングトラップでサイクロトロン周波数を精密に測定

することで、陽子と反陽子の質量電荷比(質量と電荷の比)という基本物理量が1,000億分の1の精度で一致することも2015年に確かめている。

では、どこまで精度を高くすれば、陽子と反陽子の基本物理量の違いを測定できる可能性があるのか。「その答えが分かっていたら、この実験を行う意味はありません(笑)。私たちは、磁気モーメントの測定精度をさらに100倍高くする自信があります」

そのために導入する手法の一つがレーザーによる冷却だ。現在も装置を4K(約-269℃)という極低温に冷却して、測定ノイズとなる熱による陽子や反陽子の振動を抑えて実験を行っている。レーザーでさらに振動を抑えて低温にすることで、より高精度の測定が可能になる。

■ 反水素でもCPT対称性の破れがないかを確認する

山崎泰規 元主任研究員(現 Ulmer 基本的対称性研究室 研究員)が主導して、反水素の性質を精密に調べる実験も、CERNで行われている(『理研ニュース』2014年11月号「SCIENCE VIEW」)。

反水素は反陽子と陽電子から成る原子だ。水素の性質は、すでに高精度で測定されている。反水素の超微細構造と呼ばれる物理量を高精度で測定して、

関連情報

- 2017年10月19日プレスリリース
反陽子の磁気モーメントの超高精度測定
- 2017年1月18日プレスリリース
反陽子の磁気モーメントを世界最高精度で測定
- 2015年8月13日プレスリリース
反陽子と陽子の質量を一億分の一の超高精度で決定
- 2014年6月10日プレスリリース
陽子の磁気モーメントを超高精度で測定

水素と一致するかどうか調べることで、CPT対称性が破れていないかどうかを確認している。

そもそも反陽子や陽電子などの反粒子の存在は、1929年にポール・ディラックが予言した。

「そのディラック方程式はCPT対称ですが、これにCPT対称性の破れに関する7個の項を人為的に加え、それぞれどのような実験で検出可能かを調べると、そのうち3個の項(ベクトル場を記述)は陽子・反陽子の実験で、残りの4個の項(スカラー場を記述)は水素・反水素の実験で検出できる可能性があります。CPT対称性が破れていないかどうかを確認の上でも、また反物質をより深く理解の上でも、両方の実験を進めることが重要です」

どこまで精度を高めれば、陽子と反陽子の基本物理量の違いが見えるのか、そもそも違いがあるのか分からない実験を続けていくことは、つらくはないのか。

「いいえ、非常にエキサイティングです。高精度の測定装置を開発して実験を行うこの研究は、アイデアやインスピレーションを必要とし、極めて創造性が高いからです。開発した技術をほかの測定に応用することも可能でしょう。私たちの国際共同研究グループで、理研は最も重要な役割を果たしています。物理学の大前提であるCPT対称性が破れていないかどうかを確認し、反物質が消えた謎の解明につながるかもしれない重要な実験を進めていることを、多くの方々に知っていただきたいですね」

(取材・執筆:立山 晃/フォトンクリエイト)

革新知能統合研究センター（AIP）は、開設4年目に入った。

AIPの杉山 将（まさし）センター長（汎用基盤技術研究グループ グループディレクターを兼務）、
上田修功（しゅうこう）副センター長（目的指向基盤技術研究グループ グループディレクターを兼務）、
中川裕志（ひろし） 社会における人工知能研究グループ グループディレクターに
3年間の取り組みや今後の展望を聞いた。

革新的AIで未来社会を拓く

■ 既存のAIでは解けない問題を

新しいAI技術で解き、社会に役立てる

—日本はAI（人工知能）の研究開発において、世界から周回遅れだと聞きます。海外の巨大IT企業に太刀打ちできますか？

杉山：私たちは、既存のAIで解ける問題で、巨大IT企業と競争しているわけではありません。まだ世界の誰も解いていない問題を解く革新的なAIの基盤技術を築き、社会に役立てる取り組みを進めています。

—既存のAIで解けない問題とは？

杉山：既存のAIで主流となっている深層学習（ディープラーニング）という手法では、例えばイヌとネコを識別させることができます。人がイヌとネコそれぞれの特徴を教えなくても、この画像に写っているのがイヌ、こちらの画像はネコと、答えを付けた大量の画像を学習させることで、イヌとネコの特徴をAIが見い出して、識別が可能になるのです。

しかし既存のAIは、画像に写っているものの答えを付けたような「正解付きのビッグデータ」がなければ、問題をうまく解くことができません。現実の社会には、そのようなビッグデータが得られない問題がたくさんあります。既存のAIでは解けない問題を解く新しい手法の研究開発は、世界でもまだ始まったばかりです。

■ シミュレーションとAIで問題を解く

—AIPの三つのグループのうち、まず、特定の応用分野に特化した基盤技術の開発を進めている「目的指向基盤技術研究グループ」の研究について紹介してください。

上田：私たちのグループでは、シミュレーションとAIを融合させることで、既存のAIでは解けない問題を解く研究に取り組んでいます。それは、各分野で築かれた物理モデルにさまざまなパラメータ（変数）を入れてシミュレーションを行い、大量の人

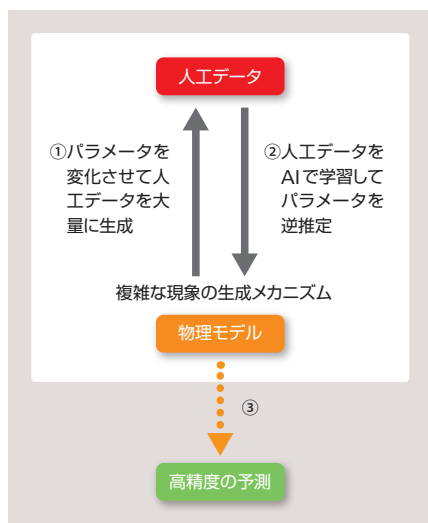


図1 シミュレーションとAIの融合

パラメータを変化させて物理モデルに入力し、大量の人工データを生成。その人工データをAIで学習して正しいパラメータを逆推定する。それを物理モデルに入力することで、高精度の予測を実現する。

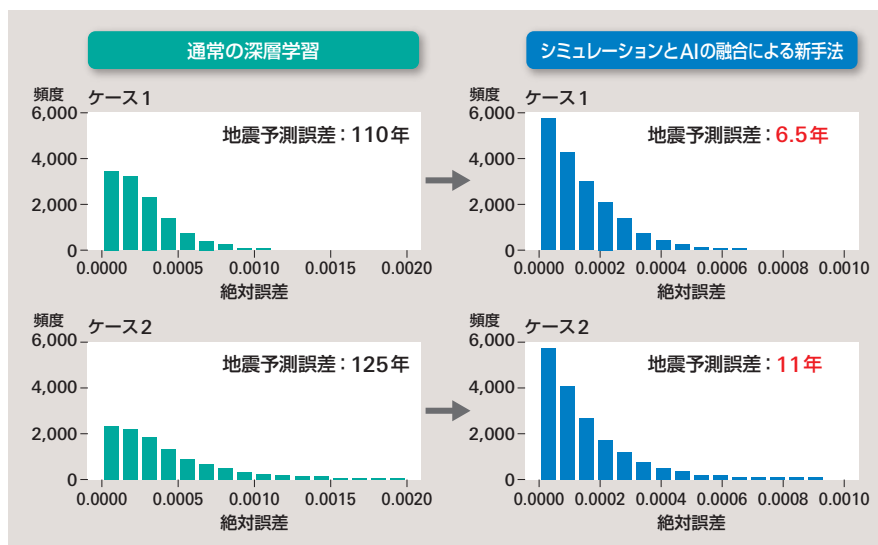
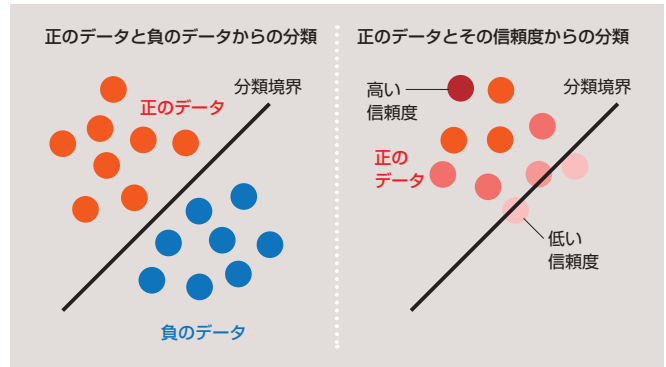


図2 シミュレーションとAIの融合を用いた南海トラフの地震発生再現

南海トラフの過去の地震発生を再現すると、通常の深層学習では、あるケースでは110年、別のケースでは125年の誤差が生じる。シミュレーションとAIの融合による新手法により、6.5年ないし11年の誤差で地震発生を再現することに成功した。各グラフにおいて、絶対誤差の小さいクラスでの頻度が高いほど予測精度が高いことを示す。

図3 分類手法の概念図



工データを作成し、それをAIで学習してパラメータを逆推定し、高い精度の予測を行うものです(図1)。

正解付きのビッグデータが得られない問題の一つが、巨大地震の発生予測です。巨大地震はめったに起きないので、過去の観測データは限られています。

私たちは、南海トラフの巨大地震を研究しています。西日本の太平洋沖に広がる南海トラフでは、フィリピン海プレートが陸側のプレートの下に沈み込んでいます。それにより陸側プレートが引きずられてひずみがたまり、やがて一気に反発してプレート境界がすべり、巨大地震が起きます。南海トラフでは、100~150年ほどの間隔でマグニチュード8クラスの巨大地震が繰り返し起こってきました。次の南海トラフの巨大地震がいつ発生するのかを精度よく予測して、備えることが求められています。

地震学により、プレートの沈み込みによる巨大地震を再現する物理モデルはつくられています。その物理モデルの方程式に、プレート境界のすべりやすさを示す摩擦係数をパラメータとして入れてシミュレーションを行います。しかしその摩擦係数の値が分かっています。同じ摩擦係数でも、異なるゆれの地震が起こり得るとい難しさもあります。

これまでは専門家が、今までの知見から摩擦係数の値を推定して、地震発生のシミュレーションを行ってきました。しかしそれでは、南海トラフで起きた過去の地震の発生をうまく再現できません。安政の地震(1854年)から約90年の間隔で起きた昭和の地震(1944年・46年)は再現できても、宝永の地震(1707年)から約150年の間隔で起きた安政の地震は再現できない、といったことがあります。深層学習を用いて再現しても、実際の発生間隔との誤差が100年以上になるケースがあります(図2左)。

私たちは、地震学の知見に基づき、あり得る範囲内のさまざまな値の摩擦係数を入れて、たくさんの人工的な地震データをつくりました。その大量の人工データをAIに学習させ、正しい摩擦係数を逆推定しました。逆推定した摩擦係数を物理モデルに入れて過去の発生間隔を再現したところ、あるケースでは6.5年、別のケースでは11年という小さな誤差で再現することに成功しました(図2右)。

逆推定した摩擦係数が本当に正しいのか、地震学の専門家と検証して、次に起きる南海トラフ地震の発生時期を10年以下の誤差で推定することを目指しています。

このほか、たくさんの薬の成分から難病や希少疾患に有効なものを探ることや、膨大な数の化合物の中から特定の機能が最も高いものを選び出すことも、探索に必要な正解付きのビッグデータが得られない問題です。私たちのグループでは、それらの問題をシミュレーションとAIを融合させた新手法で深く研究も進めています。

■ 数学で汎用的なAI技術を開発する

——「汎用基盤技術研究グループ」では、既存のAIでは解けない問題をどのように解こうとしているのですか。

杉山: 数学を駆使して汎用的な技術を開発しています。さまざまな研究を進めていますが、研究例の一つを紹介しましょう。

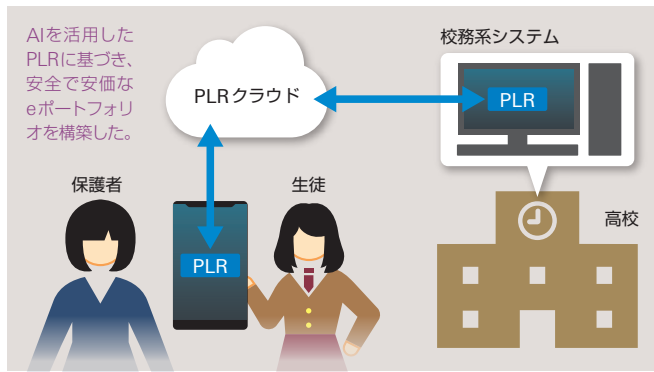
例えば、ある人が自社製品を買う確率が高いか、他社製品を買う確率が高いかを予測するとします。このとき、自社製品を購入した人に関する「正のデータ」は利用できます。しかし、ライバルである他社の製品を購入した人に関する「負のデータ」は普通、入手できません。正と負の両方のデータがなければ、まだ買っていない人の「未知のデータ」を分類して、その人が自社と他社の製品のどちらを買う確率が高いか判断することは、一般的には不可能です。

私たちは、正のデータしかなくても、信頼度を加味して学習することで、未知のデータを分類する新手法を開発しました(図3右)。信頼度とは、どれだけ自社製品の購買意欲が高いか、自社のサービスをどれくらいの頻度で利用しているか、といった情報です。この新手法は、さまざまな分類問題に適用できる汎用的な技術です。

——そのような汎用的な技術を、どのように社会に役立てるのですか。

杉山: AIPでは、日本電気(株)(NEC)・(株)東芝・富士通(株)・富士フイルム(株)の4社とそれぞれ連携センターを開設しています。さらに、40を超える企業と共同研究契約を締結しました。企業との連携研究におけるAIP側の多くのメンバーが、数学的な研究を行っている汎用基盤技術研究グループの研究者です。私

図4 PLRに基づく大学入試用eポートフォリオの構築



たちのグループで開発した汎用的な技術を、連携センターなどで各企業が抱える特定の問題に適用して、社会に役立てようとしています。

■ 個人情報の問題やAIの責任問題を 企業や法律家と議論し、提言する

— AIを社会に導入する際の影響や課題を分析している、「社会における人工知能研究グループ」の取り組みについて紹介してください。

中川： 私たちが検討している大きな課題の一つが個人情報に関するものです。例えば、2011年の東日本大震災において、近隣の町へ避難した人たちが病院で受診したとき、震災前に通っていた病院で行った検査データなどを利用できないといった問題がありました。検査データなどの個人情報の移動は、個人情報保護規定に従って行う必要があります。ところが、国や地方行政ごとに2,000個もの個人情報保護に関する法律・条例があり、例えば、県立病院と私立病院では従うべき規定が異なります。それが機関間で個人情報を移動させることを難しくしています。

本人が個人情報を管理すれば、別の機関へ比較的容易に移動させることができます。検査データを本人が自分で新しい病院に移動させて活用することで、検査の重複も防ぎ、医療にかかるコストや時間を削減して、質の良い医療を受けられるようになるでしょう。

私たちのグループでは、個人情報を本人が管理し、複雑な個人情報保護規定に従って他者と個人情報を共有するために、AIを活用したシステム（PLR：Personal Life Repository）の構築を東京大学と共同で進めています。2020年度以降の大学入試では、受験生が高校在学中の学業や課外活動などの個人情報を記録したeポートフォリオを出願大学に提出し、大学はその記録も勘案して合否を判定するという文部科学省の方針が示されています。私たちのグループでは、PLRに基づく安全・安価で、かつ最良と考えられるeポートフォリオを考案し、2018年度に埼玉県で県立高校で実証試験を行い、2019年度から実運用を開始しています（図4）。

杉山： 国際的な巨大IT企業がAIを駆使して個人情報を集めて

いる状況に不安が広がり、AIの使用を規制しようという動きもあります。そのような不安を解消するためにも、個人情報を本人が管理するシステムが必要ですね。

中川： 2019年1月、EU（欧州連合）と日本の間で、相互の円滑な個人情報の移転を図る枠組みが発効しました。これはEUと日本において、個人情報に関する保護レベルが相互に同等と認める「充分性認定」に基づいています。この充分性認定は定期的に監査が行われ、取り消される可能性があります。国際的な個人情報のやりとりが難しくなれば、産業や社会に大きな影響が出るでしょう。AI技術などの進展により、個人情報に関する新たな問題が発生するかもしれません。充分性認定が取り消される事態にならないように、私たちのグループで調査を進め、提言を行っていきます。

— AIを活用した技術では、自動運転が大きな注目を集めています。

中川： 自動運転を導入する際に必要な制度や法律の問題についても、自動車メーカーや法律家と検討を進めています。自動運転には検討すべき課題が二つあります。一つは、やはりここでも個人情報の問題です。自動運転を行うために車に付けたカメラで周囲を撮影すると、街を歩いている人の顔などの個人情報が写ってしまいます。その個人情報をどう扱うかという問題です。

もう一つは、自動運転で事故が起きたとき、車に乗っていた個人や自動車メーカーの責任をどこまで問うかという問題です。私たちのグループではAIの技術と法律を擦り合わせて、どのような法体系にすべきか、枠組みを提示していく計画です。自動運転だけでなく、AIを用いた医療診断や手術ロボットでも、責任問題の議論が必要です。

— 深層学習で問題を解いても、AIがなぜその答えを導き出したのが簡単には分からない、ブラックボックス化しているという指摘があります。

杉山： 自動運転で事故が起きたとき、車が写したこの画像の処理をAIがこう間違ったと説明しても、それでは受け入れられないでしょう。何をどのように説明すべきか、というガイドラインが示されないと、研究は進みません。

中川： 説明に納得感がないと駄目ですね。



左から、中川裕志グループディレクター、杉山 将センター長、上田修功 副センター長。

杉山：企業の採用試験にAIを導入する動きもあります。そこで不当な差別をせず、公平性を保証する仕組みが必要です。海外では公平性を扱う数学の研究が盛んです。日本は遅れていますが、AIPの研究者が取り組み始めました。

中川：人種や宗教が多様な社会では、公平性を保つことが社会の安心・安全にとって切実な課題です。日本社会も多様化が進んでいますので、AIと公平性の問題を議論する場をAIPでつくっていきたいと思います。

■ 情報分野の連携のハブとして

—あらためて、AIPの3年間の歩みを振り返っていただけますか。

杉山：人を集めて組織をつくることに力を注いできました。今では、客員研究員を含めると約720人となり、AIPは世界的にも規模の大きなAIの研究センターになりました。AIPで研究をしたいという若手研究者も増えてきました。さらに学部生や中高生などにもAI研究に興味を持ってもらうための活動をしています。

上田：目的指向基盤技術研究グループでは、さまざまな分野の研究機関や大学、企業との共同研究を進めています。そこで痛感したことは、日本が世界と競争していくには、縦割り組織では駄目だ、ということです。理研のために、大学のためにと、所属ごとのセクショナリズムにこだわっていたのでは人は集

まってきません。

杉山：みんなで一緒にやらないと日本に勝ち目はないですね。AIPは情報分野における連携の世界的ハブになることを目指しています。

上田：AIPには大学を本務とする客員研究員も多く、大学では難しかった共同研究も進んでいます。同じ分野の研究をしながら、今まで出会う機会がなかった研究者たちが、AIPで初めて出会い、連携が進んでいます。それがAIPの特長だと思います。

中川：私たちのグループには、トップレベルの法律家が参加しています。法律家にとって進展の速いAI技術の実態をつかむのは難しいことです。AIPが設立されてAIの専門家と法律家が議論する場が生まれ、互いの理解が深まりました。

—AIPの発展に必要なことは何ですか。

杉山：情報分野では、若い世代、特に学生がまさに主役となって最先端の研究が進められています。海外から優秀な学生をインターンとして受け入れる制度を整え、2018年度は約60人の学生をAIPに受け入れました(図5)。2019年度も同数以上を受け入れる予定です。

上田：日本全体が、ものづくり社会からサービス・情報社会へと移行している過程で、研究機関や大学、企業も含めて、情報社会に適した制度の整備が遅れていると感じています。ものづくりはトップダウンが効率的です。しかし情報分野では、トップダウンではうまくいきません。

中川：巨大IT企業も、いろいろなサービスを始めては失敗しています。多くの失敗の中から大成功するビジネスを生み出しているのです。情報分野の研究やビジネスでは、たくさん試してみることが大事です。

杉山：情報分野にとって、情報や知識こそが宝です。例えば、適切な契約を結ばずに企業と打ち合わせを重ねると、情報や知識を無償提供することになる恐れがあります。企業との連携の制度も情報分野に適したものに改善し、連携がうまく進むようになってきました。

この3年間で優秀な人材を集め、制度も整備しました。これから本格的に研究成果を生み出していきます。

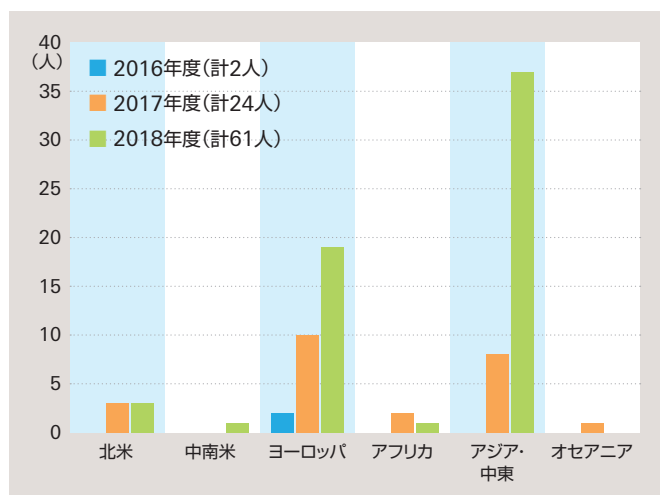


図5 AIPにおける海外からのインターン学生の受け入れ数

(取材・構成：立山 晃／フotonクリエイト)

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

親子関係を脳科学の言葉で語る

黒田公美 くらだ・くみ

脳神経科学研究センター 親和性社会行動研究チーム
チームリーダー

「とにかく本が好きでした」と黒田チームリーダー（TL）。特に高校時代は、薄手の文庫本なら1日1冊、ソルジェニーツィンなど国内外の文学、室生犀星などの詩歌、公害や紛争など社会問題や医学系のノンフィクション、哲学や心理学、社会科学系の岩波文庫など、推理小説以外は乱読した。「そのころは海外を飛び回るジャーナリストに憧れていました」

W.ジェームズやポアンカレ、デカルトなどが好きで理系を選び、理学部で宇宙物理を学んだ後、医学部に学士入学した。「シルクロードで医者をするつもりだったのに、仮説を立てて実験で検証するという明解な分子遺伝学にはまり、研究に転向しました」

医学の中でも特に未開拓な分野に進みたいと考えていたころ、ハリー・S・サリヴァンの『精神医学的面接』に出会った。「当時は、統合失調症に顕著に効果のある薬剤がなく、治療の中心は人間と人間の対話。医者が対人関係の専門家として関与しつつ、患者の方では医者に助けられたというより自分の力で生の困難を乗り越えた、と感じられるように援助するというプロセスが、人間の心という科学の本当のフロンティアを扱っていると思ったのです」

子どもが好きで、ゆくゆくは育児と研究を両立させたいと考えていた黒田TLは、親子関係に注目するようになる。「精神科の研修医時代、実に多くの患者さんが小さいころの親子関係に悩んでいたことを知りました。そのころに、ジョン・ボウルビイの『母子関係入門』や『母子関係の理論』に出会いました。人格形成のスタートは母子関係にあります。人間は生まれてくるとまったく無力で、親がいないと命に関わります。子どもが親を求める激しさには切羽詰まった理由があるのです。一方、動物行動学の視点から親子関係を含む社会性を描いたのがエドワード・O・ウィルソンの『社会生物学』、攻撃行動に焦点を当てたのがコンラート・ローレンツの『攻撃』です。ローレンツは、憎しみは愛がある相手にしか生じないといいます。家庭内に暴力があってもなかなか離れられないような関係性は、ヒトと動物に共通する進化的なメカニズムに依存すると考えられます」

黒田TLは、カナダのマギル大学にポスドクとして着任した2002年に親子関係の研究を始め、2004年に理研へ。「フロイト、ボウルビイやローレンツが活躍した20世紀は、親子関係の成

撮影：STUDIO CAC



り立ちを脳科学で理解することができませんでした。それが今ならできます！ところが、心理学では親子関係はよく研究されているのに、脳科学では人気がない。これこそ私のために残されていたテーマなのでは、と思いました(笑)」

黒田TLらは実験を通して、子育てに必須の脳部位と、子どもを攻撃する虐待行動に関係する脳部位を、マウスで突き止めた。「子育てと虐待は両立しないため、それらの脳部位は互いに抑制し合う関係にあります。ただし、その相互抑制の仕組みは思いのほか複雑で、今も解明を進めているところです」

脳科学の知見を社会に役立てる取り組みも進めている。「これまで動物で調べられてきた育児放棄や虐待の原因が人間にも当てはまるかどうか、子どもへの虐待で受刑している人たちを対象に調べました。協力を得られるかどうか分からないままアンケートを依頼しましたが、未来の親子に自分たちと同じ思いをしてほしくないと、多くの人が回答してくれました。その結果、回答者の大半が、動物なら一つあっても育児をやめてしまうような環境の困難さや脳機能を阻害する要因を、不幸にして複数持っていました。子どもを虐待してしまう人たちを責めるだけでは問題は解決しません。虐待の原因を突き止め、その人に適した支援や治療を行うために、脳科学で得た知見を役立てたいのです」

ボウルビイらの本にはたくさんの付箋が貼られている。「数十年以上前の著書ですが示唆に富み、論文にも引用しています。子どもが親を求める愛着行動に必要な脳部位など、身近な親子関係にはまだ分かっていないことがたくさんあります。ボウルビイらの本には、脳科学の言葉で語るべき研究テーマが詰まっています」

(取材・執筆：立山 晃/フォトンクリエイト)

平井内閣府特命担当大臣が革新知能統合研究センターを視察

平井卓也 内閣府特命担当大臣（科学技術政策）が2019年4月15日、東京都中央区の理研 革新知能統合研究センターを視察されました。小安重夫 理事による理研の概要紹介の後、杉山将^{まさし}センター長が開設4年目に入ったセンターの取り組みと研究成果、企業や研究機関との連携について紹介しました。

認知行動支援技術チームの大武美保子チームリーダーが、高齢者の認知機能低下と認知症の予防効果が期待される「共想法」に立脚した会話支援AI（人工知能）技術の開発状況を説明。平井大臣は「一刻も早い社会実装を期待しています」とコメントされました。

続いて、病情報学チームの山本陽一郎チームリーダーが、がんの診断支援などに応用可能な病理画像から未知の説明可能な特徴を発見するAIについて進捗^{しんぱく}を説明。平井大臣は、がんと日本の医療について活発に質問されました。

最後に、平井大臣は「AIは今、物量の戦い。しかし社会実装

では十分戦う余地が残されています。公的機関の強みを活かし、引き続きAIの研究開発、AI倫理などの議論を進めてください」と述べられました。



平井大臣（右）との会話が弾む杉山センター長（右から2人目）と大武チームリーダー（左）

国際周期表年2019

2019年は、ドミトリー・メンデレーエフが元素の周期律を発見してから150周年に当たることから、国連とUNESCOによって「国際周期表年2019」が宣言されました。113番元素ニホニウムを発見した理研はその趣旨に賛同し、国際周期表年2019に協賛しています。10月20日（日）に科学技術館（東京都千代田区）で開催する「理研DAY：研究者と話そう！」など、理研主催のイベントでも国際周期表年に関連した催しを予定しています。

イベントの詳細は、理研ウェブサイト（<http://www.riken.jp/>）でご確認ください。



4月20日に開催された理研和光地区一般公開では、玉尾皓平 名誉研究員による、周期表の美しさ・有用性を紹介する講演が行われた。

理研「桜舞賞」表彰式を挙^お行

和光地区に理研生まれの桜“仁科乙女”がほころび始めた2019年3月12日、2018年度に優れた研究やその実用化などに顕著な貢献のあった若手の研究者や技術者41名を表彰する桜舞賞^{*}の授賞式が執り行われました。

同賞の名称には、早くから開花する若い才能を鼓舞したいという松本 紘 理事長の思いが込められています。受賞者一人一人に理事長から直接賞状が手渡され、固い握手が交わされた式典の後には、理事長や理事と受賞者全員が大きな車座になって自由に意見交換を行うディスカッションの時間が設けられ、全国の理研各地区から集結した気鋭の研究者の交流の場となりました。



^{*}桜舞賞：2009年創設の研究奨励賞・技術奨励賞と、2015年創設の産業連携奨励賞を併せ、2018年度から改称。

巨星墜つ

伊藤正男先生を偲んで

甘利俊一 あまり・しゅんいち

理化学研究所 荣誉研究员

伊藤正男先生が、昨年90年の生涯を閉じられた。誠に残念である。私にとっては仰ぎ見る巨星であり、また心のこもった指導者でもあった。ここに思い出をつづることを許していただきたい。

東京大学にて、先生は医学部、私は工学部と、はるかに離れていたが、先生は脳研究における情報の重要性を早くから見抜かれ、工学部の私に医学部で情報理論の話をしてほしいと頼まれた。それが縁で、伊藤先生の組織する脳の研究会に顔を出すようになった。時は東大紛争、安田講堂占拠の時代である。これは医学部の古い体質を批判する学生の運動から始まり、全学ストライキ、安田講堂の占拠へと発展したが、一方で“医学部の良心”といわれた7人の先生方がいた。伊藤先生はその筆頭であった。

伊藤先生は脳研究の重点研究を組織されたが、そこでは医学だけでなく、工学、人間科学を含む幅広い分野を結集し、日本の脳研究の礎を築いた。この後、私たちは工学系で、一方医学の先生たちは医学系で脳研究の新しい

領域を立ち上げようと計画したが、いずれも採択とならなかった。それを見て伊藤先生が一喝された。別々にやるのは何か、両者を統合して広い構想で計画を練り直さない、との仰せである。こうして、医学と工学が同等の立場で協力して研究を進める脳科学の特定領域研究が発足することとなる。伊藤先生の世代は真面目で、遊びなどはしなかったが、その下の私の世代は、医学系も工学系も「よく遊びよく学べ」といった気風で、特定領域研究もテニスやスキーを伴って、互いに交わり酒を酌み交わしながら、楽しく進めていった。

そうこうするうち、1990年に米国でDecade of the Brain (脳研究の10年) というプロジェクトが始まり、大量の予算が配賦される。このままでは日本は取り残されると、伊藤先生を中心に「脳の世紀」運動を盛り上げようということになった。当時の科学技術庁もこれに賛同し、研究開発局長の諮問する会が開催された。このとき局長が、脳研究が大事なことは分かったが、それではズバリいくら予算が必要なのですか、と問うた。10億、20億などそんなはしたな額を言われても困るという。伊藤先生はやや考えた後に、米国に対抗するには1,000億円必要です、とのたもった。これがよかった。かくして「脳の世紀」運動が現実のものとなり、1997年、理研に脳科学総合研究センターが設立された。伊藤先生の率いるこのセンターは、理論と実験を包括する新しい脳研究の世界の拠点として認められるようになる。

伊藤先生は、ご自身の研究はもとより、もっと広い世界的な脳研究の夢を次から次へと実現されていった。その中で、私は伊藤先生の理論脳科学への期待に十分に答えられなかった忸怩たる思いでいっぱいである。今となっては、伊藤先生のご冥福を祈るばかりである。



写真1・在りし日の伊藤正男先生
撮影：大西成明

写真2・脳科学総合研究センター（BSI）開所式典（1997年）



写真3・BSIの3周年（2000年）を記念して行われた作家 立花 隆氏との対談風景



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