

RIKEN
NEWS

02 研究最前線



大谷知行

テラヘルツ光の今
未踏の光から利用可能な光へ

06 研究最前線



森田浩介

3個目の113番元素を合成
元素命名権の獲得に近づく

14 SPOTNEWS

- ・RiBeamファクトリーで新たな核異性体18種を発見
- ・多能性細胞の分化制御に重要な遺伝子を発見
- ・ES細胞やiPS細胞の分化制御技術の開発に期待

15 TOPICS

- ・「理研よこはまサイエンスカフェ2013冬」開催のお知らせ
- ・「nanotech2013 第12回 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議」出展のお知らせ

16 原酒

アップサラ記

10
特集

スーパーコンピュータ「京」で
低燃費タイヤを開発する

「京」の産業利用——住友ゴム工業㈱の取り組み

テラヘルツ光の今

未踏の光から利用可能な光へ

“未踏の光”と呼ばれていたテラヘルツ光。

テラヘルツ光を発生させる光源や検出器の開発が進み

今、その応用が注目されている。その利用は、通信や工業、医療、セキュリティー、農業など幅広い分野にわたるとされているが、実際、テラヘルツ光で何ができるのだろうか。

「テラヘルツ光の応用研究では、

日本は世界のトップを走っています」と

理研和光研究所 基幹研究所

テラヘルツイメージング研究チームの

大谷知行^{ちこう}チームリーダー。

テラヘルツ光が照らし出す一歩先の世界をのぞいてみよう。

テラヘルツ光の さまざまな 応用分野



サクラエビ



テラヘルツ光郵便物検査装置

“未踏の光” テラヘルツ光とは

「“テラヘルツ光”あるいは“テラヘルツ波”という言葉を見たり聞いたりすることが増えたと思いませんか」と、大谷知行チームリーダー（TL）。「私がテラヘルツ光の研究を本格的に始めたのは2001年です。当時、テラヘルツ光は“未踏の光”と呼ばれ、まさにフロンティアでした。この研究の先に何があるのだろうか、わくわくしていたことを覚えています。それから12年余り。一步一步ですが、確実にフロンティアが切り拓かれてきました」

テラヘルツ光は、なぜ未踏の光と呼ばれていたのだろうか。テラヘルツ光は電磁波の一種である。電磁波は周波数によって分類され、周波数の低い方から電波、赤外線、可視光線、紫外線、X線、ガンマ線と呼ばれている。テラヘルツ光は、周波数が0.1~100THz（T：テラは1兆=10¹²）の電磁波で、電波の一部と赤外線の一部に当たる（図1）。

「テラヘルツ光は電波側から見ると周波数（エネルギー）が高過ぎ、光や赤外線の方から見ると周波数が低過ぎます。エレクトロニクスとレーザー技術のはざまにあったテラヘルツ光の発生・検出技術は未開拓のまま取り残されてしまったのです」と大谷TL。「一方でテラヘルツ光は、電波と光の両方の特徴を持っています。つまり、物質をよく透過し、空間分解能が適度に高い。こうした特徴から、工業、医療、農業、天文学など、とても幅広い分野での応用が期待されています。一番身近な応用分野はセキュリティーと通信でしょう」（タイ

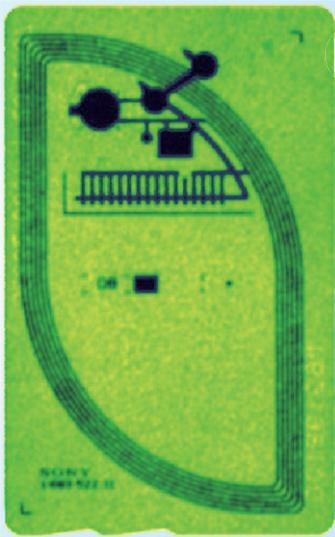
トル図）

携帯電話で使用している電波の周波数は1.5GHzや2GHzだ。周波数が高いほど、たくさんの情報を送ることができる。1THzは1GHzの1000倍に当たるので、単純計算で、テラヘルツ光を使えば現在の携帯電話の1000倍ものデータを送ることができるのだ。「テラヘルツ光は大気中の水蒸気に吸収されやすいため長距離の通信には向きませんが、室内での無線通信には大きな威力を発揮します。小型で省電力のテラヘルツ光発生装置と検出装置の開発が進めば、映画1本のデータを数秒で送る、といったことができるようになるのです」

郵便物検査は実用化の一歩手前

大谷TLが率いるテラヘルツイメージング研究チームは、理研の仙台支所で活動している。「仙台支所では、ほかのチームの研究者も含め40人ほどがテラヘルツ光の研究に取り組んでいます。人と装置がこれほどそろっているところはほかにありません。仙台支所は世界有数のテラヘルツ光の研究拠点です」と大谷TL。「その中で私たちのチームは、究極の感度を持ったテラヘルツ光やミリ波の検出器開発や、テラヘルツ光をどう使うか、その応用について研究を進めています」

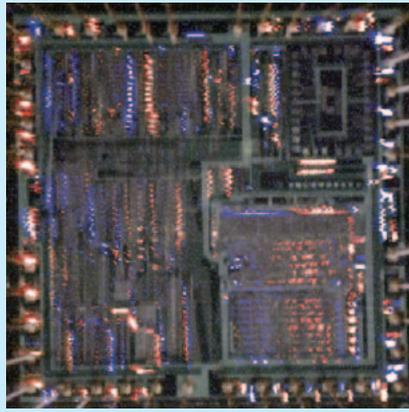
研究チームが狙う応用とは？「そのキーとして私たちが着目しているのは、ソフトマテリアルを対象としたテラヘルツ分光計測です」と大谷TL。ソフトマテリアルとは、プラスチックやナイロンなどの高分子、ゲルやコロイド、タンパク質と



ICカード

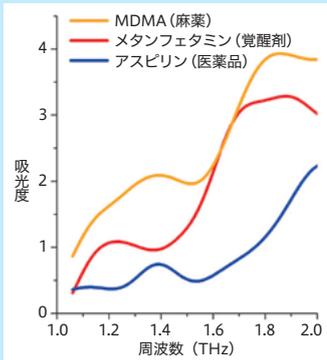
半導体・エレクトロニクス

ICカードの透視診断・半導体の品質検査・集積回路の故障解析……



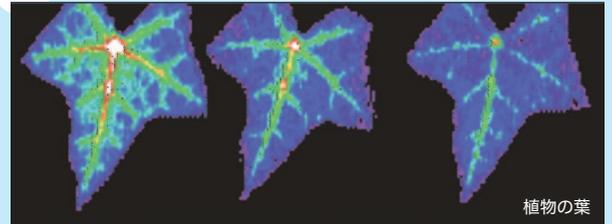
集積回路

テラヘルツ光吸収スペクトル

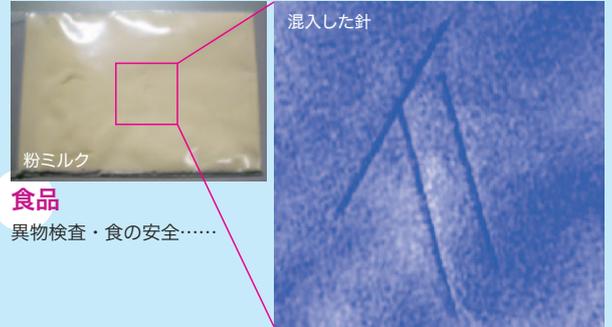


農業

植物の水分含有量検査・植物の生命活動モニター……



植物の葉



食品

異物検査・食の安全……

製造業

3Dトモグラフィー製品検査・プラスチック製品の品質検査・タイヤ検査・宇宙機の断熱壁の品質検査……

医薬・創薬

DNAやタンパク質の診断・薬品検査・虫歯診断・やけど診断・がん病理診断……

天文学

マイクロ波背景放射観測・惑星観測……

超高速通信



セキュリティ

郵便物中の禁止薬物検査……

いったん柔らかい物質を指す。物質にテラヘルツ光を照射すると、特定の周波数だけが吸収される。物質を透過してきたテラヘルツ光を周波数ごとに分光し、どの周波数がどのくらい吸収されたかを計測するのが分光計測である。そして、周波数ごとの吸光度を示した図が、吸収スペクトルだ。「テラヘルツ光の吸収スペクトルは物質ごとに異なるので、吸収スペクトルから物質を特定することができます。この技術は、すでに実用化の一手前まで来ています」

それが、研究チームが開発した“テラヘルツ光郵便物検査装置”である(タイトル図)。X線でも封筒の中を透視し、紙以外のもの、例えば粉が入っているかどうかを調べることができる。しかし、その粉が砂糖なのか、違法な薬物なのか、爆発物なのかまでは分からない。一方、テラヘルツ光を使うと、砂糖のラクトース、医薬品のアスピリン、覚醒剤のメタンフェタミン、麻薬のMDMA、爆発物のジニトロトルエンなど、それぞれの吸収スペクトルから物質を識別することができるのだ。

成田空港には1日20万通もの郵便物が届く。すべての郵便物にテラヘルツ光を当て、吸収スペクトルの解析をしていたのでは配送が滞ってしまう。そこで、テラヘルツ光郵便物検査装置は、まずテラヘルツ光の散乱光を利用して粉末が入っている封筒だけを選別し、次に選別した封筒の吸収スペクトルを測定する仕組みにし、税関の現場での試験も実施済みだ。

物性を決める結晶構造が見える

「吸収スペクトルで物質を特定できることは、テラヘルツ光の大きな特徴であり早い時期から注目されていましたが、私たちはもう一歩踏み込んで、物質のさまざまな性質と吸収スペクトルとの関係を調べています」と大谷TL。

図2は左と右どちらも、糖の一種であるスクロースのテラヘルツ光の吸収スペクトルである。同じ物質でありながら、吸収スペクトルはまったく違う。なぜだろうか。左は粉砂糖、右は綿菓子の状態で計測したものである。粉砂糖は、分子が規則正しく並んだ結晶になっている。一方の綿菓子は、分子の並び方に規則性がないアモルファスになっている。「赤外線吸収スペクトルからも物質を特定できます。それは、赤外線の吸収スペクトルが官能基のような局所的な分子内構造

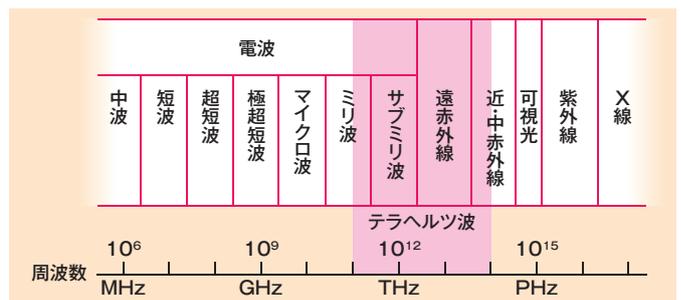


図1 電磁波の種類と周波数

テラヘルツ光は周波数が0.1~100THzの電磁波で、電波と赤外線の一部に当たる。

テラヘルツ光の光源と検出器の開発が進んできました。

もう“未踏の光”ではありません。

テラヘルツ光を使って何をするかを考え、

次々と実現していく段階に来ています。



撮影：STUDIO CAC

大谷知行 Chiko Otani

和光研究所 基幹研究所 先端光科学研究領域
テラヘルツ光研究グループテラヘルツイメージング研究チーム
チームリーダー

1965年、石川県生まれ。理学博士。東京大学大学院理学系研究科天文学専攻博士課程修了。理研宇宙放射線研究室基礎科学特別研究員、X線極限解析装置開発チーム研究協力員、川瀬独立主幹研究ユニットユニット研究員を経て、2005年より現職。

を反映しているからです。一方、テラヘルツ光の吸収スペクトルは、分子内の骨格のような大きな構造や、結晶のような多数の分子にまたがる分子間構造を反映します。つまり、同じ分子式の物質でも構造によってテラヘルツ光の吸収スペクトルは変わるので。綿菓子を冷まして粉砂糖に戻すと結晶に戻るため、吸収スペクトルも元に戻ります」

研究チームでは、さまざまな物質について温度や結晶状態などを変えたときに吸収スペクトルがどのように変化するかを計測し、構造と吸収スペクトルの関係について調べている。

現在力を入れているテーマの一つがポリマーなどのテラヘルツ分光で、手始めとして生分解性プラスチックの分光を進めている。「生分解性プラスチックは、分子鎖がらせん構造をつくり、らせん構造が水素結合によって規則正しく並んでいるラメラ結晶と、ランダムに絡まっているアモルファスが混在しています。その割合によって耐久性などの物性が変わります。この物質をテストケースとして、構造と吸収スペクトルの関係に迫りたいと考えています」と大谷TL。

生分解性プラスチックについて、らせん構造に平行な方向から垂直な方向に徐々に偏光方向を変えたときに、それぞれのテラヘルツ光の吸収スペクトルを測定した結果が図3だ。らせん構造に平行な方向の偏光光を入射したときには2.4THzと2.9THzに強い吸収が見える。一方、らせん構造に垂直な

方向の偏光光を入射すると、2.4THzと2.9THzの吸収が見えなくなり、2.5THzに吸収ピークが現れてくる。「この結果と計算による検証から、2.4THzと2.9THzの吸収ピークは分子鎖のらせん構造がばねのように伸び縮みするような運動、2.5THzの吸収ピークは隣り合うらせん構造の間にある水素結合が伸び縮みするような運動に由来していることが分かってきました。このように分子鎖や結晶構造内の大きくゆっくりとした運動とテラヘルツ光の吸収スペクトルとの関係が明らかになれば、分子の種類ではなく構造に由来する共通のスペクトル形状の発見や利用につながっていくでしょう」

導電性ポリマーの非破壊検査

研究チームでは、導電性ポリマーの非破壊検査にも取り組んでいる。「この研究は、“理化学研究所と産業界との交流会（理研と親しむ会）”で知り合った企業の方から、“テラヘルツ光で導電性ポリマー薄膜の非破壊での品質評価ができませんか”と相談を受けたことから始まりました」と大谷TL。

導電性ポリマーは白川英樹博士（2000年ノーベル化学賞受賞）が発見した物質で、電気を通すプラスチックとして、タッチパネルや携帯電話のリチウムイオン電池の電極など、さまざまな用途で使われている。「導電性ポリマーの最も特徴的な性質は電気伝導率です。しかし、導電性ポリマーの電気伝導率を非破壊で簡単に調べるよい方法がないそうです。企業の方は、ホール効果測定など思い付く方法を片っ端から試したそうですがうまくいかず、テラヘルツ光の分光計測ならできるのではないかと考えたようです」

導電性ポリマーに電気が流れる機構には、まだまだ分からないことが多い。「導電性ポリマーにおいて、導電率が高い場合と低い場合とでテラヘルツ光の吸収スペクトルに顕著な違いがあることが分かりました。テラヘルツ光が電気伝導機構の解明に役立つのではないかと、詳しい研究を進めている

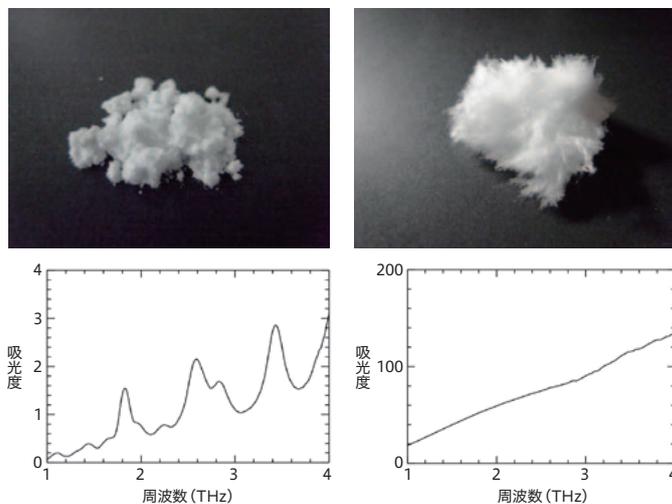


図2 スクロースのテラヘルツ光の吸収スペクトル

左は粉砂糖で、分子が結晶構造になっている。右は綿菓子で、分子がアモルファス構造になっている。テラヘルツ光の吸収スペクトルは、分子内の骨格構造や分子間構造を反映するため、同じ分子式の物質でも構造によって変わる。

ところですが」。また、導電性ポリマーはエチレングリコールという薬品を加えると電気伝導率が劇的に高くなることが知られているが、その理由は分かっていない。大谷TLは、エチレングリコールを加えると、テラヘルツ光の吸収スペクトルがどのように変化するかを調べることで、品質改良のヒントが得られるのではないかと考えている。「導電性ポリマーだけでなくナイロンやゲルなど、さまざまな物質について結晶構造と物性の関係を明らかにし、テラヘルツ光を評価や改良に役立てていきたいと思っています」

テラヘルツ光で分子構造を変え、機能を創る

「野望のようなもので、本当にできるかどうか分かりませんが」と前置きして大谷TLは続けた。「物質の機能は分子構造や結晶構造と密接に関わっています。そして、分子構造や結晶構造が変われば、テラヘルツ光の吸収スペクトルが変わります。ならば、特定の周波数のテラヘルツ光を物質に照射すれば、分子構造や結晶構造を意図的に変えられるのではないかと。構造を変えることができれば、機能が変わる。つまり、テラヘルツ光を照射することで新しい機能を持つ物質をつくり出せないかと考えています」

例えば、生体分子のタンパク質は形の違いによって機能が変わる。BSE（ウシ海綿状脳症）の原因であるプリオンというタンパク質もそうだ。正常なプリオンは、 α ヘリックスと呼ばれるらせん状の構造が四つある。異常なプリオンは二つの α ヘリックスがほどけて β シートという構造になっている。大谷TLが目指すのは、異常なプリオンにテラヘルツ光を照射すると元の構造に戻る、そんな画期的な技術である。

テラヘルツ光を照射して分子構造を変えるには、強力な光源が必要だ。そこで研究チームは、エアプラズマを利用した新しいテラヘルツ光の光源を立ち上げている。レーザーを空气中に集光すると空気中の分子が電離してプラズマになり、そのプラズマから強力なテラヘルツ光が発生する。この仕組みを利用した光源で、今後、そのテラヘルツ光をさまざまな試料に当て、何が起きるかを調べていきたいと考えている。

宇宙の始まりから来る光を捉える

大谷TLは、文部科学省のプロジェクト“背景放射で拓く宇宙創成の物理”に参画している。「宇宙はビッグバンで始まったといわれています。では、ビッグバンの前には何かあったのか。そんな、誰もが知りたい疑問に答えるプロジェクトです」と大谷TL。ビッグバン以前には、インフレーションと呼ばれる急膨張があったというのが現在最も有力だ。

ビッグバン直後の宇宙は高温高压で、物質がプラズマ化していたため、光はすぐに散乱されて不透明な状態だった。宇宙誕生から38万年ほどして温度が下がってくると、原子核と電子が再結合して、ようやく宇宙の中を光が直進できるようになった。そのときの光の痕跡が、宇宙背景放射だ。インフレーションがあったならば、膨張の過程で原始重力波が発生

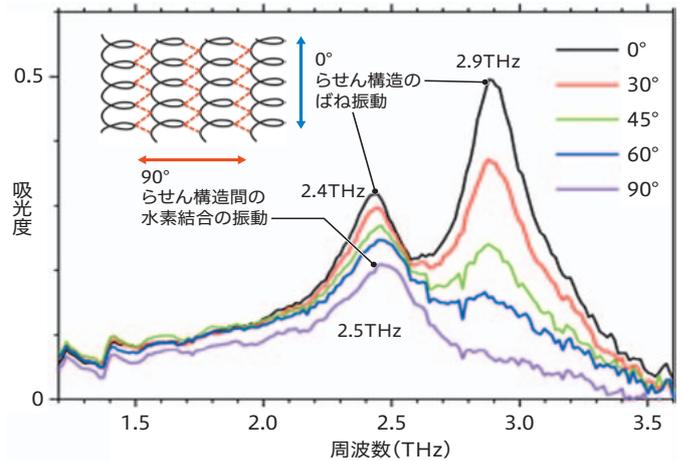


図3 生分解性プラスチックのラメラ結晶のテラヘルツ偏光吸収スペクトル
らせん構造に平行な方向の偏光光を入射したとき（0°）に現れる2.4THzと2.9THzの吸収ピークは、分子鎖のらせん構造のばね振動に由来し、らせん構造に垂直な方向の偏光光を入射したとき（90°）に現れる2.5THzの吸収ピークはらせん構造間の水素結合の振動に由来している。

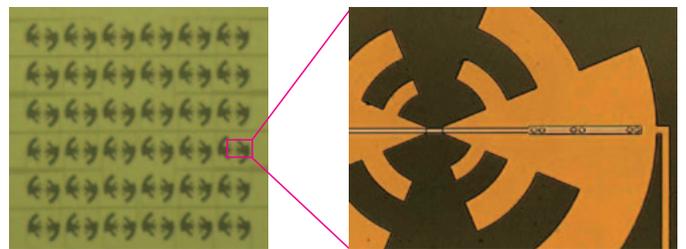


図4 高性能超伝導検出器アレイ
高性能超伝導検出器は、リソグラフィー技術で微小アンテナが描かれた1000個の素子を並べる。検出器をマイナス273°Cの極低温に冷やして雑音をなくすことで、超高感度を実現する。

し、その揺らぎが宇宙背景放射に残されていると考えられている。「宇宙背景放射はマイクロ波からミリ波の光として観測されます。私たちは、テラヘルツ光検出器技術を活用して究極の感度を持つミリ波超伝導検出器を開発し、宇宙背景放射の偏光パターンを調べます。原始重力波の存在が明らかになれば、インフレーションの決定的な証拠になるだけでなく、この宇宙を支配する根本的な物理法則の解明に迫ることができると考えられています」と大谷TL（図4）。

大谷TLは、テラヘルツ光の研究を始める前は、X線天文学が専門だった。「“宇宙はどうやって始まったのか”という誰もが抱く疑問に、テラヘルツ光の研究から答えられたら、とてもうれしいですね」

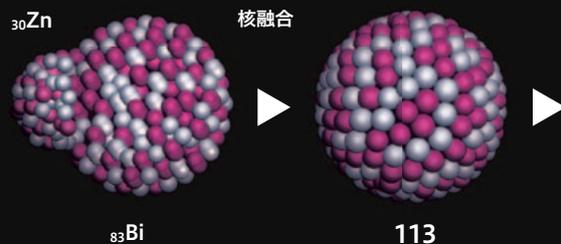
今後、どのような展開を考えているのだろうか。「生命科学での応用を広げたい」と大谷TL。生命科学の分野では、目的のタンパク質と結合するタンパク質や分子を選別する技術の開発が課題になっている。現在の主流は、蛍光タンパク質を付けておき、結合したら光るといふものだ。「目的のタンパク質に分子が結合したら分子構造が変わるので、テラヘルツ光の吸収スペクトルで簡単に分かるのではないかと考えて研究を進めている人がいます。私たちも、そのような画期的な応用を実現していきたいですね」

（取材・執筆：鈴木志乃／フォトンクリエイト）

3個目の113番元素を合成

元素命名権の獲得に近づく

2012年8月、理研和光研究所 仁科加速器研究センター 森田超重元素研究室の森田浩介 准主任研究員を中心とするグループが、113番元素の同位体（質量数278） $^{278}113$ の合成に成功した。同グループは、2004年と2005年にも113番元素の合成に成功している。今回は、前の2個とは異なる経路で崩壊したことにより、113番元素の合成がさらに確定的なものになった。世界で初めて113番元素を合成したことが国際的に認められれば命名権が与えられ、日本発の名前が初めて周期表に刻まれることになる。だが、新元素の探索はこれで終わったわけではない。森田准主任研究員は、次なる目標を119番元素に定め、新たな実験の準備に着手した。



新しい元素をつくる

「待っていれば、絶対に来る」。2012年8月、3個目の113番元素の合成を確認したときの気持ちを尋ねると、森田浩介准主任研究員はそう答えた。それは、30年近く超重元素の合成に取り組んできた者だけが口にできる言葉だろう。ここに至るまでの長い軌跡を振り返ってみよう。

「1984年に私が理研に入ったとき、加速器“リングサイクロトロン”の建設が進んでいました。私は、そのリングサイクロトロンを使って新しい超重元素を合成するために採用されたのです。実は、超重元素の合成についてよく知らず、こんなに難しいとは思っていませんでした」と森田准主任研究員。

超重元素とは、原子番号104番のラザホージウム (Rf) 以降の重い元素をいう (図1)。原子核は陽子と中性子で構成されており、陽子の数が原子番号、陽子と中性子の数の合計が質量数で、質量数は元素記号の左肩に示す。自然界に安定して存在する元素は原子番号92番のウラン (U) までで、93番以降の重い元素は加速器を使って人工的に合成することでその存在が確認されてきた。原子番号が大きくなるほどプラスの電荷を持つ陽子同士の反発が強くなり、合成が難しくなる。1984年当時、合成に成功していたのは109番のマイトネリウム (Mt) まで。110番より重い元素を合成することが、森田准主任研究員に課せられたミッションだった。

「超重元素は、加速器で加速した原子核のビームを標的の原子核に衝突させ、核融合を起こすことで合成します。私は

まず、ビームの原子核や、ビームによってはじき出された標的の原子核、ビームと標的の原子核の一部が融合した不要な生成物などを取り除き、目的の原子核だけを効率よく確実に分離し、半導体検出器に導くための装置の開発に取り組みました。それが気体充填型反跳核分離装置“GARIS”です」

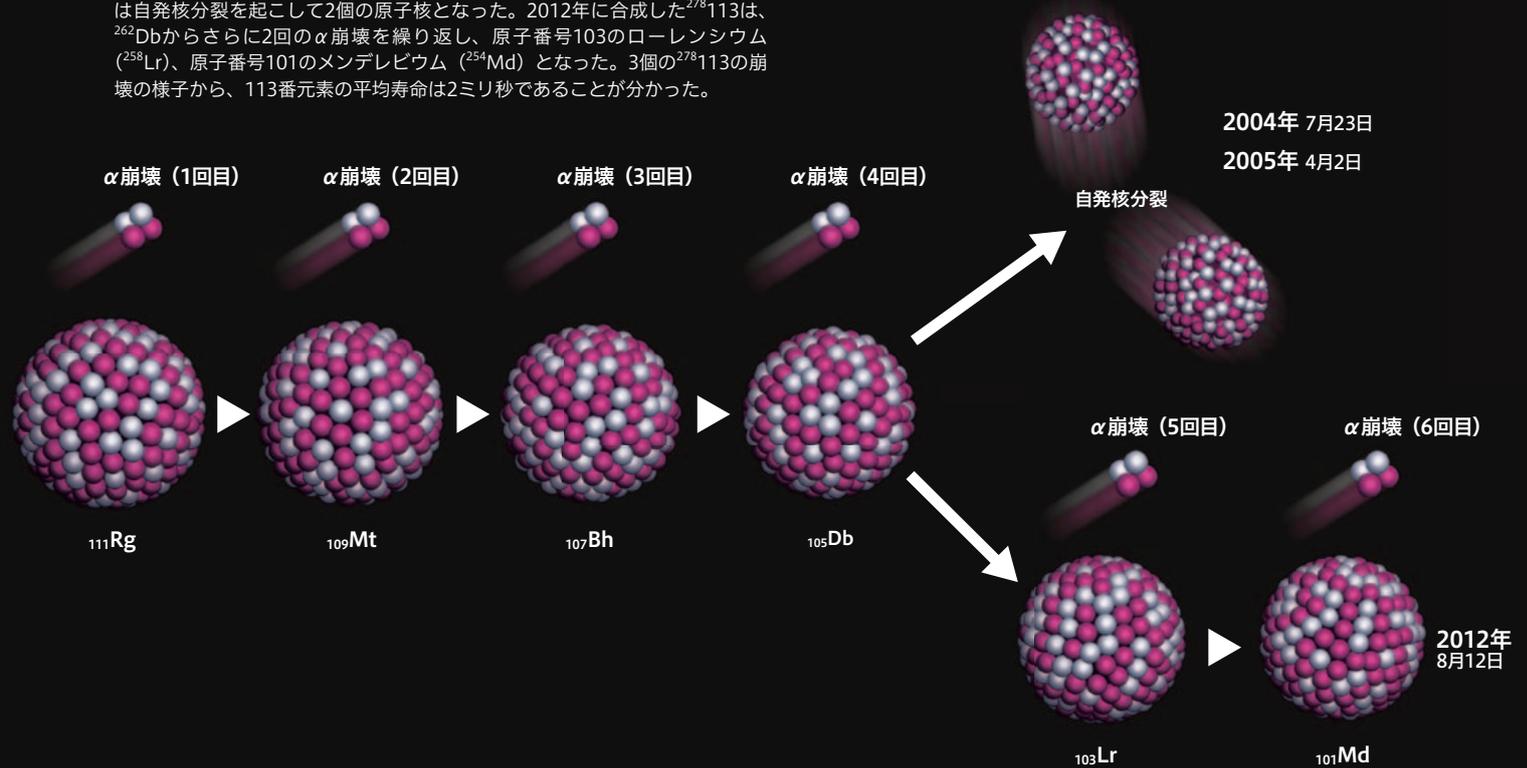
リングサイクロトロンは1986年12月に完成。GARISをその下流に設置し、翌年から超重元素探索の準備実験を開始した。しかし、スムーズな滑り出しとはいかなかった。「リングサイクロトロンを利用できる時間が少なかった上に、原子核ビームの強度が弱く、超重元素を合成できる状態ではなかったのです。それでもできることを細々とやっていました」

108、110、111番元素で力試し

幸運は突然やって来た。「新たに超伝導リングサイクロトロン (SRC) を建設することになり、GARISのある部屋がビームの通路になるため、GARISを移動しなければならなくなったのです。その機会にGARISを重イオン線形加速器RILACの下流に移動しました (図2)。それまではRILACから取り出されるビームではエネルギー不足のため、超重元素の合成は不可能でした。ところがSRC計画の必要性から、エネルギーの増強のための改良がなされ、RILACでの超重元素合成が可能になったのです。またGARISの改良も行い、性能が大幅に向上しました」と森田准主任研究員。「こうして本格的に超重元素の探索実験が始まりました。2001年のことです」

278¹¹³の合成と崩壊の様子

原子番号30の亜鉛 (⁷⁰Zn) と原子番号83のビスマス (²⁰⁹Bi) が核融合を起こし、原子番号113の²⁷⁸113が合成された。2004年と2005年に合成した113番元素 (²⁷⁸113) は、4回のα崩壊を繰り返し、原子番号105のドブニウム (²⁶²Db) は自発核分裂を起こして2個の原子核となった。2012年に合成した²⁷⁸113は、²⁶²Dbからさらに2回のα崩壊を繰り返し、原子番号103のローレンシウム (²⁵⁸Lr)、原子番号101のメンデレビウム (²⁵⁴Md) となった。3個の²⁷⁸113の崩壊の様子から、113番元素の平均寿命は2ミリ秒であることが分かった。



2001年当時、超重元素の合成は原子番号112番まで進んでおり、107番から112番までの元素はすべて、ドイツ重イオン科学研究所 (GSI) によって合成された。森田准主任研究員らは、GSIが合成した元素の追試から始めた。すると、わずか1週間で108番元素を10個合成することに成功。110番の合成にも成功し、さらに111番を50日間で14個合成した。「私たちに新しい超重元素を合成する能力が十分であると確信し、2003年9月5日から113番元素の合成実験を開始しました」

112番の追試を飛ばしたのは、GSIが113番の合成実験を8月から始めたという情報が入ってきたからだ。GSIは113番元素の合成を確認できないまま、11月に実験を終了。森田准主任研究員らも年末まで実験を続けたが、113番元素の合成は確認できなかった。

次の実験開始は2004年4月。113番ではなく、あえて112番の合成を行った。すると、約1ヶ月間で2個の合成に成功。「GSIは4年かけて2個でした。私たちはGSIの能力を確実に超えている。必ず113番元素を合成できると確信しました」

2004年7月23日、1個目の合成に成功

2004年6月、リングサイクロトロンが故障。これが思わぬ幸運をもたらした。RILACは使えたので、9月から予定されていた超重元素の探索実験を7月から行うことになったのだ。

そして2004年7月23日、113番元素の合成を確認した。原子番号30、質量数70の亜鉛 (⁷⁰Zn) の原子核をRILACで

光速の10%にまで加速させたビームを、原子番号83、質量数209のビスマス (²⁰⁹Bi) の標的に照射。その結果、²⁰⁹Biと⁷⁰Znが核融合を起こし、原子番号113、質量数278の元素²⁷⁸113が合成されたのだ (タイトル図)。

「2004年7月23日の午後6時55分でした。「今日はこれで帰ります」と言って計測室を出ようとした研究員の森本幸司さんが突然、「森田さん！これ見てください！」と叫んだのです。「本当かよ？」というのが正直な気持ちでした」と森田准主任

図1 元素の周期表 (発見が報告されているもの。2012年9月現在)

族	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18											
1	H																	He											
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne											
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar											
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr											
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe											
6	Cs	Ba	*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn											
7	Fr	Ra	†	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	113	Fl	115	Lv	117	118											
	87	88		104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118											
				→ 超重元素									← 理研が合成した元素																
	*ランタノイド										La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu				
	†アクチノイド										Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr				
													89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103		
													□ 自然界で発見された元素													113、115、117、118番は命名に至っていない。			
													■ 人工合成により発見された元素																

元素の存在限界を目指して
愚直に研究を進めていきます。
次は、119番を狙います。



撮影：STUDIO CAC

森田浩介 Kosuke Morita

和光研究所 仁科加速器研究センター
RIBF研究部門 森田超重元素研究室
准主任研究員

1957年、福岡県生まれ。博士（理学）。九州大学大学院理学研究科物理学専攻博士後期課程満期退学。1984年、理研サイクロトロン研究室研究員補。同研究室研究員、先任研究員を経て、2006年より現職。

研究員はその瞬間を振り返る。半導体検出器は自動解析を行っていて、113番元素を捉えるとコンピュータの画面に表示されるようになっていた。「実はエラーも多かったので、落ち着け、間違いかもしれない、と自分に言い聞かせました。森田さんに原子核が崩壊を始める時間と放出するエネルギーを解析してもらおうとしたのですが、森本さんも私も手が震えてキーボードが打てませんでした。そこで、すでに帰宅していた研究員の加治大哉かじだいやさんに来てもらい、解析してもらったのです。間違いなく113番元素だと分かったときは鳥肌が立ちましたね」

元素発見の優先権を主張

2005年4月2日、2個目の113番元素の合成に成功した。そして2006年、国際純正・応用化学連合（IUPAC）と国際純粋・応用物理学連合（IUPAP）の合同作業部会（JWP）から、「新元素を発見したグループは申し出よ」というコール（呼び掛け）があった。JWPはIUPACとIUPAPが推薦した6人で構成され、数年に一度コールを出し、誰が新元素を発見したのかを審議し優先権を認定する。優先権が認定されると、新元素に名前を付けることができる。

もちろん森田准主任研究員たちは名乗りを上げた。しかし、113番元素発見の優先権は認められなかった。「2個では観測数が少ないこと、また、113番元素の崩壊過程は2タイプあるのに一方だけでは合成の証拠としては不十分ということでした」

合成した $^{278}113$ は2個とも、 α 粒子（中性子2個と陽子2個で構成されるヘリウム原子核）を放出する α 崩壊を4回繰り返して、原子番号111のレントゲニウム（ ^{274}Rg ）、109のマイトネリウム（ ^{270}Mt ）、107のボーリウム（ ^{266}Bh ）、105のドブニウム（ ^{262}Db ）へと崩壊。その後、 ^{262}Db は自発核分裂を起こして2個の原子核に分裂した（タイトル図）。

「新元素の合成を証明するには、その元素が崩壊連鎖を起こして既知の原子核に到達することが重要です。私たちは、 ^{266}Bh は既知の原子核だから、そこからさかのぼることで合成された元素は $^{278}113$ であると主張しました。しかしJWPは、 ^{266}Bh は1例しか報告がないので既知の原子核とはいええない、また ^{262}Db は33%の確率で自発核分裂を起こし、67%の確率で α 崩壊を起こすことが知られているにもかかわらず2例とも自発核分裂なのはおかしい、と指摘してきました。ならば、まずは ^{266}Bh を直接合成し、自分たちの手で既知の原子核であることを証明しようと考えました」

森田准主任研究員らは2008年から2009年にかけて、 ^{266}Bh を約20個、直接合成することに成功。それら ^{266}Bh が、 $^{278}113$ で観測されたのと同じ時間をかけて同じエネルギーを放出して α 崩壊すること、その結果できた ^{262}Db が33%の確率で自発核分裂を、67%の確率で α 崩壊を起こすことを確認し、 ^{266}Bh が既知の原子核であることを証明した。

そして2012年5月、JWPから再びコールが出た。森田准主任研究員らは、 ^{266}Bh を直接合成し既知の原子核であることを証明したことなどを追加の証拠として再度、113番元素発見の優先権を主張した。現在審議中である。

2012年8月12日、待ちに待った3個目

「私たちに113番元素発見の優先権があると確信しています。しかし、優先権獲得には観測数を増やすことも重要です。そこで、113番元素の合成実験を続けていました」

そして2012年8月12日、ついに3個目の113番元素の合成に成功した。明らかになったのは8月18日だ。「自動解析を擦り抜けていたのです。そういうこともあるため、私たちはすべてのデータについてオフラインでの解析も行っています。お盆休みでたまった1週間分のデータを東京理科大学の大学院生の住田貴之君が解析していました。113番元素らしいデータがあり、 α 崩壊を4回起こしていることが分かったところで、「森田さん！何か見えています！」と私の居室に電話してきました。計測室に駆け付け、5回目の崩壊がどうなっているかを調べると、自発核分裂を起こしていない。さらに2回の α 崩壊を起こし、既知の原子核である原子番号103のローレンシウム（ ^{258}Lr ）、原子番号101のメンデレビウム（ ^{254}Md ）に到達していたのです（タイトル図）。それが分かったとき、狂喜乱舞しました。2004年と2005年の2個と違う、まさに、観測したかった崩壊経路だったからです」

実験開始からビーム照射日数80日で1個目、さらに100日で2個目の合成が確認された。しかし、3個目までは350日か

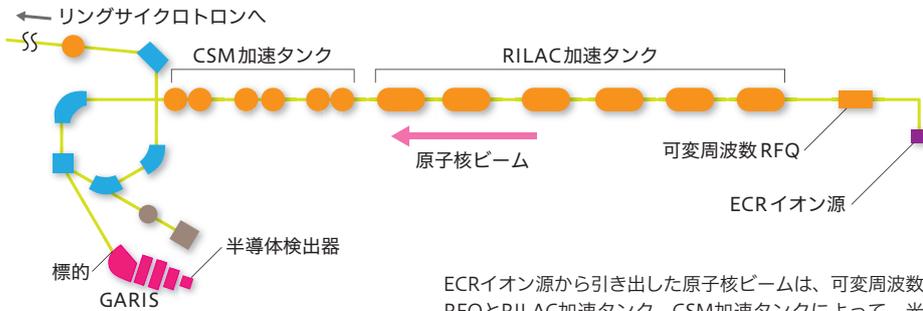


図2 重イオン線形加速器RILACと気体充填型反跳分離器GARIS

ECRイオン源から引き出した原子核ビームは、可変周波数RFQとRILAC加速タンク、CSM加速タンクによって、光速の10%の速度まで加速され、標的に照射される。GARISで、原子核ビームや不要な生成物から113番元素の原子核を分離し、半導体検出器で観測する。

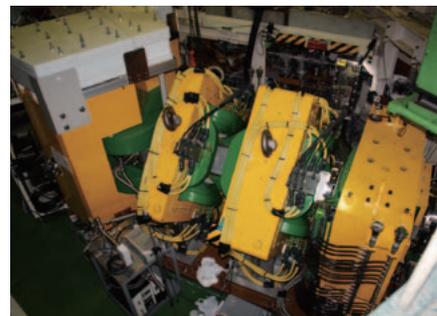


図3 気体充填型反跳分離器GARIS-II
113番元素の合成で使われたGARISの後継機。119番元素の合成で使用する計画である。

かった。不安にならなかったのだろうか。「不安はありませんでした」と森田准主任研究員。「113番元素の合成確率は、原子核ビームの速度で決まります。合成確率が最大になる速度を正確に予測することが一番重要です。私たちは、108番、110番、111番元素合成の経験を踏まえて速度を決め、2003年の実験開始からそれを変えていません。もともと200日ビームを照射して、ようやく1個くらい合成できる確率でした。1個目と2個目が100日ほどで出たのは、ラッキーだっただけ。3個目が300日を超えて出なくても、何も不思議なことはありません。待っていれば、絶対に来るのです」

この成果はすぐに論文にまとめられ、2012年9月27日、日本物理学会の英文誌『Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)』にオンライン掲載された。プレス発表も行い、翌日の新聞各紙には大きな見出しが踊った。

日本で初めての命名権獲得へ

今回は3個目ということに加えて、新しい崩壊過程を観測できたことで、113番元素合成の有力な証拠固めとなった。「コールはすでに締め切られていますが、JWPIに“この証拠も加味して審議してください”というメールを送りました」

ロシアのドブナ研究所と米国のローレンス・リバモア研究所の共同研究グループも113番元素発見の優先権を主張している。彼らは、118番元素の合成に成功し、また117番、115番、113番と連鎖崩壊していく過程を捉えたから4個の元素に対して権利がある、というのだ。「それらは既知の原子核に到達していません。しかし最近、既知の原子核に到達していないにもかかわらず、116番と114番を合成した米口の共同研究グループにその優先権が認められました。その論法でいくと、113番の優先権も彼らに認められる可能性もあります。そうすると、どちらが早いからです。私たちは2009年に²⁶⁶Bhが既知の原子核であることを示した段階で113番の合成が確定したと主張しています。米口のグループが117番を合成し、113番の合成を確定させたとするのは2011年ですから、私たちの方が早い。あとは、JWPがどう判断するかです。2013年中には結論が出るでしょう」

なぜ森田准主任研究員は113番元素の合成に挑み続けたの

だろうか。「現在、元素の種類は120もありません。新しい元素が一つ増えることは、化学や物理学にとって大きな出来事です。さらに優先権を獲得できれば、皆さんが中学校や高校で必ず目にする周期表に、初めて日本発の名前が載るのです」
超重量素の探索実験は、米国、ロシア、ドイツが先行してきた。後発の日本がなぜ113番元素の合成を実現できたのだろうか。「ビーム強度が強く安定していること。分離装置の性能が高いこと。この二つに加えて、研究者が楽天的で、待ち続けることができたこと。これも大きいでしょうね」

次の目標は119番元素

「113番元素の合成実験は2012年10月1日をもって終了しました。次に行きますよ」と森田准主任研究員。「次は119番です」。119番を合成するには、ウラン (U) やプルトニウム (Pu) などを標的に用いる必要がある。さらに、114~118番の元素合成ではカルシウム (Ca) のビームが使われていたが、119番の合成にはチタン (Ti) やクロム (Cr) のビームが必要だと考えられている。「私たちにとってすべてが新しい挑戦で、基本的なことから勉強し直す必要があります。でも、自信はあります。119番元素合成に対応できるGARIS-IIも開発済みです」(図3)

「120番、121番……と、もっと先に行きたい。元素の存在限界を見極めたい」と森田准主任研究員。それには2個の原子核を完全に融合させるのではなく、部分的に融合させる核子移行と呼ばれる新しい手法が必要となる。「元素にはさまざまな同位体があり、現在3000種もの原子核が知られています。横軸に中性子の数、縦軸に陽子の数で分類した核図表を見ると、まだ合成されていない空白域も残されています。1個1個埋めていきたいですね。周期表を拡大し、核図表を埋めていくことで見えてくる世界があるはずです」。森田准主任研究員の挑戦はまだ終わらない。

(取材・執筆：鈴木志乃/フotonクリエイト)

関連情報

- 2012年9月27日プレスリリース
「3個目の113番元素の合成を新たな崩壊経路で確認」
- 2004年9月28日プレスリリース「新発見の113番元素」

スーパーコンピュータ「京」で 低燃費タイヤを開発する

「京」の産業利用——住友ゴム工業(株)の取り組み

昨年9月、スーパーコンピュータ「京」の共用が開始され、産業界による利用が進められている(図1)。2011年に計算性能世界1位を2期連続で獲得した「京」は、産業にどのように役立ち、私たちの社会や暮らしに恩恵をもたらすのか。

ダンロップなどのブランド名で事業を展開する住友ゴム工業株式会社(以下、住友ゴム)では、1990年代からスーパーコンピュータを活用したタイヤ開発を進めてきた。さらに2000年代後半、大型放射光施設「SPring-8」とスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」を用いて、タイヤの素材であるゴムの構造を解析。そこで得られた成果をもとに「京」によるシミュレーションを行い、革新的な環境性能を持つタイヤを開発して、社会に貢献しようとしている。「京」の産業利用の具体例として、住友ゴムの取り組みを、住友ゴムの中瀬古 広三郎 常務執行役員、岸本浩通 主査、理研計算科学研究機構の伊藤 聡コーディネーターに聞いた。

■シミュレーションで

定量評価を行い、最適化を図る

——タイヤの開発に、なぜスーパーコンピュータが必要なのですか。

中瀬古: 自動車の燃費や操作性、安全性、乗り心地などの性能は、路面とタイヤの間で起きる現象に大きく左右されます。その現象には、実験では正しく計測できなかつたり、どこで何が起きているのか分からなかつたりするものが多いのです。そのような見ることが困難な現象を分析するため、当社では1993年にシミュレーション専門部門を立ち上げ、スーパーコンピュータを導入しました。そしてタイヤが回転しているときに起きる現象をコンピュータ上に再現することを「デジタル・ローリング・シミュレーション」と名付け、研究を進めました。

——どのような現象を分析したのですか。

中瀬古: 第1期では、曲がるときや突起を乗り越えたときの、接地面やタイヤ内部に働く力や発熱を分析しました。第2期では、雪道やぬかるみなど、さまざまな路面環境でのシミュレーションを行いました。

そして第3期では、タイヤから発生す

る騒音問題などに取り組みました。高速道路の沿線に聞こえるサーという音は、タイヤから発生するもので、800ヘルツくらいの騒音です。エンジン音を除くと、自動車から出るノイズの最大の発生源はタイヤなのです。

タイヤ表面の溝のデザインによってタイヤから発生するノイズは変わります。さらに溝のデザインは、グリップ(摩擦力)や排水性にも関わります。

ある場所の溝の角度を1度変えたとき、ノイズは減ってもグリップ性能が悪くなる、といったことも起きます。タイヤを開発するには、それぞれの性能を最適化する必要があります。それには、溝の角度を1度変えたとき、ノイズとグリップ性能がそれぞれ何%増減するのか、といった定量的な評価ができればいけません。

ところが実験では、タイヤの溝のどこから、どのようなノイズが発生するのか、といったことすら正確に計測するのは困難です。現象の本質を捉え、定量的な評価を行って製品開発につなげるには、実験だけでなく、スーパーコンピュータを使ったシミュレーションが必要なのです。

■低燃費化とブレーキ性能の向上を 両立するゴムを開発する

——タイヤのシミュレーション技術はどこまで発展してきたのですか。

中瀬古: 私たちはデジタル・ローリング・シミュレーションを2000年代半ばまで続け、その成果を反映した商品「デジタイヤ」を順次、開発・販売してきました。タイヤの動的性能シミュレーションから始め、最終的には実際に自動車にタイヤを付けて走ったときのさまざまな性能を評価できるまでに発展させました。そして、タイヤの形状設計に役立つシミュレーションを完成させることができました。

時代の要請に応え、さらに性能の向上を図るには、素材のゴムに戻る必要があります。

——タイヤには今、どのような性能が求められているのですか。

中瀬古: 21世紀に入り、地球温暖化への対策から自動車の低燃費化が強く求められるようになりました。低燃費化は、タイヤでいえば、転がるときの抵抗に関係します。運輸部門のエネルギー消費の80%程度が自動車によるものであり、その自動車のエネルギー口の約20%がタイヤの転がり抵抗によって生じます。

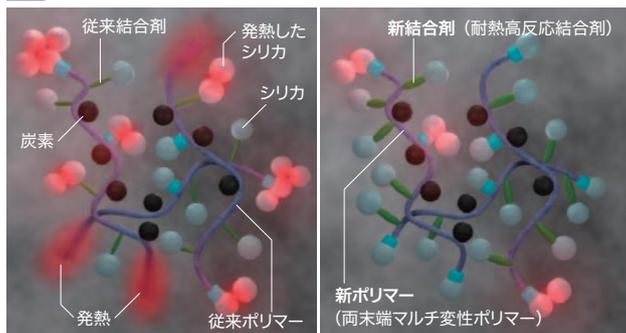
2008年に北海道洞爺湖で開かれた主要国首脳会議(サミット)では、タイヤの改善で自動車の燃費を5%改善

図1 「京」産業利用課題の所属機関名
2012年9月末～2014年3月末の利用期間

武田薬品工業(株)	株式会社フローデザイン
大日本住友製薬(株)	株式会社プリチストン
住友化学(株)	第一三共(株)
住友ゴム工業(株)	川崎重工(株)
東洋紡績(株)	株式会社アスミス
三ツ星ベルト(株)	富士フィルム(株)
トヨタテクニカル	株式会社日本自動車工業会
ディベロップメント(株)	株式会社コベルコ科研
大日本住友製薬(株)	富士通アドバンスト
京都大学・薬学研究科	テクノロジー(株)
清水建設(株)	トヨタ自動車(株)
東洋ゴム工業(株)	みずほ情報総研(株)
日東電工(株)	茨城日立情報
株式会社竹中工務店	サービス(株)

(2012年9月現在。トライアルユースは随時受付)

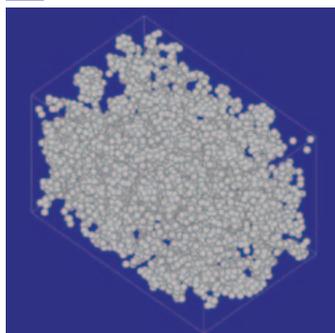
図2 タイヤゴムの構造と転がり抵抗



画像提供：住友ゴム工業株式会社

従来のゴムは、タイヤの回転に伴う変形による不要な発熱が多く、転がり抵抗が大きかった(左)。住友ゴムでは、新しい結合剤や、ポリマー両端に変性基を付けることで不要な発熱を抑え、転がり抵抗を低減した(右)。

図3 タイヤゴムにおけるシリカの分散構造



画像提供：住友ゴム工業株式会社

住友ゴムは、SPring-8の計測データを地球シミュレータで解析することで、タイヤゴムにおいて数百μmのスケールでシリカが凝集している構造を、初めて明らかにした。

することが目標となりました。そのうち3%をタイヤの転がり抵抗の低減、2%を空気圧点検で実現することが宣言されました。

——できるだけ転がりやすいタイヤが求められたのですね。

中瀬古：ただし、ブレーキをかけたときにはすぐに止まる必要があります。特に雨の日のブレーキ(ウエットグリップ)性能は安全性に直結します。

——転がり抵抗の低減とウエットグリップ性能の向上は矛盾するように思えます。

中瀬古：例えば時速80kmで走ると、1秒間にタイヤは10数回転し、そのたびごとに変形します。また、グリップ時にタイヤの表面は路面の凹凸により1秒間に10万回ほど変形します。

転がり抵抗は、10数回転するごとに起こる変形により、運動エネルギーが熱に換わることで発生します。一方、ブレーキ力は、10万回ほどの変形により運動エネルギーが熱に換わることで発生します。

転がり抵抗の低減とウエットグリップ性能の向上を同時に実現するには、比較的遅い変形速度に対しては発熱せずに転がり抵抗が小さくなり、速い変形速度に対しては大きく発熱して強いブレーキ力が発生するゴムが必要です。しかし、ゴム自体の内部構造や機能は分かっていないことが多いのです。

■SPring-8の測定データを地球シミュレータで解析

——そもそもタイヤに使われているゴムは、どのような構造なのですか。

中瀬古：長い糸のようなポリマーと、ポリマー同士をつなげる架橋剤、そこに補強材として、炭素の微粒子(カーボンブラック)が加えられています。さらに最近では、ウエットグリップ性能を高めるためにシリカ(二酸化ケイ素)も補強材として使われています(図2左)。シリカを加えると、ウエットグリップ性能だけでなく転がり抵抗も小さくなり、低燃費化とウエットグリップの両立が実現できます。

そのシリカが均一に分散するほど、ウエットグリップ性能は向上し、転がり抵抗も低減します。そこでポリマーに結合剤を付けてシリカをつかまえる構造にしています。しかし、シリカが完全に均一分散しているかどうかを判断する手法がなく、実験的に試行錯誤を繰り返していました。

そもそもシリカの3次元的な分布はどうなっているのか。それを見ることが電子顕微鏡などでは困難だったのです。そこで、私たちは理研播磨研究所にある世界最高性能の放射光(X線など)を発生する大型放射光施設「SPring-8」で、ゴムの中のシリカの3次元分布を観察することにしました。それを担当したのが、岸本浩通 主査です。

岸本：シリカは、数個から数十個が集まり凝集体をつくり、それらがさらに集まってより大きなスケールの凝集体をつくるといった階層構造を持ちます。私たちは、SPring-8のX線をゴムに照射して、計測データを得ました。ただし、その計測データからシリカの3次元分布図を得るには、膨大な計算

が必要です。そこで2002~2004年に計算性能世界1位を5期連続で獲得した(独)海洋研究開発機構のスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」を用いて解析することにしました。

その地球シミュレータを使った計測データの解析結果をもとに、より詳細に解析することで、シリカが数百nm(ナノメートル、1nm=10億分の1m)のスケールで凝集体をつくっていることを発見しました(図3)。そのスケールのシリカの分散構造が、転がり抵抗やウエットグリップ性能に深く関係していると考えられます。

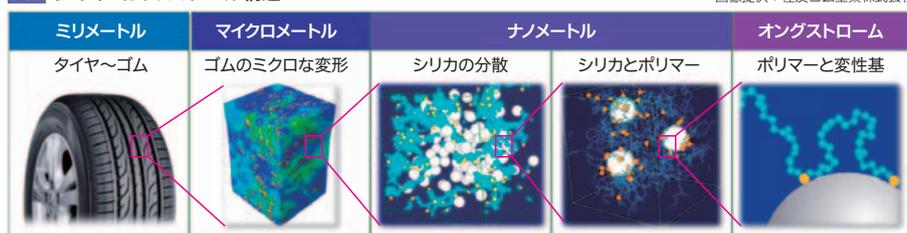
■「京」によりスケールを横断したシミュレーションを行う

——SPring-8と地球シミュレータで得られた成果をどのように製品開発に結びつけたのですか。

中瀬古：私たちは、解明したシリカの分散構造を反映したシミュレーションを自社のスーパーコンピュータで行い、新しいゴムの分子設計を進めました。まず、新しい結合剤でポリマーとシリカをしっかりと結合させることで、シリカ同士が引き離されて、より均一に分散するようにしました。さらに、ポリマーの不要な動きを抑えて発熱を防ぐため、ポリマー両端と中央付近にシリカと結合や相互作用をする変性基を導入しました(図2右)。こうして低燃費化とウエットグリップ性能の向上を同時に実現した低燃費タイヤを開発し、「エナセーブ PREMIUM」という商品名で2012年2月から発売を始めました。

図4 タイヤゴムのスケール構造

画像提供：住友ゴム工業株式会社



住友ゴムでは、スケールごとのシミュレーションを行い、低燃費タイヤを開発した。さらに「京」によりスケールを横断したシミュレーションを行うことで、革新的な環境性能を持つタイヤを開発しようとしている。

——最近、低燃費タイヤという言葉をよく耳にします。

中瀬古：日本では2010年から、タイヤ業界の自主基準としてラベリング制度が世界に先駆けて始まりました。転がり抵抗はAAA、AA、A、B、Cの5段階、ウエットグリップはa～dの4段階で評価し、販売するタイヤ1本ごとにラベルに表示しています。転がり抵抗とウエットグリップ性能を統一基準で評価して、両方が一定以上（転がり抵抗がA以上、ウエットグリップ性能がa～dの範囲内）の性能のものだけを低燃費タイヤと表示できる仕組みです。

欧州でも、転がり抵抗とウエットグリップに、ノイズ性能を加えたラベリング制度が法制化され、2012年から実施が始まりました。米国や中国でも同様の制度が検討されています。

——さらに高い環境性能が求められているのですね。

中瀬古：そこで私たちには、「京」の利用がどうしても必要だったのです。「エナセーブ PREMIUM」用のゴムを開発するために、自社のスーパーコンピュータで行ったのは、スケールごとのシミュレーションです（図4）。ポリマーや変性基などの設計には、ナノメートルからオングストローム（Å、1Å＝0.1nm＝100億分の1m）のスケールで分子同士に働く力を計算する「分子動力学シミュレーション」や反応を予測する「分子軌道法」が必要です。ポリマーや結合剤、シリカの配置は数十nmのスケール、シリカの分散構造は数百～数nmのスケールです。そしてタイヤの回転に伴う変形は、マイクロメー

ル（μm）のスケールで起きます。

それぞれのスケールごとのシミュレーションならば、自社のスーパーコンピュータで可能な計算量です。しかし本当に起きている現象を再現するには、各スケールを連結したシミュレーションが必須です。しかしそれは、自社のスーパーコンピュータや地球シミュレータでも困難な膨大な計算量になります。その膨大な計算は「京」でなければできません。

私たちがSPring-8と地球シミュレータでシリカの分散構造を解明したところ、「京」の開発が始まろうとしていました。そのころから、共用開始を待ち望んでいました。「京」によるシミュレーションでゴムの分子設計を行わなければ、私たちはトップランナーとして走り続けることができません。

■「京」による材料開発と創薬

——「京」をどのように産業界に活用してもらおう計画ですか。

伊藤：「京」の利用枠全体のうち、約30%が一般利用枠です。その中に産業利用枠があり、「京」利用全体の約5%

を占めています。一般利用枠で「京」を利用するには、（財）高度情報科学技術研究機構（RIST）へ課題申請をしていただき、それを委員会で評価して選定する仕組みです。その評価・選定において、大学などから申請される課題と同じ科学的な価値基準で選定すると、産業界からの申請が落とされてしまう恐れがあります。産業界で解決すべき課題は、必ずしも科学的な価値が高いとは限らないからです。そこで異なる価値基準で選定する産業利用枠を設けたのです。

2012年、第1回目の募集（2012年9月末～2014年3月末の利用期間）が行われ、産業利用枠に31件の応募があり、25件が選定されました（図1）。そのうちの1件が、岸本主査を研究責任者とする住友ゴムからのものです。それ以外にもタイヤメーカーからの応募が2件選定されています。タイヤ以外にも材料開発に関する課題申請が数多くありました。新しい材料の開発は産業全体にとって大変重要なテーマです。しかし、その開発に必要なシミュレーションは大学や公的研究機関の研究ではカバーし切れていないため、応募が多数あったのだと推測しています。

また、創薬に関する課題申請も多数ありました。その中には、製薬メーカー7社が共同で申請した課題も選定されました。「京」を使って薬の候補となる化合物を探すのです。そのような共同研究は、製薬業界では初めてのものです。

「京」コンピュータ 1秒間に1京回（1兆の1万倍）、10ペタフロップスの速度で計算する性能を持つ。



■「京」をフル活用する

ソフトウェア開発

——住友ゴムでは、いつごろから「京」を用いたシミュレーションを本格的に開始する予定ですか。

岸本：「京」は計算の基本単位であるプロセッサを約70万コアも搭載しています。その膨大な数のプロセッサをうまく使いこなすことで、高速に計算することができます。そこで重要なのが、各プロセッサコアに計算を命令するソフトウェアです。2012年から「京」の性能を最大限に引き出せるようにソフトウェアの調整を進めています。そしていよいよ今年初めから、大規模計算によるシミュレーションを開始する計画です。そこでどんな問題が発生してくるのかまだ分かりませんが、それを一つずつ克服していく必要があります。

中瀬古：私たちは「京」を使って新しいゴムの分子設計に役立つ成果を挙げるとともに、「京」のような最先端のスーパーコンピュータの性能をフルに引き出す最適なソフトウェアを開発したいと考えています。しかし、ゴムのような高分子複合系の大規模分子動力学シミュレーションは発展途上であり、日々研究を積み重ねているところです。

最先端のスーパーコンピュータを産業界が利用する際の大きな関門は、必要なシミュレーションに最適なソフトウェアを開発できる技術者を確保することです。

伊藤：私は地球シミュレータの産業利用の制度設計にも関わりましたが、そのときも一番の課題はハードウェアではなくソフトウェアでした。そこで、技術者によるソフトウェア移植支援の制度を実施しました。そして地球シミュレータでさまざまなノウハウを蓄積した超一流の技術者の何人かがRISTへ移り、「京」の産業利用でも支援する仕組みがつくられました。さらに私たち理研計算科学研究機構の技術者も、企業の人たちと一緒に「京」をフルに活用するための仕組み

を準備しています。

5年後くらいには、「京」レベルの大規模なスーパーコンピュータが企業に導入される可能性があるとは予測しています。それを使いこなすための技術を、各企業に「京」で培っていただきたいと考えています。

■その先の夢へ

——今後の目標を教えてください。

中瀬古：ゴムで起きている現象をオンゲストロームからマイクロメートルのスケールにわたり再現し、2015年には新しいゴムの分子設計につながる成果を得る、と私たちは公表しています。

そして、「京」での成果を2017年以降順次適用し、革新的な環境性能を持つタイヤを製品化することが目標です。

伊藤：そのような成果が出てくることで、「京」の次の大規模スーパーコンピュータでは何が可能になるのか、具体的な議論に発展させることができます。

岸本：まずは、「京」によるシミュレーションで、ゴムの中で何が起きるか、何が分かるかが重要ですね。その上で、私たちにとって、さらに大規模なスーパーコンピュータが必要かどうかを議論することになるでしょう。

中瀬古：産業界では、シミュレーションができました、というだけでは意味がありません。製品に結び付く成果が出て、初めて次を議論できます。

ただし、私にはすでにその先の夢があります。ある分子構造を持つゴムを用いたタイヤを、特定の車種に取り付けて、気温5°Cのドイツの高速道路で走ったときどのような性能を示すのか。そのようなことをシミュレーションで評価したいのです。つまり、自動車産業、タイヤ産業、素材産業にまたがるシミュレーションです。その膨大な計算には「京」の次の大規模スーパーコンピュータが必要でしょう。2020年ごろまでに、私たちのシミュレーション技術をそのレベルにまで発展させていきたいと考えています。



左から、住友ゴム工業株式会社の岸本浩通 主査、中瀬古広三郎 常務執行役員、理研計算科学研究機構の伊藤 聡コーディネーター。

岸本：私たちにはまだ、見えていないこともあります。例えば、ゴムの中のポリマー1本1本がどのような構造になっているのか分かっていません。現在は、実験データなどから予測した構造でシミュレーションを行っています。——理研播磨研究所では、SPring-8よりも10億倍も明るいX線レーザーを発振する“SACLA”の共用を開始しています。

岸本：SACLAでゴムを構成する材料が原子レベルでどのような構造でどのような運動をしているか、さらに変形して発熱するときの様子などを見ることができれば、ゴムについての理解が革新的に進みます。その知見をシミュレーションに反映させることで、さらに新しいことが分かってくるはずですよ。

中瀬古：見るべきものにも、まだ先があるのです。それを取り入れていかなければ、製品開発に役立つ本当の意味でのシミュレーションにはなりません。

伊藤：住友ゴムは、SPring-8や地球シミュレータなど国の研究基盤を最もうまく活用してきた企業の一つです。「京」でもぜひ大きな成果を挙げて、その先の夢へつなげていただきたいですね。そのために、私たち理研計算科学研究機構としても、企業支援の取り組みを推進していきたいと思っています。

(取材・構成：立山 晃/フォトンクリエイト)

RIビームファクトリーで新たな核異性体18種を発見

2012年11月22日プレスリリース

理研和光研究所 仁科加速器研究センター（RNC）実験装置 運転・維持管理室の久保敏幸室長が率いる国際共同研究グループは、重イオン加速器施設「RIビームファクトリー（RIBF）」を使った実験で、チタン-59やヒ素-90など、新たな核異性体を18種類生成・発見した。RNCが目指す「究極の原子核像の構築」につながる成果。

地球上には、金や鉄など安定な原子核が約300種類存在するが、理論的には約1万種類の原子核が存在するといわれ、そのほとんどが放射性同位元素（RI）と呼ばれる不安定な原子核である。RNCでは、RIBFを使って今までつくることができなかった不安定原子核を大量に生成して、その性質を調べて究極の原子核像を構築し、鉄よりも重い（原子番号が大きい）元素が宇宙でどのように合成されたのか、その過程を調べる研究を進めている。今回発見した核異性体は、不安定原子核の核構造を強く反映しているため、その性質や崩壊様式を調べることは元素の起源を解明する上

で非常に有効である。

研究グループは、超伝導リングサイクロトロンでウラン-238を光速の70%まで加速し、ベリリウムや鉛の原子核に衝突させて核異性体を生成。このとき核異性体は、さまざまな中性子過剰のRIの中に混じって生成される。その中から、超伝導RIビーム分離生成装置「BigRIPS」で核異性体を分離・収集し、その後、アルミニウム中に打ち込んで停止させた。そして、核異性体の崩壊に伴い放射されるガンマ線を測定したところ、全部で54種類の核異性体があること、そのうち18種類が新たな核異性体であることが分かった。さらに詳細に解析した結果、それらの半減期が数マイクロ秒程度であることが分かったほか、核構造に関するさまざまな知見を得ることに成功した。

●『Physical Review C』Volume 86, ISSUE 5掲載

多能性細胞の分化制御に重要な遺伝子を発見

ES細胞やiPS細胞の分化制御技術の開発に期待

2012年11月9日プレスリリース

理研筑波研究所 バイオリソースセンター 動物変異動態解析技術開発チームの阿部訓也チームリーダー、杉本道彦 開発研究員、遺伝工学基盤技術室の小倉淳郎 室長らはマウスによる実験で、多能性細胞が分化・増殖するときに重要な役割を果たす遺伝子「Vps52」を発見した。再生医療で注目されるES細胞（胚性幹細胞）やiPS細胞（人工多能性幹細胞）の分化制御技術の開発につながると期待される。米国テキサス大学オースチン校などとの共同研究による成果。

哺乳類の胚（発生初期段階の個体）には、さまざまな細胞や組織に分化し、体全体を形成する能力を持つ多能性細胞が存在する。胚が子宮へ着床した後、細胞や組織において大きな変化が生じ、多能性細胞は原始外胚葉と呼ばれる組織へと分化する（図左）。この組織分化過程は、細胞と細胞の相互作用を介して制御されることが知られていたが、その役割を担う因子についてはほとんど分かっていなかった。

研究グループは半世紀以上前に見つかった、多能性細胞の初期分化や増殖に異常を示す突然変異体マウス「 t^{W5} 」に着目（図右）。ゲノム解析や遺伝子改変技術を組み合わせ「Vps52」を突き止めた。Vps52は、酵母では細胞内の物質

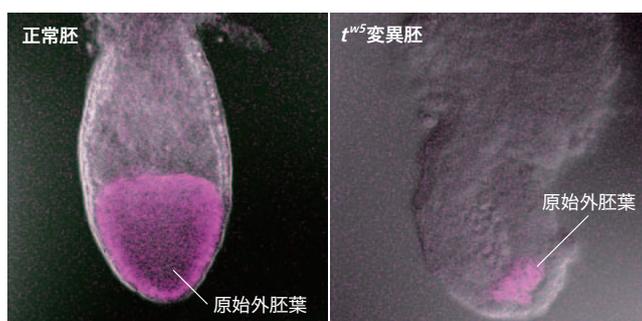


図 正常胚と t^{W5} 変異胚の原始外胚葉

受精後6.5日のマウス胚。正常胚（左）では、原始外胚葉（紫色の部分）が発達するが、 t^{W5} 変異胚（右）では、原始外胚葉を構成する細胞が激減している。

輸送を担うことが知られていたが、哺乳類では細胞間相互作用を介して多能性細胞の分化や増殖を制御することが、この研究により明らかとなった。また、 t^{W5} の胚からつくったES細胞にVps52を導入すると分化が正常に進行したことから、Vps52はES細胞の分化に必須の因子であることも分かった。

※ 本研究は、文部科学省特定領域研究「生殖系列の世代サイクルとエピゲノムネットワーク」、新学術領域研究「哺乳類初期発生の細胞コミュニケーション」などの支援を受けて行われた。

●『Cell Reports』(11月29日号)掲載

→ 「理研よこはまサイエンスカフェ2013冬」 開催のお知らせ

理研横浜研究所は「理研よこはまサイエンスカフェ2013冬」を右の通り開催します。

サイエンスカフェとは、科学の専門家と市民の方が飲み物を片手に、気軽に科学の話題について話し合う、講演会でもシンポジウムでもない新しいコミュニケーションの場です。

生命科学の最前線を理研の研究者が分かりやすく解説し、健康や医療に関わる疑問にお答えします。

参加費は無料。各回、定員40名、事前申し込み制となっております。なお、定員を超えた場合は抽選とさせていただきます。



Illustrations by Osamu Kawamura

下記URLにて詳細をご確認の上、お申し込みください。
<http://www.yokohama.riken.jp/sciencecafe/>

皆さまのご来場をお待ちしております。

(1) DNAとタンパク質の知られざる関係とは？

日時	2013年1月19日(土) 14:00~16:00
場所	県立川崎図書館 (神奈川県川崎市川崎区富士見2-1-4)
申込期間	12月7日(金)~1月8日(火)
講師	理研生命分子システム基盤研究領域 拡張遺伝暗号システム研究チーム 坂本健作チームリーダー

(2) 私たちの暮らしを豊かにする「植物ホルモン」

日時	2013年2月2日(土) 14:00~16:00
場所	かわさき宙(そら)と緑の科学館 (神奈川県川崎市多摩区柘形7-1-2)
申込期間	1月8日(火)~1月25日(金)
講師	理研植物科学研究センター 生長制御研究グループ 笠原博幸 上級研究員

(3) 白血病の根治に挑む

日時	2013年3月2日(土) 14:00~16:00
場所	横浜中央図書館 (神奈川県横浜市西区老松町1)
申込期間	1月25日(金)~2月20日(水)
講師	理研免疫・アレルギー科学総合研究センター ヒト疾患モデル研究グループ 石川文彦グループディレクター

→ 「nano tech 2013 第12回 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議」 出展のお知らせ

1月30日(水)~2月1日(金)に開催される「nano tech 2013 第12回 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議」に出展します。

また、理研ブース内で、研究者自らが最先端技術を紹介するプレゼンテーションも予定しています。

理研の出展内容は下記URLでご覧いただけます。

<http://www.riken.jp/r-world/event/2013/nanotech/index.html>

最先端の科学に触れる絶好の機会です。皆さまのご来場をお待ちしております。



International Nanotechnology
Exhibition & Conference
nano tech 2013
第12回 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議

日時	2013年1月30日(水)~2月1日(金) 10:00~17:00
場所	東京ビッグサイト 東4・5・6ホール&会議棟 東京都江東区有明3-11-1 最寄駅：ゆりかもめ「国際展示場正門駅」、りんかい線「国際展示場駅」
主催	nano tech 実行委員会
後援	内閣府、総務省、文部科学省、農林水産省、経済産業省、 独立行政法人理化学研究所ほか
入場料	3000円 ※下記URLより事前登録された方および招待券を持参された方は無料 http://www.nanotechexpo.jp/
問合せ	nano tech 実行委員会事務局 TEL : 03-3219-3567 E-mail : nanotech@ics-inc.co.jp

原酒

アップサラ記

渡辺恭良 Yasuyoshi Watanabe

分子イメージング科学研究センター
センター長

私はスウェーデン第4の都市・アップサラに、これまでに80回以上行き、通算5年ぐらゐの日々を送ってきた。3回目の滞在は1987年。粉骨砕身して準備した大阪バイオサイエンス研究所の開所を10月に控えた8月末のことだ。2ヶ月間続けてきた実験が、帰国日の午前0時を迎えてようやく成功し、翌年、科学雑誌『Science』に投稿した。満足のいく実験結果に安堵し、一緒に実験した4人で乾杯することになった。そこで、仲間の一人、ベングトの夫人が自宅から世界三大悪食の一つ Surströmming の缶詰を持ってきてくれた。バケツの水の中で開缶したのだが、それでもアンモニア臭はきつく、翌日には「大学で Surströmming の缶詰を開けるな」という規則ができたそうだ。ただ、日本人の口には合うらしく、強い蒸留酒とのマッチングは素晴らしい。問題は、発酵中ということだ。昼ごろに帰国の便に搭乗したのだが、空気圧の低い機上では、発酵ガスで胃腸がバルーン化し、とても苦しく吐息も臭い状況となった。世界三大悪食、恐るべしである。

私には、研究者を目指したときに決めたことがある。在籍していた京都大学医化学教室は日本の生化学・分子生物学の中心で、研究、勉強会、来客講師、情報すべてにおいて素晴らしい環境だった。この恵まれた環境を飛び出し留学するのであれば、研究テーマが与えられる有名なラボではなく、自分自身でテーマを選ぶことができ、今のラボではできないことをやれるところで研究しようと決めたのだ。

1980年に大学院を修了し、京都大学放射性同位元素 (RI) 総合センターの助手として、RI標識化合物を動物に投与する実験室フロアの責任者になったころ、京都大学医学部附属病院にPET (陽電子放出断層画像法) が導入された。そのとき、私は医化学教室・早石 修先生のもとで小さなグループを率い、脳の生理活性物質“プロスタグランジン (PG) 類”にRI標識化合物を組み込み、PG類の受容体の局在を脳切片で調べていた。また一方で、厚生省新薬開発班の一員として自閉症などの発達障害の治療薬の研究開発にも携わっていた。そのため、PG類が精神神経疾患にどう関わっているのか、発達障害に薬効を示したテトラヒドロバイオプテリンという物質が脳でどう働くのかなどについて、ヒトの脳で安全に研究



写真:

アップサラ大学化学研究所の玄関先。スウェーデンの作家プロール・ヒョルスの絵画のタペストリーの前で、1986年9月6日に撮影。右が筆者。左にベングト・ロングストローム教授、中央に、当時サントリー(株)専務で生物医学研究所長でおられた最高の共同研究者の野口照久先生(一昨年の東日本大震災の後、残念ながら肺炎で故人となりました)。このタペストリーは非常に高価なもので、一時盗難にあったことでも有名。

してみたいと思うようになった。

そして1983年、その思いを実現する論文が『Science』に掲載された。ヒトの脳で、ドーパミンD2受容体のPETイメージングが初めて成功したのだ。このイメージングに必須となる炭素11標識化合物を開発したのがアップサラ大学のベングト・ロングストローム教授(写真)である。同年、国際シンポジウムに教授を招待し、そこで私のやりたいことを話すと大いに共感してくれた。これをきっかけに1985年に4ヶ月間、アップサラ大学で実験することになった。それが初めてのアップサラ滞りである。

当時、スウェーデンにもPETの研究機関はまだなく、アップサラ大学化学研究所で標識化合物の合成を行い、車で5分ほどの病院のPET施設に配達し、投与するという形態だった。私は全体のプランニング、標識化合物合成の検討、サルを用いたPET、血液代謝物分析、データ解析などをすべて一人で行った。この経験が、理研分子イメージング科学研究センターのもとになっている。

アップサラの地に立つたび、初心を忘れず、自分の志を貫きたいと考えている多くの研究者と、これから異分野融合の道を拓いていく人たちのために働こうとあらためて思う。

『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。

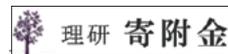
<http://www.riken.jp/mailmag.html>

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。

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

問合せ先: 理研 外部資金部 推進課 寄附金担当

TEL: 048-462-4955 Email: kifun-info@riken.jp

(一部クレジットカード決済が可能です)