

RIKEN NEWS

No.427 January 2017

1



半導体検出器。気体充填型反跳分離器 (GARIS) で分離された元素が崩壊するとき放出する α 粒子などを計測する装置。
特集「113番元素の名前が「nihonium」に決定」より

新春特別企画 ②

あるべき社会を目指して

特定国立研究開発法人 3法人理事長鼎談

研究最前線 ⑧

STMで電子状態を見て 物質の未知の機能を探る

特集 ⑫

113番元素の名前が 「nihonium」に決定

原酒 ⑯

知と愛あるいは科学と宗教



理研
百年

RIKEN CENTENNIAL
Since 1917

あるべき社会を目指して

特定国立研究開発法人 3法人理事長鼎談

■ 連携の中核として

山根：皆さんは、それぞれ大学や産業界から国立研究開発法人（国研）の理事長に就任されました。まず、中鉢さんは技術者としてソニーに入社され、エレクトロニクスCEOや社長、副会長を歴任された後、2013年4月に産業技術総合研究所（産総研）の理事長に就任されました。産総研にどのような印象を持ちましたか。

中鉢：ソニーにいたころは、産総研など国研がどのような研究を行っているのか、よく理解できていませんでした。産総研の皆さんには失礼な話なのですが、理事長に就任して、予想以上

に素晴らしい研究をしていることに驚きました。産総研を過小評価していたと感じました。

山根：松本さんの専門は宇宙プラズマ物理学・宇宙電波科学で、京都大学工学部で宇宙太陽光発電所などの研究を進められ、総長を務めた後、2015年4月に理化学研究所（理研）の理事長に就任されました。

松本：私も理研のことをよく知りませんでした。大学にはない理研の特徴は、分野間の壁がないことです。生命科学、物理学、化学、工学など、さまざまな分野の研究者が日常的に研究について議論しています。また、事務系の職員と研究者の壁も低く、

特定国立研究開発法人への期待



鶴保庸介

内閣府特命担当大臣
(科学技術政策)

2016年10月1日、理化学研究所、物質・材料研究機構、産業技術総合研究所の3法人は、特定国立研究開発法人に移行しました。「特定国立研究開発法人による研究開発等の促進に関する特別措置法案」が国会で可決、施行されるまで、皆さまの多大なご尽力によって成し得たことだと思っております。特定国立研究開発法人として、3法人には以下の3点を期待しております。

一つ目は、世界最高水準の成果の創出と普及・活用の促進です。各法人の理事長のリーダーシップのもと、国際的に卓越した人材を集集し、世界的な研究拠点を構築することが求められます。二つ目は、イノベーションをけん引する中核機関としての役割です。民間資金など外部資金の獲得を積極的に行い、オープンイノベーションのプラットフォームを構築し、新産業や新規ベンチャーの創出をリードしていくことが求められます。そして最後に、業務運営上

の特別な措置など先駆的な取り組みを実施していくことが求められています。私としても、これらの先駆的な取り組みを、ほかの24の国立研究開発法人に展開させるなど積極的な役割を果たしていきたいと思っております。

政府は2016年1月に第5期科学技術基本計画を策定し、「未来の産業創造と社会変革に向けた新たな価値創出の取り組み」「経済・社会的課題への対応」「科学技術イノベーションの基盤的な力の強化」「イノベーション創出に向けた人材、知、資金の好循環システムの構築」の4本柱を定めました。

「世界で最もイノベーションに適した国」を実現するためにも、3法人にはおのおの優れた特徴を発揮しつつ、科学技術イノベーションの創出のための相乗効果を生み出し、日本の研究機関のロールモデルとして世界に先駆けた成功事例をつくり上げていただきたいと大いに期待しております。



橋本和仁 物質・材料研究機構 理事長

松本 紘 理化学研究所 理事長

中鉢良治 産業技術総合研究所 理事長

研究の内容について研究者と議論できる事務系の職員がたくさんいることに驚きました。

山根：橋本さんの専門は物理化学・材料科学で、東京大学の工学部や先端科学技術研究センターで光触媒や人工光合成などの研究をされました。さらに内閣府の総合科学技術・イノベーション会議の議員を務められ、2016年1月に物質・材料研究機構(NIMS)の理事長に就任されました。

橋本：私の研究分野はNIMSの研究に近いのですが、理事長に就任して、さまざまな研究者がとても高いレベルの研究を進めていることを知りました。分野が近い私ですらNIMSの研究をよく知らなかったのは少々問題だと思います。素晴らしい研究をしているのに、研究者たちが内に閉じこもっている印象があるので、もっと社会へ出ていく取り組みが必要です。

山根：素晴らしい研究をしても社会にあまり知られていないのは、広報の課題でもあります。研究者と社会を結び付ける仕組みに問題があるのかもしれないですね。

さて3法人は、2016年10月に特定国立研究開発法人(特定法人)に移行しました。決意のほどをお聞かせください。

橋本：わが国の産業界の国際競争力は強く、学会も世界トップレベルです。それにもかかわらず、近年の日本はイノベーションを創出する力が弱いように感じられます。その原因は、産業界、大学、国研がそれぞれ別々に活動しているからです。そこで、それらの強い力を統合しようというのが現政権の科学技術イノベーション政策のポイントです。国研は基礎研究を産業界へ橋渡しする場と位置付けられています。特定法人はその先導的な役割を果たすことが求められています。それを達成しなければいけないという強い責任を感じています。

中鉢：わが国の産業界、大学、国研が総力を挙げてイノベーションの創出を目指すためには、3者の連携をさらに強力に推進する必要があります。産学官のオープンな連携の中核を担う決意を産総研は持っています。そのために、イノベーションの

種となる目的基礎研究、研究成果を産業につなげる橋渡し機能、そしてイノベーションの担い手となる人材の育成を、これまで以上に強化していきます。

松本：特定法人は、世界最高水準の研究開発の成果が見込まれる機関、と定義されています。理研は、基礎研究を進めている研究者の割合が高く、革新的で先端的な基礎研究の中からイノベーションの種となる新しい概念が生み出されています。ただし、種があることとイノベーション創出にはギャップがあります。私たちは今までどおり基礎研究を進めるとともに、日本の強みにつながるイノベーションの創出に貢献できるシステムをつくる責務があると考えています。

山根：3法人が連携して研究開発システムや産学連携のモデルを示し、ほかの国研をけん引していく、ということなのでしょう。3法人だけでなく、27の国研が連携したら新しいものが生まれてくるように思うのですが、いかがでしょうか。

橋本：これまで国研27法人はほとんど連携してきませんでした。そこで私は中鉢さんたちと相談して、2016年1月に国立研究開発法人協議会を設立しました。特定法人に選定された3法人は協議会の中でも大きな役割を担っていくべきだと考えています。

中鉢：私は協議会の連携協力分科会長として、国研同士の連



司会
山根一眞
ノンフィクション作家
獨協大学経済学部特任教授

3 法人の概要

■ 産業技術総合研究所

産業や社会に役立つ科学技術の研究開発を総合的に行うとともに、革新的な技術シーズを事業化につなげる取り組みを進めている。

2016年4月1日の常勤職員数は2,968名。うち研究職員は2,280名（任期付354名を含む）。ほかに特別研究員（ポスドク）188名、招聘研究員174名。

■ 物質・材料研究機構

国内唯一の物質・材料科学に特化した研究機関。新物質・新材料の研究開発を通じて、エネルギーや環境、医療、インフラなどの問題解決を目指すとともに、技術水準の向上に向け設備や情報の共用にも力を注ぐ。

2016年4月1日の常勤職員数は1,489名。そのうち781名が研究系職員（任期付394名を含む）。

■ 理化学研究所

日本で唯一の自然科学の総合研究所として、物理学、工学、化学、計算科学、生物学、医科学などに及ぶ広い分野で研究を進めている。

2016年4月1日の常勤職員数は3,426名。その86%に当たる2,932名が研究系職員。さらに、その89%に当たる2,606名が任期制職員。

携を進めるための具体的なプログラムを産総研のスタッフと作成しているところです。まずは、お互いを知るところから始めていきたいと思っています。

■ あるべき社会を描く

山根：近年の日本では、なぜイノベーションが生まれにくくなったのでしょうか。

松本：それは、未来の社会はどうあってほしいかという夢を語る人、イノベーションをデザインできる人が少なくなっているからではないでしょうか。科学の最先端は細分化され、同じ分野の研究者であっても隣の部屋の研究内容を理解しにくい状況です。それぞれの研究者は狭い範囲ではプロでも、専門から少し離れると力を発揮できない場合が多い。科学全体を見渡して、社会との連携を常に考えている研究者はごく少数でしょう。イノベーションが次々に生まれるようにするには、多くの研究者が夢やビジョンを持って研究を進めるようにしなければなりません。その夢やビジョンを描くにはまず、あるべき社会とは何かを考え抜く必要があります。それを考える“イノベーションデザイナー”の集団を理研で育てていくことを検討しています。

橋本：2016年度から第5期の科学技術基本計画がスタートしています。その中で将来の社会像として“Society 5.0”が掲げられています。Society 1.0が狩猟社会、2.0が農耕社会、3.0が工業社会、4.0が情報社会です。その次のSociety 5.0は、サイバー空間とフィジカル空間（現実社会）が高度に融合した“超スマート社会”です。その概念は、研究者や政府だけでなく、産業界も加わって一緒につくったものである点が大きな特徴です。では、超スマート社会とは具体的にどのようなものか。それは、従来のように技術の延長線上に未来を描くのではなく、あるべき社会とは何かを考え、それを実現するための技術を描き出し、実現していくのだと主張しています。あるべき社会を描くには、科学者・技術者だけでは駄目で、人文・社会科学の研究者との連携が不可欠です。特定法人は、人文・社会科学の研究者とも積極的に連携を図っていくことが求められます。

中鉢：戦後の日本では、社会のニーズの大部分を産業界がカバーしていました。松下幸之助さんは、企業は社会の公器であり、その活動のご褒美として利益を頂くのだと言っていました。

ところが近年、産業界だけでは社会のニーズを十分にカバーできなくなりました。これからは、産業や経済のための科学ではなく、“社会のための科学”を根本に据えるべきです。大量生産・大量消費・大量廃棄に支えられた現代社会の繁栄は長くは続きません。持続可能な社会を確立していく必要があります。私たち産総研では、あるべき社会の姿の一つを資源循環・低炭素・自然共生社会であると考え、研究テーマを設定しています。**松本：**人類文明が滅亡しないように生き残りを懸けて、今、何をなすべきかを考えることが最も重要です。そこでは、私たちの価値観や世界観が問われます。

橋本：今、大きな社会変革の入り口に来ていることに、多くの研究者が気付いていません。将来の社会像を議論するときに、人文・社会科学の研究者と共に科学者・技術者も重要なプレーヤーとして参加しなければ、議論がおかしな方向に進んでしまう恐れがあります。そういう危機感を共有し、新しい役割が求められていることを多くの科学者・技術者たちに理解してもらうことが大切です。

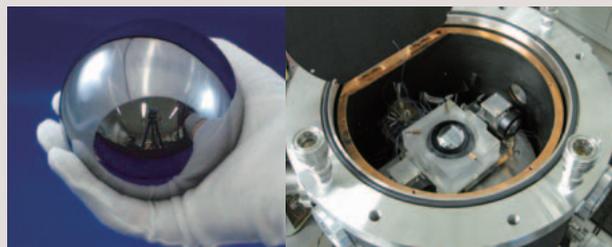
■ 基礎・基盤を支える

山根：研究の中には、何に役立つのかすぐには分からないものがありますね。そのような基礎研究から、未来の社会を大きく変える成果が生まれてきました。基礎研究を切り落とされては困ります。例えば、113番元素「nihonium（ニホニウム）」の発見は、今は何に役立つのか分かりにくいですが、新しい時代の科学技術につながる予感があります。

松本：すぐには役に立たないという意味で“基礎研究”と名付けているわけです。ただし、どのような基礎研究を進めるにしろ、どのような社会を目指すのかというビジョンを研究者が持っていなければ、社会からの支援は得られません。一瞬のうちに崩壊する113番元素をつくって何の役に立つのだ、という人がいます。しかし、そのような瞬間的に起きる核反応を理解することで、放射性廃棄物の処理に貢献することを目指している研究者がいます。基礎研究では、そのような展望も含めて情報発信していく必要があります。

山根：地味だけれども社会を支える基盤となる研究を続けることも国研の重要な役割ですね。NIMSでは、発電所などのボイ

3 法人が支える研究基盤の一例

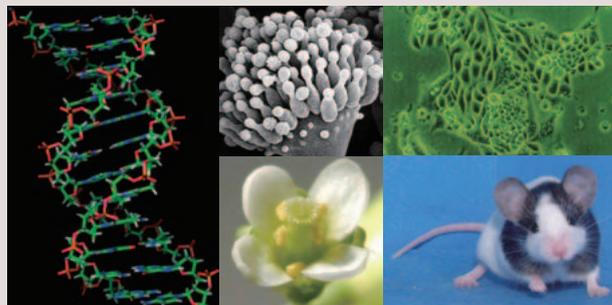


キログラムの再定義を目指すシリコン球と、その直径をサブナノメートルの精度で計測するレーザー干渉計 (産業技術総合研究所)



Photo by Nacasa & Partners Inc.

高温で引っ張り続けたときのひずみを精密に測定するクリープ試験に使われた試験片 (物質・材料研究機構)



生命科学の実験に欠かせない実験用マウス、植物、細胞、遺伝子、微生物の収集・開発・保存・提供 (理化学研究所)

ラーや圧力容器などに使う鋼の棒を40年以上も引っ張り続け、ひずみを高い精度で測定する“クリープ試験”を行っています。理研では、生命科学の実験に欠かせない微生物や細胞、マウス、植物といったバイオリソースを系統的に収集・維持・保存して、世界中の研究者に提供する事業を続けています。産総研では、活断層などの地質調査や、ものを測る基準となる計量標準の研究を続けています。今回、それらの現場を見せてもらいましたが、いずれも国研でなければできない取り組みだと、いたく感動しました。

松本：長期にわたり地道に粘り強く人材と資金をつぎ込むことで、初めて貴重な知識が人類にもたらされる仕事であり、科学技術や社会を根底から支える取り組みです。それを国研が担っていることを認識して、その意義を社会に広く伝えていくべきだと強く思っています。

中鉢：産総研では、地質調査と計量標準を知的基盤技術と位置付け、研究を続けてきています。

橋本：NIMSのクリープ試験は、日本の産業の信頼性を裏付ける基盤となっています。ただし、それによってすぐに論文をたくさん書けたり、特許が取れたり、学会で脚光を浴びたりするような研究ではありません。常に新しい成果を求められる経営者の立場からすると、切り捨てかねない地味な研究です。しかし、NIMSの歴代の経営者には見識があり、クリープ試験のような取り組みを切り捨てずに続けてきました。私も理事長に就任して、国研として守り続けなければならない研究があることを強く意識しました。一方で、変えていかなければいけないもの、新しい展開を図っていかなければいけない研究もあります。その仕分けを行うことが、経営者の重要な役目です。

■ 安定性と流動性を両立させ、

研究者の職業としての魅力を高める

山根：クリープ試験の現場などに、子どもたちを定期的に招いて教室を開いたらどうでしょうか。3法人には、理科に関心がなかった子どもでも、好奇心が触発される魅力的な研究現場がふんだんにあることを実感しました。

松本：それはとても大切なことですね。理研でも、一般公開などいろいろな機会を設けて子どもを対象にした情報発信を

行っています。ただし、科学に興味を抱いた子どもたちが、高校・大学へと進み、研究者を志したとき、研究環境・雇用システムは現状のままでよいのかどうか、課題が蓄積していると思います。

理研では9割の研究者が任期制で、平均5年ほどで転出していきます。準備期間と次のポスト探しの期間を除くと、実質3年間くらいしか腰を据えて研究ができません。これでは、基盤を支える長期的な研究はできません。また、独創的な研究に挑戦できないという不満が若手を中心にあります。そこで理研では任期を7年ないし10年に延ばしたり、安定した環境で研究に集中できる無期雇用を導入したりするなどの新しい人事制度を検討しています。一つの機関だけでできることもありますが、日本の大学や研究機関が全体で研究者の流動性と安定性を両立させたシステムを検討し、構築していくべきです。

橋本：特に若手研究者の育成システムに課題があります。若いころに複数の研究環境を経験することで、研究者として成長します。しかし近年、流動性の方に傾き過ぎて安定性が失われ、じっくり研究ができないという問題が生じています。一方で、国研は大学や産業界をつなぐ連携のハブとして、人材流動の拠



点としての役割が求められています。今回、特定法人に指定された3法人の間でも任期制と定年制の割合が異なります。これまでの経験や課題など、情報交換をしていきたいと思います。

中鉢：産総研で任期付研究員として成果を上げ、定年制研究者として採用した30代半ばの人たちに、これからやりたいことを聞くと、研究のことではなく、結婚したいとか、家を持ちたい、と返ってきました。かわいそうな気がします。任期付研究員としていくつかの機関を経験して、30代半ばでようやく安定した定年制のポストに就く。そこで初めて結婚やマイホームを検討するという状況は、職業として果たして魅力的かどうか。若い人の意見をきちんと聞きながら、人事制度を改革していくべきです。

松本：優秀な学生でも、先輩の研究者の暮らしぶりを見て、研究職を避けてほかの職種に進むといったことが実際に数多く起きています。

山根：NIMSでは研究者を募集すると、インドや中国など海外からの応募が殺到する一方、日本からの応募は減少傾向だと伺いました。

橋本：近年、それらの国々では人材育成に力を注ぎ、その投資額の伸びは、日本に比べて圧倒的に高い状況です。その成果の表れでしょう。日本人ばかりより、海外から多様な経験や考え方を持った人たちが集まり混じり合った方が、独創的な研究成果が生まれやすい環境となります。国籍にかかわらず日本の研究現場で活躍してくれる人材を増やすべきです。

ただし、日本人もしっかり育成する必要があります。研究職に応募してくる日本人について言うと、その数だけでなく、質も下がり気味であることは事実です。一方、私は長年、東京大学で教鞭を執ってきましたが、入学してくる学生の質は落ちていないと思います。優秀な若者が研究職ではない別の職種へ進む傾向があるのかもしれませんが、極めて大きな問題です。研究者の職業としての魅力を高めることは、私たちの重要な使命です。

研究の世界に競争を導入することは必要ですが、特に若手に対して過度に競争的環境を取り入れてしまったのではないかという議論は、政府の中核でも行われています。この機会に、国研の間でも流動性と安定性のバランスについてしっかりと議論し、主張していくべきです。

松本：トップレベルの学生の質は落ちていないかもしれませんが、日本全体で見ると質が落ちてると、私は思います。柔軟な思考力を持ち、新しいことに挑戦できる研究職に適した人材が減っているのではないのでしょうか。教育や人材育成に関する問題点を指摘するとともに、研究者の人事制度を率先して改善していく使命があると考え、理研の改革を進めています。

中鉢：産業界でもここ20年ほど、大学で育成される人材に満足していません。協調性やリーダーシップに不満を持っています。産総研では、博士課程を修了した人を30名ほど受け入れ、産総研と企業の両方の研究現場で1年間トレーニングを積んでもらい、協調性やリーダーシップを育み、社会へ送り出す取り組みを行っています。

橋本：若手研究者の人材育成でいえば、NIMSでは特定法人化の目玉として、優秀な若手に大きな研究費を与えて自分の責任で研究を進められるシステムの新設を計画しているところです。

山根：理研では、これまでも若手育成のさまざまな取り組みを進められてきましたが……。

松本：学位を取ったばかりの若手を雇用して自由な発想で研究に専念できるようにする基礎科学特別研究員制度や、大学と連携大学院制度を締結して大学院生を理研に受け入れる取り組みを、1980年代末に始めました。さらに、若手に研究室を主宰させる新しい制度を立ち上げようと思っています。世界中に募集をかけて少数の精鋭を選び出し、大きな研究費を渡して5年ないし7年間、自由に研究をさせる制度にする計画です。

■ 産学連携の新しい在り方を構築する

山根：連携の中核として、特定法人の目玉となる計画や目標は出ていますか。

橋本：国際競争力が強い日本の産業分野として、新素材を生み出す化学業界と、鉄鋼業界があります。その2分野について、同業の複数企業が参加して共同研究する拠点をNIMS内につくることを計画しています。ライバル企業であっても一緒に研究できる共通の課題や研究テーマを設定します。そして日本を代表する企業研究者に参加していただき、そこに大学やNIMSの



研究者も加わって研究を進めます。さらに、中小企業やベンチャー企業の人たちも参加できるようにしていきたいと思えます。そこが世界トップレベルの研究拠点に発展すれば、世界中から研究者が集まってくるはずですよ。

松本：近年、国立大学や国研は、国から支給される運営費交付金が毎年のように減額されており、財政基盤が弱体化しています。一方で産業界も、1社だけで基礎研究所を維持する余裕がなくなっています。企業に国研を活用してもらい、1社で基礎研究所を維持するよりも低コストで研究成果を得ていただく。国研は企業から相応の出資をしていただき運営に必要な資金を確実に得る。そのような新しい産学連携の在り方を築いていく必要があります。

中鉢：米国では、産業界と大学・国研との間で、予算と人の垣根がないに等しい状況です。一方、日本では、それぞれの混じり合いが非常に後れている点が、大きな問題です。

山根：以前、人工心臓を開発した米国ユタ大学の研究者を訪ねたとき、案内されたのは医療メーカーの建物でした。受付の人に聞くと、「あのドアの向こうが大学の建物です」と。企業と大学が廊下を隔ててつながっていることに驚きました。それが30年前の話です。

中鉢：日本の研究開発費は、GDP（国内総生産）比で4%弱です。そのうち政府の研究開発投資はGDPの1%弱で、残りは民間の研究開発費です。しかも、それぞれの資金と人材の行き来がほとんどありません。その間の交流をいかに活性化するかが、ナショナル・イノベーション・システムを築く上で根底にある課題です。それができなければ、日本の産業界も学術界も失速します。

産総研では、基礎研究の成果を産業界へ橋渡しする機能を強化していますが、それにより民間からの研究資金を2015年度からの5年間で3倍にすることを目標に掲げています。このため、産総研内に企業名を冠した研究室を設けるなどの取り組みを進めています。

橋本：第5期科学技術基本計画では、日本全体で産業界から大学・国研への投資を5年間で2倍にするという数値目標が設

定されています。一方、産業界も、日本経済団体連合会の会長が10年間で少なくとも3倍にすると発言されています。単純に計算すれば年間30%増、とても大きな目標です。

松本：産学連携には資金の問題だけでなく、科学の最先端の研究と、企業に必要な研究との間に相当なギャップがあるという課題があります。知的財産やノウハウ、人材などさまざまな切り口から徹底的に企業に理研を見ていただき、共同研究や技術移転につながっていくような新たな枠組みを考えており、すでにいくつかの企業との連携センターでその試みが始まっています。また、理研ではリサーチコンプレックス推進プログラム、イノベーションハブなども活用して産業界との連携を深めています。

山根：理研の研究基盤でいえば、大型放射光施設SPring-8やX線自由電子レーザー施設SACLA、スーパーコンピュータ「京」などが産業にどう役立つのか、企業側が十分には理解できていない面もあるのでは？

松本：産学の間で知識や理解の溝を埋めることも大きな課題です。

山根：最後に、特定法人の理事長として初めて迎える新年の抱負をお聞かせください。

橋本：私は内閣府の総合科学技術・イノベーション会議の議員としてナショナル・イノベーション・システムに関する政策や特定法人の制度設計に関わってきました。その後、実行する側のNIMS理事長に任命されました。目標を必ず達成しなければいけないという強い責任を感じています。

中鉢：国研27法人の中で3法人が選ばれたわけですから、それにふさわしい取り組みをしなければいけないという責任の重さを感じています。

松本：この時代に特定法人の理事長を仰せ付かった私たちは、それぞれが率いる法人だけでなく、社会に対して大きな責任があります。3法人でそれぞれの運営や改革に関する経験を共有し、ほかの国研とも連携しながら責務を果たしていきたいと思えます。

(取材・構成：立山 晃/フォトクリエイト、鼎談撮影：STUDIO CAC)

1999年、“走査型トンネル顕微鏡 (STM)” の技術に革命が起きた。原子スケールの解像度で電子状態の地図を安定的に描けるようになったのだ。新しいタイプの高温超伝導体や“質量ゼロの電子”が流れるトポロジカル絶縁体など、近年、物質の未知の機能が次々と見つかっている。物質の機能は電子の振る舞いが生み出す。創発物性科学研究センター 創発物性計測研究チームの花栗哲郎チームリーダー (TL) たちは、STMで電子状態の地図を描き、高温超伝導のメカニズムの解明や、物質の未知の機能を発見することを目指している。

STMで電子状態を見て 物質の未知の機能を探る

■ 超伝導研究から生まれたSTM

1986年、銅酸化物が30K (約-243℃) という、それまでにない“高温”で電気抵抗ゼロの超伝導になることが報告された。東京大学の研究グループがその実験の追試に成功したことで、超伝導となる転移温度がより高い物質を探す“高温超伝導フィーバー”が世界中で巻き起こった。

「当時、東北大学工学部の3年生だった私は、翌年に物性物理の研究室に入り、高温超伝導の研究で卒業論文を書きました。私は高温超伝導で卒業研究を行った第1期生です」

そう語る花栗哲郎TLは、その後も高温超伝導の研究を続けて研究者となり、1998年、高温超伝導研究の第一人者であった東京大学の北澤宏一教授の研究室の助手となった。「北澤先生は、高温超伝導とSTMの両方が分かるということで私を採用してくださったようですが、STMで観測をしていたのは私の妻です (笑)。私たち2人を知っておられた北澤先生は混同されたのでしょうか (笑)。私は妻に教わりながらSTMを使った観測を始めました」

STMでは、探針と呼ばれる細い針を試料表面から1nm (10億分の1m) ほどの距離に近づけて、探針と試料間に電圧をかける。すると“トンネル電流”と

いう特殊な電流が流れる (図1左)。トンネル電流の大きさは、探針から試料表面までの距離に応じて敏感に変化する。探針を表面に沿って動かし、トンネル電流が変化ないように探針を上下させると、探針の高さの軌跡は、試料表面の凹凸を原子スケールで正確になぞったものとなる。

このSTMを1982年に発明したH. Rohrer博士とG. Binnig博士には、1986年にノーベル物理学賞が贈られた。「STMは試料表面の原子を見ることができ、画期的な装置として普及しました。それは現在でも重要なものですが、Rohrer博士たちはもともと、超伝導体

の局所的な電子状態を見るためにSTMを開発したそうです」と花栗TLは解説する。

STMの探針の直下にある試料表面の電子状態によってトンネル電流の流れ方が変わる。試料表面から一定の距離に探針を固定して、探針と試料間の電圧を変えながら、どれくらいトンネル電流が流れるかを測定すれば、試料表面のどこに、どれくらいのエネルギーを持つ電子が、どれだけあるのかが分かる。こうして原子スケールの解像度で電子状態の地図を描くことができる。そのような手法を、“分光イメージングSTM (SI-STM)” と呼ぶ (図1右)。

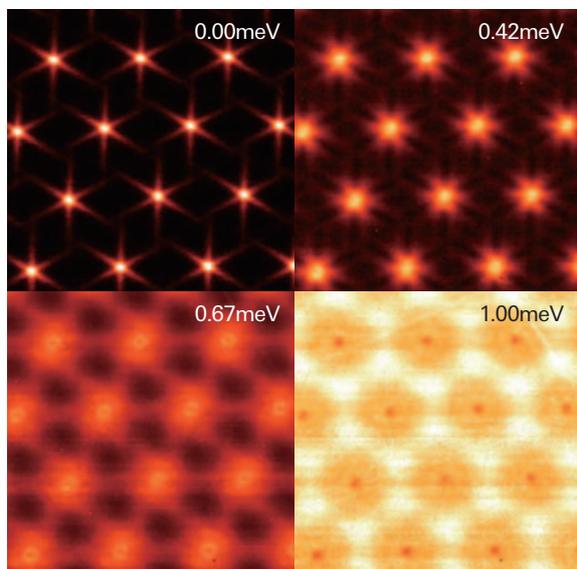
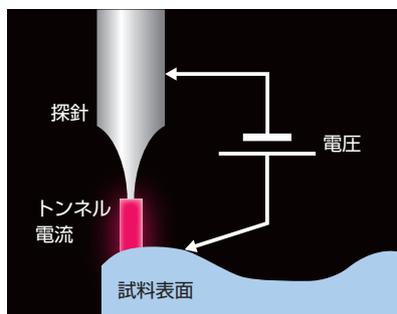
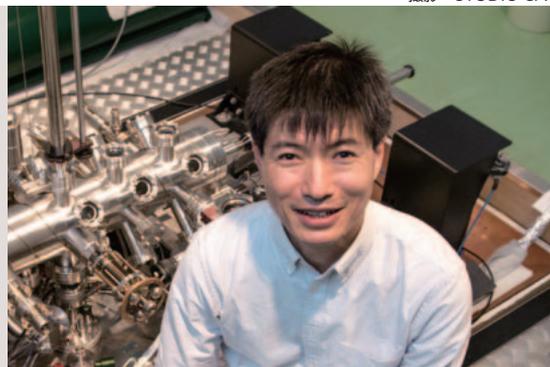


図1 分光イメージングSTM (SI-STM)
走査型トンネル顕微鏡 (STM) では、探針を試料の表面から1nmほどの距離に近づけて電圧をかける。するとトンネル電流が流れる (左)。1カ所ずつ電圧を変えながらトンネル電流を測定することで、どこに、どれくらいのエネルギーを持つ電子が、どれだけあるのか、電子状態の地図を描き出すことができる。画像は、超伝導体に強い磁場をかけたときに形成される“磁束格子”で、さまざまなエネルギーの電子状態を可視化したもの。

花栗哲郎 (はなぐり・てつお)

創発物性科学研究センター
強相関物理部門 創発物性計測研究チーム
チームリーダー

1965年、東京都生まれ。博士(工学)。東北大学大学院工学研究科応用物理学専攻博士課程修了。東京大学教養学部 助手、同大学院新領域創成科学研究科 助教授などを経て、2004年、理研 先任研究員。2013年より現職。



「電子状態の地図を描くには、何日もかかります。その間に、探針が試料表面に触れてしまうとアウト。振動などの乱れがあっても、探針と試料表面の距離が一定に保たれるような機械的に強固な構造をつくるのが難しく、SI-STMの技術は実用的なレベルになかなか達しませんでした」

1999年、ブレイクスルーが起きた。「米国カリフォルニア大学バークレー校のJ. C. Davis博士の研究グループにいた中国出身のS. H. Pan博士が、探針を制御する画期的な技術を発明しました。それにより、STMで電子状態の地図を安定的に描けるようになりました」

花栗TLは2003年7～12月、コーネル大学に移ったDavis博士の研究グループのもとで、その技術を学んだ。「Davis博士が測定したいと思っている珍しい試料を私たちが持っていました。私はその“付属品”として米国に行き、試料を提

供する代わりにSTMで電子状態の地図を描く技術を教えてもらったのです」

■ 位相を見て、 高温超伝導の仕組みを解く

「2004年、理研に移った私は、STMの図面をひたすら描き、装置の中核部は自分たちで部品から組み上げ、電子状態の地図を描けるようになりました」(図2)

高温超伝導のメカニズムは、発見から30年以上たった現在でも完全には解明されていない。花栗TLたちはSI-STMにより、その謎を解明しようとしている。

超伝導は、1911年に水銀が4K(約-269℃)で電気抵抗がゼロになることで発見された。水銀のような金属では、原子から一部の電子が離れたプラスイオンがつくる結晶格子の間を、電子が自由に動き回っている。そこに電圧をかける

と、電子が一方へ動きだして電流が流れる。ただし、電子は物質中の不純物などに邪魔される。それが電気抵抗だ。

金属に起きる超伝導のメカニズムは、1957年にJ. Bardeen, L. N. Cooper, J. R. Schriefferの3博士が説明して、彼らは1972年にノーベル物理学賞を受賞した。その理論は、3博士の名前の頭文字を取って“BCS理論”と呼ばれる。

電子は、粒子と波の性質を併せ持つ。量子力学では電子を波(波動関数)として記述する。波の大きさを“振幅”、波の山や谷の位置を“位相”という。超伝導状態では、ばらばらに動き回っていた電子がペア(クーパー対)を組み、全てのクーパー対の位相がそろい、一つの波のようにまとまって動く。すると、不純物などに邪魔されずに電流が流れる。

マイナス電荷の電子同士は反発し合うはずなのに、どのような仕組みでペアを組むのか?それが超伝導が起きる仕組みの最大のポイントだ。

マイナス電荷の電子が動くと、結晶格子をつくるプラスイオンが引き付けられて振動し、プラス電荷が強い場所ができる。そこに別の電子が引き付けられる。このような結晶格子の振動により電子がペアを組む、とBCS理論は説明する。

「ところが銅酸化物の高温超伝導は、それとは異なる仕組みでペアができています。電子が持つ磁性(スピン)が関係しているという点では一致していますが、詳細については、研究者の間でいまだに意見が一致していません」

「金属と銅酸化物の超伝導では、電子のペアを結び付ける力の性質にも大きな

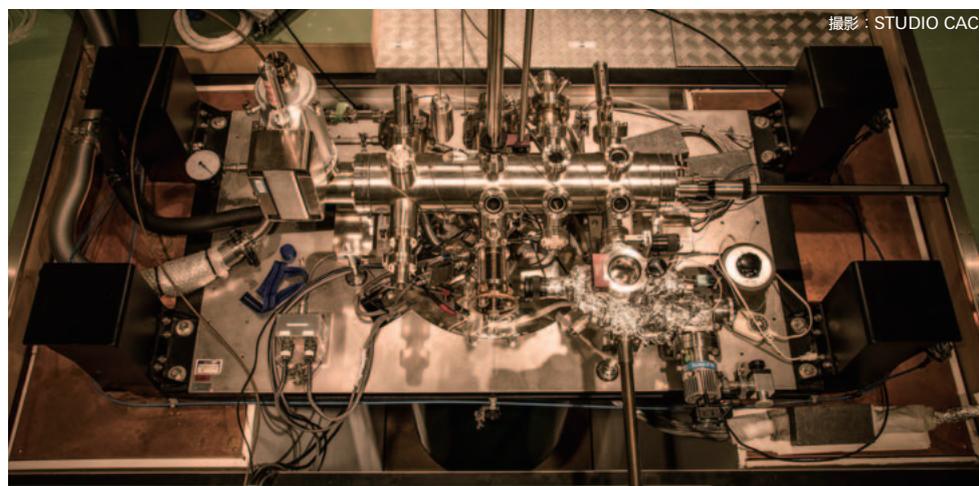


図2 創発物性計測研究チームの最新STM

試料に磁場をかけるための磁石が床下にある。「先端の曲率が10nmほどの探針を、自分たちでつくります。ただし、そのようなとがった探針をつくるための“レシピ”はなく、今でも試行錯誤しています」と花栗TL。

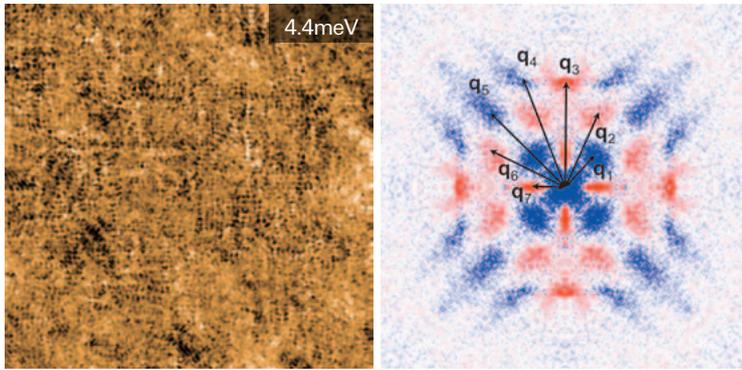


図3 銅酸化物高温超伝導体のSI-STM画像

左がSI-STMで捉えた銅酸化物高温超伝導体の電子状態。電子の波が結晶中の欠陥によって散乱して干渉し合っている。右はフーリエ変換した画像で、11テスラの磁場をかけたときのデータから磁場がないときのデータを差し引いたもの。磁場によって波の成分の強度が増加した部分を青、減少した部分を赤で示しており、クーバー対の位相が反転していることを表している。

違いがあります」と花栗TLは続ける。「イメージしにくいのですが、銅酸化物では運動方向によってペアを結び付ける力が変わります。ある方向に進むペアは強い力で結び付けられているが、その45度の角度の方向に進むペアには結び付ける力が働かない、といったことが起きています。その性質は位相に関係しています。一方、金属の超伝導にはこのような方向による違いはなく、位相も関係していません」

「私がこれまで進めてきたSI-STMを使った研究の最大の成果は、電子の波の位相を調べる方法を確立したことです」と花栗TL。「放射光やレーザーなどの光で電子状態を調べる手法がありますが、位相を調べることはできません。今まで調べることができなかった位相をSI-STMで見ることによって、高温超伝導のメカニズムに迫ることができます」(図3)

■ 室温超伝導は可能か？

高温超伝導のメカニズムを解明できれば、転移温度がより高い物質を設計する上で大きなヒントが得られる。超伝導研究の最大の目標は、大気圧・室温で電気抵抗がゼロになる物質をつくることだ。それによりエネルギーロスのない送電や電力貯蔵などを実現してエネルギー問題の解決に大きく貢献できる。

「電子のペアを結び付ける力が強いほど転移温度は高くなります。BCS理論が説明する超伝導では、振動しやすい軽い元素から成る結晶格子の間隔を縮めることで、電子のペアを結び付ける力が強くなります。最も軽い元素である水素を

400万気圧以上で圧縮すると、転移温度は室温をはるかに超えるという理論予測があります」

2015年、150万気圧で硫化水素を圧縮すると、それまで銅酸化物が持っていた転移温度の最高記録より30度以上高い203K(約-70℃)で超伝導になるという実験結果が発表された。

「ある物質に特定の波長のレーザーを当てると、1兆分の1秒という極めて短い時間だけ室温超伝導が実現しているという報告もあります。それについては半信半疑ですが、そのような特殊な条件により普通ではあり得ない結晶構造を生み出し、高い転移温度を実現するさまざまな実験が進められています。それらの特殊な条件で起きる超伝導をSI-STMで直接観測することは難しいのですが、さまざまな変わった性質を持つ超伝導体の電子状態をSI-STMで見たい、という依頼がしばしば来ます。その電子状態を解明して、特殊な条件にしなくても転移温度が高い超伝導体を設計するための指針を示すことを目指しています」

■ “質量ゼロの電子”が流れるトポロジカル絶縁体

花栗TLたちは、SI-STMでトポロジカル絶縁体の性質を調べる実験を進めている。トポロジカル絶縁体は、トポロジーという幾何学を取り入れた物性理論により2005年にその存在が予測され、2007年に実験で確かめられた。トポロジカル絶縁体の大きな特徴は、物質の内部は電気を通さない絶縁体であるにもかかわらず、表面では“質量ゼロの

電子”が流れることだ。

本来、電子は陽子の1,836分の1ほどの質量を持つ。ところがトポロジカル絶縁体の表面では、電子は質量ゼロの粒子として振る舞うのだ。「現在では、いくつかの物質で質量ゼロの電子が流れる現象が報告されていますが、トポロジカル絶縁体の質量ゼロの電子には、スピンの向きを操作しやすいという特徴があります」と花栗TLは指摘する。

スピンとは自転に似た性質だ。自転は右回りと左回りがあるように、スピンの向きもある。多くの電子スピンの向きがそろっていると、その物質は磁性を持つ。電子のスピンは微小な磁石だといえる。

従来のエレクトロニクスでは、電子が持つ電荷とスピンのうち、主に電荷の性質が利用されてきた。例えば、コンピュータでは、トランジスタに電流が流れるか流れないかを1と0に対応させて計算を行っている。そのトランジスタなどの素子を微細化することで、コンピュータの高集積化・高速化が実現されてきた。しかし、それも限界に近づいているといわれている。そこで、電子の電荷に加えて、スピンも情報処理に利用する“スピントロニクス”の研究が進められている。

「質量ゼロの電子は、電気抵抗を受けにくいという性質があります。またトポロジカル絶縁体に流れる質量ゼロの電子は、スピンの向きが運動方向と垂直に、物質表面とは平行に固定されています。電子の運動を操作することでスピンの向きも操作することができるはずで、それがほかの物質に流れる質量ゼ

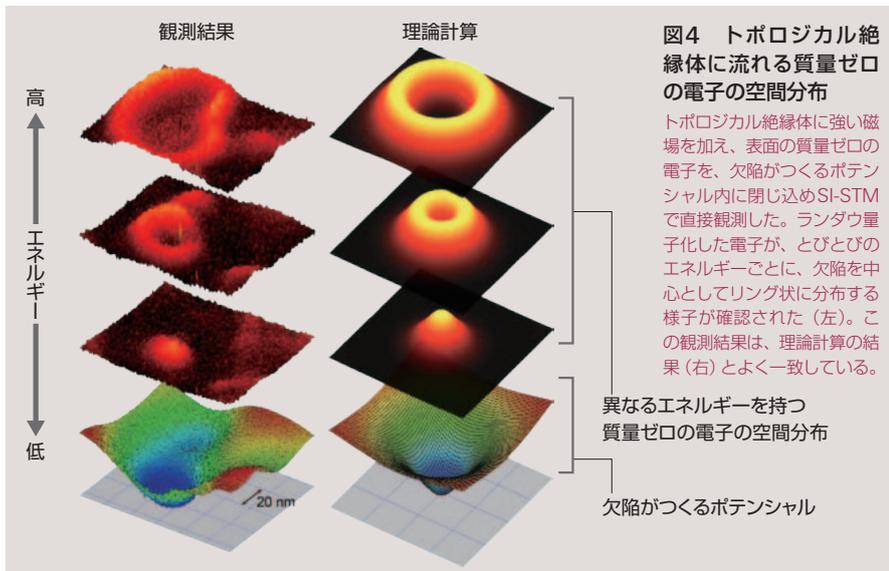


図4 トポロジカル絶縁体に流れる質量ゼロの電子の空間分布

トポロジカル絶縁体に強い磁場を加え、表面の質量ゼロの電子を、欠陥がつくるポテンシャル内に閉じ込めSI-STMで直接観測した。ランダウ量子化した電子が、とびとびのエネルギーごとに、欠陥を中心としてリング状に分布する様子が確認された(左)。この観測結果は、理論計算の結果(右)とよく一致している。

異なるエネルギーを持つ質量ゼロの電子の空間分布

欠陥がつくるポテンシャル

関連情報

- 2016年5月27日プレスリリース
高温超伝導体の2つの顔
- 2016年2月24日プレスリリース
質量のないディラック電子の磁気モーメントを精密測定
- 2014年9月15日プレスリリース
質量のないディラック電子の空間分布の観測に成功
- 2010年4月23日プレスリリース
鉄系高温超伝導体の超伝導機構解明に決定的な手がかり

子同士が強く相互作用する“強相関電子系”と呼ばれる物質の一種です。身近なところでは磁石も強相関電子系の仲間です。強相関電子系では、電子1個ずつの性質からは予測できない現象が起きます。理論によって、強相関電子系の電子状態を高い精度で計算することや機能を予測することは困難です。そこで観測が重要になります。私たちはSI-STMでの観測により、物質の未知の機能を発見することを目指しています

トポロジカル絶縁体は強相関電子系ではない。「だから、ほとんどの特徴が理論で予測されているのです。実験家としては、それでは面白くありません。元素周期表の右下に位置する重い元素ビスマスなどを含む物質が、トポロジカル絶縁体となります。元素周期表の中央付近にある遷移元素の中でも重い元素であるイリジウムなどを含む物質は、トポロジカル絶縁体と強相関電子系の性質を併せ持ち、予想外の現象が起きると期待されています」

物質の未知の機能を探索するための重要な手法であるSI-STMだが、その観測を行っているのは世界でも5~6カ所だ。「日本では理研の私たち以外にはほとんどありません。世界、特に中国や韓国では、世界トップの研究グループで技術を学んだ若い研究者が母国に戻り、SI-STMによる観測を進めています。SI-STMの基本技術はほぼ確立し、普及・成長期に入りました。日本でも、多くの研究者がSI-STMに興味を持ち、参入することを期待しています」

(取材・執筆：立山 晃／フotonクリエイト)

口の電子にはない特徴です。このためトポロジカル絶縁体は、スピントロニクス材料として大いに期待されています」

ただし、材料として利用するには、トポロジカル絶縁体に流れる質量ゼロの電子の特徴を詳しく調べる必要がある。「SI-STMは試料表面の電子状態しか見ることができないという弱点がありますが、トポロジカル絶縁体の表面に流れる質量ゼロの電子の測定には向いています」

トポロジカル絶縁体の“個性”を発見

「光を使って電子状態を見る手法では試料に磁場をかけることはできませんが、SI-STMならばそれが可能です。磁場をかけることで電子の特徴を際立たせることができます」と花栗TL。

磁場をかけると電子は円運動(サイクロトロン運動)を行う。そのときの電子の取り得るエネルギーは、とびとびの値になる。「この現象を“ランダウ量子化”と呼びます。ランダウ量子化により、質量ゼロの電子も異なるエネルギーを持ちます。エネルギーごとに空間分布を観測することで、質量ゼロの電子の特徴(波動関数)が分かります」

花栗TLたちは、磁場をかけたトポロジカル絶縁体Bi₂Se₃(Bi: ビスマス、Se: セレン)に流れる質量ゼロの電子の空間分布を直接観測することに成功した。「その観測結果は、理論計算で描き

出した分布とよく一致しました」(図4)

「トポロジカル絶縁体の問題点は、謎が少ないことです。その特徴のほとんどが理論で予言されていて、実験で予想外の現象を発見しにくいのです」。そう語る花栗TLたちは、理論では予言されていなかったトポロジカル絶縁体の“個性”を発見した。

「質量ゼロの電子を制御して情報の記録や計算に利用するには、磁力の大きさと向きを示す磁気モーメントの情報が必要で。ところがこれまで、トポロジカル絶縁体の質量ゼロの電子の磁気モーメントを精密に測定できる手法はありませんでした。私たちはSI-STMを使ってそれを精密に測定する手法の開発に成功しました」

その新手法を用いて、Bi₂Se₃とSb₂Te₂Se(Sb: アンチモン、Te: テルル)という2種類の異なるトポロジカル絶縁体について、質量ゼロの電子の磁気モーメントと運動速度を測定してみた。「すると、運動速度はほとんど同じでしたが、磁気モーメントは大きさも方向もまったく異なることが分かりました。その違いをもたらす起源はよく分かっていません。その謎を解くことで、トポロジカル絶縁体をスピントロニクスに応用する上で重要な知見が得られるはずですよ」

物質の未知の機能を探索する

「高温超伝導を起こす銅酸化物は、電

理研 仁科加速器研究センター 超重元素研究グループの
 森田浩介グループディレクター（GD、九州大学大学院理学研究院 教授）を中心とする
 研究グループ（森田グループ）が発見した113番元素の元素名と元素記号が決定した。nihonium（ニホニウム）とNhである。
 この決定により、元素周期表に日本発の元素が加わった。欧米以外の研究グループが
 発見・命名した元素名・元素記号が元素周期表に載るのは、史上初である。
 ニホニウムの発見は、いかに成し遂げられたのか。そして、次は何を狙うのか。
 森田GDと共に113番元素実験の中核を担ってきた、超重元素分析装置開発チームの
 森本幸司チームリーダーと加治大哉 仁科センター研究員に聞いた。

113番元素の名前が「nihonium」に決定

■ 挑戦は1980年代初頭に始まった

——113番元素の元素名は、どのように決めたのでしょうか。

森本：前から決めていたのですか、とよく聞かれるのですが、違います。日本発だから日本に関係する名前がいいかな、という話は関係者でしていました。2015年12月31日に私たちが命名権を獲得し、その後、森田さんが113番元素に関わる4本の論文の著者全員に「元素名の候補を決める会議をします」というメールを送り、20人くらいが集まりました。会議ではいくつか案が出ましたが、最後は全会一致で、元素名「nihonium（ニ

ホニウム)」、元素記号「Nh」を候補とすることに決まりました。その提案を2016年3月に国際純正・応用化学連合（IUPAC）に提出し、一般から意見をもらう5カ月間のパブリックレビューを経て、11月30日に正式に決定したと発表されました（図2）。

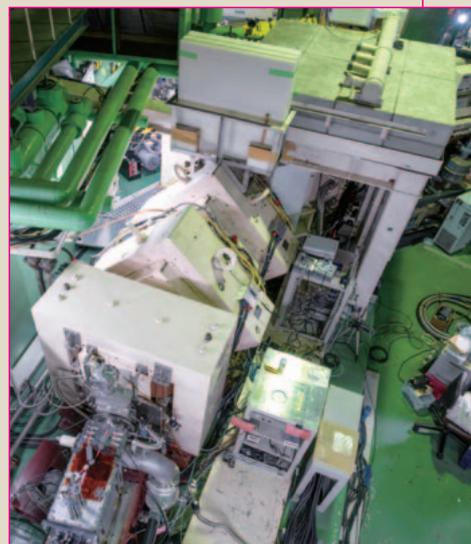
——ここに至るまでの道のりをお伺いしたいと思います。113番元素の合成実験は、いつから始まったのでしょうか。

森本：2003年9月ですが、それまでには紆余曲折がありました。原子番号104番以降の重い元素を“超重元素”と呼び、その超重元素の合成実験に向けて理研が準備を始めたのは1980年代

図1 113番元素「ニホニウム」を合成した装置群

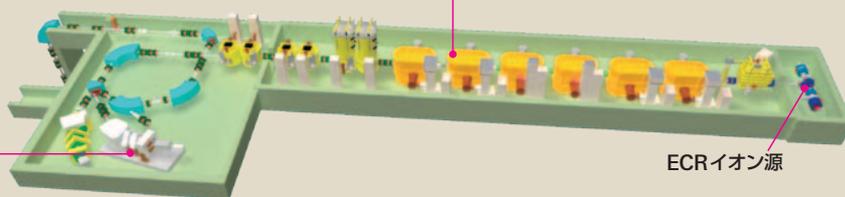
気体充填型反跳分離器 GARIS

双極子電磁石で粒子の軌跡を曲げることで不要な粒子を取り除き、四重極電磁石は粒子を収束させ、113番元素の原子核を効率よく検出器へと導く。内部はヘリウムガスで満たされている。113番元素の原子核は、さまざまな電荷を持ったイオンの状態で飛び出す。原子核がヘリウムガスと衝突を繰り返しながら電子をやりとりして、電荷が平均的な値を取るようになる。その結果、原子核の曲がり方が一定の範囲内に収まり、効率よく検出器に導くことができる。

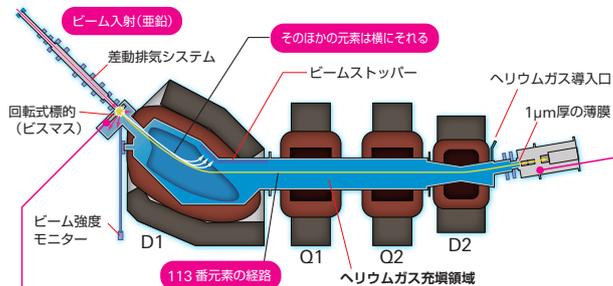


重イオン線形加速器 RILAC

ECRイオン源から1秒間に2兆4000億個の鉛の原子核を撃ち出し、RILACで光速の10%まで加速する。



GARISの仕組み



標的
 亜鉛の原子核ビームを、厚さ0.5μmのビスマスの標的に照射する。強力なビームで標的が溶けないように、円盤上に並べて毎分3,000回転以上で回す。亜鉛の原子核とビスマスの原子核が核融合反応を起こして、113番元素の原子核が合成される。

飛行時間検出器と半導体検出器
 飛行時間検出器と半導体検出器で、入ってきた粒子の速度やエネルギーを計測する。その値から質量を計算し、113番元素かどうか分かる。半導体検出器は、113番元素が崩壊するときに出るα粒子などを計測する。



仁科加速器研究センター 超重元素研究グループ 超重元素分析装置開発チームの森本幸司
チームリーダー（右）と加治大哉 仁科センター研究員（左）

初頭です。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て核融合反応を起こすことで人工合成します。当時、「理研リングサイクロトロン（RRC）」の建設が始まっていました。そして、超重元素分析装置の開発という使命を帯びて理研に来たのが、森田さんです。1984年でした。

加治：森田さんを中心に開発された基幹装置が、「気体充填型反跳分離器（GARIS）」です。RRCが1986年12月に完成し、その下流のビームラインにGARISを設置して、翌1987年から実験が始められました。

森本：しかし、RRCで加速できる原子核ビームの最低エネルギーが超重元素合成をするには高く、強度も弱かったため、厳しい状況でした。重い元素の新同位体（原子番号は同じで質量数が異なる原子）の合成などをやっていたと聞いています。

1999年、米国のローレンス・バークレー国立研究所が118番元素を発見したと発表しました。その論文によれば合成確率がとても高く、理研の施設でも合成できそうだということで、検証実験をやることになりました。私はその実験から加わっています。しかし、いくら実験しても118番元素は合成できない。結局、その論文は捏造であることが判明しました。

理研の超重元素実験に大きな転機が訪れたのは、2000年です。「超伝導リングサイクロトロン（SRC）」を建設することが決まり、GARISの設置されている場所がビームの通り道になるため、GARISを移動しなければいけなくなったのです。そこで、GARISを「重イオン線形加速器（RILAC）」の下流に移動することにしました（図1）。それまでRILACだけでは、加速できる原子核ビームのエネルギーが低く、超重元素の合成は不可能でした。しかし、RILACに加速タンクが増設され、エネルギーも強度も超重元素の合成にちょうどよくなっていたのです。

加治：私は、2001年からこの研究に携わっています。GARISを移動している最中で、移設先の部屋に電磁石が4個、ドンと置いてある状態でした。

森本：2001年当時、112番元素まで発見されていたので、113番元素の合成を目指すことに。しかし、すぐ113番元素ではなく、108番、110番、111番と順番に経験を積み、2003年9月くらいよいよ113番元素の合成実験を開始したのです。このとき112番を飛ばしたのは、ドイツ重イオン科学研究所が113番元



森田浩介

理研 仁科加速器研究センター
超重元素研究グループ
グループディレクター
九州大学大学院理学研究院 教授

私たちの提案した元素名「nihonium（ニホニウム）」、元素記号「Nh」が認められ、正式決定したことを大変うれしく思っております。日本発、アジア初の元素名が、人類の知的財産として将来にわたり継承される周期表の一席を占めることになりました。研究グループの代表として大変光栄に思います。

基礎科学には、発見当時は思いもつかないようなものが、後に多大な恩恵を人類にもたらした例が数多くありますが、日々の生活や産業に即時に直接的な恩恵を与えることはまれです。このような長期的で地道な基礎科学研究を支援して下さった国民の皆さま、そして研究所と関係府省の皆さまに、あらためて感謝致します。ありがとうございます。

素の合成実験を8月から始めたという情報が入ったためです。

■ 不要な粒子を取り除く分離器が成否を分ける

——113番元素は、どのように合成し、検出するのでしょうか。

森本：113番元素とは、原子番号つまり陽子の数が113個の元素です。113番元素を合成するには、陽子の数の合計が113になる2種類の元素を衝突させればいいのです。私たちは、原子番号30の亜鉛の原子核を加速器で光速の10%まで加速させたビームを、原子番号83のビスマスの標的に照射しています。

超重元素の寿命は非常に短く、放射性崩壊を起こしてほかの元素へ変化していきます。崩壊過程で放出される α 粒子（中性子2個と陽子2個で構成）などを半導体検出器（表紙）で捉えます。崩壊を繰り返して到達した元素からさかのぼることで、検出器に入ってきた原子核が陽子をいくつ持っていたか、つまり原子番号が分かるのです。このとき崩壊と無関係な粒子がたくさん検出器に入ってきてしまうと、肝心の113番元素の崩壊過程を詳細に捉えることができません。いかに不要なものを取り除き、目的の原子核を効率的に検出器に導くことができるか。つまり分離器の性能が、新元素発見の成否を分けるのです。

加治：理研のGARISは、2個の双極子電磁石と2個の四重極電磁石で構成されています（図1）。双極子電磁石は荷電粒子の軌道を曲げて計測上妨害となる粒子を取り除く役割を、四重極電磁石は目的とする超重元素の原子核を検出器へと収束させる役割を果たします。GARISの特徴は、合成された113番元素の原子核の軌道の一つ目の双極子電磁石によって大きく45度曲げることで、不要な粒子を一気に取り除くことができる点にあります。さらに、2個の四重極電磁石を通すことで、広がっ

47 銀 Ag	48 カドミウム Cd	49 インジウム In	50 スズ Sn	51 アンチモン Sb	52 テルル Te	53 ヨウ素 I	54 キセノン Xe
79 金 Au	80 水銀 Hg	81 タリウム Tl	82 鉛 Pb	83 ビスマス Bi	84 ポロニウム Po	85 アスタチン At	86 ラドン Rn
111 レントゲニウム Rg	112 コペルニシウム Cn	113 ニホニウム Nh	114 フレロビウム Fl	115 モスコビウム Mc	116 リバモリウム Lv	117 テネシン Ts	118 オガネソン Og

図2 元素周期表（一部）

元素周期表の原子番号113番の位置に元素名「nihonium（ニホニウム）」と元素記号「Nh」が載る。今回、115番、117番、118番の元素名と元素記号も決定し、それぞれモスコビウム（Mc）、テネシン（Ts）、オガネソン（Og）と命名された。

た113番元素の原子核を80%という大効率で検出器に集めることができます。GARISの分離・収集能力は、世界最高です。

——113番元素はどのくらいの確率で検出できるのでしょうか。

森本：計算では、200日間連続照射して1個検出できるくらいです。ただし、ビームのエネルギーや分離器の設定値などの条件がずれてしまっていたら、いくら待っていても検出できません。加速器を運転するスタッフの皆さんが、実験条件が一定になるように細心の注意を払ってくれています。さらに森田さんと加治さんと私、そして実験に協力いただいている大学の大学院生など合計10人ほどが12時間ずつのシフトを組んで、計測室のモニターで常時監視して、加速器や検出器の条件にずれが見つかったらすぐに調整するようにしました。

■ 3個の113番元素の合成に成功

——2004年7月23日に初めて113番元素の合成に成功しました。その後、2005年4月2日、2012年8月12日にも合成に成功しています。そのときは、どのような気持ちでしたか。

森本：一番うれしかったのは、やはり1個目ですね。

加治：113番元素を検出したことを示す“窓”が開いていることに最初に気付いたのが、森本さんでしたね。

森本：そうなんです。飛行時間検出器で、粒子の速度やエネルギーからその質量を計算しています。質量から113番元素であると判定されるとモニター上に窓が開く遊び心のあるプログラムを、加治さんとつくってあったのです。1個目の合成に成功したとき、森田さんが当番でした。私は別の部屋での作業を終えて、あいさつして帰ろうと計測室に行ったのです。ふとモニターを見ると、窓が開いている。見た瞬間に本物だと分かる表示でした。全身がしびれる感じがしました。

2個目の合成に成功したときの当番は、東京大学原子核科学研究センターの研究者だった井手口栄治さん（現 大阪大学核物理研究センター准教授）でした。次の当番になっていた私が行くと、井手口さんが「窓が開いたのですが……」と遠慮がちに言うのです。一緒に確かめてみると、本物でした。

3個目の合成に成功したのは2012年8月12日ですが、分かったのは8月18日でした。1個目と2個目はリアルタイムの自動解析で見つかりましたが、自動解析を擦り抜けてしまうこともあ

るので、全てのデータを蓄積しておき、後日、解析しています。たまっていたデータを東京理科大学の大学院生だった住田貴之さんが解析していて気付いたのです。

——加治研究員は、窓が開いたところを見ていないのですか。

加治：2004年4月から始めた112番元素の実験では、夜中にその瞬間を目撃しました。113番元素の1個目のときは、前日が夜の当番だったので早めに帰って家で夕飯を食べていたときに電話が来ました。窓が開いたとしても、半導体検出器のデータを解析して111番、109番、107番、105番と崩壊していったことを確認しなければ、それが113番元素であると確定できません。もう解析は終わってしまったかなと思いながら理研に戻ると、まだ107番まででした。その続きの解析をドキドキしながら行いました。2個目のときは、次のシフト当番が私だったんです。そして3個目のときは、住田さんが気付いた前の日に、私もたまっていたデータを解析していました。8月11日分までの全てのデータを解析して帰り、翌日は休みを取っていました。3個目は、その次の日に合成されていた……。

■ 命名権獲得までの長い道のり

——どのようにして命名権の獲得に至ったのでしょうか。

森本：国際純正・応用化学連合（IUPAC）から数年に一度、新元素を発見したグループは申し出なさいというコールが掛かります。その申請をIUPACと国際純粋・応用物理学連合（IUPAP）が合同で審議し、新元素を発見したグループが認定され、命名権が与えられるのです。1個目の2004年のときは直前にコールが締め切られていました。次のコールは2006年で、私たちは2個の113番元素のデータを提出しました。

加治：113番元素は α 崩壊を3回起こして原子番号107のボーリウムに到達するのですが、当時は数例しか報告がないため既知の元素であると認められない可能性もありました。そこで、ボーリウムを自分たちでたくさん合成して既知の元素であることを示そうとセンター長に提案し、実験を行いました。

森本：2009年までにボーリウムを約20個合成することに成功し、追加の証拠として提出しました。認定には至りませんでした。113番元素を発見したと主張していたロシアと米国の共同グループにも決まらなかったのが、ほっとしました。

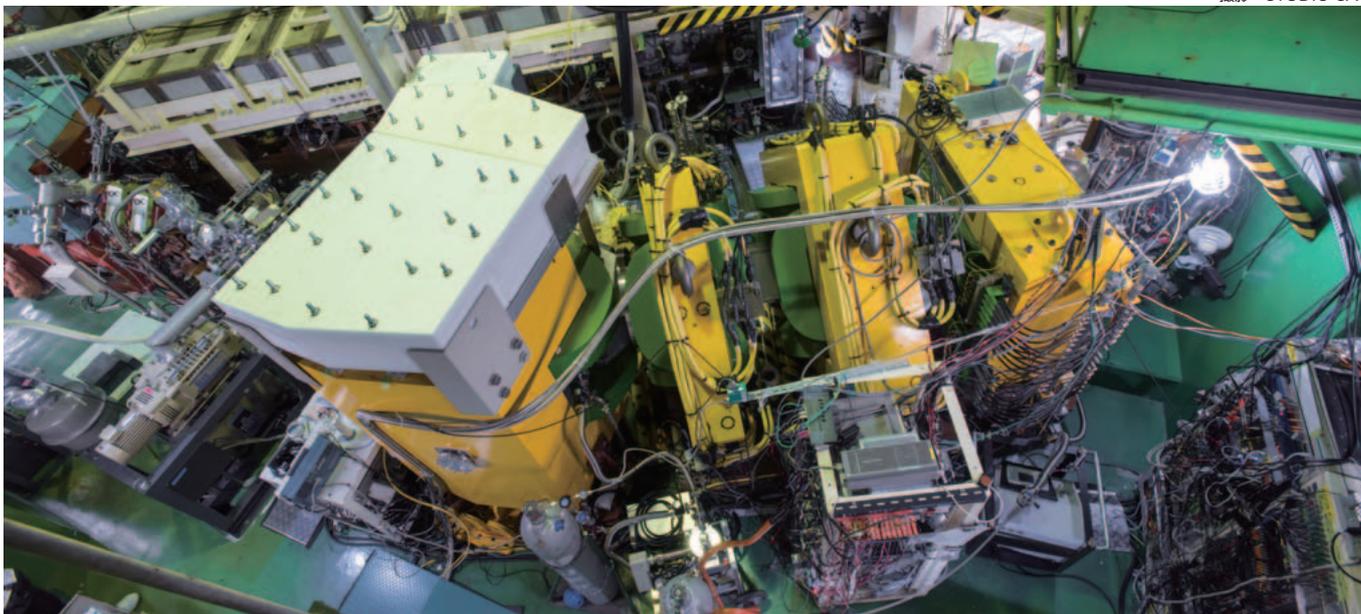


図3 気体充填型反跳分離器 GARIS-II

双極子電磁石2個と四重極電磁石3個で構成され、内部はヘリウムと水素の混合ガスで満たされる。電磁石は愛媛県の新居浜でつくられた。愛媛にちなんだ色ということで、電磁石は伊予柑の実の黄色と葉の緑色、ベースとなる土台は幹の茶色で塗られている。

——ロシアと米国の共同グループの実験との違いは。

森本：私たちは、合成したものが新元素であることを証明するには、崩壊して既知の元素にたどり着くことが重要だと考えました。だから亜鉛とビスマスを使っているのです。一方、ロシアと米国の共同グループは、115番と117番元素の合成に成功し、113番元素はその崩壊過程にあるから、113番元素の発見者も自分たちであると主張しました。既知の元素に到達していませんが、同様の論理で発見者として認められた116番と114番の例があるので、ぎりぎりの勝負だと感じていました。

次のコールが2012年5月にあり、2個の113番元素とボーリウムのデータを提出しました。合成実験も続け、2012年8月12日に3個目の合成に成功しました。崩壊過程が前の2個とは異なっており、113番元素発見のより強固な証拠になります。締め切りは過ぎていましたが、追加の証拠として提出しました。

——そして2015年12月31日、森田グループが発見した113番元素が新元素であることが認定され、命名権が与えられました。

加治：ほっとしました。崩壊して既知の元素に到達するという私たちの方針を評価してもらえたことが、うれしかったです。

■ 119番元素合成を目指す

——今後はどのような実験を計画しているのですか。

加治：GARIS-IIの開発はすでに終了し、新元素探索実験ができる状況になっています(図3)。GARIS-IIでは粒子を収束させるための四重極電磁石がGARISより1個多くなっていますが、装置の全長は短くコンパクトになっています。その効果によって、目的の原子核を検出器に集める効率は、GARISの約2倍に向上しています。標的も2倍厚いものがあるので、衝突確率は2倍に増えます。両方の効果を合わせると目的の原子核をGARISの4倍も検出できるというのが、GARIS-IIの利点です。

——次のターゲットは。

森本：現在は118番元素まで発見されているので、119番、120番を目標にしています。ただし、まずは118番に挑戦します。標的に原子番号96のキュリウム、ビームに原子番号22のチタンを使います。チタンのビームを出すことは難しく、フランスの研究グループとの共同研究を行い加速が可能となりました。119番元素はバナジウム、120番元素はクロムのビームを、それぞれキュリウムの標的に照射する計画です。原子番号89から103までの元素をアクチノイドといいます。アクチノイドを標的とする反応は“熱い核融合”と呼ばれ、これまで私たちがやっていたビスマスを標的とする“冷たい核融合”とはさまざまな違いがあり、全てが新しい挑戦です。

——超重元素実験の目標や魅力はどのような点ですか。

森本：“安定の島”を見つけたい。超重元素は寿命が非常に短いのですが、陽子と中性子が“魔法数”と呼ばれる特殊な数になっていて寿命が長い元素がある、と理論的に考えられています。新しいものを見つけるのは楽しいです。装置開発が好きなので、そう来たか!と言われるような装置も発明したいですね。

加治：元素は何番まで存在できるのか、という基本的な問いに答えたい。化学科出身なので、自分たちがつくった元素がどういう化学的な性質を持っているのかも知りたいです。そしてオリジナリティーのある装置をつくって、超重元素研究の新しい世界標準を示したいですね。

森本：ほかのグループも119番元素、120番元素を狙っています。ゆっくりしてられません。ビーム強度を倍にできれば、照射時間が半分で済みます。加速器の能力を増強する計画も進んでいます。そうすると、強度に耐えられる標的を開発する必要もあります。やるべきことはたくさんあります。

(取材・構成：鈴木志乃/フォトンクリエイト)

知と愛あるいは科学と宗教

有信睦弘 ありのぶ・むつひろ

理化学研究所 理事

ダン・ブラウン (Dan Brown) のいくつかの小説やウンベルト・エーコ (Umberto Eco) の『薔薇の名前』などを読むと、宗教と科学、あるいは宗教と宗教にとって不都合な知識との、キリスト教社会における特別な敵対関係が示されているように思えます。また、為政者による為政者にとって不都合な知識への攻撃は「焚書坑儒」のように、洋の東西を問わず、そして現在に至るまで続いています。キリスト教の源流はエジプトの太陽神といわれていますが、ユダヤ教を経てイスラム教に至る中で一神教の精神が磨かれてきているように思えます。確かに過酷な自然の中で生き抜くには強固なよりどころが必要ですし、さまざまな意見が対立して砂漠で路頭に迷えば死が待っているだけということになります。私はこれらの宗教をひそかに「砂漠の宗教」と名付けました。

■
対照的に思い起こすのは、高校時代に読んだ西田幾多郎の『善の研究』です。この中に「知と愛」という一節があります。「知とは対象を認識することであり、そのためには対象に自己を一致させなければならない。対象と認識主体を隔てているものは自我であり、自我を否定することによって認識主体と対象との一致が得られ、それが知につながる。対象に対する徹底的な自己否定というのは愛に他ならないから、愛が知の究極である。全き自己否定を成し遂げた仏の知は遍く至り、仏の慈悲は従って禽獣草木に至るのである」。これが私の記憶の中にある「知と愛」の要約です。徹底した排他性により正当性を確立する一神教と、徹底した自己否定により全ての存在と同化する、まったく異なる方向だと思いませんか。過酷な自然の中で生まれた宗教と豊饒な自然の中で生まれた宗教の差とも考えられます。

■
1999年にブダペストで開かれた世界科学会議で、知識のための科学：進歩のための知識、平和のための科学、進歩のための科学、社会における科学と社会のための科学、の4項目から成る、科学と科学的知識の利用に関する宣



筆者近影

言「ブダペスト宣言」が採択されています。社会のための科学は、大きな問題意識をもって議論され、学会会議では「認識科学」と「設計科学」という言葉がつけられました。知識は細分化されるほど先鋭化し定義が明確になります。この先鋭化した知識をある目的のために統合・融合して構成的に新しい知識をつくり出すことが「設計科学」であり、社会のための科学はそのような科学と考えられたと理解しています。しかし、いまだにその方法論は明確ではありません。

■
若いころ、外国のバーでたまたま隣り合わせた人と飲みながら話す。酔っぱらい、意気統合し、大いに盛り上がる。翌日思い返すと、自分の語学力では到底話し切れないことで意気投合している。相互の意思疎通は言葉で行われていると思っていたが、言葉は意思疎通の手段であって、言葉の意味だけを正確に理解しながら相手を理解しているわけではないことに気付く。物理科学は自然との対話の手段として数学という言葉を獲得し大きく進歩してきました。場合によっては言葉が先行して。しかし、それだけでは十分でないかもしれません。自我や言葉を超えて自然と一体化する仏の慈悲に近づくことが、構成的に新しい知識をつくり出す方法論とともに必要とされているように思います。真理は唯一絶対的なものではないのかもしれません。

創立百周年記念事業への寄附金のお祝い

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: kifuf-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/