

RIKEN NEWS

No.347
May
2010

5



独立行政法人
理化学研究所

2 研究最前線

葉緑体から見えてきた 細胞内共生による大進化

6 研究最前線

RIBFで原子核の 異常変形領域を探検する

10 SPOT NEWS

- ハンチントン病の新しい遺伝子治療に、
モデルマウスで成功
アルツハイマー病、パーキンソン病にも応用可能
- 世界最高出力の深紫外LEDを開発
半導体殺菌灯の実用レベルをクリア
- 転写因子間相互作用マップを構築
がんなどの疾患治療研究に
基礎データを提供

12 特集

完成間近！ XFELで始まる新しい科学

15 TOPICS

- 新理事に川合眞紀氏
- YouTube公式チャンネル
「RIKEN Channel」を開設
- 「りけんキッズラボ ～発生と再生のフシギ～」、
神戸市立青少年科学館にオープン
- 新研究室主宰者の紹介

16 原酒

ボリスとわたし

RIKEN Mobile



葉緑体から見えてきた 細胞内共生による大進化

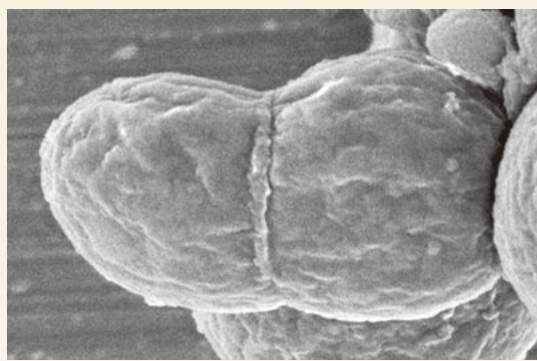
20億～10億年前、生物は大きな進化を遂げた。

約20億年前、DNAを保護する核を持った真核生物が誕生。その真核生物は、酸素を使ってエネルギー物質を効率的につくり出す別の生物を細胞内に共生させて、それを“ミトコンドリア”にした。その後、約10億年前までに、真核生物の一種が光合成を行うシアノバクテリアを細胞内に共生させて“葉緑体”にした。植物の祖先の誕生だ。

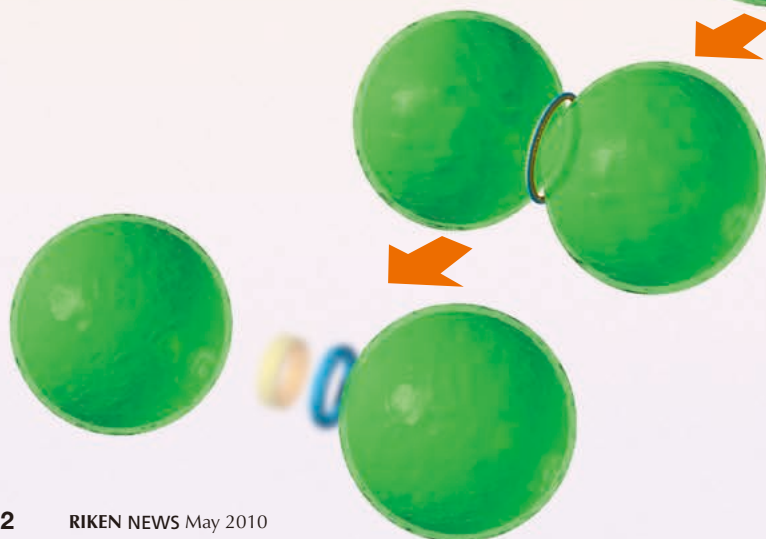
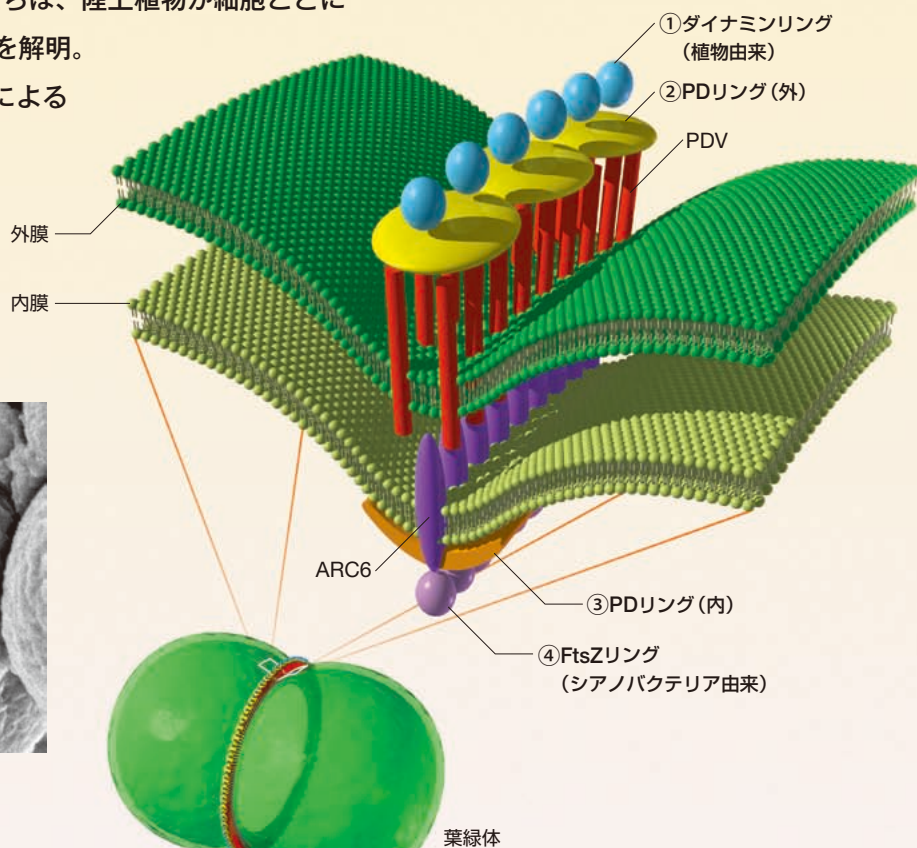
細胞内のミトコンドリアや葉緑体は、それぞれ自身の分裂によってのみ増殖する。

2009年、宮城島 進也 独立主幹研究員たちは、陸上植物が細胞ごとに葉緑体の分裂速度を調節するメカニズムを解明。

徐々に明らかになってきた“細胞内共生”による生物の大進化の原理を紹介しよう。



葉緑体の色素体分裂リング（PDリング）（外）



陸上植物の葉緑体の分裂装置

葉緑体は内膜と外膜の2枚の膜で覆われている。葉緑体に分裂装置となるリングが巻き付き縮まることで二つに分裂する。

分裂装置は、葉緑体の外側に①植物由来のダイナミンのリングと②PDリング（外）、内側に③PDリング（内）と④シアノバクテリア由来のFtsZのリングがあり、少なくとも四重のリング構造になっている。

陸上植物にはリング同士をつなぐPDVという部品があり、分裂速度を調整している。

過去に起きた進化を
完全に証明することはできません。
しかし、進化を深く理解すれば、
未知の現象を予測することができます。

宮城島進也

基幹研究所
宮城島独立主幹研究ユニット
独立主幹研究員



みやぎしま・しんや。1975年、静岡県生まれ。博士（理学）。東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。立教大学博士研究員、ミシガン州立大学博士研究員を経て、2006年より現職。専門は、葉緑体とミトコンドリアの分裂制御機構。

■ 細胞内共生による大進化

「大学の講義で、ミトコンドリアと葉緑体が植物の細胞内で複雑に動く様子を見て興味を持ちました。この二つは、ほかの細胞内小器官とは違い、元は別の生物でした。遺伝子の突然変異による進化ではなく、別の生物を丸ごと取り込んで共生させることで、まったく新しい生物になるという大きな進化が起きたのです。このような細胞内共生による大進化に興味を持ち、研究を進めてきました」

まず、生物の進化の歴史を簡単に振り返ってみよう（図1）。約46億年前に誕生した地球に最初の生命が現れたのは、38億年前ごろだと考えられている。そして約27億年前までに、光合成により酸素を放出するシアノバクテリアが登場した。「約27億年前までの海洋や大気には酸素がなく、当時生息していた生物は酸素があると生存できない嫌気性細菌だったと考えられています。シアノバクテリアが放出する酸素は、当時の生物にとっては“猛毒”でした。体をつくるタンパク質やDNAを酸化して損傷するからです」

やがて呼吸により酸素を取り込み、糖からエネルギー物質を効率的につくり出す好気性細菌が登場した。さらに20億年前ごろ、DNAを保護する核を持った真核生物の祖先が誕生。真核生物は好気性細菌の一種を取り込んで共生させ、ミトコンドリアにした。「あらゆる真核生物はミトコンドリアを持っているか、かつて持っていた痕跡があります。一方、細菌など核を持たない原核生物でミトコンドリアを持つものは見つかっていません。ミトコンドリアを持ったことと、真核生物の誕生には、深い関連があるはずです」

真核生物は原核生物よりも細胞のサイズがはるかに大きくなった。「ミトコンドリアが酸素を取り込んで生み出すエネルギーが巨大化した細胞の原動力となっています。そしてミトコンドリアを持った真核生物は、長い年月をかけて菌類や動物に進化しました」

その後、10億年前ごろまでに、ミトコンドリアを持つ真核生物の一種が光合成により酸素を放出するシアノバクテリアを共生させ、葉緑体にした。植物の祖先の誕生だ。

ミトコンドリアと葉緑体が、元は別の生物だった証拠に、それぞれ独自のDNAを持ち、そこに書き込まれた遺伝情報からタンパク質をつくる装置も独自に持っている。「ただし、元の生物が持っていた遺伝子のほとんどは失われたか、真核生物の核内のDNAに取り込まれています」

では、どんな遺伝子をミトコンドリアや葉緑体は持ち続けているのか。「どちらもエネルギー生産にかかわる遺伝子を持っています。例えば葉緑体のDNAには、光エネルギーを化学エネルギーに変換するための装置（光化学系）の遺伝子と、自身の遺伝情報を発現するための遺伝子が残されています。光の強さによって光化学系の数などを増減させなければ、光合成に伴い活性酸素などの有害物質がたくさん発生してしまいます。時々刻々変化する光の強さに素早く対応するには、核内のDNAからの指令を待っていたのでは遅過ぎます。葉緑体のDNAに一部の遺伝子を残し、即座に対応させているのです」

■ 大進化の鍵を握る葉緑体の分裂調整メカニズム

真核生物や植物の誕生という大進化を引き起こした細胞内共生は、どのようにして可能になったのか。「ポイントは、取り込んだ生物の分裂をどのようにコントロールするかです」と宮城島独立主幹研究員。「真核生物が細胞分裂するとき、ミトコンドリアや葉緑体も増やさなければなりません。しかし、ミトコンドリアと葉緑体は、それぞれ自身の分裂によってのみ増殖します。もし勝手に分裂し、増殖を続けたら、真核生物は死んでしまいます」

真核生物はどのようにミトコンドリアや葉緑体の分裂をコントロールしているのか。「それを知るにはまず、分裂

装置を調べる必要があります」。ミトコンドリアと葉緑体の分裂メカニズムには共通点が多い。ここでは葉緑体の研究を中心に紹介しよう。

1986年、黒岩常祥^{つねよし} 教授（現・立教大学）が、分裂を始めた葉緑体の外側にリング状の繊維が巻き付き、中央部分がくびれていることを電子顕微鏡で発見、そのリングを“色素体分裂リング（PDリング）”と名付けた（2ページの写真）。このPDリングが分裂装置の一部となり、リングの直径が徐々に縮まることで、葉緑体は最終的に分裂する。

1997年、東京大学大学院の黒岩教授の研究室に入った宮城島独立主幹研究員は、葉緑体の分裂装置の全体像解明に取り組んだ。そして、葉緑体の祖先であるシアノバクテリアが細胞分裂に使っていた“FtsZ”というタンパク質が、葉緑体の内側でPDリングとは別のリングをつくっていることを突き止めた。「一方、PDリングは植物由来だと考えられます。しかし細胞から不純物の混じっていないPDリングを取り出すことが難しく、PDリングをつくるタンパク質は、いまだに不明です」

さらに2003年、宮城島独立主幹研究員は、分裂装置に“ダイナミン”というタンパク質があることを発見した。「ダイナミンは植物が自分自身の細胞分裂に使っていたタンパク質です。ダイナミンは葉緑体の分裂装置の最も外側のリングをつくります」（2ページの図）

こうして分裂装置は、葉緑体の外側に①植物由来のダイナミンのリングと②PDリング（外）、内側に③PDリング（内）と④シアノバクテリア由来のFtsZのリングがあり、少なくとも四重のリング構造になっていることが分かった。

「葉緑体が勝手に分裂しないように、もともとシアノバクテリアにあったFtsZをつくる遺伝子は細胞核内のDNAに取り込まれています。さらに、植物由来のダイナミンのリングを分裂装置の最も外側へ付け加え、FtsZのリングと協調させて分裂をコントロールしているのです」

■ 葉緑体の大きさや数を調節する陸上植物

その後、宮城島独立主幹研究員は米国ミシガン州立大学に博士研究員として赴任し、陸上植物の葉緑体分裂の研究に取り組み始めた。「それまで私は、水中にすむ原始的な植物である藻類を使って研究をしていました。ほとんどの藻類では1個の細胞に葉緑体が1個です。一方、陸上植物では細胞ごとに葉緑体の数や大きさが異なります」

藻類には単細胞と多細胞のものがあるが、多細胞の藻類でも、細胞は生殖細胞とそれ以外の体細胞の2種類くらいしかない。陸上植物では体細胞がたくさん種類の細胞に分化し、根や茎、葉などの組織をつくっている。新しい葉の細胞では、葉緑体が次々に分裂して小さな葉緑体がたくさんできる。「藻類では細胞分裂に同調して、ほぼ一定の速度で葉緑体が分裂します。一方、陸上植物では、細胞分裂と葉緑体の分裂は同調していません。細胞ごとに葉緑体の分裂速度を調節することができるのです」

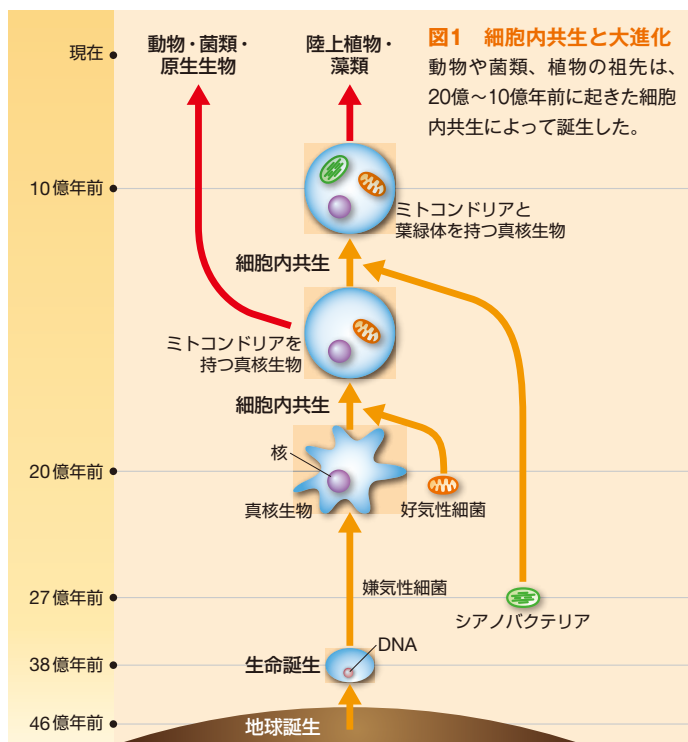
藻類と陸上植物では葉緑体の分裂装置にどのような違いがあるのか。「私はシロイヌナズナを使った研究により、陸上植物にだけ、葉緑体の外膜を貫通するPDVというタンパク質があることを発見しました。PDVは、内膜を貫通するタンパク質ARC6と結合して、外側のダイナミンと内側のFtsZのリングをつなぐ部品でした」（2ページの図）

■ PDVが葉緑体の分裂速度を調整していた

2006年、宮城島独立主幹研究員は理研に研究室を立ち上げた。「藻類だけではなく、陸上植物でも分裂装置の構造が分かってきたので、いよいよ分裂の調節メカニズムの解明を進めることにしました。1個の細胞に葉緑体を1個持つ藻類では、細胞分裂に合わせて分裂装置をつくって葉緑体を分裂させ、それが終わったら分裂装置を分解してしまうことが分かってきました」

では、陸上植物はどうやって葉緑体の分裂速度を変えることができるのか。「理研植物科学研究センターと共同研究を行い、シロイヌナズナのさまざまな遺伝子を過剰に発現させて、葉緑体の分裂速度の速い変異体を見つけました」。そして2009年、宮城島独立主幹研究員たちは、葉緑体の分裂速度を調節している因子を発見した。「葉緑体の分裂速度の速い変異体で過剰に発現している遺伝子を調べてみると、驚いたことにPDVをつくる遺伝子でした」

PDVの量を減少させると葉緑体の分裂は抑制され、逆に量を増やすと分裂が促進された（図2）。「私の発見した



PDVが存在しない細胞 正常な細胞 PDVの量が多い細胞

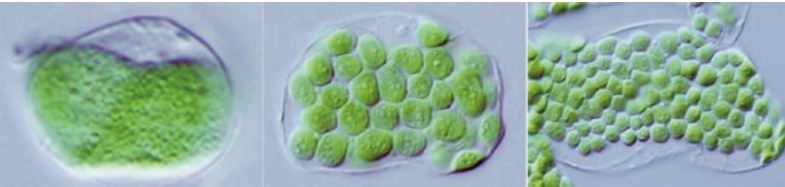


図2 PDVの量を変えたときの葉緑体の様子

PDVが存在しない細胞では、巨大な葉緑体が1個だけ観察された(左)。逆にPDVの量が多い細胞では、正常な細胞(中)に比べて葉緑体の数が倍となり、小さな葉緑体がたくさん見られた(右)。

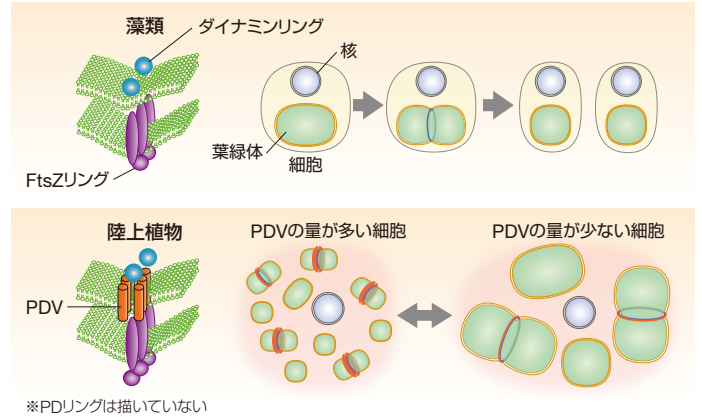
分裂装置の部品 (PDV) 自体が、分裂速度を調節する因子だったのです。PDVの量は、成長や細胞分化にかかわるサイトカニンという植物ホルモンによって制御されていることが分かりました」

陸上植物の葉緑体は、PDVがなくてもゆっくりと分裂はするが、PDVがあるとすぐに分裂する。「FtsZやダイナミンのリングなどPDV以外の分裂装置の部品は、ほとんどの葉緑体に常備されていることが分かりました。PDVがない状態でもゆっくりと分裂できます。そこにPDVが供給されると、それらのリングがつながれ、協調して素早く葉緑体を分裂させると考えられます(図3)。PDVは、藻類から陸上植物への進化で最初に分岐したコケ類でも見つかりました」

植物が陸上に進出したのは約5億年前のことだ。そのころPDVが生み出され、葉緑体の分裂スピードを調節できるようになったことが、陸上進出を可能にした大きな要因の一つだと考えられる。「水中に比べて陸上は、乾燥していたり有害な紫外線が直接降り注いでいたり、とても厳しい環境です。その環境に適応するには、さまざまな種類の細胞に分化し、細胞ごとに葉緑体の分裂速度を調節して、葉緑体の数や大きさを変化させる必要があったでしょう。例えば、光が弱いときには葉緑体が細胞表面に並び、光が強いときには光から逃れるように細胞側面へ移動する現象が知られています。細胞1個に大きな葉緑体が1個の藻類では、そのような環境適応ができません」

■ 細胞内共生の共通原理を探る

細胞内共生による進化は、現在でもさまざまな生物で進行している。宮城島独立主幹研究ユニットの中鉢 淳 基幹研究所研究員は、アブラムシと細菌の共生関係を研究している。アブラムシは細菌を共生させるために、菌細胞という特別な細胞を持つ。そして菌細胞内に1億年前からブフネラという細菌を共生させ、親から子へと受け渡してきた。アブラムシはブフネラが合成する必須アミノ酸やビタミンなどの栄養分がないと繁殖できない。中鉢 基幹研究所研究員たちは2009年、アブラムシがかつて共生させていた別の細菌から取り込んだ遺伝子を菌細胞で発現させ、ブフネラの生存に役立っていることを発見した。



※PDリングは描いていない

図3 藻類と陸上植物の葉緑体分裂メカニズムの違い

藻類にはPDVがなく、細胞の分裂に合わせて葉緑体も分裂する(上)。一方、陸上植物では、PDVの量が多い細胞ではたくさんの葉緑体が分裂し、逆にPDVの量が少ない細胞では分裂する葉緑体の数が少ない(下)。

さらに2010年、国際共同研究によりアブラムシのゲノム(全遺伝情報)の解読に成功。アブラムシは共生細菌から10種類以上の遺伝子を獲得し、その多くを菌細胞で発現させていることを明らかにした。アブラムシは共生細菌の遺伝子を取り込みながら、複雑な進化を遂げてきたのだ。

「共生細菌の遺伝子を取り込み利用するには、長い時間がかかると考えられます。ただし、遺伝子の移動がなくても、細胞内共生により二つの生物が同調して活動することは可能です。例えば、ミドリゾウリムシは、藻類の一種であるクロレラを体内に数百個共生させ、その活動に同調して細胞分裂します」

このような同調化はどのようにして可能になるのか。「クロレラを持たないゾウリムシは、自分のリズムに合わせて光のある場所へ集まる集光行動や生殖行動(接合)をします。一方、クロレラを持つミドリゾウリムシは、クロレラの光合成活性の増減に合わせてそれらの行動をします。つまり取り込んだ生物の代謝を、宿主の生物が感知して同調するのです。それが細胞内共生を維持する原理かもしれません」

宮城島独立主幹研究員は、葉緑体の光合成が植物細胞の分裂周期に与える影響を調べ始めている。「細胞内共生は、取り込んだ生物を宿主の生物がコントロールするという一方通行の関係ではありません。取り込まれた生物の活動が宿主の生物にどのような影響を与えているのか、という逆の視点からの研究も必要です。今後、ミトコンドリアや葉緑体以外にも研究対象を広げ、細胞内共生に共通する原理を解明し、生物の進化の理解を深めていきたいと思います」 R

(取材・執筆：立山 晃/フォトンクリエイト)

関連情報

- 2010年2月23日プレスリリース
「世界的な農業害虫“アブラムシ”のゲノム解読に成功」
- 2009年7月1日プレスリリース
「植物の葉緑体の数と大きさを調節する仕組みを解明」

RIBFで原子核の異常変形領域を探検する

原子核には、球形だけでなく、ラグビーボール形やミカン形など、いろいろな形のものがある。

どういう場合に球形になり、どういう場合に変形するかは、陽子と中性子の数の組み合わせで理解できると考えられていた。しかし、寿命が短く天然には存在しない“不安定核”をつくって調べることができるようになると、従来の考えでは球形になっているはずの原子核が変形しているものも見つかった。

「人類が調べた原子核は、1万種類あるといわれる原子核の半分以下です。

もっと面白い、異常な形をした原子核があるかもしれません。原子核を本当に理解するには、人類がまだ見たことのない原子核をつくり、調べることがきっと役に立ちます」と、本林 透チームリーダー。理研仁科加速器研究センターの新世代加速器施設“RIビームファクトリー (RIBF)”は、水素からウランまでの全元素、4000種類の不安定核を、世界最大強度のビームとして発生させることができる。本林チームリーダーは、この世界最高性能の装置を駆使し、原子核の形や性質、さらには元素がどのようにつくられたかを明らかにしようとしている。

ガンマ線検出装置DALI 2

光速の約60%で飛んでくる不安定核を標的に当てて発生するガンマ線を測定し、原子核の形を調べる。四角い箱がヨウ化ナトリウムによるガンマ線検出器で、反応点を取り囲むように約160個設置されている。DALI 2はゼロ度スペクトロメータに取り付けられている。



SAMURAI*

(大立体角多重粒子磁気分析装置)
不安定核の反応で生じる多種多様な粒子の種類や飛跡を調べる。

ゼロ度スペクトロメータ

不安定核の質量や寿命、形状を測定する。

RIBFの基幹実験設備

*印は整備・開発中

SCRIT*

(自己閉じ込めRI標的)
電子ビーム中に不安定核を閉じ込め、原子核中の陽子の精密分布を測定。

新入射器*

RIBF実験と超重元素の合成実験の同時利用を可能にする。

偏極RIビーム工房*
結晶内部電場磁場測定によって材料解析を行う。



超伝導リングサイクロトロン (SRC)

前段の加速器で加速した重イオンビームを最終的に光速の70%にまで加速させる。直径18m、総重量8300トン。

SLOWRI*

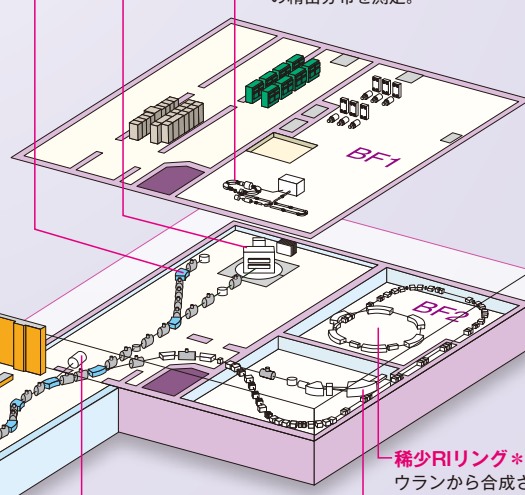
(超低速RIビーム生成装置)
RIビームを減速させて効率よく外部に取り出す。不安定核の半径や質量の精密な測定が可能になる。

SHARAQ

(高分解能RIビームスペクトロメータ)
新しい原子核励起方法を発見し、原子核の構造を調べる。

稀少RIリング*

ウランから合成される短寿命の不安定核の質量を超精密測定。



0 50m

科学者は探検家のようなもの。変わったところ、
面白そうなところに行ってみよう。
RIBFを駆使して“逆転の島”を探検したいですね。

本林 透

仁科加速器研究センター
RIBF共用施設 コーディネーター
多種粒子測定装置開発チーム チームリーダー



もとばやし・とおる。1949年、東京都生まれ。理学博士。1977年、東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。大阪大学理学部助手、立教大学理学部教授などを経て、2002年より理研本林重イオン核物理研究室主任研究員。2010年4月より現職。専門は原子核物理学。

■ 世界最強のRIBF

本林透チームリーダー（TL）がホームグラウンドにしている“RIビームファクトリー（RIBF）”。2007年に本格稼働を開始したこの施設には、線形加速器、リングサイクロトロン、RIビーム生成分離装置、さらにほかにもさまざまな実験装置が並んでいる（6ページの図）。RIBFの心臓部である超伝導リングサイクロトロン（SRC）は、直径18m、総重量8300トンもある。「この大規模な施設で私たちが調べているのは、直径わずか数フェムトメートル（ $\text{fm}=10^{-15}\text{m}$ ）の原子核です。RIBFを使って不安定核をたくさん作り出し、原子核の形や性質を調べるとともに、元素の合成過程を明らかにしようとしています」と本林TL。

すべての物質は原子からなり、原子は原子核と電子で構成され、原子核は陽子と中性子で構成されている。元素の種類は陽子の数で決まり、天然には水素からウランまで90種類の元素が存在している。同じ元素でも中性子の数が異なる“同位体”を含めると約300種類が天然に存在しており、それらは時間がたっても変化しないので“安定核”と呼ばれる。一方、崩壊してほかの種類の原子核になってしまうものが“不安定核（RI、放射性同位体元素）”である。理論的には約1万種類の原子核が存在し得ると考えられており、そのほとんどは不安定核である。

「安定核では陽子と中性子の数はあまり違いません。私たちは不安定核の中でも特に、中性子数が陽子数より極端に多い“中性子過剰核”に注目して研究をしています。そのような安定核から大きく離れた不安定核を作り出し、調べることができる世界最高の装置がRIBFです」

RIBFでは、原子から電子をはぎ取った重イオンを複数の加速器で段階的に加速し、SRCで光速の70%の速さにまで到達させる。その高速の重イオンを束ねた“重イオンビーム”を標的の原子核に衝突させると、重イオンの原子核を構成する陽子や中性子の一部が削り取られて、さまざまな不安定核ができる。そして、特定の種類の不安定核だけを分離・収集して“RIビーム”として取り出し、いろいろな装置を使って原子核の形や質量、寿命、性質などを調べる。

RIビームを用いた実験は1980年代から行われていたが、人類が生成できた原子核は約3000種類にとどまっていた。RIBFは水素からウランまでの元素を大強度で加速できるので、新たに1000種類の不安定核を作り出し、その性質を調べることができると期待されている（図1左）。

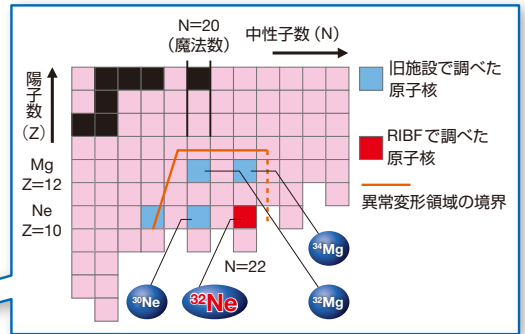
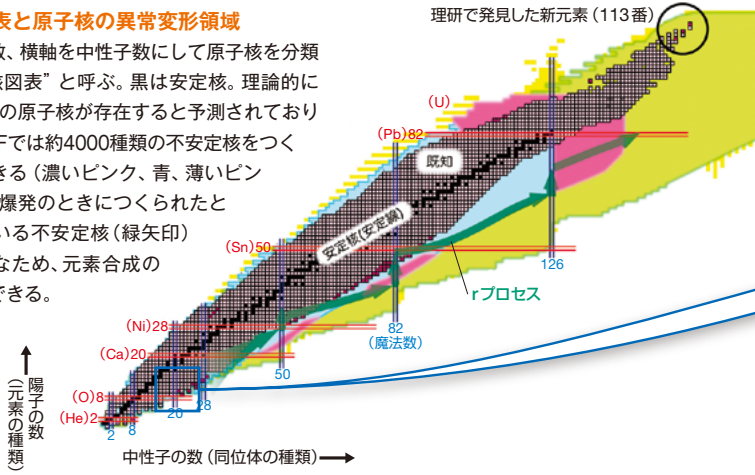
■ 中性子過剰核では魔法数が消滅する？

なぜ中性子過剰核に注目するのだろうか。本林TLらは1995年、理研の加速器施設を使った実験で、マグネシウム-32（ ^{32}Mg ）の原子核が大きく変形していることを発見し、注目を集めた。「原子核は陽子と中性子が均一に混ざっていると考えられていました。ところが中性子過剰核をつくって調べることができるようになると、中性子だけが原子核の外側に広がった“中性子ハロー”など、安定核とは異なる特徴を持つ原子核が見つかり始めました。それでも ^{32}Mg が大きく変形しているというのは予想外でした」

電子が原子核の周りの軌道を回るように、中性子と陽子は原子核の中で軌道を回っている。軌道は複数あり、軌道ごとに中性子や陽子が入ることができる数は決まっている。一つの軌道が埋まっているとき原子核は特に安定し、球形になる。その状態の中性子や陽子の数を“魔法数（マジックナンバー）”といい、2、8、20、28、50、82、126が知られている。「 ^{32}Mg は中性子数が魔法数の20であるのに、原子核は球形ではなかった。 ^{32}Mg の変形は従来の考え方では説明ができず、“魔法数の消滅”と話題になりました。私にとって中性子過剰核の実験は、 ^{32}Mg が初めてでした。ビギナーズラックだったのかもしれませんが、中性子過剰核の研究は面白いと、のめり込んでいきました」

図1 核図表と原子核の異常変形領域

縦軸を陽子数、横軸を中性子数にして原子核を分類した図を“核図表”と呼ぶ。黒は安定核。理論的には約1万種類の原子核が存在すると予測されており(黄緑)、RIBFでは約4000種類の不安定核をつくることのできる(濃いピンク、青、薄いピンク)。超新星爆発のときにつくられたと考えられている不安定核(緑矢印)も生成可能なため、元素合成の過程を検証できる。



中性子数20周辺の原子核は球形をしていると考えられていたが、 ^{32}Mg や ^{34}Mg 、 ^{30}Ne は変形していることが分かってきた。RIBFによって、 ^{32}Ne はより大きく変形していることが明らかになった。

その後、中性子数20のネオン-30 (^{30}Ne) や中性子数22のマグネシウム-34 (^{34}Mg) でも原子核が変形していることが分かり、質量数30程度、中性子数20程度の原子核は異常な形をしているらしいと、原子核研究者が注目するようになった(図1右)。「変形の原因を理解するには、“異常変形領域”にあるほかの不安定核も調べる必要があります。しかし、それらは原子核として存在できる限界に近いいため、形を調べられるほど大量につくることは既存の加速器では難しく、RIBFの誕生が待ち望まれていました」

■ ^{32}Ne の原子核もラグビーボール形

2007年にRIBFが稼働すると早速、ウランの原子核を加速して分裂させることで新しい不安定核をつくる実験が行われた。そしてパラジウム-125 (^{125}Pd) とパラジウム-126 (^{126}Pd) の生成に成功し、RIBFの初の成果となった。

不安定核の性質を調べる実験も始まった。最初に調べた不安定核は、10個の陽子と22個の中性子からなるネオン-32 (^{32}Ne) だ。まず、カルシウム-48 (^{48}Ca) の原子核を光速の70%まで加速し、標的のベリリウム(Be) に当てて陽子や中性子をはぎ取り、さまざまな不安定核をつくった。その中から ^{32}Ne を分離してビームとして取り出し、 ^{32}Ne の原子核の形を調べた。

「原子核の形は、回転させると調べることができます。 ^{32}Ne を標的の炭素(C) に当てると核反応を起こして励起し、原子核が回転する場合があります。その回転が止まって元の状態に戻るとき、ガンマ線を放出します。原子核がより大きく変形していると回転は遅く、ガンマ線のエネルギーは低くなるという性質があるので、ガンマ線を検出装置で測定すると、原子核の形が分かるのです(図2)。ガンマ線のエネルギーがかなり低かったことから、 ^{32}Ne の原子核は大きく変形していることが分かり、2009年7月に発表しました」。 ^{32}Ne の変形は、 ^{30}Ne を含めこれまで調べられていたNeの同位体の中で、最も大きかった(図3)。この領域では、中性子数が増えるほど変形が大きくなるこ

とも分かった。

^{32}Ne の形を調べたガンマ線検出装置は“DALI 2 (Detector Array for Low Intensity radiation)”と呼ばれ、本林TLが中心になって考えた(6ページの写真)。不安定核は光速の60%で飛んでくる。動いている原子核が放射するガンマ線のエネルギーはドップラー効果の影響を受けて、原子核が検出器に近づくときは高くなり、遠ざかるときは低くなる。ガンマ線が来た方向を把握してドップラー効果の影響を補正するため、反応点を取り囲むように約160個の検出器を並べた。

「検出器の並べ方が乱雑だと感じますか? でも、それがいいんです(笑)」と本林TL。「緻密な計算をして、五角錐や六角錐形の検出器をすき間なく並べることもできます。しかし、それでは一度設置したらそれ以外の並べ方はできません。実験のアイデアは突然わいてくるもの。検出器の配置を変えられると、もっといい方法がないかと議論し、試行

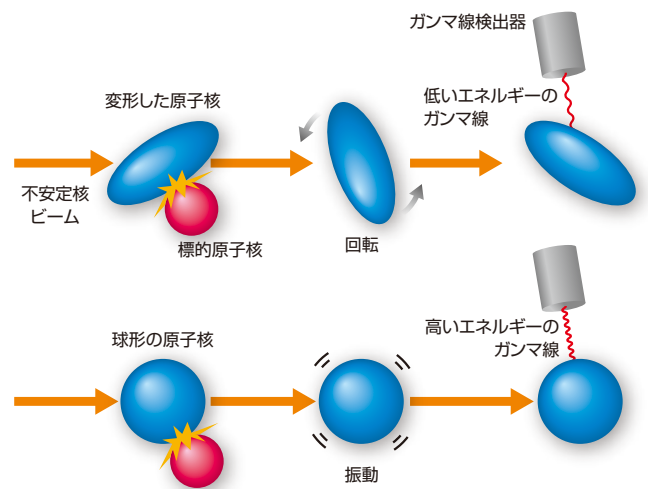


図2 原子核の形を調べる実験の原理

不安定核のビームを標的原子核に当てると核反応を起こして励起し、原子核が変形している場合は回転し、球形の場合は振動する。励起状態から元の状態に戻るとき、ガンマ線を放出する。原子核が大きく変形しているほど回転は遅く、ガンマ線のエネルギーは低くなるという性質がある。

錯誤することができます。それが新しい発見を生むのです」

^{32}Ne の実験はわずか8時間だった。「 ^{32}Ne が予測より1000倍も多くできたのです。成果が出るまで半年はかかると覚悟していたので、うれしい誤算でした」

^{32}Ne の異常変形の原因の一つとして挙げられているのが、軌道の逆転である。中性子は、エネルギーの低い軌道から順番に埋まっていく。ところが異常変形領域の不安定核では、エネルギーの低い軌道が埋まり切っていないのに、エネルギーの高い軌道に中性子が入ってしまっているらしい。このような現象が起きている核図表の領域は、“逆転の島”とも呼ばれている。

「 ^{32}Ne で観測されたガンマ線のエネルギーは、軌道が逆転しているか、2本の軌道が異常に接近していなければ、説明ができません。これからRIBFを駆使して逆転の島とその周辺領域の不安定核を調べることで、原子核の異常変形の原因を理解できると期待しています」

今後の課題は陽子と中性子を区別することだと、本林TLは指摘する。ガンマ線のエネルギーから分かるのは、陽子と中性子を合わせた原子核の形である。陽子の分布は、励起状態の寿命を測る、電子を衝突させる、 ^{32}Mg の変形を発見したときに用いた“クーロン励起法”などによって分かるが、中性子の分布について知る良い方法がない。本林TLが目しているのは、不安定核を液体や固体の水素標的に衝突させる方法だ。「水素の原子核は陽子1個です。陽子は原子核中の中性子により強く作用するので、不安定核を水素に衝突させれば中性子の振る舞いについて知ることができるはず。液体水素標的による実験が始まり、 ^{32}Mg の変形が“ふわふわしている”ことが分かるなど、成果が出始めています」。 ^{32}Mg は主にラグビーボール形をしているが、その形は一定ではなく、さまざまな形を取り得るといふのだ。今、詳細な研究が進められている。

■ “逆転の島”の探検、そして元素合成の謎の解明へ

「逆転の島が、核図表のほかの領域にもあるのかどうかを調べたいですね。特に、魔法数28や50の周辺に興味があります。それは、私たちのもう一つの研究テーマである元素合成にも関係します」

天然に存在する元素のうち水素とヘリウム、リチウムはビッグバン直後につくられ、鉄までの元素は恒星の中でつくられた。そして鉄からウランまでの元素の半分は、重い星が一生の最後に起こす超新星爆発のとき、わずか1秒くらいの間につくられたと考えられている。高温高圧の環境で原子核が中性子を急激に吸収して不安定核が次々とつくられ、それが崩壊して安定核が残ったという“rプロセス”(rapid neutron-capture process: 速い中性子捕獲過程)が有力な説だが、まだ確実な証拠はない(図1左)。

「私たちはrプロセスでつくられたとされる不安定核を世

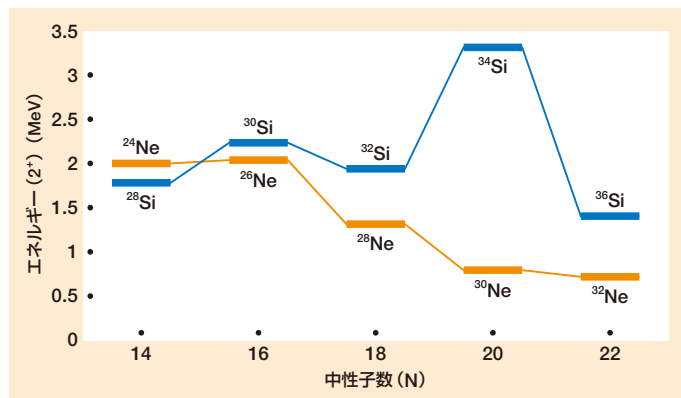


図3 中性子過剰なネオン同位体における原子核の変形

横軸は中性子数、縦軸は励起された原子核が元の状態に戻るときに放出するガンマ線のエネルギー。中性子数20は魔法数なので、シリコン-34 (^{34}Si)のようにエネルギーが大きくなり、球形をしているはずである。しかし、ネオン-30 (^{30}Ne)はエネルギーが低いことから、変形していることが分かる。 ^{32}Ne は ^{30}Ne よりエネルギーが低く、より大きく変形している。

界で初めて生成し、元素合成の過程を再現することで、その真偽を検証します。現在それができるのはRIBFだけです。ここでも魔法数の役割は重要で、逆転の島がどう影響するかに興味があります」。rプロセスでつくられたとされる不安定核を生成し、その寿命を調べる実験が始まっている。

■ 進化するRIBF

理研では実験と並行して、新しい装置の設計・開発も進められている(6ページの図)。その一つが稀少RIリングだ。rプロセスでつくられたと考えられている寿命が短い不安定核の質量を1個ずつ精密に測ることができる。「1個ずつ測定するのは、貴重な不安定核を無駄にしないようにという理研独自のアイデアです」

本林TLが開発主体になっているのが、2011年度完成予定の大立体角多重粒子磁気分析装置“SAMURAI”である。「不安定核の反応によって生じた複数の粒子について、種類やエネルギー、飛跡を全方向にわたって広い範囲で精度よく同時に測定できます。SAMURAIの登場によって原子核の理解や元素の起源の解明が進み、安定核も不安定核も説明できる新たな原子核理論の構築に近づくことでしょう」

RIBFは世界の原子核研究者から注目され、RIBFで実験をしたいという問い合わせが急増している。SAMURAIを使った実験も国際的に公募する予定だ。もちろん本林TL自身もいくつものアイデアを温めている。「楽しみにしていてください」。本林TLは実に楽しそうに笑った。 R

(取材・執筆: 鈴木志乃/フォトンクリエイト)

関連情報

- 『理研ニュース』2009年10月号(特集)「RIBFで原子核物理学を完成させる～ネオン-32の大変形を世界で初めて観測～」
- YouTube公式チャンネル「RIKEN Channel」<http://www.youtube.com/user/rikenchannel> (平成22年度和光研究所一般公開 講演会「RIBFで探る原子核のからくり」)

ハンチントン病の新しい 遺伝子治療に、モデルマウスで成功

アルツハイマー病、パーキンソン病にも応用可能

2010年3月1日プレスリリース

——ポリグルタミン病とはどのような疾患ですか。

貫名： DNAの遺伝子部分の塩基の並び方（塩基配列）は、アミノ酸のつながり方を指定する暗号となっています。塩基には、アデニン(A)・チミン(T)・グアニン(G)・シトシン(C)の4種類があり、三つ一組で一つのアミノ酸を指定します。このアミノ酸が連なってタンパク質がつくられます。

アミノ酸の一種グルタミンは、CAGという配列で指定されています。通常、遺伝子部分のCAGの繰り返しは20回程度ですが、ポリグルタミン病の場合、40回以上も繰り返します。その結果、通常よりも長いポリグルタミン鎖（伸長ポリグルタミン）を含む異常タンパク質がつくれ、それが神経細胞の核に蓄積し、細胞死や機能障害を引き起こします。このように発症する疾患をポリグルタミン病といい、ハンチントン病はその代表的な疾患です。治療には異常タンパク質の分解や産生抑制が有効と考えられていますが、まだ治療法は確立されていません。

——今回開発した治療法の戦略は。

貫名： 体内には不要なタンパク質を除去するシステムが備わっています。ある種のタンパク質は「シャペロンHsc70」という別のタンパク質と結合する性質を持っており、このシャペロンHsc70の働きにより、不要なタンパク質は細胞内小器官「ライソゾーム」に直接運ばれます。そして不要タンパク質は、ライソゾーム内のタンパク質分解酵素によって分解されるのです。この分解機構を「シャペロン介在性オートファジー」といいます。この仕組みを、本来シャペロンHsc70と結合する性質を持っていない伸長ポリグルタミンを含むタンパク質の分解に利用しました。

——どのように利用したのですか。

貫名： 国立精神・神経センターの永井義隆室長らが開発した伸長ポリグルタミンに特異的に結合する「QBP1ペプチド」と、シャペロンHsc70と結合する「ペプチド(HSC70bm)」をつないだ融合ペプチド「HQ」をつくりました。このHQを細胞内で発現させれば、HQ、伸長ポリグルタミン、シャペロン

ハンチントン病は、神経変性疾患の一つで、認知症や不随意運動などを伴う遺伝性の疾患。日本では特定疾患に指定されている難病で、厚生労働省の発表によると国内で100万人に6人程度の罹患者がいる（2006年末時点）。その原因は、通常よりも長いポリグルタミン鎖（伸長ポリグルタミン）を含む異常タンパク質が、神経細胞の核に蓄積するためであることが分かっている。球脊髄性筋萎縮症、遺伝性脊髄小脳失調症なども同じ原因で発症する疾患で、まとめてポリグルタミン病と呼ばれている。今回、理研脳科学総合研究センター 構造神経病理研究チームを中心とする研究グループは、ハンチントン病のモデルマウスを使って、伸長ポリグルタミンを分解する新しい遺伝子治療法の開発に成功した。この成果について貫名信行チームリーダーに聞いた。

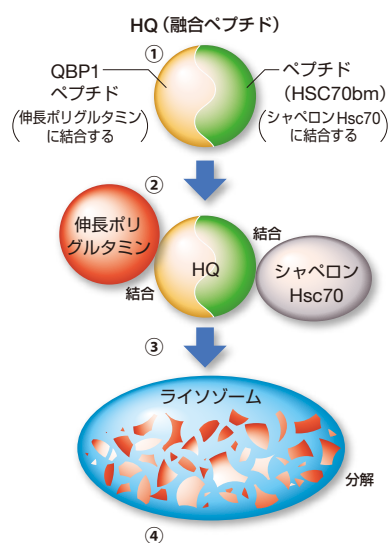


図 HQによる伸長ポリグルタミンの分解

①伸長ポリグルタミンに特異的に結合する「QBP1ペプチド」と、シャペロンHsc70と結合する「ペプチド(HSC70bm)」をつないだ「HQ」を細胞内で発現させる。
②伸長ポリグルタミンとシャペロンHsc70がHQに結合し、複合体が形成される。
③シャペロンHsc70の働きにより、複合体がライソゾームに運ばれる。
④ライソゾーム内のタンパク質分解酵素により伸長ポリグルタミンが分解される。

Hsc70の三つが複合体を形成してライソゾームに運ばれ、伸長ポリグルタミンが分解されるのではないかと考えました（図）。

——結果はどうだったのでしょうか。

貫名： 培養細胞で実験したところ、予想通りHQの発現によって伸長ポリグルタミンはライソゾーム内で分解されました。次にハンチントン病の疾患モデルマウスを使って実験しました。ハンチントン病の障害を最も引き起こしやすい部位である線条体にHQを発現させたところ、伸長ポリグルタミンを含む異常タンパク質の量が減少し、運動機能が改善され、寿命も延びました。

——今後の展開は。

貫名： 今回開発した方法は、原理的にアルツハイマー病やパーキンソン病、筋萎縮性側索硬化症(ALS)など、異常タンパク質の細胞内蓄積が原因とされる神経変性疾患にも応用可能です。それらの遺伝子治療や治療薬の開発にもつながると思います。

※[Nature Biotechnology] (2010年3月号) 掲載

世界最高出力の深紫外LEDを開発

半導体殺菌灯の実用レベルをクリア

2010年2月25日プレスリリース

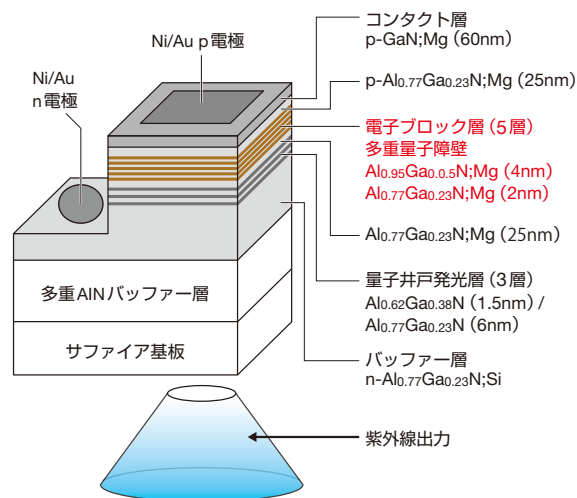
理研基幹研究所 テラヘルツ量子素子研究チームの平山秀樹チームリーダーは、従来比7倍に向上した15mW^{ミリワット}の出力を持つ深紫外発光ダイオード(LED)の開発に成功した(図)。

深紫外LEDは、電流を流すと波長220~350nm(1nm=10億分の1m)帯の深紫外光を発する半導体素子で、殺菌・浄水、各種医療分野、高密度光記録、公害物質の高速分解処理など、幅広い分野への応用が期待されている。しかし、従来の深紫外LEDは発光層への電子注入効率が10~30%と低く、実用レベルの紫外光出力が得られていなかった。

研究チームは、材料に窒化アルミニウムガリウム(AIGaN)系を使用。さらに、多重量子障壁(MQB)という厚さ数nmの積層構造を組み込み、電子注入効率の向上を試みた。MQBを用いると、電子が発光層以外の層へ漏れるのをブロックできる。これにより、発光層への電子注入効率を80%以上に向上することに成功し、出力15mWを達成した。

今回用いたMQBによる電子注入の高効率化は、紫外、青

図 多重量子障壁(MQB)を用いたAIGaN系深紫外LEDの構造



色、緑色LDやLED、白色LEDランプなど幅広い発光デバイスにも導入できるため、大きな効果が期待できる。 [R]

※本研究成果は、JST戦略的創造研究推進事業チーム型研究(CREST)「新機能創成に向けた光・量子科学技術」研究領域における研究課題「230-350nm帯InAlGaIn系深紫外高効率発光デバイスの研究」による成果。

※「Applied Physics Express」(2010年3月25日号)掲載

転写因子間相互作用マップを構築

がんなどの疾患治療研究に基礎データを提供

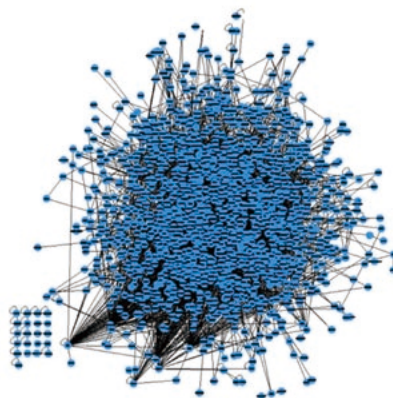
2010年3月5日プレスリリース

理研オミックス基盤研究領域(OSC)は、ヒトとマウスそれぞれの系統について、遺伝子発現の制御に重要なタンパク質「転写因子」間の相互作用マップをつくることに成功した(図)。OSCが主催する国際FANTOMコンソーシアムと文部科学省ゲノムネットワークプロジェクトとの協力による成果。

高等動物の転写因子は約2000種あり、多くの場合、転写因子は相互作用し、複合体を形成する。この複合体の多様性により複雑な遺伝子発現の制御が行われているが、転写因子間の相互作用を網羅的に調べた例はこれまでなかった。研究グループは、ヒト1222種、マウス1112種を対象に、二つの転写因子間のすべての組み合わせについて、相互作用の有無とその強さを検出。同時に、組織ごとに各転写因子遺伝子がどれだけ発現しているかを示す「転写因子遺伝子発現プロファイル」も作成した。その結果、わずかに15個の転写因子からなるサブネットワークが、発生過程のさまざまな細胞分化に重要な役割を

図 ヒトの転写因子間相互作用マップ

ヒトの既知の転写因子相互作用に、今回発見した762通りの相互作用を追加。点は転写因子を示し、その間をつなぐ線は相互作用が存在することを示す。ゲノムネットワークプラットフォーム(<http://genomenetwork.nig.ac.jp/>)で公開中。



果たしていることが分かった。さらに新しく見つけた転写因子間の相互作用が、単芽球が白血球の一種である単球へと分化するのを妨げる「負の制御」を担っていることも分かった。

今回制作した転写因子間相互作用マップに疾患サンプルと正常サンプルでの転写因子遺伝子発現プロファイルを組み入れて比較することで、疾患のメカニズムの解明や、治療法の開発にもつながる。 [R]

※「Cell」(2010年3月5日号)掲載

完成間近! XFELで始まる新しい科学

2000年4月、理研がX線自由電子レーザー (XFEL) の開発コンセプトを創案してから、はや10年が経過した。第3期科学技術基本計画 (2006~2010年度) で国家基幹技術に選定されたXFELは、いよいよ完成間近だ。理研と高輝度光科学研究センター (JASRI) の共同チームにより、理研播磨研究所に建設中の建物が今年5月に完成し、年末までに装置の設置や配線が完了する。そして2011年春にはX線レーザーを発振、2011年度内に共用を開始する計画だ。XFELによりどのような実験が可能となり、科学研究や社会にどのような進歩をもたらすのか。X線自由電子レーザー計画推進本部 ビームライン建設チームの矢橋牧名^{やばし まきな}チームリーダー、データ処理系開発チームの初井宇記^{はつ い たか き}チームリーダーに聞いた。

2011年度、新しい光を発振

—XFEL計画は日米欧の3極でそれぞれ独自に進められてきました。2009年4月、ついに米国が世界で初めてX線レーザーの発振に成功しましたね。

矢橋: 米国は、波長0.15nm (1nm=10億分の1m) のX線レーザーの発振に成功しました。「先を越された」という思いはありますが、米国のXFELで発振できなかつたら大問題でした。XFELの原理は日米欧で共通だからです (図1①~③)。—理研が進めているXFEL計画の現状を教えてください。

矢橋: 私たちは2006年6月、試験加速器で波長49nmのレーザー発振に成功しています。その後、試験加速器の利用運転を開始し、さまざまな実験が進められています。

XFEL本機の完成も間近です (図1・図2)。来年早々には電子ビームの加速を開始し、X線レーザーの発振に向けた調整運転を行います。その数ヶ月が大きな山場となります。そして2011年度内には共用を開始する予定です。

—そもそもXFELが生み出すX線レーザーとはどのような光ですか。

矢橋: 理研播磨研究所にある大型放射光施設SPring-8は、世界最高輝度のX線を発生します。X線の波長は約0.1nm

なので、原子の直径とほぼ同じサイズです。結晶化した試料にX線を当てて、試料から出た散乱光・回折光を解析すると、試料の原子レベルの構造がわかります。このようにして、SPring-8ではさまざまな材料やタンパク質などの構造や機能を調べる研究で大きな成果を挙げてきました。

しかし、XFELが生み出すX線レーザーは、このSPring-8のX線と比べて10億倍も輝度が向上します。SPring-8のX線は、光の波の山と山、谷と谷がそろっていないので、山と谷が重なって打ち消し合います。一方、XFELのX線レーザーは、山と山、谷と谷がきれいにそろって強め合うため、極めて明るい光になります。

最新技術を結集して観測

—試料にX線レーザーを当てるには、どんな技術が必要ですか。

矢橋: ミラーを使ってX線レーザーを集光して試料に当てます。その“集光ミラー”をつくる技術が必要です (図1④)。集光ミラーの表面に微小な凹凸があると、レーザーの強度にむらができ、きれいなデータが取れなくなってしまいます。集光ミラーを開発するため、この10年間、世界最高レベルの精密加工技術を持つ大阪大学の山内和人教

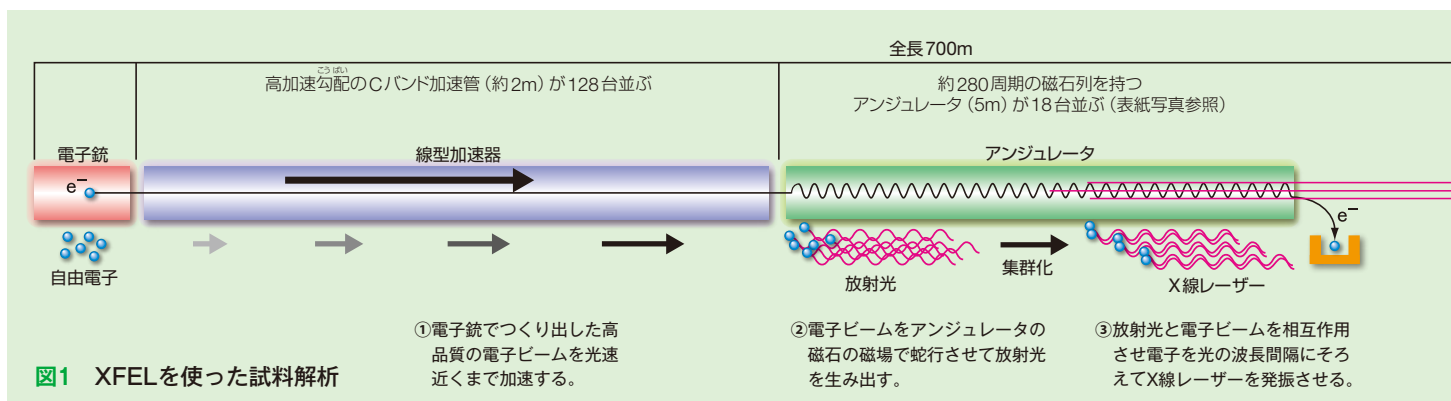


図1 XFELを使った試料解析

授のグループと共同研究を行ってきました。2009年には、原子レベルの精度で加工したミラーを用いて、X線を直径7nmという極小のスポットにまで絞り込むことができました。これは断トツの世界記録です。また、理研基幹研究所大森素形材研究室も加わり、2008年にはXFEL用の大型ミラーの製作にも成功しています。このミラーを使うとX線レーザーの強度を1億倍以上にできます。

——検出器(図1⑤)にはどのような性能が求められますか。

初井: XFELが生み出すX線レーザーは、X線パルス(短い発光時間のX線)です。その特徴はSPring-8の放射光とはまったく異なるため、既存の検出器では対応することができません。そこで、パルスごとにデータを記録でき、かつ極限の検出能力を持つX線検出器を開発しています。XFELでは1秒間に60回の強力なX線パルスが発生しますが、パルスごとのふらつきがあるほか、多くの場合、強力なX線パルスにより試料も破壊されるので、試料を交換します。毎回違った特性のX線パルスを使って、異なる試料にX線を照射する実験になるので、パルスそれぞれについてデータを取ることができる高速のX線検出器が必要です。

X線などの電磁波は波であると同時に粒子(光子)でもあります。X線レーザーの各パルスはたくさんのX線光子からなり、フェムト(1000兆分の1)秒程度の極端に短い時間のパルスなので検出器にたくさんのX線光子が同時に到着します。X線光子が1個あるかないかという弱い信号レベルから、数万個同時に到着する場合までをどのようにして正確に測るのか、という点も大きな挑戦です。

——データを測定した後はどんな処理をするのですか。

初井: 毎回違った特性のX線パルスを使って実験を行うので、すべてのパルスについて実験条件を記録しなくてはなりません。そこで各パルスのデータすべてに番号を付け、毎回違う実験結果を区別できるシステムを開発しています。また、検出器の中でX線が当たるCCD(電荷結合素子)がとらえるデータは1秒間に4ギガビット(ギガ=10億)と膨大な量になります。開発中の新しい検出器ではデータ量がさらに飛躍的に増大します。そこでデータを解析

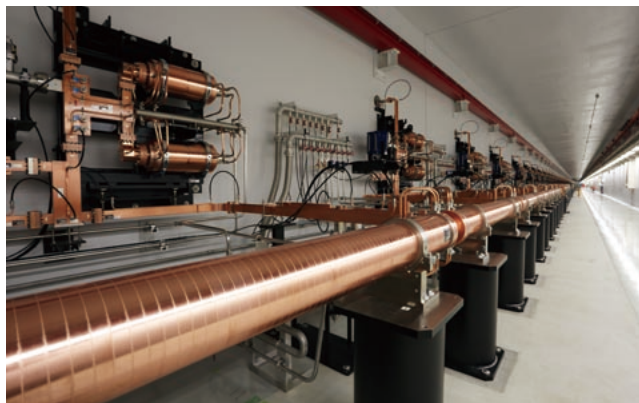


図2 設置が進むXFELの線型加速器

従来より短い波長の電波で電子を効率よく加速するCバンド加速器という独自技術を採用。この技術と真空封止アンジュレータの組み合わせにより、理研のXFEL施設の全長は欧米に比べて数分の1となり、コストダウンを実現した。現在、スイスや中国、韓国でもXFELを建設する計画が進んでいる。「私たちの技術が各国で採用され、XFELの普及に貢献していくことでしょ」(矢橋牧名チームリーダー)

器(メモリーやコンピュータ)に送るにはデータを圧縮する必要があります。効率的な圧縮にはデータの特徴をとらえる必要があります。SPring-8で実験を進めている研究者と協力しながらデータの特徴を予測し、計算科学の研究者と協力して圧縮手法を開発しています。

XFELでは1日に37テラバイト(テラ=1兆)のデータが生まれてきます。将来はさらに増加していきます。そこで確実にデータを保存する技術の開発も必要です。得られた膨大なデータの解析には、理研が2012年の完成を目指して神戸に建設中の次世代スーパーコンピュータを用います(図1⑤)。インターネットでデータをやりとりする転送方法の開発を進めています。

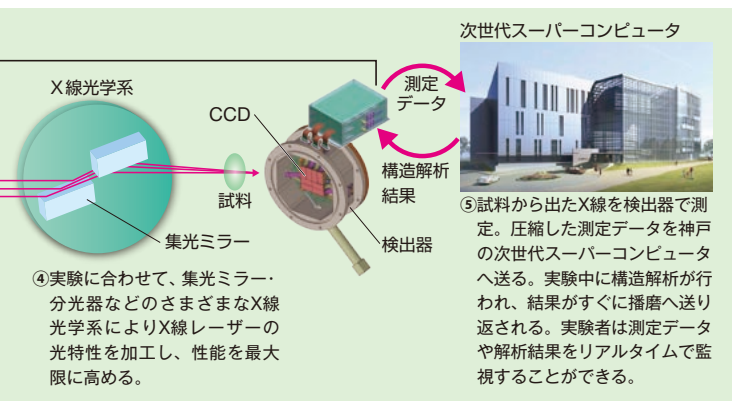
矢橋: 私たちはパルスごとのふらつきが少ない安定したX線レーザーを生み出す次世代XFEL(シード型XFEL)へ向けた研究も、すでに始めています。

結晶化せずに原子レベルの構造を見る

——結晶化が難しくSPring-8でも原子レベルの構造を解析できない重要なタンパク質がたくさんあると聞きます。XFELでは結晶化せずに1個のタンパク質から原子レベルの構造が解析できるそうですね。

初井: XFEL計画がスタートした当初は、原理的にはそれが可能だと考えられていました。現在は、その実現に向けた問題点がほぼ出尽くし、それらを解決するためのさまざまなアイデアが提案されている段階です。それらのアイデアをどのように組み合わせて構造解析を実現するのか、さまざまな研究者たちと総力を挙げて、1個のタンパク質から原子レベルの構造を解析する手法の開発に取り組んでいます。もちろん欧米のXFEL計画でもその実現が大きな目標の一つです。

矢橋: 新材料の構造解析など、物質科学の分野でも早く成果が現れるでしょう。100フェムト秒以下というX線レー





XFEL試験加速器で実験を行う研究者たち（後列中央が矢橋牧名チームリーダー）。



XFELの検出器開発を進める研究者たち（後列左から2人目が初井宇記チームリーダー）。

ザーの光パルスをストックのように使うと、極めて短時間に起きる超高速現象をとらえることができます。従来のフェムト秒レーザーの波長は約800nmの赤外線領域です。その波長は原子や分子のサイズよりはるかに大きいので、原子や分子の動きを直接見ることはできません。最短波長0.06nmのX線レーザーならば、化学反応の過程で超高速に動く分子や原子、あるいは電子が直接見えてくるはずで、それは物質科学に大変革をもたらします。

——SPring-8とXFELを組み合わせて解析する設備をつくるそうですね。

初井：そこが、欧米にはない特徴です。SPring-8は、排気ガス浄化や燃料電池に使われる触媒、有機太陽電池など、機能性材料が働くときの電子移動やエネルギーのやりとりを測定できます。しかし、これらの材料は結晶化していないので原子レベルの構造解析が困難でした。XFELはそれが可能になると期待しています。SPring-8でエネルギーのやりとりを見て材料が優れた機能を発揮している状態を確認し、XFELでその瞬間の原子レベルの構造を解析すれば、材料開発は大きく進展すると期待しています。

宇宙を地上に再現する

——ほかにXFELに期待されていることはありますか。

初井：XFELはもともと時間的に極めて短い強力なX線源です。さらに小さなスポットに集光すると大量のX線光子を空間的に小さな領域に密集することができます。する

と、一つの原子に何個ものX線光子が吸収されて電子が大量にはぎ取られる現象が起きます。また、X線光子が複数同時に、原子に吸収される「非線形光学現象」も起きます。これらは現在世界一強力なSPring-8のX線でも起こせなかった現象です。このような現象を簡単に引き起こすことができるXFELは、新しい物質計測手法をつくり出せると考えています。また電子をはぎ取られた原子が集まった状態は、プラズマ物理として盛んに研究されています。非線形光学とプラズマ物理がクロスオーバーする新しい学問が出てくるのではないかと考えています。

矢橋：宇宙の中では究極的な非線形現象が起きていると考えられています。真空中に極めて強い光を当てると非線形現象により電子と陽電子が生成されることが予測されているのです。その実験のために、先ほど紹介した高精度のX線の集光ミラーを用いてX線レーザーの光密度を向上させていくことが非常に有効です。波長の短い光ほど小さな領域に集光することができるため、ナノメートルの領域に集光できるX線レーザーならば、真空からの物質創成に迫ることができるはずで、数年後にはその世界初の実験に挑戦したいですね。

新しい科学が生まれる現場

——XFEL計画を進める現場の雰囲気はいかがですか。

矢橋：科学研究は数人くらいで進めることが多いのですが、XFEL計画はとても大きなプロジェクトなのでたくさんの人たちと進めています。中でも加速器の開発に携わる研究者は、声が大きな人が多い（笑）。

初井：巨大加速器の建設には通常一つの方式しか採用されません。自分のアイデアを実現するには、ほかの人たちを説得しなければなりません。それでこの分野には“説得のプロ”が集まっているのでしょうか。加速器開発だけではなく、この計画にはさまざまな分野・機関の研究者が参加していて、それぞれ独自の価値観・文化を持っています。現場ではそれらがミックスされ、独特の文化が生まれています。

——XFELは科学研究や社会に何をもたらそうですか。

初井：自分たちの研究がどんな発見につながるのか、何に役立つかを皆さんに説明することは大切な責務です。しかし、研究を進めている私たちが予想もしなかった発見や、何の役に立つのかすぐには分からないような研究こそが、科学や社会に大きな影響を与え、本当に役立つものになることが多いのです。XFELでは誰も予測し得ない新しい科学を拓くことができるはずで、

矢橋：それがXFELに最も期待されていることだと思います。SPring-8でも意外な分野とのコラボレーションにより新しい研究分野が生まれ、大きく発展するという経験をしてきました。XFELによりまったく新しい科学が生まれるはずで、その現場に参加できることが、とても楽しみです。 **R**

（取材・構成：立山晃／フォトンクリエイト、撮影：奥野竹男）

新理事に川合眞紀氏

4月1日、川合眞紀氏が理事に就任しました。当研究所の発展に尽力された大熊健司氏は3月31日をもって退任しました。



川合眞紀 (かわい まき)

東京都生まれ。1980年3月、東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。理学博士（東京大学）。1980～1985年、博士研究員を歴任（理化学研究所、大阪ガス（株）など）。1985年5月、理化学研究所入所。触媒研究室研究員・主任研究員、川合表面化学研究室主任研究員、次世代ナノサイエンステクノロジー研究グループディレクターなどを経て、2009年より理研基幹研究所副所長。1988～1991年、東京工業大学客員教授。2004年より東京大学大学院新領域創成科学研究科教授。

YouTube公式チャンネル「RIKEN Channel」を開設

4月1日、動画配信サイト「YouTube」に理研の公式チャンネル「RIKEN Channel」を開設しました。

理研は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、生物学、医科学など幅広い分野で研究を進めています。また、研究成果を社会に還元するため、イノベーションへの道を企業とともに歩む仕組み「バトンゾーン」の構築などを積極的に進めています。

「RIKEN Channel」では、理研が開催するシンポジウムや講演会の模様、研究者が制作した映像などを順次配信し、理研で生まれた研究成果が、より分かりやすい形で社会に浸透していくことを目指します。ぜひご覧ください。



<http://www.youtube.com/user/rikenchannel>

「りけんキッズラボ ～発生と再生のフシギ～」、神戸市立青少年科学館にオープン

理研神戸研究所は3月20日（土）、神戸市立青少年科学館に常設展示コーナー「りけんキッズラボ～発生と再生のフシギ～」をオープンしました。たった一つの受精卵から体がつくられる発生の不思議や、再生医療への応用が期待されている幹細胞について、体験しながら学ぶことができます。また、2008年に下村脩博士がノーベル化学賞を受賞した緑色蛍光タンパク質（GFP）や、切っても切っても再生する生物プラナ

リアの実物展示などもあります。ぜひご覧ください。



神戸市立青少年科学館りけんキッズラボ 場所：

兵庫県神戸市中央区港島中町7-7-6
新館3階 第5展示室

開館時間：

月～金 9:30～16:30
土・日・祝・春休み・夏休み 9:30～19:00

問い合わせ先：

理研神戸研究所 発生・再生科学総合研究センター 広報国際化室 南波直樹
電話：078-306-3092 FAX：078-306-3090
Email：namban@cdb.riken.jp

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。

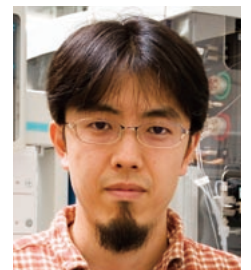
①生年月日 ②出生地 ③最終学歴 ④主な職歴 ⑤研究テーマ ⑥信条 ⑦趣味

放射光科学総合研究センター 放射光イメージング利用システム 開発ユニット ユニットリーダー 香村芳樹 (こうむら よしき)



①1966年6月24日 ②東京都 ③東京大学大学院理学系研究科博士課程 ④理研放射光科学総合研究センター ⑤コヒーレントX線イメージング、X線光学素子開発 ⑥初心忘るべからず ⑦読書、スポーツ

植物科学研究センター 植物プロテオミクス研究ユニット ユニットリーダー 中神弘史 (なかがみ ひろふみ)



①1973年1月12日 ②滋賀県 ③奈良先端科学技術大学院大学バイオサイエンス研究科博士課程 ④理研植物科学研究センター ⑤プロテオーム解析手法を用いた植物細胞内シグナルネットワークの解明 ⑥自分らしく ⑦散策

ボリスとわたし

岡田真里子 OKADA Mariko

免疫・アレルギー科学総合研究センター
細胞システムモデル化研究チーム チームリーダー

オーストリア・ゴザウでのワークショップの合間、雪中散歩に出掛ける。写真右からボリス・コロデンコ、筆者、ワイツマン研究所（イスラエル）のヨセフ・ヤーデン。

私が理研に入所してからすでに10年がたっている。任期制なので、これほど長い間お世話になるとは思わなかった。しかも、その間に理研内の三つの研究センターを異動した。幸いにも、自分の望む研究を続けることができていた。これは、けんかもどきの討論をしたり、ばかな質問に飽きもせず付き合ってくれた周囲の研究者や、その時々でお世話になった上司の寛大なサポートのおかげだと思っている。

2000年に理研ゲノム科学総合研究センター（2008年3月廃止）の情報科学グループに入って考えたのは、いかにして自分の興味を持てる情報生物学を行うか、だった。当時はゲノムの塩基配列の解析が全盛期で、情報系研究ではデータベースやアルゴリズムの開発がほとんどだった。しかし私は実験で研究の世界に入り、そこから面白みを学んでいたため、すべてコンピュータというのは自分の性に合っていない気がした。そこで、自分に何ができるだろうと毎日論文を調べるうちに見つけたのが、現在最も密に共同研究を行っているボリス・コロデンコの『The Journal of Biological Chemistry』に掲載されていた論文*であった。細胞内の酵素反応やタンパク質相互作用などをすべてを、微分方程式でつないだ数理モデルで表し、細胞の情報入力から出力を予測できるようにしようと考えた論文だった。しかも、当時のほかの論文が理論のみだったのに対し、彼は実験と理論の矛盾点を見つけ、それを実験的に証明するというスタイルを取っていた。今ではシステムバイオロジーの一分野をなすこのようなやり方は、その論文が発表された当時はあまり興味を持たれなかった。正直、私はこの論文を読んだとき、自分でも同じことができるようになるとは思えなかった。今でも時々、細胞生物の実験だけやっていた方が多くの論文が書けるんじゃないかと思うほど、モデリングの仕事は疲労困憊する。しかし、細胞の反応を一つのシステムとして考えることには大いに賛成できた。

論文を読んで半年ほどたった後、当時彼がいた米国のフィラデルフィアに赴いた。ボリスいわく、あの論文に興味を持って研究室を訪問したのは私が初めてだった

そうである。しかし、具体的な共同研究は、すぐには始めなかった。学会やワークショップなどではいつも顔を合わせたけど、最初の数年間は無駄話に終始した。今から思うと、その数年間は結構大事だったのではないかと思う。当時、理論と生物、ロシア人と日本人、50代と30代の会話なので、互いの言葉を理解するのに時間がかかった。今でも、メールだと行き違いになることが多いので、重要な計画は実際に会って散歩しながら話す、というのが長年の習慣になっている。実際、ボリスも私も歩くのが好きなので、歩きながら、とりとめもない話をする。フェルメールの絵画やロシア文学から、扱っている分子の挙動や自分たちのモデルの妥当性まで、話題はさまざまだ。

すでに知り合ってから10年近くたち、私たちを取り巻く研究環境も大きく変わった。特に世界中がゲノムからシステムへと、細胞の動態に興味を持ち始めたところが多い。ボリスはすっかり有名人になり、ヨーロッパに移り、ダブリン大学 システムバイオロジーアイルランド（SBI）の副所長になった。しかし本人は、それほど自分が偉くなったとは思っていない。相変わらずグラント（科学研究の補助金）は厳しい状況で、こなすべき苦手な雑用がたくさんあるからである。それでも互いに仕事の合間を見つけては、愚痴をこぼし合ったり、次の研究の計画を立てたりする。最近、このような長年のやりとりが形として実った論文が『Cell』に掲載されることとなった。しかし、これも私たちが、最後までどたばた劇に終始した。今年秋には久しぶりに日本で会う予定である。彼はこの10年の間にすっかり日本通になり、日本茶やお寿司の味の良さもすっかり分かるようになってしまった。久しぶりの日本を堪能してもらいたいと考えている。（敬称略） **R**

*論文名：“Quantification of short-term signaling by the epidermal growth factor receptor”（1999）

『理研ニュース』2010年5月号（平成22年5月6日発行）

編集発行 独立行政法人 理化学研究所 広報室
〒351-0198 埼玉県和光市広沢2番1号
phone: 048-467-4094 [ダイヤルイン]
fax: 048-462-4715制作協力 有限会社フォトンクリエイト
デザイン 株式会社デザインコンピビア/飛鳥井羊右
再生紙を使用しています。

『理研ニュース』メルマガ会員募集中！

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。
問い合わせ先：理研 外部資金室 寄附金担当
TEL：048-462-4955 E-mail：kifu-info@riken.jp
URL：http://www.riken.jp/独立行政法人
理化学研究所 寄附金