

# RIKEN NEWS

No. 274 April 2004

# 4

## 2 研究最前線

新たな光をつくり、  
未知の研究分野を切り拓く  
量子コンピュータ  
実現への道筋が見えてきた

## 8 特集

植物科学研究センター  
今後の展望  
杉山達夫センター長に聞く

## 10 TOPICS

中央研究所長に茅幸二氏、  
ゲノム科学総合研究センター長に  
榭佳之氏が就任

御手洗文部科学事務次官、  
和光キャンパスを視察

平成16年度一般公開のお知らせ

第17回「独立行政法人理化学研究所と  
産業界との交流会」が開催される

新ユニットリーダーの紹介

## 12 原酒

イギリス滞在こぼれ話



量子コンピュータの論理演算回路のイメージ  
「量子コンピュータ実現への道筋が見えてきた」  
より

# 新たな光をつくり、未知の研究分野を切り拓く

緑川克美

コヒーレント科学研究推進グループ グループリーダー  
中央研究所 緑川レーザー物理工学研究室 主任研究員

現在の光科学は、全世界の瞬間的な電力消費量に相当するようなテラワット（1兆ワット）レーザーや、化学反応中の原子や分子の動きをとらえるフェムト秒（1000兆分の1秒）の光パルスを生み出せる。それでもなお、「私たちはまだ光の性質を極限まで引き出していません」と緑川克美グループリーダーは語る。「光は科学技術の基本です。コヒーレントテクノロジーを駆使すれば、今までにない極限的な光をつくり、新しいものを見たり、新しい物質の反応を引き起こせます」。コヒーレント科学研究推進グループ※は、どのような光をデザインし、新たな研究分野を切り拓こうとしているのか。

## コヒーレント科学の提唱

CDやDVDなどの記録媒体への書き込みや読み出し、光ファイバー通信や半導体回路などの精密加工、レーザーメスなどの医療機器……。レーザーは、実に幅広い分野で応用されている。これはレーザーが広がらずに直進したり、1点に絞り込んで高いエネルギーを実現したり、レーザー同士を重ね合わせたり、干渉させたりすることができるからだ。その特性は、レーザーの持つ「コヒーレント（可干渉性）」と呼ばれる性質に由来する。

「コヒーレントという性質を入場行進に例えてみましょう。全員が足並みをそろえれば、広がらずに一方向に進むことができ、何かを押す場合にも力が出ます。しかし足並みがばらばらだと、四方八方に広がってしまい、力も出ません。全員の足並みがそろっている状態がコヒーレントだとイメージすればよいでしょう」と緑川グループリーダーは説明する。

太陽光や電球の光（電磁波）は、さま

ざまな波長の光が四方八方に飛び散っている。一方、レーザーなどのコヒーレントな光は、波の進む方向、位相（波の山と谷の位置）や波長などがそろうことによって、さまざまな特性が現れる。

1990年代半ば、緑川グループリーダーらは、このコヒーレントという概念を光だけでなく物質系にまで拡張した「コヒーレント科学」、「コヒーレントテクノロジー」を提唱した。そして1997年に理研中央研究所の研究室・研究者を横断する形でコヒーレント科学研究推進グループを組織し、研究を発展させてきた。「光の波長や位相をそろえて特殊な性質を持つコヒーレントな光を生み出せるように、物質系をつくる1個1個の粒子の状態を制御すれば、新たな性質が生み出せます。これは今のナノテクノロジーにも通じるところがあります」

光や電子は、粒子と波の性質を併せ持つ。例えば、狭い空間に電子を閉じ込めると、電子の波の波長が短くなってエネルギーが高くなる。半導体の微細構造などに電

子を空間的に閉じ込めて、新たな性質を引き出す量子井戸や量子ドットの研究が、ナノテクノロジーを駆使して行われている。

このように、ナノテクノロジーが主に空間的な要素を制御するのに対して、コヒーレントテクノロジーは、コヒーレント光を使って物質の状態や光そのものの時間的な要素も制御してマクロな性質を引き出す、「ポストナノテクノロジー」だと緑川グループリーダーは解説する（図1）。

コヒーレント科学研究推進グループは第1期（1997～2002年度）の成果を受け継ぎ、新たに第2期（2003～2007年度）をスタートさせている。「第1期では光科学で生まれたコヒーレントという概念を物質系へ拡張しました。第2期では、原点である光を中心にコヒーレント科学を研究しています。いろいろな光をデザインして、物を見たり、物質の状態を変えたり、加工することにチャレンジしています」

## 軟X線の非線形光学を立ち上げる

新しい光をデザインする際、波長や位相といったコヒーレントにかかわる要素とともに重要なのが、強度（輝度）である。「ある程度の光の強度がなければ、物質の状態は変えられません。光の状態は、波長・位相・強度という3つの要素ですべて決まります。従来は、この3つの要素を個々に制御して新しい光をつくり出していたのですが、現在では3つの要素を一括して制御して、光を自由にデザインできる時代になってきました」

緑川グループリーダーらが開発を進めている新しい光に、軟X線の強い光がある。私たちの目に見える光である可視光の波

光の性質を極限まで  
引き出した人は、  
新しい世界を  
見るができます

緑川克美グループリーダー  
**MIDORIKAWA Katsumi**



※コヒーレント科学研究推進グループ（第2期）  
田原分子分光研究室、石橋極微デバイス工学研究室、緑川レーザー物理工学研究室を核として、中央研究所のさまざまな分野の研究員が参加している。

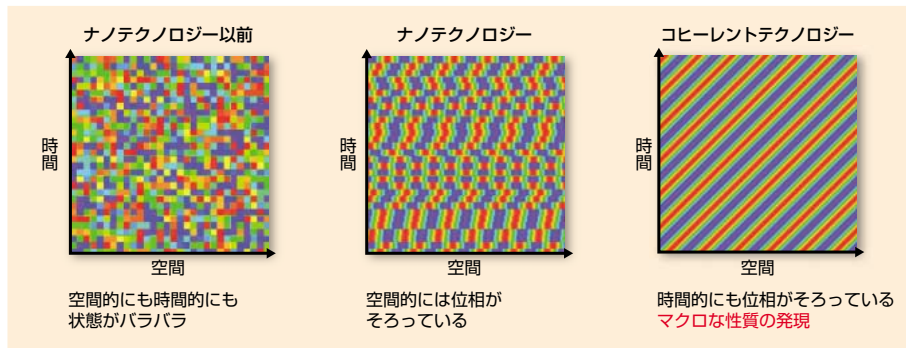


図1 コヒーレントテクノロジー

長が数百nm ( $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}=10$ 億分の1m)であるのに対して、X線の波長は数十nmから0.01nm程度と短い。軟X線は、X線の中で波長が長いものを指す。

2003年、緑川グループリーダーらは高次高調波という方法で、波長60nm、29.6nm、13.5nmで世界最高瞬間輝度の軟X線をつくり出した(図2)。

「私たちの生み出した軟X線がどのくらい強いのか、実はあまり比べるものはありません」。X線の強い光の発生装置として、理研播磨研究所にある大型放射光施設SPring-8が有名である。しかし緑川グループリーダーらが開発した軟X線の瞬間輝度は、世界最高輝度を誇るSPring-8の放射光より100億倍も強い。「光の性質が違います。放射光は光パルスがたくさん出るので、一定の時間、集積すると、とても強い光となります。私たちの軟X線はパルス幅が非常に短く、10兆分の1秒レベルの強い光パルスです。これだけ強いと、非線形現象を引き起こせます」

「非線形現象」は線形現象とどう違うのだろうか。例えば1という強度のレーザーをガスに当てて、50%が吸収されるとする。出てくるのは0.5。入力を2へ強めても出力は1と、吸収率50%は変わらない。このように入力と出力が比例した直線的な現象が線形現象である。

ところが入力が1000という強度になった途端に、ガスの粒子が壊れて100%が透過して、比例関係が崩れる場合がある。あるいは入力が1000になった途端に出力が0になるなど、入力と出力の関係が直線的でない現象が、非線形現象である。

「1960年代にレーザーの発明で可視光の強度が上がり、非線形光学という新し

い分野が立ち上がりました。例えば、非線形現象は超高速で切り替わるスイッチとして使えます。レーザーが非常に広い分野で応用されているのは、この非線形現象があるからです。私たちは、軟X線領域の非線形光学という新しい分野を立ち上げることを目指しています」

### アト秒の強い光パルスをつくる

より短い時間の光パルスができれば、それをカメラのフラッシュのように使い、短時間に起きる現象を観測できる。米国のAhmed Zewail博士は、フェムト秒( $10^{-15}$ 秒=1000兆分の1秒)の光パルスで化学反応中の原子・分子の動きをとらえ、1999年のノーベル化学賞を受賞した。フェムト秒のさらに1000分の1であるアト秒( $10^{-18}$ 秒)の光パルスができれば、化学反応を引き起こす電子の動きをとらえられる。しかしアト秒の光パルスは可視光ではつけれない。なぜならば、波長数百nmの可視光は、アト秒の時間では1波長分も進めない。つまり、波長がもっと短くならないと、フェムト秒より短い時間のパルスをつくることはできないのだ。アト秒の光パルスをつくるには10nmレベルの波

長を持つ軟X線が必要である。

2001年、ウィーン工科大学を中心とする欧州のグループが、アト秒の光パルスをつくることに初めて成功した。ただし、その光は非線形現象を引き起こせるほど強くない。「私たちは非線形現象が起こせるような強いアト秒の光パルスをつくることを目指しています」と緑川グループリーダーは意欲を見せる。電子の動きを可視化できるアト秒の光パルスで、しかも非線形現象を引き起こせる強い光ができれば、未知の研究分野が切り拓かれる。少なくとも化学反応や物性物理の研究に大きな変革をもたらすことは間違いない。

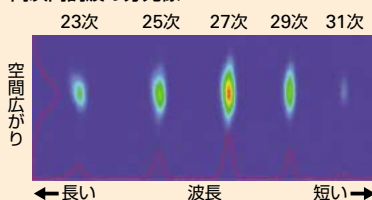
### “水の窓”を開く

「20年も前から世界中の研究者が目指しているのが、“水の窓”と呼ばれる、水に吸収されない波長2.3~4.4nmの軟X線です。この波長の強い光ができれば、生きた細胞をリアルタイムで詳細にとらえられます」

細胞などの内部構造は、可視光よりも波長が短い電子線を透過させる電子顕微鏡により、nmレベルの分解能で見ることができる。ただし電子線は透過力が弱いので、細胞を樹脂などで固めて極めて薄い切片にしなければいけない。そもそも電子顕微鏡は内部を真空にして作動させる。電子顕微鏡では生きた細胞を見ることはできないのだ。

一方、X線はレントゲン検査に使われているように透過力が強いので、細胞を切片にする必要がない。しかも“水の窓”の軟X線は、培養液や細胞中の水分には吸収されないが、細胞組織をつくる炭素には吸収される。生きた細胞の内部構造

高次高調波の分光像



アルゴンガスに可視光のテラワットレーザーを照射して、軟X線を発生させた。このように極めて強いレーザー光を気体などに照射して、元のレーザー光の整数倍の周波数で発生するコヒーレント光を高次高調波と呼ぶ。この現象も非線形現象である。

波長29.6nm(27次高調波)の波形

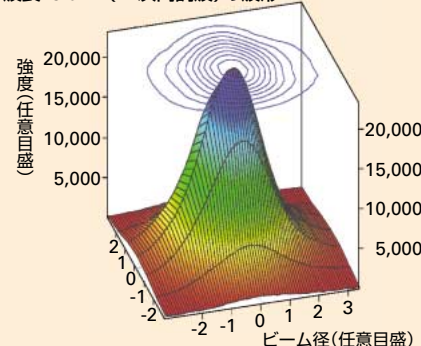


図2 世界最高瞬間輝度の軟X線(波長29.6nm、27次高調波)



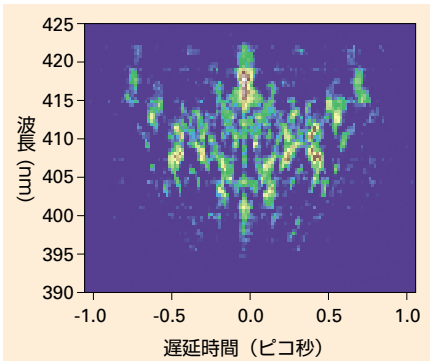


図3 2光子レーザー蛍光顕微鏡用に開発した最適な光パルスの波形

をリアルタイムで見ることができるのだ。また、可視光よりも波長が短いので、試料からの反射光をとらえる光学顕微鏡の分解能(数百nm)を大きく上回る、nmレベルの分解能で内部構造が観察できると期待される。“水の窓”が開かれれば、生命科学へ与えるインパクトは計り知れない。

現在でも放射光を使えば“水の窓”の波長域で細胞の内部構造を撮影できる。しかし放射光は強度が弱いので、数十秒ほど露光時間がかかる。そのため動かないように細胞を氷漬けにしたりする必要がある。つまり生きたままの細胞を撮影できないのだ。

「私たちの軟X線は放射光よりも100億倍ほど強いので、もし“水の窓”の波長域まで短くできれば、生きたままの細胞を一瞬で撮影できます。私たちが達成した波長は約10nmまで。“水の窓”へは波長をさらに半分以下にしなければいけません。そこが非常に難しい。今までの方法ではうまくいきそうもない。新しいアイデアを今、必死に考えているところです」

### レーザー技術で脳を見る

最後に、コヒーレント科学の脳科学への応用例を紹介しよう。理研脳科学総合研究センター(BSI)の宮脇敦史チームリーダー率いる細胞機能探索技術開発チームとの共同研究である。宮脇チームリーダーは、蛍光バイオイメージングの第一人者だ。

蛍光バイオイメージングでは、観察したい標的タンパク質の遺伝子に蛍光タンパク質の遺伝子を組み込むことが可能になっている。組織に光を当てると、蛍光タンパク質が光って、標的タンパク質の

分布や動きをリアルタイムで可視化できる。しかし、蛍光タンパク質を光らせるための光が、組織の深部まで届きにくいという問題点がある。例えば厚さ約2~4mmの脳皮質には、形や機能が似た神経細胞同士が集まり、6層の構造をつくっている。しかし青い光を当てると3層目くらいまでしか光が届かない。赤い光ならば6層目まで届くが、蛍光タンパクは光らない。青い光よりも、赤い光は波長が長くエネルギーが低いからだ。

そこで期待されているのが、2光子顕微鏡である。レーザーで赤い光を極めて強く当てると、蛍光タンパク質を光らせることができる。しかも任意の深さに焦点を当てて走査するので、余分な部分は光らず、奥行き方向にも高い解像度が得られる。

「普通、物が光る場合は光子を1個吸収して光を出します。しかしこの場合は、2個の光子を同時に吸収して光を出します。極めて強い光にすると、赤い色の光子が2個吸収されて、青い光と同じエネルギーになるのです。これは典型的な非線形現象です」

ただし、強い光は細胞を壊しやすい。フェムト秒という極短時間の光パルスが登場して、初めて2光子顕微鏡を生きた細胞の観察に使えるようになった。しかし、必要な画像が得られる前に細胞が壊れてしまったり、蛍光の強さがすぐに減衰するなど、まだ課題が残されている。

フェムト秒の光パルスには、さまざまな波長の光が含まれている。緑川グループリーダーらは、コヒーレントテクノロジーにより、それぞれの波長の位相をずらしながら、最適な光パルスの波形をコンピュータで自動的に探し出した(図3)。こうして生み出された新しい光は、細胞を壊しにくく、しかも蛍光寿命を4倍以上に増加させた。

「最適な光パルスの波形は複雑です。なぜこのような波形が最適なのか、超高速分光の得意な田原分子分光研究室(田原太平主任研究員)がメカニズムを探っています。こうした点が、グループを組むことの意義だと思います。同じ光科学分野でも、異なった技術や発想を持つ研究者がグループを組むことで、多

角的な研究ができます」

緑川グループリーダーと宮脇チームリーダーらは、さまざまな色の蛍光技術を開発して、タンパク質を機能ごとに色分けして光らせ、神経細胞やタンパク質の相互作用を可視化することを目指している。

### あらゆる波長域に コヒーレント科学を広げる

「私たちが共同研究をしている宮脇さんは、その分野のトップです。理研のすごいところは、異分野のトップの研究者がすぐ近くにいることです。最先端の技術を持つところが、違う分野の最先端の人たちと組んで、初めて誰もできなかったことができます。そうして生まれた技術が、やがて先端機器として商品になる場合もあるでしょう」

ただし、コヒーレント科学研究推進グループの役割は、すぐに商品化できる技術を育てたり、あらかじめ予想される成果を目指して研究することではないと、緑川グループリーダーは強調する。「ある企業の人が、“数年後に商品にできるようなことはすべてわが社でやりますから、企業側に任せてください”と言っていました。私たちの役割は、コヒーレント科学のように新しい概念を提唱して、数年後に未知の研究分野が花開くように育てることです」

緑川グループリーダーは、コヒーレント科学を今後どのように発展させて、花を開かせようとしているのか。

「理研では、非常に幅広い波長域で光科学の研究が行われています。理研が誇る光科学や応用分野の最先端の研究者と連携してコヒーレント科学を大きく発展させ、可視光で極限まで開発された技術を、テラヘルツからX線まで、より広い波長域でも実現したいと考えています。そうすれば、マイクロからマクロまでマルチスケールでの計測や物質の制御が可能となり、生命や物質の階層構造を横断的に理解できるようになります。それがコヒーレント科学の発展型です」

R

監修 コヒーレント科学研究推進グループ  
グループリーダー 緑川克美

# 量子コンピュータ 実現への道筋が見えてきた

蔡 兆申

フロンティア研究システム 単量子操作研究グループ  
巨視的量子コヒーレンス研究チーム チームリーダー

日常感覚では理解困難な量子力学的な現象を利用した「量子コンピュータ」が実現すれば、現在のスーパーコンピュータで数千年もかかる問題を、わずか数十秒で解ける。“遠い未来の夢”とも考えられてきた量子コンピュータの実現が、近年、現実味を帯びてきた。2003年、巨視的量子コヒーレンス研究チームはNECと共同で、固体素子を用いた量子コンピュータの基本回路を世界で初めて実現させた。「あと2~3年もすれば、量子コンピュータの実現がどのくらい難しいのか、いつごろ実用化できそうかを予言できるでしょう」と蔡 兆申<sup>ツァイ ヴァンシェン</sup>チームリーダーは語る。研究チームは、量子コンピュータをどのように実現しようとしているのか。

## スーパーコンピュータでも 手に負えない難問を解く

2004年現在、世界最速のスーパーコンピュータは、1秒間に約40兆回もの計算速度を誇る日本の「地球シミュレータ」である。しかしこのようなスーパーコンピュータにも苦手な問題がある。例えば、ある数を素数の積に分解する素因数分解。“15”ならば“3×5”と暗算でも素因数分解できる。しかし素因数分解する数の桁が1つ増えるごとに、計算量が指数関数的に増大して、従来のコンピュータでは手に負えなくなる。地球シミュレータのような超高速スーパーコンピュータでも、数百桁の数の素因数分解の場合、桁数により数千年以上かかる計算が必要になり、事実上、問題を解くことが不可能である。このため素因数分解はネットワーク通信の暗号にも利用されているほどだ。

このような問題を瞬時に解く“夢のコンピュータ”の実現可能性が1985年に示さ

れた。原子や電子などの量子力学的な状態を利用した「量子コンピュータ」である。ただし、量子コンピュータの実用的な演算手順(アルゴリズム)や回路の製作方法などの研究はなかなか進展せず、その実現が疑問視されていた。

1994年、ブレイクスルーが起きた。AT&Tベル研究所(米国)のPeter Shor<sup>ピーター ショア</sup>博士が、量子コンピュータを使って素因数分解を効率的に行うアルゴリズムを発見したのだ。もし量子コンピュータが実現すれば、数百桁の数の素因数分解も数十秒で解ける。「私たちを含め、多くの実験家が量子コンピュータの研究を始めたのは、この発見以降です」と蔡チームリーダーは語る。

量子コンピュータは、素因数分解、データベースの検索はもとより、複雑な量子系のシミュレーションや、膨大な可能性を調べ上げて最適な答えを導くような問題に威力を発揮すると期待されている。量子コンピュータは、どのような仕組みでこのような問題を瞬時に解いてしまうのだろうか。

## なぜ超高速計算が可能か？

現在のコンピュータは、“0”と“1”の2つの状態を「ビット」という情報処理の基本単位として演算を行う。“0”と“1”の2つの数字ですべての数を表す、二進法を用いているのだ。このビットを、ANDゲート、ORゲート、NOTゲートなどを組み合わせた「論理演算回路」で操作して、足し算や割り算などの演算を行う。

量子コンピュータも、二進法のビットを基本単位とした論理演算回路により演算することには変わりはない。ただし、そのビットは、量子力学的な波の性質を利用した「量子ビット」である。量子力学とは、原子のような微小な世界を支配する物理法則である。量子力学によると、典型的な量子である電子や光などは、粒子であると同時に、波としての性質を持つ。量子ビットは、“0”と“1”に対応する2つの波を重ね合わせる。2つの粒子を同じ場所に重ね合わせることはできないが、2つの波であれば重ね合わせる事ができるというイメージだ。これを「量子重ね合わせ」と呼ぶ。従来のコンピュータのビットは、“0”の状態か“1”の状態のどちらか一方だが、量子ビットでは、“0”と“1”の2つの状態が同時にできる(図1)。

「量子力学の世界は、日常感覚では理解し難いものです。Albert Einstein<sup>アルバート アインシュタイン</sup>でさえ、量子力学はおかしいと主張しましたが、後になって人間の日常感覚の方が間違っているということが分かりました」

物理界で  
最も“美しい”物体である  
ジョセフソン素子で  
量子コンピュータ実現への  
道筋を切り拓きます

蔡 兆申チームリーダー  
TSAI Jaw-Shen



立体構造(黄色)が、“0”と“1”の状態の量子重ね合わせによる量子ビットのイメージである。

図1 量子ビットのイメージ



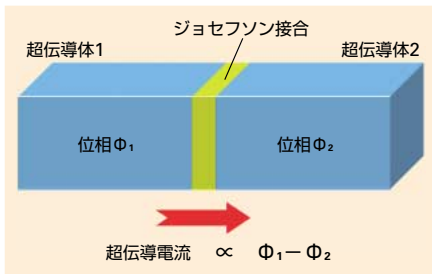


図2 ジョセフソン素子

ジョセフソン素子では2つの超伝導体の波の状態(巨視的量子状態)の違い(位相差)に比例した電流が流れるなど、量子力学的な現象を観測しやすい。

量子重ね合わせができただけでは、各ビットの情報量が2倍になっただけで、しかもそれぞれが独立した関連性のない情報である。量子コンピュータによる超高速計算は、「量子絡み合い」によって実現する。例えば2つの量子ビットの波を絡み合わせることで、"00" "01" "10" "11"という4通りの可能な順列組み合わせ状態が同時にできる。20個の量子ビットがあれば2の20乗で約100万通り、 $N$ 個のビットでは2の $N$ 乗通りの可能な順列組み合わせ状態が同時にでき、一括して情報処理ができる。

「量子コンピュータの原理は数学的に巧妙にできているのですが、言葉では正確に言い表しにくいものです。特に量子絡み合いはイメージしにくいので、オセロゲームの駒に例えてみましょう。表裏が白と黒の駒が1ビットだとします。通常のビットは表か裏かどちらかの状態です。量子ビットをこのような古典的なモデルで正確に表現するのは不可能ですが、例えば重力に逆らって駒が空中に傾いて浮いていることで、重ね合わせ状態を表すと仮定します。すると、このような状態では白黒の状態が同時にできます。そしてすべての駒が絡み合いを起こすことにより、盤面上がすべて白の状態から、すべて黒の状態に至るまで、膨大な数の可能な順列組み合わせの局面が同時にできます」

では絡み合った状態から、答えをどのように導くのだろうか。「絡み合ったさまざまな状態の波を干渉させて、答えとなる波だけを高くし、ほかの波を打ち消して、答えを導き出すといったイメージです」

このように、重ね合わせたり、絡み合わせたり、干渉させたりすることが可能な量子力学的な波の状態を、「量子コヒ

ーレント状態」と呼ぶ。原子や分子などの微小な世界では、量子コヒーレント状態を直接観測するさまざまな実験が行われており、量子コンピュータの研究でも原子や分子を使った実験が先行してきた。例えば、液体中の分子を使って7個の量子ビットを作り、15を3と5に素因数分解することに成功した実験例がある。

「ただし、液体中の原子や分子などを利用した量子ビットでは、集積化の良いアイデアがありません。実用的な量子コンピュータには、数百個以上の集積が必要なのです。また、原子や分子の物理的な構造は自然が定めたもので、変えられません。原子や分子など微小な世界では、例えば制御ゲートを1つ増やすなど、回路を自由に設計することが難しいのです」

### ジョセフソン素子で量子コンピュータを作る

人間が自由に設計したり操作できる大きさ、マイクロメートルからミリメートルといった「巨視的な」スケールで、量子力学的な波の性質が現れる理想的な構造がある。「ジョセフソン素子」である。

「私は学部の学生するとき、レーザーの発明者の一人である米国のCharles Townes (1964年ノーベル物理学賞受賞)の研究室で、ジョセフソン素子を作る手伝いをしました。ジョセフソン素子は、巨大な“人工の原子”のようなもので、巨視的な系ですが量子力学的な現象を観測することが可能です。その物理現象は単純な式で表すことができ、試料の微視的な不完全性に左右されない巨視的な現象です。例えば、1980年代の初め、私はジョセフソン接合にマイクロ波を当てて

生じる電圧(電圧標準)の計測実験を行いました。異なる材質のジョセフソン素子で測っても10の16乗分の1、そして同種の2個のジョセフソン接合間では10の20乗分の1の精度で電圧値が一致しました。物理でこんなに精度の高い実験は、いまだにやられたことがないはずですよ」

「物理の世界で、ジョセフソン素子ほど単純で美しい存在は、ほかにはあまり例がないと思います」と語る蔡チームリーダーは、その美しさに魅せられて、約30年間、ジョセフソン素子の研究を続けてきた。ジョセフソン素子は、2つの超伝導体を薄い絶縁膜や金属膜などで結合した構造を持つ(図2)。超伝導体では、ある温度以下になると、物質中をばらばらに動き回っていた電子が電子対(クーパーペア)を作って、全体が1つの波のような状態になる。その結果、電気抵抗がゼロになる。

「巨視的な物理系である超伝導体を使い、2つの超伝導の波の状態を重ね合わせ量子コヒーレント状態を作ることは、約20年前から世界中で試みられてきましたが、なかなか成功しませんでした。私たちはこのような超伝導体での量子コヒーレント状態を直接観測するために、ジョセフソン素子で量子重ね合わせを行う実験に挑戦しました」

1999年、中村泰信研究員、Yuri Pashkin研究員、蔡チームリーダーらのNECの研究グループは、固体素子(ジョセフソン接合回路)を用いた量子重ね合わせを、世界で初めて実現した。

量子重ね合わせは、波が1つではできない。2つの波(物理状態)が必要である。蔡チームリーダーらが実験に用いた回路は、図3のような構造である。ゲート電極

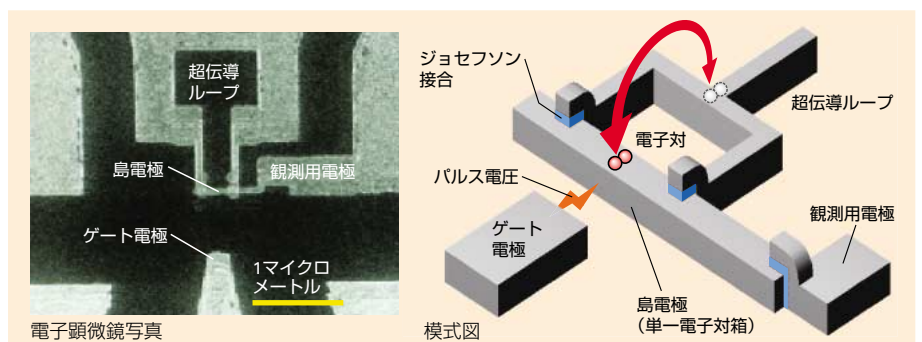


図3 ジョセフソン素子を用いた量子ビット

|       |    | 真理値表 |   |    |    |
|-------|----|------|---|----|----|
| 入力    | 出力 | 入力   |   | 出力 |    |
| 制御ビット |    | A    | B | A' | B' |
| A     | A' | 0    | 0 | 0  | 1  |
| B     | B' | 0    | 1 | 0  | 0  |
|       |    | 1    | 0 | 1  | 0  |
|       |    | 1    | 1 | 1  | 1  |

図4 C-NOTゲート (図5の説明を参照)

から島電極へパルス電圧をかけると、ジョセフソン接合を通り抜けて島電極に電子対が1つ増加する。この余分な電子対がある状態を“1”、余分な電子対がない状態を“0”として、“0”と“1”の2つの波を重ね合わせる実験を行った。「2つの波が重なり合った中間状態になるような高速のパルス電圧をかけました。成功の一番のポイントは、このパルス電圧のかけ方です」

蔡チームリーダーらが量子重ね合わせの実験を行っていたころ、原子や分子を用いた量子コンピュータの実験例が発表され始めていた。「この実験をしている最中から、私たちの回路が量子ビットになることには気付いていました。私たちの量子ビットの一番の特徴は、固体素子であることです。私たちの固体素子は、半導体回路のようにビットを集積したり、回路を自由に設計することに向いています」

蔡チームリーダーの30年間にわたるジョセフソン素子の研究が、量子コンピュータの研究と結び付くことになった。

### 量子コンピュータの基本回路を実現

2001年、理研フロンティア研究システムに単量子操作研究グループが発足した。蔡チームリーダーは、巨視的量子コヒーレンス研究チームとNECの研究者たちを率いて、量子コンピュータの研究を進めた。そして2003年、ついに固体素子(ジョセフソン素子)を用いた2つの量子ビット間で量子絡み合いを作り出すことに成功し、さらにC-NOTゲートと呼ばれる論理演算回路(図4)を世界で初めて実現した。

このゲートは制御ビット、標的ビットと呼ばれる2つの量子ビットを結合して、量子絡み合いを起こさせる。C-NOTゲートは、制御ビットの島電極に余分な電

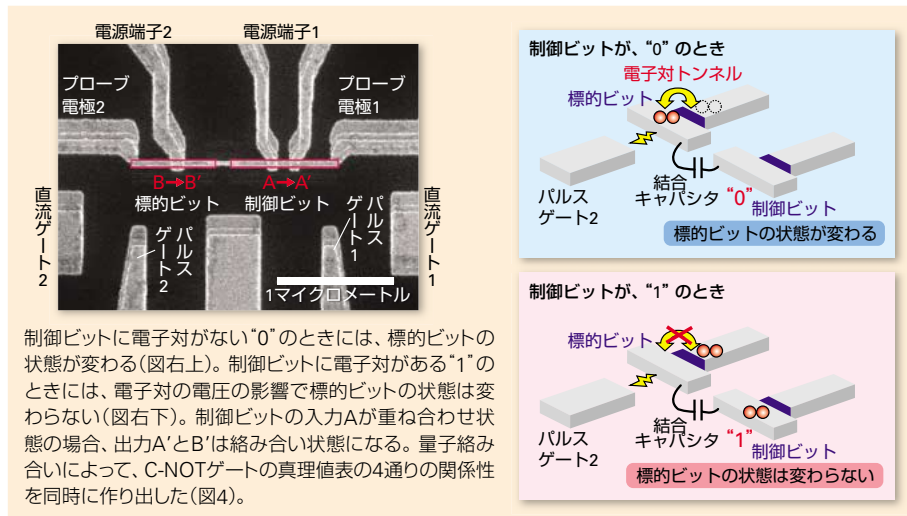


図5 C-NOTゲートを実現した回路とその作動原理

子対がない“0”のときにのみ、標的ビットの状態を変える。やはりここでも、パルス電圧のかけ方を工夫して2つの量子ビットを制御することで、C-NOTゲートの操作を実現した(図5・表紙)。

「量子コンピュータのどんなに複雑なアルゴリズムでも、量子重ね合わせによる1つの量子ビットの制御と、量子絡み合いが関与する2つの量子ビットの演算操作に分解できます」。つまり、量子コンピュータの基本回路を、蔡チームリーダーらは実現したのである。

### 量子コンピュータは実現するのか？

実用的な量子コンピュータには、少なくとも数百個以上の量子ビットの集積と、入力から出力へのゲート操作を1万回以上行う必要があると考えられている。

「量子ビットを集積化するための回路の設計を、単量子操作研究グループのデジタル・マテリアル研究チームと協力しながら進めています。一方、ゲート操作の方ですが、私たちの素子では現在1回のゲート操作に約100ピコ秒(1ピコ秒は1兆分の1秒=10<sup>-12</sup>秒)かかります。しかし、量子重ね合わせや、量子絡み合いができる量子コヒーレント状態が続くのは、現在のところ6000ピコ秒(6ナノ秒)くらいなので、60回くらいの操作しかできないことになります」

原子や分子を利用する量子ビットに比べ、ジョセフソン素子などを用いた量子ビットは、集積はしやすいが、量子コヒー

レント状態が長く続かない弱点があると指摘されてきた。量子コヒーレント状態は、外部とのエネルギーのやりとりがあると壊れてしまうのだ。しかし最近、他の研究者たちによって、ジョセフソン素子による量子ビットで量子コヒーレント状態を約1マイクロ秒(100万ピコ秒)間保てたという実験データが発表された。単純計算すれば、1回のゲート操作につき100ピコ秒で、1万回の操作が可能である。ただし、量子ビットを集積して回路を大きくするほど外部とのエネルギーのやりとりが生じる可能性が増え、量子コヒーレント状態を保つことが難しくなる。まだ解決すべき問題は数多く残されている。

最後に蔡チームリーダーは、量子コンピュータ実現への見通しを次のように語った。「私たちの量子コンピュータの研究は、今まで比較的順調にきました。計画したことは、ほとんど実験で成功しています。ただし、これからが難しくなると思います。この2~3年で量子コンピュータ実現への障壁の高さが具体的に分かってくるでしょう。そうすれば、いつごろまでに何ができるか、またはできないか、もう少しよく分かってくると思います。ジョセフソン素子をうまく使って、世界に先駆けて量子コンピュータ実現への道筋を明らかにしたいですね」 R

監修 フロンティア研究システム  
単量子操作研究グループ  
巨視的量子コヒーレンス研究チーム  
チームリーダー 蔡兆申



# 植物科学研究センター 今後の展望

杉山達夫センター長に聞く

植物科学研究センター（PSC）は、植物科学の中核的研究機関として2000年4月、理研横浜研究所に設立された。“植物に学び、植物を活かす”をモットーに、世界をリードする研究が展開されている。植物科学には、人類が直面する食糧問題の解決、という大きな期待がかかっている。PSCのこれまでの成果、そして今後の展望を、杉山達夫センター長に聞いた。

## 質の高い基礎研究と社会対応の両立

—植物科学研究センター（PSC）は、どのようなことを目指して設立されたのでしょうか。

**杉山：**PSCは、植物科学に特化した日本で初めての研究機関です（図1）。植物の機能を明らかにし、その機能を活用することを目指しています。工学や医学と比べると、植物科学は、研究成果を社会に役立てたり還元するといった「社会対応」の意識が希薄でした。質の高い基礎研究と同時に、人に資するサイエンスを立ち上げることが、私たちの使命です。社会対応を意識できる研究者の育成も、PSCの目標に掲げています。

—植物科学には、どのような社会貢献が期待できるのでしょうか。

**杉山：**人類は将来、深刻な食糧問題に直面すると予測されています。環境問題も深刻です。食糧問題や環境問題の解決に貢献できるサイエンスが、植物科学なのです。

人類と植物とのかかわりには、とても長い歴史があります。人類は、衣食住、健康や環境の維持に植物を活用してきました。しかしこれまでは、経験や知恵に頼っていました。それが今、生命科学が発展したことで大きく変わろうとしています。植物の仕組みを分子レベルで解明することができるようになり、今まで知られていなかった機能が明らかになってきました。その機能を活用することで、収穫量が多く、乾燥や病気に強い植物をつくったり、有用な物質を生産したり、新しいいろいろな技術を生み出したりできるのです。

杉山達夫センター長 *SUGIYAMA Tatsuo*



## 植物ホルモンの研究で世界をリード

—設立から4年。どのような成果が出ていますか。

**杉山：**植物には、3つの大きな属性があります。1つ目は、ものづくり。太陽エネルギーを使った光合成による物質生産です。2つ目は、からだづくり。重力に逆らって光の方向に生長し、からだの形を変えます。3つ目は、環境適応。植物は動かないので、与えられた環境に適応しなければなりません。

第1期（2000～2004年度）は、植物の「ものづくり」と「環境適応」に焦点を当てて研究を進めてきました。植物がどういう仕組みで物質生産や環境適応をしているのか。生命のからくりを学び、その成果を科学技術へと導くことを目指してきました。

私たちは、特に植物ホルモンの研究で世界をリードする成果を次々と挙げています。移動しない植物は、常に環境を感知しながら、つくる物質や、からだの形を変えていかなければなりません。外部の環境のシグナルを体内に伝えるのが、植物ホルモンです。現在7つの植物ホルモンが知られています。PSCでは、そのうちの4つ（ブラシノステロイド、ジベレリン、アブシジン酸、サイトカイニン）について、植物体内における合成経路と情報伝達のメカニズムを明らかにしています。

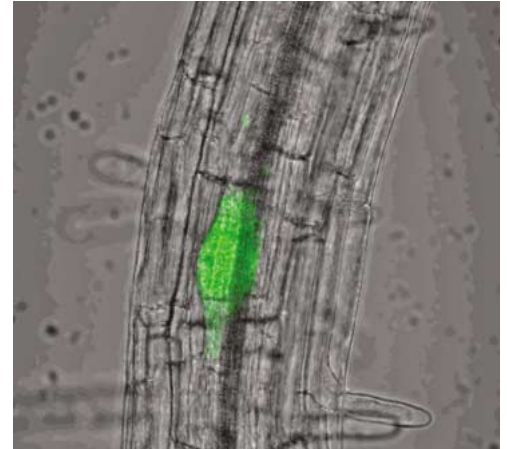
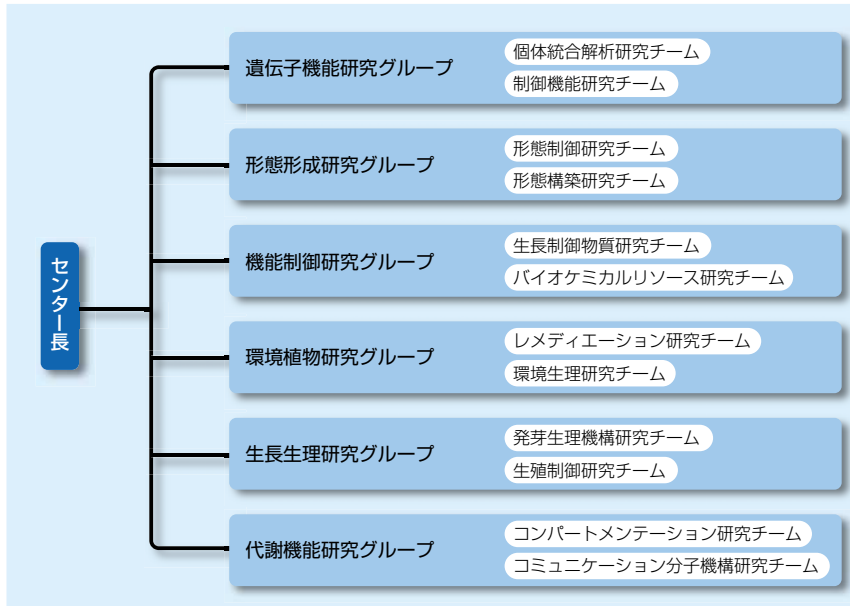
例えば、植物の生長にとって窒素は不可欠です。植物は、窒素が周りにどれだけあるかを、いつもモニターしているのです。私たちは、サイトカイニンという植物ホルモンが、窒素の存在を感知して体内にシグナルを伝達していることを、世界で初めて明らかにしました（図2）。

—実際に、PSCの研究成果から生まれた科学技術はありますか。

**杉山：**基礎研究からの科学技術の創成を、とにかくまず一つやり遂げようと考えました。それが、植物のサイトカイニンの情報伝達メカニズムを使ったバイオセンサーです。サイトカイニンを合成する酵素と、サイトカイニンの受容体の遺伝子を、微生物に導入するのです。重金属など環境汚染物質を感知するとサイトカイニンを合成し、蛍光を発するように設計しました。このバイオセンサーは、基本特許を申請中です。

質の高い基礎研究は質の高い科学技術に転換できる、一つの例になると思います。しかし若い研究者に、研究成果を科学技術に結び付けると言っても、すぐにできるものではありません。PSCのチームリーダーは多くが30歳代です。若いチームリーダーには、方向性だけを定め、あとは自由奔放に独創的な研究をしてもらっています。科学技術への転換は、シニアの研究者、グループディレクターに期待しています。研究成果から新たな科学技術を創成して特許を取る。あるいはデータベースの構築などで社会還元する。どちらかを心掛けてもらっています。





植物は窒素を感知すると、植物ホルモンのサイトカイニンを生合成し、情報を伝える。PSCでは、このメカニズムを利用したバイオセンサーを開発した。

## 第2期のテーマは「食」

— 今後は、どのように研究を展開していきますか。

**杉山:** 第1期は「ものづくり」と「環境適応」を見てきました。それを統合して、第2期(2005~2009年度)では「食」につながる物質生産に焦点を当てます。食は、植物が持つ最も重要な機能の活用です。食糧問題の解決に貢献できる、新たな科学技術の創成を目指します。

そのために解決すべき課題がいくつかあります。最も大きな課題は、植物の育成設備の充実です。植物は、環境の影響を強く受けます。二酸化炭素の濃度や温度、湿度、日照などを管理できる育成設備で実験観察を行うことが、植物科学の必須条件なのです。私たちは今、シロイヌナズナというモデル植物を使って、研究しています。シロイヌナズナは丈が30cmほどで、研究室内で栽培が可能です。全ゲノムの解読も終了していますから、基礎研究には威力を発揮します。しかし、モデル植物で得られた成果を「食」に結び付けるには、さまざまな植物種の実験観察が可能な育成設備が不可欠です。海外の植物科学の研究所では、研究室よりも育成設備の方が広くらいです。

— 研究面での課題はありますか？

**杉山:** ようやく研究が発展期に入ったところですが、2003年3月のアドバイザー・カウンシル(外部評価委員会)では、短い期間で世界レベルの研究センターになったと認めていただきました。特に化学、分子遺伝学、生化学の3つが非常にうまく結び付いていることを高く評価してもらいました。

植物科学だけではなく、最近の生命科学は、分子遺伝学に偏りがちです。全ゲノムや全遺伝子、全タンパク質の解析のような、横に広がる網羅的な研究はもちろん必要です。しかし、それだけがサイエンスだと思い込んでいる若い研究者の多いことが問題です。学際的な分野にも視野を広げ、独創的な個別研究を展開することで初めて、サイエンスとしての“縦の軸”を伸ばし、大きく発展することができるので

す。若い研究者は、そこに気付かなければなりません。

## “植物” になってはいけない

— 杉山センター長は、なぜ植物科学の研究を選んだのですか。

**杉山:** 植物は面白い。地球の二酸化炭素と酸素のバランスを維持しているのが植物です。地球環境や生命圏の根源的なものを研究しているのですから、面白くないはずはありません。

しかし高校時代には、天文学や物理学をやりたいと思っていました。『ガモフ全集』は魅力的でした。最終的に植物科学を選んだのは、子ども時代の飢餓体験が大きく影響しています。あの苦しみは今も忘れることができません。若い研究者には、なかなか実感してもらえない動機ですが。

— PSCでは、若い研究者の育成も大きな目標ですね。

**杉山:** 研究の環境づくりと若い研究者の育成が、今の私の仕事だと心得ています。若い研究者には、「スタンスを変えて、違った世界を見なさい」と言っています。私は大学院を1年間休学し、フィリピンに創設されたばかりの国際イネ研究所に行きました。生産性の高いイネの新種をつくることを目指し、後に「ミラクルライス」を生んだ研究所です。私は古典的な生理学から生化学、今でいう分子生物学への転向を希望して、ここでデンプン生合成の代謝研究を学んだのです。大学にもどって卒業した後、今度は米国ジョン・ホプキンス大学の医学部で、コレステロール生合成にかかわる酵素の研究をしました。食糧増産を目指していたフィリピンとは逆で、米国ではカロリーの過剰摂取が社会問題となっていたのです。飢餓と飽食という両極に触れ、社会とサイエンスのかかわりを意識するきっかけになりました。

ずっと同じ環境にいと、考えが固まって新しい発想が出てこない。「君たちは動物だよ。植物になってはいけない。動きなさい」と若い研究者には言っています。それからもう一つ。植物を研究している人は、自然に触れないといけない。PSCの周りにも、もっと植物の緑が欲しいですね。

R

## 中央研究所長に茅幸二氏、ゲノム科学総合研究センター長に榊佳之氏が就任

4月1日、理研中央研究所長に茅幸二氏、理研ゲノム科学総合研究センター長に榊佳之氏が就任しました。



### 茅 幸二 (かや こうじ)

1936年10月20日、北海道生まれ。1961年3月、東京大学理学部卒。理学博士。理化学研究所理論有機化学研究室、東北大学理学部、ベル研究所(米国)、慶應義塾大学理工学部化学科教授を経て、1999年より岡崎国立共同研究機構分子科学研究所所長。67歳。



### 榊 佳之 (さかき よしゆき)

1942年9月9日、愛知県生まれ。1966年3月、東京大学理学部卒。理学博士。カリフォルニア大学ウイルス研究所(米国)、三菱化成生命科学研究所、九州大学教授等を経て、1992年より東京大学医科学研究所教授、1998年より理化学研究所ゲノム科学総合研究センタープロジェクトディレクターを兼任。この間、HUGO会長等を務める。61歳。

## 御手洗文部科学事務次官、和光キャンパスを視察

み たらい やすし

御手洗康 文部科学事務次官は1月22日、独立行政法人となった理化学研究所の研究活動状況についての理解を深めるため、和光キャンパスを視察しました。御手洗事務次官は、野依良治理事長らと独法化した理研の状況について懇談した後、理研脳科学総合研究センターを訪れ、最新の脳科学研究の成果について甘利俊一センター長と御手柴克彦グループディレクター(修復機構研究グループ)から説明を



大森主任研究員と意見交換する御手洗事務次官(右)

受けました。続いて、矢野安重 加速基盤研究部長の案内で世界屈指の原子物理の研究施設であるリングサイクロトロンとRIBF建設現場を見学。最後に、素形材工学研究室のELID研削システムなどの最新の研究設備について、大森整 主任研究員から説明を受けました。いずれの研究施設でも研究者との活発な意見交換が行われ、理研の研究活動に対する期待の高さが伝わる視察内容となりました。

## 平成16年度一般公開のお知らせ

科学技術週間〈2004年4月12日(月)～18日(日) 標語「不思議だと思おう気持ちが 科学の目」〉の行事として、当研究所では下記の日程で一般公

開を行います。

理研の最先端の科学研究に親しんでいただくため、研究室・施設の公開をはじめ、講演会、各種のイベントを行い

ます。多数の方のご来場をお待ちしております。

(入場無料、15:30までにご来場ください)

### ●和光研究所

場所：埼玉県和光市広沢2-1  
日時：4月17日(土) 10:00～16:00  
問合せ先：広報室  
TEL：048-467-9954(一般公開専用)

### ●筑波研究所

場所：茨城県つくば市高野台3-1-1  
日時：4月14日(水) 10:00～16:00  
4月17日(土) 13:00～16:00  
問合せ先：筑波研究所 研究推進部 総務課  
TEL：029-836-9111

### ●播磨 大型放射光施設[SPring-8]

場所：兵庫県佐用郡三日月町光都1-1-1  
日時：4月24日(土) 10:00～16:00  
問合せ先：播磨研究所 研究推進部 総務課  
TEL：0791-58-0808

### ●横浜研究所

場所：神奈川県横浜市鶴見区末広町1-7-22  
日時：6月26日(土) 10:00～16:00  
※6月の開催となります  
問合せ先：横浜研究所 研究推進部 企画課  
TEL：045-503-9117

### ●神戸研究所

場所：兵庫県神戸市中央区港島南町2-2-3  
日時：4月17日(土) 10:00～16:00  
問合せ先：神戸研究所 研究推進部 総務課  
TEL：078-306-0111

### ●フォトダイナミクス研究センター

場所：宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉519-1399  
日時：4月14日(水) 10:00～16:00  
問合せ先：フォトダイナミクス研究センター  
フォトダイナミクス研究推進室  
TEL：022-228-2111

## 第17回「独立行政法人理化学研究所と産業界との交流会」が開催される

「理化学研究所と親しむ会」が主催する「理化学研究所と産業界との交流会」が、2月12日、ホテルオークラで開催されました。「理化学研究所と親しむ会」は理研と産業界の密接な交流を通じて理研の研究成果と産業界のニーズとを結び付けることを目的とし、毎年、講演会や懇親会などを開催しています。17回目の今回は、曾根博 理研と親しむ会会長の開会の辞、野依良治 理研理事長のあいさつに続き、理研発生・再生科学総合研究センターの竹市



竹市雅俊センター長

雅俊センター長が「発生・再生研究の概要と役割」、西川伸一 副センター長（幹細胞研究グループディレクター）が「幹細胞－細胞の新陳代謝システム」と題して講演しました。その後の懇親会では、河村建夫 文部科学大臣、有馬朗人 参議院議員らが出席し、お祝いの言葉を述べました。会場には理研の最新の研究成果や理研ベンチャーを紹介する27の展示コーナーが設けられ、各コーナーでは熱心な質疑が交わられていました。参加者は約440名。

## 新ユニットリーダーの紹介

新しく就任したユニットリーダーを紹介します。

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

### 免疫・アレルギー科学総合研究センター ユニットリーダー 免疫遺伝研究ユニット

**吉田 尚弘** (よしだ ひさひろ)

1. 1960年11月16日 2. 熊本県 3. 熊本大学大学院医学研究科博士課程 4. 京都大学医学研究科助手、岐阜大学医学研究科助教授 5. ENUミュータントマウスでの免疫・アレルギー疾患モデル解析 6. 一期一会 7. 釣り



### 免疫1分子イメージング研究ユニット

**徳永 万喜洋** (とくなが まきお)

1. 1959年10月22日 2. 愛媛県 3. 東京大学大学院理学系研究科博士課程 4. 新技術事業団柳田生体運動子プロジェクト、国立遺伝学研究所 5. 分子イメージング 6. チャレンジ 7. 読書



### アレルギー戦略研究ユニット

**石井 保之** (いしい やすゆき)

1. 1962年5月22日 2. 北海道 3. 東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程 4. キリンビール株式会社医薬探索研究所、独立行政法人産業技術総合研究所 5. アレルギー疾患予防治療法の研究開発 6. 誠実さとチャレンジ精神 7. スキー、音楽鑑賞 (クラシカルロック)



### 免疫細胞移植戦略研究ユニット

**藤井 眞一郎** (ふじい しんいちろう)

1. 1964年1月5日 2. 宮崎県 3. 熊本大学大学院医学研究科博士課程 4. ロックフェラー大学免疫学 5. 樹状細胞とNKT細胞を用いた免疫療法 6. 担がん患者の免疫療法に役立つ研究を進めていきたい 7. 野球、ランニング



### 自己免疫病戦略研究ユニット

**上阪 等** (こうさか ひとし)

1. 1960年3月8日 2. 東京都 3. 東京医科歯科大学医学部 4. スクリプス研究所ポスドク、カリフォルニア大学サンディエゴ校医学部助教授、東京医科歯科大学大学院助教授 5. 膠原病の病態解明と新規治療法の開発 6. 臨床に還元できる医学を目指す 7. ダイビング



### 免疫監視機構研究ユニット

**渡邊 武** (わたなべ たけし)

1. 1940年7月15日 2. 大阪府 3. 大阪大学医学部 4. ロズエルパーク記念がん研究所、パーゼル免疫学研究所、九州大学生体防御医学研究所教授、同研究所長 5. 免疫監視機構の解明 6. ユニークな発想 7. 映画、美術鑑賞



### 免疫恒常性研究ユニット

**堀 昌平** (ほり しょうへい)

1. 1971年3月2日 2. 神奈川県 3. 東京大学大学院薬学系研究科博士課程 4. Instituto Gulbenkian de Ciencia (Oeiras, Portugal) ポスドク 5. 自己・非自己の識別、「優性」免疫寛容機構の研究 6. 完全燃焼 7. スキー、音楽鑑賞



## 組織変更のお知らせ

4月1日付で研究室名の変更等がありました。  
詳しくは [http://www.riken.jp] を参照ください。



## イギリス滞在こぼれ話

松田恭幸

MATSUDA Yasuyuki

ミュオン科学研究室 研究員

**私**が理研に入所してからおよそ6年になるが、そのうちの半分ぐらいの時間をイギリスに理研が設置した理研RALミュオン施設で過ごしていることになる。滞在中、イギリスの新聞やテレビを見ながら感じることは、普通のイギリス人にとって日本は遠い国だということである。いろいろな報道がある中で、日本の社会を少し違った視点から見ている記事は面白いが、誤解を含んだ記事も時々は見かけることがある。



筆者近影。RAL支所から車で約1時間のところにある「ブレナム宮殿」にて。

**2**002年のワールドカップを翌年に控えてチケットの販売が始まったところ、イギリスを代表する新聞の一つ『タイムズ』に「日本ではお金に気を付けて」という記事が出た(“The FA warns fans of Japan’s yen for folding money”, The Times, 22<sup>nd</sup> Oct 2001)。ワールドカップ観戦に行こうと思っているイギリス人に向けたその記事は、日本の物価がいかに高いかを述べた後で、日本は現金決済の社会でホテルやレストランではクレジットカードを受け付けてくれず、イギリスの銀行口座からお金を下ろすことができる場所は広い東京都内に2カ所しかないと述べていた。おまけに共催国であるお隣の国ではクレジットカードが問題なく使え、英語もよく通じるのでイギリス人にとっては楽だろう、と書いてあるではないか。読んで思わず目が点になり、『タイムズ』の東京特派員はどんな生活をしているのだろうかと同僚に見せながら大笑いしたのだが、しばらくすると、こんな記事が独り歩きしては問題ではなからうか、と思い始めた。そこで、東京の物価はロンドンとそれほど変わらず不当に高いとはいえないこと、ほとんどのイギリスのクレジットカードは問題なく使えること、多くの郵便局のATMでイギリスの銀行口座から日本円の引き落としが可能なことなど、記事の内容に一つ一つコメントし、『タイムズ』紙の読者投稿欄\*に投稿することにした。

**英**語の論文やレポートは何回も書いたが、新聞に投稿したのは、日英問わず初めてである。期待しながら毎日『タイムズ』を読むのだが、紙面になかなか現れない。学術誌

と違って不採用の通知が来るわけではないのだが、1週間たっても掲載されないとなるとどうやら落ちたらしいと判断せざるを得なくなった。こうなると意地みたいなもので、日本のためにも(!)私の文章をどこかに載せなくては気が済まなくなってしまった。そこで今度は、BBCが自社のウェブページ上に設置していたワールドカップに関する読者投稿欄に「日本での滞在中の費用と現金の調達法についていくつかの報道があったようですが……」と前置きして投稿

することにした。再び待つこと今度は2日間。無事に私の投稿が掲載された。しかも目立つように別欄にも文章の一部が抜粋されていた。『タイムズ』に載らなかったのは悔しいが、少なくとも言うべきことは言ったぞ、と満足。やや大げさだが、論文が採用されたような気分である。さらにできるだけ多くの人の誤解を解いておかねば、と、同様の内容をサッカーファンが集まっていそうないくつかのサイトの掲示板にも投稿しておいたのだった。

**そ**の翌年、ワールドカップは無事に終了したが、その前後でイギリス国内での日本への印象は確かに好意的に変わったように思える。バッカム人気もあってイングランドびいきの日本人が多かったことも影響しているのだろうが、実際に日本に観戦に行ったイギリス人が語る日本の姿の影響が一番大きかったのだと思う。そのために私の投稿が少しでも役に立ったのなら、イギリス滞在中はいつも「日本の旗を掲げている」気持ちになっている私としては、ひそかに満足である。 **R**

\*『タイムズ』紙の読者投稿欄は編集長への手紙の形をとっており、日本の新聞の「読者の声」欄とは違い、『タイムズ』紙に掲載された記事に対するコメントや意見などを述べる場所になっている。内容的には『Physical Review』誌の「Comments」に近いといえば理解していただけるだろうか。

理研ニュース

4

No.274  
April 2004

発行日

平成16年4月5日

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  
koho@riken.jp  
http://www.riken.jp



『理研ニュース』はホームページにも掲載されています。

デザイン

株式会社デザインコンピビア

制作協力

有限会社フォトンクリエイト

再生紙(古紙100%)を使用しています。