

RIKEN NEWS

ISSN 0916-619X

理研ニュース

RIKEN
PUBLIC RELATIONS OFFICE
2-1 Hirosawa, Wako, Saitama,
351-0198 Japan
phone: 048-467-8349(direct)
fax: 048-462-4715
e-mail: koho@postman.riken.go.jp
http://www.riken.go.jp

No.252: June 2002

6



研究最前線

②

- 電子の状態から物質の性質・機能を探る
- 複雑系の現象を利用したポストナノテクノロジー

SPOT NEWS

⑧

- シロイヌナズナ完全長cDNA約14,600種を同一高等植物において世界で初めて完全長cDNA情報を大量公開

特集

⑨

- 理研-BNL協力覚書延長

TOPICS

⑩

- 理研の研究施設を一般公開
- 「サイエンス・カップル ポスターセッション」を開催
- 「発生・再生科学総合研究センター開所記念シンポジウム」を開催
- 「第24回理化学研究所科学講演会」開催のお知らせ
- 横浜研究所 一般公開のお知らせ

原酒

⑫

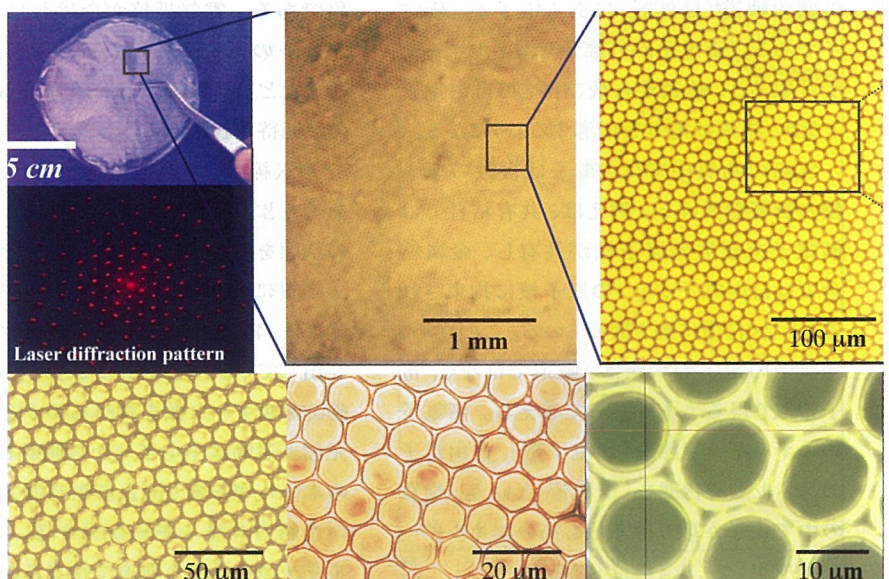
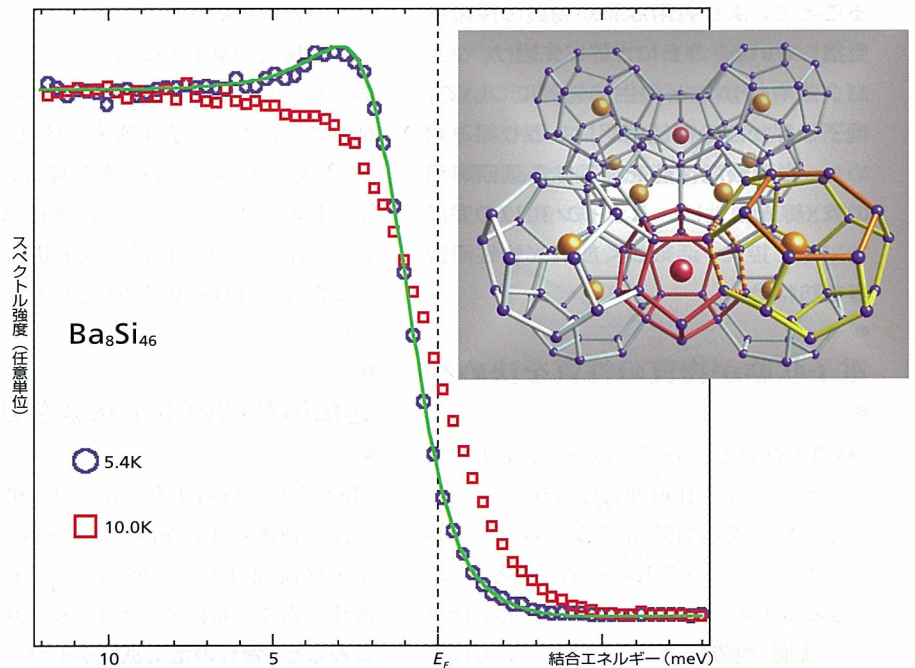
- ドイツでの研究生生活

(上) 新規超伝導体のバリウム内包シリコンクラスレートBa₈Si₄₆とその光電子分光スペクトル

最近、シリコン(Si)がかごを作ることが発見された。シリコンのかごだけでは超伝導にならないが、かごの中にバリウム(Ba)が8個入ると超伝導になる。赤い点は金属相のBa₈Si₄₆の光電子分光スペクトル。青い点は超伝導状態での光電子分光スペクトル。「電子の状態から物質の性質・機能を探る」から

(下) 蜂の巣構造を持つ高分子フィルム

「複雑系の現象を利用したポストナノテクノロジー」から



電子の状態から物質の性質・機能を探る

播磨研究所 放射光物性研究室
主任研究員 辛 埴

「SPring-8の軟X線を利用して、電子状態から物質の性質を調べることが、私たちの研究室の役目です」と、播磨研究所放射光物性研究室を率いる辛埴主任研究員は語る。半導体や超伝導体の電子状態を調べ、電気伝導のメカニズムを明らかにすることで、より有用な新規物質の探索を目指している。さらに世界に先駆け、タンパク質やDNAなどの生体物質について、電子状態からの機能解明にも取り組み始めた。世界最高性能を実現する理研専用の軟X線光物性ビームラインBL17の完成を来年に控え、活気づく放射光物性研究室を訪ねた。

● 電子状態が物質の性質を決める

「物質の性質を決めているのは、電子の状態です」と、辛主任研究員は言う。

原子核の周りには、電子が回る何本かの軌道がある。それぞれの軌道に入ることができる電子の数は決まっていて、電子は内側の軌道(内殻)から入っていく。いちばん外側の軌道(最外殻)にある電子が、価電子である。価電子が外部からエネルギーを受け取ると、軌道から飛び出して自由電子となり、物質は電気を伝導するようになる。

実際の物質中では、電子は複数の原子核の影響を受ける。例えば、共有結合では価電子を複数の原子核が共有し、金属結合では自由電子が1つの原子核に拘束されることなく自由に動き回っている。このため、物質中の電子の状態は、軌道ではなく、電子の取り得るエネルギーで考える。価電子のエネルギー状態を「価電子帯」、自由電子のエネルギー状態を「伝導帯」という。物質の中で電子が取り得る最も高いエネルギーレベルが「フェルミ準位」である。

「電子の中でも物質の性質に直接関係しているのは、価電子帯のトップと伝導帯の底にある電子だけです。そこを詳しく観測すると、電気を伝導したり、磁性を持ったりという物質の性質がよく分かってきます」

SPring-8は、硬X線の利用を主要な目的とした大型放射光施設である。硬X線は、分子の構造や原子の配列を見ることができ、タンパク質の構造解析などで威力を発揮しているが、電子状態までは見えない。「私たちが利用している軟X線は、硬X線よりもエネルギーが低く、波長は0.5～100nmほどです。物質の電子状態を観測して物質の性質を知るのに、いちばん都合がいい波長の光なのです」

● 超伝導状態の電子状態を見る

「物質として面白そうなものや、利用価値が高い物質の性質を調べています」と語る辛主任研究員のターゲットの1つが、超伝導体である。超伝導^{※1}とは、転移温度以下になると、物質の電気抵抗がゼロになる現象である。電気抵抗がなければ電気エネルギーの損失がないため、蓄電が可能になるなど工業的な利用に変革をもたらすものと期待されている。

「軟X線の“光電子分光”という実験手段を使うと、超伝導が起きているときの電子の状態を、直接見ることができます」

物質に軟X線を照射すると、「光電効果」により、電子がエネルギーを受け取って飛び出してくる。飛び出してきた光電子の運動エネルギーと数を調べるのが、光電子分光だ。運動エネルギーから照射した軟X線のエネルギーを引くと、その電子が持っていた結合エネルギーが分かる。結合エネルギーは、元素と軌道で決まるので、電子

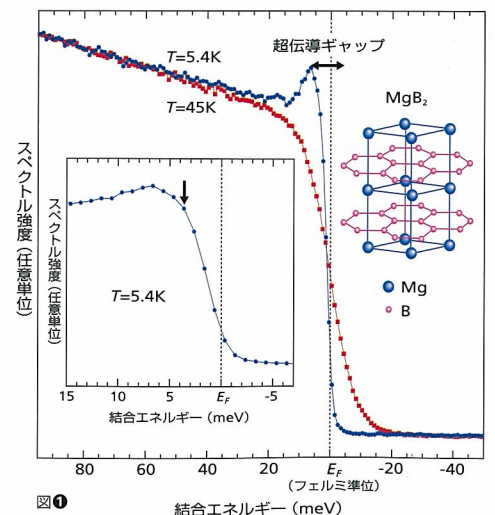


がどのような状態で分布しているかを知ることができるのだ。

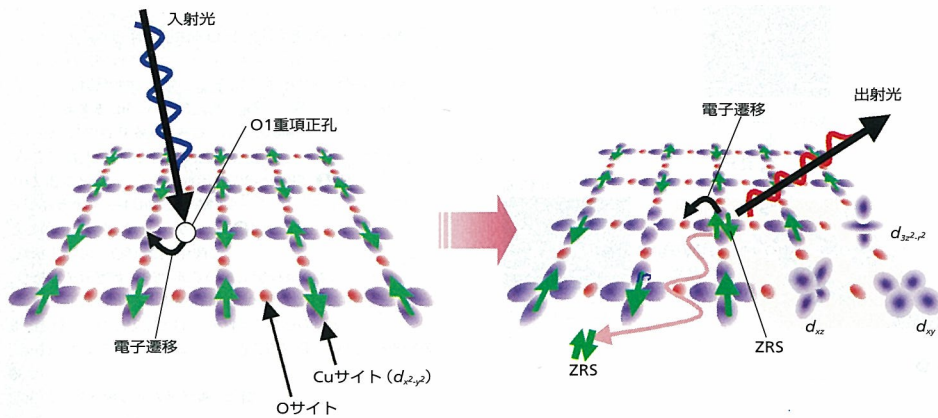
「最近発見された二ホウ化マグネシウム(MgB₂)という超伝導体の軟X線光電子分光を調べました。常伝導状態と超伝導状態での電子状態の変化を知ることができます」(図①)

MgB₂の転移温度は40K(約-233℃。絶対温度0Kは-273.15℃)。常伝導状態である45Kでの光電子スペクトル(赤)は、フェルミ準位周辺で滑らかになっている。一方、超伝導状態である5.4Kでの光電子スペクトル(青)は、フェルミ準位の左側(価電子帯)にピークがある。ピークとフェルミ準位とのエネルギーギャップを「超伝導ギャップ」という。これは、超伝導状態に特徴的な電子状態で、超伝導ギャップが大きいほど、転移温度が高いと考えられている。つまり、超伝導ギャップを調べれば、転移温度などの性質が分かるだけでなく、超伝導を起こす新規物質の探索の指標にもなる。そのため、超伝導物質が発見されると、まず超伝導ギャップの観測が試みられる。しかし、超伝導ギャップが観測された例はまだ少ない。

「超伝導ギャップはわずか数meVから数十



図①



図②

※1 超伝導
電子が2個ずつペア（クーバー・ペア）を組んで物質中を移動することで起きるとするBCS理論で説明される。BCS理論では、転移温度は最高30~40Kと考えられ、高温超伝導は説明できない。

※2 電子スピン
電子は、原子核の周りを回りながら自転している。これを電子スピンといい、上向きと下向きがある。電荷を持つ電子が回転することにより、磁性が生まれる。

※3 ホール（正孔）
電子を取り去ってできた穴。プラスの電荷を持ち、物質内をマイナスの電極に向かって移動する。電子とともに電気伝導の担い手である。

図①：超伝導体二ホウ化マグネシウム（MgB₂）の光電子スペクトル。挿入図左は超伝導状態におけるフェルミ準位近傍の光電子スペクトル拡大図。
図②：高温超伝導体関連物質Sr₂CuO₂Cl₂の酸素サイトの軟X線発光分光
図③：ミオグロビンの構造（上）と軟X線発光分光の比較

meVです。分解能が低いと超伝導ギャップは見えません。現在、軟X線光電子分光の最高分解能は1.4meVです。SPring-8では分解能をできるだけ上げて、超伝導ギャップを精度よく観察したいと思っています」

● 高温超伝導物質のメカニズムに迫る

超伝導体は、転移温度が常温に近い“高温”のほうが利用しやすいため、世界中で高温超伝導物質が探索されている。「現在、140Kで超伝導になる物質が見つかります。しかし、高温超伝導のメカニズムは、まだ分かっていないのです」と、辛主任研究員は言う。

高温超伝導体の1つである銅酸化物については、「Zhang-Rice 1重項（ZRS）の形成」というモデルが提案されている。

銅酸化物超伝導体の関連物質であるSr₂CuO₂Cl₂には銅（Cu）と酸素（O）からなる平面があり、逆向きの電子スピン^{※2}を持ったCuイオンが隣り合って並んでいる。このような物質は反強磁性絶縁体であり、電気を伝導しない。ここで、Oの内殻に共鳴する軟X線を照射すると、電子がエネルギーを受け取って飛び出し、Oの内殻にホール（正孔）^{※3}が形成される。飛び出した電子は隣のCuイオンと結び付く。Oの内殻ホールには、別なCuイオンから電子が遷移してくる。結局Oの内殻ホールを介してCuイオン間で電子の受け渡しが行われたことになり、逆向きの電子スピンの結合した状態が出現する。これがZRSだ。ZRSの形成によって、反強磁性の状態が壊されることが、超伝導状態の起源であると考えられている。

Cuイオンの電子がOの内殻ホールを埋

めてZRSが形成される時、電子が余分なエネルギーを放出して発光する。辛主任研究員は、ZRSがCuとOからなる平面を斜めに移動しながら次々と形成されていく様子を、軟X線発光分光によって観測することに初めて成功した（図②）。

「高温超伝導は、電子スピンのゆらぎが原因であると考えられています。電子状態の詳細な観測から高温超伝導のメカニズムを明らかにしていくことで、転移温度がより高い、高温超伝導物質を効率的に探すことを目指しています」

● タンパク質の機能を電子から探る

辛主任研究員の研究対象は、金属系だけではなく生体物質へも広がっている。その1つがミオグロビンである。ミオグロビンは筋組織に見られるタンパク質で、酸素を貯蔵する。「ミオグロビンの酸素貯蔵機能を担っているのは、鉄（Fe）イオンです。ミオグロビンのFeイオンと酸素分子（O₂）が化学結合したり、切れたりするときの電子状態を、軟X線発光分光を使って調べています。タンパク質の立体構造から機能を解析する研究は盛んに行われていますが、電子状態から機能を明らかにしようという取り組みは、今までにありません」

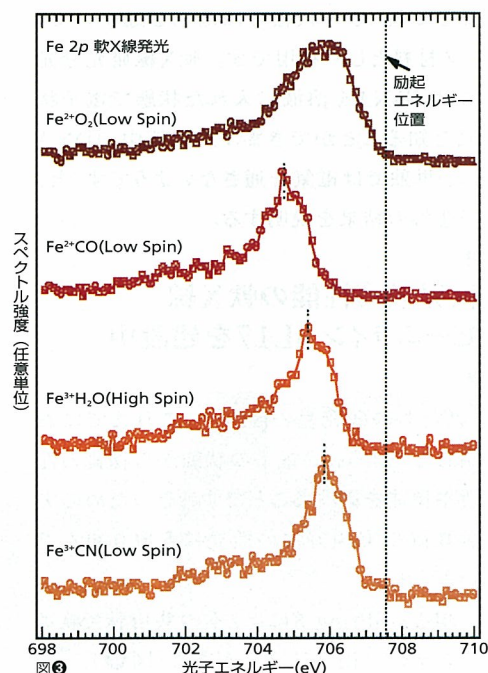
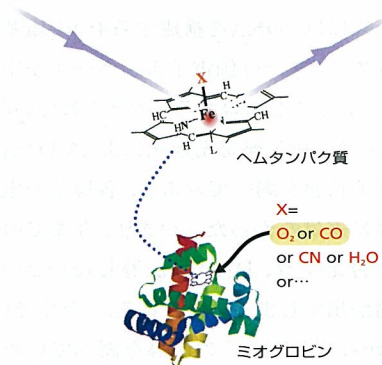
ミオグロビンのFeイオンに、酸素（O₂）、一酸化炭素（CO）、シアン（CN）、水（H₂O）をそれぞれ結合させる。軟X線を照射して発光分光を観測すると、それぞれの分子がどのようにFeイオンと結合しているのか、電子の配置や電子スピンの向きを知ることができる（図③）。O₂とCOは同じ価電子数、電子スピン状態だが、発光スペクトルの形が違っていることから、結合の強さに違いがあることが分かる。「これからのタン

パク質の機能解析は、電子状態からのアプローチが主流になると思います」と、辛主任研究員は言う。

● DNAの電子状態を元素別に見る

「もう1つ、生体物質で取り組んでいるのがDNAです。これまで、生体物質のように複雑な多元系物質の電子状態を調べる方法はありませんでした。それを可能にしたのが、軟X線発光分光です」

電子が持つ結合エネルギーは、元素ご



図③

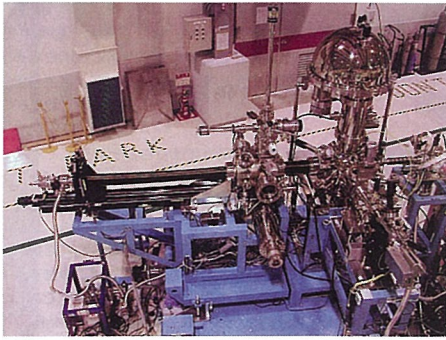


図4

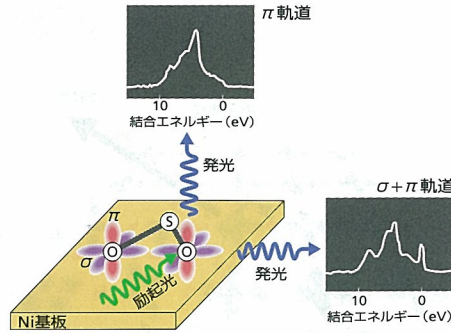


図5

※4 アンジュレータ
N極とS極が交互に入れ替わる磁石で作られた偏光装置。挿入光源と呼ばれ、リングの直線部に挿入する。電子は周期的に小さく蛇行して進み、曲げられることに発生した放射光が干渉することで、輝度の高い(従来のX線装置の100倍)、特定の波長の光を得ることができる。

図4: SPring-8の共用軟X線ビームラインBL27の電子エネルギーアナライザー
図5: ニッケル(Ni)基板に吸着した二酸化硫黄(SO₂)の電子状態。SO₂は環境科学において典型的な有害分子であり、その触媒反応(無害化)を理解することは重要である。SとOの結合(σ 軌道)、OとNiの結合(π 軌道)を軟X線発光分光で調べることによって、反応のメカニズムが分かる。

監修: 播磨研究所放射光物性研究室
主任研究員 辛 埴

と、そして軌道ごとに異なっている。軟X線発光分光を使えばDNAを構成している窒素(N)、酸素(O)、炭素(C)、リン(P)の電子状態をそれぞれ分離して調べ、DNAの性質を詳しく知ることができる。

「DNAは半導体の性質を持ち、ナノ材料としても注目されています。しかし、DNAのどこを、どのように電気が伝導するのか問題になっています。私たちは、軟X線発光分光によってDNA中の電子状態を明らかにしようとしています。このような試みは世界で初めてです」

一般には、DNAを構成する4つの塩基のうちグアニンだけ価電子帯にホールが空きやすく、そこを伝導すると考えられている。ところが、軟X線発光分光によってDNA中の電子状態を調べてみると、各塩基の電気伝導に差はなかった。つまり、今までの研究を否定する、DNAは伝導しないという結論が出てしまったのである。「今までは、“干からびたDNA”の伝導を調べていたのでしょう。その状態では電気を通すので、ナノ材料として有用です。軟X線発光分光では、DNAを溶液に入れた状態で電子状態を知ることができます。溶液中のDNAは、単独では電気を通さないようです」と、予想外の結果を説明する。

世界最高性能の軟X線ビームラインBL17を建設中

「私たちの研究室の目的は、これまでにお話ししたように、電子の状態から物質の性質や機能を調べることです。そのための実験装置や実験方法の開発にも取り組んでいます」

現在、SPring-8には2本の共用軟X線ビームライン(BL25、27)がある(図4)。「こ

れらのビームラインは世界最高の実験装置です」と、辛主任研究員は言う。「しかし、より先端的な研究を行うためには、さらに性能を上げたビームラインが必要です。現在、理研専用の軟X線光物性ビームラインBL17を建設している最中です」

BL17の最大の特徴は、高度な偏光技術が使えることである。「軟X線では、偏光を自由に切り替えるかどうか、観測結果を左右します。特に、高温超伝導と関係する反強磁性体など、磁性の情報を知るためには円偏光が不可欠です」

円偏光には右回りと左回りがある。円偏光の向きによって選択的に、上向きあるいは下向きの電子スピンを持つ電子だけが光電子として飛び出してくる。円偏光を使うことで、磁性を決めている電子スピンの状態を知ることができるのだ。

BL17には、理研播磨研究所X線超放射物理学研究室の北村英男主任研究員が開発したアンジュレータ^{※4}を使用する。このアンジュレータは、水平・垂直偏光、左右円偏光が切り替え可能である。さらに、円偏光の速いスイッチングを世界で初めて実現した。高温超伝導における電子スピンの反転なども精度よく観測できるので、高温超伝導のメカニズム解明にブレークスルーをもたらすと期待されている。

BL17は、強度、輝度、分解能ともに世界最高性能の軟X線ビームラインになる。完成は、2003年秋の予定だ。さらに将来は、世界で最長の軟X線専用30m長尺アンジュレータビームラインの建設も計画されている。

軟X線顕微鏡で ナノの世界を探る

「BL17のもう1つの特徴は、10億分の1mと

いうナノサイズの解析が可能な軟X線顕微鏡システムです」

電子顕微鏡は10~20nmの分解能を持つが、試料を乾燥させて真空中で観察しなければならない。一方、軟X線は“水の窓”とも呼ばれる波長を持ち、水による吸収が少ない。そのため軟X線顕微鏡は、水を含んだ試料や溶液中の生体物質などを高分解能で観察することができる。現在の軟X線顕微鏡の分解能は20nmだ。SPring-8のBL17では、数nmを目指す。

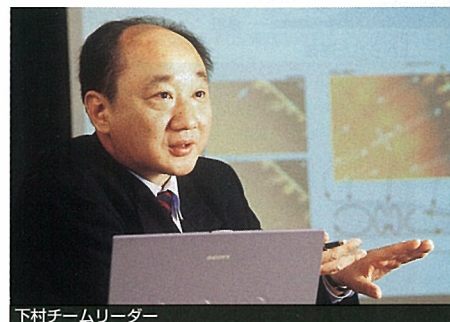
軟X線顕微鏡にはもう1種類、光電子顕微鏡がある。「軟X線を照射して飛び出す光電子を電子レンズで拡大して観察することで、半導体や金属表面で起きる触媒のメカニズムを知ることができます。化学反応の様子が電子レベルで分かれば、人工的に反応を制御することができるようになります」

表面での化学反応は、基板と分子の間で起きる電子のやり取りによって支配されている。現在研究室では、軟X線発光分光によって電子状態を調べているが(図5)、光電子顕微鏡を利用することによって、ミクロな領域で起きる反応過程の電子状態の変化を追跡できるようになる。「反応過程の理解から、反応の制御、さらには新しい機能性材料の開発というのが最終的な目標です」

日本には軟X線専用の光源がなく、諸外国に比べると、日本の軟X線研究は遅れている感がある。「外国に追いつき追い越すことが私たちのミッションです。BL17が完成すれば、それは十分可能です」と辛主任研究員はゆるぎない自信を見せる。世界最高輝度をもつSPring-8の軟X線は、物質中の電子状態の解明を通じて、物質の真の姿を次々と照らし出していこう。

複雑系の現象を利用した ポストナノテクノロジー

フロンティア研究システム 時空間機能材料研究グループ
散逸階層構造研究チーム チームリーダー 下村政嗣



下村チームリーダー

「ナノスケール^{※1}の構造を組み上げてマイクロスケール以上の構造物を作る技術を、私はあえて“ポストナノテクノロジー”と呼んでいます」と下村政嗣チームリーダーは語る。その手法として、研究チームでは散逸構造^{※2}というパターン形成現象に注目した。散逸構造を利用して、従来は微細加工技術でしか作れなかったような蜂の巣構造などの高分子フィルムを、溶液を蒸発させるだけで作製することに成功した。この高分子フィルムを、“21世紀の医療”として注目を集める再生医療などの最先端分野へ応用する研究も進めており、実用化の日も近い。

● 生物が用いるボトムアップ手法

ナノスケールのような極微な構造を作るには、トップダウンとボトムアップの2つの手法がある。トップダウンは大きな構造を加工して小さい構造を作る手法で、その代表例は半導体の加工技術である。リソグラフィーという露光転写技術を使って、シリコンの基板上に集積回路のパターンを焼き付ける。より細密なパターンを描くことで、コンピュータの計算速度やメモリの容量を向上させてきた。一方、ボトムアップは、小さな構造を組み上げて大きな構造を作る手法である。

「ボトムアップの最もよい手本が生物です」と下村チームリーダーは解説する。

生物は、外部から誰かが操作や加工をしなくても、ひとりでに構造や秩序を生み出していく“自己組織化”の能力を持つ。生体内では、DNAの情報に基づいて、ナノスケールのタンパク質や核酸、脂質などが化学的な性質で集まり結合し、生体膜や分子集合体ができる。それらの分子集合体からミトコンドリアなどの細胞内小器官ができる。さらに細胞

内小器官が集まって細胞を形成し、細胞が集まって臓器や筋肉などの生体組織になる。そして生体組織から体が作られている。

「生物においては、小さい構造が自己組織化によって大きいものへと積み重なって階層的な構造ができ、生体の機能を発揮しています。このような自己組織化によるボトムアップの手法で、階層的な構造を持ち、新たな機能を発揮する材料やデバイスができれば、従来のリソグラフィーのような多量のエネルギーを必要としない、省エネルギー型の環境に優しい技術となります」

ナノスケールの分子を複数の種類、組み合わせ、単独の種類分子にはない新機能を持つ数十nmの分子集合体を作る“超分子科学”の研究が、約30年前から行われている。

「超分子科学などにより、ボトムアップの手法でナノスケールの分子を組み上げて、最近では数百nmの構造物も作れるようになってきました。われわれは、さらにその先の数百nmから数μm、さらにはメートルスケールまでの構造物、自己組織化によるボトムアップの手法だけで作れないかと考えました」

● 高分子溶液の中の散逸構造

ボトムアップの手法として、下村チームリーダーらは複雑系で起きる散逸構造に注目した(図①)。例えば熱いみそ汁には、規則



みそ汁の対流(ベナール対流)



ワインのしずく(フィンガリング不安定性)



寒気の吹き出しに伴う筋状の雲(カルマン渦)

的な対流(ベナール対流)が見られる。熱エネルギーが下から上へと運ばれ、空気へと逃げていく過程で対流は起きる。このように、エネルギーや物質が拡散していくダイナミックな過程で形成される規則的な構造が散逸構造である。

身近なところで、さまざまな散逸構造が見られる。例えばガラスにしずくが規則的・周期的にできる“ワインのしずく(フィンガリング不安定性)”と呼ばれる現象がある。これは、ワインが毛細管力でガラスを上昇したり、逆に重力で落ちてくるといった複雑な過程で起きる。冬の日本列島付近の上空で見られる、寒気の吹き出しに伴う筋状の雲も、“カルマン渦”と呼ばれる散逸構造である。

「対流は液体だけでなく気体でも起きます。筋状の雲は、クロススケールの構造です。このように、散逸構造は物質系やスケールを問わずにできます。しかも自然界の複雑系では、とても一般的な現象です。要するに複雑系を使えば何か散逸構造ができるだろうということで、われわれは、高分子の溶液を基板上で蒸発させてフィルムを作るキャストプロセスを、詳しく調べてみることにしました」

高分子溶液が蒸発していく過程は、溶液の温度や濃度などが時々刻々、変化していく複雑系である。

「ポイントは、通常のフィルムを作る場合よりも100分の1から1000分の1ほど薄い溶液を用いたことです。基板上に溶液が一様に

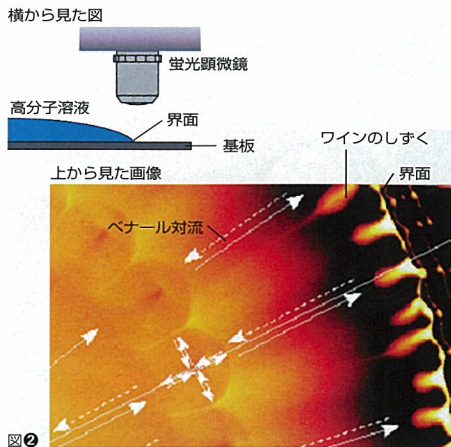


図2

ぬれるように広がると、蒸発した後は切れ目のないフィルムができます。しかし薄い溶液では、多くの場合、基板にはじかれる“デウェッティング”によって、切れ切れのシミになります。これは塗装やフィルムを作る分野で困った現象として知られています。しかし、濃度などの条件をうまく選ぶと、散逸構造ができることを発見したのです」

図2の画像は、蛍光色素を付けた高分子溶液の緑（溶液の界面）を、上から蛍光顕微鏡で見たものである。よく光っているところには高分子がたくさんある。界面付近ではワインのしずく現象、中央部付近ではベナール対流が起きている。

「これは、高分子溶液の中で散逸構造ができていたことをとらえた、おそらく世界で初めての画像です」

溶液の蒸発によるフィルム化は、厚さが薄い界面から始まり、界面が後退しながら進む（図3）。蒸発の初期には“ワインのしずく”によるライン構造ができる（エリア1）。ラインは界面の後退方向と平行に走る。しかし蒸発が進んで濃度が高くなった界面では、後退方向と垂直のラインができる（エリア3）。これは“コーヒーのシミ（スティック・スリップモーション）”現象である。

「図3右上のコーヒーカップは、わざと数日間放置したものです。同心円状のシミが見えます。この構造は、コーヒー溶液と空気との界面で起きる蒸発に伴う現象です。蒸発により界面付近の濃度が上がると、粘度が高まったコーヒーの粒子は、カップの壁にくっついていきます。一方、コーヒーの溶液全体は蒸発に伴い下へ縮んでいきます。そこで葛藤が起きて、あるときコーヒー粒子がカップの壁へくっつく、身軽になったコーヒー溶液が、ある一定の距離だけ下へスリップできるわけです」

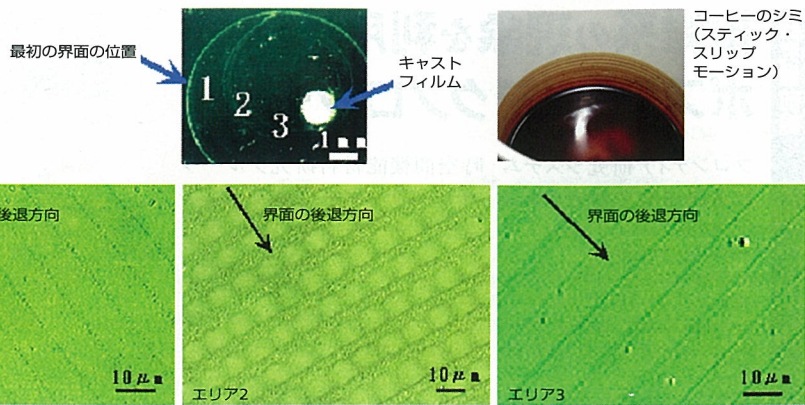


図3

“ワインのしずく”と“コーヒーのシミ”の中間の濃度の界面では、2つの現象が組み合わさって、格子状のライン構造ができる（図3 エリア2）。

「溶液全体の蒸発により界面における濃度が変わるにつれて、ラインのパターンも変わります。しかし材料やデバイスの作製では、均一なパターンを作る必要があります。それには界面の濃度を常に一定にしなければなりません」

下村チームリーダーらは、溶液全体の蒸発を防ぐために2枚のガラス板を上下に重ねて、そのすき間に常に同じ濃度の高分子溶液を供給するようにした。そして上のガラス板を少しずつずらして常に同じ濃度の界面を作りながら蒸発させた。こうしてできたフィルムが図4である。

「“ワインのしずく”と“コーヒーのシミ”が両方できる濃度にしたので、太い梁の間に細い垂直のラインができる格子構造ができました。このような微細構造はリソグラフィーを用いないと従来作れなかったのですが、この方法では溶媒を蒸発させるだけでできたのです」

● 水滴を鋳型にした蜂の巣構造

本号表紙の画像は、蜂の巣構造を持つ高分子フィルムである。高い湿度を一定に保った状態にすると、高分子溶液の表面に小さな水滴ができる（図5）。水滴はやがてきれいに配列し、水滴が蒸発した後は、すき間に高分子が残る。

「不思議なことに、溶液に最初に付いた水滴は大きさがそろっています。溶液の中央付近に付いた水滴は、溶液の対流で端の方に運ばれ、さらに毛細管力で縁まで運ばれます。その移動過程で水滴がきれいに詰め替えられるパッキングが起き、均一に配列し

ます。普通の溶液では、1個1個の水滴が大きく成長していくとともに、水滴どうしの融合も起きて、きれいに配列しません。しかし高分子溶液では、水滴の周りを高分子が取り囲むため、融合が起きずに、あまり大きくなりないうま水滴がパッキングされ、規則的な蜂の巣状の高分子シートができます」

水滴のサイズは湿度を高くするほど大きくなる。また水蒸気を常に供給しているので、溶媒がすべて蒸発するまでの時間が長いほど、水滴のサイズは大きくなる。現在、研究チームでは、最大で約100μm、最小で約500nmの穴からなる蜂の巣状の高分子フィルムを再現性よく作ることに成功している。

「現在の最小記録は約200nmですが、まだ再現性はよくありません。しかし今後、50nmくらいまでは穴のサイズを小さくできるだろうと考えています」

水滴はパッキングされる間に成長する。穴を小さくするために、水滴が付いたごく初期に溶媒を蒸発させると、サイズは小さいが並び方が不均一になる。逆に、並び方を均一にしようすると穴が大きくなってしまふ。

「このジレンマを解決するために試みている方法の1つは、振動を与えてパッキングを促進させることです。さまざまな周波数の振動で実験しています。もう1つの方法は、最初に付く水滴を小さくする方法です。ゾル・ゲル系といって水と反応していろいろな構造ができる物質系がたくさんあります。そのような物質系では、水滴ができたところで溶

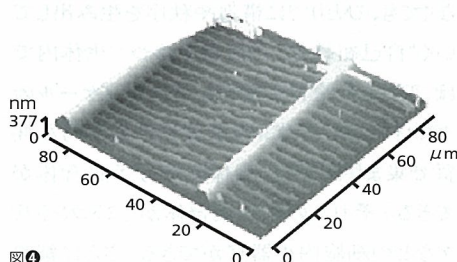
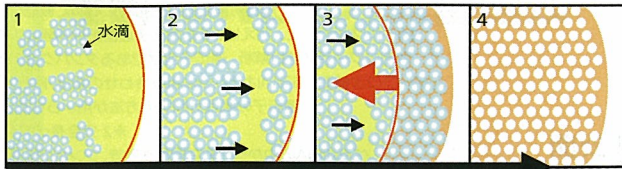
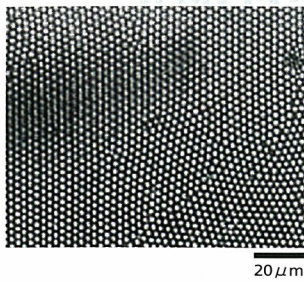


図4

上から見た図



水滴の様子(写真)



横から見た図

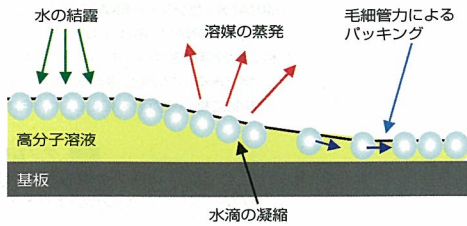


図6

※1 ナノスケール

1ナノメートル (nm) は

10億分の1メートル、原子数個分の大きさ。

1マイクロメートル (μm) は100万分の1メートル。

※2 散逸構造

ベルギーのイリヤ・プリコジンが提唱した概念。

プリコジンはこの散逸構造の研究などの業績により、

1977年のノーベル化学賞を受賞した。

図①: 散逸構造の例

図②: キャストした高分子溶液の中の散逸構造

図③: 界面の濃度によって変わるライン構造

図④: 格子構造を持つ高分子フィルム

図⑤: 水滴を鋳型にした蜂の巣構造の形成過程

図⑥: 蜂の巣構造フィルムの医療分野への応用例

監修: フロンティア研究システム

時空間機能材料研究グループ

散逸階層構造研究チーム

チームリーダー 下村政嗣

液が反応して固まります。振動とゾル・ゲル系を組み合わせ、小さくて均一な配列構造を目指しています。穴の大きさが100nmを切ると、応用範囲が格段に広がります」

再生医療や光触媒への応用

研究チームではすでに高分子フィルムの実用化研究を始めている。例えば、輸血の際などに使われる血液フィルターに応用できる(図6A)。フィルターによって血液中の赤血球・白血球・血小板などを分離する。このフィルターには、血液成分に影響を与えない生体適合性がある材質と、微小で均一な穴が求められる。

「この条件に、われわれの高分子フィルムはぴったりです」

肝臓の細胞を培養するシートにも利用できる(図6B)。何も構造のないフィルム上では肝細胞群は平坦な形になり、肝機能を発揮しない。ところが、蜂の巣構造のフィルム上で培養すると、肝細胞は球状に集まり肝機能を発揮する。

「蜂の巣構造でも穴の大きさや形、材質などの違いにより、肝細胞群の形や機能が変わります。このフィルムは穴の大きさや形、材質を変えて作ったり、3次元状に折り曲げることもできますから、さまざまな条件で培養ができます。フィルムの両面を使い、片面に肝細胞、もう片面に血管細胞や内皮細胞を一緒に培養することも可能です。体の中で溶ける生分解性の高分子でフィルムを作れば、体の外で自分の肝細胞を培養した後、そのまま肝臓に埋め込むことも可能になるでしょう。このフィルムを使って人工肝臓や肝臓移植に代わる再生医療の研究ができます。現在、私が兼務する北海道大学の肝移植の専門家と、共同研究を行

っているところです」

再生医療への応用として、研究チームでは、心筋細胞の培養研究も行っている(図6C)。

さらに高分子フィルムは、ある特定の波長の光を閉じ込めることができるフォトニック結晶としての機能を発揮することが分かった。

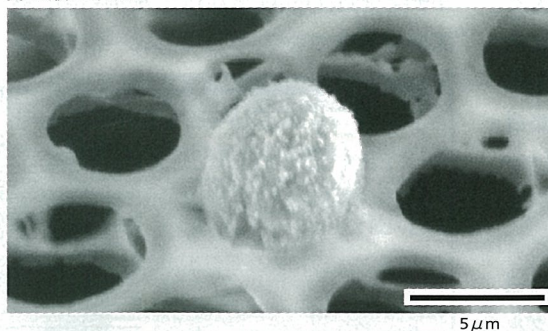
「酸化チタンで高分子フィルムを作り、閉じ込めた光エネルギーで効率よく化学反応を起こす光触媒のデバイスを作ることも可能でしょう。穴に色素を入れて電子ペーパーを作ることも考えられます。燃料電池のイオン交換膜にも応用できるかもしれません。いくつかの用途については企業と実用化の話を進めています」

科学技術の再編

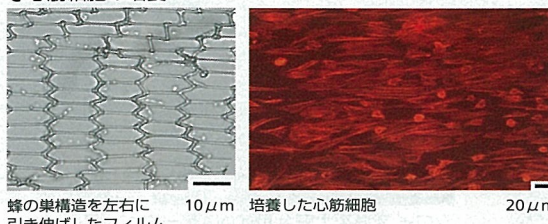
下村チームリーダーは今後の研究方針を次のように語る。「フィルムの穴を小さく均一に配列させることとともに、パターンが多様性を増やすことが課題です。自然界にはた

図6

A 血液フィルター



C 心筋細胞の培養



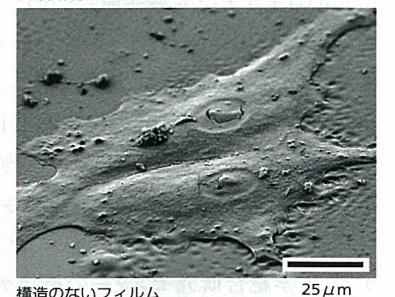
蜂の巣構造を左右に引き伸ばしたフィルム

培養した心筋細胞

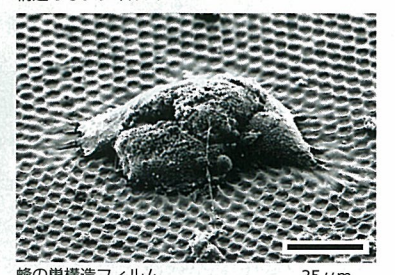
くさんのパターンがあります。それを再現し、コントロールするには複雑系におけるパターン形成の理論研究を進める必要があります。今後、応用と理論の研究を共に進めていきたいと考えています。それにはさまざまな分野の研究者との連携が鍵になります。自分とまったく違う分野の人が、概念的に似たような研究を行っている例が、たくさんあるのです。実際に、ここで紹介した自己組織化に基づくポストナノテクノロジーの研究は、理研の散逸階層構造研究チームと、北海道大学電子科学研究所との分野・領域を越えた共同研究で進めているものです。ポストナノテクノロジーを、分野・領域の垣根を越えて新たな学問が生まれる“科学技術の再編”だととらえて、研究を展開していこうと考えています」

自然界でさまざまな要素が複雑に相互作用してパターンが形成されるように、ポストナノテクノロジーにおいて、さまざまな分野の研究者が連携することにより、新たな科学技術のパターンが生まれつつある。

B 肝細胞の培養



構造のないフィルム



蜂の巣構造フィルム

シロイヌナズナ完全長cDNA 約14,600種を同定

高等植物において世界で初めて完全長cDNA情報を大量公開

(2002年3月22日、文部科学省においてプレスリリース)

当研究所は、機能アノテーション^{※1}および制御領域(プロモーター)情報を付与したシロイヌナズナの完全長cDNA^{※2}情報を公開した。高等植物において完全長cDNAの情報が大量に公開されるのは、世界で初めてである。理研横浜研究所ゲノム科学総合研究センター植物ゲノム機能情報研究グループの篠崎一雄プロジェクトディレクター、関原明上級研究員、および遺伝子構造・機能研究グループの林崎良英プロジェクトディレクターらの研究グループによる成果。本研究成果として、完全長cDNAを約14,600種(全遺伝子の約60%)を同定し、機能注釈を行い、約2,400種の新規遺伝子を発見した。さらに、遺伝子の発現を制御するために重要な、約14,000種に及ぶシロイヌナズナ遺伝子のプロモーター情報を明らかにした。同定された遺伝子、および遺伝子(またはプロモーター)の配列情報は、将来の有用作物の生産性向上、環境ストレスに耐性を持つ有用作物の作製などへの応用が期待される。

植物のさまざまな生理機能について詳しく知ることは、より優れた特徴を持った有用作物を作るうえで極めて重要である。2000年12月には日本の研究機関を含む国際研究チームによって、高等モデル植物の1つ「シロイヌナズナ」の全ゲノムが解析され、植物の機能解析が飛躍的に進歩した。理研ゲノム科学総合研究センターの植物ゲノム機能情報研究グループを中心とした研究グループでは、シロイヌナズナ遺伝子(完全長cDNA)のすべてを取り出し、「シロイヌナズナ遺伝子エンサイクロペディア(百科事典)」の作製を目指している。さらに、シロイヌナズナの種々の変異体を多数作製し、個体レベルでの遺伝子の機能解析を進めている。

● 今回、研究グループでは、さまざまな処理によって得られたシロイヌナズナ植物体を基に、出発材料として19個の完全長cDNAライブラリーを作製し、約14,600種のシロイヌナズナ完全長cDNAを単離した。この約14,600種の完全長cDNAについて5'末端および3'末端の端読み塩基配列情報の解読に加え、機能アノテーションを行ったところ、約14,600種の遺伝子のうち、約2,400種の遺伝子は新規の遺伝子であった。また、約14,000種のシロイヌナズナ遺伝子について5'末端の端読み配列データをゲノム上にマッピングさせることにより、遺伝子の発現制御に働くプロモーター配列情報を獲得し、プロモーター・データベース(DB)を構築した。

● 本研究の対象である完全長cDNAは、タンパク質を合成するための設計情報をすべて有し、タンパク質そのものを合成することができることから、ゲノム機能研究における非常に重要な「基盤ツール」となる。今回、約14,600種という多量のシロイヌナズナ完全長cDNAについて、配列情報、機能情報だけでなく、プロモーター情報をも

付加したことは、「基盤ツール」としての価値を飛躍的に高め、今後のゲノム機能研究の効率的推進に大きく貢献するものである。また、遺伝子組み換え作物の作製に用いる導入遺伝子としても、完全長cDNAであれば、その遺伝子の機能を正確に個体で発現することができる。

● 現在、研究グループでは、これまでに単離した約14,600種のシロイヌナズナ完全長cDNAを含むcDNAマイクロアレイの作製を進めている。それらマイクロアレイを作製した後、国内外の植物研究者との共同研究によりシロイヌナズナの発現遺伝子の網羅的な発現情報の基本データベースを構築し、高等植物における遺伝子発現制御ネットワークを解明していく予定。また、単離されたシロイヌナズナ完全長cDNAを過剰発現させたり、遺伝子発現を抑制させたトランスジェニック植物の作製などをして、遺伝子の機能解析を進めていく。なおcDNA情報は、同研究グループのホームページ(<http://www.gsc.riken.go.jp/Plant/index.html>)で公開されている。本研究成果は、米国の科学雑誌『Science』(4月5日号)に発表された。

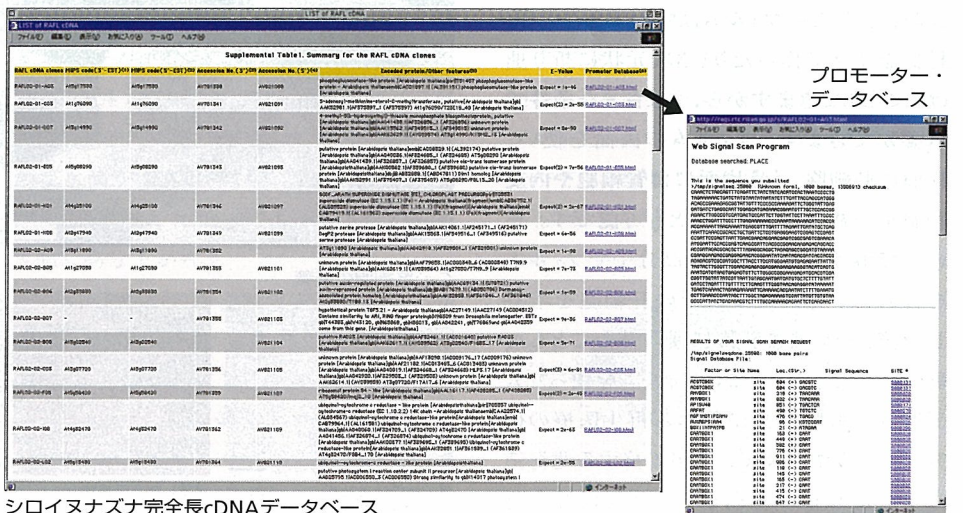
※1 機能アノテーション

解析対象である遺伝子について機能の注釈付けを行うこと。例えば、既知遺伝子塩基配列情報とのホモロジー(類似性)解析、遺伝子産物であるタンパク質のモチーフ(2次構造、あるいはそれらの組み合わせの構造)解析、遺伝子の属性分類等の方法が用いられる。

※2 完全長cDNA

ゲノムDNAの中から不要な配列を除き、タンパク質をコードする配列のみに整理された遺伝情報物質であるmRNA(メッセンジャーRNA)を鋳型にして作られたDNAのこと。完全長cDNAは、断片cDNAと異なり、タンパク質を合成するための設計情報をすべて有しているため、タンパク質を合成することができる。この完全長cDNAを効率的に合成するためには、非常に高い技術を必要とし、わが国が世界に先んじている。

監修:ゲノム科学総合研究センター
植物ゲノム機能情報研究グループ
プロジェクトディレクター 篠崎一雄



シロイヌナズナ完全長cDNAデータベース

写真1：左から有馬朗人前理事長、小林俊一理事長、遠山敦子文科大臣、P. ボールBNL暫定所長、J. マーバーガー大統領科学技術補佐官

写真2：竹谷篤先任研究員（理研放射線研究室）から「PHENIX」の説明を受ける様子

写真3：記念講演会でのT. D. リー理研BNL研究センター長

理化学研究所は2002年4月、米国・ブルックヘブン国立研究所（BNL）と共同で推進している“スピ物理”に関する研究をさらに強力に推進するために、新たに覚書を締結し、5年間の協力延長を行いました。理研は1995年よりBNLとの協力のもと、超大型衝突型重イオン加速器（RHIC）内に陽子偏極装置、大型検出器（PHENIX）などの建設を行ってきました。2001年12月には、偏極させた陽子ビームの加速・衝突に世界で初めて成功、両者は互いに協力しながら目覚ましい成果を上げています。今回、協力関係が延長されたことによって、RHICを用いた“スピ物理”研究が本格的にスタートすることになります。

理研は、BNLのRHICを利用してスピ物理実験を行うため、1995年、BNLと覚書を締結し研究協力を開始、翌年には本研究協力が日米科学技術協力協定のもとに位置付けられました。さらに1997年には新たに協定を結び、BNLでの研究拠点である理研BNL研究センター（RBRC）が開所。センター長には、ノーベル物理学賞受賞者であるT. D. リー教授（コロンビア大学）を迎え、理研とBNLの関係は新たな段階に入りました。この間、理研は、陽子のスピの向きをコントロールすることができる“陽子偏極

装置”を開発し、RHIC内に設置しています。今回、実験装置の建設から定常運用に移ったことから、内容を見直し、さらなる飛躍のために理研-BNL協定覚書を延長しました。

理研-BNL協定覚書延長の調印は4月30日、遠山敦子文科科学大臣、J. マーバーガー米国大統領科学技術補佐官、有馬朗人理研前理事長の立ち会いのもと、小林俊一理事長、P. ボールBNL暫定所長によって行われました。調印式に出席した遠山文科大臣からは、「スピ物理研究が着実に進展し、さらに5年間の延長が調印されたことは喜ばしい。理研BNL研究センター設立以来、世界最高の衝突エネルギーを発生させる加速器RHICを中心に、20世紀初頭の原子核物理学の黎明期を彷彿させるような若手研究者が切磋琢磨する“知のフロンティア”が開拓されつつある。日米の加速器研究協力のトップランナーとして有望な若手研究者が羽ばたく場となることを期待する」との祝辞が贈られました。

日米両国のスピ物理研究の橋渡し役を果たしているRBRCについて、式典に出席したJ. マーバーガー米国大統領科学技術補佐官は、「RBRCは、BNLにおける研究推進の輝かしい拠点となっており、RHICの運

転計画にも大きなインパクトを与えている。RBRCは、知的拠点としての機能を果たしており、新しい物理の1つにスピ物理という分野を加え、才能ある若手研究者を引きつけている。また理論物理学のみならず、コンピュータの開発においても重要な研究を展開している。RBRCは、国際協力のモデルであり、基礎研究をグローバルレベルで進める一典型である」とし、RBRCのますますの発展へ期待を寄せています。

スピ物理研究は、RHICを活用した偏極衝突型加速器の稼働によって新たな段階を迎えようとしています。調印式の後に行われた記念講演会において、BNLの尾崎敏加速器担当所長補佐は、「われわれは、重イオン科学の分野で胸躍る研究成果を得つつあり、またスピ物理分野における先駆的飛躍へ向かいつつある。これらは理研やBNLの多くの人々ばかりでなく、多くの研究者や関係財当局による支援と強力な指導者によって達成された」と締めくくり、BNLおよびRBRCから多くの研究成果が生まれることを望んでいました。

理研は今後も、BNLとの新たな協力関係に基づき、スピ物理研究の発展に貢献していきます。



シロイヌナズナ完全長cDNA

約4,600種を同定

高等植物において世界で初めて完全長cDNAの情報を大量公開

2002年4月27日、茨城県庁においてプレス発表

理研-BNL共同研究

理研の研究施設を一般公開

当研究所は、科学技術週間(4月15日～21日)に合わせて、和光本所をはじめ各所を一般に公開しました。各所の公開ではさまざまな催しが行われ、当研究所の研究内容をアピールするとともに、地域との交流を深める絶好の機会となりました。

●和光本所

和光本所は4月20日に施設を公開。約5300名の来場者でにぎわいました。各研究室や研究施設では、工夫を凝らした展示やパネルを使い研究内容を紹介しました。一般向け講演では、延秀人主任研究員(放射線研究室)が「ひねり技で探る極微の世界」、辨野義己室長(微生物機能解析室)が「大腸は健康の発信源一見えてきた! 大腸内細菌叢の全貌」と題して最先端の研究を紹介、両講演とも多くの来場者がつめかけました。さらに小・中学生向けイベントも大盛況。特に「サッカーロボットを見てみよう!」、「4Dビジュアルイゼーションシアター」、「楽しい押し花教室」などは家族連れでにぎわっていました。また、リングサイクロロンや液化ヘリウム供給回収設備棟などの施設の公開も人気がありました。——1

●筑波研究所

筑波研究所は、一般公開を4月17日(水)、特別公開を4月20日(土)に開催。今回は森脇和郎センター長(バイオリソースセンター)と小幡裕一リソース基盤開発部長(同センター)がマウスに関する講演を行い、大勢の来場者が関心を持って聴講していました。記念写真でカレンダーを作るコーナーをはじめ、マウスとブリクラが撮れるコーナーなども好評でした。昨年同様に遊びを通じて科学の面白さや不思議さを体験するコーナー

も設けました。初日は大変な強風で心配されましたが、2日間で延べ869名の来場者があり、無事終了しました。筑波研究所では、バイオリソースセンターを柱に、今後さらに研究チームの参加が見込まれ、一層盛大な公開となることが期待されます。——2

●播磨研究所、大型放射光施設(SPring-8)

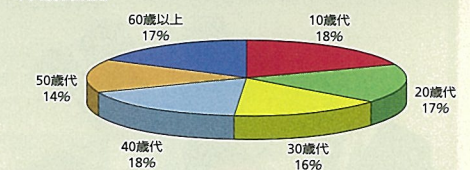
播磨研究所は4月27日、SPring-8の施設公開に合わせて一般公開を開催。大きなディスプレイに映ったタンパク質の分子模型を立体眼鏡で見る展示は大盛況で、専用の手袋を使って、分子模型を回転させたり、拡大・縮小する体験を多くの来場者が楽しんでいました。また、DNAの抽出実験も実施。さらに、SPring-8の公開に合わせて行われた一般向けの講演会では、石川哲也主任研究員(X線干涉光学研究室)が「X線は何を見る?」と題して最先端の研究内容などを紹介しました。当日は晴天にも恵まれ、井戸敏三兵庫県知事が視察するなど、SPring-8施設公開全体では昨年を上回る約2400名の来場者がありました。——3

●フォトダイナミクス研究センター(仙台)

フォトダイナミクス研究センターは、4月17日に施設を公開。近隣の住民や企業の方々、大学生など約150名の来場者がありました。当日は隣接する半導体研究所2・3号館でも一般公開が行われ、走査型トンネル顕微鏡の探針を来場者が実際に操作したり、ケイ素化合物を合成する実験などが行われ、関心を集めていました。一般公開の様子は昼のテレビニュースで取り上げられ、また、地元新聞社による取材もあり、科学技術に対する地域の関心の高さがうかがわれました。——4



年代別構成比



男女構成比



和光本所のアンケート結果より

「サイエンス・カップル ポスターセッション」を開催

理研内のシーズとニーズを融合させる「サイエンス・カップル ポスターセッション」が4月16、17日、和光本所で行われました。

このポスターセッションは理研の各研究グループが有する「こんなものを計れる」、「こんなものを造れる」、「こんなことができる」といったシーズと、各研究グループが抱えている「こんなものを計りたい」、「こんなものを造りたい」、「こんなことをしたい」といったニーズをマッチングさせ、理研内の共同研究を促進することにより、理研の総合力を一層発揮させることを目的として、毎年開催されています。

今回はシーズ15件、ニーズ5件の出展があり、研究者、技術者による新たな研究交流の場となりました。——5



5



6

「第24回理化学研究所科学講演会」開催のお知らせ

本年度の科学講演会を下記のとおり開催いたします。今回は神戸研究所の開所を記念して、関連する最先端研究を紹介します。皆様のご来場をお待ちしております。

第24回理化学研究所科学講演会

「発生・再生研究が切り拓く世界 —神戸研究所の開所を記念して—」

日時：平成14年7月8日(月) 14:00~17:30 (開場 13:00)

場所：神戸ポートピアホテル 本館地下1階「偕楽」 (神戸市中央区港島中町)

「三宮駅」よりポートライナーで約10分「市民広場駅」下車すぐ

入場：無料

●発生・再生とは？

竹市雅俊 発生・再生科学総合研究センター センター長

●動物の体造り

相澤慎一 ボディプラン研究グループ グループディレクター

●動物の模様をつくる化学反応の波

近藤 滋 位置情報研究チーム チームリーダー

●切っても切ってもプラナリア…再生の不思議

阿形清和 進化再生研究グループ グループディレクター

●再生医学の夢

西川伸一 幹細胞研究グループ グループディレクター

問合せ先：広報室 (TEL: 048-467-9954)

「横浜研究所 一般公開のお知らせ

理研横浜研究所では下記の日程で一般公開を行います。

最先端の科学研究に親しんでいただくため、研究室や施設を公開します。多数の方のご来場をお待ちしております。(入場無料、15:00までにご来場下さい)

横浜研究所

場所：神奈川県横浜市鶴見区末広町1丁目7-22

鶴見駅東口バスターミナル7番乗降口よりバスで15分

川崎鶴見臨港バス(系統：鶴08)「理研・市大大学院前」下車、徒歩4分

日時：7月20日(土)【海の日】10:00~16:00

問合せ先：横浜研究所 研究推進部 企画課 TEL: 045-503-9117

「発生・再生科学総合研究センター開所記念シンポジウム」を開催

理研神戸研究所発生・再生科学総合研究センター(CDB)は4月22日、ポートピアホテル(神戸市)で開所記念シンポジウム「A New Paradigm in Developmental Biology —新しい発生生物学の創造に向けて—」を開催しました。本シンポジウムには研究者を中心に400名以上が参加。小林俊一理事長の開会あいさつと竹市雅俊センター長によるCDB紹介の後、「Novel Concepts of Development」、「Cellular Mechanisms」、「Genetic Reprogramming and Regenerative Medicine」の3セッションにわたり、国内外の第一線研究者7名による最新の研究トピックスなどに関する講演が行われました。最後に西川伸一副センター長の閉会あいさつがあり、CDBが開催した最初の国際シンポジウムは盛会のうちに終了しました。——6

博士課程修了後、すぐにドイツで研究をする機会が与えられたことは、私にとってとてもラッキーなことであったと思っています。私は現在、表面界面工学研究室に所属させていただき、多探針走査トンネル顕微鏡を用いた研究を行っていますが、2年前、理研入所の応募はドイツから提出しました。私がポスドク研究員として研究を行っていたのは、ドイツ南部にあるウルム大学です。ウルムという街はアインシュタインの生誕地ということと、世界一高い大聖堂があるということぐらいで、あまり観光名所の多い街ではなかったのですが、自然が多くドナウ川の流れが美しい街並みは、一年半のドイツ生活を快適なものにしてくれました。ドイツ行きは突然決まったことでしたが、当時、研究環境、生活環境を大きく変えたいという強い思いがあった私には、突発的であり計画性のない決断も、不思議とまったく抵抗なく下すことができました。

ドイツでの暮らしでまず困ったのは、やはり食事でした。初めは物珍しさで毎日のように食べていたチーズやソーセージも1ヶ月もしないうちに飽きてしまい、ご飯が恋しくなりました。幸い和食や中華の食材はある程度手に入ったのですが、ご飯のまずさだけはどうしても我慢ができなくて、なんとか味を付けてごまかして食べていました。おかげで、日本にいたときには料理など一切したことのなかった私も、かなり上達しました。当時住んでいたアパートにはいろいろな国の独身や単身のポスドク男性がいたので、みんなあまり上手ではないけれど、自分なりに作った各国の料理を持ち寄って、それぞれの国の文化の違いなどの話をしながら、わいわいと食事をしたことが楽しい思い出となっています。

4月になって夏時間になると、研究室のメンバーで毎週のようにサッカーをしました。私も子供のころはサッカー少年だったので、一緒に楽しませてもらいました。さすがにドイツでは研究者といえども、皆さんサッカーの心得はあるようで、かなり上手でした。私も走ることには多少自信があったので、俊足を生かして抜き去ると、日本人に抜かれたのが気に障ったのか、ムキになって追いかけてきたのが印象に残っています。ドイツ語はなかなか覚えることができなかつた私ですが、サッカーを通じて親ほくを深めることができたので、この時ほどサッカーをやっていて良かったと思ったことはありません。緻密で組織的なドイツのサッカーは、不思議と日本では、最近あまり人気がないようです。

研究に関しても、彼らは時間的にも内容的にも非常に計画的に行います。毎日決まった時間に来て決まった時間に帰り、休みもきちんと取るようです。それでも着々と成果を上げるのは、綿密に練られた研究計画のためでしょうか。また、予想された結果が実験で実証されることを、最も高く評価するようです。確かに予想どおりの結果が得られたときの喜びは、何ものにも変え難いものがあります。しかし、人間の予想できることには、しよせん限界があります。科学の発展の歴史の中で、予期しない現象から大きなブレイクスルーが生まれた例が何と多いことでしょうか。例えば、そういった予期しない出来事が生じて研究計画自体を変更せざるを得ない場合にも、研究者の裁量によって柔軟に対応できる環境が理研には備わっていると、入所して間もない私ですが、感じています。また、研究を重ね知識を詰め込みすぎてしまうと、頭で考えただけでその結果が計画に沿ったものではないと分かったら、あきらめてしまうことが多くなりますが、実験家としては、何事もとにかくやってみるといふ精神は忘れないようにしたいと思います。予想外の現象が生じたときに、当初の研究計画に縛られてその本質を見逃すことのないように、広い視野を持って、これからも研究に励んでいきたいと思っています。

表面界面工学研究室 研究員 ● 新ヶ谷義隆 しんがや



1



2

写真1: 筆者近影
写真2: ウルム大学の西校舎

理研ニュース

6

No.252: June 2002

発行日——平成14年6月15日
編集発行——理化学研究所 広報室
〒351-0198
埼玉県和光市広沢2番1号
phone: 048-467-8349 [ダイヤルイン]
Fax: 048-462-4715
Email: koho@postman.riken.go.jp
http://www.riken.go.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——勝井三雄+中野豪雄 [勝井デザイン事務所]
株式会社デザインコンビビア
制作協力——有限会社フォトンクリエイト
再生紙を使用しています。