

# RIKEN NEWS

No.339  
September 2009 **9**

独立行政法人  
**理化学研究所**

## 2 研究最前線

遺伝子のオン・オフを調節する  
クロマチン構造の謎を解く

## 6 研究最前線

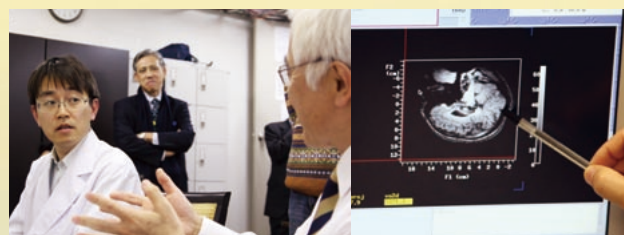
新たな手法でDNAやRNAの  
ダイナミックな振る舞いを診る

## 10 SPOT NEWS

- 脳波で電動車いすを動かす  
新しい脳信号処理技術を介したBMI
- 高品質な有機EL薄膜パターンの形成に成功  
新しいタイプのエレクトロスプレー・デポジション法を確立
- カメが甲羅をつくった独特の進化過程を解明

## 12 特集

将棋プロ棋士の脳から直感の謎を探る



羽生善治 名人

## 15 TOPICS

- 新監事に廣川孝司氏
- PCクラスターで国内最速、  
新スーパーコンピュータ「RICC」稼動
- 10月開催・参加イベントのご案内

## 16 原酒

南極越冬を体験して

RIKEN Mobile



# 遺伝子のオン・オフを調節する クロマチン構造の謎を解く

私たちの体の中には、まだ活躍できずに抑え込まれたままの優れた遺伝子が眠っているかもしれない――。

ヒトの体は約60兆個の細胞からできているが、その一つひとつの細胞が、それぞれすべての遺伝子を持っている。ただし、皮膚や筋肉、神経など

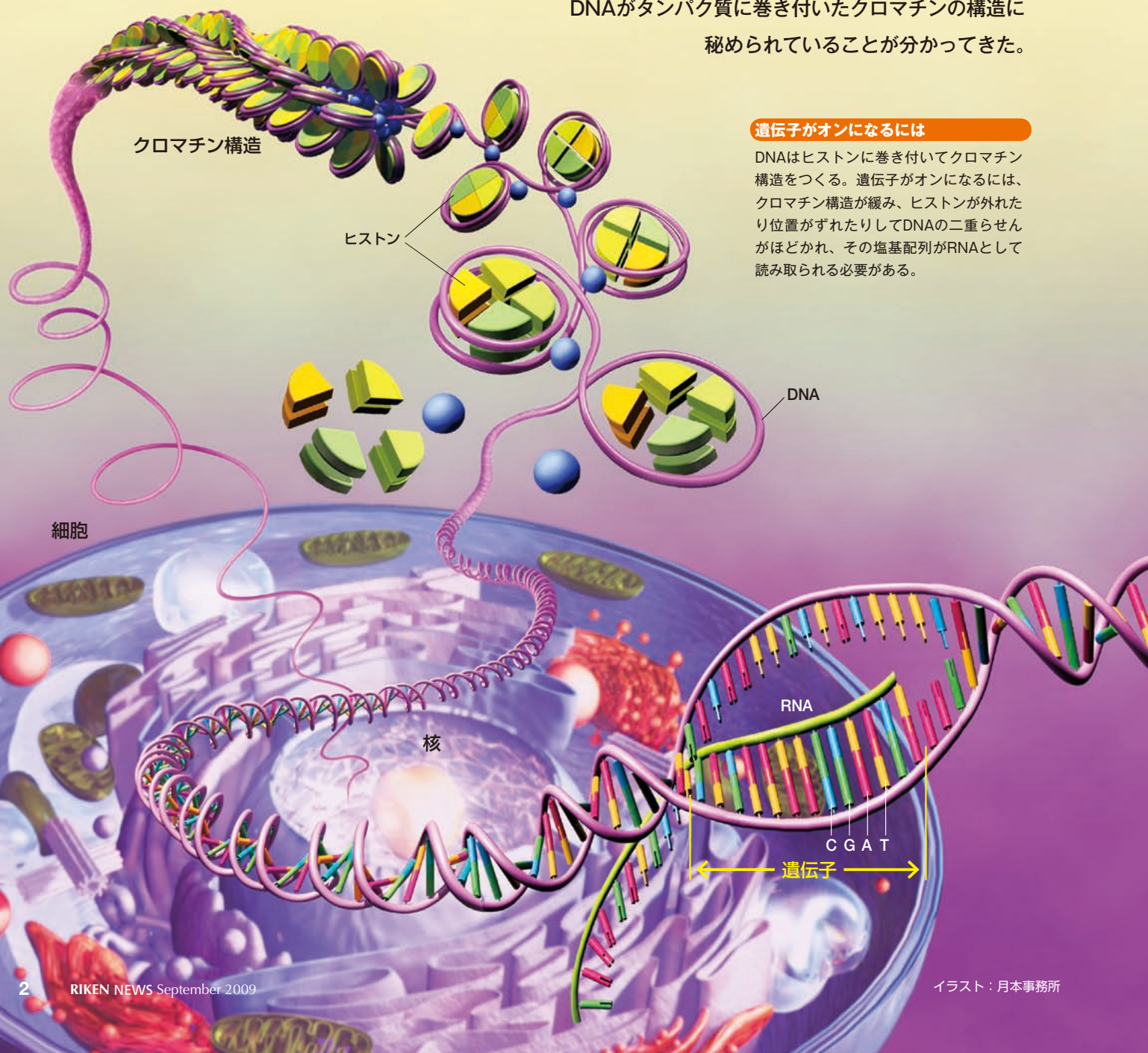
それぞれの細胞では、ある特定の遺伝子だけがオンになり、

それ以外の遺伝子はオフのまま抑え込まれている。

そのような遺伝子発現のオン・オフを調節する仕組みが、

DNAがタンパク質に巻き付いたクロマチンの構造に

秘められていることが分かってきた。



## 遺伝子がオンになるには

DNAはヒストンに巻き付いてクロマチン構造をつくる。遺伝子がオンになるには、クロマチン構造が緩み、ヒストンが外れたり位置がずれたりしてDNAの二重らせんがほどかれ、その塩基配列がRNAとして読み取られる必要がある。

分裂酵母という小さな生物の中でも  
実に複雑なシステムが動いています。そこが面白い。  
そして予想外の現象に出合ったとき  
まさに自然と向き合っていることを実感します。

## 中山潤一

神戸研究所 発生・再生科学総合研究センター  
クロマチン動態研究チーム チームリーダー



なかやま・じゅんいち。1971年、東京都生まれ。理学博士。東京工業大学大学院生命理工学研究科博士課程修了。コールド・スプリング・ハーバー研究所ポスドクを経て、2002年より現職。専門はクロマチン構造によるエピジェネティックな遺伝情報の伝達機構。

### ■ クロマチン構造と遺伝子のオン・オフ

私たちの個性や能力は、親からもらったゲノム（全遺伝情報）だけでは決まらない。どの遺伝子を使い、どの遺伝子を使わないか、遺伝子のオン・オフによって個性や能力に違いが現れるからだ。「遺伝子のオン・オフを調節する仕組みが解明され始めたのは、1990年代中ごろからです」と中山潤一チームリーダー（TL）。

大学院で生化学の手法を駆使して老化やがんに関連するタンパク質の研究を行っていた中山TLは1996年、その後の研究テーマを大きく転換させる論文に出合った。「デイビッド・アリス博士（現・米国ロックフェラー大学）が、ヒストンの特定の場所に“アセチル基”を付ける酵素を見つけ、それが遺伝子のオンと関係していることを示したのです」

そもそも遺伝子は、DNAにあるアデニン（A）・チミン（T）・グアニン（G）・シトシン（C）という4種類の塩基の並び方（塩基配列）によって書かれている。DNAは2本の鎖がAとT、GとCで相補的に結び付き、二重らせん構造をつくっている。このDNAの一部に、タンパク質をつくる情報が書かれた遺伝子がある。その遺伝子がオンになると、DNAの遺伝子領域の塩基配列がRNAとして読み取られ（転写）、不要な部分が切り取られてメッセンジャーRNA（mRNA）となりタンパク質がつくられる。

では、どのようなときに遺伝子はオンになるのか。ヒトの1個の細胞にあるDNAを引き伸ばすと、約1.8mにもなり、このDNAはヒストンというタンパク質に巻き付いて“クロマチン”という構造をつくっている。そしてこのクロマチンが凝縮して、細胞の核の中に収納されている。高度に凝縮したクロマチンは、“ヘテロクロマチン”と呼ばれる（図1）。

「遺伝子がオンになるには、このような凝縮したクロマチン構造が緩み、ヒストンが外れたり位置がずれたりしてDNAの二重らせんがほどこれる必要があります。ほどこれることにより、遺伝子の塩基配列がRNAとして読み取られる状態になるのです（2ページの図）。ヒストンに、アセチル基やメチル基などさまざまな化学物質が付く“修飾”が行われていることはすでに知られていました。しかし、その役割は分からず、あまり注目されていませんでした。アリス博士はヒストンの特定の場所にアセチル基が付くと、クロマチン構造が緩み、遺伝子がオンになり得る状態になることを示したのです」

1999年、中山TLは米国のコールド・スプリング・ハーバー研究所にポスドクとして赴任した。「アリス博士は、テトラヒメナというモデル生物の生化学的研究の成果を、酵母を使った遺伝学と結び付け、ヒストンのアセチル化の役割を解明したのです。その手法に感銘を受けました。そして、私もそれまで培ってきた生化学的手法を、遺伝学そしてクロマチンの謎に迫る研究につなげたいと考え留学しました」

そして2001年、中山TLは分裂酵母の研究により、ヘテロクロマチンのヒストンでは、H3K9という場所にメチル基が付いていることを世界で初めて発見した。「メチル化酵素Clr4によりH3K9がメチル化されると、それを認識するHP1というタンパク質が集まってきてクロマチンを凝縮させ、ヘテロクロマチンを形成します（図2）。こうなると遺伝子はオフのままずっと抑え込まれます。驚くべきことに、この仕組みは、ヒトでも同じように使われていることが分かりました」

■ RNA干渉とヘテロクロマチンの形成

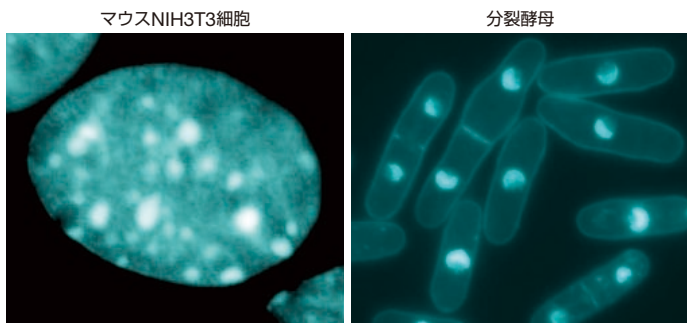
2002年、中山TLは理研発生・再生科学総合研究センターにクロマチン動態研究チームを立ち上げた。「解明すべき謎の一つは、特定の遺伝子をオフにするためにその周囲のヒストンをメチル化してヘテロクロマチンを形成する仕組みです。米国の研究グループにより、そこに“RNA干渉”がかかっていることが指摘されました。そこで、私

「たちもその関連を詳しく調べる研究を始めました」

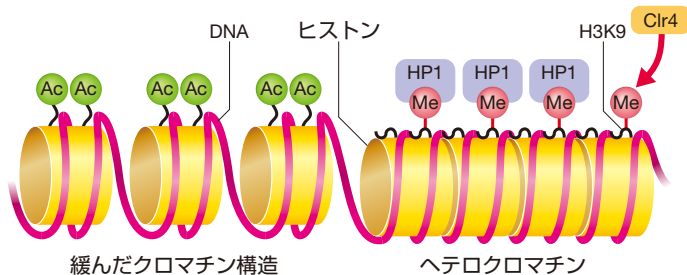
RNA干渉は、1998年に線虫で初めて確認された現象で、2006年のノーベル生理学・医学賞の受賞対象となった生命科学における大発見だ。「細胞内に二本鎖RNAがあると、それが短く切断され、タンパク質と結び付いた複合体ができます。この複合体が特定のmRNAと相補的に結び付き、mRNAを分解します。これがRNA干渉です。つまりRNA干渉も遺伝子を抑え込む仕組みといえます」

世界の複数の研究グループによる分裂酵母を使った実験により、特定のヒストンがメチル化される際、RNA干渉の仕組みの一部が利用されていることが分かってきた。それはおよそ次のような仕組みだと考えられている。

まず、本来遺伝子が抑えられているはずのDNA領域から塩基配列が読み取られて、二本鎖RNAがつくられる。次に、二本鎖RNAはRNA干渉と同じ仕組みで短く切断され、タンパク質との複合体をつくる。その後、複合体が二本鎖RNAをつくり出している領域に戻ってきて、転写されているRNAと相補的に結び付く。この過程がきっかけとなって、ヒストンにメチル基を付けるメチル化酵素Clr4や、そのメチル基を認識してクロマチンを凝縮するHP1タンパク質を引き寄せてヘテロクロマチンを形成する(図3)。「私たちは、この複雑な仕組みで働く重要なタンパク質を発見し、その機能を解明してきました」



**図1 ヘテロクロマチン**  
哺乳類細胞のDNAを蛍光色素で染色すると、クロマチンが高度に凝縮したヘテロクロマチンが明るく光って見える(左)。ヘテロクロマチンの基本の構造は分裂酵母(右)でも保存されている。



**図2 遺伝子のオン・オフとクロマチン構造の変化**  
ヒストンの特定の場所にアセチル基(Ac)が付くと、クロマチン構造が緩んで遺伝子がオンになり得る状態となる(左)。一方、メチル化酵素Clr4がヒストンのH3K9にメチル基(Me)を付けると、それを目印にHP1タンパク質が集まりクロマチンを凝縮させてヘテロクロマチンを形成し、遺伝子がオフのまま抑え込まれる(右)。

従来、DNA全体のうちRNAとして読み取られるのはわずか2%、それ以外は「がらくたDNA」だと思われていた。ところが2005年、理研横浜研究所オミックス基盤研究領域の林崎良英 領域長たちは、その常識を覆した。DNAの70%以上がRNAとして読み取られていることを発見したのだ。さらに驚くべきことに、多くのRNAがタンパク質をつくる情報を持っていないことも突き止めた。「そのRNAの一部が、クロマチンのダイナミックな構造変化にかかわり、遺伝子のオン・オフを調節していることが分かってきました。つまり、がらくたDNAはすべてががらくたというわけではなく、何かしらの機能を持っているのです」

### ■ クロマチン構造を柔軟に変化させる仕組み

クロマチン構造の研究では、ヒストンの特定個所にメチル基を付ける仕組みとともに、そのメチル基を認識してヘテロクロマチンを形成する過程も詳しく解明する必要がある。中山TLたちは2008年、その過程で複雑な仕組みが働いていることを発見した。「分裂酵母のHP1タンパク質には、少しだけ形が異なった2種類のものがあります。一方はヘテロクロマチン化を促進させ、もう一方は逆にヘテロクロマチン化を抑制する機能があります。ヘテロクロマチン化を促進させるHP1だけでは、ヘテロクロマチンの形成・維持はできません。機能が正反対の2種類のHP1が、ある一定のバランスで集まらないと、ヘテロクロマチンが形成・維持されないことを、私たちは発見しました」

なぜこのような複雑な仕組みが必要なのか。「それは、さまざまな状況に対応してクロマチン構造を柔軟に変化させるためだと考えられます」

### ■ 細胞分化にかかわる三つの仕組み

ヒトのような高等生物では、ヒストンではなくDNAを直接メチル化することで遺伝子を強く抑え込む仕組みもある。そして、このDNAメチル化もヒストン修飾と密接に関連していることが分かってきた。「DNAメチル化やRNA干渉は、もともとは細胞に侵入したウイルスのDNAやRNAを認識して抑え込む防御システムとして生み出されたと考えられます。この防御システムが発展してヒストン修飾によるクロマチン構造の変化が起こるようになったと考えると、これらの仕組みが密接に関連していることが理解できます。さらに、この防御システムは多細胞生物において、さまざまな種類の細胞を生み出す「分化」にも利用されるように変化してきたと推測できます」

多細胞生物の発生では、1個の受精卵が増殖し、筋肉や皮膚、神経などさまざまな種類の細胞に分化して個体が誕生する。そして、それぞれの細胞はすべての遺伝子を持っている。ただし、例えば受精卵が皮膚細胞に分化するには、皮膚細胞に必要な遺伝子だけがオンになり、それ以外の遺

伝子は働かないように抑え込む必要がある。その抑え込みには、DNAメチル化、RNA干渉、ヒストン修飾によるクロマチン構造の変化という三つの仕組みが、密接に結び付きながら働いていると考えられる。

### ■ iPS細胞とクロマチン構造

遺伝子のオン・オフを調節する仕組みの研究は、再生医療にとっても重要だ。その再生医療を大きく発展させる切り札として、iPS細胞（人工多能性幹細胞）が注目を集めている。皮膚などに分化した後の体細胞に数個の遺伝子を導入すると、発生初期の細胞のように、あらゆる種類の細胞に分化できる能力を取り戻す。この万能細胞がiPS細胞だ。iPS細胞は体細胞からつくることができるので、倫理面でのハードルが低く、再生医療への期待が大きいのだ。「皮膚や筋肉などの細胞では、必要のない遺伝子がクロマチン構造などで抑え込まれています。iPS細胞では、遺伝子を抑え込むシステムが“初期化”され、クロマチン構造が緩んであらゆる遺伝子がいつでもオンにもオフにもなりやすい状態になっていると考えられます。しかし、なぜ数個の遺伝子を導入するだけで、そのようなクロマチン構造の変化が起きるのか、その仕組みは分かっていません」

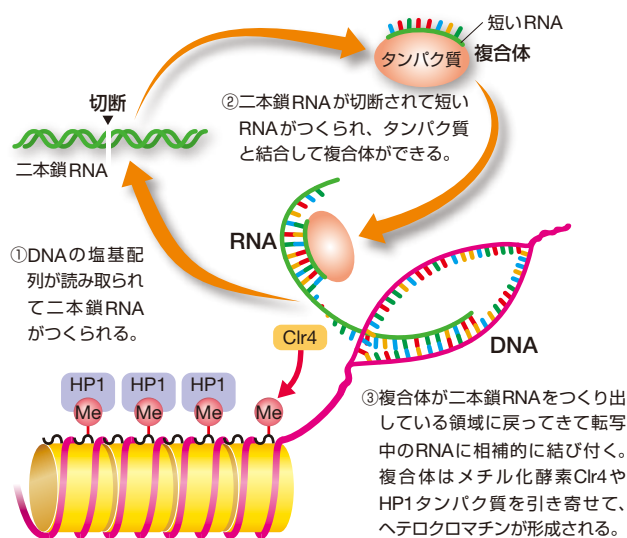
iPS細胞の生成効率はまだ低い。「クロマチン構造の研究は、iPS細胞ができる仕組みを解明し、生成効率を向上させたり、iPS細胞を任意の細胞に分化させる研究にも貢献できるはずです」

### ■ 生命科学の新キーワード“エピジェネティクス”

ここで紹介したようなDNAの塩基配列だけでは説明できない遺伝子の働き方の変化を、“エピジェネティクス”と呼ぶ。「エピジェネティクスによる現象の典型例が、一卵性双生児の個性の違いです。まったく同じゲノムを持つ一卵性双生児でも、性格や能力が異なります。兄が健康でも、弟が生活習慣病やがんなどの病気にかかってしまうケースがあります。食事や運動、学習やストレスなど環境因子の影響により、さまざまな遺伝子のオン・オフ状態が少しずつ異なり、その違いの蓄積が一卵性双生児のそれぞれの個性の違いを生み出すと考えられます」。私たちの体の中には、活躍できずに眠ったままになっている優れた遺伝子があるのだろうか。「あるかもしれませんね。素晴らしい生活環境により、遺伝子のオン・オフ状態がより良い方向へ蓄積していく。逆に、生活習慣やストレスによって、病気を発症する方向へ蓄積していくこともあると思います」

中山TLは、「さまざまな生物のゲノムの塩基配列が解読された今、エピジェネティクスの解明は、挑戦すべき大きなテーマです」と語る。生命現象の理解、病気の原因解明や治療法の開発、そして再生医療にも重要なエピジェネティクスの研究が、欧米を中心に盛んに行われている。日

図3 RNA干渉とヘテロクロマチンの形成



本でも2007年、日本エピジェネティクス研究会が発足した。「エピジェネティクスの研究は、酵母やアカバネカビ、植物、線虫、ショウジョウバエなどのモデル生物を使った基礎研究により進展してきました。地味だと思われていた研究が、いつの間にか脚光を浴びていたのです。欧米の強みは、そのような基礎研究を大切にする伝統があることです」

さらに欧米は“エピゲノム計画”と呼ばれる大規模プロジェクトを開始しようとしている。ヒストン修飾には、ここで紹介したアセチル化やメチル化だけでなく、ユビキチン化やリン酸化などの修飾も行われている。そして同じ修飾でも、ヒストンのどの場所を修飾するかによって遺伝子のオン・オフの調節のされ方が異なる。さまざまな種類の細胞を対象に、DNAメチル化やヒストン修飾をゲノム全域にわたり調べ尽くそうというのがエピゲノム計画だ。

「エピゲノム計画は確かに重要です。ただし私が強調したいのは、修飾を調べただけでは遺伝子のオン・オフを調節するシステムは分からないということです。どのように修飾が行われるのか。その修飾をどのように読み取り、遺伝子のオン・オフが調節されるのかが重要です。私はその解明に挑み続けたいと思います。遺伝子の調節システムの全体像を理解するには、さまざまなモデル生物を使った基礎研究を続けていく必要があります。私たちはこれからも、分裂酵母を使って複雑な仕組みの解明を進めるとともに、分裂酵母で見つけた仕組みがヒトではどのように働いているかを調べる研究を行っていくつもりです。そして、発生の仕組みの解明や再生医療の発展にも貢献できるように、研究を進めていきたいと思っています」

(取材・執筆：立山 晃／フotonクリエイト)

#### 関連情報

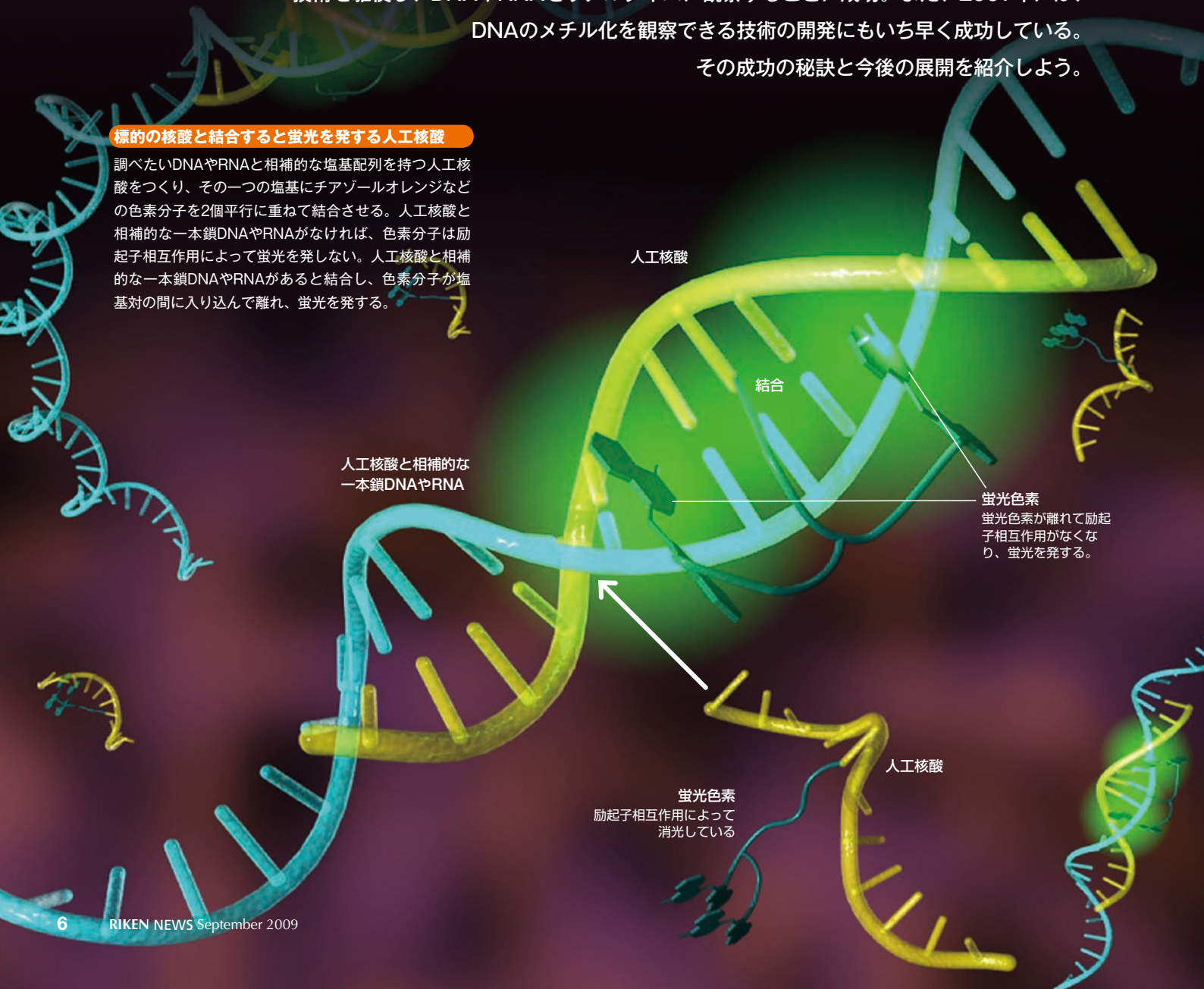
- 2008年10月25日理研CDB科学ニュース「高次クロマチン構造形成におけるHP1ファミリータンパク質の機能を解明」

# 新たな手法でDNAやRNAのダイナミックな振る舞いを診る

岡本晃充<sup>あきみつ</sup>独立主幹研究員の研究ターゲットは核酸、つまりDNA（デオキシリボ核酸）やRNA（リボ核酸）だ。「生命現象の根幹を担うDNAやRNAが、いつ、どこで、どのくらいの量が働いているのか、その振る舞いを見たいのです。ダイナミックに変化するDNAやRNAを簡単に可視化できる技術を開発し、さらにはその技術を病気の診断や治療に役立てたいですね」。DNAやRNAを可視化する従来の技術は、反応速度が遅い、構造が複雑などの問題を抱えている。また、遺伝子の発現はDNAのシトシンという塩基にメチル基が付く“メチル化”などによって制御されているが、DNAのメチル化がどこで、どれだけ起きているかを見ることは難しかった。この難問に挑戦し続けた岡本独立主幹研究員は2009年7月、有機化学と光化学の知識と技術を駆使し、DNAやRNAをリアルタイムに観察することに成功。また、2007年には、DNAのメチル化を観察できる技術の開発にもいち早く成功している。その成功の秘訣と今後の展開を紹介しよう。

## 標的の核酸と結合すると蛍光を発する人工核酸

調べたいDNAやRNAと相補的な塩基配列を持つ人工核酸をつくり、その一つの塩基にチアゾールオレンジなどの色素分子を2個平行に重ねて結合させる。人工核酸と相補的な一本鎖DNAやRNAがなければ、色素分子は励起子相互作用によって蛍光を発しない。人工核酸と相補的な一本鎖DNAやRNAがあると結合し、色素分子が塩基対の間に入り込んで離れ、蛍光を発する。



化学的な視点と原子レベルからのアプローチ。  
それが私たちの“売り”です。  
ダイナミックに変化する核酸を診る技術を開発し、  
臨床へつなげたい。

## 岡本晃充

基幹研究所  
岡本独立主幹研究ユニット  
独立主幹研究員



おかもと・あきみつ。1970年、愛知県生まれ。工学博士。京都大学大学院工学研究科合成・生物化学専攻博士後期課程修了。米国マサチューセッツ工科大学化学科博士研究員、京都大学大学院工学研究科合成・生物化学専攻助手。2006年から現職。専門は有機合成化学、生物有機化学。

### ■ 核酸はダイナミックに変化

DNAは、アデニン(A)、チミン(T)、グアニン(G)、シトシン(C)という4種類の塩基からなり、AとT、GとCが対になって結び付き、二重らせん構造をつくっている。遺伝情報はDNAに塩基配列として書かれていて、ヒトの全遺伝情報であるヒトゲノムは約30億塩基対にも上る。

私たちの体は約60兆個の細胞からできていて、その一つひとつに同じ塩基配列のDNAが入っている。DNAの一部に遺伝子があり、その塩基配列がRNAとして読み取られ、その情報をもとにタンパク質がつくられて、さまざまな働きをする。しかし、すべての細胞で同じ遺伝子が同じときに働いたのでは、生命として成り立たない。実際には、細胞の種類や状況に応じて遺伝子のオン・オフが巧妙に制御されている。「遺伝子のオン・オフに伴って細胞内のRNAの種類や量は、ダイナミックに変化しています。その様子を見たかったのです」と岡本独立主幹研究員。最近では、タンパク質をつくる情報を持たないRNA“ノンコーディングRNA”がたくさん存在することが、理研オミックス基盤研究領域の林崎良英 領域長らの研究から分かってきた。RNAは、DNAとタンパク質をつなぐだけでなく、それ以外にも重要な機能を持っていたのだ。

タンパク質の可視化は、蛍光タンパク質を用いた手法で確立されている。一方、DNAやRNAを可視化する方法はいくつかあるものの、反応速度が遅い、構造が複雑といった問題があった。岡本独立主幹研究員が目指したのは、シンプルで確実な方法だ。「私の専門である有機化学や光化学の考え方と技術を生物学に持ち込むことで、DNAやRNAを直接リアルタイムで見ることができる“人工核酸”を開発しました」

### ■ 12色の蛍光色素でDNAやRNAを見る

岡本独立主幹研究員は「簡単なんですよ。ここでやってみましょう」と、実験を見せてくれた。机の上には、人工核酸を含む溶液が入ったガラス容器が3個並んでいる。溶

液は薄いオレンジ色。これは、人工核酸に付けた色素の色だ。3個のガラス容器にそれぞれ、①人工核酸と結合する(相補的)塩基配列を持つ一本鎖DNA、②相補的でない一本鎖DNA、③水を加え、軽く混ぜる。すると、①だけが瞬く間に緑色に変わった(図1)。「人工核酸とDNAが結合したときだけ、緑色の蛍光を発するようにしてあるのです」と岡本独立主幹研究員。特別な操作は必要ない。常温で混ぜるだけだ。特別な装置も要らない。白熱灯の光で蛍光を発するので、肉眼で識別可能だ。

これまで難しかったDNAやRNAの可視化を可能にしたポイントを尋ねると、「色素の“励起子相互作用”という、今まで生物学では使われていなかった現象を取り入れたことです」と返ってきた。励起子相互作用とは、色素分子が離れていると蛍光を発するが、分子が平行に重なっていると蛍光が消える現象である。岡本独立主幹研究員が励起子相互作用を起こす色素の中で注目したのが、チアゾールオレンジである。「調べたいDNAやRNAと相補的な塩基配列を持つ人工核酸をつくり、一つの塩基にチアゾールオレンジの色素分子を2個平行に重ねて結合させます。人工核酸は、相補的な一本鎖DNAやRNAと出合わなければ、色素分子は平行に重なったままで蛍光を発することはありません。一方、相補的な一本鎖DNAやRNAと出会い結合すると、色素分子が塩基対の間に入り込んで離れるため蛍光を発するのです」(6ページの図)

人工核酸の作製には、市販されているDNA/RNA自動合成機を使う。人工的につくった塩基が入ったボトルをセットして配列を指定すると、指定通りに塩基が連なり、100塩基程度までの人工核酸が自動的に出来上がる。

DNAやRNAを可視化する従来の方法では、RNAが分解された後も光が消えないことも大きな問題になっていた。「私たちの方法では、結合していたDNAやRNAが分解されれば色素分子は再び平行に重なるため蛍光が消えます。DNAやRNAの量は、蛍光の強さから求めることができます」

励起子相互作用を示す色素はチアゾールオレンジ以外にもある。研究ユニットでは、すでに12色の色素を結合させた人工核酸を作製(図2)。また、この人工核酸は生きた細胞に簡単に導入することができる。「RNAが細胞の核から出て細胞内に広がり、タンパク質に翻訳され分解される、という一連の動きを、リアルタイムで見ることができます。複数の色素を結合させた人工核酸を使えば、複数のRNAやDNAの振る舞いを同時に調べることも可能です」

岡本独立主幹研究員はさらに続ける。「最近、マイクロRNAと呼ばれる20~25塩基ほどの小さなRNAが、“RNA干渉”という仕組みによって遺伝子の発現を制御していることが分かってきました。マイクロRNAは小さく、量も少ないので、可視化するのはとても難しい。でも、ぜひ見たい。そこで、蛍光を100倍以上強くする方法を開発中です」

### ■ 1塩基の違いを判定し、医療に役立てる

「私たちが開発した人工核酸を医療現場で使おうという試みが、理研オミックス基盤研究領域の林崎領域長によって進められています」と岡本独立主幹研究員。

私たちはヒトという同じ生物種なので、DNAの塩基配列はほとんど同じだが、個人ごとにわずかに違っている箇所がある。個人ごとの塩基配列の違いを「遺伝子多型」と呼び、特に1塩基の違いを「SNP(1塩基多型)」と言う。このSNPは数百塩基に1個あり、その違いが個人ごとの体質の

違いに表れ、病気のかかりやすさや薬の効き方、副作用の表れ方にもかかわることが分かっている。患者さんのSNPを臨床現場で調べることができれば、その患者さんにとって最も治療効果が高く副作用の少ない薬を選んで投与する、オーダーメイド医療が可能になる。しかし、SNPの診断には大型で特殊な装置が必要で、しかも結果が出るまでに数時間から数日もかかるため、普及していない。

そこで、林崎領域長は迅速、簡単、正確なSNP診断の実現を目指し、2007年にSmartAmp法を開発した。SmartAmp法は複数の酵素などを使い、1塩基の違いを正確に識別しながら目的のSNPを含むDNAだけを増幅させて、血液からSNPの有無を検出する技術だ。

「林崎領域長は、SmartAmp法の改良を重ねる中で、私たちが開発した人工核酸に注目したのです。具体的には、血液と酵素を反応させるときに目的のSNPと相補的な塩基配列を持つ人工核酸を加えます。目的のSNPがあれば、人工核酸が結合した状態で増幅され、反応後の試料は蛍光を発します。目的のSNPがなければ、試料は蛍光を発しません。従来のSmartAmp法で使っていた蛍光色素より数十倍も明るいので、簡単・確実にSNPの有無を判定できるようになりました」。採取する血液は1滴でよく、結果が出るまでわずか30分だ。

岡本独立主幹研究員は、「現在のSNP診断では多くの場合、全塩基配列を解読しています。しかし、塩基配列は究極の個人情報ですから、その扱いには注意が必要」と指摘する。「SmartAmp法では、目的のSNPがあるかないかだけを調べます。必要な情報だけを得るとするのは、とても大事なことです」。SmartAmp法は新型インフルエンザの検出にも応用可能で、実用化に向けた開発も進められている。

### ■ DNAに付いた1個のメチル基を見る

岡本独立主幹研究ユニットが取り組んでいる、もう一つの可視化技術を紹介しよう。「核酸の研究テーマは、4段目のピラミッド構造になっています」と岡本独立主幹研究員。下の段から遺伝子、DNAの塩基配列、SNP、エピジェネティクスだ。「核酸の研究は、だいたいその順番で進んできました。上の段ほど標的のサイズが小さくなっていくので、研究も難しくなります」

岡本独立主幹研究員が取り組んだのは、4段目のエピジェネティクス、その中でもDNAメチル化の可視化である。エピジェネティクスとは、DNAの塩基配列は変わらずに、DNAに化学物質が付く修飾によって遺伝子の発現が制御されることで、DNAのメチル化、DNAが巻き付いているヒストンのアセチル化やメチル化、リン酸化などがある。「DNAの塩基の一つシトシンにメチル基が付加することを“DNAメチル化”といいます。シトシンがメチル化すると、遺伝子の発現が抑制されます。DNAはメチル化などによっ

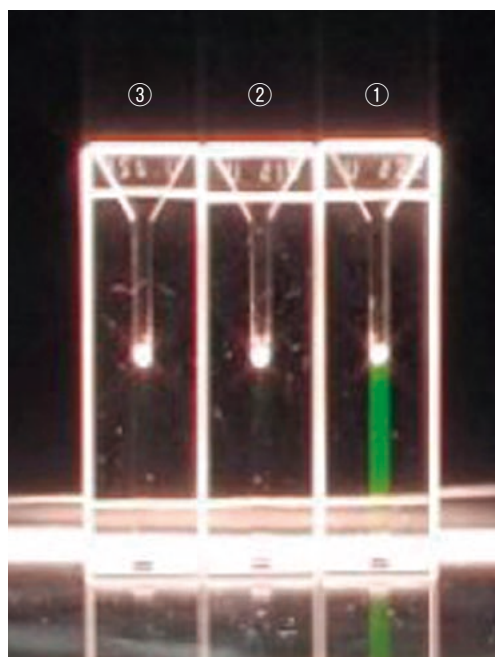


図1 蛍光を発する人工核酸によるDNAの可視化

人工核酸を含む溶液に、①人工核酸と相補的な一本鎖DNA、②相補的でない一本鎖DNA、③水を加えた。人工核酸が相補的な一本鎖DNAと結合すると、緑色の蛍光を発する(①)。



て常に変化しているのです。その様子を見たいのですが、巨大な分子であるDNAに付いた1個のメチル基を見つけるのはとても難しい。原子レベルのアプローチが必要です」

岡本独立主幹研究員は、DNAメチル化を検出できるシステムの開発に取り組み、2007年に「<sup>アイコン</sup>ICON法」を完成させた。「ICON法の原理は釣りに例えると分かりやすいですよ」と、示してくれたのが図3だ。川は長大なDNA、魚はメチル化されたDNAに当たる。ICONは釣りざおだ。しかし、DNAのあちこちでメチル化が起きているので、やみくもに釣っても意味がない。そこで、釣り糸にメチル化の有無を調べたい領域と相補的な配列を持つ人工核酸を使う。釣り糸の先には、釣り針に相当するピピリジンという有機分子、そして餌に当たるオスミウムという金属を付ける。それをDNAの川に投げ込んで待つ。目的の領域でDNAメチル化が起きていれば、釣り上げることができる。

「金属錯体反応」という化学反応を利用しています」と岡本独立主幹研究員は解説する。「オスミウムは、二重結合を酸化する金属です。メチル化していないシトシンは二重結合の置換基を2個、メチル化されたシトシンは二重結合の置換基を3個持ちます。二重結合の置換基が多いメチル化されたシトシンは、メチル化していないシトシンの400倍の速さでオスミウムと反応して錯体を形成します。反応速度の違いを利用して、DNAメチル化を検出するのです」。ピピリジンは錯体の形成に必須で、さらに酸化反応を促進する働きがある。

これまでメチル化の検出には、制限酵素法、亜硫酸水素塩法などが使われてきた。しかし、反応に数時間から十数時間かかることや、DNAが切断されてしまうなどの問題があった。ICONの反応は、常温で10分から1時間だ。また、メチル化されたDNAを切断することなく釣り上げることができる。そのDNAをPCRという装置にかけて増幅することで、メチル化されている量を知ることでもできる。「ICONによって、巨大分子DNAの中で1個のシトシンがメチル化されているかどうかを検出することが初めて可能になりました」

## ■ メチル化を診て、がんの早期診断も

岡本独立主幹研究員のもとには、ICONについて国内外から多くの問い合わせが来ている。ICONが注目されるのには理由がある。「DNAメチル化の場所や量の異常が、がんや老化と密接にかかわっていると考えられているのです。DNAメチル化を含めてエピジェネティクスの研究は始まったばかり。これからメチル化と病気の因果関係が分かってくると、将来的には、がんの早期診断や治療戦略の指標にメチル化が使えるようになると期待しています」。ICONの分子は2007年から(株)ジーンデザインで販売している。「できるだけ多くの人にICONを使っていただき、メチ

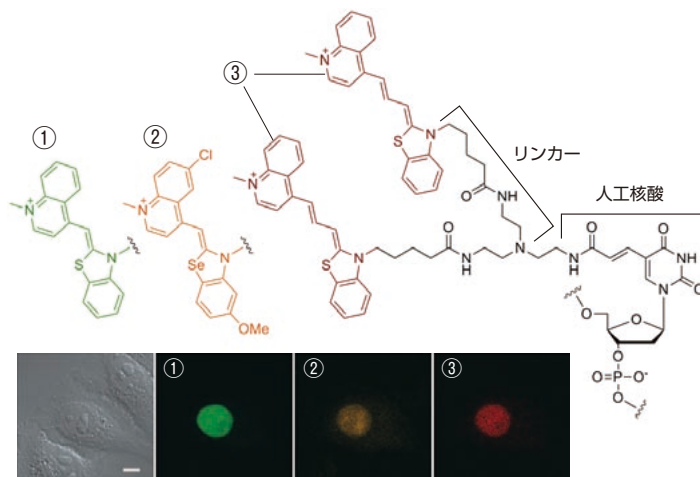


図2 蛍光を発する人工核酸の構造式

人工核酸の一つの塩基(図ではRNAの塩基の一つウラシル)から枝分かれリンカー(結合部品)を伸ばし、その先端に2分子の色素(③)を連結させる。色素(③)を①や②に変えると、発光の色が変わる。ここでは、研究ユニットが開発した12種類の人工核酸のうち3種類を示す。下の写真は、3種類のマイクロRNAを導入した細胞の核に、3種類の人工核酸を入れたもの。3種類のマイクロRNAを同時に識別することができる。

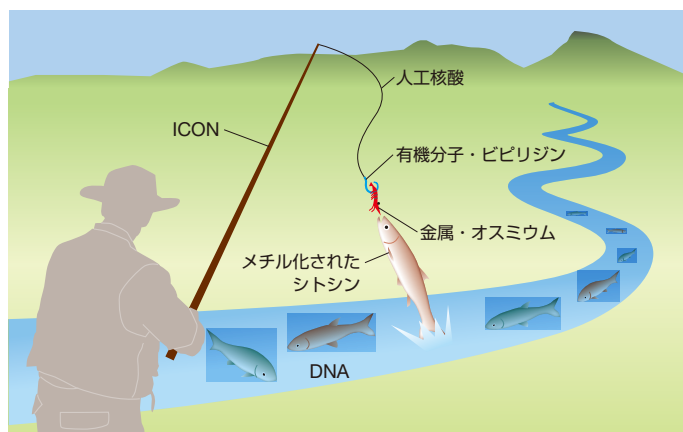


図3 メチル化解析システムICONの原理

ICONは人工核酸、有機分子ピピリジン、金属オスミウムからなる。オスミウムがメチル化したシトシンを酸化して金属錯体をつくる反応を利用して釣り上げる。人工核酸を、メチル化の有無を調べたい領域と相補的な配列にすることで、狙った場所のメチル化の有無を調べることができる。

ル化の検出を臨床につなげることに貢献できたらうれしいです」

岡本独立主幹研究員はこう続けた。「手法を開発して論文を書けば終わりではなく、多くの人に使ってもらって初めて評価されるのだと思います。医療に貢献することを常に意識しています。論文や講演のタイトルで「診る」と書くのは、そういう理由からです」。岡本独立主幹研究ユニット発の技術が医療現場で活躍する日は遠くないだろう。R

(取材・執筆：鈴木志乃/フォトンクリエイト)

## 関連情報

- 岡本独立主幹研究ユニットホームページ  
http://www.riken.jp/lab-www/okamotoiru/indexj.htm
- 2009年7月22日プレスリリース「RNAを12色でライトアップ、リアルタイム観察を実現」
- 2007年10月25日プレスリリース「知りたいメチル化の位置を金属錯体反応ですばやく釣り上げる」

## 脳波で電動車いすを動かす

新しい脳信号処理技術を介したBMI

2009年6月29日プレスリリース

—BMIとは何ですか。

**チホツキ**：体の動き、声の指令などにまったく頼らず、脳の信号（脳波）だけで人と機械を相互作用させることを目指したインターフェースのことです。BMIは、高齢者や体が不自由な方を補助する装置の開発に役立つと考えられます。特に高齢化が加速している現代社会において、関心は高くなる一方です。しかし、これまでのBMIの最大の課題は、脳波の解析速度が遅く、結果を得るまでに数秒かかってしまうことでした。

—脳のどんな現象を利用したのですか。

**チホツキ**：人が右手を動かそうとすると、脳の一次運動野および一次体性感覚皮質（中心前回および中心後回）と呼ばれる領域のうち、右手と関連する左側の脳波の振動幅が小さくなります。逆に左手を動かそうとすると、左手と関連する右側の脳波の振動幅が小さくなります。また、歩こうとしたり、足を動かそうとすると、歩行をつかさどる脳の運動野と体性感覚皮質の脳波の振動幅が小さくなります。これは「事象関連脱同期」および「事象関連同期」と呼ばれる現象です。事象同期、事象脱同期とは、それぞれミュー・リズム<sup>\*</sup>が一定値から増加したり減少したりする現象のことを指します。ミュー・リズムの事象脱同期は、行動を計画したり実行したりするときに観察されますが、手足の動作を想像するだけでも現れます。この現象を脳波から検出できれば、人がどういう動作や行動を思い浮かべ、取りたいのかを、ある特定の精度で知ることができます。

—今回開発した技術のポイントは何ですか。

**チホツキ**：二つあります。一つ目は脳波解析時間の短縮化、つまりほぼリアルタイムで解析できるようになったことです。従来の手法に、理研脳科学総合研究センターで独自開発した脳波解析技術を組み合わせたシステムを開発しました。このシステムは、車いすの操作者が想起した“歩く”“右手を動かす”“左手を動かす”に対応する0.5秒から3秒の長さの脳波信号から、125ミリ秒ごとに制御コマンドの候補を出力します。さらに、時系列で与えられる制御コマンドの候補から最終的な制御コマンドを生成し、ほぼリアルタイムで車いすを制御

イメージすれば動く——そんな機械の実現には、人と機械のコミュニケーション(BMI: Brain Machine Interface)が重要だ。人類は、自動車や飛行機などの輸送機械、ショベルカーやクレーンなどの建設機械、人体の内部を観察する医療機器など、さまざまな機械を開発・利用してきた。しかし、いずれも手や足、キーボード、音声などによって機械に指令を出すものだ。今回、理研、トヨタ自動車(株)、(株)豊田中央研究所、(株)コンボン研究所が2007年に設立した理研BSI-トヨタ連携センター(BTCC)は、“歩く”“右手を動かす”“左手を動かす”をイメージしたときの脳波を秒単位で解析し、脳電図により記録、電動車いすを制御するシステムの開発に成功した。この成果についてBTCC非侵襲BMI連携ユニットのアンジェイ・チホツキ ユニットリーダーに聞いた。



☒ 試作したBMIによる電動車いす制御システム  
※ホームページで動画をご覧いただけます。

写真提供：キュワン・チェ博士

します（前進、右折、左折）。二つ目は、操作者がシステムの認識結果（前、右、左）を、視覚情報からのフィードバックにより、その場で確認できるようにしたことです。これによりまだ訓練途上の操作者は、自分のイメージとシステムの認識結果を一致させる“こつ”をつかみやすくなり、若い健常者が操作者の場合、1日3時間、1週間程度の訓練で、前、右、左の三つの指示を最大95%の信頼度で制御できるようになりました。ただし、高齢者などの訓練では、さらに時間がかかったり、うまく制御できなかつたりするかもしれません。

—今後の展開は。

**チホツキ**：より信頼度を高め、医療・介護分野を中心とした広い分野、特にリハビリや家電製品の操作（チャンネルの切り替えや音量調節、エアコン操作、照明スイッチのオン・オフなど）といった、応用可能でユーザー・フレンドリーな要素技術として発展させていく予定です。そのためには、より簡易な脳波計測システム、特に新しいドライ電極やリモートセンサーのようなハードウェアの開発が必須です。また、今回は手や足の運動を反映した脳波を対象としましたが、体のほかの部分（例えば舌や唇）を動かそうとすること（例えば舌や唇）、さらに動作とまったく連動しないような心の動きへの応用の可能性にも期待しています。 **R**

<sup>\*</sup>ミュー・リズム：感覚運動系のニューロンは10Hz付近で同期発火している。これをミュー・リズムと呼ぶ。

●本研究成果は朝日、読売、毎日、産経、日本経済新聞(6月30日)などに掲載されたほか、NHKのニュース、海外メディアなどに取り上げられた。

## 高品質な有機EL薄膜パターンの形成に成功

新しいタイプのエレクトロスプレー・デポジション法を確立

2009年7月1日プレスリリース

理研知的財産戦略センター <sup>ブイキヤド</sup>VCADシステム研究プログラム 加工応用チームの山形豊チームリーダーらは、新しいタイプのエレクトロスプレー・デポジション (ESD) 法を確立し、高品質な有機EL薄膜パターンの形成に世界で初めて成功した。東京大学大学院の樋口俊郎 教授との共同研究による成果。

有機EL材料などの有機高分子半導体材料は、製造エネルギーの軽減、形状のフレキシブル性、高機能化の容易さ、大量生産の可能性などの特長から、次世代のディスプレイや有機半導体デバイス、さらには有機太陽電池など幅広い分野への応用が期待されている。しかし、高分子系材料は真空中や高温で変性してしまうため、薄膜形成過程で真空蒸着法\*が適用できなかった。そこで研究グループは、常温・大気圧で

薄膜形成が可能で、材料 (サンプル) にダメージを与えないESD法に着目してきた。ESD法では、サンプル溶液と基板との間に高電圧をかけて微細な液滴をスプレーし、さらに液滴を静電気で集めて基板上に薄膜をつくる。微細なパターン形成が可能で、サンプルの利用効率も極めて高い。しかし、液滴が乾燥して薄膜ができる際に、薄膜上にピンホールができてしまうという欠点があった。

今回、研究グループは、蒸発速度の異なる2種類の溶媒を混ぜながらESD法を実施するという独自の手法を開発。ピンホール生成を抑え、電気的特性の向上に成功した。この手法で製造した薄膜表面の粗さは1nm (1nmは $10^{-9}$ m) 以下と極めて滑らかで、品質は従来手法で製造したものを上回った。この成果は近い将来、有機ELディスプレイの低コスト化に役立つだけでなく、有機太陽電池の効率的製造など幅広い分野への波及効果が期待される。

\*真空蒸着法：真空中で材料を加熱・蒸発させ、その蒸気を適当な面上に付着させて薄膜をつくる方法。

●『Advanced Materials』オンライン版 (7月1日) 掲載

## カメが甲羅をつくった独特の進化過程を解明

2009年7月10日プレスリリース

理研発生・再生科学総合研究センター 形態進化研究グループの倉谷滋グループディレクター、長島寛研究員らの研究グループは、カメが甲羅をつくった進化過程の解明に成功した。

カメは、羊膜類 (哺乳類、鳥類、爬虫類) の中でユニークな骨格パターンを持つ。カメの甲羅は背側の背甲と腹側の腹甲からなり、背甲は肋骨が扇状に広がって形成されるもので、これに伴い周辺の骨格も変化している。一般の羊膜類では肩甲骨が肋骨の外側にあるのに対し、カメの肩甲骨は肋骨 (背甲) の内側にあり、肩甲骨と肋骨の位置が逆転している (図)。研究グループは、この逆転がいかんして起きたのかを探るため、カメ、ニワトリ、ハツカネズミの胚の中での肩甲骨や肋骨などの発生過程を比較した。

その結果、カメの肩甲骨は、胚発生の中期まではほかの羊膜類と同様に肋骨の外側前方にあるが、胚発生の後期になると、腹側の体壁が内側に折れ込むのに伴い肋骨の下へ移動することが分かった。さらに、カメの発生中期の胚形態は、2008年に発見された最古の化石カメとされるオドントケリ

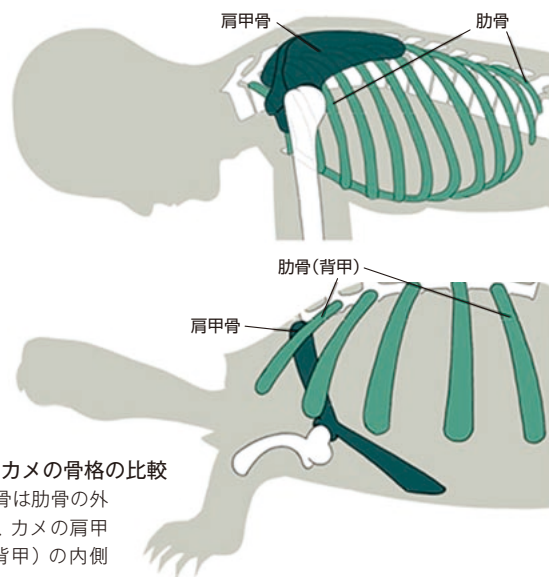


図 ヒトとカメの骨格の比較

ヒトの肩甲骨は肋骨の外側にあるが、カメの肩甲骨は肋骨 (背甲) の内側にある。

スの形態と非常によく似ていることも分かった。オドントケリスには背甲がないことから、現在のカメはこのような祖先動物の後期発生プログラムを変更し、肋骨を扇状に広げることによって肩甲骨を覆う背甲を得たと考えられる。

●『Science』 (7月10日) 掲載

# 将棋プロ棋士の脳から直感の謎を探る

2008年のノーベル物理学賞を受賞した益川敏英 博士は、素粒子のクォークが6種類あるというアイデアが風呂場で突然ひらめいたという。理研脳科学総合研究センター（BSI）の伊藤正男 特別顧問は、「サイエンスの世界では、直感的なひらめきが大発見につながった例がたくさんあります」と語る。「そのような直感が働く仕組みを脳科学で解明したいと、ずっと思っていました」BSIでは2007年から、将棋プロ棋士の脳活動を計測して直感の仕組みを探るプロジェクト“将棋における脳内活動の探索研究”を日本将棋連盟の協力を得て、富士通(株)、(株)富士通研究所と共同で進めている。世界的にもユニークな直感の謎を探る研究を紹介しよう。

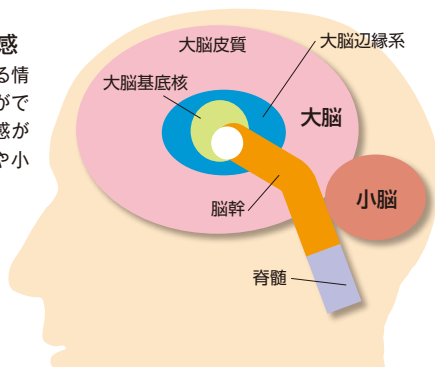
## 将棋と直感

——なぜ将棋で直感の仕組みを調べるようになったのですか。

**伊藤：**2006年3月、“理研文化の日”というイベントで、日本将棋連盟の米長邦雄 会長が理研で講演されました。そのときのテーマが“人間の脳と将棋”という、とても挑戦的な内容で、びっくりしました。講演の前、米長会長とお話しする機会があり、「将棋では直感が大事なのではないですか」と尋ねたところ、「その通りです。脳科学で直感を調べることはできるのですか」と返ってきました。「直感のような思考にかかわる研究は、ヒトの脳活動を計測しなければならぬので難しいですね」と答えたところ、「それなら、うちの連盟にはいい実験台がいっぱいいます」と(笑)。

ヒトの脳活動の計測で難しいのは、個人差がとても大きいことです。一方、将棋のプロ棋士は子どものころから将棋の訓練を続けてきた人たちです。その脳は将棋に特化した思考回路ができてはいるはずですが、日本将棋連盟にご協力いただき、プロ棋士の方たちの脳活動を計測すれば、個人ごとにばらつきのないきれいな計測データが得られるかと思いました。

**図1 脳の構造と直感**  
大脳皮質以外で行われる情報処理は意識することができない。プロ棋士の直感が働くとき、大脳基底核や小脳の活動が見られた。



そのようなきっかけで、BSIの三つの研究チームが参加し、日本将棋連盟と富士通(株)と共同での研究プロジェクトが発足しました。

## 直感＝小脳が行う予測？

——直感はどのような仕組みで働くと考えられますか。

**伊藤：**私たちのチームでは小脳が関係していると考えてきました。小脳は主に運動の中核として知られています。例えば、自転車の乗り方を覚えるとき、最初は意識して手足を動かしますが、乗り方を覚えると意識なくともうまく乗れるようになります。それは手足をこう動かせば自転車はこう動くという予測を小脳ができるようになるからです。野球選手がボールを打つときも予測なしにはできません。投手が投げたボールを捕手が捕るまでたった0.2秒しかかかりません。ところが私たちが目で情報をとらえて行動を起こすまでに0.1秒以上かかります。つまり、投手が投げたボールが半分くらいまで来たところでバットを振り始めなければ間に合いません。その時点で球がどこに来るかを正確に予測しなければ、ヒットやホームランは打てないのです。そのような運動の予測を小脳が行っていると考えられています。さらに小脳は、運動だけでなく思考でも働いていると私は考え、「直感には小脳が行う予測が重要」という仮説を立てました。

——運動は無意識にできても、思考は難しいように思えますが。

**伊藤：**大脳皮質で起きていることは意識に上ってくるのですが、それ以外の大脳基底核や小脳、脳幹で起きていることは意識に上ってきません(図1)。脳内では無意識の状態でもたくさんの情報処理が行われているのです。

運動では最初、大脳皮質を使って意識的に手足を動かしてうまくいったかどうかを確認しながら練習します。そして



**図2** 羽生善治 名人の直感が働くときの脳活動のfMRI計測  
 詰め将棋などの問題を短時間で答えるときの脳活動を計測して、直感が働く脳の領域を探っている。羽生名人の脳活動の計測も行われ、ほかのプロ棋士では見られない活動領域がとらえられた。

練習を重ねるうちに、手足の模型のようなものが、大脳皮質にできてきます。それを私たちは“メンタルモデル”と呼んでいます。大脳皮質にメンタルモデルができると、当初はそれを使って予測しますが、ある段階でそれが小脳にコピーされます。するとその小脳の“内部モデル”を使って予測するようになり、意識しなくても手足が正確にうまく動くようになります。小脳で起きることは意識することができません。大脳皮質のメンタルモデルが小脳に移されることによって意識から無意識への移行が行われるわけです。

思考はモノを動かすという点で運動と似ています。運動では手足を動かしますが、思考ではイメージや概念を動かします。運動と同様のことが、思考の場合でも当てはまると考えます。

思考でも最初は脳皮質にメンタルモデルができます。大脳皮質の後側にある頭頂・側頭連合野にイメージや概念が記憶されていて、それを前側の前頭連合野が動かします。それが意識的な思考です。そして、いろいろ思考しているうちに、概念やイメージのモデルが頭頂・側頭連合野から小脳にコピーされると、無意識のうちに小脳の内部モデルが予測して、つまり直感的に答えを出すようになると考えます。

## プロ棋士の強さの秘密

——将棋プロジェクトでは、どんな実験を行っているのですか。

**伊藤：**現在までに、プロとアマチュアを含めて50人以上の方々にご協力いただいています。fMRI（機能的核磁気共鳴装置）や脳波計を使って、将棋の問題で直感が働くときの脳活動を調べてきました（図2）。詰め将棋や次の一手を考える問題を、短時間の間に直感で答えてもらい、脳のどこが活動しているのかを調べるのです。

——どのようなことが分かってきましたか。

**伊藤：**次の一手を直感で選ぶ実験で、プロ棋士でのみ活動している領域が見つかりました。大脳基底核です（図1）。ここは情報の選択装置ではないかと、私は考えてきました。大脳皮質は同時にいくつもの活動指令を出しています。しかし、それらをすべて実行していたのでは、支離滅裂になってしまう。大脳基底核は大脳皮質の、特定の活動指令だけ抑制を外して実行させ、それ以外の指令は抑制する。そ

のような選択を行う仕組みが大脳基底核にあると考えられてきました。今回の実験から、大脳基底核がプロ棋士の直感において重要な働きをしていることが分かりました。

——小脳の活動はいかがですか。

**伊藤：**プロの方、アマの方、両方で小脳に活動が見られました。将棋に限らず、何かを最初に練習するときには、小脳の広い範囲が活動します。そして練習が進むとその範囲がだんだん狭くなり、熟練した段階ではとても小さな特定領域だけが活動します。最初は、うまくいかないで、いろいろな神経回路を総動員する。やがてスムーズに処理できる神経回路が特定領域にできていくと考えられます。直感＝小脳の予測という仮説でいえば、より精密な予測が可能な内部モデルができることに相当します。今回の実験でも、直感が働くとき、アマの方よりも熟練したプロの方が小脳の活動領域が狭いという傾向が見られました。

——小脳と大脳基底核の関係はどのように考えられますか。

**伊藤：**運動でいえば、いくつかの運動指令があって、そのうちのどれを選択するかを大脳基底核で行い、選択された指令の運動を正確に、巧みに行うために小脳が働くと考えられています。思考でも、運動と同様な処理が脳内で行われているのか。直感で重要なのは小脳か大脳基底核か。これを明らかにしたいですね。

## 脳vsコンピュータ

——チェスでは、コンピュータが人間の世界チャンピオンに勝ちましたね。

**伊藤：**コンピュータは可能な手をすべて調べ尽くして、その中でどの手が最も良いかを評価する数式を使って、次の手を選び出します。しかし、チェスや将棋で可能な手の数は膨大です。膨大な手数を、ヒトの脳が短時間ですべて検討することは不可能です。ヒトでは小脳が実際の局面と内部モデルに蓄えられた数々の局面とを比較します。比較すれば違いがすぐに分かります。その違いから、良さそうな手を素早く予測しているのだと思います。このような脳の

情報処理の仕組みをコンピュータに導入できれば画期的です。共同研究を行っている富士通㈱のコンピュータ研究者たちは、直感の仕組みにとっても興味を持っています。

——コンピュータの進歩には直感が必要なのですか。

**伊藤：**コンピュータの計算速度は技術革新により格段に速くなりましたが、情報処理の仕組み自体はまったく進歩していないと、富士通㈱の研究者たちは言っています。1956年、米国・ダートマス大学に一流の科学者たちが集まり、人工知能をつくらうと提案しました。従来のコンピュータは人間が指示した通りの情報処理しかできません。未知のトラブルを解決したり、状況に合わせて情報処理の方法を改善したりするコンピュータ、つまりヒトの脳のような知能を持つコンピュータをつくらうと提案したのです。その提案書には10人の科学者が2ヶ月間取り組めばできるだろうと書いてありました。ところが、ヒトの脳のような人工知能は今でも実現していません。それほど難しいことなのです。その実現にはヒトの脳の仕組みを知る必要があります。従来のコンピュータとヒトの脳の大きな違いは何なのか。その一つが直感的な思考なのです。

## 大発見をもたらす直感の謎

——直感の解明には、今後どのような研究が必要ですか。

**伊藤：**今はまだ、直感で働く脳の領域を調べている段階です。私たちが本当に知りたいのは、その領域でどのような情報処理が行われているかです。しかし、ヒトの脳に電極を刺して、神経細胞の活動を詳しく調べることはできません。たとえ神経細胞の活動を調べることができても、情報処理の仕組みはすぐには分からないかもしれません。例えば、将棋に関する内部モデルが脳の小さな領域の神経回路にどのようにプログラムされているのか、大きな謎です。実験だけでなく、脳の情報処理に関する理論的な研究がとても重要になってくるでしょう。

——考え抜いた末に突然ひらめくような直感は、内部モデルの仮説ではどのように説明できますか。

**伊藤：**本当はそちらの直感の方に興味があります。答えがまったく分からない問題に出合ったとき、頭頂・側頭連合野や小脳に蓄えた内部モデルを懸命に探します。それでも答えが得られないと、新しい内部モデルをつくり上げようとします。それが出来上がった瞬間に突然ひらめく。ひらめいた瞬間の脳活動を測定できればいいのですが、そういう実験を行うのは難しいですね。

——効果的に直感力を鍛える方法はありますか。

**伊藤：**小脳の内部モデルの仮説からいえば、自転車の乗り方を練習するように、何回も練習して失敗を繰り返し、内部モデルをたくさん蓄積し、洗練させていくことです。楽な方法はありません（笑）。

——ノーベル賞級の大発見は30歳代に成し遂げられること



## 伊藤正男

特別顧問

いとう・まさお。1928年、愛知県生まれ。医学博士。東京大学医学部卒業。東京大学教授、理研BSI初代所長を経て現職。小脳研究の世界的権威。

が多いと聞きます。若い人の方が、直感力が鋭いのですか。

**伊藤：**小脳の大きさから推定すると、ある情報を処理する神経回路の単位、チップのようなものが1万個ほどしかありません。それを使ってさまざまな運動や認知、思考の内部モデルをつくらなければなりません。若い時期はまだチップの数に余裕があるので、小脳に新しい内部モデルをつくりやすい。しかも若い人には固定観念がないので、斬新な内部モデルがつくられやすい。それが鋭い直感力を生み出し大発見につながるのかもしれない。

——将棋の名人がいつまでも勝ち続けることができないのは、加齢とともに直感力が鈍るからですか。

**伊藤：**将棋の戦術の進歩はとても速いそうです。熟練したプロの方の内部モデルもやがて時代に合わない古いものとなり、なかなか勝てなくなってしまうでしょう。しかも年齢を重ねてチップの数に余裕がなくなると、小脳に新しい内部モデルをつくりにくくなるとも考えられます。

ただし、ここで紹介した直感＝小脳の予測という考えは、まだ作業仮説の段階です。今回の将棋プロジェクトで仮説とは異なる現象が見えてくるかもしれません。それで直感の仕組みの解明が進めばいいわけです。このプロジェクトでは若い研究者が中心となって精力的に実験を進めています。今後、詳しい研究結果を論文発表する予定です。

脳科学では、分子や細胞レベルの研究が大きく進展しています。しかしヒトでしか実験できない思考の仕組みを探る研究は難しく、なかなか手が付けられていませんでした。ずっと挑戦したかった思考の研究が、将棋のプロジェクトで実現できました。このプロジェクトは、現時点では直感という脳の思考の仕組みを探る最良のアプローチだと思います。R

(取材・構成：立山 晃／フォトンクリエイト)

新監事に廣川孝司氏

7月1日、廣川孝司氏が監事に就任しました。当研究所の発展に尽力された橋本孝信氏は6月30日をもって退任しました。



廣川孝司 (ひろかわ こうじ)

1957年12月30日、広島県生まれ。1980年3月、東京大学法学部卒業。同年4月、大蔵省入省。外務省在メキシコ日本国大使館一等書記官、財務省大臣官房付派遣職員(インドネシア大蔵省)、財務省東海財務局証券取引等監視官、金融庁総務企画局開発研修室長、財務省四国財務局管財部長、東北大学大学院経済学研究科教授、(独)日本万国博覧会記念機構総務部長などを経て、2009年6月より財務省大臣官房付。

PCクラスタで国内最速、新スーパーコンピュータ「RICC」稼動 (2009年8月7日プレスリリース)

理研はPCクラスタとして、わが国最速の演算性能となる新スーパーコンピュータ・システム「RICC (RIKEN Integrated Cluster of Clusters)」を開発しました。RICCは、2004年に導入した「RSCC (Riken Super Combined Cluster)」を発展させたもので、演算性能はRSCCの8.5倍に向上し、97.94TFLOPS (1テラ=10<sup>12</sup>、毎秒1兆回の浮動小数点演算)、実行性能92.36%を達成、10月1日から本稼動します。

RICCは、物理学、化学、工学、生物学、医科学といった理研の幅広い分野の研究者からの多様なニーズに対応できるように設計されています。数千並列規模のジョブを実行可能な「超並列PCクラスタ (写真)」、アクセラレータ<sup>\*</sup>を搭載したPCクラスタ、理研が分子動力学シミュレーション専用に

開発したMDGRAPE-3<sup>エムディグレープ</sup>を搭載したクラスタ、大容量共有メモリ型の計算機の四つの計算機を接続し、利用者はそれらを共通のインターフェースで一つの計算機であるかのように利用できます。

理研が2012年の完成に向けて計画を進めている次世代スーパーコンピュータ用のアプリケーション開発もRICCで行います。そのため、大規模並列ジョブの投入を想定した高機能スケジューラを独自に開発し、数千並列規模の計算を常時投入することができます。

また、RICCで採用した100機の「GPU (Graphics Processing Unit) アクセラレータ」の利用拡大のために、GUI (Graphical User Interface) を用いたプログラミング環境を開発。これにより、プログラミング



超並列PCクラスタ

の知識が必要で利用者が限定される傾向にあったアクセラレータの課題を克服します。さらに、あらゆる場面でRICCを利用できるようにするため、Webや携帯電話からの操作やジョブ監視も可能となっています。今後は、利用者の教育、プログラムのチューニングなどを進めます。

<sup>\*</sup>アクセラレータ：コンピュータの処理能力を高めるために、追加して利用するハードウェアやソフトウェアの総称。

10月開催・参加イベントのご案内

| 開催日                  | イベント  | 対象                             | 場所                                  |
|----------------------|---|--------------------------------|-------------------------------------|
| 10月3日(土)・4日(日)       | 高校生物教職員のための「発生物学リカレント講座」                      | 高校の生物教職員                       | 理研発生・再生科学総合研究センター (兵庫県神戸市)          |
| 10月7日(水)・8日(木)       | 次世代スーパーコンピューティング・シンポジウム2009                   | 一般                             | MY PLAZAホールおよびMY PLAZA会議室 (東京都千代田区) |
| 10月7日(水)～9日(金)       | Bio Japan 2009                                | 一般 (大学生以上)                     | パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市)                   |
| 10月9日(金)             | 感染症に挑む知のネットワーク アジア・アフリカとともに                   | 一般                             | 丸ビルホール (東京都千代田区)                    |
| 10月9日(金)             | RIKEN Science Seminar Ⅲ 第1回 心の始まり 私たちが人間である理由 | 一般                             | 六本木アカデミーヒルズ49 スカイスタジオ (東京都港区)       |
| 10月17日(土)            | おもしろい研究者になりませんか? 第3回 天文分野のサイエンスコミュニケーション実践事例  | 科学研究に従事する方、科学コミュニケーションにご興味のある方 | 理研発生・再生科学総合研究センター (兵庫県神戸市)          |
| 10月30日(金)～11月3日(火・祝) | まなびピア埼玉2009                                   | 一般                             | さいたまスーパーアリーナ、けやきひろば ほか (埼玉県さいたま市)   |
| 10月31日(土)～11月3日(火・祝) | サイエンスアゴラ2009                                  | 一般                             | 国際研究交流大学村ほか (東京都江東区)                |

詳細はPCサイト (<http://www.riken.jp/>) または携帯サイトでご確認いただけます。



# 南極越冬を体験して

五十嵐 誠 IGARASHI Makoto

基幹研究所 牧島宇宙放射線研究室 協力研究員

2004年11月25日、私は南極の地に降り立った。高校生のとき、映画『南極物語』を見て雪と氷だけの厳しい世界を初めて知り“いつか自分も行ってみたい！”と思ったときからおよそ20年が経過していた。

理研に在職する前、私は国立極地研究所（以下、極地研）の非常勤研究員をしていた。南北両極地域から採取された雪や氷の分析を毎日行いながら、“自分が実際に行つて現地を肌で感じる事ができれば、もっと分かることがあるだろうに”という気持ちがどんどん膨れ上がっていた。しかし、当時は南極地域観測隊員になるには国家公務員である（もしくは一時的になる）ことが条件であったため、半ばあきらめかけていた。ところが、思いがけない形で私の南極行きが実現した。2004年度より国立大学や極地研を含む国立の研究機関などが法人化され、国家公務員という縛りがなくなったのだ。第46次南極地域観測隊には、私を含め2名が非常勤研究員として初めて採用された。

南極大陸は、雪が長年降り積もつてできた厚さ3000m以上の氷床で一面覆われている。雪粒は上空から地表に落下するまでの間に、大気中に浮遊している微粒子やガス成分を取り込んでいる。氷床表面の新しい雪の層は綿菓子のようにふわふわで、雪粒の間には大きなすき間がある。このすき間は後から降ってくる雪粒でふたをされ、空気の泡となって氷の中に閉じ込められる。つまり南極の氷は、氷そのものと気泡の中に過去の大気環境の情報が閉じ込められたタイムカプセルなのだ。私が参加した第46次観測隊は、過去100万年分の氷柱すなわちタイムカプセルを獲得するため、沿岸から内陸1000kmにある「ドームふじ基地」で表面から岩盤に向けて氷床を掘り進めた。そして私たちの次に来た第47次隊が、岩盤付近までの掘削を見事やり遂げた。最深部の氷の年代は当初の見込みより多少若く、およそ72万年前のものと判明した。氷床深層掘削が大成功して貴重な試料を持ち帰ることができたことは、研究グループの大きな成果であるが、私自身にとっても生涯に残る貴重な体験であった。

日本の南極観測の拠点「昭和基地」への人員と物資の輸送は、砕氷艦「しらせ」によって年1回行われる



南極大陸上陸地点「とつつき岬」にて

のみである。1年間は、泣いても笑っても昭和基地で越冬する37名ですべての作業を乗り切らねばならない。全隊員が自分の仕事に責任を持って当たらなければ、すぐに隊全体に影響が出てしまう。私には研究活動以外に、氷床掘削を継続するため昭和基地から燃料（ドラム缶約200本）や食料（14人3ヶ月分）など生活必需品をドーム基地に運ぶという、重要な任務があった。一人で準備することは到底不可能なので、医師、調理師、車両担当、機械担当、通信担当などほかの多くの隊員に支援を呼び掛けた。時には-60℃にもなる極寒の環境の中で凍傷を負うこともあったが、みんな喜んで協力してくれた。私自身も少しでもほかの隊員の助けになるよう行動した（つもりである）。全隊員が自分のやるべき仕事を持っているが、私と同様、誰一人として己の力だけで作業をやり遂げることができないので、みんな協力し、あらゆる困難に立ち向かった。越冬生活が終わるころには隊全体に心地よい一体感・親近感が生まれた。国内で研究活動をしているだけでは会おうことがなかったであろう多種多様な業種の方々とも親しくなり、掛け替えのない財産となった。

南極からの帰途、現所属の牧島宇宙放射線研究室から縁あって声を掛けていただいた。前身の宇宙線研究室には、観測隊の大先輩である小玉正弘さんと福島紳さんが所属されていたことを知り、非常に驚いた。福島紳さんは南極で尊い命を落とされた唯一の日本人観測隊員であり、消息を絶った地点と遺体が発見された場所にあるケルンの前で毎年追悼行事が行われている。私もそこで哀悼の意を表してきたばかりであった。観測隊参加前には、理研で働くことになるとは思ってもいなかったのに、これも縁と呼ぶべきか、不思議な気持ちである。これまでに得た縁、これから会おう縁、どちらも大切にしたい。



理研ニュース

9

No. 339  
September 2009

発行日 平成21年9月7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

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。

