

nature DIGEST

日本語編集版
AUGUST 2008
VOL. 05, NO. 8

8

<http://www.nature.com/naturedigest>

トランスレーショナル・
リサーチ

Journal Journey 02

Journal journeys: Day –8, The colour of chemistry

January 24, 2008,

僕 がバーミンガム大学（英國のほう）の学部生だったころ、Jim Burdon の芳香族化学の講義が、特に面白かった。どうしてその話になったのかはわからないけれど、ある日の講義で、中性子が紫色だという話になった。そして電子の色の話になった。それは、どうみても、とてつもなくばかばかしい話なんだよね。だって、中性子は変な緑褐色（で、電子は青だ）ということは誰もが知っているから。

それはそうと、*Nature Chemistry* のコンセプトを決める段階になって、色について大事な決定を下す必要が生じたんだ。どういうことかっていうと、例えば *Nature Materials* のホームページを見ればわかると思う。ページの上にあるバナーと各セクションのヘッダーに赤が使われているよね。これはウチでは「Materials red」（マテリアルズ・レッド）と呼んでいる色なんだ。そして、*Nature Materials* の印刷版をみれば、各ページに、この赤が使われているのがわかると思う。特にタイトル、ヘッドラインや図のキャプションのフォントカラーが、この赤になっているんだ。

これは他のジャーナルでも同じことなんだ。*Nature Geoscience* ではグリーン（ブリティッシュ・レーシング・グリーン（British racing green）と呼ばれるグリーン色）が使われているし、*Nature Photonics* はブルー、*Nature Physics* はブルー／パープル、*Nature Chemical Biology* は別の色合いのブルーだ。*Nature Nanotechnology* の場合はゴールド系の色になっているけれど、印刷版では赤が使われている（だけどマテリアルズ・レッドではなくて、そう、そのとおり、「ナノ・レッド」（Nano red）だ）。その理由は、ゴールドという色が印刷には不向きだからさ。

そして今回、*Nature Chemistry* の登場となり、独自の色が必要になった。できれば、印刷版でも電子版でもうまくいくような色がいい。今は、特定の色のさまざまな色合いを試しているところだ。どの色かは教えられないけれど、化学を表す色って何色だと思う？

Stuart Cantrill (Chief Editor, *Nature Nanotechnology*)



「Journal journey」は、
Nature Chemistry の編集長が
創刊までの日々のエピソード
をつづっているブログです。

ウェブサイトでは、最新のブログ記事、
Research Highlight、ポッドキャストが無料で公開中
です。また、*Nature Chemistry* オリジナルの壁紙も
無料でダウンロードできます。

www.naturejpn.com/chem

トランスレーショナル・リサーチ

表紙：MIKKO KETTUNEN & REBEKA MACLAUCHLIN

HIGHLIGHTS

- 02** vol. 453 no.7198, 7199
vol. 454 no.7200, 7201, 7202

ESSAY

- 07** 音楽の進化
Josh McDermott

EDITORIAL

- 10** トランスレーショナル・リサーチのすすめ

NATURE NEWS

- 12** 太平洋の島国を水没の危機から救うには
「もはや手遅れ」

- 13** 時を見失ったマウスたち

NEWS FEATURE

- 14** 天気を掌握する
Jane Qiu and Daniel Cresssey

JAPAN NEWS FEATURE

- 20** ペタフロップス級の苦悩
冬野いち子

SNAPSHOT

- 24** 排卵の瞬間

NEWS & VIEWS

- 25** 腕型ロボットを脳で制御する
John F. Kalaska

- 28** クールに行こう

Markku Räsänen

JAPANESE AUTHOR

- 30** 従来の常識を覆す、新たな高温超伝導
物質の可能性 — 高橋 博樹
長谷川聖治

HIGH SCHOOL SCIENTISTS

- 32** 単純な仕組みを使って
複雑な現象をとらえる、
振り子のカオス研究 (長崎県立長崎西高等学校)
西村 尚子

英語で NATURE

- 34** Lemurs handed advantage by smelly trick
うさんくさい手でライバルを欺くキツネザル

www.nature.com/naturedigest

© 2008 年 NPG Nature Asia-Pacific
掲載記事の無断転載を禁じます。

07

D. PARKINS

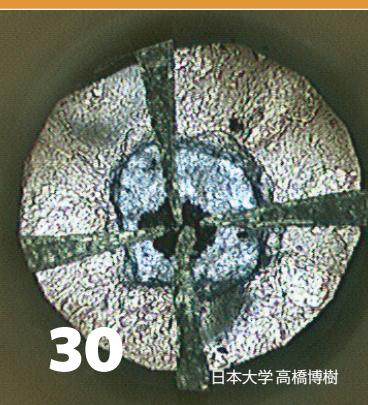


14



20

安友康博



30

日本大学高橋博樹



ナメクジウオのゲノム解読：脊索動物の最終共通祖先がもつ遺伝的性質への手がかり

THE AMPHOXUS GENOME: The key to the genetics of the last common chordate ancestor

原始的な脊索動物のモデルとして長年にわたって生物学研究に使われてきた、ナメクジウオのゲノム概要配列が発表された。頭索動物のナメクジウオは線虫に似た小形の生き物で、通常は海底の砂に潜っている。ナメクジウオ *Branchiostoma floridae* のゲノムの比較解析によって、現代のナメクジウオと脊椎動物は分岐してから5億年以上にわたって別々に進化してきたにもかかわらず、そのゲノム中には祖先となる脊索動物の連鎖群が17個保存されていることが明らかになった。このことから、脊索動物の最も新しい共通祖先の17本の染色体を、実際に再構築することが可能になった。この再構築によって、有頸脊椎動物系列の進化の間に、2回の全ゲノム重複が起こっていたことが明らかになった。また尾索動物、頭索動物、脊椎動物という、脊索動物の3つのグループ間の不明確だった関係もはっきりしてきた。表紙は、フロリダ州アパラチー湾で採集された4尾のナメクジウオ（成体）。頭部が上で背部が右になるように置かれており、黄色の丸い粒は生殖腺である。

[Article p.1064, N&V p.999 参照](#)

医学：白血病幹細胞

Cancer-initiating cells

白血病を発症・進行させるのは、白血病細胞の集団の中でも白血病幹細胞（LIC）とよばれる少数の細胞であることを示唆する証拠が次々と報告されている。LICは化学療法に抵抗性を示し、患者で再発の原因となることがある。これらの細胞の根絶を非常にむずかしくしている要因に関して、1つの手がかりが意外な発見から得られた。PML（promyelocytic leukaemia protein）という腫瘍抑制因子が、造血幹細胞やLICを休止期（細胞が抗がん治療から守られる不活性な状態）に維持する働きをしていることがわかったのである。慢性骨髄性白血病のマウスモデルや、患者由来の細胞での実験から、亜ヒ酸（As₂O₃）のような、PMLを標的として分解する薬剤は、LICをうまく破壊して抗がん治療の効果を高めることができるのである。

[Article p.1072 参照](#)

医工学：「思いどおり」に動く装具

Prosthetic advance

これまでの脳・機械インターフェースは、コンピューター画面上のカーソルを動かすのに使われた例がほとんどだった。今回、マカクザルを使った実験で、多関節の人工装具を脳の活動信号でリアルタイムに制御できることができが実証された。サルは自分で餌をとる課題で、運動皮質の活動を使って従来よりもずっと巧妙に制御してヒト型の義手を操った。この成果は将来、実用的な神経制御型人工装具を開発するうえで重要なものとなるだろう。

[Letter p.1098, N&V p.994 参照](#)

細胞は、エフェクターヘルパーT細胞の3番目のグループで、徹底的な研究が行われている。T_H17細胞は、インターロイキン17を產生し、病原体に対する防御を協調させ、組織炎症を仲介する。Bettelliたちは、この急速に進展しつつある分野について、炎症促進性のT_H17細胞と抑制性のT_{reg}細胞の間のバランスが、炎症性疾患や自己免疫疾患で果たす役割が明らかになってきたことを中心に概説している。 [Review Article p.1051 参照](#)

植物幹細胞：植物幹細胞のサイトカイン

Cytokinin in plant stem cells

植物の培養組織からの茎や根の再生に、植物ホルモンであるオーキシンとサイトカインとの相互作用が不可欠であることは、50年前から知られている。しかし、その基盤となる分子機構は明らかにされていなかった。その後、オーキシンは、胚形成時に確立される植物幹細胞プールからの根幹細胞の指定に必要であることがわかった。今回、B MüllerとJ Sheenは、サイトカインが胚形成初期に発現すること、また、オーキシンシグナル伝達経路とサイトカインシグナル伝達経路の相互作用が最初の根の幹細胞ニッチの指定に不可欠であることを明らかにしている。

[Letter p.1094 参照](#)

宇宙：土星のもう1つのオーロラ

Saturn's other aurora

土星のオーロラ発光に関する新たな研究によって、メイン・オーロラオーバルの4分の1の明るさをもつセカンダリー・オーロラオーバルが発見された。メイン・オーバルは10年以上前、ハッブル宇宙望遠鏡の画像で初めて見つかり、以後にその形態は詳細にわたって決定されているが、起源についてはいまだに議論が続いている。起源に関する理論の1つでは、土星のオーロラは、地球でみられるような主に太陽風との相互作用によって形成されるものと、木星でみられるようなプラズマ流との相互作用で形成されるものが組み合わさってできていると考えられている。しかし、土星で見つかったセカンダリー・オーバルの性質から、これは弱いだけで木星のメイン・オーバルと同様のものであり、木星の火山衛星イオのような大規模なイオン供給源がないために、比較的薄暗いことがわかった。土星でも木星でも、オーロラ形成の背後にある過程は非常によく似ていて、規模が違うせいで違つて見えるだけのようだ。

[Letter p.1083 参照](#)



NASA/JPL/STScI

工学：カラー化に近づくMRI

MRI in colour

磁気共鳴画像法（MRI）は、医療診断や研究に広く利用されている。MRIの性能は、対象領域の明暗を強調する造影剤を用いることで改善される。今回、マイクロエレクトロニクス産業で使われている微細加工技術を用いて、色で違いを表す造影剤が開発された。この新しい系では、はっきりしたスペクトル特性をもたせるように加工した磁性微細構造体が使われている。粒子の形を慎重に制御することにより得られるスペクトル特性から特徴的な「色」が生じ、相互の識別が容易になる。

[Article p.1058, N&V p.993 参照](#)

宇宙：生まれは同じでも育ちは違う双子星

Growing apart

同じ質量、同じ組成をもって同時に生まれた星は、「一卵性双生児」の星として知られていて、物理的性質も同じだと予想される。しかし、オリオン星雲にある年齢100万年という若い連星系 Par 1802 では、系を構成する2つの星は、質量は同じだが、温度、光度、半径が異なっている。こうした予想外の相違から、双子星の一方の進化が数十万年程度遅れたと考えられる。連星系の各星について理論的に導出された年齢が一致するかどうかは、星の進化モデルの首尾一貫性についての検証に使われる。つまり、Par 1802で年齢が一致しなかったことは、このような検証には数十万年程度の精度限界があることを示唆している。

[Letter p.1079, Author page 参照](#)

免疫：バランスの維持

Balancing act

最近発見された17型ヘルパーT（T_H17）



宇宙で起こった大激変： 火星の二分性は衝突によって生じた？／トゥングースカで100年前に起こった空中大爆発／地球近傍天体による脅威は考えられるより少ない／月の最大のクレーターでの試料採取

COSMIC CATASTROPHES:

An impact origin for the Mars dichotomy / Tunguska a hundred years on / The reduced threat from near-Earth objects / Sampling the Moon's biggest crater

火星は、北半球と南半球に二分される。南半球の高地は火星の60パーセントを占め、クレーターが非常に多い一方で、北半球の低地ではクレーターは少なく、地質学的により若くて地殻ももっと薄い。この「両半球への二分」にうまく合う説明は、マントル対流説か巨大衝突説だ。しかし、これらの理論を選別できる証拠はほとんど得られていない。今週号の3編の論文では、巨大衝突モデルを支持する結果が報告されている。Marinovaたちは、二分性を形成する衝突の力学シミュレーションを示し、巨大衝突が実際に起こり得たことを実証している。可能性の高い衝突条件でのシミュレーション結果が表紙に示されている。この図は、衝突の約30分後の時点を示したもので、色は内部エネルギーを示している。Andrews-Hannaたちは、重力データと地形データを使って、タルシス火山地域下にある二分境界の地図を作製し、斜め方向からの巨大衝突が原因だとして矛盾しない楕円形の境界を見つけた。また、Nimmoたちは数値モーデリングにより、垂直方向からの衝突が起きて、適当な大きさの穴が地殻に掘られたとすれば、観測で見つかった地殻の破壊や北半球の低地の地殻形成が説明できることを示した。

[Letters pp.1212–1223, N&V p.1191 参照](#)

に合成することによって実証された。ジテルペノイドである(-)-cyanthiwigin Fは海洋天然物で、最初は海綿(*Myrmekioderma styx*)から単離された。二重触媒エンチオ選択的反応は、同じ分子骨格内の離れた場所にいくつかの立体中心を形成することによって、1回の操作で立体化学的に複雑な分子を構築できる反応である。cyanthiwigin Fの9ステップ合成のうち重要なのは、ラセミおよびメソ・ジアステロマーの複雑な混合物を、極めて良好な鏡像体過剰率で合成上有用な中間体へ変換するステップである。

[Letter p.1228 参照](#)

医学：備蓄する抗インフルエンザ薬の選び方

Antiviral stockpiles

H5N1型インフルエンザウイルスの一部の臨床分離株でみられるオセルタミビル(タミフル)耐性の分子基盤は、薬剤標的であるウイルス・ノイラミニダーゼの変異であることがわかった。だが、この変異ノイラミニダーゼは、広く使われているもう1種類のノイラミニダーゼ阻害剤、ザナミビル(リレンザ)に対しては感受性を保っている。このことから考えると、抗ウイルス薬を備蓄する公共保健機関は、実効性の高い薬剤併用療法を行うために選択肢を広げ、オセルタミビルに加えて他の抗ウイルス薬も供給できるように図るべきだろう。

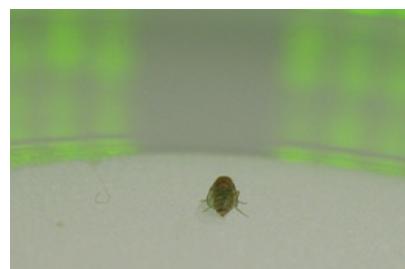
[Letter p.1258 参照](#)

脳：昆虫にも空間作業記憶がある

Drosophila in space

複雑な環境内での視覚による定位には、環境内の目標物の位置を、一時的に見えなくなる場合に備えて記憶しておくことが必要である。脊椎動物にはこの能力が備わっており、これは空間作業記憶とよばれて、少なくとも数秒間は持続する作業記憶の一種である。Neuserたちは今回、ショウジョウバエをバーチャルリアリティー環境内において、視覚目標を見せて歩かせるという実験を行い、昆虫にもこの能力があることを示した。目標に向かって歩いているショウジョウバエを方向転換させ、目標を隠しても、移動後数秒間は目標の位置を記憶していた。この過程に関与しているのは、GABA作動性の環ニューロンである。

[Letter p.1244, N&V p.1192, Author page 参照](#)



地球：ガッケル海嶺における深海底火山活動をみる

Close-up of the Gakkel ridge

北極盆地の超低速拡大ガッケル海嶺で、非常に精細な撮像探査が、最新の深海探査技術を用いて、初めて行われた。調査地域は、1999年に巨大噴火を起こしたと思われる場所を中心としている。得られた画像から、水深4000メートルにある軸谷が火砕堆積物によって広範囲に覆われているとわかった。このことは、こうした海嶺でのマグマ中揮発性成分の蓄積と放出に関する重大な問題を提起し、全球の中央海嶺火山帯の最深部でも大規模な火砕活動が起こりうることを示している。[Letter p.1236, Author page 参照](#)

遺伝：ゲノムは結構忙しい

The not-so-silent genome

これまで、ゲノム配列の多くはほとんどの時間、休止状態にあると考えられていた。今回、最近開発されたDNA塩基配列解析技術を使った分裂酵母での研究から、この酵母のゲノムのほとんどすべてが遺伝的に活動していることが示された。ゲノムの90パーセント以上はRNAへ転写され、その中には新たに発見された450個以上の転写物が含まれる。その多くは非コードRNAであり、制御にかかわっているか、あるいは未知の役割を担っているのだろう。[Letter p.1239, N&V p.1197 参照](#)

進化：魚類から四肢動物への移行

Fish-to-tetrapod transition

デボン紀後期(約3億6000万年前)の水中から陸上への脊椎動物の移行は、初期の四肢動物としてよく知られているイクチオステガ(Ichthyostega)とアカントステガ(Acanthostega)、および四肢動物に近い魚類であるティクタリク(Tiktaalik)によって示されている。これら以外の種も多数見つかっているが、それらの化石標本は断片的であるために知名度が低い。ラトビアで発見された、デボン紀後期のヴェンタステガ・クロニカ(Ventastega curonica)はその1つである。最近発見された化石標本の新たな分析から、ヴェンタステガはティクタリクとアカントステガの単純な中間体に似ており、頭蓋骨の形状は初期の四肢動物のものだが、その各部の比率は魚類に近いことが明らかになった。しかし、初期の四肢動物は形態が意外に多様であり、また、最初の多様化が起きたのは以前に考えられていたよりも早い年代であるため、魚類から四肢動物への移行はそれほど単純なものではないと考えられる。[Article p.1199 参照](#)

化学：二重触媒で複雑な分子を合成

Doubling up

二重触媒エンチオ選択的反応の有用性が、cyanthiwigin Fを保護基を用いて迅速



太陽圏から離れる：ボイジャー 2 号からの報告

LEAVING THE HELIOSPHERE: Voyager 2 reports back

ボイジャー 2 号は、2007 年 8 月 30 日、太陽風末端衝撃波面を通過し始めた。この領域は、太陽と銀河系内の他の領域との相互作用によって形成される境界で、超音速で吹き出す太陽風が周囲の星間物質に押しつけられるために急激に減速している。今週号の 5 編の論文では、ボイジャー 2 号から送信されてきたデータが紹介されている。この探査機は、ボイジャー 1 号に比べて 15 億キロメートルも太陽に近い位置で衝撃波面を通過しており、このことから太陽圏が非対称であることがわかった。プラズマ実験、低エネルギー粒子、宇宙線、磁場、プラズマ波検出器から得られた各データから、数日ではなく数時間のスケールで形を変化させる、複雑で活動的な衝撃波面が明らかになった。別の探査機が末端衝撃波面を通過するのは数十年後になるだろうが、現在では遠隔観測で空白部分を埋めることができ、STEREO 衛星 A、B の 2 機を用いた、ヘリオシース（太陽系の外縁）内の高エネルギー中性原子の新たな測定結果も報告されている。これは、ボイジャーの *in situ* 観測を補うものだ。

Letters pp.63-83, N&V p.38, News Feature p.24, Author page 参照

関連動画：www.nature.com/nature/videoarchive/voyager

医学：コカインが欲しい！

Craving for cocaine

コカイン使用をやめた後の依存症再発は、コカインに関係した手がかりがきっかけとなることが多いが、このような手がかりに対するニューロンの反応性が何によって生じるのかは、十分に解明されていない。コカイン探索行動は、側坐核のグルタミン酸作動性 AMPA 受容体の活性化に依存している。Conrad たちはラットを使って、薬物からの離脱中に AMPA 受容体の数が増え、しかもこの新しい受容体はコンダクタンスが高いことを明らかにした。追加されたこれらの受容体は、コカイン関連手がかりに対する側坐核ニューロンの反応性上昇に非常に重要なので、依存症再発を防ぐ新しい標的になるかもしれない。

Letter p.118, Author page 参照

遺伝：「幹細胞になる」のを阻む障壁

Barriers to 'stem-cellness'

完全に分化したヒト細胞（体細胞）を多能性幹細胞状態に確実にもっていくことができれば、再生医療における大きな進歩となるだろう。最近のヒト細胞とマウス細胞を使った研究で、このような初期化が可能なことは明らかになったが、iPS（人工多能性幹）細胞を得る現在の方法は効率が悪く、その仕組みもほとんど解明されていない。今回、マウスの纖維芽細胞と B リンパ球の初期化的ゲノム解析と、クロマチンの状態および DNA メチル化の状態の解析とを組み合わせた研究が行われ、大半の細胞の初期化を阻んでいる障壁が明らかになった。一部の細胞が部分的に初期化された状態で止まるのは転写因子の抑制が不十分なためらしく、

転写因子を一時的に RNA で阻害すると初期化が促され、DNA メチルトランスクレッセの阻害剤で処理すると初期化過程の効率が改善される。 Article p.49, N&V p.45 参照

化学：水素原子を強く引っ張る

Tugging the hydrogen atoms

単純でよく研究されている振動非弾性衝突の例は、重水素分子への水素原子の衝突である。従来は、その過程で D-D 結合が一時的に圧縮されて振動励起が起こり、衝突相手は後方に散乱されると考えられてきた。しかし意外なことに、これとは異なる非弾性散乱機構が今回、実験によって明らかになった。Greaves たちは、水素原子と重水素分子がかすり合う程度に衝突しただけの場合にも振動励起が起こることを観察し、これは、通過する水素原子との相互作用を通して D-D 結合の伸長によるものと考えた。衝突相手との間に引力が発生する場合には常に、この綱引き (tug-of-war) 機構が働くはずだ。 Letter p.88, N&V p.43 参照

生態：海洋酸性化の生態系への影響

Acid test for an ecosystem

英国王立協会が 2005 年に発表して注目を浴びた報告と、それに続く世界各地からの同様の報告によって、海洋の酸性化が生態系に与える影響についてわかっていることは比較的少ないことがはっきりした。これまでの研究のほとんどは、海洋生物群集のある側面だけを取り出して対象とする短期間の実験に限られてきた。Hall-Spencer たちはこれとは別のやり方をとり、ナボリ湾のイスキア島沖にある火山性ガス噴出孔地点からの CO₂ 放出に対する生物群集の反応を

※「今週号」とは当該号を示します。

追跡した。ここは、おそらく数世紀にわたって海洋の酸性化が広がっている海域である。通常の pH では石灰生物に富む典型的な岩石海岸群集が繁栄しているが、低い pH ではイシサンゴ類を欠き、ウニ類と藻類の個体数の少ない群集へ移行する。今回の結果は、このような場所が、実験やモデルから得られた海洋酸性化の影響の予測を検証するための自然の実験場となりうることを示している。 Letter p.96, N&V p.46 参照

生理：心臓の修復

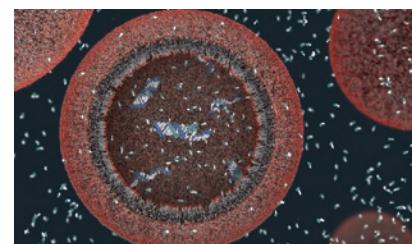
Cardiac repair

心臓前駆細胞の性質に関する知識は、心疾患について理解し、幹細胞を用いる再生医療を可能にするために重要である。今回、2つの研究グループが、マウスの心外膜原基から単離された新発見の心筋細胞系列について報告している。Cai たちは、転写因子 Tbx18 を発現する前駆細胞集団を同定し、Zhou たちは、転写因子 Wt1 によって特徴づけられる細胞を同定している。どちらのタイプの前駆細胞も多能性をもち、いくつかの異なる種類の心臓細胞を産生できることから、心臓修復に用いる候補細胞として有望だと思われる。 Letters pp.104, 109 参照

進化：極めて初期の細胞膜

Entry-level cell membranes

現在みられる生物の細胞膜を作っているリン脂質は、極性や電荷をもった分子にとって手ごわい障壁となっており、細胞が外的環境と分子を交換するためには複雑なチャネルやポンプを必要とする。生命進化の初期における原始的な細胞がどのようなものであったかを考える際には、このことが大きな問題となる。簡単な細胞は、輸送装置なしで、どうやって複雑な栄養素を取り込むことができたのだろうか。ハーバード大学の研究グループが作出したモデル「原始細胞 (protocell)」によって、この問題の答えと思われるものが得られた。脂肪酸やその誘導体は単純な両親媒性物質であり、二重層の膜に包まれた小胞を形成するので、初期の原始細胞の細胞膜成分として魅力的な候補である。そのような細胞膜をもった原始細胞は、ヌクレオチドのような荷電分子を取り込むことが可能で、また遺伝物質のような、より長いヌクレオチド多量体も細胞内に保持できることがわかった。 Letter p.122, N&V p.37 参照





エボラウイルスの構造：ヒト生存者由来の抗体に結合した三量体表面タンパク質

EBOLA VIRUS STRUCTURE: Trimeric surface protein bound to a human survivor antibody

エボラウイルスは最も恐れられている病原体の1つで、重篤な出血熱を引き起こし、ヒトの致死率は最高で90パーセントにもなる。1994年以来、ウイルスの大流行は4倍に増えている。靈長類で最初に行われたワクチンの臨床試験では期待のもてる結果が得られたが、ワクチンもウイルス曝露後の治療法もまだ確立されていない。このウイルスの病原性が非常に強い理由、また死亡例で免疫応答が非常に弱い原因も明らかになっていない。今回スクリプス研究所のグループが、生存患者から単離した中和抗体と結合したエボラウイルス糖タンパク質三量体の結晶構造を決定した。この構造から、ウイルスの3個のGP1付着サブユニット（表紙の分子表面モデルでは、青・紺・濃緑で表す）が杯型構造を形成し、これが3個のGP2融合サブユニット（白色部分）によって支えられていて、受容体結合部位と推定される部位は、この杯型の内側に隠れていることがわかった。受容体結合部位への接近は、グリカンキャップと突き出したムチン様ドメインによって制限されている。抗体（黄色で示す）はGP1サブユニットとGP2サブユニットを架橋するが、この抗体は融合前の表面コンホメーションをとったGP2に特異性を示す。

[Article p.177, Author page参照](#)

宇宙：石ころから生まれた衛星

Satellite states

多くの小惑星や海王星以遠天体には衛星があり、<http://tinyurl.com/dweqf>に公表されているものは、150例以上に達する。こうした連星系のうち最も小さいものは、主小惑星帯の小惑星と地球近傍小惑星だが、これら2種類の小惑星を取り巻く環境は大きく異なっていて、連星系の形成を説明できる共通の機構を見いだすのはむずかしい。Walshたちは今回、この条件を満たすモデルを示した。主小惑星帯や地球近傍小惑星で衛星を伴うものについて観測された性質は、熱的なYORP効果を介して「がれきの集まり」である小惑星の自転速度がゆっくり増加するという過程を取り入れたシミュレーション結果と一致した。YORP効果は、不規則な形の小惑星からの輻射が、この小惑星に正味の力を及ぼすというものだ。小惑星の物質粒子が、エネルギーを散逸させる衝突過程を経る場合には、自転している小惑星の赤道から失われる質量は、衛星に降着する。

[Letter p.188, N&V p.173 参照](#)

宇宙：月に残る水の痕跡

Water traces in the Moon

月の極地の永久日陰にあるクレーターに氷が存在するかどうかはまだ論争中だが、その可能性が浮上してきている。しかし、月全体としては、遠い昔に月形成をもたらした壊滅的な加熱事象の際に、水を含む高揮発性成分のすべてが事実上散逸したと考

えられている。Saalたちは、最新の2次イオン質量分析技術を使い、月で最も未分化な玄武岩である月の火山ガラスに含まれる揮発性成分(CO_2 、 H_2O 、F、S、Cl)について、それらの含有量の精密な下限値を導いた。噴火前の含水量に対する最も良い推定値は、最小値が260ppmとして745ppmである。これは、月全体としては、水やほかの高揮発性成分が完全には枯渇していないことを意味している。

[Letter p.192, N&V p.170 参照](#)

医学：IRF4に依存する骨髄腫

IRF4-dependent myelomas

骨髄腫細胞株の増殖関連遺伝子は薬の標的となると考えられる。そうした遺伝子がRNA干渉によって探索された結果、正常細胞ではリンパ球活性化と形質細胞の分化に必要とされる転写因子IRF4が、多発性骨髄腫のマスター調節因子であることがわかった。意外にも、骨髄腫細胞は、ほとんどでIRF4遺伝子座の変異、転座、もしくは増幅が起こっていないにもかかわらず、完全にIRF4に依存している。IRF4は、正常形質細胞もしくは活性化B細胞とは異なり、がん細胞ではMYCがん遺伝子を含む遺伝子ネットワークを制御している。骨髄腫のIRF4依存性は、正常細胞では増殖や生存に使われる細胞タンパク質にがん細胞が依存するという、「非がん遺伝子依存」の例である。

[Letter p.226, N&V p.172 参照](#)

構造生物学：HIV-1粒子の組み立て過程の動画

HIV-1 assembly, the movie

生細胞内で1個のウイルス粒子が組み立てられる過程が、初めて直接的に観察された。全反射照明蛍光顕微鏡と、HIV-1の主要な構造成分であるGagに蛍光タグ質標識を付けた融合タンパク質を発現する、生きているHeLa細胞を使い、個々のウイルス粒子がリアルタイムで観察された。今回得られた動画は、HIV-1粒子の組み立てが細胞内のどこで行われているかという論争にけりをつけるものだ。ウイルス粒子は1個ずつ別々に細胞膜上に出現し、組み立てには5~6分を要する。

[Letter p.236 参照](#)

心理：多様性が生む協力行動

Good works

人間は互いに協力し合うことが多いが、公共の利益を無視しようという誘惑は共同的な協力行動に打ち勝つ傾向があり、これがいわゆる「共有地の悲劇」を招く。既存の多くのモデルは個人間には差がないとして扱っており、多様性や集団構造を無視している。Santosたちは、不均質グラフによって導入した社会的多様性が、公共財ゲームにおいて協力行動の出現を促進させることを理論的に示している。

[Letter p.213 参照](#)

進化：カレイの両眼が片側に寄るまで

How flatfish see eye-to-eye

カレイ目魚類の左右非対称性は、発生中に生じる形態の特殊化の特別な例である。子魚の段階では左右対称であるが、頭骨の変形によって一方の眼が頭頂を越えて移動し、反対側にあるもう一方の眼の隣まで来る。この配置の進化的起源はわかっていない。M Friedmanは今回、始新世(4700万年前)の魚類である*Amphistium*の化石を再検討し、また、知られているかぎりでは、最も原始的なカレイ目魚類となる新属を報告している。これらの魚類では、成魚であっても移動するほうの眼が背側正中線を越えることはない。これは、化石記録に残る移行型を明確に示す例であり、カレイ目魚類の特殊化したボディープランの進化が漸進的な過程であったことを裏づけている。

[Letter p.209, N&V p.169 参照](#)





原子を画像化：「見えない」グラフェンによって 1 個 1 個の炭素原子や水素原子が電子顕微鏡で見えるようになる IMAGING ATOMS: 'Invisible' graphene brings electron microscopy to single carbons and hydrogens

走査トンネル顕微鏡は、固体表面のようすを原子スケールで画像化することを可能にした。しかし、走査トンネル顕微鏡は、サンプルの導電性、清浄度、データ取得速度の点で限界がある。一方、それより古い技術である透過電子顕微鏡法（TEM）は、個々の重原子を画像化できるまでに発展したが、軽原子については、コントラストが低いため画像化が困難であった。ここで、グラフェンが登場する。グラフェンは、高密度 2 次元ハニカム格子状に炭素原子が充填された厚さ 1 原子分の炭素シートである。Meyer たちは、グラフェン上に吸着した小さい炭素原子はもとより、水素原子までもが標準的な TEM 技術で画像化できることを示している。極薄のグラフェンは見えないか、あるいはグラフェン格子が高分解能で解像されたとしても画像信号への寄与分を容易に除去できるため、理想的な支持体となる。この手法で、グラフェン自体のみならず生体分子も原子分解能で観察可能となる。

[Letter p.319, N&V p.283, Author page 参照](#)

の報酬が通常引き起こすような思考や感情が生まれる。こうした「条件性強化刺激」は、身近な会社のロゴから薬物に関連する手がかりまで、さまざまである。しかし、これらがどのように働くのか、その機構はまだよくわかっていない。Burke たちは、特定の結果を生み出す手がかりと、一般的な刺激・情動表現を生み出す手がかりとを区別するような実験で、ラットの条件性強化について分析を行った。ラットはどちらの手がかりにも応答し、特定の結果を生み出す手がかりを用いた条件強化には、適応的な意思決定に重要とされる脳の一部、すなわち眼窩前頭皮質が重要だが、より一般的な幸福感を引き起こすような手がかりでの条件性強化にはこれが重要でないことがわかった。この 2 種類の手がかりへの応答にみられる不均衡は、薬物依存や摂食障害といった、手がかりへの応答が望ましい結果と反対のものになりかねない神経精神障害に特徴的である。この研究は、こうした不均衡も治療によって克服できる可能性を示唆している。

[Letter p.340, Author page 参照](#)

細胞：細胞周期では正のフィードバックが歩調を合わせている Take the positives

細胞周期では、個々の細胞の大きさと形が一定に保たれるように、細胞の成長と分裂とが連結されている。これには膨大な数の遺伝子とタンパク質がかかわっており、それらが歩調を合わせて働くには、精巧な仕組みが必要になる。出芽酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*) の細胞周期の異なる段階に着目した 2 つの研究チームが、どちらの段階でも正のフィードバック機構によって決まった道筋どおりに事態が進行していることを明らかにした。Skotheim たちは、細胞周期の G1 期の「スタート」とよばれるチェックポイントについて調べた。細胞はこの時点で、分裂を開始し、後戻りができない。単一細胞の分析により、スタートが正のフィードバックに依存したスイッチとして働き、細胞周期にかかる多数の遺伝子群の一斉転写と娘細胞の出芽とを協調させることができた。Holt たちは、有糸分裂後期の開始に注目した。この時点で、染色体対が一斉に分離するが、姉妹染色分体間の合着を解離させるのはセパラーゼで、この酵素はセキュリンによって抑制されている。セキュリンのユビキチン化と分解を調節する正のフィードバックループによって、後期での突然の切り替えが起こるのである。

[Article p.291, Letter p.353, N&V p.288 参照](#)

細胞：姉妹染色分体を一緒にする

Sister chromatids together

有糸分裂の際には、各染色体の 2 個のコピー（姉妹染色分体とよばれる）は、コヒーリンというタンパク質複合体によってまと

められている。コヒーリンの 3 個のサブユニットは環を作るよう集まっており、姉妹染色分体はこのコヒーリンの環に取り囲まれることで 1 つにまとめられていると考えられてきた。Haering たちは、この仮説を裏づけるこれまで最も直接的な証拠を示している。コヒーリンの環の 3 個のサブユニットの接触面間を共有結合で架橋すると、姉妹染色分体の DNA を環状のコヒーリン分子の内部に囲い込むことができ、この構造がタンパク質変性処理に抵抗性を示すことを明らかにしたのである。

[Article p.297 参照](#)

発生：椎骨の数が決まる仕組み

Making vertebrae count

椎骨の数、つまり繰り返し構造単位である体節の数は、脊椎動物の種によって大きく異なっている。例えば、カエルの椎骨の数は 10 個だが、多くのヘビでは 300 個を超える。しかし、動物種ごとの椎骨の数を制御しているのはどのようなもので、また、種間でこれほど大きな差があるのはどうしてなのだろうか。Gomez たちは今回、椎骨の数は、胚発生の初期における体を体節に分割する速度と発生の全体的速度との間のバランスに依存するという説を提唱している。彼らは、体節の少ないトカゲなどの脊椎動物に比べ、ヘビでは胚全体の発生よりも分節にかかる時計のほうが進み方がずっと速いことを示して、この説を立証している。

[Letter p.335, N&V p.282 参照](#)

心理：報酬について考える

Rewarding thoughts

ヒトやほかの動物では、ある報酬を確実に連想させる手がかり刺激が与えられると、そ

宇宙：強い銀河磁場の起源を探る

Galactic magnetism

現在の銀河にある磁場の起源については、遠い宇宙の磁気の検出がむずかしいため、ほとんどわかっていない。そこで、この磁場検出には間接的な観測方法が役立つ。強力な Mg II 吸収線を示すクエーサーについての研究結果は、このようなクエーサーが、強力な磁場の存在を示す大きなファラデー回転測度と関連していることを示している。Mg II 吸収線は、背景クエーサーからの偏波に、手前にある通常銀河が照らされる場合にみられるハローの特徴である。これらの観測結果は、宇宙の年齢が現在の 3 分の 1 だった時代に、完全な通常銀河が現在と同程度の強さの磁場をもっていたことを示唆している。

[Letter p.302 参照](#)

生態：樹木が窒素固定を行う条件

When forests fix nitrogen

温帯林や熱帯林での窒素固定は、海洋環境とは異なり、需要と供給の法則に従わないらしい。大気中の窒素を固定する細菌と共生する樹木は、土壤中に窒素分が少ない温帯の成熟林よりも、窒素が豊富な熱帯のほうが多い。この見かけ上の矛盾の説明として考えられるのは、温度とリン量という 2 つの因子をさらに取り込んだモデルである。リン酸が欠乏した土壤では、窒素固定植物は、リン酸獲得能が増強されるという優位性があると考えられる。また、高緯度地方では、窒素固定が温度によって制限されている可能性がある。

[Letter p.327 参照](#)

The evolution of music

音楽の進化

Nature Vol.453 (287-288) / 15 May 2008

音楽を生み出したり聴いたりしたいというヒトの衝動の起源は、どこにあるのか？ Josh McDermott が探る。

ヒトはなぜ、飲み食いやセックス、会話などをしたい気持ちに駆られるのか。これらの衝動は、適応的機能の観点から理解できるものと一般に考えられている。しかし、音楽をやりたいという、ヒトという種全体に広くみられる衝動は、そんなに簡単には説明がつかない。音楽は、チャールズ・ダーウィンをもってして、うまく説明できないといわしめたヒト行動の1つである。ダーウィンは著書の『The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex』(邦題『人間の進化と性淘汰』)の中で、「音楽を楽しむことにも音楽を作り出す能力にしても、ヒトが生きていくためにはほとんど役に立たないものであり……音楽はヒトが授かった中で最も不可思議な能力の1つというべきである」と述べている。

現在に至るまで音楽の起源については謎に包まれたままだが、この問題に関する憶測には事欠かない。例えば、音楽は単に、ほかの機能のために進化した形質の副次的作用にすぎないとする見方がある。つまり、我々ヒトの知覚能力や認知能力が、たまたま音楽的な刺激に喜びを見いだし、関心をもつようなシステムを生み出したのではないか、というのだ。この説はおそらく「帰無仮説(null hypothesis)」、つまり議論のたたき台というべきもので、なるほどもっともらしく思われる。音楽認知の基盤機構は、もっと用途の広い聴覚機構から派生したもので、また、音楽にみられる統語論的な（文法的な）諸要素は、言語から流用されたものである可能性がある。また、音楽が情動に及ぼす作用は、ヒトの発話や動物の发声といった、より生物学的関連性の高い「音」に、音楽が音響的に似通っているために生じるのかもしれない。

なぜなぜ物語

そのほか、音楽は関連する生物学的機能に伴う適応の

1つだとする意見もある。また一部には（ダーウィンも含む）、音楽は性選択の産物だと主張する人々もいる。それ以外にも、音楽は戦争や宗教といった集団活動において社会的な結束力を高めたという説や、音楽は進化の過程で言語よりも先に現れたとする説、音楽の進化は赤ん坊をあやす効果によって推進されたとする説などがある。

こうした議論は、「ゾウの鼻はなぜ長い」などの「なぜなぜ」物語のようになるおそれがある。諸説を検証したり絞り込んだりするためのデータが、ほとんど得られていないからだ。化石記録では手がかりに乏しいし、ヒト以外の動物種で適応についての疑問を解く際に行われる、適応度へ及ぼす影響を検証するために形質の1つを除去するなどの実験手法は、多くが非現実的、もしくは非倫理的である。そのうえ、音楽の形質がたとえ現時点での適応度に対して何らかの作用を及ぼしている、あるいは及ぼしていないとわかったとしても、はたしてそこには本当に関連性があるのかどうか疑わしい。なぜなら、現在の音楽の機能は、進化した当時に働いていた機能とは大きく異なってしまっている可能性があるからだ。しかし、データがない段階で適応的機能に関してあれこれ推測するのが時期尚早であると同時に、音楽の起源は到底うかがい知れないと結論づけてしまうのも時期尚早である。

前に進むには、もっと穏当な2つの目標をめざすことだ。実験による研究は、遺伝的基盤をもつ音楽形質を突き止める一助となるし、また、それらの音楽形質がほかの認知能力と共有されているものなのかどうかを検証することもできる。この2つの研究手法をとれば、一部の適応万能論的な説を細かく検証しなくとも、音楽の進化に関する理論を絞り込むことが可能だ。進化の過程で選

ESSAY



択を受けてきた音楽関連の行動には、いずれも遺伝的基盤があるはずで、音楽のそうした側面の多くはまだ明らかになっていない。さらには、音楽へ関与することで選択された形質は、音楽には特異的に機能するがほかの領域では機能しないものと仮定した研究もありうる。もし、音楽に関連する形質の一部、例えばピッチ（音の高さ）の変化を感じ取る能力が、明確な適応的機能をもつ音声イントネーションの感知などの能力と機能的に重なることが明らかになれば、その形質の音楽に果たす役割は偶然に生じたものと考えていいだろう。こうした確実な単独例はないが、音楽形質の非特異性が何例か実証されていけば、適応万能論はあまり説得力がなくなるだろう。

文化を越えて

知られるすべての文化に音楽が存在しているということは、音楽には何らかの遺伝的基盤があることを意味している。しかし、音楽は文化ごとに大きく異なっており、音楽行動の多くの側面は、遺伝による制約は弱くしか受けていないようである。例えば、ヒトが音と音の間隔（音程）を聞き取る能力は、生物学的にみると聴覚系の「ハーデウエア」に根差しているが、特定の音階や和音に対する感情的な反応は、特定の文化の中で過ごすことで身につくとみられる。遺伝子と環境の相互作用は複雑であり、これらの関与を解明することは容易ではないが、音楽の比較文化論研究や、音楽の発達に関する研究の進展に、多少の希望を見いだすことができる。

音楽に関連する興味深いいくつかの形質は、音楽にまだほとんど触れたことのない赤ん坊にもみられることか

ら、先天的な（遺伝的な）制約の存在が考えられる。あるメロディーの音を並べ替えると赤ん坊は気づくが、メロディーのすべての音を同じ音程だけ移行させた場合には気づかない。つまり、赤ん坊も大人と同じように、音どうしの関係性、つまり移調しただけで関係性は保存されているのか、それとも、並び替えによって変化しているのかを敏感に聞き取ることができるわけだ。赤ん坊は、ほかのさまざまな刺激に比べて音楽に心を奪われる傾向もみられる。すべての音楽が赤ん坊にとって同等というわけではなく、大人があまり心地よくないと感じる不協和音（例えば短二度）のような音の組み合わせよりも、大人が心地よいと感じる協和音（例えば完全五度）のような音の組み合わせを好む。赤ん坊は、音楽の拍子を聴き取ることもできるらしく、リズムが行進曲からワルツへ変わると反応する。

世界共通の魅力

音楽は文化によってかなりの多様性があるにもかかわらず、世界各地で同じようにみられる特徴もある。これも、遺伝的に制約を受けている機構を知る手がかりになる。子守歌は数少ない世界共通の音楽の1つと考えられ、ほとんどすべての文化には赤ん坊に歌って聞かせる音楽がある。子守歌はだいたいが似たパターンで、総じてゆったりと遅めで繰り返しが多く、メロディーの音が下降していく特徴がみられる。ほかにも、文化を越えて、完全にではないにしても共通する特徴がいくつかある。例えば、音楽に合わせて踊る傾向や、音楽の拍子、そして、特定の音を他の音よりも構造的に際立たせるピッチの階層的構造化などである。

遺伝する可能性のあるこれらの形質のどれもが、音楽に特異的に進化してきたものと考えてよいのだろうか。音楽以外の領域との機能的重複を調べることで、それを解明する糸口が得られる。その対象として最もよく候補に上げられるのが、言語である。音楽も言語も、個々の要素（音楽では音、言語では音声を構成する音素）を一定の規則で組み合わせて、複雑な構造を作り上げる。音楽と言語の類似性が表面的なものだけではないことを示す証拠は次々と示されている。神経画像化研究からは、言語を使っているときと音楽活動をしているときの脳領域には、頻繁に重なり合いがみられることがわかっている。また、最近の研究で、言語の構文を担う脳領域だと考えられているブローカ野が、楽曲中に不適切な和音が聴かれた場合にも活性化されることが明らかになっている。これはつまり、ブローカ野が音楽の「文法」にもかかわっている可能性があるということだ。行動学研究からは、音楽の理解と言語の理解は互いに干渉し合う可能

性があることも示唆されている。

また、その多くは未検証ではあるものの、乳児が音楽に強く興味を抱くのは、生物学的に関連した発話などのシグナルに音楽が似ているためだと考えられている。この類似性を実験的に操作できれば、音楽特有の作用が実際にあるのかどうかを解明するのに役立つかもしれない。

動物と音楽

音楽形質の機能的特異性を見極めるには、動物における音楽の認知研究が役に立つ。ヒト以外の動物には音楽がほとんどみられない。一部の鳥類やクジラ類などには「歌う」ものもいるが、類人猿も含めてほとんどの霊長類には歌を歌うものがおらず、歌うにしてもヒトの音楽には到底及ばない。したがって、動物でみられる音楽関連の形質、例えば、いくつかの音をほかの音よりも好むとか、1オクターブ離れた音を同じ音として聴き取る傾向があるとかいったものは、もっと広い用途をもつ機構の一端である可能性が高い。つまり、ヒトとヒト以外の動物との間に類似性があれば、その形質は音楽のために進化したものではないと考えられる。

動物における音楽認知研究のほとんどは、ヒトとヒト以外の動物の相同性についてではなく、違いを強調したものもある。例えば、動物はヒトの大人や赤ん坊と違って、メロディー全体のピッチを高めに移行させたり低めに移行させたりすると、メロディーをなかなか認識できない。

しかし比較解析データは一般に、種間の相違性よりも類似性について威力を發揮するものであり、これまでのところ音楽に関するものではあるものの、その証拠が得られている。しかし、多くの音楽的な能力については研究がまだ手つかずの状態にある。例えばリズムや拍子は、一部の動物が共有する汎用的な機構から生じたのではないかと考えられるが、研究対象としてこれまで無視されてきた。また、検証済みのリストに並ぶ動物種も少数である。特に気になるのが、ヒトに最も近縁な類人猿がこのリストに入っていないことだ。類人猿の聴覚系や認知能力は、ヒトに最も近いと考えられるというのに。

尽きせぬ謎

これまでわかっていることとして、音楽に関する能力のいくつかは、音楽にまだほとんど触れていない赤ん坊の頃に現れ、また、いくつかの側面は多様な音楽文化を越えて存在するようである。したがって、これらの形質はある程度遺伝するものと考えられる。そしてこれらの形質のどれもが、音楽に特異的なものではな



い可能性がある。もしそうなら、音楽は適応の一種だとする説への反論となるだろう。しかし、我々が知らないこともまだたくさんあり、今後の実験でいろいろと修正されていくだろう。

音楽は人類共通のものであり、あらゆる文化において重要な特徴の1つとなっているが、明確に何らかの機能を果たしているわけではない。そうした点で、音楽はヒトに普遍的にみられるほかの行動と一線を画している。音楽には適応的な機能があるのではないかという憶測は、ダーウィンの時代からよくなされているが、その解明の兆しはほとんどみえない。実験によるアプローチはその代わりの道筋として期待できる。音楽の起源について、いざれ十分な説明ができるようになる保証はない。むしろ、現時点では説明できるとはほぼ考えられないのが実際のところだ。それでも、適切な実験を行えば、音楽行動の先天的要素や、音楽に特有と思われる形質、そして音楽に特有ではない要素の起源などについて、多くのことが明らかになるはずである。これらすべてによって、ヒトの心を揺さぶる音楽なるものの理解が、必ずや進むことだろう。

Josh McDermottは、米国ミネソタ大学心理学部の博士研究員として聴覚および音楽認知を研究している。

トランスレーショナル・リサーチのすすめ

To thwart disease, apply now

Nature Vol.453 (823) / 12 June 2008

近年、生物医学研究の世界に、トランスレーショナル・リサーチという重要な概念が加わった。政策立案者やリーダー研究者は、基礎研究の発見を臨床での応用に結びつけるためのインフラを整備していくなければならない。

今日の分子生物学は、その成功ゆえの苦境に立たされている。当初は、遺伝子1個、タンパク質1個、分子1個を調べていたのが、極めて短期間のうちに、すべての遺伝子、すべてのタンパク質、すべての分子を一度に調べられるようになってしまった。今や、あらゆる種類の「オーミクス」が誕生している。これらの研究データの生成と探査は、おそらく骨の折れる作業となっている。

分子生物学には、我々の健康問題を改善してくれる新しい治療法や診断法をもたらすことが期待されているが、実際には、そのような成果はなかなか出てこない。こうした現状を問題視する研究者や資金提供機関は、トランスレーショナル・リサーチによる問題解決をめざしている。トランスレーショナル・リサーチは、生物医学研究が生み出す膨大な知的資源を、人類に利益をもたらす実用的な資源へと転化するための戦略のことである。*Nature*はこの活動を大いに奨励するものであり、2008年6月12日号でもいくつかの記事で取り上げている(同号p.839参照)。

しかし、トランスレーショナル・リサーチを成功させるためには、新たな専門家やインフラ、動機づけが必要であるのは明らかだ。これはおそらく、トランスレーションに適した発見をした基礎科学者の観点から説明するのがいちばんよいだろう。基礎科学者は、他者からの力添えがほとんどなくとも、トランスレーションを実現したいとする意欲をもち、どうにかして運と技能も手にするはずだと考える人は多いだろうが、それは間違っている。現実には、このような挑戦は失敗

に終わることが多い。数少ない成功者の口からは、体制に足を引っ張られながらも(「体制のおかげで」ではない)、自らの発見を応用に結びつけることができたという言葉がよく聞かれる。

チームワーク

それでは、トランスレーションのための専門家チームが研究所の中にあって、有望そうな発見をした基礎科学者が、このチームに速やかに加われるような体制になっていたとしたらどうだろう? チームには、医学や薬学、毒物学、知的所有権、製造、臨床試験デザイン、調製など、臨床研究にかかわるあらゆる分野の専門家がそろっている。基礎研究者は、このチームに加わることで、自身の職域を越える部分の業務を担ってくれる人々から支援を受けることになる。

こうしたチームは、例えば、毒物試験に必要なインフラや、ヒトでの臨床試験に使う化合物を製造するための「一般的な製造規範」を満たす設備をすぐに利用することができる。チームの唯一の目的は、基礎科学者の発見ができるだけ多くの人々の役に立つようにすることにあり、承認を受けたときに最高の値段で売れるようになることではない。また、これは非常に重要なことだが、チームのメンバーの全員が、独自の研究をして論文を書いていた場合と同じだけの給与をもらい、昇進もできるようになっている。

この理想の世界では、トランスレーショナル・リサーチは、それにかかわる誰にとっても迷惑にも負担にもな

らない、歓迎すべき、納得できる仕事になる。そして、ときどき申請書類に書かれているよううわべだけの関心よりも、はるかに多くのものを受け取ることになる。

こうしたインフラや報酬制度を整備するには、献身と資金が必要である。例えば、この種のサービス（ただし、かなりの申請超過状態にある）を提供している米国立がん研究所の「治療開発への迅速アクセス (Rapid Access to Intervention Development; RAID)」プログラムでは、基礎科学者による発見を最初の臨床試験にこぎつけさせるまでのプロセスに 200 万～700 万ドル（約 2 億 1000 万～7 億 5000 万円）を支援する。臨床試験のコストはさらに高い。しかし、研究所長や政策立案者は、このコストに躊躇してはならない。より多くの基礎研究の成果が実用化され、より多くの疾患が治療もしくは予防されることから見込まれる利益に比べれば、安いものである。

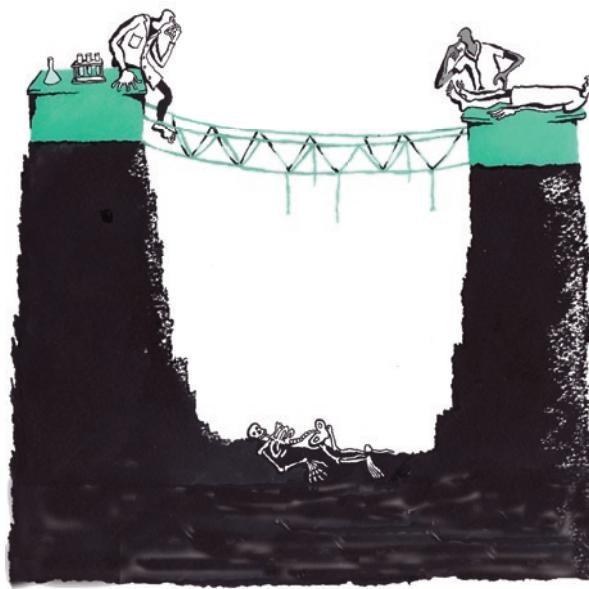
双向プロセス

研究者の中には、トランスレーションが重視されるようになると、基礎研究がなおざりにされ、応用科学一辺倒になってしまふと不満をいう人々もいる。しかし、この懸念にはほとんど根拠がない。実際には、過去 20～30 年の間に生物医学研究が純粋科学寄りに傾きすぎてしまつたことのほうが気がかりである。その流れを食い止めようとする試みの 1 つが、技術革新に関する Commentary の最初の記事で取り上げられている（同号 p.853 参照）。医学の進歩の中で最大級の成功を収めたものが多くが、思いがけない発見から生まれたというのは事実である。しかし、こうした発見がなされたときにそれを応用に結びつけるための体制を整備することにも、資金を投下するべきである。

しかし、よく考えてみれば、基礎研究と応用研究の区別など相対的なものである。トランスレーションは、基礎研究による知見を製造ラインに乗せて薬剤や診断法の形で取り出すという一方通行のプロセスではなく、全体としてもっと流動的である。ヒト組織を使った実験や臨床試験の結果から、基礎科学者が新たに興味深い問題に気づき、その問題が解決されれば、次回の臨床試験が改良されることになる（同号 p. 843 参照）。そうした理由から、トランスレーションの推進にあたっては、基礎研究と臨床の間を行き来する情報の流れの中で、落ち着いて仕事ができる人材の育成に力を注ぐべきなのである。

米国立衛生研究所 (NIH) は現在、Elias Zerhouni の指揮下で数億ドル（数百億円）を費やして全米各地にトランスレーショナル・リサーチセンターを設立中である（同号 p. 840 参照）。こうした取り組みが、資金を提供する機関とそれを受け取る研究機関との攻防を変えていくのかどうか、あるいは、大きな負担に相応した見返りを期待する納税者をなだめることになるのかどうかは、現段階では明らかでない。しかし、その目的の多くは正しく、どのように変わるにしても、個人が論文を発表することが医療現場の期待に応えることよりも優先されるような現状よりはましである。米国の次期大統領の政権下で Zerhouni の後任となる者は、こうした活動の継続もしくは拡大を優先していかなければならない。トランスレーショナル・リサーチは、有効性が立証されていない新しい分野であり、マニュアルもまだないため、計画の実施に伴い、毎回評価することも重要である。

研究者が自分の長いキャリアを振り返ったとき、最も誇らしく思うのはどんな業績だろうか？ 一部の研究者にとって、それは、がん細胞が無制限に増殖する仕組みなど、細胞に関する根本的な謎の答えを見いだしたことであるかもしれない。しかし、その仕組みを利用して、数千人の体内でがん細胞の増殖を食い止めることができたと知れば、もっと嬉しいのではないだろうか？ ■



B. Mellor

太平洋の島国を水没の危機から救うには「もはや手遅れ」

"Too late" to save Pacific island nation from submersion

9万7000人のキリバス国民は今世紀中にも故郷を失おうとしている、と同国大統領が国際社会に訴えた。

doi:10.1038/news.2008.880 / 6 June 2008

Katharine Sanderson

太平洋のサンゴ礁島の大統領は、気候変動に起因する海面上昇のために、自分たちは今世紀末までに故郷を捨てざるをえなくなるだろうという懸念を表明した。

水没の危機に瀕しているキリバス共和国のAnote Tong大統領は、国際社会は気候変動の責任をとって、同国の国民に新たな居住地を提供してほしいと訴えた。

32の環礁と1つのサンゴ礁島からなるキリバス共和国は、日付変更線のすぐ西に位置し、赤道にまたがっている。これらの島々の海拔は、最も高い土地でも2メートルに満たない。ほとんどの土地はこれよりもはるかに低く、平坦である。Tong大統領によると、海面上昇のために、キリバスに住む9万7000人の国民は、2100年までに移住先を見つけなければならなくなるという。

Tong大統領は、国連世界環境デーのホスト国であるニュージーランドで開かれた記者会見で、「もう戻りのできないところまで来てしまったのかもしれません」と語った。

「さよならのキス」

環境問題の専門家たちは皆、この島々の運命はほぼ定まったと考えている。気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第2作業部会の共同議長

であるMartin Parryは、「報告書に書かれているとおりです」という。「このままでいけば、キリバスはほぼ確実に、我々に『さよならのキス』をして海の中に沈んでいくでしょう」。

たとえ世界の温室効果ガスの排出量が減少に転じたとしても、気候が海面上昇に及ぼす影響はゆっくりとしか現れてこないため、キリバスの島々を救うのは不可能である、とParryはいう。「おそらく、海面は100年近く上昇し続けるでしょう」と彼はいう。「我々は、問題を先送りにし過ぎたのかもしれません」。

IPCCの2007年の報告書では、全世界の海面は今世紀中に30~50センチメートル上昇すると予想されている。実は、この数字は控えめに見積もられている。報告書が作成された当時は、南極大陸西部とグリーンランドの氷の融解に関して研究者たちの意見が一致していなかったため、海面上昇に大きな影響を及ぼす可能性があったにもかかわらず、この部分からの寄与は考慮に入れられなかつたのである。

2007年の報告書の執筆協力者であり、英国エдинバラ大学地球観測研究グループのリーダーであるAndy Shepherdは、「その後、いくつかの研究により、これらの領域で氷の融解が加速しつつあることが明らかになりました」という。

Parryの現在の計算によると、海面上昇を50センチメートルに抑えるためには、世界の温室効果ガスの排出量を直ちに半減させ、2050年までに全体の80パーセントを削減する必要があるという。それでもキリバスを救うことはできない。「こうした島々は、50センチメートルの海面上昇にも耐えられないのです」とParryはいう。浸水が起こるだけでなく、高潮が増加して、さらなる損害をもたらすのだ。

国際社会の役割

Tong大統領がニュージーランドを訪れたのは、キリバス国民の移住先を提供するための援助を首相に訴えるためだった。Parryもまた、気候変動によって住みかを追われる人々に対しては、国際社会が責任を負うべきであると考えている。「キリバスの例は、こうした大きな影響の中には回避できないものがあることを示しています。我々はもう当事者なのです」。国際社会は当事者として、何らかの方針を打ち出していくかなければならない、と彼はいう。しかし、そのような方針はまだ決まっていない。Parryは、米国中西部の干ばつなど、大きな先進国で気候変動に関連した災害が起らないかぎり、国際社会は動こうとしない可能性があると示唆する。

Tong大統領は、目に見て浸水してきた故郷の運命をあきらめている。村々は浸食されており、移転を迫られていると彼はいう。

「我々にできることは何もありません」とParryはいう。「キリバスの人々は、気候変動の影響をとともに受けているのです」。また、Shepherdは、「現時点で海拔100センチメートル未満の場所に住んでいる人々は、来世紀には移住を考えるのが賢明だと思います」といっている。



キリバスの美しい海岸線は海の中に沈んでいく運命にある、と専門家も認めている。

時を見失ったマウスたち

Eye-damaged mice lose sight of the time

特定の網膜細胞を除去されたマウスでは、体内時計の進み具合が変わってしまう。

doi:10.1038/news.2008.885 / 11 June 2008

Lucas Laursen

マウスの網膜にある特定の光感受性細胞を除去すると、物を見ることは問題なくできるものの、体内時計の微調整ができなくなることが明らかになった。この発見によって、哺乳類が 24 時間周期の概日リズムを維持するためには網膜による光の感知が不可欠であることを裏づける証拠が、また新たに得られたことになる。

この光感受性細胞はメラノプシン発現網膜神経節細胞 (mRGC) とよばれるもので、マウスでこの細胞がないと体内時計が 23.5 時間周期に短縮し、それがしだいに日常の活動に影響を及ぼしていく。ソーグ研究所（米国カリフォルニア州ラホヤ）の Satchidananda Panda 率いる研究チームはそのことを明らかにし、学術専門誌 *PLoS ONE* に報告した¹。

哺乳類はもともと、光がない状態では、およそ 23.5 時間周期で睡眠と覚醒を繰り返す。そのため、光を手がかりにして、外界の 24 時間周期のリズムに合わせる必要がある。mRGC は、脳の視覚野へ情報を送るほかの網膜細胞と違って、光の強さのみを感知する細胞である。この細胞は光色素であるメラノプシンを作り出しており、メラノプシンは、脳が瞳孔のサイズや何種類かのホルモンの量、毎日の睡眠を制御するのを手助けしている。

検証のかぎはマウス系統

Panda の研究チームは、mRGC にジフテリア毒素への感受性をもたせたマウス系統で調べた。ジフテリア毒素を投与すると血流中から mRGC へ達し、およそ 90 パーセントの mRGC が活動を停止したが、そのほかの網膜細胞は損なわれなかった。

この方法を用いるにあたって、Panda は、「ジフテリア毒素が血液網膜閥門をくぐり抜けるかどうか、確信が



もうこんな時間？ 網膜の一部を損傷したマウスは体内時計の微調整ができなくなる。

あったわけではありません。でも、ラッキーなことにうまくいきました」という。

毒素で mRGC を欠損させたマウスでは、真っ暗闇に置かれたマウスと同じように、体内時計が 23.5 時間周期に戻った。また、毒素投与後 2 週間で、マウスは瞳孔のサイズを調節することもできなくなった。その場合でもマウスは、クリフ（断崖）検査とよばれる視覚能力検査で道を進むことができた。この検査で、マウスは台の上から安全な着地面へ飛び移ることができ、残りの視覚系はまだ損なわれていないことがわかったのである。

Panda たちの得た結果は、変異マウスを用いた最近の研究結果²を追認するものだ。Nature に掲載されたこちらの研究では、遺伝学的手法によってマウスの mRGC が変性するようプログラミし、これらの細胞が体内時計の重要な構成要素の 1 つであることを明らかにした。

Nature 掲載論文の著者の 1 人である英国オックスフォード大学の Mark Hankins は、「今回用いた新しい手法によって、どの時期に望みの細胞に変化を起こすかを決めることができます」と語っている。

睡眠障害にも関係？

Panda の話によれば、研究の次のス

テップは、マウスの一生のもっと早い段階で mRGC を除去して、発育中に光情報が得られないことを補えるかどうかを調べることだという。Hankins は、「今回の手法を使って、さまざまな段階で mRGC 除去の影響を調べ、その影響がわかれれば、興味深い洞察が得られるでしょう」と話し、まだどちらの研究チームもそこまでいっていないと語った。

「非常に重要な問題は、睡眠障害をもつ人がこれらの細胞を欠損しているかどうかです」と Panda は付け加えた。

もしそうなら、mRGC は「極めて画期的な薬剤標的」になると彼はいう。特に今回は、化学物質がこれらの細胞へ入り込めることが明らかになった。「薬剤による暗闇」を作り出したり、睡眠障害のある患者で眼の光感知能力を回復させたりすることが、やがてできるようになるかもしれない、と Panda は語った。

この分野で睡眠療法を取り上げる研究はもっと多くなるのではないか、と Hankins は考えている。「mRGC における光シグナル伝達の仕組みが詳しくわかれれば、薬剤の標的をあぶり出すことができるかもしれません」。

ISTOCKPHOTO

1. Hatori, M. et al. *PLoS ONE* **3**, e2451 (2008).
2. Güler, A. D. et al. *Nature* **453**, 102-105 (2008).



TAMING THE SKY

天気を掌握する

Nature Vol. 453 (970-974) / 19 June 2008

雨を降り止ませ、雷をよび寄せ、天気を意のままに操ることなど、本当にできるのだろうか？かつて夢物語と嘲笑された気象制御の現状について、Jane Qiu と Daniel Cressey が報告する。

中国は、北京オリンピックが開幕する8月8日には万事が統制下にあることを望んでいる。もちろん天気も例外ではない。北京市気象局によると、その日の降水確率は47%である。大会の象徴となる収容人数9万1000人のメインスタジアム（鉄骨を組み上げた構造から「鳥の巣」とよばれている）には屋根がない。中国の気象学者たちは、開会式が雨で台無しにされないように、気象制御技術を用いることを計画している。

オリンピックに向けた北京市の計画は、中国の大規模な気象制御の取り組みの中でもひとわざ異彩を放っている。ほとんどの場合、気象制御の目的は雨を降らせないことではなく、水を渴望する地域に雨を降らせることがある。古代の中国人は、天気を司っているのは竜であると信じて、十分な雨量と豊作を祈願する丁重な儀式を執り行っていた。現



代の中国人は、天気を意のままに操る技術に目を向けています。それは、かつて毛澤東が主導した、「自然を手なずける」ための国をあげての取り組みの一環であるといえる。

中国の気象制御プログラムは世界最大規模である。気象制御プログラムのための予算は毎年 4 億元（約 62 億円）から 7 億元（約 110 億円）にもなり、3 万 2000 人のスタッフが、特殊な装備をもつ 35 機の飛行機と、7000 門の対空砲、5000 基のロケット発射装置を動かしている。中国気象局からの公式な発表によると、この国では 1999 年から 2006 年までに 2500 億トンの雨を降らせ、毎年 300 億トン以上の雨を作っているという。中国の人口は 13 億人であるが、これだけの雨量があれば、そのうちの 5 億人以上の需要を満たすことができる。同国は、さらに 2010 年

までに毎年 500 億トンの雨を作れるようになることを目標にしている。

しかし、国内外の研究者の多くは、中国気象局が主張する成功を裏づけるだけの証拠が集まっていないと考えている。蘭州の寒区旱区環境・工程研究所の大気科学者である Zhang Hong-fa は、「実は、中国はこの分野でかなり遅れをとっているのです」という。「偽りの達成感は、眞の発展の妨げになります」。

中国はまた、気象制御全般に対する積年の懐疑論にも直面している。気象制御を擁護する人々は、気象制御は、雨量を増やすだけでなく、霧を除去することもでき、雹を防いだり、上陸しそうなハリケーンの進路を変えることさえできると主張する（19 ページのコラム「天気予報なんて気にしない」を参照）。批判的な人々は、こうした主張の多くは絵空事であり、現在進められているプロジェクトの大半は信念だけに支えられているという。

気象制御を擁護する人々でさえ、中国の成功を疑っている。世界最大規模の気象制御会社であるウェザー・モディファイケーション社（米国ノースダコタ州ファーゴ）の気象学理事である Bruce Boe は、「中国人々は、成功の確証が十分にないことを約束しているのではないかと心配しています」と話す。「これは、クラウドシーディング（人工降雨のための雲への種まき）の揺籃期からの問題です」。

人類は、収穫期に雨乞いの踊りをしていた大昔から、天気に影響を及ぼそうと努めてきた。しかし、科学的な気象制御が始まったのは、1946 年にニューヨーク州北部のゼネラル・エレクトリック研究所で行われた研究のことだった。ここで、Vincent Schaefer と Irving Langmuir が、種として雲にドライアイス（固体の二酸化炭素）を散布することで核を作らせ、その周りに氷を成長させられることを発見した。さらに Bernard Vonnegut（小説家

Kurt Vonnegut の兄）が、ヨウ化銀もこの目的に利用できることを発見し、今日では、こちらの方法が世界中で採用されている。

雨を降らせる技術

今日、オーストラリアからイングランドまでのさまざまな国が何らかの形でクラウドシーディングを行っている。米国でも、干ばつが起こりやすい西部を中心に、10 前後の州で実施されている。クラウドシーディングの効果についての評価にはばらつきがあるが、一般には、ある種の雲へのシーディングにより、最大で 10% 程度雨量を増加させられると言えている。例えば、カリフォルニア州はクラウドシーディングに毎年約 300 万ドル（約 3 億 2000 万円）を費やしているが、何もしない場合の年間降水量の 4% にあたる 3 億 7000 万～4 億 9000 万立方メートルの雨量を増やしていると主張している。

シーディングは、雲の種類に応じて 2 種類の方法のうち、どちらかを採用するのが一般的である。過冷却の状態にある雲（通常は高高度にある）の中では、核となる粒子の周りで水が凍って氷晶ができる。氷晶が重くなりすぎると、落下しながら溶けてゆき、雨または雪になる。高高度の空に核となる粒子がほとんどない場合には、核を追加するために、過冷却の状態にある雲へのシーディングを行う。この方法は、氷核生成シーディングとよばれる。氷核生成に用いる化学物質としてはヨウ化銀が一般的であるが、ドライアイスなどを用いることもできる。

これよりも温度が高い雲（通常は下高度にある）に対しては、吸湿性粒子を使ったシーディングが行われる。このアプローチでは、ナトリウム、リチウム、カリウム塩などの化学物質が用いられる。ポイントは、より大きな核を供給するか、小さな水滴を融合させることにより、落下できる大きさの水滴を作らせることがある。シーディングの効果を生じ

させるためには、水蒸気の量と水滴の大きさが重要になる。

クラウドシーディングの有効性には、使用する化学物質の種類のほかに、これらをいつ、どのようにして散布するかなど、多くの因子が影響してくる。どの雲をシーディングの標的とするかも重要である。雲の温度、厚み、対流のパターン、風がどのように流入し、流出するかを考慮して、標的を決定しなければならない。Boeによると、その基準は非常に厳しく、「ほとんどの雲は標的として不適格」であるという。

山地の雲がシーディングに適していることについては、多くの専門家が同意している。山地の雲は、気流が山に沿って押し上げられるときに発生する。ヘブライ大学（エルサレム）の大気科学者である Daniel Rosenfeld は、そのような雲は「短命で、比較的薄く、多くの水を含んでいます」という。ウェザーモディフィケーション社が米国最大規模のシーディングプロジェクトにおいてワイオミング州の山地の雲をターゲットにしているのは、そのためである。ワイオミング気象制御パイロットプロジェクトと命名されたこのプロジェクトの期間は 5 年、予算は 900 万ドル（約 9 億 7000 万円）である。

ワイオミング州のプロジェクトでは、1 機の飛行機と地上の遠隔操作ユニットを用いて、冬にクラウドシーディングを行う。これにより降雪量を増やして雪塊を確保し、雪塊が溶ける夏に水として利用しようというのである。2006 年から 2007 年にかけての冬に行われた最初の試みでは、地上からのシーディングのみが実施された。昨年は、飛行機と 25 基の地上施設が用いられた。米国立大気研究所（コロラド州ボルダー）の気象学者であり、このプログラムの評価を手伝っている Daniel Breed は、散布された物質が目標とする雲に入り、そこでより多くの氷核として出現したことを、「有望な結果」とよんでいる。

こうした挑戦は、気象制御への信用を損なうどころか、むしろ高めてくれていると彼は語る。「これまで多くの法外な主張がなされてきたことで、大気科学や気象制御はもちろんのこと、科学全般にも大きな迷惑が及んでいたのです」。

独自の取り組み

中国での研究のほとんどは、雨を降らせたり雹を阻止したりして農作物の被害を減らすことを目的としているが、霧を晴らしたり落雷を回避したりすることを目的とする研究もある¹。中国を構成す

る 34 の行政区の大半が独自の気象制御課をもつていて、2900 の地域の 3 分の 2 近くに独自のクラウドシーディング基地がある。

中国の人工降雨専門家の一部は、シーディング技術の有効性を評価するための対照実験に取り組んでいる。例えば、河北省気象局気象制御課の副課長である Shi Li-xin とその同僚は、地上の観測装置と人工衛星を組み合わせた間接的な測定のほかに、飛行機を使った直接的な測定も行って雲の性質を調べ、最適なシーディング条件を決定しようとしている。雲の厚み、過冷却の状態にある水の量、雲の中のシーディングに適した層などの因子を評価した後に、チームは 3 つの実験地域を選択した。1 つは広さ 3 万 6500 平方キロメートルの実験区であり、残りの 2 つは広さ 1 万 9800 平方キロメートルと 2 万平方キロメートルの対照区である。1990 年代の初頭に 21 回のシーディングを行って、雨量が 18% 増加したという結果が得られたが、サンプル数が少なすぎるため、統計学的に有意なものにはならなかった。

1975 年から 1986 年にかけて行われた初期の研究では、中国南東部の福建省の気象学者たちが、広さ 1 万 4000 平方キロメートルの 2 つの地域で無作為化シーディング実験を行った。実験日は 244 日に及び、シーディングを行った地域の降雨量は、行わなかつた地域よりも 20% 多かったという結果になった。

しかし、これらのクラウドシーディング実験の結果は、ピアレビューのある学術誌では発表されておらず、多くの疑問が残っている。Shi によれば、人工雨の生成に関する国家統計には、中央政府から省や村まで、あらゆるレベルの気象制御課からの報告が反映されている。報告の内容は、それぞれの気象制御課の評価と予算に直結するため、誇張した報告を提出する誘因はいくらでもある。

著作権等の理由により画像を掲載することができません。

中国気象局に近い人物（政治的影響を恐れる本人の希望により氏名は伏せる）によると、中国の多くの大気科学者や気象局職員が、そうした疑問を胸に秘めているという。「皆さん、クラウドシーディングの有効性が実証されるまで、その運用をやめればよいと思われるかもしれません」と彼はいう。「けれども、事態はそれほど単純ではないのです」。

中国科学院の一部門であり、北京に本拠地のある大気物理学研究所の研究者である Lu Da-ren は、「農民たちが、この技術を強く求めているのです」と話す。「これは、単なる科学的な問題ではないのです」。Lu は、気象制御の有効性をより厳密に確認する必要があることを認めながらも、これと並行して試行錯誤を重ねていくアプローチを否定してはならないと主張する。「この技術は、思ったほどの効果はないかもしれません。けれども、農民にしてみれば、何もないよりはましなのです」。

北京市気象局は、オリンピックに備えて、雨の降り方とその時期を変えることを目標にしている。彼らは、北京がオリンピック開催地に選ばれた後の 2002 年から、レーダー、人工衛星、気象観測気球を使って、北京市とこれに隣接する天津市と河北省の上空を通過する雲の構造、温度、水滴の大きさを精査している。

中国の人工降雨専門家は、雲が北京市に到達する前にすべての雨を降らせてしまうか、塩を使って小さい雲を消し、大きな雲ができるないようにすることを計画している。これに失敗した場合には、雲に過剰な核を散布して個々の水滴や氷晶を小さくし、地面に到達する前に消えるようにするつもりである。北京市気象局は、北京市、天津市、河北省の 100 か所以上に、大砲、ロケット発射装置、飛行機を配備している。

ここ数か月間、各地の気象局は野外での試験に力を入れている。北京市気象局は試験結果の詳細についての公表を拒んでいるが、開会式に雨を降らせ

ないことができるかどうかは、主として雲の性質と天気予報の精度によって決まると言主張し、「我々は、局地的で弱い天気のパターンについてはかなりよい結果を出しているが、広い地域を覆う大きくて厚い雲ができてしまった場合には、完全に雨を防ぐことはできない」という声明を発表している。

不完全な証拠

問題の一部は、クラウドシーディングが効果を生じる仕組みがほとんどわかっていないことにある。米国学術研究会議 (NRC) が 2003 年に発表した影響力ある報告書²は、「気象制御を目的とする働きかけの有効性についての説得力ある科学的証明は、まだ提出されていない」と断定している。これに対して気象制御協会は、NRC の委員たちの気象制御に関する経験や知識の不足を批判し、彼らがクラウドシーディングの科学的証明に求めている水準は厳しすぎて、「大気科学の分野で、この要請を満たす証明ができる問題はほとんどない」と反論している。

まず、雲の性質は場所によって大きく異なり、同じ場所でも時間とともに変化していく。また、一部の国々での資金不足も問題である。例えば米国では、気象制御のために中央政府から提供される資金は、1970 年代末に年間 2000 万ドル前後になったのをピークとして、現在では極めて少なくなっている。個々のプロジェクトに対する資金は、各州が提供しなければならない。コロラド州立大学（米国、フォートコリンズ）の大気物理学者である William Cotton は、「気象制御の科学研究に関しては、我々は 25 年近くも暗黒時代にいるのです」と述べる。「ですから、誰から定量的な結果を求められても、我々はそれを提出することができないです」。

プレトリアの南アフリカ気象局の研究部長であり、世界気象機関の気象制御専門家チームの議長でもある Deon Terblanche は、「天気予報と同じ問



どの雲にシーディングを行い、どのアプローチを用いるかは、その結果に大きな影響を及ぼす。

題があるのです」という。「特定の雲が 30 分後にどうなるかを予測することさえ、極めてむずかしいのです。雲になんらかの働きかけをしても、自然の状態にある雲がどうなるかを厳密に予測できないなら、働きかけによって効果が生じたことを証明するのは困難です」。とはいえ彼は、現在用いられている気象制御技術のいくつかは、統計的に有意と見なせるだけの大きな効果を生じていると指摘する。

モナッシュ大学（オーストラリア、ヴィクトリア州）の Michael Manton は、クラウドシーディングの効果を証明するのが困難な理由を 3 つ挙げる。それは、シーディングの規模とその効果が生じる規模とのミスマッチ、雨量の自然な変動とシーディングによる増加との関係、および評価の費用である。「私は、[NRC が報告書を発表した] 2003 年以降、状況はたいして変わっていないと思います」と彼はいう。「クラウドシーディングの技術は、世界の多くの地域で明示的または暗示的に信頼されているため、慎重に制御された条件下での検証が行われていないのです」。

さらに、大気汚染エアロゾルが雲の形成と降雨に及ぼす影響の大きさが認識されるようになってきている。一部の研究者は、エアロゾルのために暖かい雲の中で形成される水滴が小さくなり、雨量が減少する可能性があると考えている。また、エアロゾルが冷たい雲の中での水滴の形成や2つの雲システム間のダイナミクスに影響を及ぼす可能性もあると、メリーランド大学カレッジパーク校のZhanqing Liはいう。「エアロゾルは、クラウドシーディング研究というジグソーパズルのミッシングピースである可能性があります。不適切なシーディング条件下では、意図に反する効果を生じさせてしまう可能性があるのです」。

かつてクラウドシーディングの有効性を示す最も説得力ある証拠と考えられていたイスラエルの無作為化シーディング実験をめぐる論争が再燃したのも、このエアロゾルとの関係だった。1960年代と1970年代に6年間ずつ実施された2回の実験の結果は、シーディングにより雨量が12~15%増加したことを示唆していた。しかし、この結論を疑う人もいた。最近では、テル・アビブ大学のZev Levinが進めているエアロゾルを考慮に入れた研究により、高度に汚染された地域では、シーディングを行っても効果がなかったり、かえって雨を降りにくくしてしまう可能性さえあることが示されている。「これは、議論の始まりにすぎませんが、高度に汚染された地域での大規模なクラウドシーディングに警鐘を鳴らすものです」とLiは語る。もちろん、大気汚染エアロゾルが大量にある中国では、この懸念は極めて大きい。

イスラエルの水委員会は、数年にわたる大規模なクラウドシーディング実験を開始したところである。その予算は、毎年100万ドル(約1億1000万円)である。エルサレムのヘブライ大学とテル・アビブ大学の研究者は、これまでの実験から得られた知見に基づき、最



シーディングに用いるヨウ化銀などの物質は、軽飛行機を使って散布する。

新の技術を導入して、雲の性質を測定し、シーディング物質を追跡し、雨の形成におけるこれらの役割を評価する予定である。究極の目的は、この技術によりイスラエル北部のティベリウス湖(ガリラヤ湖としても知られる)の貯水量を増やすかどうかを確認することにある。

世界気象機関と国際測地学・地球物理学連合の委託による報告書には、エアロゾルが降雨と気候システムに及ぼす影響をもっと理解する必要があると述べられている。この報告書は7月中旬に発表されることになっている。報告書の編集長であるLevinは、「エアロゾルは、降雨に至る一連の反応と複雑なフィードバック機構に関与しています」と話す。「クラウドシーディングは、我々がほとんど理解していない複雑な過程を、いっそう複雑にしてしまいます」。報告書では、クラウドシーディングの基礎にある物理過程の十分な理解なしに統計ツールを使用することの限界も強調されている。

Rosenfeldは、中国のクラウドシーディングを本当の意味で前進させるためには、雲の性質の測定、数値モデルの構築、無作為化およびターゲティングさ

れたシーディング実験の実施などを組み合わせたアプローチをとるしかないと主張する。「これらのクラウドシーディング技術がないなら、中国人は当てずっぽうにシーディング物質を散布しているだけということになります」と彼は説明する。

しかし、広い地域で長期にわたって無作為化またはターゲティングされたシーディング実験を行うことは、適当な雲にシーディングを行う機会を逃すことを意味している。中国は現在、水不足に苦しんでおり、一部の中国人気象学者は、こうした機会を見送ることなど考えられないと主張する。「いい雲があるなら、クラウドシーディングを行わなければなりません」とShiはいう。「さもないと、農民は激怒するでしょう」。雨に対する農民たちの関心は非常に高く、上空を通過する雲にシーディングを行った村に自分たちの雨を「盗まれた」として、隣村を訴える村まであるほどなのである。

多くの研究者は、中国の気象制御計画が実践に偏っていることを心配しており、研究者と現場の責任者はもっと協力し合わなければならないと考えている。中国気象科学研究院に新設され

天気予報なんて気にしない



Benjamin Franklin により雷が自然に発生する電気の一種であることが発見されて以来、人々は、特定の場所に雷を落とす方法を見いだすために努力してきた。こうした試みには、雷が金属中を伝わりやすいという事実が利用されている。金属は電気抵抗が小さく、落雷を防止するための装置の開発や試験に役立っている。中国、ブラジル、米国などの研究者は、大地に接続した針金または針金とナイロンのハイブリッド繊維を通して雷を誘導するために、雷を伴う嵐が起きている空にロケットを打ち込んでいる。北京に本拠地のある大気物理学研究所の Qie Xiu-shu は、中国の大気科学コミュニティーでは雷の研究の第一人者として有名であり、その同僚は、彼女のアプローチが雷の物理過程に新たな光を投じたことを示している³。ま

た、嵐に強力なレーザー光線を照射して大気中の分子から電子を放出させ、こうした電子を導線として働くことができる。レーザーパルスを利用して雲の中で電気的活動を引き起こす試みも、ある程度は成功しているが、現時点では、レーザーの出力が弱すぎたり不連続であったりして、まだ落雷を誘導するには至っていない⁴。



雹

雲の中に散布されるヨウ化銀粒子は、雨を降らせるだけでなく、さまざまな被害をもたらす雹の粒を小さくすると考えられている。理論的には、雲の中でより多くの水滴が作られるようすれば、個々の水滴に集まる水の量が少くなり、雹にまで成長できる水滴の数を減らせるからである。気象制御実験が行われた地域のいくつかでは、農作物に損害を受

けた農民からの保険金請求が激減している。1997年にノースダコタ州で行われた研究では、雹を抑える技術が用いられた年には、雹による損害に対して農民に支払われる金額が大幅に減少していることがわかっている⁵。



ハリケーン

米国では、1962年から1983年にかけて、陸地に接近するハリケーンの勢力を弱めることを目標とするストームフェュアリー計画が実施されたが、不成功に終わった。このプロジェクトでは、ハリケーンの外側の雲にヨウ化銀を散布し、ハリケーンの目の壁雲を大きくすることで、全体の風速を下げることが期待されていた。近年では、エルサレムのヘブライ大学の大気科学者である Daniel Rosenfeld が、ハリケーンの縁で温かい雨を降らせることで、その勢

力を弱められる可能性を示唆している⁶。コロラド州立大学(米国、フォートコリンズ)の William Cotton らが行ったシミュレーションも、ハリケーンの中に塵などの粒子を投下することで、その勢力を弱められる場合があると示唆しているようである⁷。



霧

世界の数か所空港では、滑走路の霧を晴らして視界をよくするために、アイスシーディングを行っている。この技術の有効性は確認されているものの、凝固点以下まで冷えた、過冷却の状態にある霧でしかうまくいかないようである。ほかの気象制御技術とは異なり、霧を晴らす技術の効果は一目瞭然である。Rosenfeld は、「効果が出ているところでは霧に穴があくので、はっきりわかるのです」という。

D.C.&J.Q.

た気象制御センターの所長である Guo Xueliang は、センターは、こうした問題のいくつかに取り組んでいくことになるという。去年の12月に設立されたこのセンターには、最終的には約60人の研究者が集まることになっている。彼らは、数値モデル、研究室でのシミュレーション、野外実験などを利用して、雲の性質と降雨の原理を分析するつもりである。「我々は、クラウドシーディングの指針となる基礎研究の重要性はよくわかつており、複数の省で、科学的に厳密な比較対照野外実験を行う予定です」と Guo は話す。

中国の贅沢なプログラムは、より多

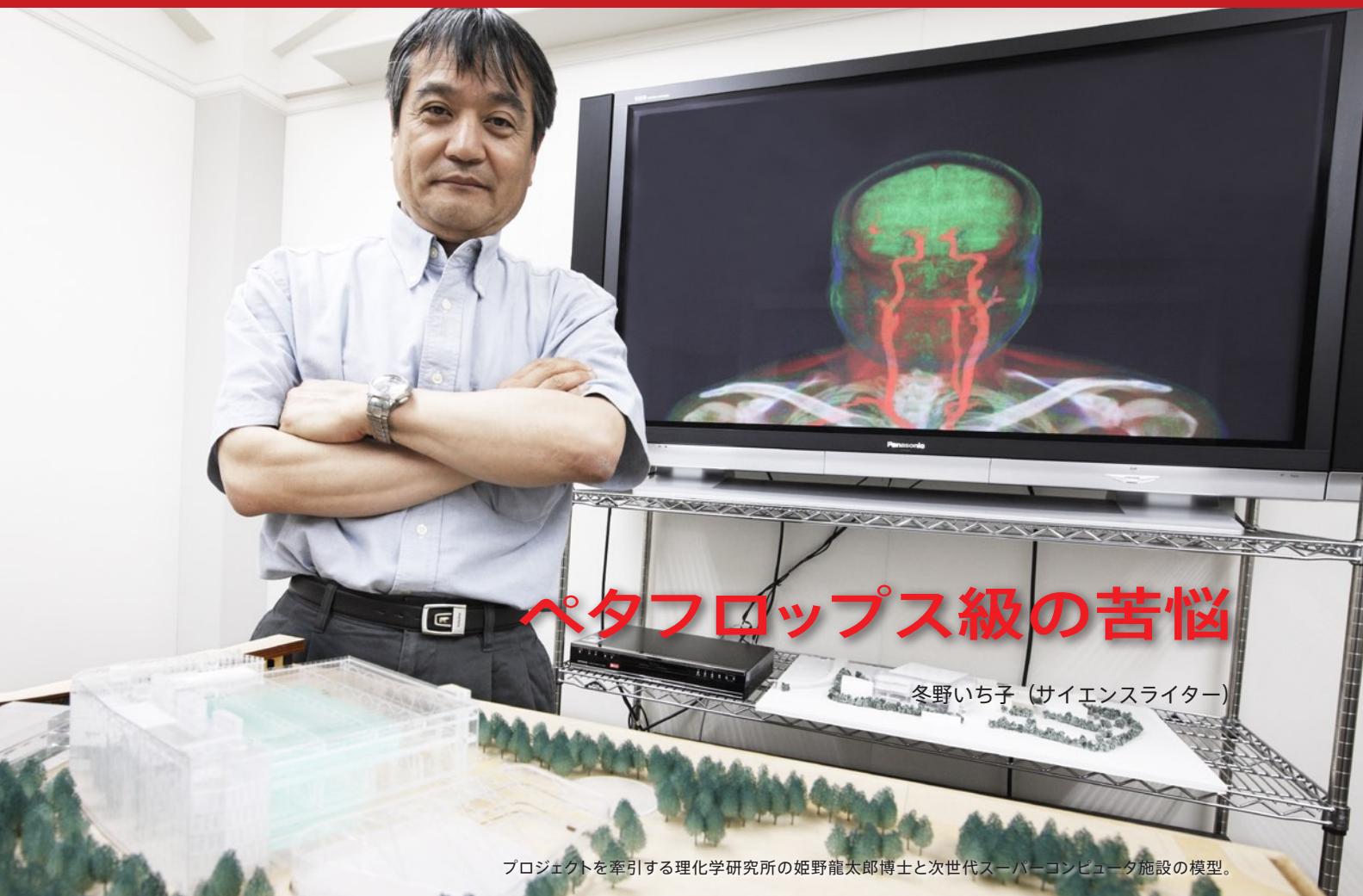
くの資金を得られることになりそうだ。同国は、第11回5か年計画において、気象制御を重要プロジェクトの1つと定めて、その研究と実践のために最新の装備を投入するといっているからである。学術研究機関と気象局との連携を補助する大規模な国家プロジェクトも、科学省が資金を提供する5か年計画などの形で準備されている。

中国には、この動きを推し進めなければならない理由がいくつもある。オリエンピックが近づくにつれ、北京市気象局は、最高の仕事をしなければならないという大きなプレッシャーを感じている。関心の的になっているのは、開会式の

大がかりなショーだけではない。世界中の気象学者が、人工消雨についての北京市のコメントを聞いたがっている。雨が降らなかった場合には、彼らは何といふだろうか?

Jane Qiu は北京から、Daniel Cressley はロンドンから Nature に寄稿している。

- Guo, X. & Zheng, G. *Adv. Atmos. Sci.* (in the press).
- National Research Council. *Critical Issues in Weather Modification Research* (National Academies, 2003).
- Yang, J. et al. *Atmos. Res.* (in the press).
- Kasparian, J. et al. *Opt. Express* **16**, 5757-5763 (2008).
- Smith, P.L., Johnson, L.R. & Prieznitz, D.L., Boe, B.L. & Mielke, P.W.J. *Appl. Meteorol.* **36**, 463-473 (1997).
- Rosenfeld, D. et al. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* **7**, 5647-5674 (2007).
- Cotton, W.R., Zhang, H., McFarquhar, G.M. & Saleebey, S. *M.J. Weather Modification* **39**, 70-73 (2007).



世界最速をめざす日本の次世代スーパーコンピュータ。3年後の一歩稼動に向けて神戸市で建設が始まった。ライフサイエンスへの応用を大きな挑戦の1つとして議論が重ねられているが、医学・生物学と計算物理学の融合への壁は高い。最適な使い方を模索する研究者たちの姿を報告する。

安友康博

肌寒さが残る2008年3月の終わり、「Endless Debate」と野心的なタイトルをうたったシンポジウムが神戸市で開催された。計算学と生物学・医学の第一線の研究者十数名が円卓を囲み、2日間にわたりて次世代スーパーコンピュータの使い方に関して議論をぶつけ合った。毎秒10ペタフロップス(1ペタ=1000兆)回の演算を繰り返すこの「ペタフロップス・コンピュータ」は、完成時には最近世界最速を達成した米IBMモデル「ロードランナー」の約10倍、日本の地球シミュレータの250倍の速さを誇ることになる(図1)。地球

環境変動の予測を主な目的とした地球シミュレータとは異なり、次世代スーパーコンピュータにはライフサイエンスへの応用に関心が集まる。

「次世代スーパーコンピュータは格段の性能をもっているので、ライフサイエンスに使えばすごいことができる、という期待ばかりが先行して、具体的にどんなことができるのか、あるいはできないのかについては、私も含め皆さんわかっていないませんでした」と、シンポジウムを主催した先端医療振興財団・クラスター推進センターのコーディネーター、根來尚温氏はいう。「このシン

ポジウムでは、ライフサイエンスとコンピュータの専門家の方々に集まってもらい、大いに議論することで方向性を見いだすことを目的としました」。

しかし、会場から聞こえてきた声の歯切れは悪い。「ライフサイエンスの人はできると思っているものも、なかなかむずかしいことがあります」と計算機学出身の参加者はいう。「自分たちとは異なる意思のコミュニケーションが必要」とは生物学者の感想。ほかにも「チームワークとしての研究がうまく取れる体制が必要だが、そのような融合研究は日本ではむずかしい」など、出席者や傍

聴者からは今後予想されるさまざまな問題に関する意見が相次いだ。

巨大国家プロジェクト

この神戸シンポジウムは、次世代スーパーコンピュータの開発が始動した2006年前後から日本各地で繰り広げられている利用方法に関する議論の一端である。次世代スーパーコンピュータは、第3期科学技術基本計画（2006～2010年度）の中で、日本が技術開発の世界競争力を回復するために必要だと位置づけられた巨大国家プロジェクト。2011年春に部分稼動、2012年春に本格稼動が予定されている。日立・NEC・富士通が共同で開発し、研究開発費は国の予算だけで1156億円、各メーカーもコストの一部負担する。文部科学省は、主な利用目的の1つにライフサイエンスを挙げ、「次世代生命体統合シミュレーション・プロジェクト」として、理化学研究所（以下、理研）が主体となって動いている（ちなみにナノサイエンスももう1つの目玉で、こちらは自然科学研究機構分子科学研究所が主体）。

現在、神戸の人工島ポートアイランドの4万平方メートルもの広い空き地に着々と建設が進められおり、地階となる部分の土がきれいに掘り下げられている。近隣には、理研の発生・再生総合科学研究センターや分子イメージング研究拠点などに加え多くの医療研究機関

があり、アジアを代表する先端医療都市をめざす神戸市は、これらの施設との相乗効果をねらっている。

1ペタフロップスの壁はコンピュータ界の1つの目標であったが、今年5月にIBMが米ロスアラモス国立研究所、米国家核安全保障庁と共同で開発した「ロードランナー」によって打ち破られた。このマシンは主に安全保障の強化のために使われるが、科学にも窗口を広げる。まず手始めに複雑な神経プロセスにテーマを定め、10億個以上の視覚神経や数兆個のシナプスのふるまいを再現し始めた。「ライフサイエンス研究の多くは、大量のデータから選択する情報を必要としています。つまり、この作業に強いマシンをデザインするという、最先端のコンピュータサイエンスでもあるのです」とロスアラモス国立研究所アソシエイト・ディレクターのテリー・ウォレス博士は語る。「10ペタフロップス・コンピュータがライフサイエンスに革命をもたらすかどうかは、そのマシンがどう設計されるかにかかっているでしょう」。

ロードランナーは、スカラ型とよばれる欧米で主流のスーパーコンピュータにCELLプロセッサをアクセラレータとして搭載している。CELLは、PlayStation3用に開発されたものを科学技術向けに強化した。スカラ型は、汎用プロセッサを並列接続しており、原

子や分子の動きの計算に強い。一方、日本の次世代スーパーコンピュータの設計は、スカラ型とベクトル型という異種の大きな計算機を接続して、同時に利用できるようにする。ベクトル型は専用プロセッサを搭載し、流体の問題や構造の計算などに長けている。計算機棟の1階にベクトル型、3階にスカラ型のコンピュータを多数配置し、研究者が必要なだけ組み合わせて使えるようとする。このハイブリッド式に決まったときは、それぞれの方式を主張するメーカー3社すべてに配慮した妥協の産物だと揶揄する声も聞かれたが、文部科学省や理研は、双方の強みを生かすことができると主張する。

「世界最速」になることが強調されがちだが、熾烈なコンピュータ開発の世界でそれを維持できたとしても一瞬のこと。それよりも重要なのは「日本が今後もスーパーコンピュータ開発を持続的に行い、技術とノウハウを蓄積することです」と東京工業大学大学院情報理工学研究科の秋山泰教授は話す。そのためには分断されていたさまざまな研究分野間の協調が必要で、「学際的な研究組織を作ることなしに巨大な計算機だけが存在しても、おそらく誰も有益に使いこなすことはできないと思います」と秋山教授はいう。「計算機作り自体よりも、日本が得意ではない人作りのチャレンジのほうが大きいでしょう」。

図1 世界の主なスーパーコンピュータ開発の比較

名前	導入主体	ベンダ	年度	ピーク性能(PFLOPS)	費用(億円)	PFLOPS当たりの費用(億円)	同2011年スケール(億円)
レンジャー	TACC(米)	Sun/AMD	07	0.5	38	76	12
ロードランナー	LANL(米)	IBM/AMD	08	1.6	124	78	19
ジャガー / ベーカー	ORNL(米)	Cray/AMD	06-08	0.1+1.0	247	~124	~20
ブルージーン / P	Argonne(米)	IBM	07-08	0.558	63*	112*	18
ブルーウォーターズ	NCSA(米)	IBM	11	10	258	26	26
T2K	筑波大(日)	Appro/Cray	08	0.095	26	270	45
次世代スーパー	理研(日)	富士通・NEC・日立	11	10(Linpack)	700	70(Linpack)	70(Linpack)

* Forschungszentrum Jülichでの価格をもとに計算。
(注) 費用は計算機ハードウェアのみの概算で、一部推定を含む。

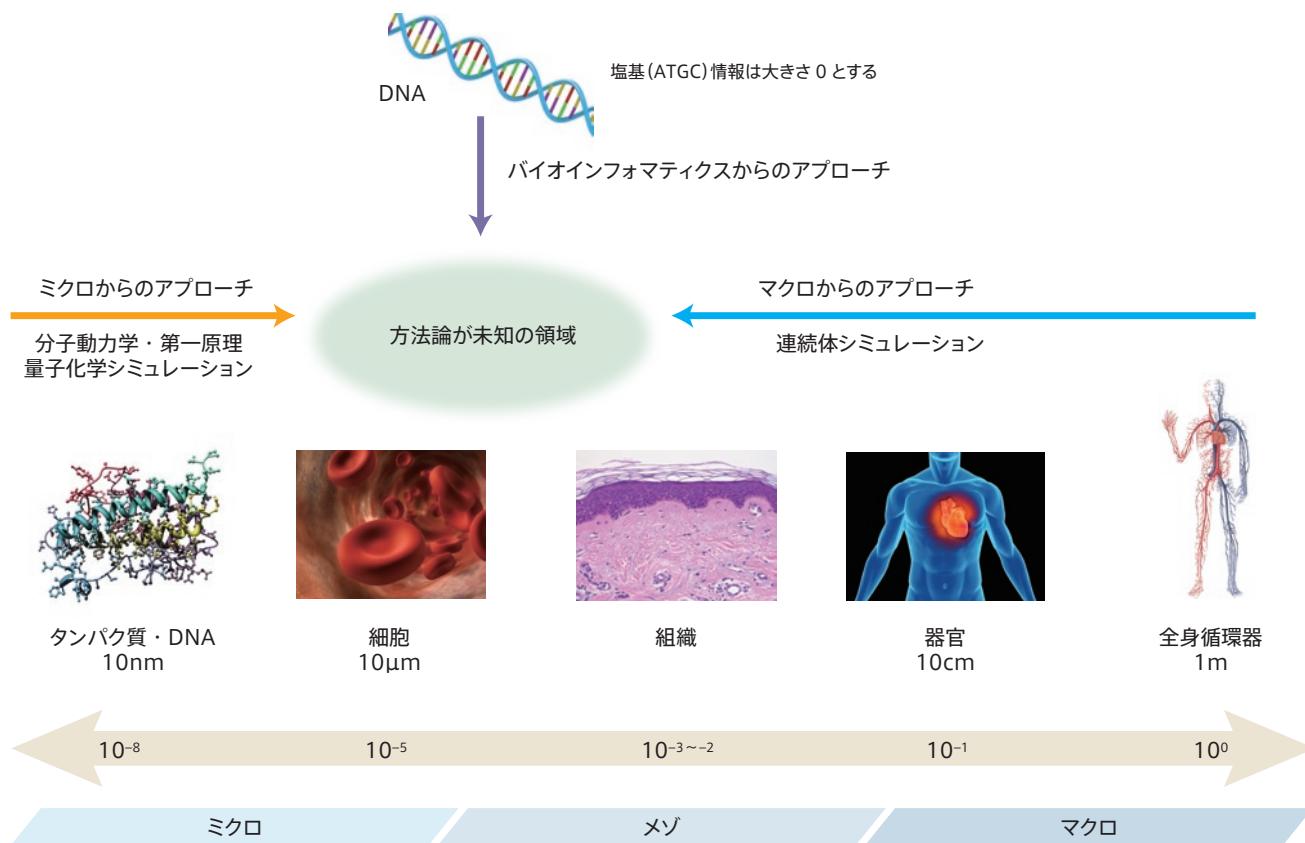


図2 生命シミュレーションのスケールの広がりと計算方法。次世代コンピュータの超高速の演算処理は、原子・分子のふるまいから細胞や臓器機能の確かな動きまであらゆる生体現象の計算を可能にし、薬剤の効果的な開発や疾病の分析に役立つと期待されている。

生命科学への可能性

これまでスーパー計算機といえば、気象・海洋予測や材料科学など物理・化学分野のシミュレーションに使われることが多かった。血流や臓器のシミュレーションなどは欧米でも一部見受けられるが、大規模計算機のライフサイエンス分野でのまとまった活動は欧米にもなく、神戸の拠点が世界初になるだろうと関係者はいう。

次世代コンピュータの超高速の演算処理は、原子・分子のふるまいから細胞や臓器機能の細かい動きまであらゆる生体現象の計算を可能にし、薬剤の効果的な開発や疾病の分析に役立つと期待されている（図2）。例えば、個々の人の遺伝子の差異によって薬の効果に差が出る理由をコンピュータで探る、といった具合だ。ここ数年で高性能コン

ピュータを使って細胞モデルを形成し、実験で再現する「システム生物学」も盛んになってきたが、細胞内の小器官や核などの物質の局在や、その内部で起こる特有の反応を区別できていない。よって、観測される現象を因果関係に沿って記述する学問から抜けきれておらず、「試験管の中で均質な溶媒としての細胞を見ている感じに近い」と、理研の次世代スーパー計算機開発実施本部グループディレクターである姫野龍太郎博士はいう。「実際の生体はより複雑で予測不可能な動きをします。実態を明らかにするためには、原子・分子に立ち戻ったところから、時間の経過に伴って濃度拡散や膜透過など連続体の現象がどのように起こるか、ということを見ないといけません」。

しかし、「ライフサイエンス分野のシミュレーションはそう簡単ではありません」と秋山教授はいう。気象・海洋予測や材料科学などでは基礎となる方程式がほぼ解明されており、強力なコンピュータを導入すればより質の高いシミュレーションが可能になるが、ライフサイエンスでは基礎となるモデル自体が研究されている途中である、というのがその理由だ。「たった1つの細胞内の遺伝子やタンパク質のふるまいですら、数10万種類もの異なる“要素部品”が複雑な機能的システムを作っているのですから、巨大な化学プラントの動作シミュレーションや大都市における通勤ラッシュのシミュレーションに近い感じになると思います」と秋山教授は続ける。「ライフサイエンスへの応用は、乗り越

えるべき大きな課題の1つです。世界で誰かが必ずやるべきことであり、挑戦しがいのあるテーマです」。

変わる兆し

ライフサイエンスへのスーパーコンピュータの応用のむずかしさは研究者も十分認識しており、当初は懐疑的な見方が多かった。2005年に姫野博士が理研の会議で「10ペタフロップス・コンピュータができれば生命現象をシミュレーションできる」と語ったときは、生物学者の反応はとても冷ややかだったという。しかし「この1年で風向きがずいぶん変わってきた」と姫野博士は感じている。「今までは、自分の従来の研究の延長上に未来があると皆さん思っていたようですが、ここへきて、新しい学問が生まれつつあるのを理解してきています」。

研究者の考えが前向きになってきた背景の1つには、理研内での静かだが大胆な動きがある。理研は12の研究センターからなる総合科学研究所だが、スーパーコンピュータに関しては「初めてできる計算、新しい時代を築ける分野に大きな資源を割り振っていく」という考えに基づき、ライフサイエンス分野を第一に各センター長が連携し動いている。今年4月、理研は先端計算科学研究領域を立ち上げ、そこに3月末に解散された理研のゲノム科学総合研究センターから5研究チームを移した。現在、理研全体で200名弱の研究者がスーパーコンピュータの開発・応用に携わっており、3年後にはこの研究者たちを中心として、神戸に拠点ができる。このように醸成する雰囲気が出てきたことで、やってみようかという心意気がみえ始めた。「10年、20年のスパンで考えると、必ず生命現象のいろいろなことをコンピュータ上で再現し、役に立つものができると思うのです。振り返ってみれば、あのとき始めてよかったと思うはずです」と姫野博士はいう。

理研はこの国家プロジェクトの旗振り役として、すでに研究開発体制のプラッ

トフォームも形成している。研究分野を分子・細胞・臓器全身・データ解析・ソフトウェア開発の5つに分け、それぞれチームリーダーを選定した。外部から選ばれたリーダーは理研を兼務する。各チームが、異なるバックグラウンドをもつ研究者を束ねながら補完的な成果を生み出し、それらを総合的に集結することで生命体統合シミュレーションを実現する、というシナリオだ。

次世代スーパーコンピュータは、運転費用だけでも年間50億円以上かかると試算されている。多額の税金を使うので、有益な成果を出さないといけないというプレッシャーが研究者にかかっている。そこで、日本の知力を最大活用するため、ソフトウェア分野を除く4分野には、それぞれの分野を代表する研究者で構成されるワーキンググループが設置された。例えば、臓器・全身スケール・ワーキンググループの一員である立命館大学生命科学部の野間昭典教授は、根気よく医工連携プロジェクトをまとめあげた経験をスーパーコンピュータにも生かせると考えている。野間教授が今年3月まで在籍していた京都大学は、文部科学省の「細胞・生体機能シミュレーション・プロジェクト」の4拠点のうちの1つで、2002年度から5年間をかけて心筋細胞のモデルを作り、心室の収縮の動きを計算した。心臓は世界で最も進んでいるシミュレーション対象だが、野間教授のように心室を構成する多数の機能要素をもとに細胞モデルを作り、さらにそれをもとに臓器モデルを構築し、その中の細胞ブロック相互の力関係を計算して拍動をシミュレーションするという精巧なモデルを提示した例はほかにない。

京都大学のプロジェクトには情報学、工学、医学分野から約30名の研究者が参加した。当初、工学系の研究者はプログラムを書いて入力する際に発生する知的財産権を気にする傾向があり、契約形態に関してずいぶん議論したという。「心配も多かったですが、5年間やって事実上何も問題は生じませんで

した」と医学博士である野間教授は話す。研究そのものに関しては、工学系の専門性はモデル構築に大いに貢献した。「橋の構造の中でどこに力がかかっているかを調べるとき、小さいブロックに分けて計算するように、心筋細胞をベースにして心臓のポンプ機能を非常に正確に再現してくれました」と野間教授は語る。

乗り越えるべき壁

目的は共有しつつも、分野の異なる研究者同士の共同作業はむずかしい。それが、前例のない巨大マシンの利用方法となるとなおさらだ。「同じ略語でも違うことを指していることがよくあります」という姫野博士は、異分野研究者同士のスマートな対話を作り出すため、積極的に飲み会を開いている。先端計算科学研究領域が所属する理研の基幹研究所は、今年4月から月に2回ランチョンミーティングを開催し、物理・化学から医科学まで多岐にわたる研究内容を紹介し、新たなコラボレーションを生むきっかけを作っている。また、6月から神戸の発生・再生科学総合研究センターと合同で "Bridging the Gap: Wet & Dry" と題するワークショップを開き、若手研究者を中心に生物学における計算機研究と実験研究のギャップを埋めるべく議論を重ねている。

対話が進むにつれ、共通の課題も認識され始めている。京都大学は精密な心筋細胞モデルを構築したが、細胞レベルのシミュレーションは依然困難であり、「理研で議論が白熱する問題の1つです」とソフトウェア開発のチームリーダーを務める理研基幹研究所の泰地真弘人博士はいう。システム生物学の発展により部分的には解明が進んできたが、細胞内の構成物質や化学反応など、細胞全体を把握するための情報量は不足している。泰地博士は、次世代スーパーコンピュータの性能をもってしても実験の必要性がなくなることはないという。「これは、理研の中でも共有されている問題です」。

実験をする段階になって、生物学と計算物理学の求めるレベルの違いから研究に支障が出る可能性がある。「計算機学の人は、計算機に乗せるに値する精密で詳細なレベルのデータを出すよう求めますが、生物実験のむずかしさをわかっているかというとそうではない。一方、生物学の人は、アイデアが先行して計算をやらせたがる傾向があります。アプリケーションとコンピュータサイエンスをきちんとつなぐ役割を定義して、それがわかる人を育成することが必要です」と泰地博士は語る。

ヘッドハント

このように少しづつ議論が活発化するなかで、泰地博士が指摘するように、人材育成はプロジェクトリーダたちの前に立ちはだかる大きな問題だ。システム生物学

分野でも、日本の研究者の数は欧米に比べると圧倒的に少なく、さらに高度なスキルが求められるスーパーコンピュータを使いこなせる研究者を早急に養成する必要性がある。1つの対策として、神戸大学と兵庫県立大学は昨年、地球シミュレータを保有する海洋研究開発機構とともに次世代スーパーコンピュータの活用に向けた教育研究に関する包括協定を結んだ。両大学には新学科も設立される。

一方、理研の姫野博士は、天文学や数学、原子核物理などで優秀な人がライフサイエンスに比べて安定したポジションを得るのに苦労していることに目をつけた。ニューヨーク州にある理研BNL研究センターの杉原崇憲博士をはじめ、数名の若手・中堅物理学研究者を引き抜いてきたのだ。若い人ほど研究分野を変えるのに抵抗するが、杉原

博士は素粒子研究から分子モデリングに研究対象が変わることを「おもしろうだと思った」という。今後、生物学者たちと一緒に仕事をしていくなかで、「物理・応用数学で蓄積した考え方や技術、理論をライフサイエンス研究に生かすための橋渡しができれば」と抱負を語る。

これまで物理学からライフサイエンスに専攻を変え、大成した人は日本にもいる。成功のかぎは、自分が移ってきた研究分野が萌芽期であることだ。「新しい道は、その分野にどっぷりつかっている人からよりも、複数の分野の融合から生まれてきているので、その創成期にあたるとほかの分野からうまい具合に移ってこられます」と姫野博士は語った。「今がまさにその創成期なのです」。 ■

SNAPSHOT

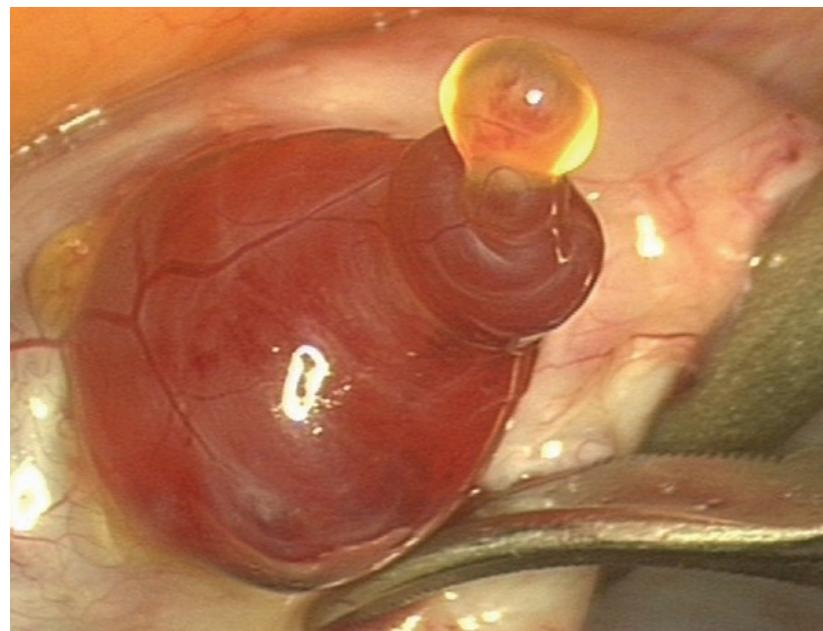
Out of the ovary

排卵の瞬間

Nature Vol.453 (965) / 19 June 2008

ヒトの卵巣から卵子が出てくる瞬間をカメラが捕らえた。この写真は、ブリュッセルのルーヴラン・カトリック大学の外科医 Jacques Donnez が 45 歳の女性の子宮摘出手術中に偶然撮影した連続写真の 1 枚であり、排卵の過程をこれまで最も鮮明に映し出している。卵巣の表面からは、液体に満たされた赤い卵胞が顔を出しており、さらにこの卵胞から、黄色っぽい色をした卵子が出てきているのが見てとれる。

一部の理論では、排卵の際には卵胞が突然「破裂」するとされていたが、今回観察された排卵は、たっぷり 15 分かけてゆっくりと起きていた。ヒト



の排卵がこれほど詳細に観察されたのは今回が初めてであるが、妊娠可能な女性の体内では、少なくとも月に一度はこの現象が起きている。放出された卵母細胞は、卵管の中を子宮に向かって進んでいく。

この珍しい画像は、*New Scientist* 誌 6 月 11 日 号 に掲載され、*Fertility and Sterility* 誌上で発表される予定である (J.-C. Lousse and J. Donnez doi:10.1016/j.fertnstert.2007.12.049)。

Brain control of a helping hand

神経科学

腕型ロボットを脳で制御する

John F. Kalaska

麻痺患者にとって、自分の意思が日常の動作に変換されるようになれば、大いに役立つだろう。今回サルで、脳の活動によって腕型ロボットを正確に制御できると実証されたことは、こうした目標に向けた一歩である。

Nature Vol.453 (994-995) / 19 June 2008

脳卒中や脊髄損傷、神經筋変性疾患ではいずれも、筋肉を使う能力が著しく損なわれることがある。このような運動能力の低下によって移動や自立がむずかしくなった患者では、生活の質 (Quality of Life; QOL) が大幅に低下してしまう。こうした患者の病態または損傷を回復させるために、さまざまな方面から医学研究が精力的に行われている。その一方で、患者の QOL を向上させる別の取り組みが求められている。Nature 6月19日号 994 ページに掲載された Velliste たちの研究¹は、いずれ実用化が期待できる報告例である。

前述のような疾患では、随意運動の制御にかかる一次運動野や運動前野、後頭頂葉皮質などの大脳皮質領域の機能は損なわれていないことが多い。こうした患者では、随意運動を正常に起こす脳活動を生じる可能性はまだある。ただ、疾患による障害のせいで脳からの信号が筋肉に伝わらなかつたり、十分に筋肉を刺激できなかつたりしているのだ。このような場合に考えられる 1 つの解決法は、患者が行いたい動作を、頭の中でリハーサルするように思い描いてもらい、その結果生じた脳の活動を記録して、これらの信号を使ってロボット型装具を制御することである。こうした脳・機械インターフェース (BMI) あるいは神經機能代替コントローラー (neuroprosthetic controller) は、現在いくつのかの研究室で開発が進められているところだ。

Velliste たち¹は今回、この分野の最先端といえ

る成果の 1 つを報告した。彼らは、サルの一次運動野に微細な電極をグリッド状に埋め込み、これらのサルを訓練して、腕型ロボットを制御する脳活動パターンを発生できるようにした。この腕型ロボットには、肩関節、肘関節、物をつかむための爪状の「手」すなわち把持部がある。サルは座った状態で、両腕は脇にやさしく拘束しており、腕型ロボットは肩の隣に設置してある（図 1 参照）。注目すべきことに、サルは、腕型ロボットを果物片などの好物の餌のほうに伸ばし、そこで止めて把持部を餌に近づけ、固定してあった餌を取って、餌をつかんだ把持部を自分の口元へもってきて爪を開き、餌を食べるという動作を、数日以内で行えるようになった。これらの動きはすべて、自然の状態でみられるのと同じようなひとつながりの動作になっていた。

この研究成果は、動物に BMI 技術を用い、三次元空間内で腕型ロボットの動作を脳によって制御して餌を食べるという、実用的な動作が可能なことを初めて実証したものである。これは、複雑な腕型ロボットを制御する神經機能代替コントローラーの開発分野における最先端の技術である。原理上、こうした腕型ロボットはやがて、障害を負った患者が食事をしたり、飲み物をコップから飲んだり、道具を使ったりするなど、多くの日常的な作業を行う際の助けになると期待できる。

今回の結果の中で今後の研究開発に向けて励みになる知見の 1 つは、サルが腕型ロボットの制御を

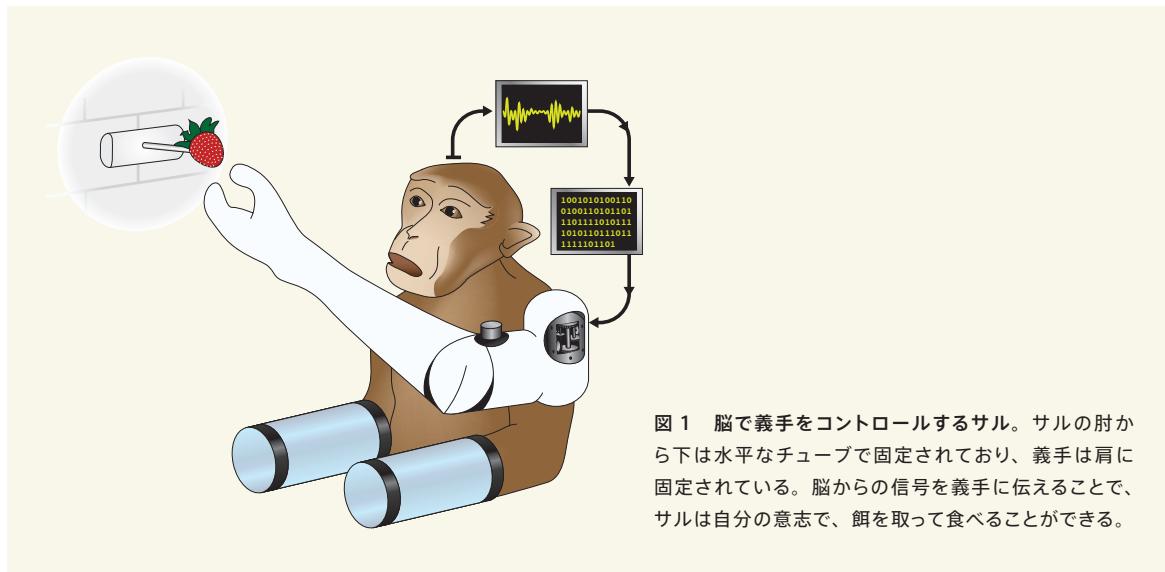


図 1 脳で義手をコントロールするサル。サルの肘から下は水平なチューブで固定されており、義手は肩に固定されている。脳からの信号を義手に伝えることで、サルは自分の意志で、餌を取って食べることができる。

簡単に覚えたことだ。Vellisteたち¹が用いたのは、標準的なオペラント条件づけ法である。この手法で「ごほうび」として餌を食べさせることで、腕を伸ばして餌をつかみ、口元までもつくるそれぞれの動作の成功率が高まった。訓練の第一期には BMI 制御プログラムが発する修正信号で動作を支援したが、サルはすぐに、自分が望むロボットの動作を自力で起こせるように脳を活動させるやり方を習得した。ヒト被験者では学習時間をもっと短縮することができ、トレーナーが口頭で説明することにより、学習がよりスマートに進んだ。これは、神経機能代替装置によって、リハビリ患者のフラストレーションを最小限にできることを示唆している。現在のリハビリテーション・プログラムでは、運動能力が低下していて、長く辛い機能回復訓練にもかかわらずほんの少しある回復がみられない場合、患者は往々にしてフラストレーションを感じてしまう。

さらに、サルがいかにも自然に腕型ロボットの制御や相互作用を行ったことも、同じく今後の励みになる知見の 1 つとして挙げられる。障害物があると、サルはそれを避けるために空間内でカーブを描くように把持部を動かし、また餌のありかを想定外の場所に変更したときにも、把持部の動線をすぐに修正した。しかも、把持部を「つかえ棒」として使い、口に入れ損ねた餌を唇から口の中へ押し込めることさえできた。最終的にサルたちは、動かせない自分の腕の代用物として腕型ロボットに難なく順応した。従来の

知見から、サルが道具の使用を学習する場合には、自分の頭の中にある身体イメージにその道具を組み込むことが示されている²。神経機能代替装置を使う患者は、どれくらいの期間使用するにせよ、そうした装置を自分の体の延長部分として抵抗なく扱えるようになると考えられる。なぜなら、自身の思考プロセスを介して効率よく、あまり苦労もせずに装置を制御できるからである。このことは、こうした技術に頼らざるを得ない患者の心理的負担を長期にわたって軽減できるという点で、明るい材料となる。

Vellisteたち¹の成果は、神経疾患患者を支援する BMI 技術の実用化の可能に期待をもたせてくれるものだ。しかし、この結果に舞い上がって、各地のリハビリ施設で神経機能代替ロボットがすぐに利用できるようになると結論づけるのは早計である。脳の活動を利用した腕型ロボットの制御に Vellisteたちが採用した主要な技術はどれも、初期には実験動物で^{3–7}、また最近ではヒトの臨床患者で⁸、もっと単純な遠隔装置を使って既に実証済みのものである。神経機能代替制御技術を臨床へ広く応用できるようにするには、いくつかのハードルを乗り越える必要があり、そのための根本的な概念上もしくは技術上の革新を今回の研究がもたらしてくれたわけではない。

例えば、埋め込み型電極の長期使用に関する信頼性を向上させる必要がある。患者は神経機能代替制御技術を長年にわたって利用することになるが、記録される神経活動の質は多くの場合、数週間もしく

は数か月経たないうちに劣化してしまう。そのうえ、神経機能代替制御の成功は、これまでのところ実験室環境内に限られている。現在の技術では、移動のむずかしい記録装置やコンピューター、ロボット制御装置を含む相当大がかりな設備が必要であり、しかも、装置の作動状況を常に監視する専門の技術者も必要なのである。神経機能代替コントローラーがもち運び可能ではほぼ自律的に作動できるようにするには、もっと多くの研究を積み重ねなければならない。

加えて、被験者はこれまでのところ、視覚的なフィードバックのみを使って遠隔装置を制御している。環境との物理的な相互作用には、対象物や物の表面に腕型ロボットが加えた力を被験者が感じ取って制御できなければならぬ。例えば、ロボットの手で物をつかむときには、物がすり抜けて落ちない程度の強さでつかみ、しかも力を入れすぎて握りつぶしてしまわないようにする必要がある。こうした重要な情報は、健常であれば皮膚や筋肉、関節にある感覚受容器によって得られている。ロボットには、これに相当するセンサーを実装させる必要があり、この感覚フィードバック⁹を患者に伝えるために、何らかの有効な方法を開発しなければならない。こうしたもうもろの技術的問題は、難題ではあるが乗り越えられないものではない。

Vellisteたち¹は、従来のさまざまな BMI 研究³⁻⁷と同様に、記録を一次運動野から取った。そ

の他の研究では、運動前野や後頭頂葉皮質^{7,10-12}から制御信号とみられる信号が抽出されている。これらの脳領域のそれぞれで発せられる信号には固有の性質があり、そうした性質が、随意運動のさまざまな面に特に有用だと考えられる。これは最終的に、「知的」神経機能代替コントローラーの開発へつながる可能性がある。こうしたコントローラーがあれば、重度の運動障害をもつ患者は、ロボット装具の経時的な運動制御によるだけでなく、自分の総体的な目的や必要性、好みを反映させた、もっと自然で直観的な方法で外界と相互作用しコミュニケーションを取ることが可能となるだろう。 ■

John F. Kalaska、モントリオール大学（カナダ）

1. Velliste, M., Perel, S., Spalding, M. C., Whitford, A. S. & Schwartz, A. B. *Nature* **453**, 1098-1101 (2008).
2. Maravita, A. & Iriki, A. *Trends Cogn. Sci.* **8**, 79-86 (2004).
3. Chapin, J. K., Moxon, K. A., Markowitz, R. S. & Nicolelis, M. A. L. *Nature Neurosci.* **2**, 664-670 (1999).
4. Wessberg, J. et al. *Nature* **408**, 361-365 (2000).
5. Serruya, M. D., Hatsopoulos, N. G., Paninski, L., Fellows, M. R. & Donoghue, J. P. *Nature* **416**, 141-142 (2002).
6. Taylor, D. M., Tillery, S. I. & Schwartz, A. B. *Science* **296**, 1829-1832 (2002).
7. Carmena, J. M. et al. *PLoS Biol.* **1**, e42 (2003).
8. Hochberg, L. R. et al. *Nature* **442**, 164-171 (2006).
9. London, B. M., Jordan, L. R., Jackson, C. R. & Miller, L. E. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.* **16**, 32-36 (2008).
10. Musallam, S., Corneil, B. D., Greger, B., Scherberger, H. & Andersen, R. A. *Science* **305**, 258-262 (2004).
11. Hatsopoulos, N., Joshi, J. & O'Leary, J. G. *J. G. J. Neurophysiol.* **92**, 1165-1174 (2004).
12. Santucci, D. M., Kralik, J. D., Lebedev, M. A. & Nicolelis, M. A. *Eur. J. Neurosci.* **22**, 1529-1540 (2005).

nature nanotechnology

A BIG NUMBER in a small world

www.naturejpn.com/nano

npg nature asia-pacific

First Impact Factor
14.917 *

* Journal Citation Reports, Thomson, 2008

Cool it, baby

物理化学

クールに行こう

Markku Räsänen

長らく探し求められていた短命な分子が、このほど初めて合成され、その特性が明らかにされた。この化合物は、低温下でも「量子トンネリング」とよばれる変わった方法を使って、別の物質になってしまう。

Nature Vol.453 (862-863) / 12 June 2008

今日の化学者は高度な有機合成技術をもっているため、10個未満の原子からなる小さな有機分子なら、全種類が合成され、調べられていると思われるかもしれない。実際、安定な分子についてはそうなのかもしれないが、結合が弱い化合物や反応性の高い化合物は短命で、よくわからないままである。Nature 2008年6月12日号906ページでは、Schreinerら¹が、こうした恥ずかしがりやの分子の一種であるヒドロキシメチレン(HCOH)を合成し、検出することに成功したと報告している。この分子は、一重項カルベンという化合物ファミリーの中で最も単純なもの1つである。一重項カルベン分子は、有機合成に用いる触媒の構成成分として、近年、注目を集めている。Schreinerらの発見は、これらの魅力的な化合物の化学的性質に新しい方向から光を当て、ひいては新しい化学反応の発見につながる可能性がある。

これまで、HCOHを確実に同定しようとさまざまな試みがなされてきたが、そのすべてが失敗に終わっていた。理論研究²からは、HCOHは比較的安定な分子であると考えられていたため、これは奇妙なことだった。Schreinerらの今回の報告¹が発表されるまで、この分子の存在を裏づける最も有力な証拠は、同位体標識したホルムアルデヒド(HCOHの安定異性体)の光誘発反応の研究³に基づくものだった。ホルムアルデヒドから生成物への同位元素の取り込みは、HCOHがこの反応の中間生成物であることを示唆していたが、これは間接的な証拠にすぎなかった。

確実な証拠がなかったにもかかわらず、化学者は常に HCOH の存在を確信していた。極めて興

味深いことに、一部の化学者は、恒星間雲の中で HCOH が形成されて、より大きな有機分子の形成に参加しているかもしれないと推測していた⁴。確実にわかっているのは、HCOH の水素原子が化学基と置換された、より大きなある種のカルベンが、極めて安定だということである。実際、このようなカルベンは価値ある化学分野の基礎になっており、有機合成や有機金属合成の過程でさまざまに応用されている⁵。また、燃焼化学や大気化学においても中心的な役割を果たしている。

短命な分子の存在を確認するにはどうすればよいのだろうか？すでに数種類の方法が開発されている。今日の分光測定技術の時間分解能はフェムト秒（1 フェムト秒 = 10^{-15} 秒）のレベルに達しており、極めて短命な分子を検出できるようになっている。また、実験試料の温度を下げて分子の寿命を長くすれば、時間分解能がそれほど高くない分光測定法によっても測定できる。気相実験では、調べたい気体の体積を急激に膨脹させることで、これを冷却することができる。低温の不活性な媒体中に分子を捕捉して、固相で調べることもできる。第二の手法はマトリックス単離法⁶とよばれ、「クールに行こう」をモットーとする化学者 George Pimentel によって開発された。

Schreinerら¹は、マトリックス単離法を用いて HCOH を同定した。彼らは、高真空中でグリオキル酸(HCOCO₂H)を加熱することにより、標的化合物を生成させた。この条件下では、出発材料から二酸化炭素が除去されて、直接 HCOH が生成する。著者らは、約 10K の温度下で生成物を固体アルゴン

中に捕捉し、分光測定技術を組み合わせてこれを調べて、量子化学計算からの予測により、自分たちの結果の解釈を裏づけた。彼らはこうして、HCOH の形成につき、最初の明白な証明を提出したのである。

短命な分子がわずかな時間しか存在できない理由は、容易に反応して別の物質になってしまうからであることがほとんどである。別のいい方をすると、分子が先の反応をするために必要とするエネルギー（反応障壁）が低いのである。短命な分子の寿命は、冷却によって長くすることができる。分子を冷却すると、反応障壁を乗り越えるために利用できる熱エネルギーの量が少なくなるからである。けれども例外的に、量子トンネリングという過程により、熱による励起を必要とせずに起こる反応がある。Schreiner ら¹は、HCOH では、まさにそのような反応が起きていると報告する。この実験が行われた温度では、計算された反応障壁は高すぎて乗り越えられないはずであるにもかかわらず、HCOH 分子が特定のコンフォメーションをとるときには、ほんの数分でホルムアルデヒドへと変わってしまう。これは、HCOH 分子のヒドロキシル基（OH）中の水素原子が、反応障壁を「トンネルしてしまう」からである。その原因は、原子の波動・粒子二重性にある（図 1）。この予想外の反応は、HCOH を検出しようとするこれまでの試みが失敗に終わった理由、すなわち、反応生成物が検出され、分析されないうちに失われてしまう理由を説明できるかもしれない。

著者ら¹は、ヒドロキシル基の水素原子を、水素の安定同位体である重水素と置換することにより、量子トンネリング過程を調べた。彼らは、同じ実験条件下でも、重水素化された HCOH は基本的に安定していることを発見した。重水素化された HCOH 分子が安定化するのは、水素原子に関連した波とは異なり、重水素原子に関連した波は、反応障壁の出口に到達する前に減衰してしまうからである。ゆえに、重水素化による安定化は、量子トンネリングの直接的な証拠となる。この結果を確認するために再び理論的予測に目を向けた著者らは、コンピューター上でトンネリングのモデルを作った。0K に近い温度での HCOH の半減期は 122 分と予測されたのに対しで、重水素化された HCOH の半減期は 1200 年以上と予測された。これは、彼らの実験での観察とよく一致している。

HCOH は、気相などのさまざまな条件下で、多くの反応に寄与していると考えられている。今回の研究¹から得られたデータは、こうした条件下で

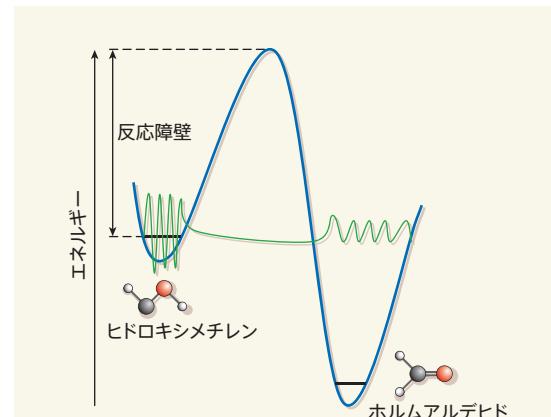


図 1 ヒドロキシメチレンの量子トンネリング。Schreiner ら¹は、このほど初めてヒドロキシメチレン（HCOH）という不安定な有機分子を合成し、その特性を明らかにした。彼らは、HCOH がホルムアルデヒドへと変化する過程を観察した。グラフ（青の線）は、この反応の進行に伴い、HCOH 分子を構成する原子の総エネルギーがどのように変わっていくかを計算したものを表している。エネルギーは、反応過程の中ほどでピークに達する。HCOH の基底状態でのエネルギーとピークでのエネルギーの差が反応障壁である。Schreiner らの研究で用いられた低温では、HCOH 分子がもつ熱エネルギーは反応障壁を乗り越えるには不十分であるが、分子はこれを乗り越える代わりに通り抜けてしまう。このふるまいは、分子の波動・粒子二重性によって生じる。HCOH の波形（緑）はホルムアルデヒドのエネルギー戸戸まで伸びており、分子は反応障壁を避けて通ることができる。

HCOH を探す人々にとって欠かせないものになるだろう。こうした研究のためには、トンネリング過程が気体中でも固体中でも同様であるかどうかを明らかにする必要があるだろう。例えば、Schreiner らの実験で HCOH 分子の捕捉に用いたマトリックスは、この過程でなんらかの役割を担っているのだろうか？ 今回の知見は、固体中のトンネリング反応の仕組みを調べるのにうってつけのモデルになる、明確に定義された小分子系も提供する。小分子の研究は、過去のものになってなどいない。我々が小分子から学ぶべきことは、まだまだたくさん残っている。 ■

Markku Räsänen、ヘルシンキ大学（フィンランド）

1. Schreiner, P. R. et al. *Nature* **453**, 906–909 (2008).
2. Pau, C. F. & Hehre, W. J. *J. Phys. Chem.* **86**, 1252–1253 (1982).
3. Sodeau, J. R. & Lee, E. K. C. *Chem. Phys. Lett.* **57**, 71–74 (1978).
4. Baly, E. C. C., Heilbron, I. M. & Barker, W. F. C. *J. Chem. Soc. Trans.* **119**, 1025–1035 (1921).
5. Bourissou, D., Guerret, O., Gabbai, F. P. & Bertrand, G. *Chem. Rev.* **100**, 39–91 (2000).
6. Whittle, E., Dows, D. A. & Pimentel, G. C. *J. Chem. Phys.* **22**, 1943 (1954).

従来の常識を覆す、新たな高温超伝導物質の可能性

高橋 博樹

高温超伝導研究フィーバー再燃の兆しが広がっている。それをリードするのが、東京工業大学フロンティア研究センターの細野秀雄教授、日本大学文理学部の高橋博樹教授らのグループだ。約20年前に高温超伝導フィーバーを巻き起こした銅酸化物系超伝導物質に代わる、新規の超伝導物質（オキシニクタイド化合物など）を発見。その臨界温度が、4万気圧の超高压下において43Kまで上昇することを確認した。銅酸化物以外では最も高い温度で、成果は*Nature* 2008年5月15日号に発表された¹。高橋教授に研究の経緯、将来展望などについて聞いた。

新たな高温超伝導研究フィーバー

Nature Digest — 高温超伝導研究の現状を教えてください。

高橋 — 超伝導現象の発見は、1911年までさかのぼります。オランダの物理学者カメリン・オンヌスが水銀を極低温になると、約4Kで電気抵抗がゼロになること（臨界温度）を発見しました。その後、より高い臨界温度の金属材料も見つかりましたが、23Kで足踏みしていました。そこに登場したのが、ドイツのベドノルツとミュラーが発見したランタン、バリウムを含む銅酸化物系の超伝導物質（La-Ba-Cu-O）です。1986年のことでした。絶縁材料のセラミックスであること、発見当初から臨界温度が30Kという高温であったことなどから、高温超伝導研究フィーバーが起り、室温超伝導の実現という夢が語られました。LaをY（イットリウム）、Bi（ビスマス）に、BaをSr（ストロンチウム）などに置き換えることで臨界温度は上昇しましたが、1933年に、水銀、カルシウム、バリウムを含む銅酸化物（Hg-Ca-Ba-Cu-O）が常圧で130K、高圧下160Kで臨界温度になるという成果が発表されたのを最後に記録更新が止まっています。

ND — そこで、新規の高温超伝導物質に記録更新の期待がかかるわけですね。

高橋 — 細野教授らは2006年、鉄を含むオキシニクタイド化合物（LaFePO）が超伝導物質になることを見つけました²。金属系、銅酸化物系に代わるまったく新しいものです。ランタン、鉄、リン、酸素の化合物で、磁性元素の鉄を含みますが、これは磁性元素を含む物質は超伝導にならないとい

う常識を覆すものです。6Kで電気抵抗がゼロになりました。我々は、銅酸化物系超伝導物質に高い圧力をかけると臨界温度が上昇する圧効果の研究をしてきましたが、細野教授らの成果を聞いて、同じ層状構造であるオキシニクタイド化合物でも同様の現象がみられるはずだと踏んだわけです。そこで、細野教授に2006年暮れ、高圧実験の提案をし、共同研究が始まりました。今年に入って、オキシニクタイド化合物のリンをヒ素に換えて、酸素イオンをフッ素イオン（原子数の比で11%）で置き換える（ドーピングする）と臨界温度26K（一部臨界が始まる温度32K）まで上がることも確認しました³。

圧力実験は、ダイヤモンドを使った「ダイヤモンドアンビルセル」という箱型の圧力装置を使います。装置は、わずか直径が0.1mmの超伝導物質の試料に、電気抵抗を測定する電極を付けます。顕微鏡下の手作業で行いますが、これは非常に熟練を要します。試料に圧力を均等にかけるため圧力伝達物質として塩化ナトリウムを使い、圧力は30気圧までかけました（図1）。圧力をかけるとオキシニクタイド化合物（LaFeAsO_{1-x}F_x^注）の臨界温度が上昇、4万気圧でピークの43Kを記録しました。しかし4万気圧を超えると臨界温度は、圧力に比例して下がっていくことがわかりました。オキシニクタイド化合物の特徴は、加圧による臨界温度の上昇が、銅酸化物に比べて非常に大きいことです。銅酸化物と異なるメカニズムで超伝導が起きていることを示すもので、今後、さらに高い臨界温度が期待できると思います。

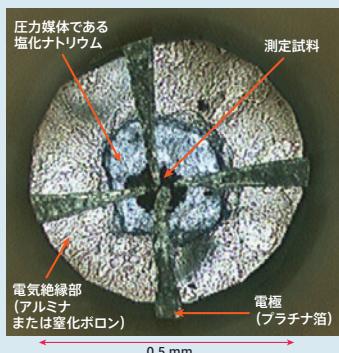


図1 超高压下で電気抵抗の有無を測定するダイヤモンドアンビルセルの断面写真。中央の超伝導物質の試料の周りに、圧力媒体の塩化ナトリウムを置き、4つのプラチナ電極で電気抵抗を測定する。

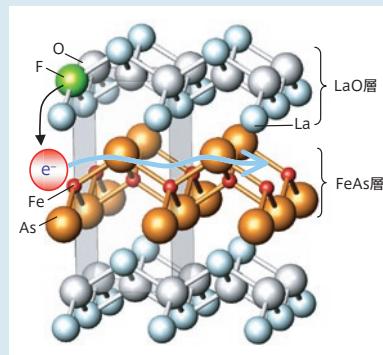
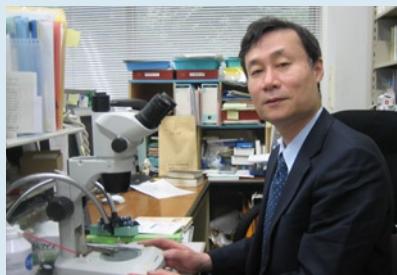


図2 超伝導物質（オキシニクタイド化合物、LaFeAsO_{1-x}F_x）の構造。ランタン-酸素（LaO）層と鉄-ヒ素（FeAs）層が交互に積み重なる層状構造をしている。酸素イオン（O²⁻）の一部をフッ素イオン（F⁻）にドーピングすることで、余分な電子が、FeAs層に注入され、その面で超伝導現象が起きていると考えられる。超高压をかけるとLaO層とFeAs層の距離が縮められ、余った電子が注入されやすくなる。



高橋 博樹（たかはし・ひろき）／日本大学文理学部物理学科教授。理学博士。1958年生まれ。1981年、北海道大学理学部物理学卒業。1986年、北海道大学大学院理学研究科物理学専攻博士課程修了。同年、東京大学物性研究所極限物性部門超高压 助手。1991年から1年間文部科学省在外研究員として米国アルゴンヌ国立研究所客員研究員併任。1996年、日本大学文理学部物理学専任教師、1998年同助教授、2006年より現職。

大学卒業後、高圧下の磁性体の物性を研究、1986年に東京大学物性研究所に移ってからは、高温超伝導フィーバーが起こる超伝導物質の圧力効果をテーマに研究。銅酸化物系の超伝導物質の圧力効果の知見から、2006年より鉄系高温超伝導物質の研究を始める。超高圧の物性実験では、国内有数の技術を誇る。周期表などを見つめながら、室温超伝導体の探索をめざしている。

高圧下で物性が変化する超伝導物質

ND — 高圧になると臨界温度が上昇するのは、なぜでしょうか？

高橋 — 超伝導は、何の抵抗もなく、ある方向に電子が流れていることをいいます。このとき、本来反発し合う電子がペアを作り、あたかも1つの粒子のようにふるまっているのです。物質の格子の間を1つの電子が移動するとき、奪われたエネルギーを、もう1つの電子が奪い返すことで、全体のエネルギーを保つわけです。これが超伝導の仕組み（理論）です。

オキシニクタイト化合物は、ランタン-酸素 (LaO) 層と鉄-ヒ素 (FeAs) 層が交互に積み重なる層状構造をしています。この鉄-ヒ素の層が、超伝導を担っていると考えられています。この層を電子が流れているのです（図2）。この現象は、同じ層状構造の銅酸化物系で超伝導を担う銅-酸素平面に相当します。超伝導になるには、 FeAs 層に多くの電子が集まらなくてはなりません。そのため酸素の一部をフッ素イオンで置き換えることで電子を注入しているのです。圧力をかけるということは、物理的な原子間距離を縮めることです。つまり LaO 層と FeAs 層の距離が縮まり、電子が FeAs 層に移動し、臨界温度が高くなると考えられます。逆に圧力を上げ過ぎると、電子のペアができにくくなり臨界温度が下がりますが、詳細はわかりません。

ND — 今後の研究の展望はどうですか？

高橋 — 超高圧の実験から、 La^{3+} をイオン半径の小さい元素に置き換えると、圧力をかけなくても臨界温度が上昇する可能性があります。実際に中国の研究チームは、イオン半径の小さいプラセオジム (Pr^{3+}) やサマリウム (Sm^{3+}) を含む物質で、50Kを超える物質合成に成功したとの報告があります。世界的な競争は激化しており、今後の発展が楽しみといえます。

みえない性質を引き出すおもしろさ

ND — その中で、超高圧実験は大きな役割を果たしますね。

高橋 — 超伝導物質の性質を調べるのはいくつか方法がありますが、通常は構成する元素を一部置き換え、臨界温度などの性質がどのように変化するかをみます。超伝導メカニズムの解明、新たな超伝導物質の開発に役立つわけです。一方、超高圧下の実験は、単純に体積が減少し原子間の距離が縮むだけで、元素の置き換えのように結晶の乱雑さを増やす効果を考慮せずに物質を調べることができます。今回、新たに

合成された物質を、いち早く超高圧下で測定することで、銅酸化物系に次ぐ高い臨界温度を記録し、物質開発の新たな指針を示すことができました。常圧では半導体だった銅酸化物系が、圧力下で金属、超伝導物質になるものもあり、オキシニクタイト化合物でも同様の現象が起こりうる考えられます。圧力実験は、非常に有力な手段になると思います。

ND — なぜ高圧下の研究に興味をもたれたのですか？

高橋 — 圧力をかけて物質の性質を調べる方法は、単純そうでいて、技術的には大変です。圧力発生領域をなるべく小さくすればするほど、高い圧力が得られますが、反面、物理測定の方法は極めてむずかしくなります。このように高い圧力を発生させる技術と、精密な物理測定を行う技術を自分で工夫して研究を進めるところが大変おもしろい。常圧では考えられない物質の特性を高圧で見つけるのは、大きな喜びがありますね。大学に入學する前はテレビやラジオの仕組みに関心があり、大学で物理学を選びましたが、大学で高圧下の物性に興味をもったのが始まりです。もともと高圧下の磁性体の研究をしていましたが、1986年から銅酸化物系超伝導物質の研究に移行し、未知の分野に挑んだわけです。

ND — 超伝導物質の実用化はどうですか？

高橋 — 超伝導物質は、金属系のニオブ系超伝導材料などはすでに電磁石の線材として実用化され、リニアモーターカーやMRIなどで使用されています。科学的には未知のフロンティアが多く、超低損失送電など省エネ、環境問題にも貢献する可能性は広がっています。大きさにいえば、人類の生き残りのかぎを握るかも知れません。金属系の超伝導物質の最も高い臨界温度は、青山学院大学の秋光純教授らが2001年に発見した2ホウ化マグネシウムです⁴。日本人は、こうした材料科学の研究では世界の最先端を走っています。高温超伝導に関する日本発の画期的な成果を出せたらと思います。

ND — ありがとうございました。

聞き手は、長谷川聖治（読売新聞科学部記者）。

(注) *Nature*掲載時、オキシニクタイト化合物の表記は、「 $\text{LaO}_{1-x}\text{Fx}\text{FeAs}$ 」としていましたが、高橋教授らは、国際純正応用化学連合(IUPAC)の基準に従い「 $\text{LaFeAsO}_{1-x}\text{Fx}$ 」に改めました。

1. Takahashi H. et al. *Nature* **453**, 376-378 (2008)
2. Kamihara Y. et al. *J. Am. Chem. Soc.* **128**, 10012-10013 (2006)
3. Kamihara Y. et al. *J. Am. Chem. Soc.* **130**, 3296-3297 (2008)
4. Nagamatsu J. et al. *Nature* **410**, 63-64 (2001)



左から石崎さん、福井さん（昨年8月）。

「カオス」という言葉を聞いたことのない人は少ないと思うが、正確に説明できる人はそう多くないのではないか。語源はギリシア神話に登場する神の名前になり、神であるカオスは何もない世界で、ガイヤやエロスといった別の神を次々に生んだとされている。今では「混沌」や「無秩序」を意味し、科学的には「決定論的な力学系にみられる不規則かつ複雑な軌道」などと定義されている。

「ボールを投げる」「振り子を左右に揺らす」といった力学的な運動は、初期条件と境界条件が決まりさえすれば、その後にみせる運動も決まるため、動きを確実に予測することができるところが、水を入れた鍋を熱したときに底から沸き上がる泡や、海岸に打ち寄せる波、風に吹かれる木の葉などの動きはカオス現象の一種で、その動

単純な仕組みを使って複雑な現象をとらえる、振り子のカオス研究

長崎県立長崎西高等学校（平成17年度SSH指定校）

自然現象、社会の動き、自分や他人の思考など、私たちの日常は、不確実なもの、でたらめなもの、結果の予測が困難なものであふれている。これらのなかには「カオス現象」と総称されるものが多く、物理学や数理科学の研究テーマの1つにもなっている。長崎西高校の石崎貴大さんは、振り子を上下に2つつないだ「二重振り子」の運動を考察することなどから、単純な仕組みでもカオス現象が示される可能性のあることを明らかにした。

きを予測することは不可能だ。初期条件のごくわずかなちがいが、その後の運動に大きく影響してしまうからである。

二重振り子の運動

現在、長崎西高校物理部SSH物理班に所属する石崎貴大さんは、昨年「二重振り子」の不思議な動きを見てカオス現象に興味をもったという。二重振り子は、軽い棒の先端におもりを取り付けた振り子を2つ接続しただけの単純な装置。片方の振り子が左右に揺れたり、回転すると、その動きにつられて、もう片方の振り子も左右に揺れたり回転したりする。素人目にも、2つの振り子の動きがバラバラで、不規則であることがわかる。簡単な仕組みで「複雑な動き」を観察できることから、二重振り子は中・高校生向けの科学実験でもしばしば使われるようになっている。

「実は、これまでの研究では、複雑な動きをみせる現象には複雑な条件が必要だとされてきました。ところが、コンピュータを用いた最近の解析で、単純な条件でも複雑な動きをみせる現象、すなわちカオスが存在することがわかつてきました」と石崎さん。さっそく、物理班のメンバーで昨年3年生だった福井教文さんとの2人で、二重振り子が「単純な条件で示すカオス現象」に本当に相当するかどうかを確かめてみるとした。

ロジスティック写像に当てはめると

石崎さんは、水道栓からの水滴の滴りや生物の個体数の変化といったカオス現象を説明することができるとされる「ロジスティック写像」に着目した。この式では、変数「 X_n 」と「 X_{n+1} 」との関係を表すグラフ（リターンマップ）が山型を示した場合にカオス現象であると判断されることから、石崎さんらも「山型のリターンマップ」をカオス現象の指標として用いることにした。

次に、上の振り子と下の振り子でおもりの重さや棒の長さの比率を変えたさまざまな二重振り子について、ひとつひとつをパソコン上でシミュレーションしてみた。そして、下の振り子の軌跡を示すデータから、その水平X座標のピーク値のみを百数十個選び出し、そこからリターンマップを作成した。

その結果、上下の振り子の長さや質量が極端に異なる場合のリターンマップ

文系・理系を問わないSSH活動

ひと口にSSH指定校といっても、「理系の学生だけが参加する」「クラブ活動で行う」「1、2年生だけが行う」といったように、その活動方法は多彩である。長崎西高校の場合は、理系・文系を問わず、全生徒がSSHの何らかのテーマに取り組んでいるのが特徴だ。「これから科学技術社会では、文系理系を問わず科学的リテラシーが必要だ」との考え方からだという。現在は、石崎さんらのカオス研究のほかに、化学分野で「有機合成の化学」、生物分野で「小動物の研究」、地学分野で「長崎地域の気象現象の解析」など、合計37テーマの研究を進めている。

「複雑系の研究は今後の応用が期待されており、石崎君たちには果敢に挑戦してもらいたい」。SSHの担当を務める川上洋一郎教諭は、そう話す。一方、長崎西高校の生物班では、全国のSSH校と協力して「乾型耳垢型遺伝子の全国地図作成に関する研究」を進めており、現在、日本人類遺伝学会で発表するためのDNA分析を急いでいる。

「すぐれた理数的資質をもつ生徒に、さらに高度な科学技術教育を施したい」。そう考える川上教諭は、適切な指導と助言のために自らも積極的に学ぶ日々を送っている。

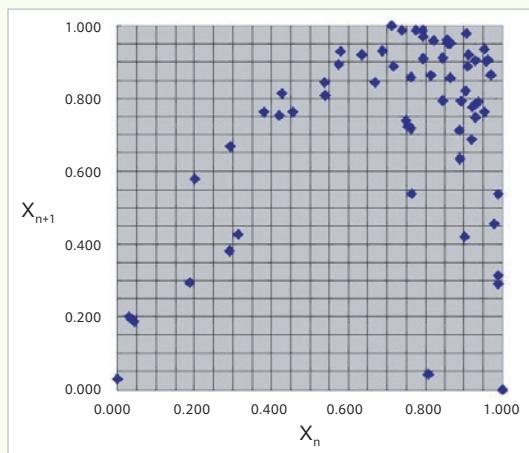


図1 二重振り子で、上の振り子を長さ0.1m・重さ0.1kgに、下の振り子を長さ0.2m・重さ0.2kgにしたときのリターンマップ。カオス現象であることを示すきれいな山型になっている。

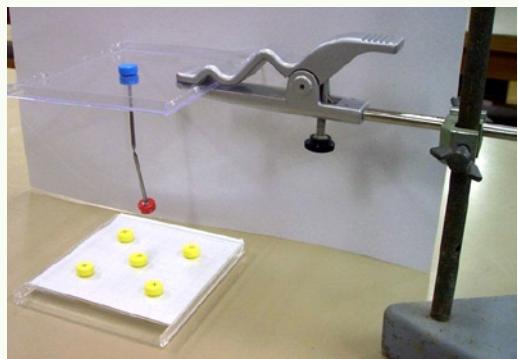


図2 おもり(赤)に磁石を用いた磁石振り子の実験装置。おもりの下の平面に複数配置された別の磁石(黄)の影響を受けて複雑な運動をする。

は直線的になりカオス性は小さいが、両方の振り子の長さや質量同じ程度にすると、山型に近いリターンマップになることがわかった。「特に、上の振り子を長さ0.1メートル・重さ0.1キログラムに、下の振り子を長さ0.2メートル・重さ0.2キログラムにすると、180個のX値データがきれいな山型を描くことがわかりました」と福井さん(図1)。条件さえ整えれば、単純な装置である二重振り子もカオス現象を示すことを明らかにできたのである。さらに石崎さんは、おもりに磁石を用い、その下の平面に複数の別の磁石を配置しておもりを運動させる「磁石振り子」を製作し(図2)、その軌跡をコンピュータに取り込んで解析してみた。おもりの水平X座標のデータは、二重振り子と同様なリターンマップを示し、磁石振り子でもカオス現象を示す可能性が高いことがわかった。

パイこねで初期値敏感性を確認

一方で石崎さんは、白い粘土に赤い粘土を練り込むときの赤い粘土の位置の変化(写像)がロジスティック写像と同じような三角の山型(テント型)のリターンマップを示すことを利用し、カオス現象が初期条件にどのくらい左右されるかについて検討した。実験はごく単純なもので、白い粘土の一部分に赤い粘土を挟み込んだ太さ3センチメートル、長さ10センチメートルほどの角棒を用意し、手でこねて粘土を2倍に引き伸ばし、中央で2つに折り返す操作を繰り返すというもの。「当然ながら、

このパイこねのような操作を何度も繰り返すと、赤い粘土が全体に何層にも重なって分布するようになります。つまり、最初の赤い粘土の位置がほとんど同じでも、最終的な分布は広くバラバラで、長期予測がまったく不可能のように見えます」と福井さん。

シミュレーション実験では、三角の山の高さを変化させながら、ひとつひとつ確かめた。リターンマップの山の高さが高いということは、パイこね操作の「引き伸ばしを大きくすること」に相当する。引き伸ばしを大きくする(つまり、山の高さを高くする)と、カオス性が大きくなり、引き伸ばしの程度がカオス現象の初期値敏感性を生じさせていることが確認できた。

こうして石崎さんは、高い山型のリターンマップで表される写像が、初期条件の微妙な差によって結果が大きく異なるカオス現象を示す可能性が高く、そのような現象を長期にわたって結果を予測することは極めて困難であるということを示すことに成功した。

苦戦した専門用語の理解

カオスの概念を理解するには、非線形グラフの読み方やフーリエ解析、フラクタル次元といった、高校の数学のレベルをはるかに超えた知識が必要である。今回、石崎さんは大学の研究者には協力を求めなかったというが、代わりに顧問の川上洋一郎教諭から懇切丁寧な説明を受けたという。「先生には、専門書を一行読むたびに質問しているような

状況でした。自分が理解するだけでもたいへんな内容でしたが、研究成果を発表するにあたって、一般の人々に説明する苦労はそれ以上でした」。石崎さんはそうコメントするが、メンバーは2007年8月に開催された平成19年度スーパーサイエンスハイスクール生徒研究発表会において、平易な解説で、かつ堂々としたプレゼンテーションを行った。

「今回の成果が私たちの生活にどのように応用できるのかを考えるところまではできませんでした」。福井さんはそうコメントするが、カオスの概念に基づいた解析は、気象予測、株価予測、脳機能計測、暗号技術など、さまざまな方面で応用されようとしている。「今回の研究で、今まで解明できなかった複雑な現象が、実は単純な法則に準じているとわかる日がくるのかもしれない」と、カオスの将来的な可能性を感じました。そう話す石崎さんは今年2年に進級し、現在も研究を続けている。次なる課題は、「フーリエ解析」や「リヤブノフ指数」、「サロゲートデータ法」といったリターンマップ以外の判定法を学習し、再検討を行うとともに、「流れる水」や「非線形電子回路」のカオス研究に取り組むことであるという。

将来の夢は、大学の工学部に進学して航空機や宇宙機の研究をするのが夢だという石崎さん。さまざまなところで、カオス研究の体験が役立つことになるだろう。

執筆：西村尚子(サイエンスライター)

北京オリンピックや高校野球など、スポーツ界ではこの夏も、さまざまなライバル対決が繰り広げられるでしょう。

今回は、ライバルを欺くためにちょっとずるい戦法を使っているかもしれない、ワオキツネザルについての記事を取り上げます。

NEWS nature news

語数：485 words 分野：動物行動・生態

STOCKPHOTO

Published online 24 June 2008 | *Nature* | doi:10.1038/news.2008.912

Lemurs handed advantage by smelly trick

Primates have distinct scents on each hand, perhaps to confuse rivals.

<http://www.nature.com/news/2008/080624/full/news.2008.912.html>

Matt Kaplan



Lemurs use multiple scents to try and gain the upper hand.

1. Anyone who's watched how a dog treats a lamp-post would think that scent-marking is among animals' least sophisticated tricks. But new research shows that, for lemurs, things are a bit more complex.
2. These primates produce two distinct scents - one each hand - perhaps to dupe rival troops into thinking they are more numerous than they are.
3. Leonardo Dapporto at Florence University, Italy, analysed the **secretions** released by seven male ring-tailed lemurs. His aim was to discover how much information a single lemur's scent could **yield**.
4. Dapporto analysed the composition of the secretions he collected and compared their **make-up** at different stages of their **breeding cycle**.
5. As Dapporto reports in *Naturwissenschaften*, not only were the chemical signatures of the individual lemurs quite different from one another, but the secretions produced by each of the lemur's two hands were often as distinct from one another as from another individual.

Striking scents

6. "It is striking that the lemurs produce scents with unique chemical composition from the same gland type on either side of the body," comments Ron Swaisgood, a **behavioural ecologist** at the Zoological Society of San Diego, California. "It may be the first time anyone has ever looked for such **bilaterally** distinct odours."
7. "Despite the **multitude of** bilateral glands among mammals... to my knowledge no one has **looked at** the similarity of their odours. This is a good first step," adds biologist Jill Mateo of the University of Chicago.

8. However, Mateo cautions that with such a small sample size, further study is needed. "With a larger, **more representational** sample, there might not be compositional differences between the **glandular** odours," she says.
9. Even so, the finding raises questions about why a 'double-scented' trait would appear. The simplest answer is that having two scents is merely a way of creating a more complex, and thus more unique and easily **identifiable**, smell that other lemurs can use for recognition. But something more might also be happening.
10. "Are double-scented lemurs perceived as two distinct individuals?" asks Swaisgood. Dapporto thinks **this might be the case** but **left such commentary out of his paper as hard evidence** for this theory has yet to be collected.

Group dynamic

11. Lemurs live in groups that are **in competition** and use scent to mark their territories, Dapporto explains. They probably **assess** the strength of neighbouring groups by the number of different individual scents found at boundaries, and make decisions on whether to invade based upon what they smell.
12. "Having two individual scents may represent a trick for giving a **false signal** of greater numbers," Dapporto suggests.
13. This would not be the first example of an animal using deception to **intimidate a rival**. "Frogs use deep-pitched vocalizations to sound bigger to rivals, giant pandas do handstands to deposit their scents high above the ground, and burrowing owls mimic the rattle of rattlesnakes when threatened. Animal conflict is all about **bluffing**, **probing** and detecting cheaters," comments Swaisgood.

Topics**動物のにおいづけ**
(マーキング行動) とは?

自分の「におい」をつけて、個人や群れを識別したり、所有を主張したりする、嗅覚によるコミュニケーション行動。哺乳類に多い行動だが、昆虫類にもみられる。マーキングには、尿、糞、皮脂腺の分泌物などを用いる。最も一般的なのは縄張りの主張で、その場合、なるべく高い位置に分泌物

をマーキングしたり、体を最大限伸ばして背中を木にこすりつけたりして、「体が大きいこと=強さ」をアピールすることがある。雄イヌが足を高く上げて電柱におしつけるのも、この理由による。また、家族や群れを識別するのに、自分の子や交尾の相手にマーキングしたり、群れのメンバーにリーダーがマーキングしたりする。そのほか、マーキングされた分泌物により、相手に発情時期を知らせることができる。



日光浴をするワオキツネザル。雄は両手首に特殊な分泌腺をもち、その分泌物を木の枝などにつけて縄張りを主張する。

Science key wordsタイトル **lemur(s)**: キツネザル

ここではワオキツネザルを指す。学名は *Lemur catta*、英語名は ring-tailed lemur(s)。和名、英語名ともに、尾に白黒の輪模様があることに由来する。アフリカ東部のマダガスカル島の固有種で、体長 39 ~ 46 センチメートル、尾長 56 ~ 63 センチメートル、体重 2.3 ~ 3.5 キログラム。昼行性で、樹林地帯に雌上位の 5 ~ 20 頭くらいの群れを作り生活している。木の葉、果実、昆虫類などを食べる。行動範囲が広いので、森林伐採が生息地域の減少と分断を引き起こし、生息数の減少が危惧されている。

リード **primate(s)**: 灵長類

原猿（古いサル；キツネザル・メガメザル・ロリスなど）、新世界ザル（アメリカ大陸で進化したサル）、旧世界ザル（アフリカ・アジアのサル）、類人猿（ヒトに似た大型のサル）、ヒトが属するグループ。動物分類学上の正式名称は靈長目（Primates）という。約 200 種が現生している。ヒト以外の靈長類は、熱帯や亜熱帯に生息しており、北限のサルは青森県にすむニホンザルである。5 本指で親指がほかの 4 本と向き合っている、双眼・立体視できる目をもつ、色覚が発達している、大脳が発達しているなどの特徴が挙げられる。

3. **secretion(s)**: 分泌（物）

分泌とは、細胞が代謝産物を細胞外へ排出すること。通常、代謝産物が不要物の場合「排出」といい、用途のある場合を「分泌」として区別する。体液中に放出する内分泌（ホルモンなど）と体外や体腔内へ放出する外分泌（汗、消化液、クモの糸など）がある。

4. **breeding cycle**: 繁殖周期

動物が交尾・産卵または出産・育児を行う周期。動物によって周期は異なる。交尾の時期には、生殖器官の変化、体色の変化、ホルモンや尿などの分泌物の変化などがみられる。

6. **behavioural ecologist**: 行動生態学者

行動生態学（behavioural ecology）の研究者。行動生態学とは、動物の採餌行動、繁殖行動、社会行動などを研究する学問。行動生態学では、こうした行動様式の進化的背景とともに、機能面の解明をめざしている。

8. **glandular**: 腺（gland）の

分泌を行う細胞の集団を腺という。外分泌では、分泌物を一時的に貯留する腔所を囲む腺細胞に加え分泌物排出のための導管も含める。

見出し **group dynamic**: 集団力学

集団における動物の思考や行動を研究する学問。集団化することで個々の行動様式と異なる行動や意識が生まれることを、心理学的側面から理解しようとする。

Words and phrasesタイトル **handed advantage**: 「優位に立つ」

advantage（優位性）を handed（手渡される、与えられる）こと。「手」のにおいて優位に立つということで handed advantage（手による優位性）という意味、また、トランプ用語 hand advantage（手札の枚数が多いことで、相手より有利になること）という意味が込められているとも解釈できる。

リード **distinct scents**: 「独特のにおい」写真下 **gain the upper hand**: 「優位に立つ」2. **to dupe A into ~ ing**: 「A をだまして～させる」3. **yield**: 「生じる」「産み出す」4. **make-up**: 「組成」「構成」

composition の言い換え。

見出し **striking**: 「際立った」「目立った」「著しい」

6. の “It is striking that ~” は、「(～は) 注目すべきだ」といった意味になる。

6. **bilaterally**: 「左右で」「双方で」

bilateral は「左右の」「双方の」という意味。

7. **multitude of**: 「多数の」「数多くの」7. **to my knowledge**: 「私の知るかぎり」7. **look(ed) at**: 「調べる」

look at には、「見る」「注目する」「目を向ける」以外にも、「調査する」「分析する」「測定する」といった意味がある。

8. **more representational**: 「より代表的な」

representational には「具象的」「写実的」といった美術用語としての意味もあるが、名詞 representation がもとになった形容詞という成り立ちから、「representation に関する」「representation の性質をもつ」という意味がある。

9. **identifiable**: 「識別可能な」10. **this might be the case**: 「そうであるかもしれない」

この case は「実情」「事実」という意味。

10. **left such commentary out of his paper**: 「論文中で、そのような解説をしなかった」

leave A out of B で、「A を B から外す」「A を B に入れない」という意味。commentary は「解説」「論評」「注釈」。

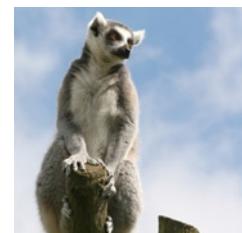
10. **hard evidence**: 「確かな証拠」11. **in competition**: 「競争関係にある」11. **assess**: 「評価する」「見積もる」12. **false signal**: 「偽りの信号」「間違った信号」13. **intimidate a rival**: 「ライバルを威圧する」13. **bluffing**: 「はったり」13. **probing**: 「探しを入れる」

NEWS nature news**参考訳**Published online 24 June 2008 | *Nature* | doi:10.1038/news.2008.912**うさんくさい手でライバルを欺くキツネザル**

ワオキツネザルの左右の手のにおいに違いがあるのは、ライバルを欺くためなのかもしれない。

<http://www.nature.com/news/2008/080624/full/news.2008.912.html>

マット・キャプラン



1. イヌが電柱をどのように利用するかを見たことのある人なら誰でも、においづけ行動は、動物の極めて素朴な習性であると思うだろう。ところが、キツネザルのにおいづけ行動は、それよりも少し複雑であることが新しい研究で明らかになった。
2. キツネザルは左右の手から 1 種類ずつ、合計 2 種類のにおいを出す。これは、ライバルの群れを欺いて、自分たちの群れのほうが大きいと思わせるためなのかもしれない。
3. フィレンツェ大学（イタリア）の Leonardo Dapporto は、7 匹の雄のワオキツネザルが放出する分泌物を分析した。その目的は、1 匹のワオキツネザルのにおいから、どれだけの情報が生じてくるのかを調べることにあった。
4. Dapporto は、集めた分泌物の組成を分析し、ワオキツネザルの繁殖周期の異なる段階における分泌物の組成を比較した。

5. Dapporto が *Naturwissenschaften* 誌に発表した論文によると、ワオキツネザルの分泌物の化学的特徴にはかなりの個体差があるだけでなく、同一個体の右手と左手から放出する分泌物にもしばしば個体差ほど大きな差があるという。

際立つにおい

6. 「ワオキツネザルが、体の左右にある同じ型の腺から固有の化学組成のにおいを作っている点に注目すべきです」と、サンディエゴ動物学協会（米国カリフォルニア州）に所属する行動生態学者の Ron Swaisgood はいう。「このように体の左右で異なるにおいを探求した研究は、今回が初めてかもしれません」。
7. 「哺乳類の腺には、体の左右に分布するものが数多くあります。私の知る限り、そのにおいの類似性を調べた研究者はいなかったと思います。これは有効な第一歩です」。こう付け加えるのは、シカゴ大学（米国イリノイ州）の生物学者 Jill Mateo である。
8. ただし Mateo は、今回の研究の標本サイズは小さ過ぎるため、さらなる研究が必要であると警告する。「標本サイズを大きくして、母集団がより正確に代表されるよう

になると、腺から発せられるにおいの組成の差は認められなくなるかもしれません」と彼女はいう。

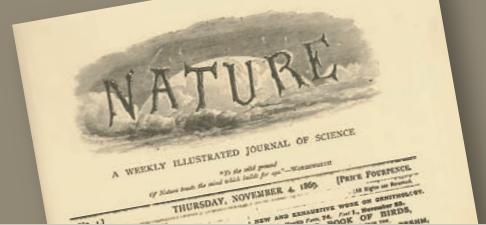
9. たとえそうであっても、今回の知見は、「2 種類のにおい」という形質が生じてくるのはなぜなのかという問題を提起する。最も単純な答えは、1 匹のワオキツネザルが 2 種類のにおいを発することで、より複雑で、一意性が高く、識別しやすいにおいとなり、ほかの個体に認識されやすくなるからであるというものである。しかし、ほかの可能性も考えられる。
10. 「2 種類のにおいをもつ 1 匹のワオキツネザルは、2 匹の個体として認識されるでしょうか」と Swaisgood は問いかける。Dapporto は、その可能性もあると考えているが、確かな証拠が得られていないため、今回の論文では、そのような解説は差し控えた。

集団力学

11. Dapporto の説明によると、ワオキツネザルは群れを作り生活しているが、群れどうしは競争関係にあるため、においを使って縄張りのマーキングをしているという。おそらくワオキツネザルは、縄張りの境界に残っているにおいの数から近隣の群れの勢力を踏みして、それに基づいて相手の縄張りに侵入するかどうかを決定していると考えられる。
12. 「2 種類のにおいをもつことは、群れにいる仲間の数を実際よりも多く見せかける偽りの信号を送るためのトリックなのかもしれません」と Dapporto は話す。
13. ワオキツネザル以外にも、ライバルを欺いて威圧しようとする動物の実例はいくつも知られている。「カエルは、ライバルに対して低いピッチで鳴くことで、実際よりも大きく思わせようします。ジャイアントパンダは、逆立ちをして、高い場所においをつけます。アナクロウは、身の危険を感じると、ガラガラヘビのガラガラ音のような鳴き声を発します。動物の闘争は、はったりをかけ、探りを入れ、いかさまを見破ることに尽きます」と Swaisgood はいう。

- ◆ p.34 写真下の訳例：
ワオキツネザルは、複数のにおいを使うという手でライバルを欺こうとする。

The complete *Nature* archive is now available online



Nature's archive is the history of science

Since launch in November 1869, *Nature* has published many of the most significant and influential papers in modern science.

Articles are published in PDF with HTML abstracts. You can search by author, affiliation or citation, or simply browse by issue. All articles can be searched from www.nature.com.

Full text access to the article is available with a site license. Ask your Librarian or information manager about site license access. Individual articles can also be purchased online.

Are you interested in *Nature's* history?

For video interviews, articles, and timelines, visit www.nature.com/nature/history.

www.nature.com/nature/archive

1869
Issue 1 of *Nature*

1897
Discovery of the electron

1932
The splitting of the atom

1960
Theodore Maiman builds the first laser

1968
First paper on a pulsating star

1983
Gottlieb's AIDS paper

1992
300,000 year-old skull remains are found

1995
First discovery of a planet outside our Solar System

1998
A coelacanth is rediscovered

2000
Alzheimer's pathway identified

2002
Skull remains are found in Africa

2004
Nature publishes answers by presidential candidates Bush and Kerry on a range of science related issues

1896
First x-rays observed

1925
Discovery of an early hominid

1953
Watson and Crick decipher the structure of DNA

1966
Wilson's paper on plate tectonics

1975
Creation of the first monoclonal antibodies

1985
Discovery of a hole in the ozone layer

1994
Nicolaou achieves total synthesis of Taxol

1996
Birth of Dolly the sheep

1999
The discovery of the oldest playable flutes

2001
The Human Genome is published in *Nature*

2003
New insights into Autoimmunity

2005
Scientists create world's smallest brushes

nature publishing group npg

「ネイチャー・ダイジェスト」へのご意見やご感想、ご要望をメールでお寄せください。

メールをお送りいただく際には、お名前・ご職業・「ネイチャー・ダイジェスト」購読年数のご記入をお願いいたします。掲載内容についてのご意見・ご感想は、掲載号や記事のタイトルを明記してください。お寄せいただいた内容は、今後の本誌の編集に活用させていただきます。皆様のメールをお待ちしております。
宛先 : naturedigest@natureasia.com (「ネイチャー・ダイジェスト」ご意見係)

研究者のための 理系人材キャリアセミナー



自然科学・工学系における「ポスドク余剰問題」をはじめ、理系研究者を取り巻く就職環境は厳しい現状が続いている。一方、優秀な理系人材を必要とする研究機関、企業、人材支援企業からの需要も高まりつつあります。そこで NPG ネイチャー アジア・パシフィックでは、キャリアセミナーを開催し、国内における理系人材の流動化を推進し、研究者と企業とのマッチングをバックアップいたします。本セミナーでは、理系学生やポスドクをはじめとする研究者と、人材支援企業、求人企業との出会いの場を提供するとともに、学界をはじめとする産業界のさまざまな分野の第一線で活躍されている方々の講演を通じて、多角的で柔軟な視点によるキャリアパス構築を支援いたします。

開催日：

平成 20 年 9 月 6 日 (土)
10:00-17:00

場所：

池袋サンシャインシティ
コンベンションセンター
展示ホール D

対象：

理系大学院生、ポスドク、研究者

参加費：

無料 (定員 300 名)

Program

- | | |
|--------------|---|
| 10:00 | 受付 |
| 10:25 | 開会挨拶 |
| 10:30 | 講演 ' A career in scientific publishing and editing'
Nature Photonics アソシエートエディター
レイチェル・ウォン
(英語講演) |
| 11:30 | 登録・個別面談
ネットワーキング |
| 13:30 | 講演「 バイオベンチャー起業家が語るベンチャーが求める人材 」
オンコリスバイオファーマ株式会社
代表取締役社長 浦田泰生 |
| 14:20 | 講演「 バイオ業界の現状と未来 」
野村リサーチ・アンド・アドバイザリー株式会社
投資部 シニアマネージャー 辻本研二 |
| 15:10 | 講演「 多角的なキャリアパスについて 」
株式会社リバネス 代表取締役 丸幸弘 |
| 16:00 | 登録・個別面談
ネットワーキング / アンケート集計・抽選会 |
| 17:00 | 閉会 |

お申し込みは下記ウェブサイトから

www.natureasia.com/japan/jobs/careerseminar2008