

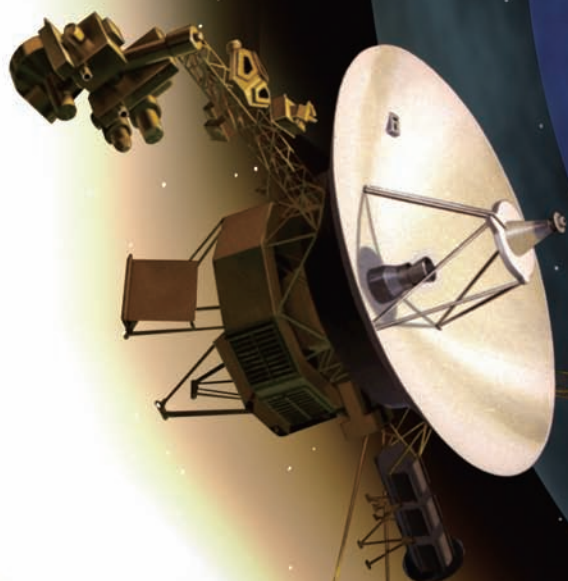
nature DIGEST

日本語編集版
SEPTEMBER 2008
VOL. 05, NO. 9

9

[http:// www.nature.com/naturedigest](http://www.nature.com/naturedigest)

太陽圏から離れる ボイジャー 2 号



nature
café

科

nature café

科学のタベ



第 1 回 Nature Café

「Climate Change (気候変動)」

レポートをウェブサイトを更新しました

参加者とパネリスト達とのディスカッションを動画で！

当日の Nature Café の様子が、写真、Video 等でご覧いただけます。

パネリスト

江守 正多／国立環境研究所 地球環境研究センター 温暖化リスク評価研究室 室長

藤田 貢崇／科学ジャーナリスト、科学翻訳者

オリーブ・ヘファナン／Nature Reports Climate Change エディター

Nature Café 詳細は

www.naturejpn.com/nature_cafe

太陽圏から離れるボイジャー 2 号

表紙: HENRY KLINE / JPL

HIGHLIGHTS

02 vol. 454 no.7203, 7204, 7205, 7206

EDITORIAL

06 試験管ベビーに続く命

NATURE NEWS

08 睡眠不足は偽りの記憶を生み出す

09 太陽光の取り入れを助ける有機色素

NEWS FEATURE

10 中国の展望

David Cyranoski

16 ヒトであること

Bruce Lieberman

COMMENTARY

20 定年退職制度を引退させよ

Peter Lawrence

SNAPSHOT

24 地球を色分けする

Katrina Charles

NEWS & VIEWS

25 ヘビの分節時計は速く進む

Freek J. Vonk & Michael K. Richardson

28 ボイジャー 2 号が乗り越えた衝撃

J. R. Jokipii

30 追悼 — 戸塚洋二 氏

Henry W. Sobel, 鈴木洋一郎

JAPANESE AUTHOR

32 線虫の学習異常とアルツハイマー病の
関連タンパク質が結びついた！

— 飯野 雄一

西村 尚子

英語で NATURE

34 Phoenix lander tastes its first ice

フェニックス探査機が火星の水を初めて
味わう

www.nature.com/naturedigest

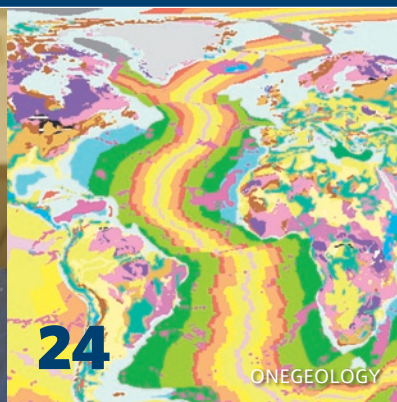
© 2008 年 NPG Nature Asia-Pacific
掲載記事の無断転載を禁じます。



DAVID PARKINS



B. LIEBERMAN



ONEGEOLOGY



NASA / JPL-CALTECH /
UNIVERSITY OF ARIZONA



中国の挑戦：

一家一子政策／超大国の統計／クリーンコール技術／スーパー
パワーリレー／底辺の真実を伝える地方の声

CHINA'S CHALLENGES:

One-child legacy / Stats of a colossus / Clean coal
technology / The superpower relay / Local voices give
ground truth

オリンピックが開催される今年、中国はあらゆる方面から注目を集めている。今やドイツを抜きつつあり、上位にあるのは米国と日本のみという、世界で第3の経済大国への道を歩む中国は、科学の分野でも超大国となろうとしている。今週の *Nature* も、科学の分野で起こっていることに重点を置きながら、中国の動向を取り上げる。特集の内容については、Editorial の目次パネルや www.nature.com/news/specials/china/ をご覧いただきたい。今回の特集では、クリーンコール技術の展望やチベットに迫る気候変動の危険などに加えて、J Needham の功績についても振り返る。Needham はほぼ 50 年にわたって中国の主張を擁護し続け、影響力の大きい「中国の科学と文明」シリーズの編集に携わった。

Editorial p.367, News Features pp.388, 393, Essay p.409 参照

遺伝：減数分裂の「ホットスポット」地図
Meiosis 'hotspots' mapped

減数分裂は、生殖に使われる配偶子が作られる細胞分裂で、その際に各姉妹染色分体の DNA 鎖の間で相手の交換が起こる。この組み換えによって生じる可能性があるのは、乗り換え型組み換え体と非乗り換え型組み換え体の 2 種類である。これまでに乗り換えについてはゲノム全体での分布が調べられていたが、非乗り換えについては、まだデータがなかった。これは、組み換わった DNA の両側にあるマーカーが交換しない場合に同定がむずかしいからである。今回 Mancera たちが、出芽酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*) の組み換え産物すべてを調べた、画期的な高分解能地図を作製した。この地図から、乗り換え、非乗り換えそれぞれについて起こりやすい特異領域があることが明らかになった。

Article p.479, N&V p.421 参照

環境：ヒ素汚染の源がわかった

Arsenic source revealed

史上最大級のものになりかねない大規模汚染が発生中である。今、東南アジア全域で非常に多くの人々が、ヒ素で汚染された井戸水を飲んでいるのだ。ヒ素はヒマラヤが浸食されて生じた堆積物から自然に出てきたものだが、間隙水へのヒ素流出までの移動を支配する過程はまだよくわかっていない。これは、かんがいによる大規模な揚水で変化した地下水の流路が十分に解明されていないことが一因である。今回 Polizzotto たちは、水文学的測定と生物地球化学的測定を行い、最小限の擾乱しか受けていないカンボジアのメコンデルタでは、河川に由来す

る地表付近の堆積物からヒ素が流出し、数百年という時間スケールで地下の帯水層を通して再び河川に流入していることを明らかにした。この結果は、アジアのこのほかの主要なデルタについて、擾乱前の状態を解明するモデルとなる。

Letter p.505, N&V p.415, Author page 参照

植物生理：お熱いのが好きな植物

Some plants like it hot

植物は温血動物が発達させたような体温維持機構をもたないため、当然のことながら、葉による光合成活動は周囲と同じ温度で行われると考えられてきた。しかし、炭素同化中の温度と相対湿度の指標として木部セルロースの $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比を用い、39 種の樹木について樹冠の葉温を調べた研究から、この考え方が正しくないことがわかった。意外にも、すべての標本採取地点で葉温はほぼ一定となった。亜熱帯であろうと極域であろうと、植物が炭素を同化するときの葉温は約 21.4℃ だったのである。低温環境にあって温度を上昇させるように展開した枝は、周囲の温度が上昇するにつれて不利益になる可能性があることから、葉温は樹種分布の決定要因となっていることも考えられる。

Letter p.511, N&V p.422 参照

進化：雄バチたるべきか、雄バチたらずるべきか

Male bee or not male bee

ミツバチの性は、性染色体によって決まる性決定機構とは対照的な、単一遺伝子の対立遺伝子の組み合わせによって決まる。ミツバチ集団では、「マスター調節遺伝子」

である *csd* 遺伝子に 15 種類の対立遺伝子が知られている。雄のミツバチは、同じ種類の *csd* 対立遺伝子を 2 コピーもつ卵から生まれ、雌は異なる種類の *csd* 対立遺伝子を 1 コピーずつもつ卵から生まれる。このミツバチの性決定経路の新しい成分が同定された。*feminizer* (*fem*) とよばれるこの遺伝子は、雄になる経路と雌になる経路との切り替えスイッチとなっており、*csd* における対立遺伝子の違いを発生プログラムに結びつける役割をしている。ハチ 5 種の遺伝子配列の比較から、*csd* は、現在ではその「家来」となっている *fem* 遺伝子から遺伝子重複によって最近生じたもので、ダーウィン流の適応進化によって新しい機能を獲得したことが示唆される。

Letter p.519, Author page 参照

工学：柔軟なナノチューブ回路

Plastic nanotube circuits

折り曲げ自在なプラスチックシート上に形成された集積回路は、従来の材料から作られた回路よりも軽くて丈夫であるうえに、曲げられるという便利さがある。有機小分子やポリマーから作られた半導体は、こうした用途に有望であることが示されてきた。しかし、今週号に報告されている新しい炭素系ナノ材料について、開発者たちは、エレクトロニクス用途に現在利用可能な材料より高い性能が見込まれると述べている。Cao たちは、プラスチック基板上で単層カーボンナノチューブを作るランダムネットワークで構成される小規模から中規模の集積デジタル回路を開発した。そのレイアウトは高い移動度と高いオン/オフ比を可能にするもので、得られたデバイスおよび回路（最高 100 個のトランジスターで構成される）はすぐれた電気的特性を示す。Cao たちの新しい膜は、特殊な家庭用電子機器、バイオセンシング、オプトエレクトロニクスなど幅広い用途に役立つだろう。

Letter p.495 参照

地球：四川地震の追跡調査

Sichuan quake follow-up

今年の 5 月 12 日に中国四川省を襲い被害を与えたマグニチュード 7.9 の大地震は、当該地域の地殻内応力を大幅に再配分したと考えられる。T Parsons、C Ji と E Kirby は、四川盆地とその周辺地域の横ずれ活断層と衝上活断層で応力が顕著に増加していることを示す応力変化計算の結果を報告している。本震が起きてから数年から数十年後に余震が起きる可能性があり、活断層の直上にある大都市にとって、将来破壊が起きる可能性のある地域の特定は、防災努力を集中すべき地域を決めるのに役立つだろう。

Letter p.509 参照



歯から牙へ：牙の進化と現生ヘビ類の多様性

EVOLUTION BITES: Fang development and the diversity of modern snakes

ヘビについてのエボデボ研究が、ヘビの牙の進化に関する新たなモデルにつながった。現生のヘビの多くは、注射器のような牙を用いて毒液を獲物に注入する。牙は上顎の前部に位置する場合と後部に位置する場合があり、この2つの配置に進化的関連があるのかが議論されてきた。8種のヘビから得た96個の胚で、上顎の歯形成上皮を可視化することにより、「前牙」型と「後牙」型が形態形成上よく似ていることが明らかにされた。前牙は上顎の後部で生じて発生中に前方へ移動し、後牙は特定の領域で生じて移動しない。今回のモデルは、歯形成上皮の後部小領域が残りの歯列と発生的に分離され、それによって後方歯が独立に毒腺と直結して発達するようになったとするものである。この事象により、新生代には高等ヘビ類の大規模な放散が促進され、現生ヘビ類の高度な多様性が生じたと考えられる。表紙は、さやで包まれた牙が垂直に立った状態のラストクスリヘビ (*Vipera latastei gaditana*)。 Letter p. 630 参照

行動：「恐怖スイッチ」を切る

Tripping the 'fear switch'

多くの動物にとって、通常どおり大胆な、あるいは探索的な行動を行うのか、それとも慎重に防御的なふるまいをするかという切り替えは、生存にとって重要な手段である。この過程に、脳全体が果たす役割はよく知られているが、神経回路のレベルで何が起きているかはあまりよくわかっていない。「恐怖の消去」と「再発」とは、不快な結果を伴う刺激に対して学習した恐怖反応を捨て去ったり、あるいは再発させたりすることを指し、行動状態の変化に関する仕組みを調べる際の有力なモデルとなる。Herryたちは、扁桃体基底外側部にある2つのニューロン集団間の活動バランスの変化が、マウスで恐怖の強弱状態の切り替えを起こすことを示している。また、Likhtikたちはラットを使って、恐怖記憶を「捨て去る」仕組みについて報告している。これには、扁桃体基底外側部から情報を受ける扁桃体介在ニューロンが関与しているらしい。この研究では、不安障害の治療法となりそうな新しい方法が示唆されている。

Article p.600, Letter p.642, N&V p.589 参照

宇宙：タイタンにあるエタンの湖

An ethane lake on Titan

かつては、土星の衛星タイタンには、表面全体を覆う軽い炭化水素の海洋があると考えられていた。しかし、カッシーニ探査機によるタイタンへの40回の接近通過で、そのような海は存在しないことがわかった。だが、地球上の湖や海に似た表面地形は存在している。カッシーニの38回目の接近通過で得られた赤外分光データから、その説明になりそうな結果が得られた。タイタンの南極近傍にある湖状構造の1つであるオントリオ湖

(Ontario Lacus) のスペクトルと物理的外見から、この湖は液体エタンで満たされていて、そのエタンはおそらく、メタン、窒素およびそのほかの炭化水素と一緒に溶液状態で存在しているという考えが裏づけられる。

Letter p.607, N&V p.587 参照

考古学：アンティキティラの機械に残るオリンピックの記録

Olympic movement

アンティキティラの機械は、ばらばらになって海洋付着物にまみれた状態で見つかった2000年前の青銅製の歯車機構であり、1900年にギリシャのアンティキティラ島沖で発見された難破船から回収された。これは、世界最古の「コンピューター」とよばれることもあり、古代ギリシャ文化のすぐれた技術を垣間見ることができる。新しい報告では、この機械を使った食の予測方法、作製場所がおそらくコリントの植民地（アルキメデスの出身地のシラクサの可能性もある）らしいこと、そして古代オリンピックの時期が刻まれたダイヤルを備えていたことが明らかにされている。

Letter p.614, News p.561 参照

細胞：幹細胞の遺伝的制御

Genetic control of stem cells

ショウジョウバエのような遺伝学的に扱いやすい動物は、幹細胞機能を制御する遺伝子ネットワークを研究するための理想的なモデルである。高島茂雄たちは、ショウジョウバエの後腸幹細胞という新しい系について報告しており、この系は幹細胞一般の特殊化と制御の研究に役に立ちそうだ。腸管細胞が老化すると、自己複製能をもつ腸管上皮幹細胞 (ISC) によって作られた新しい細胞で置き換えられる。ショウジョウバエではこ

のISCが、腸の後腸増殖域 (HPZ) と名づけた狭い区域にとどまっている。HPZでの自己複製は、Wingless (ショウジョウバエのWnt相合体)、ヘッジホッグシグナル伝達経路によって、哺乳類の腸の場合と非常によく似たやり方で制御されている。

Letter p.651, N&V p.592 参照

疫学：数を頼りに広がるペスト

Plague spread by numbers

パーコレーション（浸透）理論は多孔性の媒質中をゆっくり流れる液体を扱う統計物理学の分野だが、一般的にもっと広げて、ランダムな系における長距離の連結形成を考察するのに使うことができる。この理論は特定の条件下での感染症の拡大にも応用できる可能性が示唆されていたが、これまで自然界での実例は報告されていなかった。このような拡大のしかたをすることがわかったのは、中央アジアに生息するオオスナネズミ集団での疫病（ペスト菌感染）である。ノミがペスト菌をオオスナネズミの1つの家族集団から別の家族集団へと運び拡散移動は、砂漠地帯の広大な生息域に比べれば小規模である。これは、ある地域における宿主オオスナネズミの家族集団の個体数密度が十分に高くなったときにだけ、そこにペストが浸透していく系とみなされる。

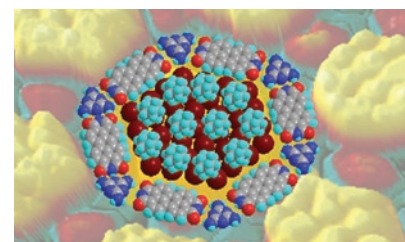
Letter p.634, Author page 参照

ナノテクノロジー：注文に応じて表面にパターンを作る

Patterns for nanotechnology

ナノテクノロジーでは、表面上にパターンを形成する際、一般的に以下の2つの方法のどちらかに頼る。すなわち、分子を超分子自己組織化させて水素結合した表面ネットワークを形成する方法か、自己組織化単分子層 (SAM) を析出させる方法のどちらかである。前者の超分子組織化は、ナノメートルスケールで正確なパターンが得られる点が魅力的だが、後者の自己組織化は、これまでになく柔軟に表面を機能化できる。Maduenoたちは、まず自己組織化表面ネットワークを形成した後、ネットワークの細孔内にSAMを析出することによって、両方の長所を活かすようにした。今回の方法は、目的に応じてさまざまな表面構造を形成する、汎用性の高い基盤技術となるだろう。

Letter p.618, N&V p.585 参照





よく見える! : ヒトの目に近くなった電子カメラ

LOOKING GOOD: An electronic camera shapes up to the human eye

表紙の電子アイカメラは、オプトエレクトロニクスの著しい進歩を示すものである。最新技術をもってしても、人間の目の巧妙な撮像能力に匹敵するデバイスを作製することはむずかしい。このカメラの半球状検出器は、単一構成要素からなる単純な光学素子を用いて、広い視野と低い収差を実現している。従来のオプトエレクトロニクス材料は、堅い半導体ウエハーの平らな表面上でのみ使用されており、球状の形状にすることができない。今回、イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校およびノースウェスタン大学エバンストン校を中心とする学際チームが、単結晶シリコン技術を基にして、眼に似た電子カメラを開発した。これを可能にしたのは、2つの新しい製造ステップである。第1は、オプトエレクトロニクス回路が非常に薄く、通常とは異なる2次元の圧縮が可能な構造であること、第2は、特別設計の弾性材によって、これらの平面レイアウトを半球形状へ変形できたことである。このような戦略により、眼に似たカメラだけでなく、複雑な曲線の輪郭をもつ物体の表面上に平面デバイス技術を集積化することが可能になると考えられる。こうしたものは健康管理デバイスや「賢い」装置などに応用できそうだ。

Letter p.748, N&V p.703 参照

細胞 : 結核菌の自己活性化

A self-activating pathogen

ヒトの病原菌である結核菌 (*Mycobacterium tuberculosis*) は、ESX-1 とよばれるタンパク質分泌系を使って、宿主防御機構を無効化する病原因子を排出する。ESX-1 は感染早期に病原性を発揮するために重要であることが知られているが、これがどのように制御されているかはよくわかっていない。今回、結核のマウスモデルでの研究から、結核菌がそれ自身の活性化因子を排出することが明らかになった。この因子は、EspR とよばれる DNA 結合型転写因子で、ESX-1 の正の制御因子として機能する。ESX-1 の分泌するタンパク質のいくつかは現在進行中のワクチン臨床試験で主要な抗原として使用されているので、この研究はワクチン開発に影響を与える可能性がある。

Article p.717, N&V p.702 参照

薬理学 : 部分アゴニストが働くようす

Partial agonists in action

部分アゴニストは、薬理学ばかりでなく臨床においても使われており、穏やかな反応が必要な際に出番が回ってくる。部分アゴニストは受容体に結合して活性化させるが、引き起こす反応は完全アゴニストに比べて弱い。リガンドで活性化されるイオンチャネルに作用する部分アゴニストに関しては、チャネル開閉のコンホメーション変化の誘導が単に非効率的なのだろうと、50年にわたって考えられてきた。タウリンとテトラメチルアンモニウムという、ニコチン性受容体の2種類の部分アゴニストの研究で、これらのアゴニストは受容体に結合しさえすれば、チャ

ネル開口に関して完全アゴニストと同じくらい有効であることが明らかになった。部分アゴニストに対する反応を制限しているのは、チャネルがまだ閉じているときに起こる早期のコンホメーション変化（フリッピング）である。これは、構造研究の解釈や治療用の部分アゴニストの設計にかかわってくる。

Article p.722, N&V p.704, Author page 参照

細胞 : 生命の新たな始まり

A new start in life

出芽酵母は、老化研究のモデルとして使われることが多い。この細胞は、母細胞の表面に出芽を形成することで非対称的に分裂するが、母細胞は世代を経て老化するため、寿命には限りがある。種の存続は、毎回「若い」芽が生まれることによっている。カルボニル化タンパク質や環状DNAなどの老化因子は母細胞だけに閉じ込められているので、芽の年齢はゼロにリセットされるが、この閉じ込めの仕組みはよくわかっていない。Shcheprova たちは、分裂時の酵母の核では、核膜に拡散障壁が形成されることを明らかにしている。この障壁は、既存の核膜孔や、ほかの膜結合型タンパク質が出芽部分へ移動するのを防いでいる。

Article p.728; N&V p.709 参照

感覚 : 体温調節

Body temperature

ショウジョウバエの脳のきのこ体ニューロンは学習、記憶、睡眠調節などの過程に極めて重要である。S-T Hong たちは、きのこ体のニューロンが温度選好行動にもかかわっていることを明らかにしている。ヒトなどの一

部の動物は、代謝を変化させることで体温を内因的に調節している。ところが、ショウジョウバエ (*Drosophila*) などのほかの動物にとつては、体温は外界との熱交換の結果で決まる。ショウジョウバエは遺伝的に決められた至適体温に合致した環境を本能的に探す、これは哺乳動物が設定体温に合わせるのに似た作用である。きのこ体でサイクリックAMP依存性キナーゼ活性を人為的に低下させると、ハエは好ましい温度がわからなくなり、活性を高めると高い温度を好むようになる。この研究は、温度感覚にかかわる細胞機構の一部が学習や記憶と共通のものである可能性を示している。

Letter p.771 参照

医学 : 模範解答

Model answers

マウスは、遺伝学的性質が詳しく解明されていて、遺伝子の「ノックアウト」や「ノックイン」によって簡単に操作ができるので、ヒトの病気の実験モデルを作製しようとする場合に最初に思いつく動物である。しかし、神経変性疾患のモデルの場合には特に、マウスで薬剤の試験をすることが臨床的に適切かどうかについて疑問が投げかけられている。News Feature では、この分野でなされている議論について J Schnabel が報告している。1つの考え方は、やはりマウスを使うべきだが、ヒトの疾患を作り出している複雑な構造全体のモデルとしてではなく、「経路のモデル」として用いるべきだというものだ。つまり、このような前提で結果を解釈すれば、最近のいくつかの例でみられたような誤った解釈につながる確率は低くなるだろうというのである。

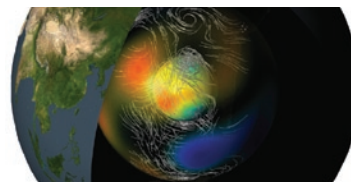
News Feature p.682 参照

地球 : 地球内核が東半球と西半球で異なる理由

How the other half lives

地球内核の最上層にあたる100キロメートルの層は東と西に分かれており、西半球に比べて東半球では地震波はより速く伝播し、より強く減衰する。一方、西半球は東半球より異方的（すなわち、地震波の伝播速度が方向により異なっている）である。このように半球ごとに構造が異なる原因は謎であった。Aubert たちは今回、熱化学的対流とダイナモ運動を取り入れたモデルならば、外核に大規模で長期的な流れが生み出され、内核の不均質性と下部マントルの不均質性が結びつけられて、このような結果を説明できることを示した。

Letter p.758, N&V p.701 参照





炭素を使わない発電：太陽光発電で可能になる

ELECTRICITY WITHOUT CARBON: Capture the sun and it can be done

化石燃料による発電は、全球二酸化炭素放出量のかなりの部分を占めている。我々は、燃料からの正味の炭素放出なしで行える発電技術をもっており、これは地球温暖化の予測に対する明々白々な反応といえるが、地球規模では今のところほとんど進展していない。もし無炭素発電がもっと現実的な問題となれば、世界的に増大する一方の電力需要を満たすために、種々の無炭素発電技術はスケールアップが必要になる。今週号の News Feature 特集で、Nature は重大な問題を提起している。1 つ目は、無炭素エネルギーは究極的にどれだけ入手可能なのかという問題、また 2 つ目は、競合技術間の優劣の比較に関するものだ。無炭素発電に代わる選択肢としては、従来からの水力発電や潮力・波力発電、原子力発電、太陽光発電など、ほかに数種類が挙げられる。技術開発状況に依存する部分は大きい、すべてを考慮すれば「太陽光」の将来は大いに明るいと考えられる。表紙グラフィックは、J Taylor による。

News Feature p.816, Editorial p.805 参照

疫学：コレラの隠された真実

Hidden truths about cholera

コレラの流行の際に軽微な感染がどのくらいあるのか、本当の値を見積もるのはむずかしい。症候性感染に対する無症候性感染の比率の推定値は、低いものでは 3 倍から高いものでは 100 倍と大きな幅がある。このことが疫学的記録の解釈を不確実なものとしてきたのだが、信頼性はこれまで考えられていた以上に低いようだ。50 年間にベンガル地域で発生したコレラの死亡パターンについて新しく行われたモデル化研究で、無症候性対症候性の比率が、実際には 1000 対 1 よりも大きいことが示されたのである。この研究によって、コレラの流行についての考え方と流行への対処方法が大きく変わる可能性がある。今回の研究は、感染症の動態における不顕性感染の重要性が、これまで概して過小評価されてきたことを示唆している。

Letter p.877 参照

医学：ショウジョウバエがかかるインフルエンザ

Flu in a fruit fly

インフルエンザウイルス感染の治療薬として選択できる抗ウイルス薬はいくつかあるが、これらの薬に耐性を示すウイルスが出現する危険があるため、抗ウイルス薬の新たな標的探しの継続は重要である。Hao たちは、この目的のために新たな味方を見つけた。インフルエンザウイルスを改変してショウジョウバエ (*Drosophila*) の細胞に感染できるようにすると、強力な全ゲノム RNA 干渉 (RNAi) スクリーニング法が使えるようになり、これによって、感染の成立に必要なとされる多数の宿主遺伝子が同定できたのである。ヒト細胞での A 型インフルエンザウイルスの H5N1 亜型および H1N1 亜型の複製に重要な役割を担っている宿主タンパク質で、ほかのウイルスではこのような役割が認められないものが複数見つかった。同様の方法は、ほかのウイルスでも、そのウイルスがショウジョウバエ細胞で複製サイクルの少なくとも一部を行えるならば、応用可能と思われる。

Letter p.890 参照

量子力学：不可解な遠隔作用の伝播速度の下限

Spooky speed limit imposed

アインシュタインは、量子物理学でしかみられない「量子もつれ」という相関を、「不可解な遠隔作用」とよんだ。ベル不等式として知られている実験的検証で、このような相関の古典的な説明はほとんど否定されているが、1 番目の事象の影響が光速より速く伝われば、2 番目の事象に影響を及ぼす可能性は残っている。このような仮想的

影響の伝播速度の下限を決定する目的で、目新しい実験が行われた。この実験では、ほぼ東西方向に 18 キロメートル離れた 2 つのスイスの村の間で、光子源を正確にその中間点に置いて、24 時間以上にわたりベル不等式の検証が行われた。地球の自転を利用することで、このような影響の伝播速度の下限決定が実験的に可能となる。結論は、仮想的で不可解な遠隔作用の最低速度は、この実験の妥当と思われる仮定のもとで、少なくとも光速の 1 万倍程度速いというものであった。したがって、自然界には不可解な遠隔作用が実際に存在することはありそうもない。

Letter p.861, N&V p.831 参照

宇宙：地球に衝突する小惑星と隕石は別物

Hazardous asteroids traced

地球の近傍にある小惑星について新たに分光測定を行った結果から、予想されるように、それらの組成は概して、地表に落下してくる最も一般的な隕石である普通コンドライトに似ていることが明らかになった。しかし、組成分布は予想外のものであった。地球に衝突する可能性の最も高いものを含めた近地球小惑星の約 3 分の 2 は、LL 型コンドライトとして知られている隕石の一種と一致しているのだが、LL 型コンドライトは地球に落下する全隕石の 8 パーセントでしかない。これは、小惑星帯内縁に隕石の起源があることを表しているのかもしれない。この場所は、フローラ族の母天体が壊れてできた小惑星が大部分を占めている。主小惑星帯から地球軌道近傍への物質輸送に、大きさに依存する過程がかかっているとすれば説明がつきそうだ。

Letter p.858, Author page 参照

生理：食べ物ヘラジカルにアプローチ

A radical approach to food

腸管由来ホルモンのグレリンは、視床下部弓状核にある神経ペプチド Y/アグーチ関連タンパク質 (NPY/AgRP) ニューロンを調節することで摂食を促進する。その仕組みはよくわかっていなかったが、今回マウスでの研究から、グレリンで誘発される食欲増進が、視床下部ミトコンドリアでの脂肪燃焼によって駆動されることが明らかになった。この燃焼でフリーラジカルが生成され、ミトコンドリアの脱共役タンパク質 2 によって除去される。この結果から、食欲の調節にフリーラジカルが関与していて、フリーラジカル発生を妨げるような方法が摂食や満腹感に影響を及ぼす可能性が浮かび上がってくる。

Letter p.846 参照

化学：フラーレンを合成する表面反応マジック

Surface magic for fullerenes

フラーレンはグラファイトを蒸発させるだけで容易に得られる。しかし、制御可能な生産方法があればそのほうがよいだろう。最近このような方法として、多環芳香族前駆体を 11 ステップで合成した後、気相中での脱水素反応によって C₆₀ を合成したことが報告された。しかし、収率はわずか約 1 パーセントであった。Otero たちは今回、前駆体を白金表面に堆積させて 750 ケルビンまで加熱すると、実質的にすべての前駆体が、対応するフラーレン分子 (C₆₀ またはトリアザフラーレン C₅₇N₃) に変換されることを示している。この方法によれば、制御がきかないグラファイト蒸発では得られない珍しいフラーレンや誘導体が、比較的効率よく合成できるかもしれない。

Letter p.865 参照

試験管ベビーに続く命

Life after SuperBabe

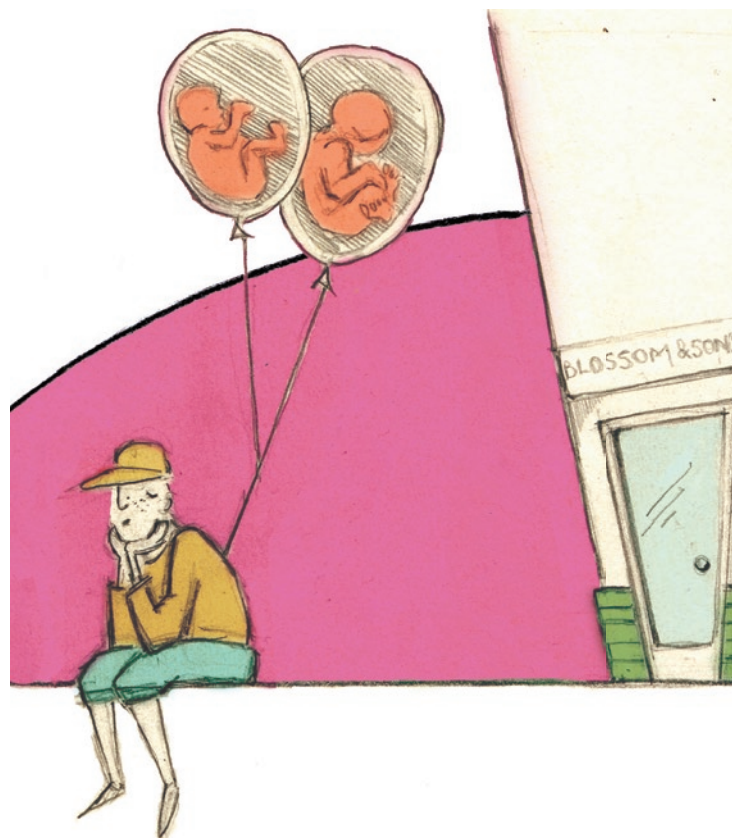
Nature Vol.454 (253) / 17 July 2008

世界初の「試験管ベビー」の誕生から 30 年がたった今、体外受精は珍しいものではなくなった。これからの 30 年でも、また同じくらいに変革的な技術が生み出されるかもしれない。

ここは英国。とある病院の分娩室でその子が生まれたのは、もう日付も変わろうとしているときだった。体重 3400 グラム。それは、普通でない赤ちゃんの、普通の誕生だった。この日 — 2038 年 7 月 25 日 — の記念に、両親は新聞を 1 部とっておくことにした。

両親にとって、この子は夢見ていたとおりの子だった。それはそうだ。両親は医学的に可能なことはすべて確かめたうえで、この子を産んだのだから。彼らは、胚の段階で細胞を 1~2 個取り出し、ゲノムの塩基配列を調べた。彼らはまた、体外受精操作で作ったほかの複数の胚についても同じことをしていた。そのなかでこの子を選んだのは、病院の Baby's First Four Letters™ 分析で、この胚なら、やせ型で幸せな、がんと無縁の子に育つ確率がいちばん高いといわれたからだった—。

さて、あなたはこの 30 年後のシナリオに現実味を感じるだろうか。今から 30 年前の 1978 年 7 月 25 日、私たちは史上初めて、体外受精児の誕生を迎えた。新聞各紙はこの子をスーパーベイベ (SuperBabe) とよび、両親は Louise Brown と名づけた。以来、初めは人々を驚愕させ、多くの異論を生んだ体外受精も、ごく当たり前にとらえられるようになった。この世に生



を受けた体外受精児は、すでに 400 万人にのぼる。今回 *Nature* では、今後の 30 年について、生殖医療の専門家に予想してもらった (*Nature* 454, 260; 2008 参照)。一部の技術は、実現すれば同じように革新的なものになりそうだ。

例えば、体細胞から精子と卵子が作製できるようになったらどうだろう (*Nature* 452, 913; 2008 参照)。体外受精用の材料がふんだんにもたらされることになり、不妊症が完全に過去のものとなる可能性がある。また、このシナリオでは胚も大量に供給されるようになることから、遺伝子の選別が不可欠なものとなるかもしれない。生殖細胞や胚を遺伝子レベルで増強したり改変したりすることも、広く認められていく可能性がある。

すでに、現代社会は個別化遺伝学の時代に入りつつあり、コストを負担すれば誰でも既知のリスク遺伝子を調べてもらうことができる。まもなく、一般個人の全ゲノム配列の解読も実現されるだろう。こうした技術は、体外受精を取り扱う医療機関にも広がるはずだ。たしかに、何千もの遺伝的リスク変異がさまざまな健康状態の要因となっているわけで、遺伝的に完璧な将



来が約束された胚など存在しないと考えられる。しかし、こうした技術があれば、例えば家族を苦しめるパーキンソン病を避けるなど、両親は子どもに与えたい形質として譲れないもの5項目のリストを作成し、その基準に最もよく当てはまる胚を選ぶことができるのだ。はたまた、知能や野心など、健康とは無関係の側面が注目される可能性もある。遺伝子選別に関する倫理的問題を問う議論は、今後数年で熱を帯びてくる気配があり、また、実際にそれは議論されるべき問題である。

一方、体外受精の安全性懸念は、30年たった今でも解消されていない。体外受精が重大な害を及ぼすわけではなさそうだが、より小さな問題については、今後、膨大な数の子どもたちが中年以降の年齢に差しかかって初めて顕在化してくるのかもしれないのだ。しかし、そのような研究はまだほとんど着手されていない。体外受精児を追跡する大規模な記録はほとんど存在せず、着床前遺伝子診断などのごく新しい技術を施された子どもたちの情報となると、さらに少ない。そのような長期の研究は、親子のプライバシーを守る必要があるとともに、参加したがいらない親子が多いことから、高コストで困難なものとなっている。しかし、そうした記録の優先度は高

い。次世代の生殖補助技術が登場してくるなか、その重要性はさらに高まる。確かに、子を産もうという人はリスクを負う必要があるのだろうが、少なくともそれがどんなリスクなのかは知っておくべきだ。

やはりこの30年で解決されなかった問題として、十分な安全性と倫理的な要求を確実に満たすにはどうすべきか、ということが挙げられる。解決モデルの1つとして、幅広い評価を集めている英国のヒト受精・胚機構では、規則の制定と施行にあたり、法的な裏づけを得ることになっている (*Nature* 454, 280; 2008 参照)。しかし、そうした規制の存在しない米国のような国では、透明性や安全性の確保、それに、両親と生まれてくる子の双方に対して最善の結果を約束することは、医師の責任に委ねられている。

確かなことが1つある。未来に生まれてくる子自身は、巻き起こる議論や、自らの出生の技術的経緯など知る由もなく、この世に出てくるだろうということだ。その子の存在は、人間の生物学にもはや神聖なものなど存在しないことの実証となるだろう。だからこそ研究者は、実験室でのスタートの瞬間から、人間の生殖が何ら貶められるものではないことを約束する必要がある。 ■

睡眠不足は偽りの記憶を生み出す

Sleep loss produces false memories

それでもカフェインが正確な記憶の呼び出しに役立ってくれる。

doi:10.1038/news.2008.953/14 July 2008

Kerri Smith

夜の睡眠が十分でないと、偽りの記憶（虚偽記憶）の形成される確率が高まることを、ドイツとスイスの共同研究チームが報告している。また、コーヒーを飲むことで、その確率が減少するらしいのである。

神経科学の分野では、睡眠中に記憶が強化されることが知られている。しかし、虚偽記憶については、睡眠中に形成されるのか、それとも、翌朝に情報を思い出すよういわれたときに記憶が固定されるだけなのかは、よくわかっていない。

これを解明するため、リューベック大学（ドイツ）の Jan Born 研究室に所属する Susanne Diekelmann たちは、被験者に単語のリストを複数覚えてもらった。それぞれのリストは、ある特定の話題に関係した単語からなる。例えば、「白い」「暗い」「ネコ」「夜」という単語が並ぶリストの場合、これらはいずれも「黒い」に関連しているが、

リストの中に「黒い」という単語そのものは入っていない。

次に研究チームは、被験者に一晩眠ってもらうか起きたままでもいい、その翌日に記憶を調べた。被験者にもう一度、単語リストを見せたが、そのリストには実は余分な単語をいくつか足してあり、それらの単語が元のリストに入っていたかどうかを思い出してもらった。睡眠を取れなかった被験者グループは、睡眠を取れたグループに比べて誤答が多かった。Diekelmann によれば、「被験者の多くは『はい、この単語は前のリストにも入っていました』と絶対的な確信をもって答えていたのです。しかも、元のリストに入っていた単語よりも、誤った単語のほうを強く確信していた場合もありました」という。

虚偽記憶の形成を引き起こした原因は、睡眠不足そのものではなく、睡眠不足のせいで記憶の格納庫から偽りの記憶が取り出されてしまうからだ、と Diekelmann は考えている。研究チームは、1つの被験者グループに一晩眠らずにいてもらい、翌日の夜に睡眠不足を取り戻してもらって記憶テストを行ったところ、これらの被験者の虚偽記憶は、一晩よく眠った被験者の場合と同程度の数になった。これまでは「疲労効果と記憶の固定 (consolidation) を切り離すことがむずかしかったのです」と、英国ケンブリッジ大学で記憶と学習の研究に携わっている Brian McCabe はいう。しかし、今回の研究によって、虚偽記憶が実際には、記憶を呼び覚ます瞬間に固定されることが実証されたようである。

Diekelmann のチームはこの成果を、2008 年 7 月 13 日にスイスのジュ

ネーブで開催された欧州神経科学会連合 (FENS) フォーラムで報告した。

コーヒータイム

Diekelmann たちは、この研究をさらに発展させた。記憶を呼び覚ます際に虚偽記憶が生じるなら、カフェインの投与で睡眠不足の影響を低減できるのではないかと考えたのである。そこで、さらに2つの被験者グループを対象に、一晩眠らせず、翌朝にカフェインとプラセボ（偽薬）のどちらかを投与して、1時間後に記憶をテストした。

カフェインを投与されたグループは、未投与のグループに比べて虚偽記憶が10%少なかった。McCabe はこの作用を、「まったく特筆すべきことです」と述べている。Diekelmann のチームは、カフェインは脳の前頭前皮質に作用することが知られており、この効果が起こるのはそのためではないかと示唆している。前頭前皮質は、睡眠不足によって十分な機能を果たさなくなる脳領域であり、また、実際に起こったことと、人が頭の中で考えただけのことを区別するのに役立っていると、Diekelmann は話している。

虚偽記憶の過程解明は、裁判で目撃者が証言する場合など、正確に思い出すことが必要とされる状況に極めて大きくかかわってくるだろう、と Diekelmann は指摘している。McCabe はそれに賛同しつつも、この研究によって睡眠の質が問題かどうかは明らかになっておらず、また、虚偽記憶以外の種類の記憶過誤（この実験でいうと、覚えた中にあった単語ではあるがリストが違っていた場合）がもっとありそうかどうかとも明らかになってはいない、と注意を促している。 ■



夜ぐっすり眠ることで、虚偽記憶の形成が防止されているのかもしれない。

太陽光の取り入れを助ける有機色素

Organic dyes help harvest sunlight

研究者たちは、安価な集光器を利用して太陽光発電のコストを大幅に下げることができると主張している。

doi:10.1038/news.2008.949 / 10 July 2008

Katharine Sanderson

色素で被覆した普通のガラス板を用いるだけで、太陽光発電のコストを下げられる可能性がある。このたび、太陽光の光子を取り入れて太陽電池に送り込む「集光器」を製作した研究者たちはそう主張する。彼らが開発したシステムでは、比較的小さな太陽電池が、はるかに広い範囲から取り入れた太陽光を使って発電を行うことができるのだ。

太陽を追尾する鏡を使って太陽電池パネルにより多くの光を当て、発電量を増やす方法は、既に利用されている。しかし、このような鏡の配備と維持には高額な費用がかかり、太陽電池も過熱しやすいという欠点がある。

1970年代に、科学者たちは、光吸収色素を用いた代替手段を開発しようとした。光吸収色素をしみ込ませたプラスチック板は、光子を捕捉し、より低いエネルギーでこれを再放出することができる。プラスチック板に捕捉された光子が、その端にある集光器に向かって板の中を跳ね返りながら進んでいけば、広い範囲から取り入れた光を端の部分に集中させることができるだろう。しかし、研究はそこから先には進まなかった。多くの色素が太陽光にさらされると不安定化してしまったうえ、プラスチック板の中の光子は、ほとんど進まないうちに再吸収されてしまったからである。

このほど、マサチューセッツ工科大学（米国ケンブリッジ）の Marc Baldo らは、これに代わる方法を思いついた。それは、各種の色素分子の混合物を含む薄膜でガラスを被覆する方法である。太陽光のスペクトルを最大限に利用するために、混合する色素は、それぞれ異なる波長の光を吸収するものが選ばれている。研究チームは、色素の混合

比を微調整し、再放出過程を制御するために別の化合物を加えることにより、ほとんどの光子がガラス中に捕捉されるようにした。彼らはこれにより、カドミウム - テルル太陽電池のエネルギー変換効率を 9.6% から 11.9% に、CIGS（銅 - インジウム - ガリウム - セレン）太陽電池では 13.1% から 14.5% まで上げることができる、と考えている¹。

Baldo は、エネルギー変換率はまだ大幅に高められると考えている。彼は、「最終的には、今日使用されている太陽電池の 90% で、そのエネルギー変換効率を 2 倍にすることができるでしょう」と予測している。彼はまた、このシステムは商業化しやすいとも考えている。「このシステムは、現実的なコストで製作できそうなのです」と彼はいう。太陽電池は材料中の欠陥に非常に敏感であるが、この薄膜はそうではないと Baldo はいう。太陽光発電産業が経済的に持続可能なものになるためには、発電コストを 1 ワット当たり 1 ドルまで下げなければならないが、Baldo らのシステムを使えば、それも可能になるかもしれない。

激しい競争

米国ヴァージニア州グレンアレンの市場調査会社 NanoMarkets の主席アナリストである Lawrence Gasman は、Baldo のシステムが製作しやすいように見えることに強い印象を受けた。彼によると、このような技術革新への商業的な関心が芽生え始めているという。

しかし、色素を使った集光システムは、従来型の集光器との激しい競争に直面している。5 月には IBM 社が、鏡を使った集光器により、1 平方センチメートルの太陽電池パネルに 230 ワッ



色素分子の混合物を含む薄膜で被覆したガラス板を重ねて使うことで、異なる波長の光を効率よく吸収できる。

トもの太陽光エネルギーを集めることに成功した、と報告している。同社の太陽光発電チームを率いる Supratik Guha は、このシステムの集光力は、Baldo のシステムよりもはるかに高いと指摘する。

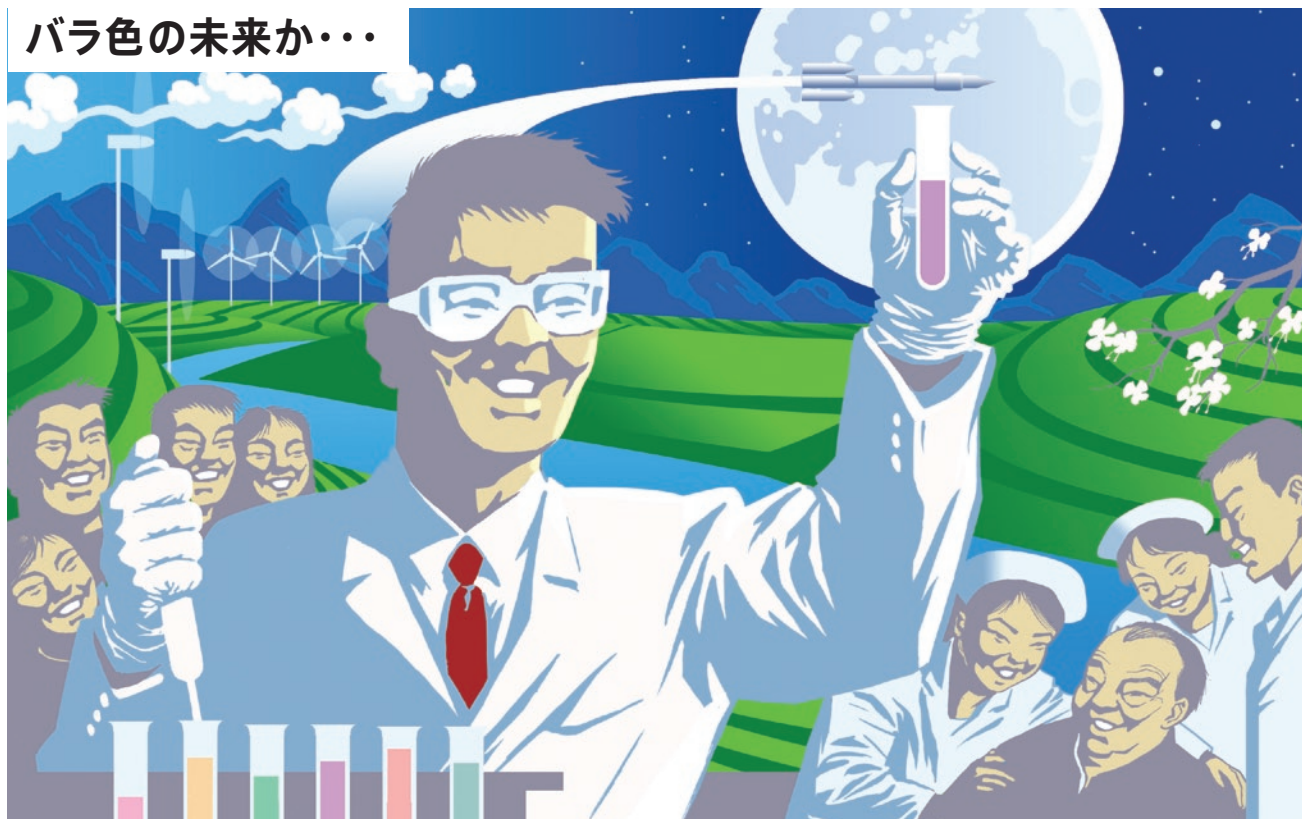
1980 年代に色素を使った集光システムの理論を研究していたカリフォルニア大学バークレー校（米国）の Eli Yablonovitch² は、このシステムの商業化が可能になるとは考えていない。彼は、Baldo のシステムは光子の 80% しか吸収できない点で不十分であると指摘する。「効率が求められる市販品にとって、光子の 20% が再び空気中に逃げていってしまうのは、致命的な欠点です」という。

しかし、Baldo の研究チームのメンバーである Jonathan Mapel の意見は違う。「20% の欠損は、致命的であるとは限りません」と彼はいい、この技術に基づく太陽集光器が 3 年後には利用可能になるだろうと予測している。 ■

1. Currie, M. J., Mapel, J. K., Heidel, T. D., Goffri, S. & Baldo, M. A. *Science* **321**, 226-228 (2008).

2. Yablonovitch, E., *J. Op. Soc. Am.* **70**, 1362-1363 (1980).

バラ色の未来か・・・



VISIONS OF CHINA

中国の展望

Nature Vol. 454 (384-387) / 24 July 2008

中国政府は、宇宙開発や環境問題、科学研究、エネルギー問題、保健衛生について掲げている野心的な目標を実現することができるのだろうか？ 中国の現状と目標について、David Cyranoski が報告する。

中国の指導部は今、毛沢東亡き後で最大のプレッシャーを感じている。国内では、政治に興味をもつようになってきた13億人の国民をなだめなければならぬ。国外では、列強から、環境、経済、地政学的な問題に対して、より多くの責任を負うことを求められている。中国政府には独自の計画もあり、科学技術に頼らなければならない部分が増えてきている。同国が世界で主役

級の役割を担うようになるにつれ、他国からの期待が高まっていくのは明らかである。中国は、他国からの期待に応え、自ら掲げる大胆な目標を達成することができるのだろうか？

宇宙開発：ゆっくりでも確実に

2005年9月に、ジョージ・ブッシュ大統領にはっぱをかけられたNASAの当局者たちが、2018年までに再び人間

を月に送り込むことを宣言した。その2か月後には、中国の月探査計画のリーダーである Ouyang Ziyuan が、中国は2017年までに同じことを実現すると述べたと報道された。マスコミは、2つの大国が、文字どおり天文学的な歩幅での宇宙開発競争を繰り広げていると書きたてた。

けれども、現実はずっと地味である。中国が月着陸計画を公式に発表したこ

・・・暗澹たる前途か



ILLUSTRATIONS BY DAVID PARKINS

とは一度もない。中国は、小さく現実的な目標を設定しながら宇宙開発を進めており、そうした慎重な姿勢とは不釣り合いな 2005 年の報道は、過失による誤報か、ライバルにショックを与えるためのリークであった可能性がある。世界安全保障研究所（ワシントン D.C.）の中国プログラムのディレクターである Eric Hagt は、「中国が参戦したのは、普通の競争ではないのです」と話す。「むしろ、イソップ物語のウサギとカメの競争といったほうがよいでしょう」。

ほかの分野の事業と同様、中国の宇宙開発の目標は、5 か年計画で定められている。2001 年～2005 年には、第 10 次 5 か年計画が実施された。その最大の成果は、2003 年に人間を乗せた宇宙船（神舟 5 号）を軌道に投入し、世界で 3 番目に有人宇宙飛行を成功させた国になったことだった。中国は、海洋観測衛星の海洋 1 号と 3 機の地球観測衛星と改良型災害監視衛星の打ち上げにより、遠隔探査能力を向上させ

るという約束を果たした。全般的にみて、これらは「極めて印象的な業績」だったと Hagt はいう。

中国は、自信をもって第 11 次 5 か年計画に入った。その目標には、2007 年に成功した月周回機の打ち上げと、2008 年の回収型衛星の実践 10 号の打ち上げも含まれている。このほかに、2009 年にはロシアと共同して火星への無人探査機を打ち上げ、2010 年までにブラックホールを観測するための中国初の天文衛星を打ち上げ、その 1 年後にはフランスと共同で、太陽フレア観測衛星を打ち上げることが予定されている。中国が増やしていく宇宙開発計画は、国防に役立つ監視衛星の開発、スピンオフ技術の創出、災害管理など、多くの役割を担っている。実際、衛星画像は、今年 5 月の四川大地震によって形成された堰き止め湖の監視において、非常に重要な役割を果たした。「中国にとっての宇宙開発は、将来のビジョンというよりは、国家の発展にかかわる

主要な目標なのです」と Hagt は語る。

これに対して、米国の宇宙開発計画はビジョンがすべてである。海軍大学（米国ロードアイランド州ニューポート）の国家安全保障の専門家である Joan Johnson-Freese は、ブッシュ大統領が 2004 年に発表した新しい宇宙探査計画は、「いずれも現実的な計画というよりは空想に近い」という。米国の宇宙技術は、まだ中国の先を行っている。けれども、米国が現在掲げている目標のうち、「2008 年までに新しい宇宙船オリオンの開発と試験に着手する」や「2010 年までに国際宇宙ステーションを完成させる」などは、すでに実現が危ぶまれている。さらに、有人月探査の再開や有人火星探査などのより野心的な計画の未来は、政治的にも財政的にも不確かである。中国の宇宙開発予算は 5 億ドル（約 550 億円）であり、NASA の 160 億ドル（約 1 兆 7600 億円）に比べれば微々たるものであるが、その目標設定はより現実的にみえる。

中国は、打ち上げ目標を次々と達成していても、宇宙の平和利用という約束を守るのだろうか？ ほとんどすべての宇宙技術には2種類の用法がある。去年、中国が衛星攻撃兵器を使って自国の古い人工衛星の1つを破壊したときには、激しい論争が起きた。Hagtは、中国の「言行に不一致が生じてきている」という。米国が中国へのライバル心をむき出しにするのは、宇宙戦争を恐れているからかもしれない。「[中国の]政治的意思是、ゆっくりでも着実に進むことにあります」とJohnson-Freeseは述べる。ウサギとカメの競争で最後にどちらが勝ったのかは、誰もが知っているからである。

環境問題：芽生えてきた関心

パンダ、オリンピック、国民の健康など、中国が環境問題の解決にやっきになる理由はたくさんある。中国は過去5年間、かなりの努力をしてきたが、石炭を主要なエネルギー源とする製造業の急成長は、その評判に灰色の陰を落としている。世界銀行によれば、世界で最も汚染されている30都市のうち、20都市が中国にある。その中には北京と上海も含まれている。外交問題評議会（ニューヨーク）のアジア研究部門のディレクターであるElizabeth Economyは、「地盤沈下、大気汚染、水質汚濁、水不足については、中国は毎年、世界のトップまたはその付近に位置づけられています」という。

中国における生物多様性の研究に長く携わり、現在はEU-中国生物多様性プログラムに従事しているJohn Mackinnonは、中国政府の上層部が環境を改善しなければならないと思っていることに疑いはないという。問題は、政府機関がしばしば矛盾した動きをして、矛盾した法律をもち出してくる点にある。例えば、林野庁が自然保護区となっている湿地を保全しようとする一方で、水資源省は水を汲み出す許可を与えてしまうのである。さらに、政府が意思決定をする際に、活動的な科学

者の意見に耳を傾けることはまずないとMackinnonは話す。「彼らは部外者に報酬を支払いたがりませんし、自分たちが助けを必要としているとも思っていないのです」。

オリンピックを前に、中国は北京での「青空日」の成績表を振り回していた。青空日とは、二酸化硫黄、窒素酸化物、浮遊粒子状物質の測定値に基づいて算出される大気汚染指数が500点満点の100点未満になる日のことである（もっとも、これは他国ではまだ「かなりひどい汚染」と見なされる値である）。1998年の青空日は、わずか100日だった。中国政府は去年、これを245日まで増やすと宣言し、その後、246日にすることができたと発表した。現在は、今年の目標である256日の達成をめざしている。青空日の増加は、1998年以降、大気汚染対策に1200億元（約1兆9000億円）を費やし、過去2年間に公共輸送機関を整備し、工場の移転を進めた成果であるとされている。しかし、ワシントンD.C.を拠点とする独立環境コンサルタントであり、北京の天然資源保護評議会の特別会員になったこともあるSteve Andrewsの報告書では、青空日の増加は、実際にはモニターの設置場所を変えることによって達成されたと指摘されている。すなわち、

汚染がひどい2つの地域を除外して、汚染の少ない3つの地域を追加したというのである。ワシントンD.C.のシンクタンクであるニクソン・センターの中国研究部門のディレクターであるDrew Thompsonは、「中国では時に、基準に合わせて現実を変えていく代わりに、現実に合わせて基準を変えるということが行われるのです」と説明する。

中国はパンダなどについても責任を感じており、1992年には、生物の多様性に関する条約と湿地に関するラムサール条約に署名している。10年以上にわたる努力の甲斐あって、中国の国土の15%が約2700の自然保護区のいずれかに入っている。しかし、規制を強化するのは困難であり、動物は捕獲され続け、薬草は採取され続けている。北京の中国科学院動物研究所に所属し、生物多様性の保全についての専門家であるYan Xieは、「我々はこれらを『書類上の自然保護区』とよんでいます」という。「政府は、人々が土地を利用するのを止めさせることができないのです」。中国では、ジャイアントパンダ (*Ailuropoda melanoleuca*) のように絶滅の危機から脱した生物種もあるが、ヨウスコウカワイルカ (*Lipotes vexillifer*) のように絶滅したと考えられている生物種もある。



中国の有人宇宙船神舟6号(2005年打ち上げ)は、着実に進歩する宇宙計画の一環をなしている。

NEWS.COM

中国国内の環境省や非政府組織、および中国の環境汚染の影響を受ける近隣諸国は、声高に変化を求めるようになってきている。Economy は、本当に変わる必要があるのは中国当局と企業であると指摘する。「彼らは、自分たち自身と、その環境保全への取り組みについて、中国国民による徹底的な調査を受け、説明義務を果たさなければなりません。中国の指導者たちは、これには乗り気ではないようですが」。

科学研究：国産技術の育成をめざして

中国では、経済成長に伴い、環境破壊とエネルギー不足への不安も大きくなっていった。これに対して指導部は、2020 年までにエネルギー集約型の低価格の製造業（鉄鋼、セメント、製紙など）から脱皮し、「革新主導型社会」を創り出すという解決策を提案している。

その詳細は、2006 年に国家中長期科学技術発展計画として発表された。この文書には、エネルギー、鉱業、環境、情報技術を含む 11 の重点領域と、タンパク質研究やナノテクノロジーを含む 10 の基礎研究プログラムが挙げられていた。中国は、2006 年には国内総生産（GDP）の 1.4%しか科学技術に投資していなかったが、2020 年までに、これを 2.5%まで増やそうとしている。こ

の大幅増により、中国の科学技術への投資は世界有数のレベルに達することになる。ちなみに 2006 年には、英国は GDP の 1.8%、ドイツは 2.5%、米国は 2.6%、日本は 3.3%を投資している。

2006 年の国家中長期科学技術発展計画によると、今日の中国では、海外から入ってくる技術革新が全体の 60%程度を占めているが、2020 年までにこの割合を 30%まで低下させるつもりであるという。中国はまた、新しい特許の件数と基礎科学研究論文の影響度においてトップ 5 か国入りし、大卒者の人数を大幅に増やすことも約束した。

宇宙開発研究とは異なり、これらはトップダウン式の命令になじまない目標であるため、中国にとっては厄介である。2006 年には、研究開発資金の 3 分の 2 以上が産業のために支出された。政府は、国産技術を育成するために租税優遇措置をとったり、その他の資金提供機構を設けたりしているが、これらが国民に広く知れ渡るには時間がかかる。北京にある中国科学院科学技術政策・管理科学研究所が 2007 年に行った調査からは、ほとんどの企業が支援措置の存在すら知らないことが明らかになった。より重要なのは、障害を取り除くことであるかもしれない。例えば、煩雑な手続きのせいで、中国での新薬の

承認には米国や欧州の 2～3 倍も時間がかかることがあるのである。清華大学の科学技術政策の専門家であり、現在はサバティカル（研究休暇）でワシントン D.C. の世界銀行に來ている Lan Xue は、「それは、規制を強化するか緩和するかという問題ではないのです。必要なのは、よい規制をすることなのです」という。

科学研究活動の動向を探るニュースレター『サイエンス・ウォッチ』が 7 月に発表したところによると、中国で発表された科学論文の数は過去 5 年間で倍増し、8 万編に達していることがわかった。これで中国の発表論文数は、日本を追い抜き、米国に次いで第 2 位となった。しかし、こうした論文の影響度の平均を個々の引用回数によって評価すると、中国が最も得意とする材料科学、物理学、化学の分野でさえ平均を下回っていた。科学技術政策・管理科学研究所の科学技術政策の専門家である Rongping Mu は、「我々は、質を向上させていく必要があります」といい、同じことは特許についても当てはまると付け加えた。「数においてトップ 5 に入るのは、それほどむずかしいことではありません。重要なのは、こうした特許が使用され、役に立っているかという点です」。

Xue は、中国には見込みのあるベンチャーキャピタル市場がないため、これらの特許にも投資していかなければならないと指摘する。中国は、54 もの国立のハイテクサイエンスパークを設立した。そのさきがけである北京（北西部）の中関村サイエンスパークは、1988 年に北京大学と清華大学の近くに設立されて以降、急速に成長して、今日では、この地域からの歳入は 4000 億元（約 6 兆 4000 億円）にのぼっている。しかし、このサイエンスパークは特許数の少なさ（去年は 6000 件）により批判されており、その他のサイエンスパークの多くはほとんど何の成果も上げていない。英国シェフィールド大学の技術経営の専門家である Steward

NEWS.COM



北京市は、オリンピックの開催までにスモッグを軽減することを約束している。

Macdonald は、「[サイエンスパークの] 本当の意味は、先端技術を支援するという政策を体現するという点にしかないのです」と話す。「中国のサイエンスパークも例外ではありません」。

革新は時間のかかるプロセスであり、迅速な発展を期待する国家を失望させる。「革新的なビジネス環境を支援するためには、ある種の文化が必要なのです」と Xue は述べる。「文化が変わっていくためには、もっと時間がかかるのです」。

エネルギー：再生に向けた努力

ドイツのボンで開催された再生可能エネルギー国際会議 Renewables 2004 において、中国代表は、代替エネルギー源開発への意欲を初めて明らかにした。中国代表は、会議室に集まった数百人のエネルギー専門家の前で、2020 年までに再生可能エネルギー源からの供給を全体の 16% まで引き上げることを約束した。これは、急増する同国のエネルギー需要において再生可能エネルギーが占める割合を倍増させることに相当する。なお、その他のエネルギー源の大半は石炭である。

中国の急激な経済成長は、環境と世界の燃料供給を圧迫している。中国は、

新しいエネルギー源を発見すると同時に、既存のエネルギー源を最大限に活用していかなければならない。けれどもオブザーバーによれば、当時の中国には、この目標を達成するための法律も決意もなかったという。そのため、Renewables 2004 での中国代表の発言は、驚きをもって迎えられた。「私は、おそらく EU 以外のいかなる国もいえないような大胆な目標を中国が発表したことに驚きました」と話すのは、再生可能エネルギーの専門家であり、北京の清華-BP クリーンエネルギー研究教育センターで 3 年間の研究を開始するという宣言に半信半疑だった Eric Martionot である。

中国の全体の目標（その後、15% に下げられた）は、2020 年までに再生可能エネルギーからの供給を 20% まで増やすという EU の目標ほどではないものの、中国の巨大なエネルギー需要を考えると、まだまだ野心的な目標である。中国は、2005 年 2 月に再生可能エネルギー法を発表し、2007 年 9 月には、セクターごとの再生可能エネルギーの開発計画を発表した。圧倒的に大きな割合を占めていたのは水力電気であったが、バイオマス、風力、地熱も含まれていた。

中国の目標は、新しい石炭プラントの認可を遅らせる（1 年以上かける）ことと、新しい風力発電機の迅速な認可という政策的措置によって達成された。風車、太陽電池、バイオマスを生み出す草原の写真をつけた広告板は、一般の人々からの支持を集めた。2007 年には、中国での新しい再生可能エネルギーへの投資額は 820 億元（約 1 兆 3000 億円）に達し、世界第 2 位に躍り出た。ちなみに、第 1 位はドイツであり、第 3 位は米国である。

こうした促進策の多くは、公式な目標が設定される前に実施された。その結果、2010 年までに風力発電能力を 5 ギガワットにするという同国の目標は、2007 年 9 月に計画が正式に発表されるよりも前に達成されていた。風力発

電は最もうまくいっている。過去 3 年間の発電能力は毎年 2 倍になっており、2007 年には中国の風力発電能力は世界第 5 位になった。

その他の再生可能エネルギーについては、目標達成はより困難である。2020 年までにバイオマス発電能力を 30 ギガワットにするという目標を達成するためには 1000 か所の発電所が必要であるが、この 2 年間にオープンしたバイオマス発電所はほんの数か所である。それでも、全体的に見れば、中国は再生可能エネルギー開発の目標を達成できそうにみえる。「目標を達成し、それを上回る成果を上げるのは、ほぼ確実でしょう」と Martionot はいう。

再生可能エネルギーへの転換だけでは、中国の環境問題を解決することはできない。中国は、クリーン石炭技術（Nature 2008 年 7 月 24 日号 p.388 参照）、原子力発電、エネルギー効率の大幅な改善などにも力を入れている。昨年は、地方公務員の昇進を、エネルギー効率および二酸化炭素排出量削減における目標達成能力と連動させた。「今や、これらの目標は、GDP や人口抑制目標に匹敵するほど重視されているのです」と、北京にある国家発展改革委員会エネルギー研究所の Jiang Kejun 研究員はいう。これらの政策は、実績が証明されている。

保健衛生：大健闘

2003 年 3 月に、Henk Bekedam は朱鎔基の長い退任演説を聞いていた。彼は、退任する中国首相が保健衛生について語るのを、今か今かと待っていた。ついにその話題が出たのは、42 ページからなる演説が 34 ページ目にさしかかったときのことだった。Bekedam は、その半年前に世界保健機構（WHO）の駐中国代表に就任したばかりだった。当時の中国では、心臓病、喫煙、HIV、肝炎、およびその他の予防可能であるにもかかわらず予防措置が講じられていない多くの疾患をめぐる問題が爆発寸前まで来ていた



中国は、2020 年までにエネルギー需要の 15% を再生可能エネルギー源から供給できるようになることを目標にしている。

にもかかわらず、国の指導者は経済のことしか考えていなかった。「保健衛生について語る人などいませんでした」と Bekedam はいう。

すべてを変えたのは、重症急性呼吸器症候群 (SARS) だった。2003 年の初頭に SARS が流行していた間、地方のサーベイランスシステムは正しく機能しなかった。その結果、中国本土で 5300 人以上が SARS に感染し、349 人が死亡した。こんなに大きな数字になってしまったのは、対策が遅れたせいだった。中国は国際社会から激しく非難され、衛生相は辞任した。

中国の保健衛生システムが SARS の流行を許してしまった主な原因が、政府による支援の不足にあったのは明らかだった。病院の運営資金のうち、政府から支給されるのはその 10% だけであり、残りは患者からの支払いに依存していた。さらに、貧しい患者の大多数は健康保険に加入していなかった。こんなシステムでは、SARS にせよ、ほかのどんな疾患にせよ、サーベイランスや治療を行うのは困難である。「SARS は、国民の安全は政府が責任をもって守らなければならないということを明らかにしました。それを市場に任せることはできないのです」と Bekedam は語る。「SARS の流行以降、政府は保健衛生のための支出を始めました」。

2004 年 3 月には、指導者の論調は様変わりしていた。朱鎔基の後継者である温家宝は、全国人民代表大会で、自分の業績の筆頭に「SARS に対する勝利」を挙げたのである。彼は、「我々は、SARS、エイズ、住血吸虫症およびその他の深刻な伝染病を管理するために、高度な警戒体制を維持し、確実かつ効果的な手段をとる必要がある」と述べて、疾病予防管理システムを 3 年で整備することを約束した。

HIV/ エイズについては、中国政府は 1990 年代から戦略的な予防管理計画を制定すると約束していたが、当時はまだ、これが深刻な問題であるとは考えられていなかった。けれども、トッ



2003 年の SARS の流行以降、中国の保健衛生政策は大きく改善された。

プが力強い支援を表明したことで、事態が変化し始めた。2004 年に、中国は高リスク群のサーベイランスを大幅に増やして、供血をしようとする人々のスクリーニングを強化した。その結果、新たに報告された HIV 感染者数は 2 倍以上の 4 万 7606 人になり、2007 年までに約 70 万人が感染していると見られることが明らかになった。これは、アフリカほどではないが、深刻な流行である。

2006 年の初頭に、HIV/ エイズの蔓延を縮小・予防するための 5 か年行動計画が発表された。抗レトロウイルス治療を受けている患者数は 2003 年には 5000 人だったが、政府の支援によるプログラムと投資のおかげで、2007 年には 3 万 9000 人まで急増した。また、多くの針交換プログラム (薬物常習者のために、使用後の注射針を清潔な注射針と交換するプログラム) も始まった。中国政府がなすべきことは、まだまだたくさんある。2006 年から 2007 にかけての中国での HIV/ エイズの現状に関して国連が作成した報告書では、患者が治療を受ける機会がかなり限られていることが明らかになった。その傾向は、特に僻地で強かった。米国疾病管理予防センター (ジョージア州アトランタ) で 10 年近く中国を担当し、現在は北京の Bill & Melinda Gates 財団で活動している Ray Yip は、地方に住む貧しい人々が受けられる健康管理は、「中国経済の現状を考えると、非常に限られています」という。

こうした評価は、同国が掲げている、2010 年までに HIV 感染者の 80% が抗レトロウイルス治療を受けられるようにするという目標の達成を疑問視させる。けれども Bekedem は、中国のやる気は本物であるという。中国の指導者たちが HIV 対策の分野で気概を示すことができれば、2020 年までに誰もが健康管理を受けられるようにするという、より大きな目標についても、自信をもって取り組んでいけるだろう。

SARS のような新しい疾患が、誰にも気づかれることなく中国国内で出現してしまうことを懸念する諸外国は、中国の健康管理の強化に興味深く見守っている。同国は現在、31 の疾患については各地の医師がその全症例を全国規模のデータベースに載せることを要請するなど、高度なサーベイランスシステムを整備していると Yip はいう。先日の地震の後には、政府は症状のリストと対応させた特殊な電話を支給した。そして、2 週間以内に、新たな疾患の出現を検知するためのサーベイランスシステムを構築したが、そのような疾患は見つからなかった。Yip は、このときの中国の対応を、ハリケーン・カトリナに襲われたときの米国の対応と比較する。「これがオリンピック種目だったら、中国の得点は 9.8 で、米国は 2.3 というところでしょう」。

David Cyranoski は、*Nature* のアジア・パシフィック地域の特派員。

DETAILS OF BEING HUMAN

ヒトであること

Nature Vol.454 (21-23) / 3 July 2008



医師の Ajit Varki は、ある 1 つの分子のちょっとした違いを見つけたことから、ヒトと類人猿を隔てるものについて疑問をもつようになった。微細レベルの現象から人類進化の全体像をとらえようとするこの人物に、Bruce Lieberman が取材した。

B. LIEBERMAN

ヒトにウマの血清を注射するのは好ましくない。Ajit Varki がこれに気づいたのは、まだ若い医師だった 1984 年、サンディエゴで、骨髄機能不全の女性患者に血清を投与した時のことだった。女性の T 細胞が骨髄を破壊するのを止めるには、当時、ウマ血清の投与が標準的な治療法の 1 つだった。しかし、こうした血清療法は「血清病」とよばれる反応を引き起こすことも知られており、案の定、治療の 1 週間後、女性にじんましんが出た。そこで Varki は、これは女性の免疫系が異種動物に由来するタンパク質に攻撃を仕掛けた結果ではないかと考えた。

女性患者の反応の観察後間もなく、この反応がタンパク質だけではなく、シアル酸、つまり哺乳類の細胞表面を覆う糖も原因であることがわかった。当時既に、いくつかの研究によって、ウマ血清に含まれる N-グリコリルノイラミン酸 (Neu5Gc) というシアル酸の一種に対して、ヒト免疫系が応答することが示唆されていたのである。「どうしてそうなるのだろうか」。Varki は、そのとき思っ

たことを覚えている。「シアル酸に対する応答はどうして起こるのか。シアル酸はどこにでもある。すべての哺乳類はシアル酸をもっているのだ」。Varki は、ヒトが実は Neu5Gc をもたない唯一の哺乳類なのではないかと考えた。

Varki は医師でありながら生化学もおさめており、既に当時、糖鎖生物学 (glycobiology) という比較的新しい分野の研究に従事していた。糖鎖生物学とは、細胞の内外にあるさまざまなタンパク質や脂質を修飾する糖鎖を対象とした研究分野である。しかし、当初抱いた疑問に対する答えを得るチャンスが巡ってくるまでには、この後 14 年を要した。1998 年に Varki は同僚たちと、高性能の液体クロマトグラフィーを使って、チンパンジーやボノボ、ゴリラ、オランウータン、そしてヒトの血液検体を分析した。すると、ヒトが Neu5Gc をもたない唯一の霊長類であること¹、その代わりにヒト細胞には N-アセチルノイラミン酸 (Neu5Ac) という別のシアル酸であるが豊富にあることがわかった。

進化の研究に乗り出す

これらの成果をきっかけに、Varki は糖鎖生物学の第一人者としてだけでなく、尊敬を集める「名誉」古人類学者としての道も歩み始めた。彼は、学際的な研究機関、人類発生学研究・教育センター (CARTA) の共同設立者の 1 人であり、現理事の 1 人でもある。CARTA は、カリフォルニア大学サンディエゴ校と、近くのラホヤにあるソーック研究所との共同研究組織で、ニューヨーク州に本部のある G. Harold & Leila Y. Mathers 財団から 300 万ドル (約 3 億 3000 万円) の資金援助を受けて、今年 (2008 年) 3 月に創設された。

CARTA の名称にある「人類発生学 (Anthropogeny)」は、人類の進化と個体発生の両方を対象とする研究を意味し、古い世代の人類学者にとってはなじみ深い言葉である。Varki によれば、この言葉の中には、ヒトの脳が現在の機能を、いつ、なぜ、どのように進化させたのかといった、人類の起源研究における最大の疑問のいくつかが含まれているという。彼の最新の研究プロジェクトの

1 つに、マドリード・コンプルテンセ大学のスペイン人古生物学者 Juan Luis Arsuaga との共同研究がある。その目的は、スペイン北部のアタプルカで出土した 90 万年前のホモ・アンテセソール (*Homo antecessor*) の化石を生化学的に解析することである。この化石はヨーロッパでこれまでに見つかった最古級の人類の骨として知られている。Varki が探し求めているのは、Neu5Gc が人類進化のごく初期に失われたことを示す証拠である。ヒトが、ヒトだけが Neu5Gc を失ったことが人類の出現に関係しているのではないかと彼は考えているのだ。

Varki の「知りたい」というどん欲さは、彼が糖鎖生物学者から人類起源に関する学際的研究センター理事という道を歩む推進力となった。「彼はまさに百科事典のような人物です」。こう評するのは、テキサス大学サウスウェスタン医療センター (ダラス) の糖鎖生物学者、Mark Lehrman である。「Varki は人類学の正規の教育を受けていないにもかかわらず、独学でこの分野を究め、権威になったのです。まさにそうなるように、天から与えられた驚くべき才能の持ち主なのです」。

Varki は最初、インドのペロールにあるキリスト教医科大学で総合内科医の研修医としてキャリアをスタートした。その後、医師と研究者の両面を兼ね備えた専門家をめざして米国に渡り、1970 年代にはついに、ワシントン大学 (ミズーリ州セントルイス) の Stuart Kornfeld の下で特別研究員となった。

そのころ Kornfeld は、シアル酸などの糖鎖に関する研究を始めたばかりだった。当時、糖鎖生物学は、ほとんど手つかずの分野であり、このような未知の生物学にかかわる機会を得た Varki は、大いに興味をそそられた。その後 1982 年に、Varki はカリフォルニア大学サンディエゴ校に自身の糖鎖生物学研究室をもち、現在もそこで研究を行っている。

Neu5Gc と Neu5Ac の違いは分子レベルでは非常に小さく、Neu5Gc の

腕部分に 1 個の酸素原子が付加されているかどうかで区別される (下図を参照のこと)。しかし、生物学レベルでは、この違いは途方もなく大きい可能性がある。「もしサルやヒトに近縁な類人猿がすべて Neu5Gc をもっており、ヒトだけがもっていないとすれば、そこには分子レベルの要因があるはずだと考えられました」と Varki はいう。彼はその後、Neu5Ac を Neu5Gc へ変換する酵素にその要因を見つけた。ヒトではこの酵素が変異によって機能不全になっているのである²。

進化の選択圧

Varki の発見によって、チンパンジーとヒトを生化学的に隔てる決定的な違いが 1 つ明らかになった、とウェイン州立大学 (ミシガン州デトロイト) の進化生物学者、Morris Goodman は語る。シアル酸の例は、そうした違いで最初に見つかったものの 1 つだった。しかもシアル酸は、主に細胞認識分子や細胞接着因子として、さまざまな生物学的役割を果たしているため、この違いによってヒトに固有の生物学的特性の一部を説明できるかもしれない。「我々が今取り組んでいる対象は、全身に影響を及ぼす遺伝子欠損の 1 つなのです」と Goodman は話す。

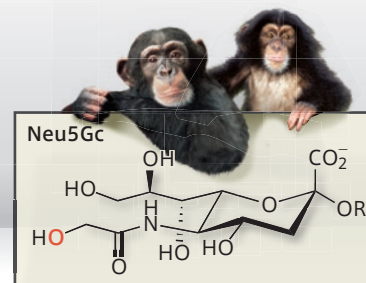
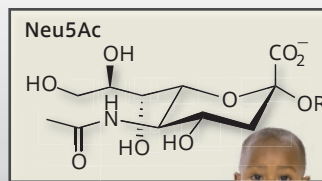
Varki はその当時、自分が学部生の時代に学んだことや『ナショナルジオグラフィック』誌で読んだこと以外に、人

類の進化についてほとんど知識がないことを痛感していた。そこで彼は、自分の知識を高めようとした。彼は休暇を取り、短期間ではあるが、ジョージア州アトランタにある米国立ヤーキス霊長類研究センターで生活したのである。彼は 1 人の獣医とともに動物たちの医療記録を再検討し、ヒトに広くみられる関節リウマチや気管支ぜんそくが、同センターの霊長類ではそれまで一例もないことを知った。また、チンパンジーはヒトの熱帯熱マラリア原虫 (*Plasmodium falciparum*) でマラリアにかかることはなく、反対に、ヒトはチンパンジーに病原性のあるマラリア原虫 *P. reichenowi* には感染しない。

その後の研究で、Varki と彼の研究チームは、ヒトとチンパンジーのマラリア感染性の違いはシアル酸の違いによることを明らかにした。チンパンジーに感染する *P. reichenowi* は、チンパンジーの赤血球表面にある Neu5Gc に結合する傾向が強いが、ヒト感染性の熱帯熱マラリア原虫は Neu5Ac のほうに選択的に結合する³。そこで Varki たちは、ヒトでは *P. reichenowi* の感染を回避する方向に選択圧が働き、Neu5Gc 欠失とこの原虫に対する耐性の獲得につながったのではないかと、そして今度はこの欠失が結果的に後押しする形となって、Neu5Ac に結合してヒト体内に侵入できるような熱帯熱マラ

小さい変化、大きな違い

人類進化の最中に生じた変異だとすれば、ヒトではシアル酸 Neu5Ac までしか作られず、ヒト以外の霊長類では Neu5A から Neu5Gc も作られることになる。



リア原虫が出現したのではないかとする仮説を立てた。Varki の研究室ではそのほかにも、シアル酸の機能に影響を及ぼす、ヒト特異的な別の 10 種類の遺伝的変異などを発見している。これらの知見は、ヒトがアルツハイマー病や多発性硬化症などにかかりやすい理由を、これまでにない視点から説明するのに役立つかもしれない。

ほどなくして、Varki の人類進化への関心は、チンパンジーとその糖鎖をはるかに超える域にまで広がった。Varki の長年の共同研究者で友人でもある、ソーグ研究所の Fred Gage は、「Varki がキャンパスで数人と話しているのを知り、『そんな風に 1 対 1 で会話をして、話したことを共有しようとしないうちなんてフェアじゃないね』といったことがありますよ」と冗談っぽく語った。

人類発生学の再考

Gage は Varki に、人類の起源について大学で非公式の連続セミナーを開催するよう勧めた。その「人類の起源を説明するためのプロジェクト」には、1998 年から 2007 年までの間に、古人類学者、霊長類生物学者、遺伝学者、免疫学者、神経科学者、言語学者その他さまざまな分野の研究者が集まった。そして、言語の進化から、人類とネアンデルタール人とホモ・エレクトゥス（アフリカを出た最初の人類）の間の差異まで、

幅広い話題について議論を交わした。Goodman によれば、このセミナーシリーズは、さまざまな学問分野にまたがる学際的な性格をもっており、人類起源の研究にとって極めて重要な存在になったという。「我々は、人類の進化上の起源に関係する問題を探求するすばらしい機会を手に入れたのです」と彼は語った。

Varki の動機には、自分のため、という部分もあった。「心の中で密かに決めていた目標の 1 つは、自分自身の理解を深めるということでした」と彼は認めており、「最後の会合のときに、自分が人類学の学士号をとれるかどうか、参加者に尋ねてみました」といった。Varki 自身が数えたところでは、この研究分野のさまざまな面について、研究者の話を 300 件以上聞いたという。「これらの問題に関して、言語学者は分子生物学者へ、分子生物学者は神経科学者へ、神経科学者は心理学者や哲学者へ向かって話す必要があると考えたからです」と彼はいう。「人間の知識の大部分は、どこかで関連し合っているものなのです」。

CARTA は、人類起源に関するセミナーシリーズの後継プロジェクトである。CARTA の理事として、Varki や Gage のほか、カリフォルニア大学サンディエゴ校の人類学教授である Margaret Schoeninger、Varki と親しい共同研究者で霊長類生物学者の Pascal Gagneux らが名を連ねている。さらに

同センターには、サンディエゴに活動拠点を置くメンバーがおおよそ 40 人、それ以外に米国各地や米国外のメンバーが 100 人以上もいる。

CARTA の目標は、こうした世界中の研究者どうしの連携を促し、大型霊長類の研究リソースへ容易にアクセスできるようにし、論文審査のある学術専門誌を育て、人類の起源に関する研修講座をお膳立てすることである。このプロジェクトは、ある意味では、ドイツで設立されたライプチヒ人類起源研究スクールに匹敵する。同スクールは、ライプチヒにあるマックス・プランク進化人類学研究所とライプチヒ大学が 2005 年から共同で進めている学際的な PhD 取得プログラムである。Varki は、「CARTA はそれよりもっと本格的な組織となるだろうし、この努力によって研究分野の壁が取り払われるはずですよ」と語り、その一例として自身のシアル酸に関する研究を引き合いに出した。この研究では、生化学者、古生物学者、医師の間の共同研究が必要だったのである。

シアル酸の検査

Varki と Gagneux は研究室に戻って数か月以内に、アタプルカで出土した動物の化石の予備解析に取りかかる予定である。高性能液体クロマトグラフィーと質量分析を使って、保存されているシアル酸を検出できるかどうか調べ



シアル酸

シアル酸とは、9 個の炭素をもつアミノ九炭糖酸、ノイラミン酸の誘導体の総称。生体物質として 30 種類以上が知られており、自然界では N-アセチルノイラミン酸 (Neu5Ac) が最も多く、次いで N-グリコシルノイラミン酸 (Neu5Gc) が多くみられる。おもに、動物細胞膜や分泌液の糖タンパク質や糖脂質の糖鎖末端に結合し、細胞の増殖・分化、神経繊維の発達などに関係すると考えられている。Neu5Gc は Neu5Ac の水酸化によって生成されるが、ヒトはこの水酸化酵素に欠損があり、Neu5Gc をもたない。このため、異種間臓器移植や異種血清の投与により、免疫系がこの糖鎖を認識し、抗体が産生される。

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。

ホモ・アンテセソールの化石の検証により、人類進化の早期に Neu5Gc が失われたことが実証されるかもしれない。

ISTOCKPHOTO

ようというのだ。もしその動物の化石からシアル酸が検出されれば、同じ地層から出土した人類の化石にもシアル酸が保存されている可能性が高いとみられ、Varki たちは続いてそれを調べることになるだろう。

「古生物学者は、既に終わって過ぎ去った物ごとに関心がある人たちだと思うられることが多いです。しかし、我々が追い求めているのは、現生人類の出現の説明であり、そのことが忘れられているのです」と Arsuaga はいう。彼によれば、現在の技術で骨に孔を開けて内部から少量の骨粉を採取すれば「損傷はさほど大きくない」から、と説得されて、貴重なホモ・アンテセソールの化石に種々の検査を行うことに同意したのだという。

Varki と Gagneux は、Neu5Gc と人類進化におけるその役割に関するいくつかの壮大な仮説に解答を出すのに、アンテセソールの化石が役立ってほしいと考えている。2 人は、Neu5Gc を欠失させる変異が初めて出現したのは、200 万～300 万年前の人類の祖先においてであると概算している。これはホモ・エレクトゥスの出現年代と一致している。また、彼らは、マラリアなどの病原体がこの変化のきっかけとなった可能性があると考えている。2 人は、この遍在する糖に起こった変化が、別の広範な生物学的作用を及ぼし、それが Neu5Gc をもつ動物ともたない動物との間に生殖的隔離が生ずる一因となったのではないかと考えている。そして、これらの作用がホモ・エレクトゥスとその後のホモ・アンテセソールの出現に寄与したのではないかと考えている。「Neu5Gc の欠失は生存に必要なものだったかもしれませんが、Neu5Gc を保持している「旧型」の仲間全体との生殖を抑制するように働いた可能性もあります」と Gagneux は語る。もし、Arsuaga のホモ・アンテセソール化石も Neu5Gc を欠いていることを明らかにできれば、彼らの仮説を裏づける新たな証拠となるだろう。

この種分化仮説への答えが古代の人類から得られなかった場合には、きっとマウスが役に立ってくれるだろう。Varki と Gagneux は、ヒトにはない Neu5Gc シアル酸を遺伝子操作で欠損させたマウスを作り出した。Varki によると、これらの変異マウスにはヒトに少し似た特徴がみられるという⁴。野生型マウスと比べると、変異マウスは聴覚が劣っており、ヒトの加齢に伴う聴覚の衰えをどこか連想させる。また、外傷の治り方も遅く、これはほかの霊長類に比べてヒトの外傷の治り方が遅いのと似ている。さらなる研究によって、これらの変異マウスが、Neu5Gc を保持している野生型のマウスと交配して繁殖できるかどうかを明らかにすべきだろう。

Varki の最近の研究は、彼自身が 25 年前に観察した免疫応答へと回帰している。ヒトは Neu5Gc を作り出すことはできないが、それを含む肉や乳などの動物性食品で摂取することができる。Varki と Gagneux は、少なくとも肉食の場合には Neu5Gc が免疫応答を引き起こし、それが、ヒトに固有の心疾患やがんといった慢性的炎症を伴うさまざまな疾患全体に関与しているのではないかと考えている。こうした疾患は、ヒトの寿命が今より短かったころには、さほど問題ではなかったのだろう。

思考の糧

この説を検証するため、Gagneux は地元のホールフーズマーケット（自然食品や有機栽培食品を扱うチェーン店）に出かけて、食肉や乳製品を買い込み、解析用に研究室に持ち帰った。解析の結果、ラム肉や豚肉、牛肉で Neu5Gc の値が最高であることがわかった。「我々は大きなボール何杯分も食べ、自分たちの糖タンパク質に結果が現れているかどうかを調べるために、その後数週間にわたって、自分たちから可能なかぎりすべての解析用検体を採集しました」と Gagneux はいう。「そして、その答えはイエスでした」。また、研究チームは、多くの人がこの糖に対する抗体を



チンパンジーとヒトのシアル酸の違いによって、一部の疾患に対する感受性（かかりやすさ）が変わる。

もっていることも見つけ出した⁵。

彼らの仮説が裏づけられた場合には、選択圧がどのように変化するのが明らかになるだろう。つまり、かつては人類を病原体から守るために Neu5Gc 欠失が進化上選択されたのに、現在はその欠失のせいで、人類がほかの疾患にかかりやすくなっていると考えられる。「いったんそれを失ってしまえば、現在もっているもので間に合わせるほかありません」と Varki は話す。

患者を診療することからキャリアを始めた Varki にとって、シアル酸と人類の起源の研究は原点に立ち返らせるものである。ヒトをヒトたらしめた分子は、脅威となる疾患に対するヒト固有の脆弱さをもたらし分子と同じなのかもしれない。「場合によっては、それらの分子は人類進化の傷跡といえるのではないかと思います」と Varki はいう。「私自身、経験を積んだおかげで、我々が何者でどこに向かっているのかを理解するには、我々自身の起源となる人類進化の解明がとても重要だという事実を受け入れられるようになりました」。

Bruce Lieberman は、サンディエゴ在住のフリーランスのサイエンスライター。

- 1 Muchmore, E. A. et al. *Am. J. Phys. Anthropol.* **107**, 187-198 (1998).
- 2 Chou, H.-H. et al. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **95**, 11751-11756 (1998).
- 3 Martin, M. J. et al. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **102**, 12819-12824 (2005).
- 4 Hedlund, M. et al. *Mol. Cell. Biol.* **27**, 4340-4346 (2007).
- 5 Tangvoranuntakul, P. et al. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **100**, 12045-12050 (2003).

Retiring retirement

定年退職制度を引退させよ

Nature Vol.453 (588-590) / 29 May 2008

すでに米国とオーストラリアでは廃止されている「定年退職」という古めかしい制度。今こそ、この制度を世界中で終わらせるときだと Peter Lawrence が提案する。

夕方が1日でいちばんいい時間なんだ。—— カズオ・イシグロ作『日の名残り（土屋政雄訳）』より

2007年のノーベル医学・生理学受賞者の1人であるオリバー・スミーズは、1953年に北米に移住した英国人で、現在82歳である。そのままヨーロッパに住み続けていれば、17年ほど前に定年退職していたはずの彼だが、現在も米国のノースカロライナ大学チャペルヒル校医学系大学院で若手科学者と共に研究を続けており、研究助成金を受け取り、若々しい情熱を発散させている。フランシス・クリックも60歳のときに

米国に移住し、80歳を超えてなお研究を続け、バーバラ・マクリントックやマックス・ペルツなどの多くの研究者と同じように、晩年まで研究にいそしんだ。こうした研究者たちは、単に自らの職にしがみついているわけではない。分子生物学研究で最も知られるクリックだが、彼はソーク研究所（米国カリフォルニア州ラホーヤ）で「神経科学者として第2のキャリアを歩み始め、20をゆうに超える、極めて影響力をもった被引用件数の多い理論的研究論文を発表しました。その研究は、夢の神経的基盤や記憶に関して、また、樹状突起棘や皮質の神経構造、そしてもちろん、視覚的

意識を追究したものでした」と、同研究所で共同研究を行ったクリストフ・コッホは語る。また、近ごろハワード・ヒューズ医学研究所の新規事業であるジャネリアファーム研究所（米国バージニア州アッシュバーン）に採用されたシドニー・ブレンナーは、80歳である。

これらは、晩年まで貴重な貢献を続けた男女のほんの一例だ。米国では、高齢者がありとあらゆる職に就いている。働くのが楽しいからという人もいれば、必要に迫られて、という人もいる。しかし、より根本的な理由として、ヨーロッパと違って米国では、年齢を問わず雇用対象として考慮される権利が、法律によって認められていることが挙げられる。年齢による差別を規制する措置は、オーストラリアやカナダでも実施されている。これに対し、ヨーロッパや日本では、定年退職という制度によって年齢差別が容認され、慣行化している。

60歳をゆうに超えた科学者による数々の貢献は、こうした差別的な政策に対する反証となるだろう。実際、ドイツのホルスト・ケーラー大統領は最近、定年退職制度に対して明確に反対する意を示し、20世紀に平均余命が大きく延びたことは、「我々全員に対するすばらしい贈り物」だと述べている。そし

「研究室で実際に働いている中年の科学者は少なく、それより上の世代の科学者にいたっては、ほとんどいません。現在80歳の私は、そうした数少ない科学者の1人です。現場で実験に携わっていたいと思いつけることが変だと思ったことは、一度もありません。強制的に仕事を辞めさせられることがなかった幸運に感謝しています。」—— ジョセフ・ゴール（80歳）、ワシントン・カーネギー協会発生学部（米国メリーランド州ボルチモア）



「人間は 65 歳になると突然、何かが起こるというのでしょうか。ほとんどの人が最終的には下り坂を迎えるのだと思いますが、その時を迎える年齢は人それぞれです。年齢と関連させた制度は適切ではないと思います。」— ジュリー・アーリンガー (46 歳)、ケンブリッジ大学ガードン研究所 (英国)



て、高齢者を引退に追いやるのがどれほどもったいないことかと指摘し、「もし、高齢者の知恵と内面の平静によって、若者の好奇心と衝動性を和らげることができれば、今よりも相当に多くのことが達成されると思います」と語っている¹。

古めかしい考え

この 25 年間、彼は、聡明な人ならばすでに知っており、愚かな人は知りたがらないような事柄について、講義や執筆を続けてきた。つまり、彼は、25 年間にわたって、別の人がその仕事につかないようにしていたのだった。— アントン・チェーホフ作『ワーニャ伯父さん』より

偏見は、人の心に当たり前のようすみついている。人は人を区別し、個人を型にはめて考える。例えば、多くの人は、男女の能力における実際の（しかし小さな）差異ばかりに注目し、性別とは無関係に個人間に存在する実際の（そして大きな）差異は無視する傾向がある²。近年、私たちは、一部の形態の差別に敏感になり、ほとんどの女性は平均的な男性と比べて力は強いものの、それでも、荷物係の仕事に応募してきた女性たちを一斉に不合格とするのは不公平だと認めるようになった。しかし、いまだに 65 歳以上の人々が、何らかの職に採用される権利を否定されていることについては、今でも多

くの国で、ごく当たり前のことのようにとらえられている。

科学者は、年齢とともに情熱を失っていくと多くの人はいう。しかし、常にその通りでないことも確かだ。ハワード・ヒューズ医学研究所のデビッド・アンダーソンとブレンナーは、ハエの遺伝学者だったシーモア・ベンザーの、「80 歳代の半ばに達しても熱い紅茶をすすり、フィグ・ニュートンズ（イチジクジャム入りのソフトタイプのクッキー）をかじりながら、まれに発する質問が鋭かった」という、彼の見事なキャリアに驚嘆するという³。また、現在 71 歳になるカリフォルニア工科大学教授のエリック・デビッドソンは、前任者だったエドモンド・ウィルソンの活力を懐かしく思い出す。「先生がああすばらしい第三版を執

筆されたのは、60 代も後半になってからのことでした。出版されたのは 1925 年、69 歳のときです。その後、1930 年代後半まで、精力的に研究を進められました。あの暗愚な時代にあっても、科学の宝を評価するにあたってコロンビア大学は、現代のヨーロッパよりもすぐれた方針をとっていたことを、この歴史が物語っています」。

米国はいったいどのようにして、高齢者に対し、このように柔軟かつ寛大な姿勢をとるようになってきたのだろうか。そして、その効用はいかなるものだったのだろうか。

アメリカの経験

定年退職制度は、人間の力を大いに無駄にするものだ。経済的にも、社会的にも、精神的にも誤ったことである。— クロード・ベッパ『Time』誌より⁴

米国のリベラル派上院議員クロード・レッド・ベッパ（民主党、フロリダ州選出、1900–1989 年）は、高齢者の擁護者だったことで知られるが、あらゆる差別と闘ったことでも有名だ。彼が提案した 1945 年の法案では、男女同一賃金が定められた。そして、1978 年



「1 つの分野で研究が展開してきた経緯を見ていないと、どの『事実』も同じように確立されたものかのようにみえることがあります。手法についていえば、現代の若手研究者の多くは、問題に取り組む際にクローニング法を選び、思考方法をそのときの流行に任せています。それで例えば、放射性同位体を使うような古い技術を思いつけないこともあるのです。正しい選択をするうえで、経験は極めて重要です。」— マーク・プレッシャー (68 歳)、医学研究会議分子生物学研究所 (英国ケンブリッジ)

提案の法案では、連邦政府職員の定年退職制度が廃止され、その他労働者の定年退職年齢は、65歳から70歳に引き上げられた。この法案の可決は、上院で語り継がれる出来事となる。法案通過を祝うため、ベッパは、上院の大広間を埋めつくす数の、元気な70歳代の人々を招待したのだ。それでもなお、この法律は彼にとって足がかりに過ぎなかった。1986年に提案された次の法案では、年齢によるあらゆる差別が違法とされた。この法案では、学術機関に対して法遵守の猶予期間が認められたが、1994年、ついに完全遵守されるようになった。

生物学者のジョン・ボナー（88歳）は、当時を思い起こしている。「この法案が最初に発表されたとき、プリンストン大学をはじめ、すべての学術機関が苦しみました。若い世代にとって不公平だとか、よぼよぼの愚か者集団が進歩の邪魔をする、などといった議論がありました。でも、そうしたことは杞憂でした」。むしろ、ベッパの法案や、オーストラリアでも可決された類似法案によって、ヨーロッパや日本からの科学者の大移動が起きた。クリス・ノーディンもその1人で、1981年、彼は英国医学研究会議の部門ディレクターの職を辞任する。当時61歳だったノーディンは、定年を4年後に控えていた。しかし、それから27年経った今も、彼はオーストラリアのア

デレードで研究を続けている。

米国では、高齢の科学者がさまざまな貢献をしている。偉大なロールモデルでありメンターであり、所属機関の国際的評価を高める研究者がいれば、教壇に立ち、あるいは管理業務を担当することで、若手研究者の負担を軽減している場合もある。さらに重要なこととして、彼らは、科学戦略を立てるにあたり、より深い視点をもっている。多くの若手科学者は、あまり注目されていない未解決の問題を探し出すことの重要性を理解していない。

学会は、女性差別を減らして報われたのと同様に、高齢者の存在感を高めることでも名をあげた。この両方の慣行は、科学界の品位と公平さを確かなものとしている。「引退してゴルフをしたいとは思いません。科学は趣味であり、仕事であり、喜びなのです」とブレナーは話す。

一方、定年退職制度の悪影響は複合的で、気づかぬうちに進行する。定年退職を数年先に控えると、有能な学者はレーム・ダック（死に体）と化す。大学院生の指導教官になるといった責任を引き受けられなくなり、今後新たな職に就くこともないため、交渉力を失う。定年退職制度は、性別による格差も助長させている。2006年、英国では定年に達した男性のうち85%が、年金の満額受給資格（勤続40年）を得

たが、女性の場合は35%に過ぎなかった⁵。2010年に予定されている改革によって、こうした英国での女性の状況は改善されるはずだが、科学者が年金の満額受給条件を満たすのはむずかしいという状況は変わらない。科学の世界ではいわゆる研修期間が長く、国から国へと渡り歩く研究者も多いからだ。定年退職制度を採用する職場は、多くの人々、特に女性を、不十分な所得のままで失業に追い込んできたのである。

制度の廃止

もう引退すべきだと思う35歳の科学者を数多く知っているが、その一方で、採用した中で最高のポストクが70歳だったということも何度もある。—— シドニー・ブレナー

年を重ねれば叡智が得られるかもしれないが、高齢の科学者全員が報酬に見合った働きをするとは限らない。そこに、定年退職制度をめぐる2つの重要で複雑な問題がある。

第1に、科学者を評価し、その仕事ぶりがポストや報酬に見合わないとして本人を辞めさせるのは非常にむずかしいという事実がある。職場への貢献度は、柔軟かつ寛容に判断されるべきであり、ただ単に、論文数の集計⁶や、学部学生による授業の評価だけですませるべきではなく、所属機関に対する全体的な寄与を評価する必要がある。このような評価を行った結果、もし、高齢（あるいは若手）の研究者が、無能、怠惰、破壊的、あるいは無駄があるというような判断が公平に下された場合には、その研究者は職を辞するか、もしくは、その研究室なり事務所なりの規模を適正に縮小すべきである。でなければ、その研究機関に損害が生じ、ほかの人々の就業機会を否定することになる。また、研究助成金獲得の成否が決定因子として作用することがあるが、これは外部からの主観的な判断であり、教育や指導、



「昨年は4編の論文を書き上げ、準備中の論文もいくつかあります。現在は、南オーストラリア州骨粗しょう症・骨折防止作業部会の会長を務めています。今のところ毎年、病院との契約を更新していますが、最終的には、辞めろといわれる前に、自分から辞めるようにしたいと思っています。でも、やりたいことがまだたくさん残っています。」—— クリス・ノーディン（88歳）、ロイヤルアデレード病院（オーストラリア）



「私が若かった 30 代の頃、若手研究者への研究費の配分がとても少なく、文句をいったものでした。その後、日本政府は若手研究者への支援を決め、大いに喜びました。ところが、それからまもなく、その研究助成金に応募するには、私は「高齢」すぎる部類に入ってしまった。つまり、ある日私は、若すぎるという区分から急に、年寄りすぎるという区分に変えられたのです。結局、私には「適齢期」は訪れませんでした。これは不公平な話であり、精力的に活躍する研究者が、ある年齢に達したという単純な理由だけで失職するのは、もったい

ない話です。90 歳を超えても頭脳明晰な研究者はいます。肉体的には若いのに、出来の悪い研究者だっているのです。」—— 星 元紀 (67 歳)、放送大学 (千葉市)

管理業務などの寄与分が考慮されていない。いずれにせよ、選別という問題には立ち向かわなければならないのだ。であるならば、本人の希望や効用を考慮せず、ただ単に評価や管理のわずらわしさを省くためだけの理由では、特定の年齢ですべての科学者を解雇するという従来の選択肢は、擁護され得ない。

第 2 に、財政的側面が挙げられる。高齢の科学者は給与が高く、新規採用にかかる資金が不足する、といわれる。この問題については、西オーストラリア大学 (パース) に所属する生化学者ピーター・ハートマン (67 歳) が、少なくとも 1 つの反例となる。「私の研究助成金から大学に対して直接なされる寄付金は、私の給与のおよそ 1.5 倍です。それに、自分の授業と管理業務の補助をしてくれる講師に対する給与の 80% を、私は自己負担しています。つまり、私が退職すれば、大学には金銭的なマイナスが生じることになるのです」とハートマンは語る。

解決方法

こうした状況に取り組むにあたって、私たちは、急進的かつ柔軟でなければな

らない。もし、ある科学者が引き受ける仕事が減ったなら、その報酬を減らすことは理にかなっている。さらに、多くの科学者は年金を積み立てている。私は、年金の支給は予定通り始めて、給与の一部または全面カットを行うべきだと考える。所属機関にとって特に有用な科学者の場合は、その寄与に対する報酬として、年金に何らかの上乗せがあってもよいだろう。その額は、それぞれの寄与度によって個別に判断すればよい。

留意してほしいのは、ここでは、スタッフとして雇用され、働き続ける権利についてのみならず、ひとりひとりの科学者が、その貢献度に基づいて雇用対象として検討され、その報酬を交渉する権利について議論しているということだ。科学者が受け取る給与の一部は、貴重な教官や研究者を確保するための将来への投資ととらえることもできる。となると、高齢の科学者の場合には、給与のその部分の正当性は徐々に減少していく。そして、やがてその職にあることで主たる恩恵を受けるのは高齢の科学者自身と考えられるようになった時点で、その部分はゼロとなる。このような議論を踏まえれば、給与制度を再編し

て、給与額を増減できるようにすることは、当然の結論となるだろう。

現実の事例に目を向けてみよう。現在、ケンブリッジ大学は、この問題に熱心に取り組んでいる。EU からの圧力のおかげで、英国でも変革に向けて法制度が徐々に前進しているのだ。現在のところ、教授陣の通常の退職年齢は 67 歳または 68 歳で、延長の申請があれば、大学は最大 3 年の定年延長を認めることができる。教授陣の半数以上が定年延長を申請していることから、とりわけ仕事に対する満足度が高いことを反映していると思われる。

ケンブリッジ大学では、それぞれの事例を個別的に検討し、合意された職務内容に従って、さまざまな条件での雇用契約を結んでいる。このようにして、ケンブリッジ大学もまた、米国の大学が行ってきたように、多様な選択肢を模索しているのだ。また、すべての事例で決定因子となっているのが、該当する学部の意見である。もし、学部長が、特



「あと数年で仕事を辞めなければならないとわかったら、最後の数年間に何か新しくてもおもしろいことを始める意味がどこにあるのでしょうか。そうとわかれば、最後の数年は慎重にふるまうだけです。」—— シンシア・ケニヨン (54 歳)、カリフォルニア大学 (米国サンフランシスコ)

定の職員の雇用を継続したいと考えるならば、大学は、予算が許す範囲内で、その決定を支援するように努力する。これまでの中央集権的な一斉人事ではこうした個別的な判断ができなかったため、この新しい方法は、理にかなったものといえる。

この制度が実施されてからまだ18か月しか経っていないので、延長された雇用契約が満了した事例はない。しかし、大学側は、1年半後に契約の満了を迎えた際には、契約の再延長の申請ができると、すでに発表している。米国での実績からは、70代後半に入ると、雇用の継続を希望する者が減ることが示唆されている⁷。

個人差に対する配慮を拡充していくには、今まで極めて神聖なものとされてきた、終身在職権を弱めることも必要だ

ろう。そうすれば、高齢者雇用全体の自由度を、さらに高めることができるのではないかと。私たちとしては、現実を見つめ、所属機関に有益な貢献をしているかどうかにかかわらず、30～40年間の給与が保証された安定的な在職権を与えることの無駄と不公平さを、そろそろ認めなければならない。多くの政府系研究機関では、無期限の在職権はすでに廃止されている。

ジョン・ボナーは、多くの人々の意見を代弁して、それぞれの学術機関は「高齢者を個別評価し、十分に生産的な仕事ができ、意欲ももち続けていると判断された場合には、その仕事を続ける方法を提供」すべきだと強く主張している。仕事を求め、職に就きたいと望む熟練の高齢市民が抱く、幸福追求の思いを認めること。米国ですでに実現され

ているこのあり方は、ほかの地域でも、当然に実現されていなければならないのである。

Peter Lawrence (66歳)は、ケンブリッジ大学動物学科および医学研究会議分子生物学研究所に所属している。

1. Köhler, H. Christmas address, www.bundespraesident.de/rede-2.642777/Ein-neues-Miteinander-von-Jung.htm (2007).
2. Kovas, Y., Haworth, C. M., Dale, P. S. & Plomin, R. *Monogr. Soc. Res. Child Dev.* **72**, 1-44 (2007).
3. Anderson, D. & Brenner, S. *Nature* **451**, 139 (2008).
4. www.time.com/time/magazine/article/0,9171,915567,00.html
5. www.dwp.gov.uk/pensionsreform/pdfs/GenderImpactAssessment-5-Dec2007.pdf
6. Lawrence, P. A. *Curr. Biol.* **17**, R583-R585 (2007).
7. Ashenfelter, O. & Card, D. *Did The Elimination Of Mandatory Retirement Affect Faculty Retirement?* *American Economic Review, National Bureau of Economic Research* **92**, 957-980 (2002).

本論説執筆のため、著者は40人を超える科学者と連絡を取り合い、その考え方や思いをリサーチした。<http://tinyurl.com/4mkdvu>のサイトでは、この論説に対する意見を投稿することができる。

SNAPSHOT

Earth rocks

地球を色分けする

Nature Vol.454 (675) / 7 August 2008

大西洋の中央海嶺、南北アメリカ大陸の西側に連なるアンデス山脈とロッキー山脈、アジアのヒマラヤ山脈、アフリカのグレートリフトバレー。史上初の全地球デジタル地質図では、こうした地形のすべてを見ることができる。

世界各国のコンピュータ科学者と地球科学者が協同して作り上げたOneGeologyは、国ごとまたは地域ごとに行われた地質調査の結果を統合した地図をフリーリソースとして提供



している。この地図の地球は岩石の形成年代に応じて色分けしており、黄色は中新世、緑は白亜紀、青はジュラ紀、ピンクは三畳紀に形成された岩石を表している。

現時点では、地球全体や地域ごとの詳細な地図が提供されているほかに、29か国についてはより詳細なデータが利用できるようになっている。こうした地図は、気体の放射性物質であ

るラドンが発生している場所や地すべりが起こりそうな場所など、各地域の危険な地点を明らかにし、鉱物や淡水を取り出すのに適した場所を見つけるのを助け、沖合の領土の境界線を明らかにする。 Katrina Charles

Serpent clocks tick faster

発生生物学

ヘビの分節時計は速く進む

Freek J. Vonk & Michael K. Richardson

長くて美しいヘビの体には、背骨を作る椎骨が数百個ある。この極端な形態は、体のパターン形成を調節している発生の「時計」に、進化の途上で変化が起こったことに由来する。

Nature Vol.454 (282-283) / 17 July 2008

進化は、さまざまな生活様式に適応した、驚くほど多様な体形の生物を生み出してきた。背骨（脊柱）をもつ動物もその一種であり、縦列して脊柱を作り上げている骨（椎骨）の数が、その形態にかかわってくる重要な要素の1つとなっている。そして、一部の動物は極端な形態まで進み（p.26 図1）、なかでもヘビ類は群を抜いている。ヘビはどの現生動物よりも椎骨の数が多く、300個を超えることもしばしばで、なかには500個以上の椎骨をもつ種もいるのだ¹。今回、Gomez たちは、*Nature*2008年7月17日号 p.335に掲載の論文²で、ヘビでおびたしい数の椎骨が作られる仕組みについて述べている。そこに報告されたデータでは、体のパターン形成の重要な諸段階を制御する発生の「時計」が、ヘビでは、体長のもっと短い動物よりも（発生の速度と比較して）速く進むことが示唆されている。これは、異時性³の劇的な一例である。異時性とは、各種組織や器官の発生・成長のタイミングや速度に相対的差異があることで、形態変化の一因となる。

一見すると、ヘビは長い尾の一端に頭部をもつように見えるが、「全部が尾」なわけではない。尾の定義は、総排泄腔（生殖輸管と消化管の終末開口部）より後方にある体の部分とされ、それに基づく、ヘビの尾は実際はかなり短いことになる。確かにヘビにも、ほかのすべての爬虫類と同様に、尾より前方に頸部、胸部、腹部があるが、各領域の境界ははっきりしない。ヘビの体でこれらの境界が四肢の退化・消失と並行して消えたのは、進化の過程で、発生にかかわる *Hox* 遺伝子群の働きに変化が起こったせいだと考えられている⁴。しかし、どのようにしてヘビがこれほど多数の椎骨を形成するようになったのかは、また別の疑問である。

椎骨は体節とよばれる分節構造から発生する。体節は胚期に頭部から尾部に向かって次々と形成され（p.27 図2a）、未分節中胚葉（PSM）の頭部側の末端が切り出されるようにしてできる。未分節中胚葉は未分化の組織で、体節を作り出すよう運命づけられている。この切り出しは、1976年にCookeとZeemanによって初めて提唱された⁵、「時計と波面（clock-and-wavefront）」モデルによって制御されている。周期的な遺伝子発現の波は、分節時計とよばれる分子の振動子によって制御されており⁶、未分節中胚葉を通じて尾部から頭部へと伝わる。これらの振動は、未分節中胚葉を通じて頭部から尾部へと反対方向に伝わる成熟の波と出会うと、停止する。1回の周期ごとに新しい体節が1対作られ、成熟の波が未分節中胚葉の尾部末端に追いつくと、このプロセスは停止する。

Gomez たち²は、ヘビの椎骨の数が多いの「時計と波面」モデルの変形版にあたる仕組みによるのか、それとも何か根本的に違う仕組みで生じたのかを見極めるために、コーンスネークの胚と、椎骨の数が少なく体長も短い動物（マウス、ニワトリ、ゼブラフィッシュ）の胚を比較した。すると、コーンスネークの胚における体節形成の「分子ツールキット」、つまり発生中の未分節中胚葉における時計遺伝子の周期的な発現パターンは、ほかの脊椎動物でみられるパターンと同じであることがわかった。しかし、脊椎動物で体節を形成するためのこの「共通テーマ」に生じたわずかな変異が、ヘビの椎骨数の多さにつながっているのである。

Gomez たちは、ヘビの未分節中胚葉が、体長の短い動物よりもゆっくり発生し、寿命が長いことを見つけた。ところが、寿命が長いにもかかわらず、ヘビ



図1 ヘビ型の脊椎動物。椎骨の数の増加や脊柱の伸長といった体の伸長は、脊椎動物の中で何度も独立に進化した。a, トウブアシナシトカゲ (*Ophisaurus ventralis*)。b, ヨーロッパウナギ (*Anguilla anguilla*)。c, フレビタイアシナシイモリ属の一種、*Schistometopum thomense*。d, マレーマムシ (*Calloselasma rhodostoma*)。写真は原寸に比例していない。(a,b,d, F.J.V. & M.K.R.; c, S. Blair Hedges)

の未分節中胚葉は脊柱を作るための細胞分裂の回数を多くしているわけではない。ヘビでは細胞分裂はおおよそ21回だが、ニワトリでは16回、マウスでは13回である。ヘビの椎骨数の多さを十分に説明するには、この分裂回数では少なすぎる。しかも、「時計と波面」機構の時計成分は発生速度に比べて速くなっており、およそ4倍の速さで時計が進んでいる²。つまり、ヘビの胚は、ほかの動物に比べて入手できる脊柱組織をより速く分節化し、サイズの小さい多数の体節を形成するのである(図2b)。

「時計と波面」機構は、自然選択のホットスポットかもしれない。なぜなら、椎骨の数の変化は適応度に大きく影響を与える可能性があるからだ。動物に備わる椎骨の数は、移動速度や繁殖力(雌1個体当たりの最大可能な卵仔数⁷)などの因子に影響を及ぼすことがあり、一部の種の進化の基盤となるかもしれない。ヘビ型の体型は、ヘビだけではなく、ウナギやアシナシイモリ、一部のトカゲなどの分類群でも独立して進化した(図1)。これらの細長い体形の動物は、極端な体形を進化させることが適応上有利に働き、おそらくそのおかげで生態上のさまざまなニッチを獲得できたと考えられる。

ヘビはその長い体をうまく使って、生い茂った植物の間をすり抜けたり、木の枝を伝ったり、水中を泳いだり

し、その動きはすばらしく優雅である。巻きつき型のヘビは獲物に巻きついて窒息死させるが、毒をもったヘビは渦巻きバネのように、離れている獲物を恐るべき速さで襲うことができる。ヘビは、種数の点からみても地理的分布の点からみても、最も繁栄している脊椎動物分類群の1つである⁸。長く伸びた体形は、この繁栄に確実に貢献している。また、そこに異時性がかかわっている可能性があり、生体システムにおける時間制御を研究するクロノミクス(chronomics)の現在の注目度を考えると、ヘビの形態形成はとりわけホットな話題といえる。

マウスなどのモデル生物は、制御された状態の下で、ゲノムの変化を操作したり体制に及ぼす作用を調べたりできるため⁹、常に研究対象の主流であり続けるだろう。それでも、モデル生物以外についてもしだいに研究・考察がなされつつある。ヘビでは、我々が行うような遺伝子操作を自然選択が行ったわけであり、そのため、「進化によって行われた実験の結果」としてヘビを研究することが可能である。モデル生物と並行してヘビを調べることで、進化と発生に関する全体論的視野が得られるはずである。ただ、ヘビでは、胚を傷つけずに卵を切開することはむずかしいため、胚の研究は容易ではなく、また、卵の入手も必ずしも簡単にはいかない。しかし、もしこれらの技術的難題を克服できれば、

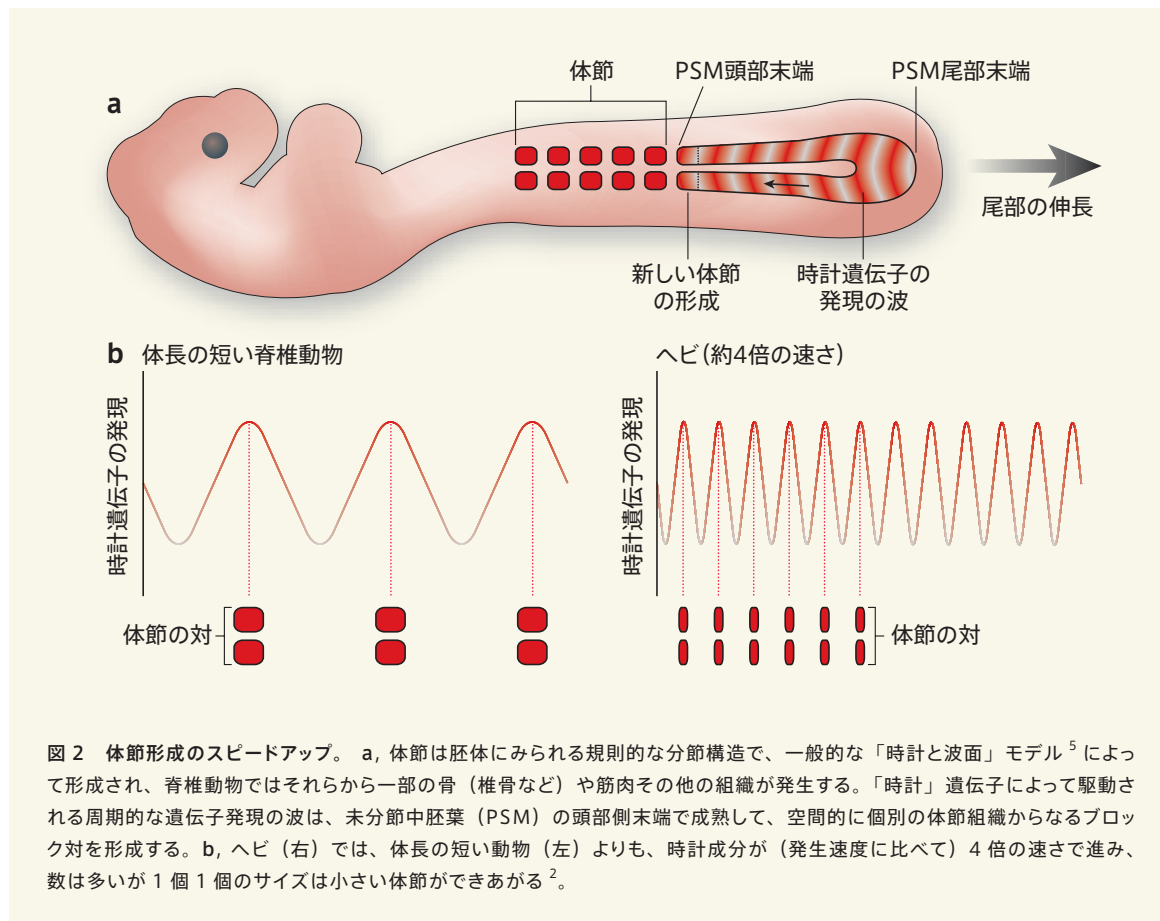


図2 体節形成のスピードアップ。a, 体節は胚体にみられる規則的な分節構造で、一般的な「時計と波面」モデル⁵によって形成され、脊椎動物ではそれらから一部の骨（椎骨など）や筋肉その他の組織が発生する。「時計」遺伝子によって駆動される周期的な遺伝子発現の波は、未分節中胚葉（PSM）の頭部側末端で成熟して、空間的に個別の体節組織からなるブロック対を形成する。b, ヘビ（右）では、体長の短い動物（左）よりも、時計成分が（発生速度に比べて）4倍の速さで進み、数は多いが1個1個のサイズは小さい体節ができる²。

そして、ヘビのゲノム塩基配列が広く利用可能になれば、「エボデボ」（進化発生生物学）研究の新時代が到来することだろう。

体節の時計はヘビ以外の体の長い動物でも速く進むのか、また、自然選択がヘビ型の体を作り上げるのに別の手段を用いたのかどうかという疑問はまだ残っている。また例えば、孵卵温度が適正でないと胚の椎骨数に影響が出ることがわかっており（参考文献10の論評）、これがどのように体節時計の進み方と関係しているかがわかればさらに興味深いものとなるだろう。またヘビの仲間であっても、体長を伸ばすために別の戦略をとることも可能である。例えば、オオアナコンダ（*Eunectes murinus*）などの巨大なヘビは、長さが8メートル以上にもなるが、椎骨の数がほかのヘビより多いわけではなく、1個1個の椎骨が大

きいだけである¹¹。今後、モデル動物以外の種でさらに比較解析を行うことで、自然選択によって、どのように発生のメカニズムや経路が変化し、どのようにさまざまな体制が生み出されてきたかを知ることができのかもしれない。

Freek J. Vonk & Michael K. Richardson, ライデン大学(オランダ)

1. Marx, H. & Rabb, G. B. *Feldiana Zool.* **63**, 1–321 (1972).
2. Gomez, C. et al. *Nature* **454**, 335–339 (2008).
3. Richardson, M. K. *BioEssays* **21**, 604–613 (1999).
4. Cohn, M. J. & Tickle, C. *Nature* **399**, 474–479 (1999).
5. Cooke, J. & Zeeman, E. C. *J. Theor. Biol.* **58**, 455–476 (1976).
6. Palmeirim, I. et al. *Cell* **91**, 639–648 (1997).
7. Shine, R. J. *Evol. Biol.* **13**, 455–465 (2000).
8. Greene, H. W. *Snakes: Evolution of Mystery in Nature* (Univ. California Press, 1992).
9. Hérault, Y. et al. *Nature Genet.* **20**, 381–384 (1998).
10. Fowler, J. A. Q. *Rev. Biol.* **45**, 148–164 (1970).
11. Head, J. J. & Polly, D. *Biol. Lett.* **3**, 296–298 (2007).

A shock for Voyager 2

太陽系

ボイジャー 2 号が乗り越えた衝撃

J. R. Jokipii

ボイジャー 1 号に続いて、ボイジャー 2 号探査機が末端衝撃波面を通過した。超音速の太陽風は、ここで急激に減速し、しだいに星間空間からの影響を受けるようになっていく。ここから、太陽系探査の新時代が始まるのだ。

Nature Vol.454 (38-39) / 3 July 2008

Nature 2008 年 7 月 3 日号に掲載された 5 編の論文¹⁻⁵は、名高いボイジャー計画の歴史上有数の快挙を報告し、記録している。ボイジャー 2 号は、1977 年 8 月 20 日の打ち上げから 30 年後に「末端衝撃波面」に到達した。末端衝撃波面は、太陽系の外縁部で太陽風の流れが乱れる境界線であり、4 年前にはボイジャー 1 号がここを通過してデータ収集を行った⁶⁻⁸。今回の通過でも、新たに重要なデータを得ることができた。

まずは、太陽系の地理を理解してもらう必要がある。太陽は、あらゆる方向に太陽風とよばれる超音速のプラズマを放出しており、星間プラズマの中に巨大な回転楕円体の空洞を作っている。この空洞は太陽圏とよばれ、約 100 ~ 150 天文単位 (AU) にわたって広がっている (1AU は地球から太陽までの平均距離であり、約 1 億 5000 万キロメートルに相当する)。太陽圏の大きさは、主として太陽大気と周囲の星間プラズマの性質、磁場、中性粒子によって決まってくる。太陽から遠く離れたところでは、太陽プラズマは広がりすぎて、星間プラズマを押し戻せなくなる。星間媒質に対する超音速の流れは、回転楕円体の衝撃波 (末端衝撃波面) のところで終わり、太陽風はここで急激に減速する。末端衝撃波面の向こうの太陽風が低速で流れている領域は、「ヘリオシース」とよばれている。ここでは、太陽プラズマと星間ガスとの相互作用が優勢になる。ヘリオシースの終わりが「ヘリオポーズ」であり、ここから先は星間プラズマが広がっている。図 1 に示すように、この系の全体は、台所の流しで再現することができる。

2007 年 8 月 31 日からその翌日にかけて、ボイジャー 2 号は数回にわたり末端衝撃波面を通過した。通過が 1 回ではなかったのは、この境界線がまったく静止して

おらず、内へ外へと振動しているからである。こうして、ボイジャー 2 号はボイジャー 1 号に続いて超音速の太陽風の領域を後にしてヘリオシースに入り、おそらくこれから 10 年程度でヘリオポーズに到達する (ヘリオポーズまでの距離は、まだ確実にはわかっていないが、太陽から 130 ~ 150AU 程度であると考えられている)。ボイジャー 1 号に搭載されたプラズマ分析装置はだいぶ前に作動しなくなっていたが、ボイジャー 2 号のそれはまだ機能している。また、どちらの探査機も、プラズマ波、磁場、高速粒子を測定することができるので、ヘリオポーズに到達したあかつきには、星間プラズマを初めて本来の位置で測定できることになる。

ボイジャー 1 号による末端衝撃波面の最初の通過は、太陽から 94AU の距離で起きた。この通過は、末端衝撃波面が数か月にわたり秒速 100 キロメートル程度の高速で内向きに運動していた時期に起きた。その間にデータ送信が途絶えたため、末端衝撃波面の詳細な構造を決定することはできなかった。それでも、この初回の通過により、太陽から末端衝撃波面までの距離のほか、末端衝撃波面にはかなりの動きがあり、数か月の単位で内向きまたは外向きに動いているという事実や、その全体の形は弾丸形や円形ではなくつぶれた形⁹をしていることなど、いくつかの性質が明らかになった。

5 編の新しい論文¹⁻⁵で詳述されているように、ボイジャー 2 号が太陽から 84AU の距離で末端衝撃波面を横断したことは、いくつかの点で我々の理解を深めさせてくれた。これは、ボイジャー 2 号のプラズマ検出装置が稼動していたため、前回よりもかなり充実した観測ができたことが大きい。ボイジャー 2 号が末端衝撃波面を通過した場所が、ボイジャー 1 号が通過した

場所に比べて太陽に 10AU も近かったことは、末端衝撃波面が左右に非対称な形をしている（一方の側がつぶれている）という以前の示唆¹⁰を裏づけるものである。これはおそらく局所的な星間磁場の傾きのせいである¹¹⁻¹³。ボイジャー 2 号による末端衝撃波面の通過が複数回起きたのは、おそらく、末端衝撃波面の内向きや外向きの高速な運動、末端衝撃波面に沿ったさざ波の伝播、ひょっとすると末端衝撃波面の再形成など、図 1 の水の比喻に見られる現象によく似た、ダイナミックな変化の結果であろう。

ボイジャー 2 号が送信してきたプラズマのデータからは、星間空間の「ピックアップイオン」の重要性も明らかになった。ピックアップイオンとは、星間空間に存在する中性原子が太陽風の中に入って電離したものである。ピックアップイオンは、熱粒子よりも高いエネルギーをもち、末端衝撃波面での過程に強い影響を及ぼす。「標準的」な末端衝撃波面では、下流の太陽風は亜音速になっているはずだが、ボイジャー 2 号が観測した場所では、それは予想よりも低温で、超音速だった。加速されて高エネルギーになった粒子がプラズマや磁場に匹敵するエネルギー密度をもつことは、この発見と整合性がある。これらの事実、ボイジャー 2 号が通過した末端衝撃波面が、前回観測された末端衝撃波面とは大きく異なっていることを裏づけている。その違いを生じさせているのは、おそらくピックアップイオンである。

ボイジャー 1 号と 2 号による観測結果は、末端衝撃波面が非常に複雑であることを示しており、多くの不確かな点が残る。我々がこの場所ですらなるデータを入手できるようになるまでには、長い年月が必要だろう。けれども幸い、太陽圏の内側からの遠隔観測により、ギャップの一部は埋められるはずである。ヘリオシースの太陽風プラズマからの電磁波は、あまりにも微弱で観察することはできない。けれども、これと周囲の中性原子との相互作用によって生成する高速中性原子 (ENA) なら、(光やその他の放射線と同程度に) 地球から観測することができる。2008 年の後半に打ち上げられることになっている IBEX 衛星は、この原理を利用して、ヘリオシースの全体像を解明しようとするものである。最近打ち上げられた STEREO 衛星も、ENA を観測することができる。

Nature 2008 年 7 月 3 日号には Wang らによる論文¹⁴も掲載されており、STEREO 衛星による ENA の最初の観測について報告している。これは、ボイジャーがヘリオシースで行う観測を補完するものである。STEREO 衛星が測定したエネルギースペクトルはボイジャーの測定結果と一致していたが、方向ごとに

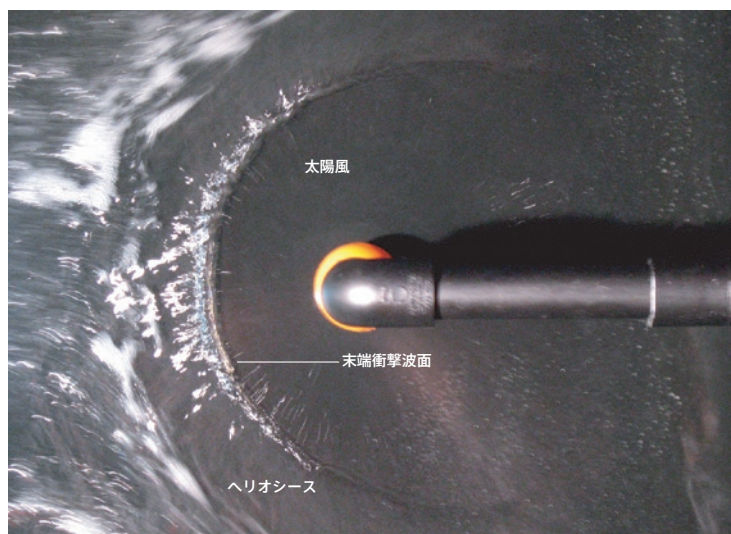


図 1：台所の流しで太陽圏を作る。

台所の流しの底に傾斜をつけ、蛇口から水を出したときのように上から見ると、太陽圏の二次元モデルになる。太陽風が太陽から四方八方に流れ出していくように、オレンジ色の蛇口から出た水は、その真下の点から放射状に広がっていく。広がった水はやがて、その周囲の水によって阻止されて大きく跳ねる（跳水）。末端衝撃波面に相当するこの跳水は、円に近い形をしている。星間媒質の流れは、左側の石けん水の一様な遅い流れとして表されている。このモデルの跳水の流れは乱れており、ダイナミックである。これはまさに、観測されている末端衝撃波面の性質によく似ている（モデル製作はアリゾナ大学物理学科の K. C. Hsieh、写真撮影は J. R. Jokipii による）。

強度のばらつきが観測されたのは予想外だった。著者にとって特に興味深く不可解に思われるのは、星間媒質が流れ込んでくる方向の近くで、経度の関数としての流量に 2 つの最大値が観測されたことである。

近年、太陽圏の外側に出た探査機からの観測データや、遠隔観測データがもたらされたことにより、太陽と銀河系との相互作用についての理解は大きく前進した。ボイジャーが旅を続け、STEREO 衛星や今後の IBEX ミッションがもたらす遠隔観測データが入ってくれば、より多くのことが明らかになるだろう。 ■

J. R. Jokipii, アリゾナ大学惑星科学部 (米)

1. Richardson, J. D., Kasper, J. C., Wang, C., Belcher, J. W. & Lazarus, A. J. *Nature* **454**, 63-66 (2008).
2. Decker, R. B. et al. *Nature* **454**, 67-70 (2008).
3. Stone, E. C. et al. *Nature* **454**, 71-74 (2008).
4. Burlaga, L. F. et al. *Nature* **454**, 75-77 (2008).
5. Gurnett, D. A. & Kurth, W. S. *Nature* **454**, 78-80 (2008).
6. Burlaga, L. F. et al. *Science* **309**, 2027-2029 (2005).
7. Decker, R. B. et al. *Science* **309**, 2020-2024 (2005).
8. Stone, E. C. et al. *Science* **309**, 2017-2020 (2005).
9. Jokipii, J. R., Giacalone, J. & Kota, J. *Astrophys. J.* **611**, L141-L144 (2004).
10. Lallement, R. et al. *Science* **307**, 1447-1449 (2005).
11. Ratkiewicz, R. et al. *Astron. Astrophys.* **335**, 363-369 (1998).
12. Pogorelov, N. & Matsuda, T. *J. Geophys. Res.* **103**, 237-245 (1998).
13. Opher, M., Stone, E. C. & Liewer, P. C. *Astrophys. J.* **640**, L71-L74 (2006).
14. Wang, L., Lin, R. P., Larson, D. E. & Luhmann, J. G. *Nature* **454**, 81-83 (2008).

ビデオ (www.nature.com/nature/videoarchive/voyager) も参照されたい。

Obituary

追悼

戸塚洋二氏 (1942-2008)

Henry W. Sobel, 鈴木洋一郎

スーパーカミオカンデ共同観測グループを率いてニュートリノ振動を発見。

Nature Vol.454 (954) / 21 August 2008

素粒子物理学の第一人者である戸塚洋二氏が、がんとの長い闘いを終えて、7月10日に永眠した。彼は、この30年間のニュートリノ物理学のスリリングな歩みを支え、2001年にニュートリノ観測装置スーパーカミオカンデが大規模破損事故を起こしたときには、確固たる信念をもって、その再建を指揮した。

戸塚は1942年3月6日に静岡県富士市に生まれ、東京大学で学士号、修士号、博士号を取得した。学位論文のテーマは超高エネルギー素粒子相互作用であり、素粒子物理学に対する彼の生涯にわたる情熱はここから始まっていた。戸塚はその後、東京大学の助手としてドイツに渡り、ドイツ電子シンクロトロン研究所で電子・陽電子衝突の研究に従事し、1979年に東京大学助教授となった。

戸塚のキャリアは、小柴昌俊とともにカミオカンデ実験の準備に着手した1981年に転機を迎えた（小柴は後に2002年、宇宙ニュートリノの検出によりRay Davis Jrとノーベル物理学賞を共同受賞することになる）。カミオカンデ計画の当初の目的は、陽子崩壊を検出することにあった。これは、タンクに大量の超純水を入れておき、その中の陽子が崩壊するのを待つという実験である。陽子が崩壊すれば、その生成物は水と相互作用して特徴的なチェレンコフ放射を生じるはずである。彼らは、タンクの内側の壁面に数百本の光電子増倍管を並べて、この光を捕らえようとした。この実験に必要な3000トンという膨大な量の水を蓄えたタンクは、宇宙線による背景雑音を遮るために地中深くに設置された。

この実験では、陽子崩壊モデルをかなり絞り込むことができただけでなく、太陽からくる低エネルギーのニュートリノ（太陽ニュートリノ）と地球に降り注ぐ宇宙線が大気中の原子核と衝突することで作られるニュートリノ（大気ニュートリノ）の両方をみることもできた。太陽ニュートリノは、1960年代後半にRay Davies Jrが建造した塩素を利用した観測装置によりすでに検出されていたが、理論から予想されていたニュートリノ流束の3分の1しか観測することができなかった。理論値と観測値とのこの矛盾は「太陽ニュートリノ欠損」として知られるようになり、ニュートリノの理解に問題があることを示唆する初期の徴候となった。

1987年に大マゼラン星雲で超新星爆発が起きたとき、カミオカンデ共同研究グループはまたとない幸運に恵まれた。米国のIMB（カリフォルニア大学アーバイン校・ミシガン大学・ブルックヘブン研究所）コンソーシアムとともに、超新星爆発によって生成したニュートリノバーストを観測することができたのである。ニュートリノ天文学は、このとき産声を上げたといわれている。その後、この観測データに基づいて超新星爆発やニュートリノの性質を論じる論文が800本以上も執筆された。

超新星爆発から間もなく、小柴は定年退官し、戸塚がカミオカンデ計画のリーダーとなった。その後、このグループは2本の重要な論文を発表した。第一の論文は、大気ニュートリノ欠損についての報告だった。このデータは、実験の系統誤差や背景ニュートリノ流束の不確定性では説明することができず、論文の言葉

を借りるなら、「いまだ説明のつかない物理過程」が関与している可能性があった。第二の論文は、Davis が記録した太陽ニュートリノ欠損を高い精度で確認するものだった。

1991 年に、戸塚はカミオカンデの後継観測装置を建設するための資金を得た。これが、5 万トンの水を蓄えた地下の検出器スーパーカミオカンデである。スーパーカミオカンデは、ニュートリノ振動という現象の存在とニュートリノが質量をもつことについての最初の決定的な証拠をもたらした。ニュートリノには、電子ニュートリノ、 μ ニュートリノ、 τ ニュートリノという 3 つの種類があり、お互いの間で変化することができる。これがニュートリノ振動である。大気ニュートリノは、主として μ ニュートリノと電子ニュートリノからなる。どちらの素粒子も、地球に吸収されることなく裏側まで突き抜けることができるため、大気ニュートリノは、空から降り注いでくると同じ数だけ地球の裏側から上向きに飛んでくると予測されていた。しかし、スーパーカミオカンデによる観測では、電子ニュートリノは両方向で同じ数だけ検出できたが、上向きに飛んでくる μ ニュートリノは下向きに飛んでくる μ ニュートリノよりも少なかった。

今日では、上向きに飛んでくる μ ニュートリノは、地球を通り抜けてくる分だけ空から直接降り注いでくるものよりも飛行距離が長いと、その間に τ ニュートリノへと変化して、検出器をすり抜けてしまうことがわかっている。ニュートリノ振動を裏づける証拠は、太陽ニュートリノ欠損の説明も提案した。すなわち、太陽からの「行方不明」の電子ニュートリノは、初期の観測装置では検出できなかった τ ニュートリノと μ ニュートリノに変化していただけなのかもしれない。これは後に、スーパーカミオカンデとカナダのサドベリー・ニュートリノ天文台での研究により確認された。

2003 年に、戸塚は茨城県つくば市の高エネルギー物理学研究所 (KEK) の所長に就任し、それから 3 年間、長基線ニュートリノ振動実験 (K2K) を指揮した。これは、KEK の加速器で発生させたニュートリノのビームを、250km 離れたスーパーカミオカンデで検出するという実験である。この実験により、大気ニュートリノ振動についての以前の知見が裏づけられた。戸塚はこの間に、KEK の B ファクトリという加速器を使って B 中間子を発生させて物質と反物質の違いを調べる BELLE 実験も軌道に乗せた。

2001 年にスーパーカミオカンデで重大事故が発生したとき、戸塚は稀有なリーダーシップを発揮した。観測装置に備えつけられていた数千本の光電子増倍管



が爆発するという大損害を被った翌日、彼は、1 年以内の再建を誓う声明を発表した。そして、わずか 2 か月のうちに再建のためのロードマップを完成させ、事故から 13 か月後には、実際にカミオカンデを再稼働させられる状態までこぎつけたのである。

病に倒れた晩年の 1 年あまりの間、戸塚はブログを執筆し、科学と科学政策に関する見解を語り続けた。彼はまた、そのフォーラムを使って、自分の闘病生活を記録した。彼は、自分のがんの広がりを時間の関数としてプロットし、化学療法の効果を評価した。ときには意外な趣味も明らかにして、自宅の庭に咲いた花や、スーパーカミオカンデが位置する村についても語った。

戸塚は、その業績により国際的な名声を博し、日本で最も権威のある文化勲章をはじめとする数々の学術賞を受賞した。ニュートリノ物理学が大きな成果を上げ続けていることは、彼の業績のすばらしさを証拠立てている。大気ニュートリノ異常や太陽ニュートリノ問題についての今日の詳細な理解の基礎には、スーパーカミオカンデ共同観測グループの努力がある。戸塚洋二は、この努力の中心にいた。彼のビジョンとリーダーシップが失われたことは、あまりにも大きな損失である。■

Henry W. Sobel、カリフォルニア大学アーバイン校理学部 (米)
鈴木洋一郎、東京大学宇宙線研究所岡岡宇宙素粒子研究施設

線虫の学習異常とアルツハイマー病の 関連タンパク質が結びついた！

飯野 雄一

線虫は、土壤中の化学物質や匂いの存在、温度、酸素濃度といった情報を統合して記憶することで、餌のありかや危険物の存在を探し当てる。学習の研究分野では、線虫のこうした行動を用いた解析が盛んに行われているが、東京大学大学院理学系研究科の飯野雄一教授は、先天的に正常な学習ができない線虫の変異体を解析することで、意外な遺伝子の異常を突き止めた。

塩を手がかりに線虫の化学走性学習変異体を作製

Nature Digest — なぜ線虫の学習に興味をもたれたのでしょうか？

飯野 — 私はもともと酵母の孢子形成の研究をしていたのですが、学習領域の草分け的存在であるエリック・カンデル博士（2000年にノーベル医学・生理学賞を受賞）の研究室に留学したことをきっかけに学習の研究を始めました。当時のカンデル博士は実験動物としてアメフラシを使っておられ、ほかの研究者による生理学領域などの成果を、自らの学習研究に演繹するといった手法を用いていました。一方、私は、まず学習に関与する行動が異常になった個体を集め、次にその遺伝的な背景を探るという「遺伝学の手法」を用いたいと考えました。それには、線虫（*C. elegans*）が最適だと考えたのです（図1）。

線虫はどの土壤中にもみられるありふれた動物ですが、細胞が全部で1000ほどしかなく、それぞれの細胞が分化するようすなどを、発生段階から肉眼で観察することができます。私が研究を始めたころに、どの細胞がどのように分化していくかという細胞の系譜がすべて明らかにされたほか、

1998年には全ゲノム（約100Mb）が完全に読まれ、遺伝子や配列のデータが飛躍的に充実しました。もし線虫に行動の異常が見つければ、これらの情報をもとに、その原因となる遺伝子や遺伝子発現の部位を比較的容易に特定できると考えたのです。

ND — 線虫は何をどういうふう学習するのでしょうか？

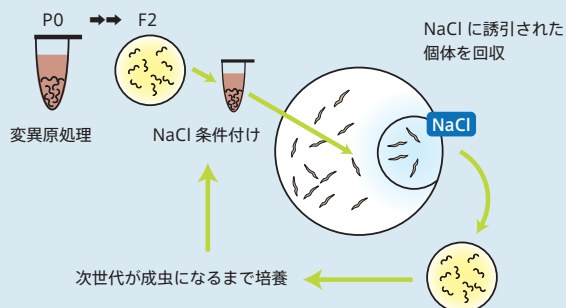
飯野 — 土壤中の暗い空間で生活する野生の線虫は、無機塩類の濃度や有機化合物の匂い、温度、浸透圧などを手がかりにして、餌を探したり、病原性細菌などの危険物から回避したりしています。このとき、それぞれの手がかりに引き寄せられたり、逆に回避したりすることを「走性」といいます。走性を利用すると、ある特定の手がかりとストレス条件とを組み合わせ学習（連合学習）させることができます。例えば、線虫はもともと塩化ナトリウム（以下、塩）を好む性質をもちます。ところが、飢餓状態にして「塩だけで餌はない状態」にすると、線虫は「塩があっても餌は得られない」という経験をし、このことを記憶することで、二度と食塩に引き寄せられなくなります¹。塩のように手がかりが化学物質の場合は「化学走性学習」といいますが、温度の高低を手がかりにした温度走性学習などをさせることも可能です。

ND — 今回のカルシネン発見に結びついた学習とは？

飯野 — 私たちは、線虫に変異原を与えて突然変異を誘発し



図1 線虫（*C. elegans*）。体長は1ミリほどで、透き通ったひものような体をもつ。



F2 1万匹をスクリーニング → 数系統の候補株を獲得

図2 化学走性学習変異体のスクリーニング。約1万匹を対象に、実験を何度繰り返しても塩に寄ってしまう変異体（数匹）を集め、それらをさらに自家受精させることで化学走性学習変異体の候補とした。

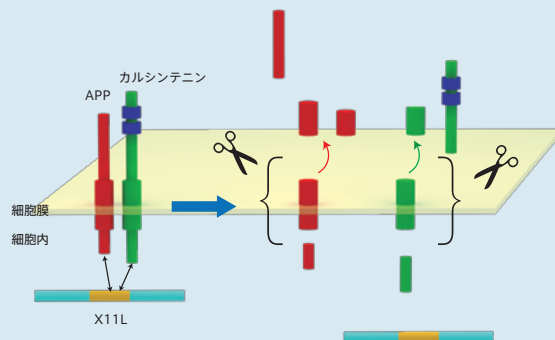
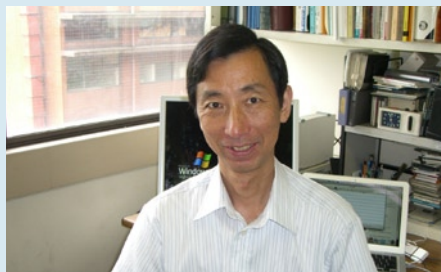


図3 哺乳類におけるカルシネンタンパク質の機能。カルシネンタンパク質は、足場となるタンパク質 X11L を介して APP と結合する。その後、カルシネンと APP は、ともに酵素によって断片化され、その一部は細胞から遊離する。



飯野雄一（いいの・ゆういち）／東京大学大学院理学系研究科教授。理学博士。1958年、福岡県生まれ。1982年、東京大学理学部生物科学科卒業。1987年、東京大学大学院理学系研究科生物化学専攻博士課程修了。学術振興会特別研究員ののち、1988年10月よりコロンビア大学博士研究員。1990年10月より、東京大学理学部助手、講師を経て、1998年6月より東京大学遺伝子実験施設助教授。2007年9月より現職。

1982年に東京大学大学院入学後、山本正幸教授の指導の下に酵母の減数分裂、孢子形成機構の分子遺伝学的研究に従事。1998年、コロンビア大学留学時に、エリック・カンデル教授の下で神経科学に転向。アメフラシの神経可塑性に関わる遺伝子の探索を行う。帰国後、酵母の研究と線虫の研究を平行して進める。遺伝子実験施設に異動の後は、専ら、線虫の行動遺伝学、特に化学走性と学習の機構の研究を進めている。

たうで行動に異常を示す個体を選び出し、その遺伝子の同定やタンパク質の解析を進めています。その一環として、「塩、餌、飢餓状態」を用いた一連の実験をしたところ、塩があっても餌が得られないという経験をしたにもかかわらず、それを記憶できずに、後ほど再び「塩だけで餌のない部位」に引き寄せられてしまう線虫を見つけることができました。約1万匹を対象に、何度繰り返しても塩に寄ってしまう数匹だけを集め、さらに自家受精させることでサンプル個体を増やした結果、得られたのです（図2）。次に、これらの変異体を対象に、変異した遺伝子のありかと配列の異常を調べてみました。その結果、出てきたのが線虫のカルシンテニンの相同遺伝子の異常だったのです²。

思いがけずアルツハイマー病のAPPとつながった

ND — カルシンテニンとはどのような遺伝子なのでしょう？

飯野 — 実は、カルシンテニンの同定は、まったくの想定外で、私はこの遺伝子の存在すら知りませんでした。逆にいうと、こういったまったく予知し得ない遺伝子をつり上げられるというのが、私たちの実験系の醍醐味でもあります。さっそく、データベース等で照合したところ、カルシンテニンタンパク質は細胞膜を貫通するタイプのもので、「足場となるタンパク質(X11L)」を介して、アルツハイマー病と密接な関連があるとされるAPPという別のタンパク質と結合することがわかりました（図3）。その後、APPはいくつかに切断されるのですが、アルツハイマー病患者の脳では、この断片の1つであるアミロイドβが異常に蓄積してしまい「老人斑」となることが知られています。このあたりについては、アルツハイマー病が専門の北海道大学大学院薬学研究科の鈴木利治教授が詳しく研究されていて、カルシンテニン（カルシンテニンタンパク質には複数のよび名があり、鈴木教授はアルカディンと名づけている）、APP、X11Lの三者が複合体を形成してしまうと、カルシンテニンおよびAPPの切り出しと断片化がうまくいかなることを明らかにされています。

さらに私たちは、線虫のカルシンテニン遺伝子がいくつかのドメインをもち、今回の変異体は、その1つであるLG/LNSドメイン中のただ1つのアミノ酸がほかのものに置き換わっていることも突き止めました³。同時に、線虫でもカルシンテニンタンパク質が切断され、その一部が細胞の外に分泌される必要があることも明らかにしましたが、断片が細胞外でどのよ

うな機能を発揮するのかについてはまだ不明です。ただし、「カルシンテニンは線虫のさまざまな細胞で広く発現しているが、このうち学習行動に関与しているのは、塩の受容体をもつ感覚神経細胞だけだ」ということがわかってきました³。つまり、この感覚神経細胞にさえ発現すれば、ほかの細胞でまったく発現しなくても学習には影響を与えないということです。このことは、実際の行動実験でも確かめることができました。

ND — 今回の成果はアルツハイマー病の治療にもつながるのでしょうか？

飯野 — 直接つながるかどうかはわかりません。ただし、APPの切り出しと断片化については、鈴木教授のチームをはじめ、世界中の研究者が解明を急いでいます。

ND — 今後の研究の課題は？

飯野 — まずは、カルシンテニンタンパク質の断片が細胞外でどのように機能しているのかを突き止め、どのようなネットワークを介して塩の回避行動につながるのかを突き止めたいと考えています。これまでに私たちは、インスリン受容体遺伝子に変異した線虫も塩に引き寄せられる学習異常を示すことや、PTENという酵素の遺伝子の変異体では学習していないのにあたかも学習したかのように塩を回避する行動をとることなども明らかにしており²、こうした変異体のさらなる解析によって、感覚神経細胞内でどのような分子のやりとりが行われているのかについても検討していきたいと思っています。そのためには、1つの細胞を取り出して観察したり、細胞に電極を差し込んで電位を測ったりできるとよいのですが、残念ながら線虫ではそのようなことができません。代替として、蛍光プローブで神経細胞を光らせてイメージングする技術などがますます発展していくことを期待しています。線虫の実験系はごく単純なものです。そこからより複雑な学習や行動に結びつけることができ、普遍的な学習の制御機構を検討することができます。もちろんヒトと共通の原理も多くあるわけですが、私にとっての興味は、あくまでも線虫でどうなっているのかを理解することですので、これからも線虫を相手に研究を続けていきたいと思っています。

ND — ありがとうございます。

聞き手は西村尚子（サイエンスライター）。

1. Saeki, S. et al. *J. Exp. Biol.* **204**, 1757-1764 (2001)
2. Tomioka, M. et al. *Neuron* **51**, 613-625 (2006)
3. Ikeda, D. et al. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **105**, 5260-5265 (2008).

今回は、地球以外の天体では初めて、火星で水の存在が確認されたことを報じたニュース記事を取り上げます。採取した土壌サンプルを高温で加熱する過程が、焼き物にたとえて書かれています。右ページの解説を参考にしながら読んでみましょう。

NEWS nature news

語数：481 words 分野：宇宙

Published online 1 August 2008 | *Nature* | doi:10.1038/news.2008.1002

Phoenix lander tastes its first ice

Scientists **resort to** soil sample after problems **scraping** frozen ground.

<http://www.nature.com/news/2008/080801/full/news.2008.1002.html>

Eric Hand



フェニックス探査機が撮影した火星のパノラマ画像。

1. After a month of difficulty, the Mars Phoenix spacecraft is **back in the baked goods business** — and even got to put a little **icing** on top.
2. On Thursday, mission scientists announced they had managed to scrape some Martian soil up and **sprinkle** it inside one of the spacecraft's eight ovens — where they discovered that a tiny bit of ice had **tagged along** with the soil. It's the first ice actually sampled by the mission after weeks of fruitless attempts to get more pure ice in the ovens.
3. "There were champagne corks popping in the **downlink room**," says William Boynton, lead scientist for the oven instrument at the University of Arizona in Tucson.

Shorting out

4. The NASA spacecraft, which landed on the northern plains of Mars on 25 May, initially got off to a smooth start. But mission scientists had a problem using a robotic arm to dump soil into the first of its eight ovens, designed to bake soil and ice and sniff their evaporated gases.
5. That first **scoop of** soil was sticky, and when it was finally dumped onto the first oven door on 6 June it led to a short circuit. Cautious engineers told the scientists to next analyse a sample of buried ice. But the ice stayed stuck in the scoop during delivery attempts over the past two weeks. So the team decided to "**get on with** the dry soil," and, on Wednesday, sprinkled the new soil sample into a second oven, Boynton says.
6. Mission scientists had been getting nervous that Phoenix was more than two-thirds through its

initially scheduled lifetime. But at a Thursday news briefing, NASA Mars Exploration Program chief scientist Michael Meyer announced that the mission would be extended five weeks, to the end of September, at a cost of \$2 million.

Next steps

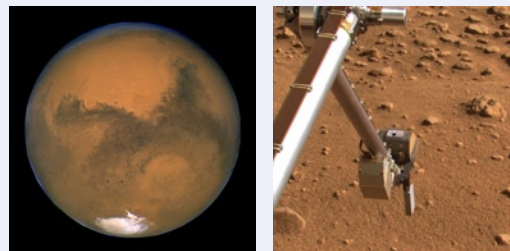
7. Over the next week, Boynton and his team will continue baking the sample, ramping up the temperatures in stages to a maximum of 1,000 degrees Celsius. The little bit of ice, barely detectable in the initial heating, isn't enough for an **isotopic analysis** that would help explain its history. Boynton says the team will eventually have to try again at gathering an ice sample off the concrete-hard surface.
8. Principal investigator Peter Smith, of the University of Arizona, notes that other instruments continue to function well. A **wet-chemistry** lab has analysed two samples and found the soil surprisingly **alkaline**. A **meteorological station** has gathered daily weather data during the summery polar days that so far have been calm.
9. And the main camera has completed a 100-megabyte panorama that reveals small rocks that are unusually free of wind-sculpted features, says Mark Lemmon, of Texas A&M University in College Station. Lemmon says his team is now **embarking on** a more detailed panorama requiring 1,500 individual images and two-thirds of a gigabyte of data.
10. "It's the panorama we'll **go out in style with**," he says.

Topics 火星の特徴

地球のすぐ外側にある、太陽から4番目に遠い地球型の惑星。半径は約3400kmで、地球の約半分の大きさ。フォボスとダイモスと名づけられた衛星をもつ。土壌に含まれる酸化鉄のために赤く見える。公転周期（太陽の周りを回るのにかかる時間）は686.98日、自転周期は24.62時間。大気は非常に薄く、地表面の気圧は地球の0.8%程度しかなく、寒暖差が100℃、平均気温-40℃と厳しい環境である。二酸化炭素が大気の95.32%を占め、窒素（2.7%）、アルゴン（1.6%）、酸素（0.13%）が続く、ごく微量ではあるが水蒸気も存在する。ただし、大気中の水蒸気がすべて雨になったとしても、0.01mmの降水量にしかない。また、重力も地球の約38%しかない。赤道面が公転面に対して25.19°（地球は、23.4°）傾いているので、地球と同様に季節があり、極地方は、夏は白夜、冬は太陽の出ない日が続く。このため、冬には極地方に「極冠」とよばれるドライアイスと氷の塊が出現する。火星の地形は大きく二分され、南半球は高地でクレーターが非常に多く、北半球はクレーターの少ない低地で、地質学的には南半球より若くて地殻が薄い。最高地点は、オリンポス山と名づけられた、高さ26kmの太陽系最大の火山で、最低地点はマリネス峡谷とよばれる深さ7kmの谷である。

最近の火星探査とフェニックス

これまでに、米国、ロシアをはじめ、ヨーロッパ、日本が火星探査機を打ち上げてきたが、その多くがミッションを完遂できず失敗に終わっている。最近では、マーズ・エクスプレス（欧 2003 年）、マーズ・エクスプローション・ローバーのオポチュニティとスピリット（米 2003 年）、マーズ・リコネッサンス・オービター（米 2005 年）が成功している。フェニックスは、NASA（米航空宇宙局）の着陸探査機で 2007 年 8 月 4 日（米東部時間）に打ち上げられ、2008 年 5 月 26 日（日本時間）、火星の北緯 68 度、東経 234 度の地点に着陸した。この地点が選ばれたのは、永久凍土に近く、水を直接探査・調査することができ、生命の痕跡を見つける可能性が考えられたからである。フェニックスには次のような装置が搭載されており、太陽電池により駆動している。



左は、ハッブル宇宙望遠鏡がとらえた火星（2003 年 8 月）。クレーターと極冠が確認できる。右は、土壌サンプルを採取するフェニックス探査機のロボットアーム（2008 年 7 月 14 日）。

- ・ロボットアーム（RA）：スコップで土壌を掘削し、サンプルを採取する。
- ・ロボットアームカメラ（RAC）：ロボットアームのスコップの上に取り付けられ、火星表面や土壌サンプルをカラー撮影する。
- ・熱 / ガス分析装置（TEGA）：採取サンプルを最大 1000℃で熱し、発生した気体の質量分析を行う。
- ・降下カメラ（MARDI）：フェニックス降下中の映像を撮影する予定だったが、打ち上げ前に発覚したデータ処理上のトラブルのために、実際の撮影は行われなかった。
- ・地表ステレオ撮像装置（SSI）：2m の高さからの火星を、高解像度で立体パノラマ撮影するほか、赤外線撮影などさまざまな波長の光による撮影も行う。
- ・微量 / 電気化学 / 伝導解析装置（MECA）：採取サンプルを溶液化し、ナトリウムイオン、硫酸イオンなど 12 種類のイオンの濃度、pH などを測定するほか、顕微鏡によって、含有鉱物などを調べる。
- ・気象観測装置（MET）：毎日の気象観測を行う。

Science key words

7. **isotopic analysis:** 同位体分析
同じ原子番号をもつ元素は、化学的性質は同じであるが、原子核を構成する中性子の数が異なるものが存在する。それらを同位体といい、多くは放射性である。人工的に作製されたもののほか、微量ながら自然界にも存在する。同位体分析は、質量分析によって同位体

の存在量を求めたり、比放射能や同位体存在比を求めたりする。これにより、その元素を含む物質の起源や年代を知ることができる。

8. **wet chemistry:** 湿式化学
サンプルを水に溶かすなど溶液化して、種々の分析を行う化学。
8. **alkaline:** アルカリ性
物質を水溶液にしたとき、水酸化物イオン(OH⁻)を生じる性質のこと。

Words and phrases

- リード **resort to:** 「(何らかの手段に) 頼る」
リード **scrape(-ing):** 「かき取る」「削り取る」
1. **back in the baked goods business:** 「再び窯に火を入れた」
baked goods business とは、ベーカリー（パン屋、ケーキ屋）のことだが、これは、探査機内の高温炉を使った作業の隠喩である。
1. **icing:** 「添え物」
もともとは「薄氷」「着氷」という意味で、ここでは、火星の土壌試料に付着していた氷を指している。さらに「菓子にかけの砂糖・卵白・牛乳で作った糖衣」という意味もあるため、baked goods business とのつながりで使われている。
2. **sprinkle:** 「ふりかける」
消火や園芸などに使われる「スプリンクラー」の動詞形。名詞では「洋菓子のデコレーション用の粉砂糖、粉状のチョコレート」という意味

もあり、ここでは baked goods business にかけてある。

2. **tag(ged) along:** 「一緒についてくる (いく)」
3. **downlink room:** 「ダウンリンク室」
ダウンリンク（人工衛星・宇宙船などから地上へ信号やデータを送ること）を行う部屋のこと
- 見出し **Shorting out:** 「(電気回路、電気器具が) ショートする」
5. **scoop of:** 「ひとすくい」
5. **get on with ~:** 「〜で何とかやっていく」
8. **meteorological station:** 「気象観測装置」
通常は「測候所」のことだが、ここでは、フェニックスに装備されている気象観測機器のこと。
9. **embarking on:** 「〜に着手する」「〜に乗り出す」
10. **go out in style with:** 「有終の美を飾る」
go out 「終わる」「退く」。in style 「派手に」「立派に」。

NEWS nature news

参考記

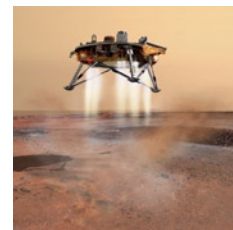
Published online 1 August 2008 | *Nature* | doi:10.1038/news.2008.1002

フェニックス探査機が火星の氷を初めて味わう

凍土の掘削に苦しんだ科学者が、土壌サンプルを使って重要な発見を成し遂げた。

<http://www.nature.com/news/2008/080801/full/news.2008.1002.html>

エリック・ハンド



火星に着陸するフェニックス探査機の想像図。

1. 1 か月にわたる苦難の末、火星探査機「フェニックス」は再び窯に火を入れた。今回の焼き物には、ちょっとした添え物もついていた。
2. ミッションサイエンティストはこの木曜日（7月31日）に行われた発表で、火星の土を少量かき取り、探査機に備えつけられた8基の高温炉の1つに投入することに成功したと報告した。分析の結果、この土に微量の氷が付着していたことが明らかになった。探査ミッションでは、より純粋な氷を採取して高温炉に投入しようと数週間前から作業が進められていたが、実際に氷の採取に成功したのは今回が初めてだった。
3. 「ダウンリンク室では、シャンペンのコルクがポンポンと飛び交っていました」と、高温炉装置のリードサイエンティストであるアリゾナ大学（米国トゥーソン）の William Boynton は語る。

ショート発生

4. この NASA の火星探査機は、5月25日に火星の北部平原に着陸し、順調なスタートを切った。ミッションサイエンティストは、探査機のロボットアームに土をすくわせた後、高温炉に投入し、土と氷を加熱したときに蒸発してくるガスを解析することになっていた。ところが、8基ある高温炉のうちの第1高温炉に土を投入しようとしたところで問題が発生した。
5. 最初にすくった土は粘度が高く、6月6日ようやく第1高温炉の扉に投下することができたが、電気回路をショートさせてしまった。エンジニアたちは大事をとって、次は地中の氷を集めるようミッションサイエンティストに進言した。しかし、それまでの2週間にわたる運搬作業の間、氷は（ロボットアームの）スコップに付着したままになっていた。そこでミッションチームは、「乾燥した土を使って作業を続ける」ことに決めた。そして、この水曜日（7月30日）に新たなサンプルとなる土を採取し、第2の高温炉に投入した、と Boynton は話す。

6. ミッションサイエンティストは、フェニックス探査機の活動期間が当初の予定の3分の2を超えてしまっていることに神経をとがらせていた。この点に関して、NASA 火星探査計画のチーフサイエンティストの Michael Meyer は、ミッション期間を5週間延長して9月末までとすることを木曜日（7月31日）の記者会見で発表した。延長のための費用は200万米ドル（約2億2000万円）である。

次のステップ

7. Boynton のチームは、これから1週間かけて高温炉でのサンプルの加熱を続け、炉内温度を段階的に1000℃まで上げていくつもりである。最初の加熱では、かろうじて微量の氷を検出することができたが、この量では同位体分析にはならず、その来歴の解明には役に立たない。Boynton は、今後、コンクリート並みに硬い地表からサンプルとなる氷を採取する作業に再挑戦することになるだろうという。
8. 主任研究員の Peter Smith（アリゾナ大学）は、ほかの機器は正常に機能し続けていると請け合う。ウェット・ケミストリー・ラボ（湿式化学実験装置）は2つの試料を解析して、火星の土が予想以上にアルカリ性であることを明らかにした。気象観測装置は、毎日の気象データを収集している。これまでのところ、火星の北極での夏の日々は、穏やかな天候に恵まれている。
9. メインカメラは100メガバイトのパノラマ画像を送ってきた。テキサス A&M 大学（米国カレッジステーション）の Mark Lemmon によると、そこには、風による浸食作用を受けていない、珍しい小岩石が写っているという。彼のチームは、1500枚の画像と0.66ギガバイトのデータ量を要する、より詳細なパノラマ画像の撮影に着手した。
10. 「私たちは、パノラマ画像を撮って、立派に任務を終える予定です」。

Nature Geoscience
創刊年月：2008 年 1 月
インパクトファクター
2010 年発表

Nature Photonics
創刊年月：2007 年 1 月
インパクトファクター 2009 年発表

Nature Nanotechnology
創刊年月：2006 年 10 月
初インパクトファクター：
14.917^{*2}
ナノサイエンス・
ナノテクノロジーカテゴリ 1 位

Nature Materials
創刊年月：2002 年 9 月
インパクトファクター：
19.194^{*1} → 19.781^{*2}
応用物理学、物性物理学、
物理化学の 3 カテゴリ 1 位

Nature Chemistry
創刊年月：2009 年 4 月
インパクトファクター 2011 年発表

Nature Chemical Biology
創刊年月：2005 年 6 月
インパクトファクター：
12.409^{*1} → 13.683^{*2}
生化学・分子生物学カテゴリ、
月刊リサーチジャーナル 3 位

Nature Physics
創刊年月：2005 年 10 月
インパクトファクター：
12.040^{*1} → 14.677^{*2}
学際的物理学カテゴリ 1 位

Nature
創刊年月：1869 年
インパクトファクター：
26.681^{*1} → 28.751^{*2}
学際的科学カテゴリ 1 位

昇り続ける インパクトファクター

^{*1} Journal Citation Reports, Thomson, 2007

^{*2} Journal Citation Reports, Thomson, 2008

www.naturejpn.com

 nature asia-pacific

「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）

日本語でnatureを読む

Nature Digestは、Natureを日本の皆様により身近に感じていただくために全ページ日本語で編集された科学情報誌です。英国本社で作成されたNature本誌、Natureオンラインニュースに掲載されている最新の科学ニュースや科学論説などの記事はもとより、日本オリジナルの企画編集記事も加わり充実した1冊となっています。



Nature 翻訳・編集記事

Highlights 論文ハイライト

Editorial 社説

News 科学ニュース

News Feature 科学ニュース読み物
興味あるテーマを親しみやすく解説

News & Views 科学論説

オリジナル編集記事

Japan News Feature
日本の科学ニュース

Japanese Author
日本人科学者へのインタビュー記事

High School Scientist
スーパーサイエンスハイスクールへの取材記事

英語でNature
Natureに掲載の記事から生きた英語を学ぶ



2008年1月号より **8** ページ増量!!

Nature Digest定期購読お申込みはこちらから

www.naturejpn.com/digest-f08