

日本語で読む世界の最新科学ニュース

ノーベル賞
日本人2氏へ

nature ダイジェスト

12
2010

カップリング触媒にノーベル賞

「体外受精」に医学生理学賞

物理学賞は「グラフェン」に

ラスコー洞窟の壁画が危機に

研究助成金の申請は
こうして落とされる!

海洋細菌の間で
遺伝情報が水平伝播している

ヘルペスウイルスの受容体は
なんとミオシンだった

著作権等の理由により画像を掲載できません

未来のリーダーを育てる
贅沢なプログラム

東洋と西洋では科学観に違いが

多剤耐性菌は
仲間を守る物質を生産する



定価 680 円

あたらしい nature で、 あたらしい1週間が始まる！

1年購読でも
30% OFF
2010年12月31日まで



THIS WEEK

NEWS IN FOCUS

COMMENT

CAREERS

RESEARCH

2010年9月23日、
印刷版・電子版ともに、
デザインを一新し、
前半部分・目次がより読みやすく、
読み応えのあるジャーナルに
生まれ変わりました！

忙しい研究者の皆様に、役立つ情報を、
より迅速にお届けします。

新しい nature を手にしたら



日本語ページとNEW ONLINEで、
今週のプリント版とオンライン版の
概要をつかむ！

New Onlineは、Researchセクションにできた
新しいサブセクションの1つ。
オンライン版に先行掲載された論文概要を
まとめて1ページに掲載しており、
重要な研究成果をいち早く知ることができます。
日本語ページは、今週号全体を紹介。
ハイライト、目次、論文アブストラクトが
一目でわかり、専門分野外のトレンドも
しっかり押さえられます。



THIS WEEK

SEVEN DAYS と、RESEARCH HIGHLIGHTS で、
1週間の科学ニュースと最新研究を知る！

CAREERS

CAREERS で、世界各国の求人情報をチェック
海外で新しいスタートを目指す！

NEWS IN FOCUS

NEWS で、世界の動きを知る
NEWS FEATURES で、科学への感性を磨く！

RESEARCH

RESEARCH の最新論文で、
次の実験のひらめきを！

ノーベル化学賞に 巧妙なカップリング触媒

02



© 毎日新聞社

化学工業に欠かせない、パラジウム触媒によるカップリング反応を開発した3人の化学者が、栄誉に輝く。

COVER IMAGE: 鈴木氏: 時事; 根岸氏: AP/ アフロ

NATURE NEWS

- 03 体外受精の先駆者に
ノーベル医学生理学賞
- 05 ノーベル物理学賞はグラフェンの
革新的実験がスピード受賞
- 07 熱帯熱マラリア原虫はゴリラ由来
- 08 太陽活動の低下で地球が温暖化?
- 10 NASA 特別委が小惑星対策を答申へ
- 20 遺伝子組み換えサケ、承認へ
- 26 勝者なき米国大学院課程の格付け
- 27 NIH からエピゲノムマップが
公開された

NEWS IN JAPAN

- 21 新種のリンパ球を発見

NEWS FEATURE

- 16 未来のリーダーを育てる 10 週間
- 29 欧米と異なるアジア人の科学観

NEWS & VIEWS

- 32 グラフェンの細孔を利用した
DNA シーケンサー
- 34 薬剤耐性菌は「利他行動」で
仲間を守る

EDITORIAL

- 36 トランスレーショナル・リサーチに
期待する
- 37 反科学ティーパーティー運動に要注意

HIGHLIGHTS

- 38 2010年10/7 ~ 10/28号

英語で Nature

- 42 植物の絶滅の危険性を評価

09 ラスコ洞窟壁画の 保存がようやく本格化

世界遺産にもなっているラスコー洞窟の壁画は、今、危機的状況にある。ようやくフランス政府がその保護政策を見直し始めた。



HEMIS/ALAMY

12 研究助成金の申請は、 こうして落とされる

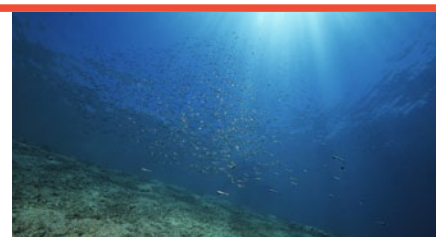
助成金交付を決定する審査委員会に、Nature の記者が潜入。その実態に迫る。



ISTOCKPHOTO

06 ウイルス様粒子が 細菌の進化を加速

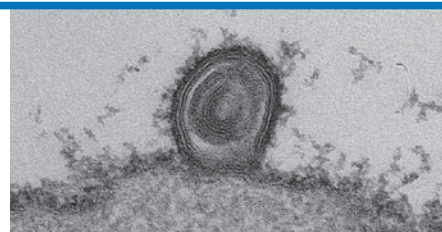
海洋細菌の間での遺伝子の水平伝播には、ウイルス様粒子が大きな役割を果たしているらしい。



ISTOCKPHOTO

24 ヘルペスウイルス感染の 受容体はミオシン分子だった

ウイルスの侵入には、非筋肉性ミオシンが受容体として機能しているという、驚きの現象が明らかになった。



写真提供: 川口寧



左から鈴木章、根岸英一、Richard Heck の3氏が、今年のノーベル化学賞を受賞。

ノーベル化学賞に 巧妙なカップリング触媒

Clever coupling catalysts lauded by chemistry Nobel

RICHARD VAN NOORDEN 2010年10月6日 オンライン掲載
www.nature.com/news/2010/101006/full/news.2010.511.html

医薬品製造によく使われるパラジウム系化合物を触媒とする
 有機合成反応を開発した3人の化学者に、栄誉が授けられた。

今年のノーベル化学賞は、有機分子をすばやく効率よくつなぎ合わせる技術により、Richard Heck（デラウェア大学名誉教授）、根岸英一（パデュー大学特別教授）、鈴木章（北海道大学名誉教授）の3氏が受賞した。受賞理由は、少量の金属パラジウムを使って炭素原子鎖どうしをつなぎ合わせる反応（カップリング反応）を開発したことである。彼らが1960年代と1970年代に発見した炭素-炭素結合を形成する化学反応過程は、現在では化学の教科書の要となっており、産業界や学界で日常的に使われている。さらに、この技術は、医薬品、エレクトロニクス、プラスチックの研究に革命をもたらしている。

今回の受賞は、有機化学者たちから一様に歓迎された。ノーベル賞委員会が、化学の中心領域と見なされている「分子を作る」ことを選んだことに、有機化学者たちは心から喜んだ。「本当にすばらしいことです。当然の受賞でしょう。こ

れらの反応過程は、合成有機化学者にとって不可欠なものですから。3人の受賞者たちは、最初からずっとこの分野にかかわってきたのです」と、同じ手法を用いて新しい反応を開発してきたマサチューセッツ工科大学（米国ケンブリッジ）のStephen Buchwaldという。また、インペリアル・カレッジ・ロンドン（英国）の合成化学者 Mimi Hii は、「受賞は遅すぎですよ。もう何年も前から、皆が話題にしていたから。問題は誰が受賞するかでした」と話す。

ノーベル賞は死後に受賞できないが、存命なら、John Stille（1989年死去）も受賞していたかもしれない。

合成革命の始まり

「1970年代以前は、炭素鎖どうしをつなぎ合わせようとする場合、化学者は大変な作業を行っていました」と Buchwald は話す。2種類の化合物を混ぜ合わせただけでは、副産物がたくさんできてしま

い、反応フラスコの底にスラッジが生じる場合が多い。特に、芳香族化合物（ドーナツ型の電子雲に挟まれた炭素原子のリングをもつ）の場合、こうした反応がしばしば起こる。

しかし、多くの化学者たちが、この問題に立ち向かい、さまざまな反応を研究した。そして1970年代までには、金属と炭素ベースの有機分子が結合した有機金属化合物を触媒として利用するようになった。

そんななか、Heck（当時、米国デラウェア州ウィルミントンのハーキュリーズ・ケミカル・カンパニー社に勤務）は、1960年代後半、有機ハロゲン化合物とアルケンの反応にパラジウム化合物を触媒として用いると、カップリング反応が非常にうまく進行することを発見した¹。パラジウム原子は、カップリング反応の際、炭素鎖と炭素鎖の間に入り込み、2つの分子が目的の生成物を形成するよう効果的に誘導する。不要な副反応はほとんど起こらなかった。

そして1970年代後半になると、パデュー大学（米国インディアナ州ウエストラフィエット）の根岸が有機亜鉛化合物²を、北海道大学（札幌市）の鈴木が有機ホウ素化合物³を使って、パラジウム化合物触媒による独自のクロスカップリング反応を発表した。こうして、さまざまな有機化合物から新しい有機化合物の合成が、正確に容易にできるようになった。「彼らの貢献によって有機合成に革命が起こったのです」と、ケンブリッジ大学（英国）の合成有機化学者 Ian Paterson は語る。

巧妙なだけではない

「実は、パラジウムを用いたクロスカップリング反応が実際に工業化学者たちの目に留まるまで10年ほどかかりました」と、巨大多国籍製薬企業アストラゼネカ社（英国ロンドン）の化学者 Andrew Wells はいう。彼は、自社で現在開発中の化合物のうち、15～30 パーセントがパラジウム触媒クロスカップリング反応を利用していると推定している。「我々は社内に、この領域の化学研究を専門にしている大きなチームを抱えており、また、科学関連の対外支出のかかなりの部分を、この領域の技術に関する学術機関との共同研究に費やしています」と Wells は話す。

現在、スイスの製薬会社ノバルティス社の抗がん剤グリベック（イマチニブ）や高血圧症治療薬ディオバン（バルサルタン）、ドイツの化学会社 BASF の殺菌剤ボスカリドなど、多くの有機化合物がパラジウムを使って合成されている。

また、パラジウム触媒は、導電性有機高分子（2000 年のノーベル化学賞）を合成するカギにもなっている。

今後も合成法にノーベル賞？

ノーベル化学賞が新しい分子合成法に贈られたのは、この10年間で3度目である。2001年にキラル分子という右手系だけまたは左手系だけの分子を合成する方法に、2005年には「有機分子を結びつける分子のダンス」と表現されたメタセシスに贈られた。

「我々の夢の1つは、あらゆる重要な有機化合物の合成を可能にすることです」と、根岸は受賞後の記者会見で語った。これを聞いた専門外の者は、現代的な方法を使えば、化学者はどんな分子でも合成できるようになったと思ったかもしれない。しかし、「世の中には、非常に信頼できるしっかりした合成方法はそれほど多くないのです」と Hii はいう。1つの分子を1週間で作れるなら、それは速いといえるのです。全合成を研究しているグループは、いまだに何年もかけ

て1つの分子を作っています。有機化学には未知の部分がまだ多く残されているのです」。

パデュー大学での根岸氏の共同研究者の1人である米国化学会会長 Joe Francisco は、「今回の受賞が合成化学に贈られる最後のノーベル賞ではないでしょう。新触媒開発の基礎的研究は、今

後も榮譽を受けるに値すると思います」と語っている。

（翻訳：藤野正美）

1. Heck, R. F. *J. Am. Chem. Soc.* **90**, 5535-5538 (1968).
2. Negishi, E.-I., King, A. O. & Okukado, N. *J. Org. Chem.* **42**, 1821-1823 (1977).
3. Miyaura, N., Yamada, K. & Suzuki, A. *Tetrahedron Lett.* **20**, 3437-3440 (1979).

体外受精の先駆者に ノーベル医学生理学賞

Baby boom bags Nobel prize

ALISON ABBOTT 2010年10月7日号 Vol. 467 (641-642)
www.nature.com/news/2010/101004/full/467641a.html

世界初の体外受精児の生みの親がノーベル賞を受賞。

その研究により、400 万人がこの世に生を受けた。—— そんな表現が全く大げさでない稀代の科学者がいる。Robert Edwards である。その業績の核心となった技術が、体外受精 (IVF) だ。Edwards は、体外受精の功績により、2010 年度のノーベル医学生理学賞を受賞した。

体外受精を実現するために、Edwards は、基礎生物学上のさまざまな問題を解決していった。やがて、そのいくつかは、胚性幹細胞 (ES 細胞) 研究の道を開くことにもつながった。しかし一方では、キリスト教会や政治家、果てはケンブリッジ大学 (英国) の著名な何人かの同僚研究者たちからも、猛烈な反対に遭った。社交的だが思慮深くもある人柄ゆえに、Edwards は公開討論にも熱心に参加したが、彼の研究が倫理に反するとする非難の声に傷つくこともあった。

しかし、もう1人の「異端者」であるオールダム地区総合病院の産科医 Patrick Steptoe の協力の下、1978 年、世界初

の体外受精児、Louise Brown が誕生した。それから5年も経たないうちに世界中で150人の体外受精児が生まれ、体外受精は生殖医療の主流となった。現在、Edwards と Steptoe は、数百万人の赤ん坊の誕生に力を貸した功労者として讃えられている。残念ながら、Steptoe は1988年に死去したが、存命であればおそらく一緒に受賞していたことだろう。

2001年にEdwardsはラスカー賞を受賞した。ラスカー賞の受賞者は、後にノーベル賞を受賞することが多い。2年前には、この研究が、生物学や医学だけでなく、法律や倫理、芸術や社会人類学といったさまざまな方面にまで影響を及ぼしたことについて討論するシンポジウムが開催されたが、その席でEdwardsは、体外受精30周年を祝した。現在85歳のEdwardsは、健康上の理由でインタビューを受けることはできないが、彼の妻は夫が受賞を知って喜んでいとノーベル財団に語っている。「社会においてこれほど多くの側面を交

容させた科学者は、ほかにいないでしょう」と、Edwards が初めて指導した大学院生の 1 人で、現在はケンブリッジ大学で生殖科学の教授を務める Martin Johnson は話す。

Edwards の研究キャリアは、1950 年代初めのマウスの生殖生物学に関する研究に始まる。彼は、雌マウスから卵を採取し、それらを試験管内で成熟させて受精させる方法や、他の動物の卵でも可能な方法を見つけた。また、げっ歯類の排卵のタイミングを、特定のホルモンを投与してコントロールする方法も編み出した。げっ歯類の排卵は夜間に起こる傾向があるので、研究がめんどろだったのである。

1958 年にロンドンの英国立医学研究所に入るとまもなく、Edwards は、生殖生物学に関する自分の研究成果だけでなく他の研究グループの知見も、ヒトに応用し始めた。彼は外科医からヒト卵巣の切片をもらい、未成熟卵を取り出し、試験管内でそれらを成熟させようとした。当初はなかなかうまくいかず、失意の日々を過ごした。そして 2 年後、ようやく、ヒトではこの過程に 24 時間以上の定温培養が必要なことがわかった。げっ歯類では 12 時間で十分だったのだが、ヒトでは足りなかったのである。「こうした実験による観察結果が、科学を前進させるのです」と、エディンバラ大学 MRC 生殖医療センター（英国）の Ian Wilmut は語る。Wilmut 自身も、従来知られていた定温細胞培養のタイミング

を変えて、最初の哺乳類クローンであるヒツジの「ドリー」を作り出した。「こうしたことは、後から振り返ると些細な問題に思えますが、実際には成否を決める重大なことなのです」。

Edwards は 1968 年までに、ヒト卵を成熟させる方法を細かく調整し、受精の方法や、受精卵を着床可能な胚の段階まで発生させる方法を開発した。ケンブリッジ大学に移ると、Edwards は、患者にこうした手法を適用する際に手伝ってくれる共同研究者が必要になった。そこで、Steptoe に電話をかけた。彼がイングランド北部にある自分の小さなクリニックで行った、腹腔内に光ファイバー内視鏡を入れて臓器を見る「腹腔鏡検査法」に関する先駆的研究について読んでいたからである。Steptoe は既に腹腔鏡を使って生殖器官から体液を採取しており、これを使って卵も採取できると請け合った。2 人は対等なパートナーとして研究に取りかかり、独自の倫理ガイドラインを設けて、もしも患者もしくは生まれてくる子どもに危険が及ぶようなら研究を停止する、ただし、Edwards のいう「宗教的あるいは政治的な漠然とした理由」に配慮して研究を停止することはない、ということで意見が一致した。

英国医学研究会議（MRC）は彼らの研究への資金提供を拒み、この技術によって重篤な異常のある赤ん坊が生まれるおそれがあると表明し、2 人がマスコミに派手に取り上げられることに不快感を示した。

Johnson は、1960 年代から 1970 年代にかけての「おかしな風潮」について振り返る。当時は不妊よりも人口過剰のほうが重大な社会問題だと見なされており、「不妊に伴う個人的苦痛などは認識されていなかったのです」と話す。「ケンブリッジの著名な研究者たちに、『君たちの指導教授はどうかしてるよ』といわれましたね」。彼はまた、ケンブリッジのノーベル賞受賞者、Max Perutz と James Watson から、生命の誕生への介入は無責任な行動だといわれたことも覚えている。「大学のティールームでは、我々の研究に反対しているという理由で、会話を拒否されることがよくありました」。しかし、Johnson は、Edwards から離れなかった。彼に「インスピレーションや先見性がある」ことがわかっていたからだという。

体外受精技術は不妊カップルに恩恵をもたらしただけではない。危険な遺伝的変異をもたない胚を選別して着床させることで、嚢胞性繊維症やハンチントン病などの深刻な遺伝性疾患が、患者の子どもに受け継がれないようにすることも可能にしたのだ。

また、この技術によってヒト ES 細胞という研究分野も生まれた。カロリンスカ研究所 IVF クリニック（ストックホルム）では、体外受精時の余った胚から新しいヒト ES 細胞系列を得ている。同研究所の生殖生物学者 Outi Hovatta は、そうした細胞が医学研究にもたらす恩恵や、必然的に伴うであろう倫理上のジレンマについて、1984 年、最初に公場で論じたのは Edwards だったと話す。Edwards は、自身の開発した多大な影響力をもつ体外受精技術の監視の必要性についても、同じように先見性を示し、1971 年には、体外受精規制のために法的権限を確立すべきだと提言した。英国でヒト受精・胚研究認可局（HFEA）が設立されたのは、それから 20 年後のことである。

（翻訳：船田晶子）



2010 年ノーベル医学生理学賞受賞の Robert Edwards（左）と世界初の体外受精児 Louise Brown（右）。（2003 年撮影）

ノーベル物理学賞は グラフェンの革新的実験がスピード受賞

Graphene speeds pair to stockholm win

GEOFF BRUMFIEL 2010年10月7日号 Vol. 467 (642)
www.nature.com/news/2010/101005/full/467642a.html

カーボンシートの研究が、2010年のノーベル物理学賞に輝いた。

2010年のノーベル物理学賞を射止めたのは、エレクトロニクスと材料科学に革命を起こす可能性を秘めているカーボンシートだった。マンチェスター大学（英国）のAndre GeimとKonstantin Novoselovが、グラフェンの研究によりこの賞を受賞したのだ。グラフェンは、炭素原子が六角形のメッシュ状に整列した、原子1個分の厚みしかないシートであり、今日の物理学者いちおしの材料になっている。

GeimとNovoselovが単独のグラフェンのサンプルを作ることにより初めて成功したと報告したのは、2004年のことだった。彼らがグラフェン作りに利用したのは、ただのセロハンテープだった。一片の黒鉛にセロハンテープを押し付けて炭素の薄片をはぎ取り、薄片の中からグラフェンを単離したのである。彼らはこのグラフェンをシリコン基板の上に置き、それが良導体であることを示した¹。

近年、グラフェンが注目されるようになったことで、2人は、論文発表から6年という異例の早さでノーベル賞の候補となった。これは史上2番目の短さである。ちなみに、最短で受賞したのは、高温超伝導を発見したJohannes Georg BednorzとKarl Alexander Müllerで、発見からわずか18か月後の1987年にノーベル物理学賞を受賞している。

グラフェンの応用について研究しているケンブリッジ大学（英国）の電気工学者Andrea Ferrariは、「この研究がノー

ベル賞を受賞することを疑う人は、ほとんどいなかったと思います」という。「ただ、こんなに早い受賞には驚きました」。Geim自身も、すっかり油断していた。彼は受賞発表直後の記者会見で、「受賞を知らせる電話がかかってきたとき、『ああ、くっそー、やられた！』と思いました。その次に、『これからはあまり賞をもらえなくなるな』と思いました」と語っている。

グラフェンの革新的実験が今回ノーベル賞を受賞した理由は、この分野の研究が驚異的な速さで進んでいることにあるのかもしれない。研究者たちは、グラフェンが単離された直後から、これが平凡な材料ではないことを理解していた。グラフェンのシートの中を移動する電子は風変わりな量子的挙動を示し、そのような性質は容易に調べられる^{2,3}。グラフェンの二次元的な性質と炭素原子が作る構造は、電子がシリコンのような材料中を移動する速度よりもはるかに速くグラフェン中を移動することを可能にする。

このような性質をもつグラフェンは、未来のコンピューター・チップの材料として大いに期待されている。グラフェンのシートは半導体ではないが、細いリボン状にすると半導体として振る舞うからだ。このリボンの性質はエレクトロニクスにとって理想的なものとはいえないが、支持者たちは、電子がグラフェン中を移動する速さとグラフェンが入手しやすくなる可能性を考えると、いつかはシリコンに取って代わるだろうと考えてい



Andre Geim (上)とKonstantin Novoselov (下)：セロハンテープを使ってグラフェンの単離に成功してからわずか6年でノーベル賞を受賞した。

る。タッチスクリーンの透明な伝導層⁴、またはフレキシブルなディスプレイとしての利用は、もっと近い将来に実現すると考えられている。

グラフェンは、DNAと組み合わせれば化学センサーになり、汚染された水をきれいにするスポンジにもなる。Geimは、グラフェンはプラスチックに匹敵する革命を起こす可能性を秘めていると考えている。「グラフェンやその他の二次元結晶が、我々の日常生活を変えていくものになればいいと思っています」と彼は語っている。

(翻訳：三枝小夜子)

1. Novoselov, K. S. et al. *Science* **306**, 666-669 (2004).
2. Zhang, Y. et al. *Nature* **438**, 201-204 (2005).
3. Novoselov, K. S. et al. *Nature* **438**, 197-200 (2005).
4. Kim, K. S. et al. *Nature* **457**, 706-710 (2009).

ウイルス様粒子が細菌の進化を加速

Virus-like particles speed bacterial evolution

AMY MAXMEN 2010年9月30日 オンライン掲載

www.nature.com/news/2010/100930/full/news.2010.507.html

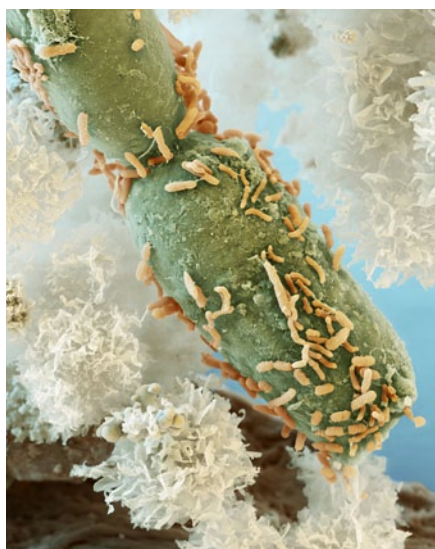
遺伝情報が海洋の細菌の間でやり取りされていることは、
これまでほとんど見過ごされてきた。

このほど、海洋ではウイルスに似た奇妙な粒子を通じて異なる細菌種の間で遺伝子のやり取りが行われており、遺伝子は思いのほか簡単に細菌の間を飛び回ることができるという論文が発表された¹。GTA (gene transfer agent) とよばれるこの粒子は、DNA を細菌のゲノムに挿入する頻度が極めて高く、これまでの想定 of 1000 ~ 1 億倍も遺伝子の伝播が起こっていると考えられる。このことは、GTA が進化過程で強力な役割を果たしてきたことを示唆している。

「細菌の世界では多くの遺伝子がやり取りされていることが知られていますが、明確なメカニズムはわかっていませんでした」と、南フロリダ大学海洋科学部 (米国セントピーターズバーグ) の海洋微生物学者であり、論文著者の John Paul は語る。

タンパク質の外被をもつ GTA は、細菌のゲノムに存在しており、細胞外に出るとき宿主遺伝子の一部を持ち出す。GTA は 30 年前から知られていたが、ずっと、散発的な研究の曖昧な対象であった。

Paul らは、抗生物質カナマイシンの耐性遺伝子を内包する GTA を作製した。カナマイシンで処理すれば、耐性遺伝子を取り込んだ細菌が検出できるからだ。そして、さまざまな沿岸環境から採取した海水を入れた袋にその GTA を封入し、海に浮かべて可能なかぎり自然の条件を再現した。一晩そのままにすると、袋の中で生きてる細菌の最高 47 パーセントが GTA とその内部の遺伝子をゲノムに



遺伝子は、GTA を利用してこれまでの想定をはるかに上回る速さで海洋細菌の間を行き来している。

取り込んでおり、GTA が多種多様な海洋細菌に入り込むことがわかった。「節操のないやつらですよ」と Paul はいう。

海の変わり者

米国立衛生研究所 (メリーランド州ベセスダ) の進化生物学者である Eugene Koonin は、「GTA はとても変わっています。遺伝子を移動させる以外に機能をもっていないようなのです」と話す。Koonin らは、昨年、海洋ウイルスのゲノム分析結果を検討し、GTA が海洋での遺伝子の伝播に大きく寄与していると推測した²。

細菌が変動する環境に短時間で適応したり抗生物質耐性を迅速に獲得したりす

る仕組みは、遺伝子が親から子に受け継がれるのではなく生物どうしの間でやり取りされる「水平伝播」により説明できる。ある細菌のもつ有益な遺伝子が集団内のほかの細菌に広がり、それをもつ細胞の生存率が高まることによって、その遺伝子の普遍性が高まるのだ。遺伝子の水平伝播は、細胞どうしの直接的な接触や、プラスミド、細菌のウイルスなどによって行われる。しかし、ウイルスの場合、粒子放出時に宿主が破壊されることが多い。GTA はウイルスに似ているが、宿主には害を及ぼさないばかりか、系統的に無関係の細菌の間で効率的に遺伝子のやり取りを行わせているとみられる。

研究チームは、GTA が内包していたカナマイシン耐性遺伝子にそっくりのコピーを、細菌ゲノムに発見した。このことから、遺伝子の水平伝播が GTA 以外の手段で起こったとはとても考えにくい。論文の共同執筆者で同じく南フロリダ大学海洋科学部に所属する Lauren McDaniel は、「ドナー株に導入したのと全く同じ遺伝子を、別種の海洋細菌がもっていたことは、本当に驚きでした」と話す。今回は海洋細菌の研究成果であるが、臨床で問題になっている抗生物質耐性の伝播に GTA が加担していないとは言いきれない、と Paul は語る。

一方、エール大学 (米国コネティカット州ニューヘイヴン) の進化生物学者である Jeffrey Townsend によれば、今回の研究は、遺伝子解析による推定ではなく、自然界で遺伝子伝播の頻度を測定した点で、際立っているという。「細菌が示す抗生物質耐性や病原性、はたまた有用性を解き明かすためには、こうした形質が遺伝子の水平伝播でどうやって進化しているのかを解明することが必要であり、そのプロセスを知ることは、微生物に満ちた世界で人類が生きていくのに役立つのです」と Townsend は話す。■

(翻訳: 小林盛方)

1. McDaniel, L. D. et al. *Science* **330**, 50 (2010).

2. Kristensen, D. M., Mushegian, A. R., Dolja, V. V. & Koonin, E. V. *Trends Microbiol.* **18**, 11-19 (2010).

熱帯熱マラリア原虫はゴリラ由来

Human malarial parasite came from gorillas

JOSEPH MILTON 2010年9月22日 オンライン掲載
www.nature.com/news/2010/100922/full/news.2010.486.html

ヒトで最も致死率の高いタイプのマラリアを引き起こす熱帯熱マラリア原虫は、チンパンジー由来ではなかった。

類人猿に感染するマラリア原虫の広範な解析で、熱帯熱マラリア原虫 (*Plasmodium falciparum*) が、ゴリラ由来であることが示唆された。ヒトのマラリアの原因となるマラリア原虫5種のうち、熱帯熱マラリア原虫は群を抜いて感染率が高く、毎年数億人の患者と100万人を超える死者を出している。この原虫の起源の解明は、熱帯熱マラリアの医療戦略にとって役立つだろうと期待されている。

これまで、熱帯熱マラリア原虫に最も近縁なのは、チンパンジーに感染するマラリア原虫 *P. reichenowi* だと考えられてきた。しかし、従来の研究対象は少数の類人猿に限られ、多くは飼育個体群であり、野生個体群が *Plasmodium* 属原虫種の自然宿主になっているかどうかはわかっていなかった。

近縁種の原虫

今回、アラバマ大学（米国バーミングハム）の Beatrice Hahn らは、サハラ以南アフリカに生息する野生のチンパンジー、ボノボ、ゴリラを対象に、熱帯熱マラリア原虫に近縁な類人猿マラリア原虫の遺伝子を解析した¹。研究チームは、HIVの進化を調べるための標本バンクに保存されている糞試料（チンパンジー1827個、ゴリラ803個、ボノボ107個）を用い、そこに含まれる *Plasmodium* 属原虫のDNA塩基配列を解読した。特にミトコンドリアDNAに注目し、その塩基配列をもとにマラリア原虫種の類縁関係を示す系統樹も作製した。

解析の結果、チンパンジーとニシゴリラで *Plasmodium* 属原虫の感染が高く、それらが自然宿主であることがわかった。一方、ヒガシゴリラとボノボには感染が認められなかった。また、チンパンジーとニシゴリラには少なくとも9種の *Plasmodium* 属原虫が感染し、そのうち3種は未知のものだった。9種のうち1種を除くすべての原虫は近縁度が非常に高く、*Laverania* 亜属に入り、宿主特異性が高かった。そして、今回試料に用いたヒト由来の熱帯熱マラリア原虫は、カメルーンや中央アフリカ共和国、コンゴ民主共和国に生息するニシゴリラに感染している原虫に最も近縁なことが明らかになった。しかも、ヒトの熱帯熱マラリア原虫は、1回きりの宿主移動イベントで生じた可能性が高いと推測された。

ロンドン大学ユニバーシティカレッジ（英国）の進化生物学者 Daniel Jeffares は、「すばらしい成果です。原虫の解明という点で、研究の流れを一変させるものです」と語っている。

起源は1つだけ？

「ヒト病原体の由来については、進化上、興味深い問題です」と、この研究にかかわったエディンバラ大学（英国）の Paul Sharp は話す。「我々は、同様の宿主移動が今後また起こる可能性があると考えています」。

しかし Jeffares によれば、1回限りの伝播を確認するには、今回よりも多くの熱帯熱マラリア原虫試料を解析する必



ヒトの熱帯熱マラリア原虫に最も近縁なのは、ニシゴリラに感染するマラリア原虫である。

要があるだろうという。一方 Sharp は、今回調べた試料は原虫種全体を反映したものだという。熱帯熱マラリア原虫の遺伝的多様性は、類人猿の *Plasmodium* 属原虫種の遺伝的多様性と比べて低いからだ。これに対し Jeffares は、熱帯熱マラリア原虫の遺伝的多様性が低いというのは、古い文献に基づく誤った通念だとしている。「新しい複数の論文から、地域の違いによってかなりの多様性があることが明らかになっています。もったいなく調べていたら、複数の起源が見つかったかもしれません」と彼は話す。

もし、熱帯熱マラリア原虫が本当に、1回の伝播だけでヒトに宿主移動したのなら、この研究で明らかになった類縁関係から、異種宿主間の原虫伝播はまれだと考えられる。これは、マラリア撲滅にとって好都合だ。現生の原虫を撲滅できれば、次に別のマラリア原虫が類人猿からヒトに伝播するまで数十万年はかかると考えられるからだ。しかし Sharp は、この撲滅は、「別のマラリア原虫がヒトに宿主移動するためのニッチ（生態上のすき間）を空けるにすぎない」のではないかと考えている。

今回の研究は、類人猿のマラリア原虫がヒトに感染するようになる遺伝的変化を見つけ出すのに役立つだろう。「ゲノム全体をくまなく調べれば、急速な進化が起こった箇所を見つけ出すことができるでしょう」と Jeffares は話している。■

（翻訳：船田晶子）

1. Liu, W. et al. *Nature* **467**, 420-425 (2010).

太陽活動の低下で地球が温暖化？

Declining solar activity linked to recent warming

QUIRIN SCHIERMEIER 2010年10月6日 オンライン掲載
www.nature.com/news/2010/101006/full/news.2010.519.html

太陽は 2004～2007 年の 3 年間で、
二酸化炭素の増加分と同じだけの地球温暖化を引き起こしていたらしい。

従来、太陽活動が低下すれば地球は冷え、上昇すれば暖まると考えられていた。しかし、インペリアル・カレッジ・ロンドン（英国）の大気物理学者 Joanna Haigh らは、太陽が地球表面の気候に及ぼす作用が、反対に作用しているようにみえるという論文を発表した¹。Haigh らは、米国航空宇宙局（NASA）の「太陽放射線・気候実験衛星（SORCE）」が 2004～2007 年に毎日測定した太陽光のスペクトル分布を分析し、太陽活動が低下しているのに、地球に届く可視光の量が増加し、地球表面が暖められたことを見つけたのだ。

2004～2007 年は、太陽周期の活動低下時期に当たる。現在の周期では、太陽活動は 2001 年ごろにピークを迎え、2009 年後半に極小期に達した。この極小期では異常に長い期間、太陽表面の黒点が観測されなかった。黒点は、激しい磁気活動が原因で起こる、周囲よりも温度の低い暗い領域で、11 年間の太陽周期が目に見える形で現れる。

研究チームは、SORCE の太陽スペクトルデータを標準経験モデルが予測した太陽光の波長と比較し、食い違いに気付いた。スペクトル中の紫外線は、モデルが予測した減少量より 4～6 倍も少なかったが、可視光の放射は増加していた。つまり、太陽活動は徐々に低下していたにもかかわらず、地球の対流圏に届く太陽エネルギーの正味の量は 2004 年よりも 2007 年のほうが大きかったのだ。

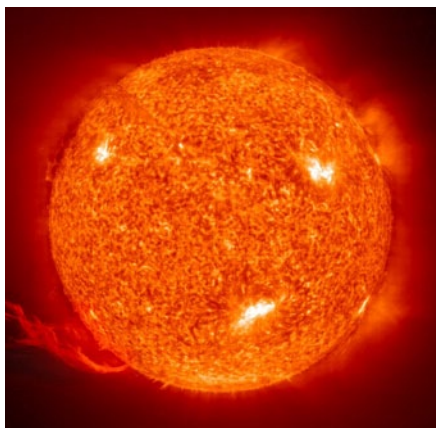
太陽スペクトルの変化は、対流圏より

も上層にあるオゾンの分布も変えたようだ。モデルによるシミュレーションでは、2004～2007 年の間、オゾン量は高度 45 キロメートルより下層では減少し、上層では増加した。これは、同じ期間の宇宙からのオゾン量測定結果と一致していた。

変わる理解

「現在の太陽周期は、何らかの理由により、これまでの周期とは異なるのかもしれません」と、Haigh は話す。しかし、太陽活動の変化が大気のと温度とオゾンにもたらす効果は、従来の理解とはかなり異なっている可能性もある。

レディング大学（英国）の宇宙物理学者 Michael Lockwood は、「今回の論文が正しいなら、このデータは極めて重要です。もしも太陽活動と太陽放射のもたらす作用の位相が一致していないのなら、対流圏と成層圏でのプロセスによる地球の気候への影響に関する考え方が大



きく変わるかもしれません」と話す。

例えば一部の気象学者は、太陽活動低下時期には「ブロッキング現象」が頻繁に起こると考えている。これは、偏西風などが異常なパターンを示す現象で、ヨーロッパで急な寒さや異常気象を引き起こすことがある。しかし、最近の気象の異常と現在の太陽周期に起こっているらしい異常とを結びつけることは、今のところ推測にすぎないと、Lockwood はいう。

温暖化の原因は？

「2004～2007 年にみられた太陽スペクトルの変化は、地球の対流圏を暖める効果を強めました。これは、3 年間の二酸化炭素濃度の増加によって強まった温室効果とほぼ同程度です」と Haigh は話す。しかし、太陽活動は周期的なので気候に長期的な影響をもたらすことはない。「もし影響があるとしたら、20 世紀の前半に著しい寒冷化があったはずで

す」と Haigh はいう。一方、ドイツ航空宇宙センター（DLR）の大気科学者 Martin Dameris はこう話す。「今回の発見は、自然な気候変動を理解し、定量化する際に、とても重要になるかもしれません。それでも、現在の気候変動に太陽が及ぼす影響は、人間活動による地球温暖化に比べれば小さなものです」。Lockwood も「太陽活動は必ずしも、従来考えられていたような影響を地球に及ぼさないのかもしれませんが。しかし、だからといって、これまでの気候変動に関する科学的知見が崩れ去るわけではありません」という。

この問題の決着には、今後の観測（理想的には異なる衛星観測装置を使って同時に観測したデータ）が重要である。今回の論文の検証には、少なくとも 11 年間の太陽周期を通じた高品質なスペクトル観測が必要だ。「我々は、そうした観測データを、^{かたず}固唾を飲んで待っています」と Haigh は語っている。

（翻訳：新庄直樹、要約：編集部）

1. Haigh, J. D., Winning, A. R., Tóumí, R. & Harder, J. W. *Nature* **467**, 696–699 (2010).

ラスコー洞窟内の 1 万 8000 年前に描かれた美しい壁画群は、黒カビの脅威にさらされている。

ラスコー洞窟壁画の保存が ようやく本格化

French bid to save rock art

DECLAN BUTLER 2010 年 9 月 23 日号 Vol. 467 (375-376)
www.nature.com/news/2010/100922/full/467375a.html

ラスコー洞窟の壁画保存処置で犯した過ちを繰り返さぬため、
 フランス政府の管理体制のあり方が大きく見直されている。

フランス南西部にあるラスコー洞窟は、約 1 万 8000 年前に描かれた壁画が多数見つかった貴重な古代の「ギャラリー」だ。しかし、現在、何度目かの非常事態に陥っている。近年、洞窟の保存作業により内部の微気候が変わってしまうという大失態があり、壁画群がまたもやカビの脅威にさらされているのだ。これに対して、洞窟の発見から 70 年目に当たる今年 9 月、独立した新たな科学委員会が設けられて管理体制が刷新された。今後、この傷みやすい壁画の保存に、これまでよりもしっかりとした研究に基づく手法が導入されるものと期待されている。

ラスコーの壁画保存に関しては、何度も危機に見舞われた長い歴史がある。まず、発見後しばらくして洞窟内の壁に緑

色の藻類が繁殖した。このため、洞窟は 1963 年に非公開となり閉鎖された。その後、ホルマリンや抗菌剤で処置し、特製の換気装置を設置してからは、特に大きな問題もなく 40 年が経過した。ところが 2000 年に、新しい大型の換気装置を設置するために洞窟入口が広げられ、天井部分が取り壊された。そのうえ、作業中に大雨が降って、洞窟内に水が入り込み、白カビの一種 (*Fusarium solani*) が壁面や壁画上に繁殖してしまった。

このカビに対しては、すぐさま対策が施された。しかし、水の浸潤や、洞窟床面への生石灰散布などの荒っぽい処置、自然な空気の流れを乱す新しい換気装置によって、洞窟内の微気候が大幅に変わってしまった。2007 年には、新たに黒カビも発生。こうしたもろもろの失策によっ

て、もっと学際的な取り組みが必要なことがはっきりした。というのも、どのような保護処置を施しても、洞窟の微生物や水、その他さまざまな面に累を及ぼし、壁画にダメージを与える可能性があるからだ。そう話すのは、2009 年 4 月にラスコーの管理責任者に任命された絵画史研究者で、文化財保存の専門家でもある Muriel Mauriac である。

ラスコー洞窟の現状を憂慮した国連教育科学文化機関 (UNESCO；ユネスコ) は 2008 年、このまま何の対策も講じなければラスコー洞窟を「危機にさらされている世界遺産 (危機遺産)」として登録する、と表明した。それは「一種の警告でした」と Mauriac はいう。これを受けて、2009 年 2 月、フランスの文化相は、それまであった洞窟の保存に関する国際科学委員会 (実際にはラスコー管理などにかかわる政府関係者が何人も含まれていた) を、研究者のみからなるもっと少人数の委員会に置き換えた。委員会が独自に科学的助言を行える権限を従来よりも大きくすることが、ユネスコの主な要求の 1 つだったのだ。

パスツール研究所 (フランス・パリ) の生物学者で、ラスコー洞窟の近年の保存政策を厳しく批判してきた Michel Goldberg は、9 月に設置された後継の新委員会では科学分野の研究者の人数が多くなり、芸術分野が少なくなったことは概して歓迎できると話す。ただしその

一方で、地下の気候や菌類学など肝心な分野の専門家が入っていないことを嘆いている。Mauriac は、新委員会が見解を出すまでは新たな作業を先延ばしにするらしい。これには Goldberg も賛成であり、「今度の陣営はこれまでより慎重で、介入主義者は少ないようです」と話す。

しかし、委員会メンバーでスミソニアン研究所の博物館文化財研究所（米国メリーランド州ストランド）所長 Robert Koestler は、不満を漏らしている。彼は、ラスコー洞窟に関する既存の研究データの閲覧や、外部専門家の招聘についての要望を何度も出したが、引き延ばされ続けているという。「我々の手元にあるものは、洞窟の生態学や水文学、および気候学の三次元モデル化に関する報告書や発表用文書だけであって、デー

タはないのです」。しかし、コレージュ・ド・フランス（パリ）の古人類学者で委員会の議長を務める Yves Coppens は、Nature に対して、こうしたメンバーの要望は今後の会合でかなえられるだろうと請け合った。最初の会合は紹介と導入を目的としていたのだと彼は話す。

新委員会が早急に取り組むべき問題は、黒カビだ。Mauriac は、これまで被害の出ている壁画の範囲はまだ少なく、現段階では黒カビは、洞窟内の一部では安定していて変化せず、その他の領域では後退しているようだと話す。しかし、黒カビは最終的に、これまで発生したカビよりも大きい被害をもたらす可能性がある。黒カビは壁にメラニン色素の染みを付けてしまい、こうした染みは、たとえカビを殺しても残ってしまうからだ。

この黒カビの正確な正体はまだ突き止められていない。2つの研究チームが別々の候補を挙げており、一方は *Ulocladium* 属、もう一方は *Scolecobasidium* 属としている。どちらにしても最善の殺菌法はまだ決まっていない。ただ、黒カビに効く真菌の酵素が、解決策の1つになる可能性がある。壁画を傷つけるおそれのある処置も除外されているので、壁画に付いたメラニンの染みを処理することは難しいだろう。

より大局的な課題は、地下環境を安定化させ、今後いかなる微生物の侵略も防げるように十分に洞窟内の仕組みを解明することだと、科学者たちは語っている。

（翻訳：船田晶子）

NASA 特別委が小惑星対策を答申へ

NASA panel weighs asteroid danger

EUGENIE SAMUEL REICH 2010年9月9日号 Vol. 467 (140-141)
www.nature.com/news/2010/100908/full/467140a.html

致命的な小惑星衝突の危険性を正確に把握するために、
宇宙望遠鏡が役立つかもしれない。

地球に衝突することはないかもしれない宇宙空間の岩の軌道をそらすのに、10億ドル（約800億円）を費やす価値があるか？ 米国の大統領は2010年代のいつか、この難問に直面することになるだろう。

こうした天体は地球近傍天体（NEO）とよばれ、実体は主に小惑星だ。観測機器の向上により、潜在的な危険性をもつ小惑星を「発見する能力」は向上しており、その発見ペースが小惑星を正確に「追跡する能力」を上回りつつある。この間

題にいかに対処すべきなのか、米国航空宇宙局（NASA）の諮問機関である「地球防衛特別委員会」が検討を進めてきた。同委員会は、致命的な損害をもたらす小惑星衝突から地球を守るために NASA が取りうる方法を提案する目的で設置され、10月に報告書を発表するとみられるが、公開審議や委員へのインタビューなどから、委員たちの考えが明らかになった（訳注：特別委員会は NASA の地球近傍天体を発見・追跡する能力を大きく向上させることなど5項目からな

る勧告を10月6日、NASA 諮問委員会に提出した）。

米国連邦議会は2005年、直径140メートルよりも大きな推定約2万個の地球近傍天体につき、その90パーセントを2020年までにリストアップすることを決定し、NASA に指示した。NASA がそれを達成できる可能性は低いが、NASA は今、小天体を見つけ追跡する作業を加速させている。

このことが新たな問題を引き起こすことになった。地球近傍天体の発見ペースが上がっているが（グラフを参照）、その軌道を正確に追跡する作業が追い付かないと、地球に衝突する可能性が無視できないとみられる小惑星が見つかる頻度が増えていき、それが、場合によっては年間数個に達するかもしれないのだ。

NASA の地球近傍天体監視プログラムの責任者で地球防衛特別委員会の委員である Lindley Johnson は、「地球近傍天体の研究者以外は、こうした問題があることをこれまで知らずにいたと思います」と話す。宇宙船を打ち上げて、地球

に衝突する可能性のあるすべての小惑星を追跡したり、その方向を変えたりするためには巨額の費用がかかる。それでも、局地的あるいは地球規模の破壊が起こる危険性があれば、たとえ可能性は小さくても、政治的には見過ごすことはできないと思われる。

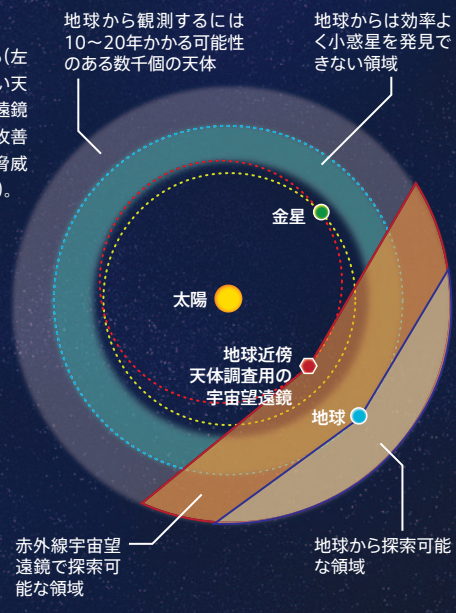
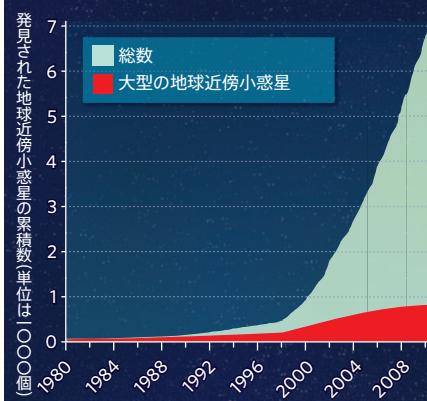
地球防衛特別委員会が提案する1つの打開策は、地球近傍天体の発見と追跡に関する米国の予算額を、現在の年間550万ドル(約4億4000万円)からもっと増やすことだ。委員会は、小惑星調査用宇宙望遠鏡を金星軌道に近い太陽周回軌道へ打ち上げることを勧告するかもしれない。この宇宙望遠鏡は、地球よりも速く軌道を回りつつ、太陽の反対方向を観測する。地球から観測するよりも広範囲をカバーでき、地球よりも太陽側にある小惑星もその多くを追跡できるので、危険な小惑星を地上の観測装置よりも多く見つけることができるはずだ(図を参照)。さらに、より正確な追跡観測を行い、推定される軌道の幅を狭めて、危険な小惑星のリストをしぼり込むこともできるだろう。元宇宙飛行士で特別委員会の共同座長の1人であるTom Jonesは、「宇宙望遠鏡を使うことは、直径140メートル以下の天体を追跡するには適切で迅速な方法です」と話す。

米国コロラド州ボルダーにある宇宙機器メーカー「ポール・エアロスペース・アンド・テクノロジーズ・コーポレーション」は、こうした宇宙望遠鏡を6億ドル(約480億円)で製作する計画を提案している。しかし、ハーバード・スミソニアン宇宙物理学センター(米国マサチューセッツ州ケンブリッジ)の宇宙物理学者Irwin Shapiroは、チリのパチョン山での建設が計画されている大型シノプティック・サーベイ望遠鏡(LSST)などの地上の望遠鏡のほうが、宇宙望遠鏡よりも費用対効果が高いと主張する。地上の望遠鏡のほうが長期間使えるうえ、建設費も安いからだ。

Shapiroは、米国学術研究会議(NRC)の2010年地球近傍天体調査・危険軽減

小惑星の発見数と探索方法

地球近傍小惑星の発見スピードは、急勾配で上がっている(左のグラフ)。このため、地球に衝突する可能性がゼロではない天体のリストはどんどん長くなっていくだろう。赤外線宇宙望遠鏡を金星類似軌道に投入するなどして小惑星の追跡方法を改善すれば、小惑星の危険性をより迅速に定量化し、実際には脅威ではない小惑星をリストから取り除くのに役立つだろう(右)。



戦略検討委員会の座長を務めた。「LSSTは、今年8月に全米アカデミーズが発表した『天文・宇宙物理学10年間調査報告』で最優先事項として推薦されているので、建設予算を獲得する可能性が宇宙望遠鏡よりも高いと思います。一方、金星類似軌道に宇宙望遠鏡を打ち上げるとなれば、事実上、ゼロからのスタートになってしまいます」と話す。

ホワイトハウスの科学技術政策局(OSTP)は、2008年に連邦議会を通過した法律に基づき、どの政府機関が小惑星衝突から地球を守る責任を負うのかを10月15日までに決めなければならない(訳注:科学技術政策局は「NASAや連邦緊急事態管理庁、国防総省、国務省などがこの問題に対応すべき」とする報告を15日、下院科学技術委員会などに送った)。NASAはその責任の一部、あるいは全部を与えられることになると考えている、と地球防衛特別委員会の委員は話す。このため特別委員会は、NASAに地球防衛調整室(PPCO)を新設し、年間2億5000万ドル~3億ドル(約200億~240億円)の予算を与える案を検討した。地球防衛調整室は小惑星を探し、追跡するほか、小惑星の軌道をそらす方法の開発にも取り組むことになる。元宇宙飛行士で特別委員会の共

同座長の1人であるRusty Schweickartは、「現実の脅威に対処しなければならぬときは、手腕が実証済みの組織を使いたいからです」と話す。

地球防衛調整室は、小惑星対策の費用を負担するように、国連などを通じてほかの国にも働きかけることになるだろう。カナダは既に、2011年に地球近傍天体監視衛星(NEOSSat)を打ち上げる計画だ。ドイツの小惑星観測宇宙望遠鏡「アステロイドファインダー」は、2012年に打ち上げられる予定だ。しかし、いずれの計画も、2020年までに地球近傍天体のリストを作る目標を達成できるとは考えられていない。

Shapiroは、連邦議会が小惑星対策に追加の予算を認めるかどうかははっきりしないと強調し、もしも小惑星対策の追加予算が認められなかった場合、その分が宇宙科学の全体予算から削られる可能性もあると指摘する。しかし、小惑星の発見と追跡を今以上にしっかりとやっておかなければ、将来の小惑星の軌道を予測しようにも不確かさは避けられない。そして、その不確かさのために、差し迫った脅威を防ぐ不必要な努力をしなければならなくなったとしたら、もっと巨額の費用が必要になるだろう。

(翻訳:新庄直樹)

研究助成金の申請は、こうして落とされる

Making the cut

KENDALL POWELL

2010年9月23日号 Vol. 467 (383-385)

研究者の人生は、助成金審査委員会の判断次第で浮きも沈みもする。
この重要な助成金交付決定がどのように行われるのか、その実態に迫った。

それは2010年6月、米国ジョージア州アトランタ市の中心部にある、とあるガラス張りのビル。その一室で、米国がん協会（ACS）の研究助成金審査委員会が開かれていた。ホワイトボードには、「outstanding（秀）」との評価を受けた6件の助成金申請が記載されている。予算からすると、助成金を交付されるのは、そのうちの2件、あるいは3件であろう。交付先の決定は、15人の委員の手に委ねられている。2日間の日程の会議は、始まってまだ45分。しかし、既に緊迫した議論が展開されている。

「これは、ずいぶんと月並みな研究だな」。委員長が、いちばん上に記載されている申請をこう評した。この研究は、特に致死性の高いがんにおいて、無秩序な細胞分裂を停止させる可能性のある分子シグナルを調べることを目的としているのだが、この経路については既に別種の細胞でかなり解明が進んでいる。これに対して、別の審査委員が少しいらだてて主張した。「いやいや、なかなか優れた堅実な研究だと思いますよ。すべての研究が、キラキラ輝くすばらしい発想に基づいている必要はありませんから。この研究から、がんについての貴重な情報が得られるでしょう。確かにイノベーションの点ではほかの申請より劣っていますが、別な側面から十分補われていると思います」。

しかし、本当の問題は、優れた堅実ながん研究でありさえれば、4年にわたって申請者とその研究室を支える、最高80万ドル（約6400万円）の助成金の交付に十分値するののかという点だ。米国最大の民間非営利研究助成機関であるACSでは、助成金申請の採択率がここ2年で数ポイント下がり、約15パーセントになった。これは、主に、景気の悪化によって唯一の収入源である寄付金が減ったことによる。米国内の大半の生物医学研究に資金を提供している米国立衛生研究所（NIH；メリーランド州ベセスダ）でも、連邦政府の予算の据え置きと助成金申請件数の増加が数年続いたため、10

年前には 32 パーセントだった採択率は、2009 年には 21 パーセントに落ち込んでいる。(右下グラフ参照)。状況は他の多くの国々でも同様に厳しい。

こうした事情が積み積もって、助成金審査委員会には非常に大きなプレッシャーがかかっている。申請のあった研究の上位 3 分の 1 に助成金が交付されている場合、審査過程はうまく機能し最高の科学研究を選び出すことができる、と複数のシニア審査委員は証言する。しかし採択率が低下すれば、審査過程が崩壊し始める。審議は、あら探しの場と化し、マイナス思考に包まれ、各委員は、申請案件の長所を取り上げるのではなく、交付金を出さないための言い訳を探すようになるのだ。特に採択率が 20 パーセントを割り込むと、同程度に価値のある複数の助成研究計画書からいずれかを選ぶという、不可能な選択を強いられている感じだと、何人もの審査委員がいつている。「採択率がここまで落ちると、鑑識眼が働かなくなります。階段の上から答案用紙を投げて試験の採点をするような状況です」。こう話すのは、コロラド大学ボルダー校（米国）の細胞生物学の名誉教授 Dick McIntosh だ。これについては、ACS の審査委員会の委員長も同じ考えで、「トップクラスの研究からの選択は、独断とはいいたくありませんが、強力な判定基準に基づいているわけでもありません。微妙な話なのです」という。

どれほど微妙な話なのだろうか。今回 *Nature* は、審査委員と申請者の身元を明かさないという条件で、ACS 助成金審査委員会の会議に記者の同席を許された。これは、とても幸運なことである。例えば、2009 年に研究プロジェクト助成金だけで 160 億ドル（約 1 兆 300 億円）を交付した巨大研究助成機関 NIH では、助成金検討セクションの会議に一般人が出席することは、連邦法によって禁止されている。NIH に比べれば、ACS の年間助成金交付額は総額 1 億 2000 万ドル（約 96 億円）と少額だが、助成金交付決定を巡っては、どこでも同じよう

な緊張や苦悩が漂い、闘争が繰り広げられている。

トップグループ

初日の会議には、13 人の生物医学の研究者、さらに、元がん患者と腫瘍科看護師が審査委員として出席した。まず、申請書の研究内容の審査を円滑に進めるための世話役を務める ACS のプログラムオフィサーから、6 か月前に開かれた前回の審査結果の報告があった。「23 件の申請のうち、2 件に助成金が交付されました」。皆、一様に眉を曇らせた。採択率は 9 パーセントにも満たなかったのだ。今回の一連の審査における採択は、ACS の予算額と 20 の助成金審査委員会で交付勧告のあった研究計画書が勘案されて 9 月に決まる。しかし今回の採択率も、前回を下回ることはないにせよ、前回並みとなる可能性が高い。つまり、並外れて優秀な研究だけが助成金交付のチャンスを手にするということになり、NIH の R01 研究助成金の交付状況と似てくる。ただし、R01 は、独立して 6 年以内の研究者にしか交付されない。

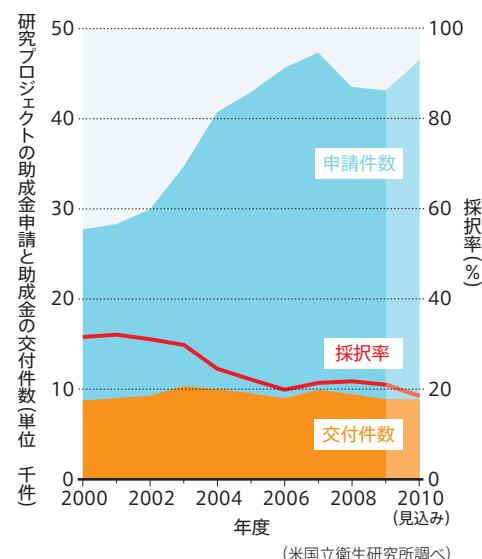
審査委員たちは、既に「宿題」を済ませている。各委員には事前に 25 ページの申請書 6 通が配布されており、それらを詳しく精査し、それぞれを書面で批評し、予備採点するよう求められていた。評価は、「outstanding (秀) = 1.0 ~ 1.5」、「excellent (優) = 1.5 ~ 2.0」、「good (良) = 2.0 ~ 2.5」、「fair (可) = 2.5 ~ 3.0」、「poor (不可) = 3.0 ~ 5.0」の 4 つ。審査委員は、6 件の申請案件のうち 3 件の「主審査委員」となり、残りの 3 件の「副審査委員」となる。

6 件の中で、予備採点が 1.1 という高評価で、他より頭 1 つ出ているものが 2 件あった。1 つは、一風変わった動物モデルを用いて悪性の血液細胞がんを助長するヒト遺伝子を調べる研究。もう 1 つは、まれだが悪性度の高い小児腫瘍に関する根本的な疑問の解明をめざした研究である。変わった動物モデルの研究について、審査委員の 1 人はこう話す。「私

の知るかぎり、この動物を用いたがん研究では最も革新的な実験系であり、この種のがんでうまくいけば、どんながんにも応用できます」。一方、悪性の小児腫瘍に関する研究についても、野心的である点や魅力的な内容であることが評価された。さらに、この研究計画には無理がなかった。「重要な問題点に取り組む、極めて革新的な研究で、大きなインパクトを与えると予想されます。この申請者は、最初の申請ではもっと野心的で無謀なところがありました。以前は、研究への熱すぎる思いを懸命に抑えようとしていましたが、抑えきれずにいました」と主審査委員は語った。

次に検討されたのは、予備評価が 1.4 の研究だった。が、1 人の審査委員が、何かしっくりこないことに気付いた。申請者は、がんの転移で重要な数多くの遺伝子の中から一握りの遺伝子にしばり込んで研究対象としていた。ところが、申請書を読むと、ほぼ同じ内容の研究計画が NIH にも提出されていたことがわかったのだ。この審査委員は、次のように意見した。「2 つに分けて別々に申請し、両方から助成金を受け取ろうとするのはよくないでしょう。この研究は気に入っていますが、もしこの申請書に、申請者ができる最善の実験や解析などがすべて申告されていないのなら、支持でき

申請件数は増加傾向、採択率は下降線



ません」。しばらく議論が繰り広げられたが、結局、この審査委員は点数を 1.9 に下げ、この申請は助成金交付のチャンスのあるトップグループから脱落した。

さらに別の申請は幹細胞研究に関するものだったが、詳しい科学的な説明が不足しており問題となった。この研究は、主審査委員の採点が 1.8、副審査委員の採点が 1.5 で、既にボーダーライン上にあった。主審査委員は、申請者の発表論文数とその考え方を褒めた。ただ、「私が 1.1 にしなかったのは、この研究計画の大部分が後から変更可能だと思うからです」と付け加えた。計画したスクリーニングで得た遺伝子をどうやって選別するのかが不明だ、と主審査委員は考えたのだ。副審査委員も、「このような遺伝子の網羅的なスクリーニングで問題なのは、釣り上げた遺伝子を選別する方法について申請者が説明していないことです」といった。こうして、この申請もトップグループから外された。

午前 11 時、ホワイトボードに記載された 6 件の「秀」の研究計画の検討が終わり、点数が修正された。「秀」には 4 つが残った。続いて、審査委員会は、残りの申請の検討に移った。これらについては、研究者が内容を修正して再度申請する際に役立ててもらうために、採点と批評が行われた。なかには、申請規程を守らなかったり、必須のデータを記載していなかったりする申請者がおり、審査委員たちは結構いらいらしていた。1 人の審査委員は、ある申請について、「最も重要な図が補足に入れられており、まいりましたよ。補足にはデータを入れてはいけないことになっているのにね」と愚痴をこぼした。

「この研究計画では、それ全体が、すべて第一の目標の達成にかかっています。その目標が達成できなければ、次の段階には進めません」。これは、特殊化した細胞の培養サイクルを通じて、がん細胞集団を単離するという研究計画に対する審査委員の発言だ。また、別の申請については、申請者が博士課程終了後も

同じ機関で研究を続けているため、真に「独立」した研究とは思われない点が批判的になった。さらには、間違ったモデル系が選ばれていたり、法外と思われる研究予算が示されていたりするものもあり、審査委員たちの怒りを買った。ある審査委員は、異常に高額な方法による実験について、「この研究では、なぜマウスで研究を行おうとしないかということが、大きな問題なのです。マウス実験のほうがずっと簡単で安上がりなのにですよ」と、言い放った。

午前中の審議では、17 件の助成金申請リストから 4 件の「秀」評価と、6 件の次点グループの研究計画が選出された。後者については、次回の助成募集で再度の申請が可能だ。点数が 2.0 より多い低評価の 7 件は、再度申請しても助成金交付の可能性はなく、却下となった。昼食の時間が迫るころ、1 人の審査委員がそっけなくつぶやいた。「この申請は前回は審査しましたが、二度と見たくありませんね。3 時間もかけて申請書類を読みましたが、実にわかりにくいのです。大きな声を出して読んでも、どれが形容詞でどれが動詞なのか本当にわかりづらかったです」。

昼休みになり、審査委員はまとまって 2 つのテーブルを囲み、会話に聞き耳を立てる筆者に気をつけながら昼食をとった。すると、ある臨床研究者が、審査過程で自分自身の助成金申請を選んでもらえるようにする方法について語り始めた。彼の所属機関のシニア研究者によると、研究計画書がきちんと書かれていれば、2、3 人の主要な審査委員が詳しく読み、支持を得られるようになるというのだ。「もし、審査委員会の 20 人のメンバーのうち 2 人の心をつかんだなら、残りの 18 人も同じ判断に傾くのです」と彼は話す。

一方、メンバーを見渡したところ、50 歳を超えているように見える研究者はわずか 3 人だけだ。これは、助成金審査過程への参加に対するさまざまな懸念を反映している。「非常に優秀な科

学者の中には、時間的拘束を理由に、助成金検討部門の一員として働くことに前向きでない者もいます。この任務を果たすことで尊敬されることはあっても、有形の報酬はないのです」と、NIH の助成金検討セクションの委員を務めてきた、エール大学医学系大学院（米国コネティカット州ニューヘイヴン）に所属する神経科学者 Pietro De Camilli という。ACS の審査委員の場合、詳細な批評と会議への出席に対して 250 ドル（約 2 万円）という少額の謝礼金が支払われる。しかしその職務のために、毎年 2 回、2 週間くらい時間を取られてしまう。ACS の審査委員の任期は通常 4 年間だ。これまでに数多くの審査委員会に参加した、ブランダイス大学（米国マサチューセッツ州ウォルサム）の構造生物学者 Gregory Petsko は、世間から高く評価されている年長の研究者が審査委員会に加わることは重要で、昨今の議論で見え隠れしている無難な研究を選ぼうとする主張を押し返すことができる、と話している。「チャレンジ精神を大事にすることが、我々審査委員の存在理由ではないでしょうか」と彼は問いかける。

厳しい選択

昼食後には、「秀」評価の 4 件の研究計画の格付けという、厳しい議論が待っていた。一風変わった動物モデルと小児腫瘍に関する研究計画が 1 位と 2 位になり、助成金交付を受けることは、ほぼ確実だ。この 2 件は「明らかにずば抜けている」と委員長はいう。

難しいのは、評価点 1.3 と 1.4 という、拮抗した研究計画の 3 位争いだ。3 位ならば助成金交付のチャンスは十分にあるが、4 位になると、上位の助成金交付者が辞退したり、高額寄付者が関連する特定の研究分野への資金提供を要請したりするなど、予想外の余剰予算が生じた場合にのみ助成金が交付される、「pay-if (補欠)」扱いとなることはほぼ間違いない。ちなみに 2009 年は、ACS の研究プロジェクト助成金とポスドクフェロー

シップに応募のあった 151 件の研究計画が補欠扱いとなり（その件数は通常の 2 倍だった）、最終的には 45 件に助成金が交付された。

1.3 という評価を受けた、致死性の高いがんについての研究は、既に過去に 2 度、申請があった。ACS の規程によれば、今回は最後のチャンスとなる。「いずれのときも『秀』でした。科学的にはしっかりしているのです。ただ、新規性という点で難があるようなのです」。審査委員の 1 人はこう語った。

一方、そのライバル、評価点 1.4 の研究は、非常に多くの種類のがんに重要なシグナル伝達ネットワークの下流で起こる事象について調べるというもので、今回が初めての申請になる。この研究については、技術的に卓越している点で審査委員たちは同意しているが、委員長は、申請者の論文発表力を懸念した。「この研究計画は、よく練られ、うまく書かれており、最終的にすばらしい研究となっています。しかし、申請者は、ポストドク期間が通常より長く、筆頭著者論文が非常に少ないですね……」。また、「申請者がポストドクとして所属する研究室の論文発表率は、他の多くの研究室に比べて低い」という指摘も出た。これに対して、「この研究室から発表される研究論文はスケールが非常に大きく、この程度の論文発表率は、それほど珍しい値ではない」という反対意見が出された。

議論はこう着状態に陥り、双方の審査委員とも、それぞれが支持する申請に助成金を交付すべきだと思っていた。

最終判断

最終的には、委員長が、シグナル伝達ネットワークの研究に助成金を交付するほうががん研究にとって得られるのが大きい、と主張した。審査委員たちは次々とうなずき、行き詰まりは打開された。委員長がホワイトボード上の点数を書き替えて、シグナル伝達研究を 3 位とした。誰もが満足しているように思えたが、それでも敗れた研究計画を

惜しむ、声にならない心情も感じられた。最後に、審査委員全員が、勧告された評点に基づいて上位 4 件の研究計画の格付けを無記名で「良心に従って投票する」よう指示された。最終判断は、プログラムオフィサーだけが見ることのできる投票の集計結果によって決まるが、審査委員が既に合意した順位どおりになる可能性が非常に高い。

筆者はその後、致死性の高いがんの研究計画を精査した審査委員の 1 人を彼のオフィスでインタビューした。彼は、強力な科学研究の後押しができなかったことに満足していなかった。「かつて私も ACS の研究助成金を受けました。それがなかったら、今、私はここにはいないでしょう。この最終判断は、申請者にとって悪い兆しになるかもしれません。このまま忘れ去られてしまうこともあるのです。別の資金提供機関から助成金が出ることを願うのみです」。研究者にとって、取るべき現在の戦略は、できるだけ多くの研究計画書をできるだけ多くの資金提供機関に提出することだ、と彼はいう。「残酷な話ですが、助成金が交付されないことで、数多くの研究キャリアが終わりを告げているのです」。

同じくこの研究計画を支持していた女性副委員長も、残念がっている。「この研究からは、特定の分子経路に関する驚くべき新情報は得られないかもしれませんが、このがん系にとっては本当に重要だったかもしれないのです。こうした研究はあまり行われていません」。彼女は、

現在の経済情勢ではこの種の科学研究が助成金獲得競争に負けるのでは、と心配している。「研究活動において不可欠の日常的な研究というものがあります。その費用はどうやって工面すればよいのでしょうか。すべての資金提供機関は、この点を考える必要があります」。

このことは、ACS 助成金の申請者も真剣に考えなければならない。7 月の最終週に、今回の申請者たちは、審査委員会の結論を通知する電子メールを必死に探したことだろう。最終的に、「貴殿の申請を助成金の交付対象として検討すべき、とする審査委員会の勧告を通知いたします」というメールを受け取ったのは 2 人だけだった。残り 2 件の「秀」評価の申請には、「残念ながら、予算に限りがあるため」で始まり、補欠扱いになり検討対象になっていることを通知するメールが送られた。

それでは、こうした状況で優位に立つために、申請者はどうすればよいのだろうか。副委員長は、さまざまな視点による申請書を作って同僚の研究者に読んでもらい評価してもらい、審査過程のシミュレーションを行うことをアドバイスしている。また、つてをたどって、審査委員会の顔ぶれと申請状況を探り出すべきだとも語った。「同じ研究分野に 10 人のシニア研究者が助成金申請をしているのか、審査委員は X と Y を比較する研究方法を好むのか、といったことを調べるのです。誰かに助けを求めるのが肝心です。すべて自力でやろうとは思わないでください」。

委員長は、最後にこう話した。「本当は実力のある研究者が、助成金を得るためにこんなに苦勞しなければならないなんて悲しいことです。結局のところ、助成金申請審査は、不完全な過程に終わっています。でも、我々は、それほどまづい仕事はしていないと思いますよ」。

（翻訳：菊川要）



Kendall Powell は、米国コロラド州ラフィエットを拠点に活動するフリーランスのサイエンスライター。

テクノセーブによる講義を受ける学生たち

プログラムのロゴ

実地見学旅行中の学生たち

未来のリーダーを育てる10週間

Ten weeks to save the world

NICOLA JONES 2010年9月16日号 Vol. 467 (266-268)

世界中から選ばれた優秀な学生たちに未来学の思想を教え、
世界をリードする人材を育てようとするサマースクールがアメリカ西海岸にある。
大胆な主張と、優れた頭脳と、ハイテク装置が出会い、独特の高揚した雰囲気生まれている。

異才秀才が世界から集まった特異点

ハイテク玩具が所狭しと並ぶ部屋で、Alison Lewis の顔の上をレーザーが走り、スキャンしたデータをラップトップ型コンピューターに取り込んでいく。スクリーン上に彼女の顔の画像が現れ、ちょっと微調整をしたら、部屋の隅に置いてあるミニバー程度の大きさの3Dプリンターで印刷する準備は完了だ。3D印刷の技術は、室内の多くの学生たちの心に新しい風を吹き込む。

しかし、もっと重要なのは、学生たちが明日の技術の可能性や、その技術を利用して未来をよりよいものにする方法について、考えるきっかけを与えている点だ。昨年、この実演にヒントを得た学生たちが、途上国向けの安価な住宅を「印刷」というアイデアを思いついた。その1人は博士号研究を捨て、プロジェクトを進めるためにカリフォルニア州のベイエリアに引っ越した。

ここの名前はシンギュラリティー大学(特異点大学)。カリフォルニア州シリコンバレーのNASAリサーチパーク内にあり、卒業生たちは頭文字をとってSUとよんでいる。厳密には大学ではなく、学位や履修単位を授与することはない。

SUは、大学院レベルの特に優秀な学生を集めて、10週間にわたり集中的に教育を行うサマースクールである。

学生は大学とビジネス界の両方から来ていて、今年は、マサチューセッツ工科大学(MIT)の史上最年少の大学院生として話題になった男性や、数人の億万長者が含まれていた。世界は今、貧困、病気、資源の枯渇といった大問題に直面している。SUのミッションは、未来のリーダーたちに、こうした大問題の解決に新しい技術を用いることを教育し、彼らを鼓舞することにある。筆者が8月に数日間取材したSUは、いわば、シンクタンク、オタクの冒険キャンプ、ビジネス人脈作りパーティーを混ぜ合わせたような雰囲気のものだった。

ただし、この体験をするためには多額の費用が必要だ。SUの学生は、10週間の授業料と食費として2万5000ドル(約200万円)を支払っている。これだけ出せば、米国のたいていの大学で、丸1年、場合によっては2年間勉強できるだろう。しかし、学生たちがSUで過ごす10週間の中で思い付いたアイディア、形成した人脈、仲立ちした取引などは、生涯にわたって続き、もしかすると世界

を救うかもしれないのだ。そこまでいかなくても、挑戦の過程でいくらかの金儲けができるかもしれない。

過去の教育の逆をいく

このプロジェクトの共同設立者の1人であるPeter Diamandisは、民間による最初の有人宇宙飛行を成功させるなどの事業に数百万ドルの懸賞金をつけるXプライズ財団の設立者として有名だ。彼にヒントを与えたのは、未来学者Raymond Kurzweilの2005年の著書『The Singularity is Near』だった(邦訳は『ポスト・ヒューマン誕生』レイ・カーツワイル著、井上健監訳、日本放送出版協会)。

Kurzweilはこの本で、「加速するテクノロジー」は、人類がより長く、よりよく生きるための能力を指数関数的に向上させ、西暦2045年ごろに「特異点(singularity)」に至ると主張している。このとき、コンピューターのパワーは今日の全人類の知性の10億倍以上に達し、人間の能力に重大な変革を引き起こして、宇宙を「^{かくせい}覚醒」させるという。

こうした予測を聞くと、ほとんどの科学者は不快感で身もだえするだろう(SU



プログラムの設立者 Peter Diamandis



ブレインストーミングの結果



NEWS FEATURE

大学本部がある NASA エイムズ研究センター

の学生の多くも、自分は Kurzweil のような「特異点主義者」ではないと断言する)。けれども Diamandis は、加速するテクノロジーという概念は、世界を見つめる方法としても、学校の枠組みを作る方法としても正しいと感じた。彼は以前にも、世界各国の宇宙機関のリーダーになれるような人材を訓練する、国際宇宙大学 (ISU) というエリート向けのサマーキャンプを、フランスのストラズブールに設立している。彼は SU を、ISU のように質が高く、より幅広い教育を行う学校として構想した。

2008 年に、Diamandis と Kurzweil を含むグループが会合を開いてこのアイデアを検討し、直ちに Salim Ismail を雇い入れた。Ismail は、Yahoo の元業務執行取締役として新サービス開発部門を率いた人物である。2009 年の夏、彼らは 40 人の学生を集めて最初の授業を行った。

彼らが組織したプログラムは、普通の学校をひっくり返したものだといっている。「過去 200 年間の教育システムは、学生が 1 つの非常に小さなテーマを深く掘り下げられるように教育することを目標としてきました」と Diamandis はいう。「我々はここで、それを逆転させようとしています」。学生たちは、1 つのテーマを深く掘り下げる代わりに、その視野を広げていく。自分の専門分野の歴史を学ぶ代わりに、全世界の未来を想像するのだ。

SU のプログラムは周囲に波風を立てている。それには、この学校が掲げるユニークなミッション、「特異点」大学という挑発的な校名、影響力あるコネクション (例えば、Google は SU の立ち上げに 100 万ドルを寄付している) も

寄与している。2009 年の SU の開校式では、Google の検索エンジンの背後にあるソフトウェアの共同設計者である Larry Page が、「私が学生だったら、ここで学びたいと思うでしょうね」と語った。米国政府もこのプログラムに注目している。2010 年 8 月には、国務長官ヒラリー・クリントンが主催した国際開発庁の公式晩餐会に Ismail が招待され、SU について話をしている。

一方、学者たちは複雑な印象を抱いている。SU にかかわっていないミシガン大学リスク科学センター (米国アナーバー) 所長の Andrew Maynard は、このプロジェクトにかかわる一部の顔ぶれを見て、「時に擬似科学に近づくおそれのあるプログラムには疑問があります」といいつつも、世界の差し迫った問題を解決するためには、大学は従来の保守主義から抜け出す必要があるのかもしれないと付け加える。「研究者や技術者が、普段より大胆に想像力を働かせる機会が必要なのかもしれません」。

講義、実地見学、問題解決計画の立案

SU の教育形式はシンプルだ。前半の 5 週間は、ナノテクノロジーからバイオテクノロジーまでの 10 の研究分野について最先端のトピックスの講義を受け (18 ページ図「未来のカリキュラム?」参照)、それとともに、実地見学旅行に出かける。今年の見学先には、ロボット工学研究所のウィロー・ガレージ (米国カリフォルニア州メンロパーク) や、電気自動車会社のテスラ・モーターズ (米国パロアルト) などが含まれていた。学生たちは、医師が精密手術に用いる手術支援ロボット「ダ・ヴィンチ」のアームを操作したり、NASA エイムズ研究センター (米国マ

ウンテンビュー) で世界最高レベルのフライトシミュレータに乗ったりした。

プログラムの後半 5 週間では、学生たちはいくつかのグループに分かれて、水、食糧、エネルギー、宇宙、アップサイクル (価値がなくなったものを再利用して価値のあるものにすること) の 5 つの分野のどれか 1 つの問題に取り組む。彼らのミッションは、「指数関数的に進歩するテクノロジーを利用」して、10 年以内に 10 億人の生活を改善する営利事業や非営利事業を計画することだ。

私が SU を訪れた第 7 週には、学生たちは夜中まで作業を続けていた。彼らは、学んできたことを消化し、プロジェクトを練り上げていた。数十人の学生が集まっているメインルームには、彼らが予測する未来のビジョンを記した付箋紙が張られていた (ある付箋紙には、「3 ～ 5 年後にはフェデックス・キンコーズのコピーセンターで 3D 印刷ができるようになってい」と書いてあった)。

ある部屋では、エチオピアからルーマニアまでの学生たちが、エネルギーの民主化の問題に取り組んでいた。別の部屋では、チリ人の学生が、スラムに飲料水を送り届けるシステムを考えていた。よりよい情報配信手段についての議論になったとき、Diamandis がいった。「Google Earth を作った人たち、正確に言えば、ああいうプラットフォームを作った人たちと話をしてみたいなら紹介します」。学生たちはうなずくだけで、彼らは既に、すばらしいコネがもてることを当たり前と思っている。

学生たちの国籍は、驚くほど広く分布している。今回のサマーキャンプには、85 か国から約 1600 人の応募があった。応募者は、学力、起業家やリーダー

としての能力、および、人類が直面する大問題を解決したいという熱意の点から評価される。最終選考は Diamandis と Ismail が行い、女性が 25 ～ 30 %、発展途上国出身者が 20 ～ 25 % 入り、専門分野と出身地ができるだけばらばらになるように配慮する。今回はこうして 35 か国から 78 人の学生が選ばれた。

その 1 人が、David Dalrymple である。彼は現在 19 歳で 5 年前、マサチューセッツ工科大学（米国ケンブリッジ）の史上最年少の大学院生になった。彼は今、博士号研究として、人工知能により適したプログラミング言語の開発に取り組んでいる。Dalrymple は、SU が「プログラムよりもそこにいる人間のほうがおもしろいという、教育の第一法則に従っている」という。

3D プリンターに顔をスキャンさせていた Lewis はデザイナーで、2008 年に出版した『Switch Craft』という本では、エレクトロニクスと手芸を合体させ、親しみやすい形でテクノロジーを利用してみせた。ロンドン子の Zain Jaffer は、22 歳の若さで、既に多くのスタートアップ企業を設立している。Santiago Bilinkis は、米国のオフィスサプライチェーン「ステープルズ」のアルゼンチン版に当たる「オフィスネット」を設立し、これをステープルズに売却することで、35 歳にして億万長者になった。「若いころ、私は金持ちになって、マッドサイエンティストになりたいと思っていました」と彼はいう。「ここに来たのは、計画を実行するためです」。

これだけの学生が集まれば、少なくとも、すばらしい晩餐会ができることは確実だ。しかし、SU のオーガナイザーたちは、それ以上のものを望んでいる。それは、明日の大統領、ノーベル賞受賞者、トップ経営者だ。「我々は未来のリーダーを生み出す『原始のスープ』を作っているのです」と Ismail はいう。

SU の参加費は 2 万 5000 ドル（約 200 万円）だが、多くの学生はそれだけの金額を支払える資金力がなく、半

未来のカリキュラム？

シンギュラリティー大学の講義の核となる 10 のトピックス

- ・未来学と未来予測
- ・政策、法律、倫理学
- ・金融、起業、経済学
- ・ネットワークとコンピューティングシステム
- ・バイオテクノロジーとバイオインフォマティクス
- ・ナノテクノロジー
- ・医学と神経科学
- ・人工知能とロボット工学
- ・エネルギーと環境システム
- ・宇宙科学と物理学

数以上が SU などから全額または一部を奨学金として給付されている。もちろん、億万長者たちは全額を支払っている。Ismail によると、SU は非営利組織で、学生から徴収する参加費といくつかの寄付金により、1 年に約 110 万ドル（約 8800 万円）の収入があるという。しかし、NASA の施設の使用料、9 人のフルタイムのスタッフの給料、カリキュラムを毎年更新するための費用で、1 年に約 250 万ドル（約 2 億円）の支出がある。そこで、エグゼクティブ向けの研修プログラムを提供して、その収入により不足分の多くをカバーしている。この秋には 45 人が、1 万 5000 ドル（約 120 万円）の 9 日間のセッションか、6500 ドル（約 52 万円）の 4 日間のセッションに参加することになっている。

テクノユートピア

今年の夏、SU の学生たちは、個人向けの遺伝子解析サービスを提供している 23andMe 社の共同設立者 Linda Avey、立ち乗り二輪車セグウェイや脳で制御する義肢の発明者である Dean Kamen、ナノテクノロジーと量子計算の権威 Ralph Merkle など、160 人の講師の話聞いた。SU のアドバイザーは情報技術分野で特に充実していて、インター

ネットの父の 1 人である Vint Cerf やサン・マイクロシステムズの元主席研究員である John Gage が名を連ねている。

学生たちは 10 週間というわずかな期間に多くの講義を受けるため、各トピックの概観しかつかむことができない。けれども彼らには、希望に応じて、特定の最先端技術のすべてを知る人に会って話をする機会も与えられている。韓国からの留学生 Tony Lyu は、「多くの学生が 1 つのミッションをもってここに来ていて、自分の質問に答えてくれる世界でただ 1 人の人物に会うことができるのです」という。Lyu は電気工学の研究をして、国連宇宙部門で働いているので、コネが全くないわけではない。けれども彼は、「これまでは重要人物と近付きになる機会がありませんでしたが、ここに来て多くの知り合いができました」という。

私はある晩、Diamandis が学生たちに、「エネルギーは将来、あらゆる場所で、本質的に無料で手に入るようになると考えてよい」と話すのを二度聞いた。テクノロジーに対する彼の楽観主義と情熱は、スタッフと学生のほぼ全員に伝染している。こうした姿勢は、不可能を可能にみせ、革新的な考えを推し進める力になるかもしれないが、深い所にある複雑さや難しさをごまかしているようにも感じられる。

オーストラリアのシドニーから来た Sam Thorp は、大学でバイオテクノロジーを学んでいるが、めざしているのは起業家で、2009 年には記録破りのカスタードパイ投げ合戦を組織した。「SU には、生まれてから今まで一度も挫折^{きざつ}したことがない人々が集まっています。彼らはここに来て初めて、人類が抱える重大問題に直面するのです」と彼はいう。「表面からはみえにくいかもしれませんが、彼らはここで、すべてがテクノロジーによって解決できるわけでも、簡単に解決できるわけでもないことを理解しているのです」。

一部の人々は、SU のテクノユートピア趣味を気がかりなものに感じている。

米国を拠点とする非営利組織である倫理未来技術研究所の上級研究員 Jamais Cascio は、「彼らがみせるのは、『こんなにクールなテクノロジーが近いうちに現実のものになるんだ!』というところばかりで、それに対する懐疑論や警戒感についてはほとんど触れていません」と批判する。

もっと悪いのは、彼らがテクノロジー以外の問題について議論するとき、その内容が、差し迫った社会問題の核心を突いていないようにみえる点であるという。「彼らは、経済学のセッションではもっぱら資金調達について話していて、政策のセッションでは技術開発の妨げになる規制を回避する方法について話しています」と指摘する。

アイデアを行動に移す

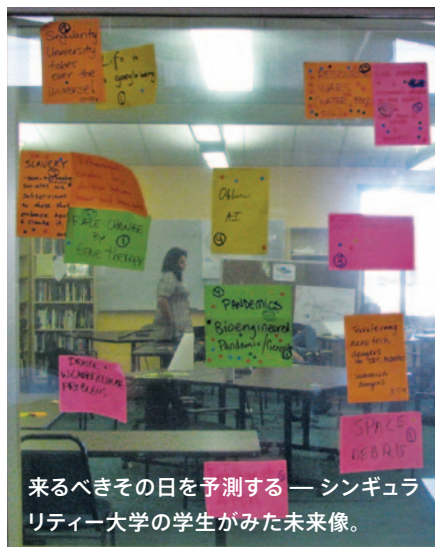
SUのバランスを評価する方法の1つは、学生たちが提案したプロジェクトを見てみることだ。昨年のクラスの成果の1つに、SUを通じて集めた資金を元手に設立された「GetAround」という会社がある。この会社は、自動車を所有しているマウテンビューの住人が、自分が自動車を使わない時間に他人に有料で貸し出せるようにする事業を行っていて、まもなく、地元の大学のキャンパス内にもサービスを広げることになっている。このアイデアは悪くないが、筆者には、SUが華々しく宣伝する「パラダイムシフトを引き起こすような事業」にはみえなかった。

Ismael は、それは全くの誤解だという。学生たちが実際に提案したプロジェクトは、「個人に所有されない無公害車の自律的集団」という未来のビジョンであったという。そこに到達するまでの最大の難所は、「車を所有する」ことから「車にアクセスする」ことへと文化モデルを変えていくところにある。GetAround は、この変化を引き起こすための手段なのだ。Diamandis が学生たちに繰り返して言い聞かせているように、「ビジョンは人を鼓舞するが、その実現は信用を得ることから始まる」からだ。

同様に、3D プリンターは洗練された玩具のようにしか見えないかもしれない。しかし、SU の学生たちは、あらゆることを指数的進歩と結びつけて考えるよう訓練されている。この学生たちは、3D 印刷が世界経済を根底から変え、中国からの輸入をなくし、製造者ではなくデザイナーの手に金と力をもたせることになるかとみているのだ。

昨年 の SU の 卒 業 生 で あ る Devin Fidler は、ブダペストでの博士号研究を捨て、コンクリート押出成形技術を使って発展途上国の住宅を3D印刷する「Acasa」というプロジェクトに乗り出した。Ismail が2010年8月にワシントンで行ったスピーチによると、彼らは将来、4000ドル（30万円強）で単純な住宅が建設できるようになると予想している。それにかかる時間は1日半、使用する電力は電球30個分だ。Fidler は現在、パートナーを組む科学者の研究開発に必要な資金を集めるために奔走している。

今年の成果である 12 のプロジェクトの中には、最先端の水耕法（土を使わずに植物を栽培する技術）と遺伝子組み換え技術を利用した都市農業の促進と発展のため、敷地内で栽培した食品だけを販売する店舗とレストランを展開するというビジネスプランがあった（agropolisfarm.com）。低地球軌道に安価なナノ衛星を無数に投入して雲を作



り、これらをつなぎ合わせて、ありとあらゆる宇宙ベースの事業を遂行できるようにするプロジェクトを提案したチームもあった。同じく SU の学生であるペラルーシの理論物理学者 Dmitriy Tselikhovich が始めた別のプロジェクトでは、地上に設置したマイクロ波レーザーによりエネルギーを供給する、安価で環境にやさしいロケット打ち上げシステムの開発をめざしている。

このように、すべてのプロジェクトのアイデアが新しいわけではなく、実現しそうなものもあるが、なかには既に注目を集めているものもある。SUは最終プレゼンテーションに、「エンジェル投資家」すなわちベンチャー投資家を招待し、多くの学生が彼らと話し合いをした。

世界を救うのが義務

自分のアイデアを推進するための資金を獲得できたか否かに関係なく、私が話を聞いた学生たちは、「世界を救いたい」という情熱を新たに示したと口にした。Ismailによると、学生たちにアンケートを採ったところ、その60%が自分たちのプロジェクトを直ちに進めたがっついて、約半数がバイエリアで得たコネに魅力を感じ、そこにとどまりたがっついてることがわかったという。実際、昨年の卒業生の約半分以上が、そのままカリフォルニアにとどまっている。

この大学の意義が明らかになるのは、ずっと先、学生たちが大成したときだ。彼らが未来のリーダーに育つだろうという期待は、自己達成的に進んでいくのかもしれない。Jaffer はいう。「我々はSUで、『君たちの仕事は世界を変えることだ』と教えられています。私がここから出ていくとき、『さて困った、本当に何かをしなければならぬぞ』と思うかもしれませんが、それでも、世界を変えることは我々の義務なのです」。

(翻譯：三枝小夜子)

Nicola Jones は、*Nature* の Opinion セクションの
委託編集者。

遺伝子組み換えサケ、承認へ

Transgenic fish go large

EMMA MARRIS 2010年9月16日号 Vol. 467 (259)

www.nature.com/news/2010/100914/full/467259a.html

まもなく、食用の遺伝子組み換え動物としてサケが初めて認可される見込みである。今後、他の遺伝子組み換え動物食品が次々と市場に出回るようになるかもしれない。

米国では、初の遺伝子組み換え動物がまもなく食卓に上ろうとしている。米国食品医薬品局（FDA）が、野生種の2倍の速さで成長する遺伝子組み換え（GM）タイセイヨウサケ（アトランティックサーモン）を承認するとみられているのだ。

この遺伝子組み換えサケは、出荷できるサイズになるまで、通常なら3年かかるところが1年半ですむ。このサケは、マスノスケ（キングサーモン）の成長ホルモンの遺伝子配列とウナギに似たゲンジの調節配列を含むDNA配列を1コピーもつ。このため、通常のタイセイヨウサケは冬に成長しないのだが、遺伝子組み換えサケは年間を通じて成長ホルモンを作り続けることができ、一年中成長する。開発したアクアバウンティ・テクノロジーズ社（米国マサチューセッツ州ウォルサム）は、新しい規制の枠組みの中で、10年以上をかけてこの魚の承認をめざしてきた。

2009年、FDAは、動物の遺伝子組み換え形質を獣医薬品として分類することを決定した。この決定に対しては、企業

が遺伝子組み換え製品の詳細を機密情報として非公表とすることを許すものだという批判があった¹。批判を鎮めるため、FDAは遺伝子組み換えサケに関する決定事項についてすべての情報をインターネット上に公表し、諮問機関である「獣医学諮問委員会（VMAC）」による審議の大部分を公開した。そして、9月19日と20日にVMACは、この魚の科学、安全性、環境に対する影響、および表示法について詳しく聞くための公開諮問会議を開く。VMACの報告を受けて承認に関する決定を行うFDAの獣医学センターは、既に前向きな報告書を公表している。（編集部註：この公開諮問会議では、「食べても安全である」との見解が示されたが、FDAはさらなる試験が必要として承認を先送りした。11月10日現在、未承認である。）

環境団体の中には、遺伝子組み換えサケが生け簀から逃げて野生のタイセイヨウサケとの交配が起こることを懸念するものもある。モントレー・ベイ水族館（米国カリフォルニア州）で水産養殖研究の

責任者を務めるPeter Bridsonは、「遺伝子組み換えサケが逃げる危険性は常に付きまといまいます。ですから私は、今回の申請の承認には反対です」と話す。

アクアバウンティ社の最高経営責任者であるRonald Stotishは、そうした懸念は見当違いだと語る。同社の遺伝子組み換えサケの99パーセント以上は、三倍体であるために生殖能力がない。また、飼育されているのは内陸部で、巨大な飼育水槽には卵や幼魚、成魚を閉じ込めるためのフィルターと隔壁が備え付けられている。「野生の魚たちとの交配につながりかねない流出などのトラブルが発生するリスクは、ないに等しいのです」とStotishは説く。

メモリアル大学（カナダ・ニューファンドランド州セントジョンズ）の生物学者であるMark Abrahamsによれば、この遺伝子組み換えサケの旺盛な代謝は自然界の生存には適していないという。「わざわざ捕食されるリスクを負うようになっている」、つまり肉食動物に食べられやすいということなのだ。

サケの次に食卓に上りそうな遺伝子組み換え動物は、グエルフ大学（カナダ・オンタリオ州）で開発され、現在FDAの承認を待っている「エンバイロピッグ」だ。この遺伝子組み換えブタは餌からリンを効率的に取り込むことができるため、糞便に含まれるリンが少ない。リンの多い糞便は、水路に藻の大発生をもたらす場合があるのだ。

EUでは審査待ちの食用遺伝子組み換え動物はなく、欧州食品安全機関（イタリア・パルマ）が規制の指針を起草し始めたところだ。今のところ、アクアバウンティ社は米国内だけで遺伝子組み換えサケを売ろうとしている。「ほかの国も興味はあるのですが、どこも米国の承認の様子見をしているのです」とStotishは語る。

（翻訳：小林盛方）



遺伝子組み換えアトランティックサーモン（後方）。手前の野生種に比べて、その巨大さは一目瞭然である。

1. <http://www.nature.com/news/2008/080919/full/news.2008.1120.html>

新種のリンパ球を発見

佐藤成美（サイエンスライター）

慶應義塾大学の^{もろかずよ}茂呂和世助教と^{こやすしげお}小安重夫教授の研究グループはマウスの脂肪組織から新種のリンパ球を発見し、「ナチュラルヘルパー細胞」と命名した。この細胞は免疫を活性化させるサイトカインを大量に作り出し、感染した寄生虫の排除を助ける。また、ぜんそくやアレルギー疾患の発症に重要な役割をしていると考えられる。この成果は、2010年1月の *Nature*¹ に掲載された。

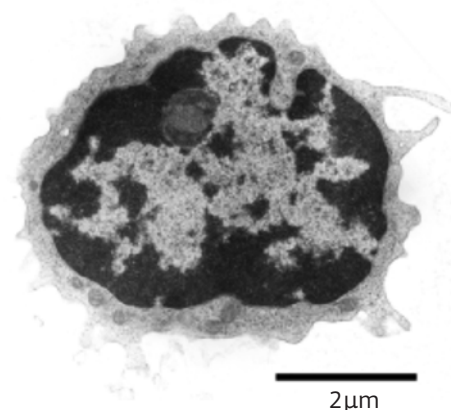
生体には細菌やウイルスなどの外敵や毒素など、自分とは異なる物質から身を守る免疫という仕組みがある。リンパ球は免疫を司る白血球で、T細胞、B細胞、ナチュラルキラー細胞などに分類される。白血球やリンパ球が、外敵を取り込んだり（自然免疫）、体内への外敵の侵入を記憶して抵抗性をもったり（獲得免疫）して生体を防御する。今回発見されたナチュラルヘルパー細胞は、感染した寄生虫の排除やアレルギー疾患の発症に重要な役割をもつサイトカインを作る。そのサイトカインを介して外敵を倒す細胞を助け、自然免疫の機能を調節していることがわかった。

2005年、茂呂助教らは、マウスの腸管膜の脂肪組織に今まで知られていない小さなリンパ球の集まりを見つ

た。当時、脂肪組織にこのようなリンパ球の集まりの存在を知る人はいたものの、それに意味があるとは誰も考えていなかった。さらに腹腔のほかの脂肪組織にも見つけ、FALC（fat-associated lymphoid cluster）と名付けた。茂呂助教は博士課程のテーマがまだ決まっていなかったことから、研究室で余った高齢のマウスを使って実験していたことが功を奏した。「FALCは高齢のマウスでより多くみられることが後でわかりました。もし通常使われる若いマウスで実験していたら、ナチュラルヘルパー細胞もみつからなかったと思います」と茂呂助教は振り返る。FALCに含まれるリンパ球の種類を調べるうちに、T細胞でもB細胞でもない、新種のリンパ球、ナチュラルヘルパー細胞の存在に気付いたのだった。

ナチュラルヘルパー細胞は、常に少量のサイトカインを分泌することで、生体の自然免疫にかかわる細胞を維持している。分泌するサイトカインは、インターロイキン5、インターロイキン6やインターロイキン13などだ。これらは自然免疫にかかわる細胞の増殖やその細胞の感染防御にかかわる抗体の産生を促す。「何の刺激も受けずにサイトカインを分泌し続けるリンパ球は、これまで知られていませんでした」と茂呂助教。ナチュラルヘルパー細胞の恒常的な役割が明らかになったわけだ。

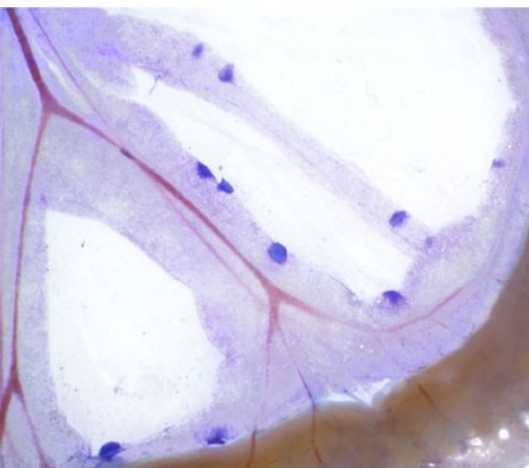
一方、宿主が寄生虫に感染すると、



新しいリンパ球ナチュラルヘルパー細胞の電顕像。

ナチュラルヘルパー細胞は大量のインターロイキンを分泌し、そのインターロイキンを介して寄生虫の排除を促す。寄生虫感染により損傷を受けた箇所では分泌されるインターロイキン33というサイトカインでナチュラルヘルパー細胞を刺激すると、並外れた量のインターロイキン13やインターロイキン5を分泌し、さらに、小腸の^{さかづき}杯細胞の活性化を促した。杯細胞はインターロイキン13の作用により、ムチンという高粘性の糖タンパク質を分泌して寄生虫を退治する。この結果により、ナチュラルヘルパー細胞が寄生虫の排除を促すことがわかった。さらに、T細胞や肥満細胞など免疫に関与する細胞と力を合わせて、寄生虫を退治しているのではないかと茂呂助教らは考えている。

さらに、ナチュラルヘルパー細胞が分泌するインターロイキンが、ぜんそくの症状を悪化させることも予想されている。したがって、この研究がアレルギーぜんそくなどアレルギー疾患の予防や治療につながる期待も高まっている。アレルギーぜんそくの患者は年々増えており、世界で3億人いるといわれる。「そのためにも、ナチュラルヘルパー細胞の機能をもっと明らかにしたいと思います」と茂呂助教は語っている。 ■



腸管膜で発見した FALC（濃青色に染まったスポット）。

1. Moro, K. et al. *Nature* **463**, 540-544 (2010).

自由な環境がフロンティアを拓く

慶應義塾大学医学部を語る

塩見美喜子准教授
×
茂呂和世助教

茂呂（和世） 塩見先生とは、医学部の基礎教室所属ということは共通していますが、研究棟が別で、ゆっくりお話しするのは初めてですね。先生は分子生物学、とりわけ RNA 研究でたいへん著名でいらっしゃいますが、ご研究内容について教えてくださいいただけますか。

塩見（美喜子） ご存じの通り、ヒトゲノムの中には 23000 程度の遺伝子がありますが、それらすべての遺伝子が、脳やその他の臓器で発現しているわけではありません。こうした遺伝子発現抑制のしくみの 1 つが、RNA サイレンシングというものであり、その機構が私たちの研究対象です。それがどんな分子で、それぞれの分子のどのような機能によって制御が担われているかを明らかにしようとしています。

茂呂 そのご研究が評価されて、塩見先生は昨年、自然科学の分野で顕著な研究業績を収めた女性科学者に贈られる「猿橋賞」を受賞されました。

塩見 とても光栄なことだと思っています

す。茂呂先生も、「Nature」に発表された論文がたいへん話題になりましたね。ご研究のテーマについて、改めて教えてくださいいただけますか。

茂呂 白血球の中にあるリンパ球には、これまで T 細胞と B 細胞、NK 細胞、NKT 細胞という 4 種類が知られてきました。今回私たちは、それらとはまったく異なるリンパ球を見つけまして、ナチュラルヘルパー細胞(NH 細胞)と名付けました。このリンパ球は獲得免疫系で働く細胞ではなくて、自然免疫系で働く細胞で、とくに寄生虫感染やアレルギーと関わりが深く、体の中の特殊な細胞の恒常性の維持に働きます。

塩見 発見のきっかけはどのようなことだったのですか。

茂呂 大学院に入った時に小安重夫教授（医学部微生物学・免疫学教室）から、「大学院生は何でも好きな研究をやってもいいよ」と言われまして。でも、何をやったらいいのかさっぱりわからず（笑）。そこで、

毎日いろんなものを見ていたのですが、ある時、脂肪組織に自分の知らないリンパ球の集積を見つけて、これは何だろうと思ったのが始まりです。いろいろな先生に聞いたところ、皆「そういうのはよく見かけるよ」と。でも、名前を聞いても誰もご存じない。じゃあ私が、ということで本格的に研究を始め、4 年くらいでまとめて発表しました。塩見先生は、今のテーマにどんなふうに入ってこられたのですか？

塩見 1999 年に私と私の主人（塩見春彦・医学部分子生物学教室教授）が米国から帰国して、徳島大学にラボを立ち上げることになり、当初は、米国での研究の延長で脆弱 X 症候群（精神遅滞をとまなう遺伝子疾患）の原因遺伝子 *fmr1* の解析をしていました。この遺伝子は FMRP というタンパク質をつくるのですが、研究を進めるうちに、そのタンパク質と、先ほどの RNA サイレンシングの代表例である RNA 干渉（RNAi）のコアの因子 Argonaute2 とが、物理的に相互作用をしていることがわかってきました。でも、当時は RNAi 自体がまだ全然解明されて



塩見美喜子（しおみ・みきこ）

慶應義塾大学医学部分子生物学教室准教授。1994 年学位（農博）取得（京都大学）。2003 年学位（医博）取得（徳島大学）。ペンシルベニア大学研究員、徳島大学ゲノム機能研究センター助教授などを経て、2008 年、慶應義塾大学総合医科学研究センター准教授、2009 年より現職。2009 年度、猿橋賞受賞。



茂呂和世（もろ・かずよ）

慶應義塾大学医学部微生物学・免疫学教室 / 総合医科学研究センター グローバル COE プログラム特別研究助教。日本大学歯学部卒業。慶應義塾大学大学院医学研究科博士課程修了、医学博士。2008 年より現職。

グローバル COE プログラムと若手育成

慶應義塾大学医学部は北里柴三郎先生によって創設され、基礎と臨床の連携を緊密に行っているのが大きな特徴です。今回ご登場いただいた塩見さん、茂呂さん、そして私も基礎の研究者ですが、それぞれが臨床への大きな可能性を秘めた研究を行っています。

現在、当医学部は2つのグローバル COE プログラム（GCOE）の研究拠点となっています。1つは、塩見さんが所属している「In vivo ヒト代

謝システム生物学拠点」（拠点リーダー 末松誠 / 医化学教室教授・医学部長）であり、もう1つは、私が拠点リーダーを務め、茂呂さんがメンバーとなっている「幹細胞医学のための教育研究拠点」です。幹細胞の基本性質を解明し、それを疾患の病態解明さらに治療法の開発に役立てようというのが、この幹細胞の GCOE の中核テーマです。いま非常に注目されている iPS 細胞もその対象の一つとなっています。

GCOE は、研究支援のみでなく人材育成のためのプログラムでもあり、大学院生が研究に専念できる環境の整備や経済的サポートも行っています。また、海外の一流の研究室での共同研究をサポートするシステムをつくり、若手の“武者修行”にも力を入れています。

岡野栄之
慶應義塾大学医学部生理学教室教授
大学院医学研究科委員長

いなくて、まさに研究が始まったばかりでした。だったらまずそこから手をつけようということで。それがこの研究に入ったきっかけです。

茂呂 それ以来、この分野の先頭を切って走っていらっしゃるわけですね。ところで、塩見先生はお子さんもお持ちですが、研究とどのように両立されているのですか？

塩見 小学校6年生の娘がいるのですが、家にいるときは、完全に娘中心の生活ですね。夜も、娘が塾から帰る時間に合わせて帰宅するようにしています。私は、研究においても「効率」、「スピード」が大事だと思っているのです。

茂呂 私は土日になるべく休むようにしていますが、平日は、実験の具合によっては明け方まで、ということがあります。「今日は疲れているけれど、もう1つこれも見ようか」と。そういう「しつこさ」も必要だと思っているんです。でも、分野にもよりますよね。私のいる免疫分野だと、

1つの実験で2、3カ月かかるものもある。一方、塩見先生の分野は最先端で、世界中で熾烈な競争が行われているので、効率やスピードがカギを握る。

塩見 そうですね。「スピード」そして「ひらめき」が、研究者として大切な要素だと常々感じています。

茂呂 塩見先生は徳島大学から2008年に慶應に来られて、どんな印象を受けましたか。

塩見 私、慶應をとっても気に入っているんですよ（笑）。というのは、「慶應を良くしたい」という愛校心を強くお持ちの方が多く、実際に良くなっていると思います。アクティビティも高いですし、各分野に有名な先生がいらして、いろいろな刺激を受けています。

茂呂 私は大学院に入って以降ずっと、COE プログラム（「グローバル COE と若手育成」参照）にお世話になっているのですが、COE があったから慶應を選んだ

という面もあります。資金サポートがあるなど、バイトをせずに研究に専念できますから。それとは別に、慶應に来てとてもいいなど感じたのは、臨床と基礎の垣根が低いことです。学生の行き来は盛んですし、基礎の先生と臨床の先生がお互いの専門性を尊重していると感じます。あとは、設備面でも慶應はすぐれていますよね。設備が研究のネックになるということが全くありません。

塩見 そうですね。他から比べると、かなり良い研究環境だと思います。

茂呂 女性研究者としても、居心地は悪くないですね。

塩見 悪くないです。今まで、女性だからというので困ったことはないです。得もないかな（笑）。あっ、この記事に出られたのは、女性だからということがあるのかな（笑）

茂呂 私も今、同じことを思っていました（笑）。



第15回慶應医学賞 決定

慶應義塾は、1996年から医学・生命科学の領域において顕著かつ創造的な業績を挙げた研究者を顕彰してきました。第15回目を迎えた今年度の慶應医学賞受賞者は、審良静男博士（大阪大学免疫学フロンティア研究センター、拠点長）、Jules A. Hoffmann 博士（フランス国立科学研究センター細胞分子生物学研究所、名誉リサーチディレクター）の2名に決定いたしました。

授賞式・受賞記念講演会（一般公開）

日時：2010年11月29日（月）午後2時～午後5時30分

会場：慶應義塾大学信濃町キャンパス（医学部）

北里記念医学図書館2階 北里講堂

詳しくはこちら www.ms-fund.keio.ac.jp/prize/index-j.html



慶應義塾大学

www.keio.ac.jp

ヘルペスウイルス感染の受容体はミオシン分子だった

筋繊維での働きが有名なミオシンが、ウイルスの受容体だなんてことがあるのだろうか？——単純ヘルペスウイルスの研究を進めてきた川口 寧^{かわぐち やすし}准教授は、実験データを見て驚いた。すぐさま詳細な解析に着手。懸命な実験により、非筋肉性のミオシンが、ウイルスの細胞侵入において重要な働きを果たすことが明らかになった。

——Nature ダイジェスト：ミオシン分子がウイルス感染に関与しているとは、驚きですね。

川口：そうですね。最初は私たちも当惑しました。単純ヘルペスウイルスの受容体分子を探していたのですが、その正体がみえてきて、思わず「ミオシンかよ……」といてしまいました。ミオシンといえば、誰もがまず思い浮かべるのは、筋肉としての働きですからね。最近では、細胞運動などに関与するミオシンも見つかっていますが。

——正体がみえてきたときのことを、教えてください。

ウイルスがヒト(宿主)に感染する際には、その細胞表面に取り付いて、それから侵入していきます。私たちは、細胞表面でウイルスに付くタンパク質を分離し、精製することができたので、これこそウ

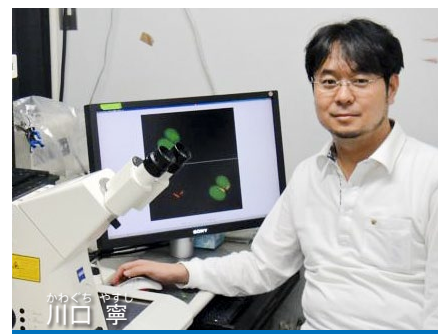
イルスの侵入を可能にする宿主細胞の受容体に違いないと大喜びで、そのタンパク質の同定に質量分析を依頼したのです。

しばらくして、質量分析をしてくれた専門家から連絡がありました。実に沈んだ声で、「分析したところ、ミオシンでした」と。実験失敗に違いないと氣遣ってくれたのでしよう。私たちも、意外な結果に一瞬^{ぼうぜん}茫然としました。

——それから、どうされたのですか？

「実験データを信じよう」が私の研究のポリシーです。きちんと行った実験ならば、予想外の結果にも、何らかの情報が含まれているはず。そこで、ミオシン分子について、詳細な解析を進めることにしました。

それに私はウイルス学者なので、もと「予想外の結果」に慣れています。というのも、ウイルスは宿主のさまざま



な仕組みを利用して生きているので、ウイルスの研究をしていると、ウイルスが思ってもみない宿主細胞の機能を引き出していることに遭遇するのです。

——ミオシン分子の解析は、具体的には？

うれしいことに、調べれば調べるほど、ミオシンが単純ヘルペスウイルスの受容体だという証拠が増えていったのです。

筋肉の成分とは異なる非筋肉性のミオシンが、なぜだかわからないが細胞の表面に存在する、という文献が見つかりました。私たちの実験結果と整合性があり、研究を進める自信となりました。

そして、ミオシンとウイルスの結合を阻害する実験に苦勞の未成功し、その結果、ウイルスの感染が阻害されることを確認できたのです。

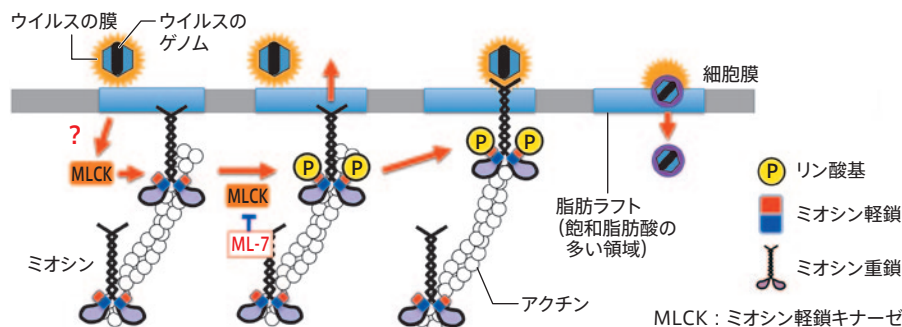
さらに、単純ヘルペスウイルスに通常ならばあまり感染しない細胞に対して、強制的にミオシンを過剰発現させると、感染が増強されることもわかりました。

こうして、半信半疑だった思いが確信へと変わっていったのです。歳月もかかりましたし、決して平坦な道ではありませんでしたが、ミオシンが受容体であると証明することができました¹。

数分間のタイムラグの謎

——単純ヘルペスウイルスの受容体は、ほかにも報告されていますが、違いは？

単純ヘルペスウイルスの外側は、膜(エンベロープ)で覆われていますが、その膜から、糖タンパク質が飛び出しています。この糖タンパク質が、宿主の細胞表面の



単純ヘルペスウイルスが細胞に侵入する仕組みのモデル。何らかのシグナルによりミオシン軽鎖キナーゼが活性化されて、ミオシン(非筋肉ミオシンIIA)分子の軽鎖とよばれる部分をリン酸化すると、ミオシンが細胞表面に出てくる。そして、ミオシン分子の重鎖とよばれる部分とウイルスのgB(糖タンパク質B)が結合すると、ウイルスが細胞内に侵入する。キナーゼの阻害剤ML-7を使用すると、ミオシンの細胞表面への誘導が阻害され、ウイルスの感染も阻害される。

受容体と結合するわけです。糖タンパク質には種類があり、gD (糖タンパク質 D) に対する受容体は、ほかの研究者が既に発見していました。

gB (糖タンパク質 B) の受容体については、それが存在するという概念は、荒瀬 尚 あら せ ひさし 大阪大学教授が証明していました²。私たちもその研究に協力しましたが、実は、ウイルスの病態を説明できる受容体の実体は見つかっていなかったのです。

どうということかといいますと、単純ヘルペスウイルスの感染では、まず上皮細胞に感染が起こります。しかし、上皮細胞に存在する gB 受容体が、これまで発見されていなかったのです。それがミオシンであると、今回わかったのです。

——この受容体が、おもしろい挙動を示すことも発見されたそうですね？

そうです。この gB 受容体であるミオシンは、実は、普段は細胞の内部に存在し、あまり細胞表面に出ていません。細胞内で、細胞の運動や細胞の骨格の維持に関与しています。ところが、ウイルスが細胞に取り付くと、ミオシンの細胞表面量が増加するのです。この過程には数分かかります。

なぜ数分かかるのか、その理由はまだわかりません。しかしこの観察結果は、過去の文献に記載されていたいろいろな実験データをうまく説明することができるので、私たちは皆、あれとも符合する、これとも合致すると、また自信を深めました。例えば、単純ヘルペスウイルスの細胞内への侵入は、数分間のタイムラグの後に始まるという実験データがあったのですが、これは、私たちの観察結果とぴったり整合しています。

感染の防御へ向けて

——ミオシンの不思議な挙動のメカニズムについて、何かわかりましたか？

ミオシンを細胞の表面に誘導するのは、宿主細胞に含まれるミオシン軽鎖キナーゼ酵素であることを突き止めました。これはよく知られている酵素で、タ

ンパク質をリン酸化する働きをします。

では、この酵素を活性化するシグナルは何なのか？ これはまだ想像の域を出ませんが、単純ヘルペスウイルスがまず gD 受容体と結合し、その刺激がこの酵素を活性化するのかもしれません。

これも想像の域を出ませんが、ウイルスは、細胞のもつ仕組みを利用するようにして進化することが多いので、ミオシンが細胞の表面に誘導される過程には、細胞にとっても何か重要な事柄が潜んでいるのかもしれない。

——感染防御薬への期待が膨らみますね。

単純ヘルペスウイルスは口唇ヘルペス、脳炎、性器ヘルペス、皮膚や眼の感染症を引き起こします。口唇ヘルペスは、日本人の 10 人に 1 人がかかるほどですし、脳炎は深刻な症状をもたらします。

私たちは、これらの病気の治療薬を開発できそうで、わくわくしています。上述の酵素、ミオシン軽鎖キナーゼの作用を阻害する ML-7 という薬剤を使うと、病気の予防効果がありました。単純ヘルペスウイルスは一度感染すると完治は難しいので、感染を防御できる薬が開発できれば、たいへん有用となるはずです。

まず、たくさん実験しよう

——研究で大切にしていることは？

いろいろあります。「ウイルスを使って実験しよう」がその 1 つ。単純ヘルペスウイルスはゲノムサイズが大きいので、扱いが難しく、個々のタンパク質 (遺伝子) のみを使って実験する人が多いのです。でも、実際の感染の条件が再現できるように、ウイルスゲノム全部を使うことが

大切だと思うのです。今回の私たちの実験でも、もし、gB 糖タンパク質だけ使って実験していたら、ミオシン軽鎖キナーゼを活性化するシグナルが不足し、受容体を発見できなかったかもしれません。

大切にしていることは、あと、ハードワーク。たくさん実験すること。頭で考えて思い付くアイデアなんてたかが知れています、少なくとも私の場合は。たくさん実験をして、わからないことがわかるようになる「きっかけ」を数多く作ることが重要だと思っています。

今回の私たちの研究成果も、ハードワークの成果です。実際に実験に当たってくれて、さまざまな発見や思いもよらない結果に、一緒に大喜びし、びっくありし、そして時々落胆した大学院生の有井 潤 君 (現在、ユタ大学ポスドク) のハードワークの賜物でもあるのです。

——今後の方針は？

ウイルスの感染過程には、まだまだ未知のことがいっぱいあり、それを明らかにしていきたい。そのとき、特定のタンパク質だけに対象をしぼらず、ウイルスの全体像をみることにこだわった研究を続けていきたいと考えています。

それも、数多くの実験を通して、わからないことをわかるようにしていく発見の過程が、私にはいちばんおもしろいのです。

——ありがとうございました。

聞き手は藤川良子 (サイエンスライター)。

1. Arii J. et al. *Nature*, **467**, 859-862 (2010).
2. Satoh T. et al. *Cell*, **132**, 935-944 (2008).

AUTHOR PROFILE

川口 寧

東京大学医科学研究所感染症国際研究センター 感染制御系ウイルス学分野 独立准教授。1992 年、東京大学農学部獣医学科卒業、95 年、同大学院博士課程修了。95 年、シカゴ大学がんウイルス研究所ポスドク (Bernard Roizman 研究室)。97 年、東京医科歯科大学難治疾患研究所助手、2002 年、名古屋大学医学系研究科助教授を経て、2005 年より現職。2002 年、JST さきがけ研究者。日本ウイルス学会杉浦奨励賞、日本獣医学会獣医学奨励賞受賞。ヘルペスウイルスの増殖機構・病原性機構を研究。

勝者なき米国大学院課程の格付け

US school ranking names no winners

EMMA MARRIS 2010年9月30日号 Vol. 467 (510)

www.nature.com/news/2010/100928/full/467510a.html

待望の米国大学院の評価結果が公表された。

米国の大学院で最大規模の化学科を擁するのは、カリフォルニア大学バークレー校だ。大学院生は総勢 406 人（2005 年秋現在）もいる。また、最も長期間の生態学課程を有するのは、チュレーン大学（ルイジアナ州ニューオーリンズ）の生態学・進化生物学科で、PhD 取得までに 8.5 年（中央値）を要する。遺伝学課程で、教員が発表した論文 1 編当たりの平均被引用回数が最も多いのは、マサチューセッツ工科大学（ケンブリッジ）の 10.08 回で、他校を圧倒している。

それでは、物理学課程で最も優れている大学院はどこなのだろうか。今回公表された報告書には、数多くの評価項目は示されているのだが、どの大学院がナンバーワンなのか、という点だけが明確に書かれていない。

2010 年 9 月 28 日、長い間待ち望まれていた全米アカデミーの米国内 PhD 課程に関する調査研究である「米国の研究学位課程に関するデータに基づいた評価 (A Data-Based Assessment of Research-Doctorate Programs in the United States)」の結果が公表された (go.nature.com/tqvokc 参照)。この評価報告書は、各大学の大学院課程について「明確に順位を付した格付けをしない」という点で注目に値する。

この調査研究はむしろ、十分に詳細な比較を行うことで、入学願書の提出先を学生が決めたり、大学の求人内容について求職者が判断したりする際の、助けとなることをめざしている。また、この報告書に示された知見は、各州や各大学の

管理担当者が、予算支出の判断をするうえでの目安にもなると考えられる。

今回の報告書の公表は、資金問題のために当初より遅れ、米国学術研究協議会は、評価対象となることを望む大学に対して、1 課程当たり 1 万ドル（約 80 万円）を請求せざるを得なくなった。また、調査研究の基礎データは 5 年前のもので、そのために報告書の影響力が限定的になる可能性が生じている。しかし、この報告書は、膨大な生データの宝庫であり、それらを上手に利用すれば、具体的な論点に関する解答が得られる。

また、今回の格付けは、前回の 1995 年版を含め、過去のどの格付けよりも

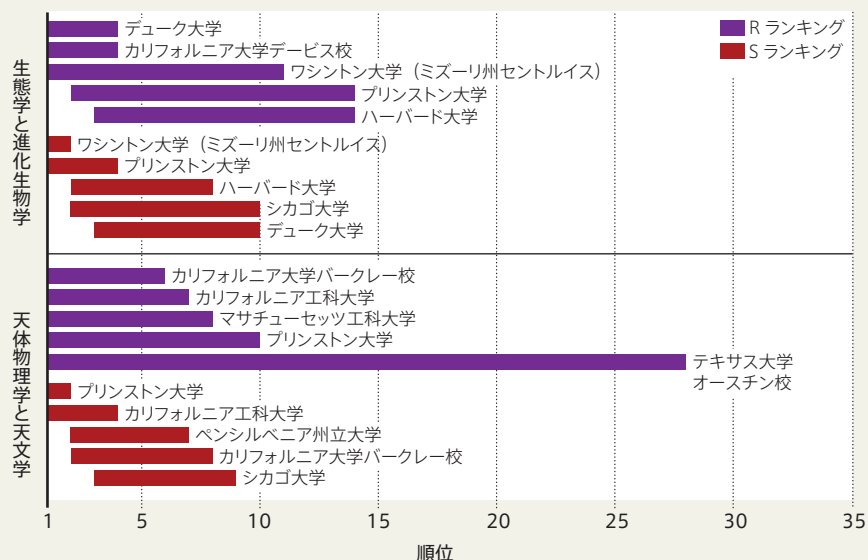
主観性が薄れている。「報告書を手早く仕上げることも、正しい方法で作成することのほうが大事だと考えました」。こう話すのは、この報告書の作成委員会の委員長を務めるプリンストン大学（ニュージャージー州）の天文学者 Jeremiah Ostriker だ。

この新しい格付けも、例えば、教員 1 人当たりの発表論文数や論文の被引用回数といった定量的尺度に基づいているが、それらの尺度を 2 つの異なる方法で重み付けして、格付けを導き出している。第一の方法（S ランキング）では、各分野の研究者に対して、さまざまな尺度の重要度の評価を依頼した。また第二の方法（R ランキング）では、専門家が各大学の大学院課程の格付けを行い、この格付けが再現されるように、さまざまな尺度の重み付けを統計解析によって求めた。「今回の格付けは、さほど評判には基づいていません。むしろ、評判を予測させると思われる要因に基づいているわけです」と Ostriker は話す。

2 つの方法で得られた格付けには、微妙な違いがみられる（下図「格付けの一例」参照）。例えば、大学院課程の規模

格付けの一例

2 つの研究分野における上位 5 課程のリスト。R ランキング（教員のアンケート調査から得られた統計モデルに基づく格付け）と S ランキング（教員が重要と考える判定基準に基づく格付け）では、結果が異なっている。不確実性を排除するため、各課程の順位は、幅をもたせて示されている。



の重要性を強調した教員は少なかったが、PhD 取得者の多い課程を上位に格付けする傾向がみられた。しかし、いずれの方法による格付けでも、意外なことに、これ以外の尺度がほとんど重視されていないのだ。「学生に対するきめ細かな指導、卒業後の学生の業績といった点が重要なのは明らかですが、教員が最も重視したのは、こうした点ではありませんでした。研究成果のほうが大事だったのです」。こう Ostriker は説明する。

それぞれの大学院課程の順位は、平均値ではなく、ある程度の幅をもたせて示しており、データに含まれる不確実性やデータの変動も表に出ている。今回の結果を総体的に評するなら、「212 大学の 5000 以上の大学院課程に関する 20 種類の変数が含まれる膨大なデータ」であって、明白な勝者は示されていないということだ。報告書はいう。「当委員会は、博士課程の正確な格付けをするという構想が誤りだと考える。各分野における『ベ

ストの大学院課程』が宣言されることを期待する読者はいるだろうが、本報告書に、そのような記述はない」。

ラトガース大学大学院（ニュージャージー州ニューブランズウィック）学務部副部長の Harvey Waterman は、今回の評価研究で調査方法に関する助言を行ったが、今後、あら探しも行われるだろうと予想する。例えば、「学際性」は、それぞれの大学院課程の担当教員のうち、何人が併任であるかで評価されている。ところが、もともと学際的な大学院課程の場合には、担当教員は、その専門分野にかかわらず、すべて専任であって、併任ではないので、当然のことながら、評点がゼロになってしまうのだ。

米国大学院審議会（ワシントン D.C.）の Debra Stewart 会長は、この報告書が 2 種類の格付けシステムに基づいており、幅をもたせて評価結果が示されていることについて、「ややこしいが非常に健全」と評している。内容の異なる格

付け結果が併記されていることで、それぞれの大学院課程の優先事項に応じて、異なった判定基準を用いるべきことが明らかになっている、と Stewart は考えるのだ。

多様性を誇る大学院課程では、学生の多様性と教員に関係する尺度を重視するだろうし、今後も小さな規模を維持していく予定の課程ならば、ほかの小規模な大学院課程だけと比較したいと考えるだろう。データが少し古くなっている点については、Stewart は「定期的な更新がなされない限りは重要性に変わらない」と話す。

Ostriker は、データが更新されることを前提に、次のように話している。「数年のうちに、最新の教員データを得て、今回と同じ評価を行いたいと考えています。非常に短期間で変わるのは教員データだけですからね」。

（翻訳：菊川 要）

NIHからエピゲノムマップが公開された

Epigenome effort makes its mark

ALLA KATSNELSON 2010 年 10 月 7 日号 Vol. 467 (646)
www.nature.com/news/2010/101006/full/467646a.html

遺伝しない後天的な DNA の変化（修飾）の位置を記した地図（エピゲノムマップ）が公表され、ヒト複合疾患への取り組みに一步近づいた。

ヒトゲノムの全塩基配列が初めて解読されたとき、ヒトを 1 人作り上げるための「レシピ」が手に入ったかのようにたびたび表現された。しかし実際には、ゲノム塩基配列は、1 つのレシピというより、あらゆるレシピを網羅した「完全なる料理本」のようなものである。そこには、遺伝子のスイッチをオンまたはオフ

にすることで、数百種類もの細胞と数えきれないほどの細胞機能を作り出すためのすべてのレシピが載っているのだ。このスイッチ切り替えは、DNA に付けられた莫大な数のエピジェネティックな目印をもとに行われている。エピジェネティックな目印とは、DNA の分子もしくはは構造的な修飾であり、その部分の

DNA 塩基配列が変化することなく、適切な遺伝子が適切な時期に確実に発現するように制御している。

そうした目印を見つけ出して地図を作製するための、米国立衛生研究所（NIH）の「エピゲノムロードマッププロジェクト」が、10 月上旬に初めての包括的データを公開した。これは、唯一の世界規模のエピゲノムプロジェクトではないが、最も大がかりなものの 1 つである。今回公開されたデータには、56 種類の細胞や組織でのエピジェネティックな変化を記した 300 以上の地図が含まれており、完全なエピゲノム情報を得るうえで重要な一歩となった。この成果により、ヒトゲノムの DNA 修飾の全容を把握し、エピジェネティクスが細胞の分化に及ぼす影響や多因子の関与する複合疾患との関連が明らかになると考えられる（28 ページ図参照）。

遺伝子の発現は、多様なエピジェネティック機構によって調節されている。例えば、ゲノム DNA が巻き付いているヒストタンパク質には、さまざまな種類の修飾がみられる。また、DNA 塩基であるシトシンのメチル化は、遺伝子のスイッチを切ると考えられている。さらに、DNアーゼ I という酵素は、近づくことができる部位の DNA を切断して遺伝子調節領域の場所に目印を付けるが、この酵素の作用を受けやすい（感受性の高い）DNA 部位がある。また、DNA 上の目印ではないが、RNA への転写は全体的なエピジェネティック状態の指標の 1 つで、特定の遺伝子が各種の細胞でどれくらいの量のタンパク質を合成するかを表す目安になる。NIH のプロジェクトは、これら 4 つの要素を測定するための標準手順を開発し、米国内の 4 つの指定研究センターで、ES 細胞、iPS 細胞、および成人と胎児の数百の一次培養組織を用いて、各種の修飾についての参照地図を作製しようとしている。

同プロジェクトは、あと 5 年間は稼

働の予定で、「疾患研究に有用と思われる細胞種を幅広く拾い上げるための地図を作製し、特定疾患の研究に資金を提供し、新規の技術を開発することをめざしています」と、国立薬物乱用研究所（米国メリーランド州ロックビル）の行動遺伝学者で、同プロジェクトの調整役の 1 人である John Satterlee は話す。

目的に応じて

一部の研究者は、エピゲノムマップ作製の「ビッグサイエンス」的な要素を警戒し、解明すべき生物学上の疑問と関係のないデータを大量に生み出してしまうのではないかと危惧している。また、参照地図が特定疾患の研究に有用だろうとする考え方に、疑問をもつ研究者もいる。アルバート・アインシュタイン医科大学（米国ニューヨーク州）の John Greally によれば、大半の研究は、性別や年齢などの因子を合わせて患者群と健康な対照群とを比較するものなので、NIH の参照地図では不十分であり、研究者は依然として、疾患をもたない人々から採取し

た細胞を用いて独自に地図を作る必要があるのだという。Greally は、NIH イニシアチブからの資金提供を受けて、発育中の胎児に影響を与えたり、腎疾患を引き起こしたりするエピゲノム因子に関する研究を行っている。

さらに、前述の 4 つの研究センターでは非常に高度な技術を駆使して参照地図を作製しているが、小規模な個人研究室の大半は、もっと簡単で費用のかからない方法でエピゲノムを決定しており、そうしたデータと NIH の参照地図を比較するのは、なかなかやっかいかもしれないと Greally は付け加える。『『地図』の情報をもつこと自体は確かに有用なのですが、今後はこれをどのように使って疾患を解明するかに焦点を当てるべきです』と彼は話す。

今までのところ、研究者の間でこのプロジェクトの存在はあまり知られていない。しかし、今回公開されたデータによって、同プロジェクトの情報がさまざまな分野の研究者に広く利用されるようになるはずだ、とソーック生物学研究所（米国カリフォルニア州ラホヤ）の Joseph Ecker はいう。

Satterlee は、参照地図作製はプロジェクトの片翼にすぎず、総予算 1 億 7000 万ドル（約 140 億円）のうち、約 5700 万ドル（約 46 億円）が充てられていると話す。残りの予算は、個別の研究室への助成金に充てられる予定で、既に 53 件が支給済みである。コロンビア大学（米国ニューヨーク州）の細胞生物学者 Benjamin Tycko も、同プロジェクトから資金を得ている 1 人で、アルツハイマー病への DNA メチル化の関与に関する研究を行っている。Tycko は、「それぞれ異なる疾患を専門とする複数の研究室に助成金を提供することで、このプロジェクトは、実際には、いわゆるビッグサイエンスというより小規模な研究室的手法を導入していることになるのです」と語っている。

（翻訳：船田晶子）

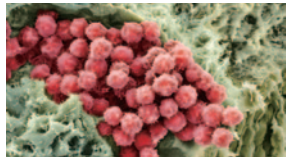
エピジェネティックな影響
NIH のエピゲノムロードマッププロジェクトで進められている、いくつかの疾患研究。

がん

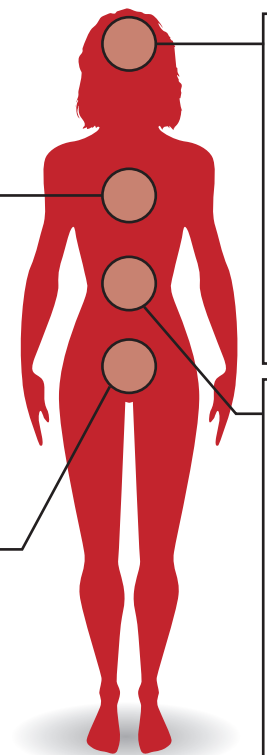


エピジェネティックな修飾による遺伝子発現の制御は腫瘍形成にかかわっている可能性があり、これによって環境要因ががんを引き起こす仕組みを説明できるかもしれない。

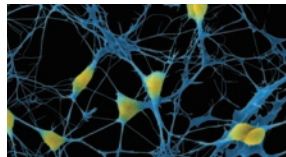
出生前の変化



出産前の胎児 DNA や母方 DNA への分子的修飾によって、出生後に 2 型糖尿病や心血管疾患にかりやすくなる可能性がある。

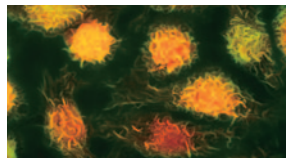


脳疾患



エピジェネティックな変化は、正常な老化でみられる認知能力低下から、アルツハイマー病や統合失調症、双極性障害、自閉症などの脳の病態に関係付けられている。

慢性疾患



全身性エリテマトーデスやぜんそく、また、肥満や糖尿病にみられるインスリン抵抗性などの複合的な慢性疾患には、環境要因がからんでいると考えられている。疾患進行に影響するようなエピジェネティックな変化を環境要因が引き起こす仕組みを突き止める研究が行われている。



欧米と異なるアジア人の科学観

A Pacific divide

DAVID CYRANOSKI

2010年9月23日号 Vol. 467 (388-389)

科学リテラシーのある一般市民を対象とした国際アンケート調査から、
科学の重大問題に関する考え方に、洋の東西で大きな違いがあることが明らかになった。

科学はしばしば「世界共通の言語」であるといわれる。それでは、科学や科学者についての一般市民の認識は、世界各国でどのくらい共通しているのだろうか？

Nature と提携関係にある *Scientific American* は、科学リテラシーのある一般市民の科学に関する認識が、世界各国

でどのように違っているかを調査した。*Scientific American* とその翻訳版を購読する世界 18 か国の 2 万 1000 人以上の科学愛好家を対象としてウェブ上でアンケート調査を行った結果、彼らは同じ科学誌を購読し、科学について多くの点で共通の認識をもっているものの、い

くつかの重大問題については異なる認識をもっているらしいことが明らかになった。

その違いは、東アジアとそれ以外の地域を比較したときに最も顕著だった。例えば、進化論による生命の形態と多様性の説明に対して「疑問を抱く理由」があるとする回答者が、日本では 35%、中国では 49% という驚くべき高率に上っていて、ほかの国々では 10% 前後であったことと著しい対照を成していた。宇宙の起源の科学的説明についても、これを信じるとした日本と中国の回答者は、ほかの国々に比べて少なかった。さらに、科学リテラシーのある中国人の 3 分の 1 近くが「科学者は政治にかかわるべきでない」と回答したが、ほとんどの国では、そのように回答した人は 10% 前後であった。

アンケートの結果は決定的なものではない。厳密な調査とよぶには程遠いし、抽出調査を行った国の分布には偏りがある。例えば、米国とヨーロッパのいくつかの国々では数千人の回答者がいたのに対して、日本の回答者は 1195 人、中国ではわずか 269 人だった。また、アンケートの回答者は読者の自己選択によって決まっているので、ある種の読者はこの調査を無視した可能性がある。さらに、各国の回答者に同じ質問をしても、その回答は文化の違いに影響されている可能性がある。そうした点を考慮しても、今回のアンケート結果は、「科学リテラシーのある一般市民は科学者と同じ意見をもっているはずだ」と信じる人々を考え込ませるものになった。

結果の多くは、科学リテラシーのある一般市民ならそう考えるだろうという期待どおりのものになっていて、世界各国のアンケート回答者の圧倒的多数が、科学者はその他の有名人よりも信用でき、科学への投資は将来の経済成長のカギとなり、動物実験は許容すべきだと考えていた。予想外だったのは、国連の気候変動に関する政府間パネル (IPCC) と流出した電子メールを巡って気象研究者の

間で大騒動があったにもかかわらず、どの国でも「この1年間で、人間の活動が地球の気候を変えていることへの確信が深まった」とした回答者の割合が高かったことだ。いくつかの問題に関する地域差は、以前から報告されていたとおりだった。例えば、ヨーロッパ人は遺伝子組み換え生物（GMO）に慎重な傾向があり、ドイツ人は原子力を段階的に廃止しがっている。

では、進化論とビッグバン宇宙論に対する日本人と中国人の懐疑的な態度は、どう説明すればよいのだろうか？ キリスト教の特殊創造説は、これらの国々では影響力をもっていない。アンケートの結果を受けて *Nature* が科学者に質問したところ、その一部は、神道や仏教などの東洋哲学体系が独自にもっている生命の起源に関する理論の影響があるのではないかと指摘した。

国立遺伝学研究所（静岡県三島市）の集団遺伝学者の斎藤成也^{さいとうなるや}は、日本人が進化論に対して懐疑的なようにみえるのは、自然の複雑さを認めているからではないかと示唆する。彼によると、ほかの問題に対する日本人の考え方の傾向も、同じ理由により説明できるという。例えば、システム生物学が日本の科学者

のキャリアパスとして比較的不人気なのは、「生命は非常に複雑であり、単純化して数式で表すことは不可能である」とする考え方が根強いからだ。工学やロボット工学に人気があるのは、人工物なら「ほとんどの部分を制御できる」と考えるからであり、GMO が忌避されるのは、「自然の極めて複雑な過程に不用意に手を出すことを不安に思っている」からだ。

科学の大衆認知に関する専門家である京都大学の加藤和人^{かとうかずと}は、東アジアの人々が科学者の進化論や宇宙論を全面的に支持することにためらいをみせるのは、まだ解明されていない点があることを、ほかの地域の回答者よりも強く認識しているためではないかと指摘する。具体的には、今回のアンケート調査で、生命の形態と多様性を進化論により説明できるとすることに「いくらかでも疑問がある」か、あるいは、「すべての証拠」が進化論を裏付けていると思うかという質問の仕方が、慎重な回答を選ばせたのではないかという。「科学リテラシーのある人の多くは、疑問の余地があると答えるでしょう」と加藤はいう。「特殊創造説を信じているわけではないのです」。

中国科学技術情報研究所（北京）の主

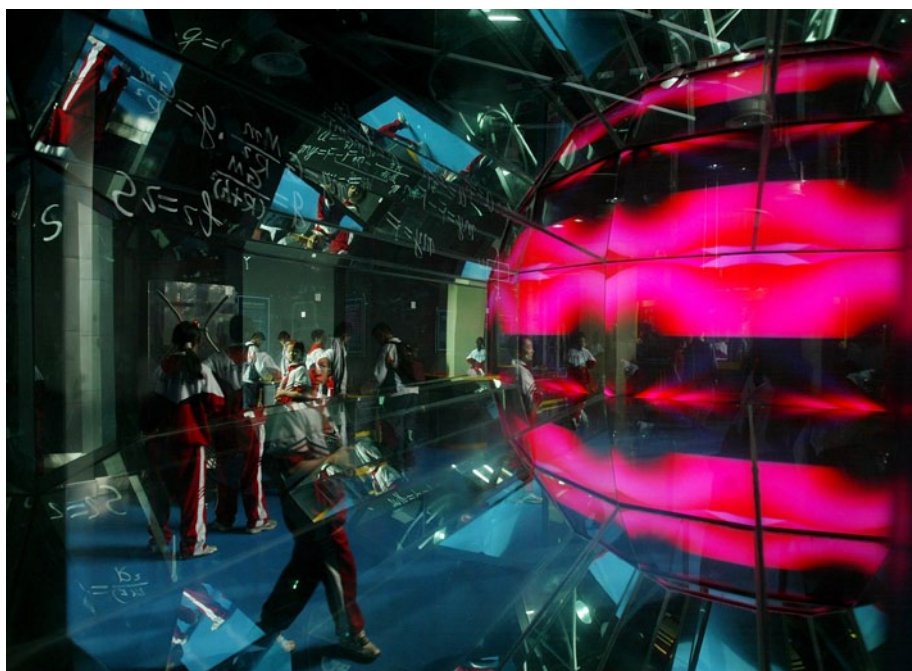
任技術者である Wu Yishan も、進化論に関する質問の仕方が、中国人の回答者に自然かつ健全な懐疑的態度を取らせたという。彼は、宇宙の起源については物理学者の中でさえ議論があることを例にとり、「科学者は、すべてを疑うことができなければなりません」という。「人はしばしば、アンケートをする側がどういう回答を望んでいるかを推測します。今回の質問では、『疑問の余地は全くない』と答えたなら、オープンな心をもっていないことになってしまいます」。

ウィスコンシン大学マディソン校（米国）のサイエンスコミュニケーションと公共政策の専門家である Dietram Scheufele は、西洋の回答者が科学と科学者への支持を明確に表現したのは、その国の政治論議のためではないかと指摘する。「特に米国では、政治問題はスポーツ競技のように敵と味方に分かれて議論されます。このような対立は、気候変動や幹細胞についての問題で顕著です」と彼はいう。「こうした二分法は、議論を台無しにするおそれがあります」。

進化論についての過去の調査結果と比較すると、米国の二分論は際立っている。*Scientific American* の読者を対象とした今回の調査では、米国人読者の 87% が「すべての証拠が進化論を裏付けている」と回答したが、一般市民を対象とする典型的な調査によると、地球上の生命の多様性を進化論で説明できると考えている米国人はわずか 26% である。

「今回のアンケート調査に回答した集団は、一般的な世論調査に回答する集団とは違うのです」と Scheufele はいう。

Wu はまた、言葉の微妙さも結果に影響を及ぼした可能性があるという。今回のアンケート調査で、科学者は「科学に関連した政策問題につき自由に発言すべき」であり、「公的な議論に参加すべき」であると回答した中国人の割合は西洋人と同じくらいであり、「科学者は、社会にとって何がよいことであるかを知っている」とする中国人の割合は西洋人より高いほどだった。それなのに、



「科学者は絶対に政治にかかわるべきではない」と回答した中国人は、29%という高い割合に上ったのだ。Wu はその理由を、中国では 1960 年代後半の文化大革命の際に「政治第一主義」の名の下にさまざまな逸脱行為が行われたため、「政治」という言葉に否定的な意味合いがあるからではないかという。それゆえ、「科学者は絶対に政治にかかわるべきではない」とは、科学者が政治にかかわると政治がだめになるという意味ではなく、政治という汚れた営為に科学者がかかわるべきではないといたいのだろうとみている。

Wu はさらに、わずか 269 人の回答者では中国全体を代表することはできないと指摘する。「人口 13 億人の国では、269 人という人数には何の意味もありません。数人の態度が変われば、アンケートの結果は大きく変わってしまいます」。また、米国の回答者集団（人口 3 億人の国の 4779 人）が年代も専門も広範にわたっていたのに対し、中国の回答者集団の年齢の中央値は 35 歳と若く、サンプルは科学者に大きく偏っている。

Scheufele は、中国人の代表というにはあまりにも少なすぎるものの、今回の回答から、興味深い手がかりが得られるという。「中国には、政策においても日常生活においても科学が影響力をもつ必要があると強く感じている、教養のある若者たちがいることがわかります。私たち外国人は、中国では政治が科学を動かしていると思っていますが、中国には、科学が政治を動かすべきだと考えている若者がいるのです」。

(翻訳：三枝小夜子)

David Cyranoski は *Nature* のアジア太平洋地域の特派員。
アンケート調査は Sara Grimme と Fiona Watt により行われた。

注：その他の項目を含めて、より広い範囲のアンケート結果が日経サイエンス 12 月号 (92 ~ 95 ページ) に掲載されているので参照されたい。

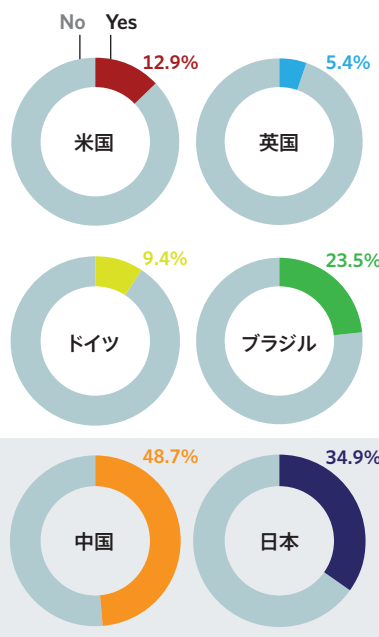
科学に関する国際世論調査

今回の調査から、科学と科学者は一般市民から深く信頼されていることが明らかになったが、一部の質問に対する中国と日本の読者の回答は、ほかの国の読者の回答とは大きく異なっていた。

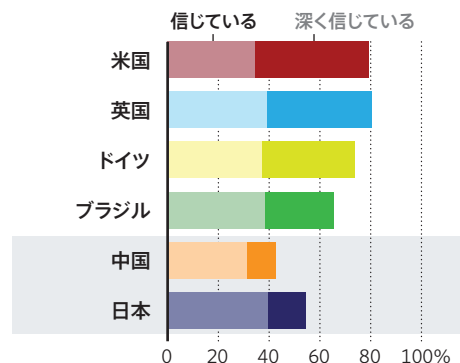
国別の回答者数

4779	388	1209	422	269	1196
米国	英国	ドイツ	ブラジル	中国	日本

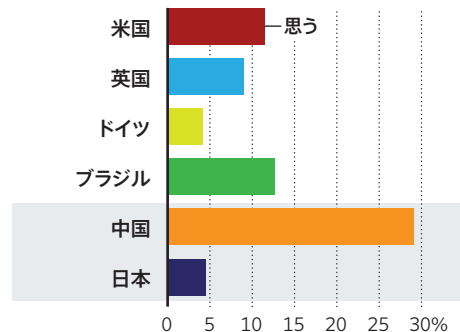
Q 自然選択を含め、進化論により生命の形態と多様性を説明できるとすることに対して、いくらかでも疑問がありますか？



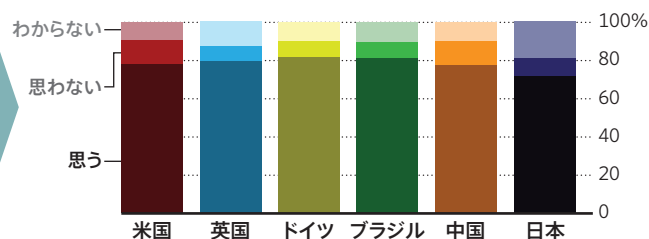
Q 宇宙の起源について科学者がいっていることを信じていますか？



Q 科学者は絶対に政治にかかわるべきではないと思いますか？

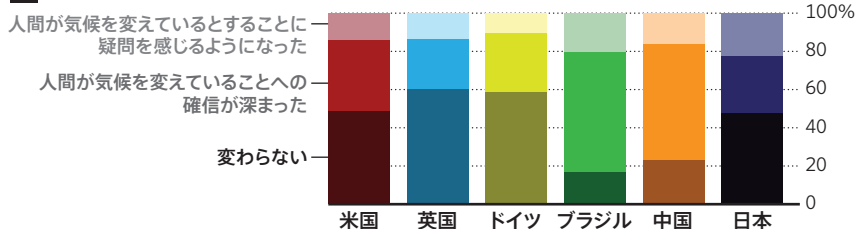


Q 人間は世界の気候を大きく変えていると思いますか？



気候変動などの議論の多いものも含め、科学の問題に対する各国の回答者の見解は、多数派の科学者の見解と基本的に同じだった。

Q 過去 1 年間で、気候変動についてのあなたの見解に何らかの変化がありましたか？



『科学に関する国際世論調査』に関するその他のグラフは scientificamerican.com/science-trust-poll を参照されたい。

ナノテクノロジー

グラフェンの細孔を利用した DNA シーケンサー

Holes with an edge

HAGAN BAYLEY 2010年9月9日号 Vol. 467 (164-165)

2010年のノーベル物理学賞は、グラフェン（原子レベルの薄さの炭素シート）の研究者に贈られた。

グラフェンの1枚1枚に電子ビームでナノ細孔を開けると、単一 DNA 分子の超高速シーケンサーが作れるかもしれない。

小さな孔（ナノ細孔）に DNA 鎖を通し、塩基の違いによる電気的な変化を検出することによって、DNA の塩基配列を読み取ることができるかもしれない。この考えは、14 年前に提案された¹。その後、米国立衛生研究所の 1000 ドルゲノムプロジェクト³に刺激され、この目標²に向かって大きな前進がみられた。最近の塩基識別の進展をみると、タンパク質ナノ細孔が優勢なようである。しかし、今回の3報の論文⁴⁻⁶によると、塩基識別には、グラフェン（原子1個または2、3個分の厚さしかない炭素シート）に開けられたナノ細孔が極めて有効かもしれない。

グラフェン⁷は、縮合炭素6員環からなる大きく広がった二次元の芳香族分子であり、特異な電气的・機械的特性をもつ物質である。Garaj ら⁴は、電子ビームを使って、1層または2層のグラフェンに直径5～23nmの孔を開けた（*Nature* 2010年9月9日号190ページ）。次に、孔の開いたグラフェンをチャンバー内に設置し、グラフェン膜のそれぞれの面が塩水溶液に触れるようにした。そして、膜の両側に置いた（塩水溶液に浸した）電極の間に電圧をかけ、塩イオンによって運ばれる電流を測定した。ナノ細孔のコンダクタンス（抵抗の逆数）は直径とともに変化しているが、これは、直径よりも厚みはるかに小さい細孔の場合、予想どおりのことである⁸。コンダクタンスの値をもとに、Garaj ら

は、グラフェンの実効絶縁厚みがわずかに0.6nm程度であることを計算で求めた。この値は、DNA 解析に用いられたほかの材料よりもはるかに小さい。例えば、一般的な窒化シリコン細孔では30nmであり⁹、 α 溶血素タンパク質細孔では10nmである¹⁰。

Garaj ら⁴は、続いて、グラフェンナノ細孔に二本鎖 DNA を通しながら、直径5nmのナノ細孔を流れる電流を測定した。電流にスパイクが観測されたが、これは電流ブロッケード（遮断）を意味しており、DNA が折りたたまれているかどうかにかかわらず DNA の通過に対応している。過去に、窒化シリコン細孔を用いた類似の実験において、同様のブロッケードが観測された¹¹。高イオン強度の塩基性溶液を用いた場合、ごく一部であるが DNA 分子がグラフェン表面に付着してしまい、DNA の移動が妨げられた。電流ブロッケードの平均振幅を用いることによって、Garaj らはもう一度グラフェン膜の実効厚みを計算し、それが約0.6nmであることを確認した。

Garaj ら⁴が用いたグラフェンは、化学気相成長法（CVD）で作製したものである。Schneider ら⁵は、グラフェンナノ細孔を通る二本鎖 DNA の移動について同様のデータを *Nano Letters* に報告している。しかし、剥離法（バルクのグラファイトからグラフェンシートをはがし取る方法）で得た膜を使っており、剥離法によるグラフェン膜は CVD 法によ

るグラフェン膜よりも欠陥が少ないと述べている。

Garaj らの研究結果とは異なり、Schneider らのデータは、細孔のコンダクタンスは細孔直径の2乗とともに変化することを示唆している。このことは、Schneider らの膜が予想より厚いことを示している。おそらく、DNA がグラフェン表面に付着することを防ぐために、グラフェンを 16-メルカプトヘキサデカン酸でコーティングしたからであろう。

グラフェンナノ細孔を通る DNA の移動に関する3番目の研究（同じく *Nano Letters* に発表された）が、Merchant ら⁶によって報告されている。この研究に使用されたのは、CVD 法で作製した厚さ3～15原子層のグラファイト（Garaj⁴らのグラファイトの厚さはわずか1、2原子層）であり、直径5～10nmの細孔をもつ。このケースでは、高いリーク電流（おそらくグラフェンのピンホール欠陥に起因する）がみられたものの、折りたたみ DNA、非折りたたみ DNA のいずれについても、DNA 移動に伴う電流ブロッケードが観測されており、他の研究^{4,5}と一致した結果が得られている。

では、DNA シーケンシング用グラフェンナノ細孔デバイスの開発は、どこまで進んでいるのだろうか。ナノ細孔シーケンシングでは、個々の塩基が細孔の認識ポイントを通るときのイオン電流の塩基特異的な変化を観測することによって、

1本鎖DNAの塩基配列が決定される^{1,2}。またグラフェン単層の利点は、ナノ細孔の厚さが塩基の大きさと同等であることと認識されている。したがって、細孔中にDNAとの接点が複数存在するのではなく、認識ポイントは1点だけとなる(図1)。ここで取り上げた研究⁴⁻⁶では、二本鎖DNAが塩基当たり約10ナノ秒の速度で移動している。これでは速すぎて、個々の塩基に起因する電流ブロックを分解できない。このため、Garajら⁴は、移動速度を遅くして2.4nmの細孔で実現する空間分解能を計算によって見積もり、0.35nmという良好な値(これは単一塩基の識別に適合する)になることを確認した。

しかし、たとえ細孔を通る一本鎖DNAの移動速度を、イオン電流記録によって個々の塩基の電流ブロックが測定可能となる²塩基当たりミリ秒まで遅くできても、グラフェンナノ細孔シーケンシングは、いくつかの問題にぶつかるであろう。例えば、グラフェンナノ細孔は、電流雑音のレベルが高い⁴⁻⁶。これは、デバイスを厚くした場合にのみ改善可能である⁶。さらに、グラフェンナノ細孔が異なる塩基を識別できるという実験的証拠がないため、移動する塩基を遅くし、一時停止させ、方向を正すために、細孔の縁を化学的に修飾する必要があるかもしれない。

別の塩基特定手段では、DNAを通る電子トンネリングという量子力学的現象を利用しており¹²、グラフェンを交差方向の電極(trans-electrode)として用いている(図1)。トンネル電流などの電気的特性の測定によって、塩基当たりマイクロ秒のスピードという並外れて速い塩基識別が可能になるかもしれない^{2,12,13}。重要なのは、イオン電流法とトンネル電流法のいずれのDNAシーケンシングも、直径1.5nm未満(これまで報告されたものよりはるかに小さい)の細孔が必要となりそうなことである(図1)。

また、グラフェンナノ細孔を用いたDNAシーケンシングには、新しい化学

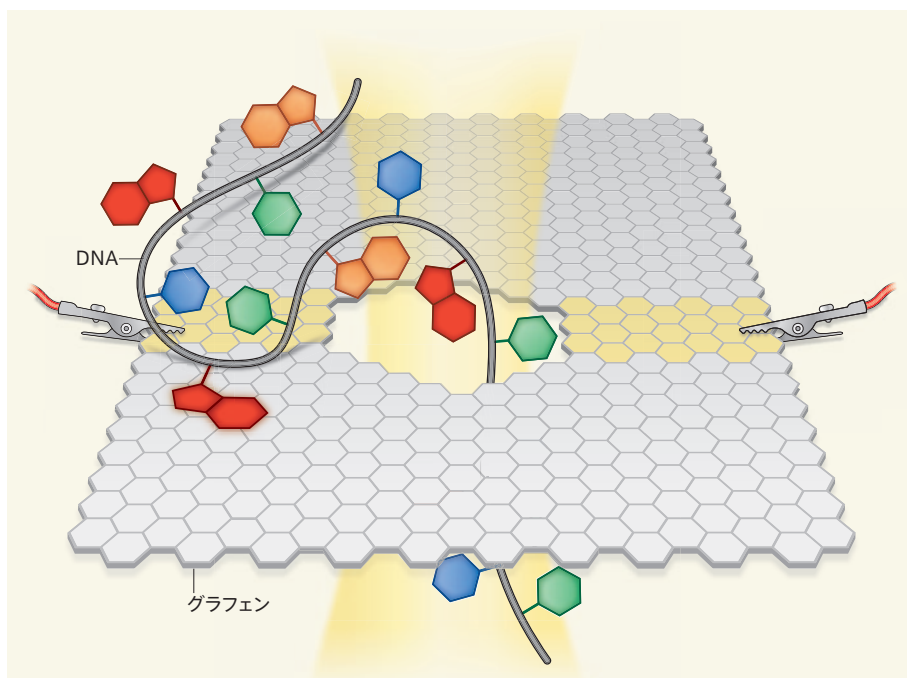


図1. 提案されているDNAシーケンシング方法。グラフェン単層に開けられたナノ細孔に一本鎖DNAを通すことによって、単一分子DNAの塩基配列を決定する魅力的な方法である。ここでは、グラフェン中の炭素原子環を六角形で表している。ナノ細孔の直径は約1.5nmであり、六角形約35個分に相当する。電位が与えられ、鎖は上から下へと移動する。4つのDNA塩基は異なる色で示されている。DNA塩基はイオンの流れを遮断するので、細孔を通るイオンの流れ(垂直方向の黄色い影)を観測し、それぞれのDNA塩基に特徴的なイオン電流変動を記録することによって、DNAの塩基配列を決定できる可能性がある。代替の方法として、グラフェンを流れ、DNAが細孔を通ると変化する横方向(交差方向)のトンネル電流(水平方向の黄色い影)の変動を測定できる可能性がある。ワニ口クリップは電氣的接続を表している。起こりうる問題として、図に示すように、一本鎖DNAがグラフェンに付着することが挙げられる。3報の論文⁴⁻⁶が、DNAがグラフェンナノ細孔を通過する際、イオン電流の変動が測定できることを報告している。ただし、現時点の測定分解能は不十分なものであり、1個1個のDNA塩基を検出して識別することはできない。

と物理学を適用する必要がある。グラフェン表面の性質、特にグラフェンナノ細孔周辺の性質は、十分には理解されていない。グラフェン表面は、しなやかに波打つ傾向にあり¹⁴、また今回の研究^{4,6}でリーク電流の原因となっている欠点も含めて、さまざまな欠点が存在している。グラフェンナノ細孔が空気や水にさらされたとき、ナノ細孔周辺にはどのような化学基が存在するのであろうか。おそらく、酸化グラフェン¹⁵と同じく、カルボン基、水酸基、エポキシ基、アルケン基、ジエン基などのいろいろな基が存在するであろう。あるいは、細孔を開ける電子ビームによって、周辺の基に構造

の再組織化が起こり、5員環などの新しい構造ができるかもしれない¹⁶。これらの周辺構造は、さらに再配列や加水分解が起こりやすく、ナノ細孔の再現性がなくなったり、不安定化したりするのだろうか。また、ナノ細孔を共有結合的に修飾して、塩基認識を容易にできるのだろうか。

重要なのは、グラフェンの表面を安定化処理して化学的に不活性化する必要があるかもしれないこと、そして表面状態にかかわらず細孔を化学的に修飾する必要があるかもしれないことである。これらはやっかいな課題となる。物理学的観点からは、超高速DNAシーケンシング

には、電氣的にアドレス可能な大型のナノ細孔アレイが必要であろう。これには、グラフェンシートの細孔¹³よりも、グラフェンリボンのナノスケールギャップ¹⁷を利用するほうが、対処しやすいかもしれない。

ナノ細孔アレイを用いた単一分子DNAシーケンシングによって、短時間でゲノム配列を決定できる可能性がある。それは、革新的といってもよい技術であり、例えば個人個人に合ったがん治

療など数多くのゲノム配列を知る必要があるとき、他の追従を許さないものとなるであろう。今回のグラフェンナノ細孔を用いた初の実験⁴⁻⁶は、ナノ細孔DNAシーケンシングの実現を阻む障害²をクリアする強力な方法を提示するものである。

(翻訳：藤野正美)

Hagan Bayley, オックスフォード大学化学科。
1. Kasianowicz, J. J., Brandin, E., Branton, D. & Deamer, D. W. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **93**, 13770-13773 (1996).

2. Branton, D. *et al. Nature Biotechnol.* **26**, 1146-1153 (2008).
3. Schloss, J. A. *Nature Biotechnol.* **26**, 1113-1115 (2008).
4. Garaj, S. *et al. Nature* **467**, 190-193 (2010).
5. Schneider, G. F. *et al. Nano Lett.* **10**, 3163-3167 (2010).
6. Merchant, C. A. *et al. Nano Lett.* **10**, 2915-2921 (2010).
7. Geim, A. K. *Science* **324**, 1530-1534 (2009).
8. Hille, B. *Ion Channels of Excitable Membranes* 3rd edn (Sinauer, 2001).
9. Kim, M. J., McNally, B., Murata, K. & Meller, A. *Nanotechnology* **18**, 205302 (2007).
10. Song, L. *et al. Science* **274**, 1859-1865 (1996).
11. Dekker, C. *Nature Nanotechnol.* **2**, 209-215 (2007).
12. Thundat, T. *Nature Nanotechnol.* **5**, 246-247 (2010).
13. Postma, H. W. C. *Nano Lett.* **10**, 420-425 (2010).
14. Meyer, J. C. *et al. Nature* **446**, 60-63 (2007).
15. Dreyer, D. R., Park, S., Bielawski, C. W. & Ruoff, R. S. *Chem. Soc. Rev.* **39**, 228-240 (2010).
16. Chuvin, A., Kaiser, U., Bichoutskaia, E., Besley, N. A. & Khlobystov, A. N. *Nature Chem.* **2**, 450-453 (2010).
17. Wang, X. & Dai, H. *Nature Chem.* **2**, 661-665 (2010).

微生物学

薬剤耐性菌は「利他行動」で仲間を守る

Altruistic defence

HYUN YOUK AND ALEXANDER VAN OUDENAARDEN

2010年9月2日号 Vol. 467 (34-35)

抗生物質の存在下で、培養細菌の中の一握りの細胞による「思いやりのある行為」が、残りの細胞集団全体の生存を助けるケースがみられた。

このような知見は、抗生物質耐性菌のまん延という公衆衛生上の大きな問題に対して、さまざまな示唆を与えてくれそうだ。

抗生物質耐性菌は、細菌集団内のわずかな細胞のDNAに、抗生物質の作用をかわす変異が起こることで生まれる。例えば、抗生物質が効くよりも早く抗生物質を排出できるような変異を獲得した細菌は、抗生物質存在下で選択的に増殖できるという強みを得る。その強みは、娘細胞さらにはその後の世代へと伝わっていく。こうして変異細菌が増殖し、やがて、耐性をもたない仲間よりも数が多くなり、最終的にはその集団を支配するようになって、抗生物質がほとんど無力化されてしまう。抗生物質耐性菌のまん延という世界的な問題は、こうして引き起こされている¹。

Leeら²は、この構図の新たな見方を*Nature* 2010年9月2日号で発表し、抗

生物質の脅威にさらされた細菌が、集団としてどう対応するかを明らかにした。この研究成果から、抗生物質の正しい処方方を編み出すには、微生物集団の増殖パターンを定量的に理解することが極めて重要であることが浮き彫りになった。

例えば、耐性を獲得した細胞が、耐性をもたない仲間が抗生物質に立ち向かうのを助けるような物質を分泌する、と仮定しよう。このような挙動は、細菌集団全体を消滅しにくくすると考えられる。細菌種全体からみれば、希少な耐性変異細胞が集団を支配するのにかかる時間を待つ必要がないうえ、集団レベルの遺伝的多様性も確保されるからだ。

Leeら²は、まさにこのような「思いやりのある行為」が、抗生物質にさらさ

れた大腸菌集団で起こっていることを明らかにした。研究チームは、わずかに現れる変異細胞が、変異が生じていない仲間の細胞を、先に述べた方法で助けることを実証したのだ。ほんの一部の変異細胞の取る行動が、集団全体の耐性につながっているわけだ。しかし彼らは、それを「遠回りな方法」で実行している。その方法は、いかにして抗生物質耐性が一見当たり障りのない無関係なプロセスから現れるのかを、明確に示している。

Leeらは「ノルフロキサシン」という抗生物質を用いて研究した。この抗生物質は、細菌の細胞分裂と増殖に重要な、DNA複製に不可欠のタンパク質を標的とする。研究では、培地に存在するノルフロキサシンの選択圧の下で、最初は遺

伝統的に同じだった大腸菌細胞の中から、時間が経つとどうやって変異細胞が生まれるのかを調べた。まず、致死量未満の中程度のノルフロキサシンを含む培地で培養したところ、細菌の増殖は妨げられた。しかし2日のうちに、集団全体が一定量の抗生物質に対する耐性を高め、集団全体の増殖速度は上昇した。

続いてノルフロキサシンの量を増やすと、集団全体の増殖は再び減速した。しかし2日のうちに、その集団はまたしても耐性を高め、増殖速度は回復した。細胞に対して次々に負荷をかけるこのような「綱引き」は10日間続けられ、最終的に細胞集団は、当初の約5倍のノルフロキサシンに耐えられるようになった。しかし、だからといって、細菌集団の中のすべての細胞が変異によって耐性を獲得したわけではない。

Leeらの研究²の新規性は、個々の細胞がノルフロキサシン耐性を高めていく過程で、その耐性をもたらすメカニズムの時間的特徴を明らかにした点にある。細胞集団から分離された耐性変異細胞のほとんどすべては、集団全体と比べて、ノルフロキサシンによる増殖障害への対抗能力が低いことがわかった。つまり、これらの細胞を単独でノルフロキサシンに曝露したときの増殖は、耐性細胞と非耐性細胞が混在する集団全体の増殖よりも遅かったのだ。ところが、1、2個とわずかではあるが、分離された耐性変異細胞の中に、集団全体よりも増殖の速いものがあった。

Leeらは、こうしたごく一部の高耐性の変異細胞が「インドール」という小さな分子を作り、集団全体の耐性を高めていることを明らかにした。このインドールは仲間の細胞の内部まで簡単に散らばり、ノルフロキサシンに対する分子レベルの防御機構の引き金を引く。注目すべきは、細胞に生じた薬剤耐性変異自体が、直接この「利他的な挙動」を引き起こしているわけではない点だ。

細菌は通常、抗生物質がないときにインドールを作り、抗生物質があると

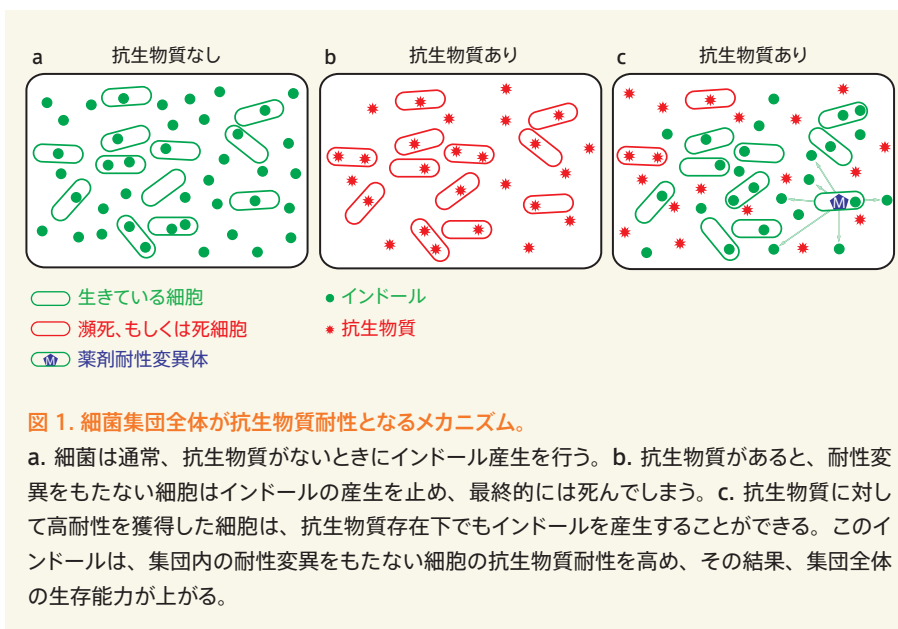


図1. 細菌集団全体が抗生物質耐性となるメカニズム。

a. 細菌は通常、抗生物質がないときにインドール産生を行う。b. 抗生物質があると、耐性変異をもたない細胞はインドールの産生を止め、最終的には死んでしまう。c. 抗生物質に対して高耐性を獲得した細胞は、抗生物質存在下でもインドールを産生することができる。このインドールは、集団内の耐性変異をもたない細胞の抗生物質耐性を高め、その結果、集団全体の生存能力が上がる。

きは作らない (図1)。研究チームが明らかにしたのは、耐性の高い変異細胞は、最初の数日間にノルフロキサシン存在下で生存するのに有利な変異を獲得しているが、それとともに、インドールの産生を継続させる変異も獲得していたことだ。この「おまけ」によって、耐性のはるかに低い仲間の細胞が抗生物質と闘うのを助けることができたようになったわけだ。耐性の高い変異細胞が、自分の耐性には必要のないインドールの産生にエネルギーを投じるのだから、彼らの行為は、同種の仲間に対する利他的行動の一形態と考えられる。Leeらは、別の抗生物質「ゲンタマイシン」についても同じ実験を行い、細菌の反応が同じであることを発見した。つまりこの現象は、薬剤特異的なものではないということだ。

この研究では、細菌集団中の個々の細胞を分離することによって、抗生物質の存在下でどのような変異がどうやって生まれるのかを追跡した。こうした研究は、抗生物質を処方するための動的な戦略を最適化するのに不可欠である。そうした情報は、例えば投与量や投与期間を変える必要性を評価するのに役立つだろう。Leeらはまた、細菌集団内部に生まれる耐性変異細胞の別々のグループ

どうしの相互作用によって、集団全体が抗生物質に対してさらに堅固な防御体制を取りうる事実も明らかにしている。集団レベルの挙動と大きく異なるたった1つの細胞の挙動は、システム生物学の重点的な研究対象となっている。今回の成果は、そうした研究の有意義な例を新たに示したことになる。

単細胞生物の集団的行動は、彼らに協調して行動する能力があることを示している。その例が、生息密度を感知して物質の産生をコントロールするクオラムセンシング³や、その機構に制御されるバイオフィルムの代謝⁴、そして今回の抗生物質耐性という現象である。今回の結果²は、抗生物質耐性と闘う研究だけでなく、「何が多細胞生物を構成しているのか」という定義を追求する研究にとっても、非常に意味のあるものといえよう。

(翻訳：小林盛方)

Hyun Youk & Alexandervan Oudenaarden、マサチューセッツ工科大学物理学科および生物学科 (米国)。

1. Martinez, J. L., Banquero, F. & Andersson, D. I. *Nature Rev. Microbiol.* **5**, 958–965 (2007).
2. Lee, H. H., Molla, M. N., Cantor, C. R. & Collins, J. J. *Nature* **467**, 82–85 (2010).
3. Bassler, B. L. & Losick, R. *Cell* **125**, 237–246 (2006).
4. O'Toole, G., Kaplan, H. B. & Kolter, R. *Annu. Rev. Microbiol.* **54**, 49–79 (2000).

トランスレーショナル・リサーチに期待する

Hope in translation

2010年9月30日号 Vol. 467 (499)

多くの生物医学研究者が、自らの着想を人間で検証し始めている。

こうした初期段階の臨床試験結果は、研究者と臨床医の協力関係がより前進する確かな予兆といえる。

Nature の読者は楽観的な思考の持ち主に違いない。毎週、病気や健康障害との戦いが続く現場からの明るいニュースが掲載されるからだ。しかし、効率よく治療できる人間の病気は今でも少ないし、先進国の高齢化によって迫り来る保健分野の負担を考えれば、正直いって、力不足の感否めない。特に不安なのは、研究者と臨床医が、生物学の基礎研究の成果を治療法に転換できていないこと、また、そうした転換があまり成功しない理由を明らかにできていないことだ。これら2つの問題は、臨床研究を発展させるうえでの障害となっている。

トランスレーショナル・リサーチ（橋渡し研究）の意義は、まさにここにある。この考え方は、ここ10年間、資金提供機関が、基礎実験室と臨床現場のギャップを埋める方法として強力に推進してきたものだ。ハイリスク・ハイリターンの研究を促し、必要なツールや手法の開発、知識格差の解消を進め、協力関係を醸成するよう大学の風土を変えるために、助成金の新設された。トランスレーショナル（橋渡し）という言葉はまさに絶妙だった。基礎研究者と臨床医では、しゃべる言葉が違う。2つのコミュニティーに共通の言語はなく、両者は分断されていたのだ。

このほど、トランスレーショナル・リサーチから驚くべき成果が得られることを示す論文が発表され（K. T. Flaherty *et al.* *N. Engl. J. Med.* 363, 809–819; 2010）、*Nature* 2010年9月30日号596ページのBollagらの論文では、その詳細が記さ

れている。

Bollagらは、メラノーマ治療薬の初期臨床試験を行い、全患者32人中、24人で腫瘍が少なくとも30%退縮し、2人については腫瘍が完全に消えたと報告している。これほどの成果は、標準的な臨床試験の初期段階ではほとんど考えられない。この差を生んだのがトランスレーショナル・リサーチというアプローチだった。

Bollagらの臨床試験のもとになったのは、メラノーマ患者の60%以上に、B-RAF タンパク質をコードする遺伝子の変異があるという2002年の発見だった。この変異が、がん細胞の増殖を促進するシグナル伝達経路の引き金となるのだ。Bollagらは、メラノーマ患者に対し、B-RAF の変異の有無を調べるスクリーニングを行い、B-RAF に変異をもつ患者に対してのみ、変異遺伝子の活性を阻害する実験薬を投与した。この方法は明確な仮説に基づいており、研究者にとっては当たり前のように聞こえるかもしれない。ところが、このような方法による臨床研究は、これまで行われてこなかったのだ。今回の研究がなければ、ほとんどの臨床試験において、個人としての患者ではなく、従来どおりの万人一律の方法、つまり集団の一員として患者を治療するやり方が踏襲されていたであろう。

がんは均一な疾患ではなく、複雑で不均一な疾患であることが基礎研究から判明している。この知識を利用して、仮説に基づいた別の臨床試験が同様の成功をおさめている。それは、分子生物学を用

いて患者を区分する、というものだ。一例が、BRCA1 または BRCA2 のいずれかの遺伝子に変異している卵巣がん患者やその他のタイプのがん患者に対して、PARP 阻害剤を投与する臨床試験だ。

研究機関や大学は病院との提携を進めており、また、基盤整備によって臨床研究者と基礎研究者とのコミュニケーション改善が奨励されている。プロテオミクス、ゲノミクス、バイオマーカー、疾患の高分解能プロフィール、幹細胞などは、いずれも病気の治療法を改善させる可能性を秘めており、いずれも基礎研究者が先駆となって研究を進めてきた。現在のトランスレーショナル・リサーチに対する助成制度では、同じ研究チームが、臨床現場でその成果が利用されるまで研究を続けられるようになっている。今後数年の間に、研究者の中で、トランスレーショナル・リサーチに関与する人の割合が増えると *Nature* は予想する。

既に *Nature* は、初期臨床試験の成功につながった前臨床研究論文を、いくつか掲載してきた。*Nature* には、臨床試験自体の結果を報告する場としての伝統はないが、こうした初期臨床試験結果が読者にとってますます大事になっていることは認識している。したがって、この分野での質の高い論文投稿を歓迎したい。生物学に基づき、患者の応答という観点で有望な臨床試験の結果は、病気との闘いにおける流れを変える助けとなるだろう。道のりは長いだろうが、楽観的な思考を持ち続けたいと思う。

（翻訳：菊川要）

反科学ティーパーティー運動に要注意

Science scorned

2010年9月9日号 Vol. 467 (133)

経済的苦境にある米国で、保守派の間に反科学的傾向が広がっている。その典型がティーパーティー運動だ。それでも、大多数の米国民は科学に対して強い信頼感を寄せている。

「この世界には、政府、大学、科学、メディアという四大欺瞞・^{ごまん}ペテンが存在しています。墮落したこれら4機関は、まさにその欺瞞性ゆえに存在しています。それはまた彼らが存在を誇示するやり口であり、彼らが繁栄している理由でもあるのです」。この過激な発言は、米国の保守派ラジオ番組の司会者 Rush Limbaugh によるものだ。こんな発言や言葉のまやかさに満ちた放送内容など一笑に付したいところだが、Limbaugh や同類の意見は、笑い事ですますことはできない。

米国の保守派は反科学的傾向を強めており、その社会的・政治的影響力が、環境問題や幹細胞研究など、数多くの方面で目に見える形で現れる可能性がある。

例えば9月初め、アラスカ州における上院中間選挙（11月2日）に向けた共和党の予備選挙が行われ、現職の Lisa Murkowski 議員が、政治的に無名の Joe Miller 候補に敗れる大波乱があった。Miller 候補は保守的な「ティーパーティー運動」の支援を受けており、Murkowski 議員が地球温暖化の現実を認めたことが、「彼女の交代が必要なことを示す最重要証拠物件だ」と断じた。

経済的に不安定な状況にある現在の米国において、保守派ポピュリズムが勢力を増している。彼らの多くは、反増税、反規制、反移民といった伝統的な保守派の主張をそのまま唱えている。しかし、ティーパーティー運動とその応援団は、エリートや専門家に対する

疑念という、米国民の昔ながらの政治的衝動をうまく利用している。この応援団には、Limbaugh をはじめ、Fox News 社のテレビ番組の司会者 Glenn Beck、ショウジョウバエの研究を公的資金の無駄遣いと非難したことで有名な Sarah Palin らが名を連ねている。

地球温暖化への過激な否定は、ティーパーティー運動が科学に対していかなる姿勢を取っているか、世間にはつきりと見せつける事件となった。例えば Limbaugh は、自分の番組で、「科学は、居場所のなくなった社会主義者と共産主義者の活動拠点となった」と語り、気候変動科学を「史上最大のペテン」とよんだ。

ティーパーティー運動はまた、ダーウィンの進化論、幹細胞研究、胚研究に対する宗教的反感という傾向を持ち合わせている。とりわけ Beck は、こうした研究を優生学思想と同一視している。

ティーパーティー運動は、科学的根拠に基づいた規制に対しても、政府が国民生活に立ち入るための言い訳ととらえており、嫌悪感を隠さない。

ブッシュ政権下における米国の科学政策は、軽視とイデオロギーという2つの面で困難に直面した。そこで「科学を正当な地位に戻す」というのがオバマ大統領の公約なのだが、「科学＝リベラル」という図式を人々に与えてしまったようで、保守派の格好の標的となっているわけだ。

米国民が直面している経済問題は、まさに現実のものである。

中国やその他の新興科学大国との競争が激化する中で、米国の将来は、教育、科学、技術に極めて大きな比重がかかっている。8月にはサルモネラ中毒のおそれから数億個の米国産鶏卵が回収された。また4月にはディープウォーター・ホライズンの原油流出事故も発生したが、こうした出来事は、米国政府に、科学に基づいた、より優れた規則を制定・実施し、国民のために行動する必要性を思い起こさせるよい機会となった。

しかし、米国民は、企業や企業が後援するシンクタンクや偽装団体が画策した反科学・反規制の行動計画を、単純に受け入れてしまうことが多いのもまた現実なのだ。

現在のような敵意に満ちた政治的雰囲気の中では、科学の擁護者が取りうる対処法は限られている。しかし心強いことに、世論調査では、圧倒的多数の米国民が、科学は世のため人のためになる力だと引き続き考えており、現在の科学に対する不平不満は一時的なものと考えられる。科学者は、教育者として、若い人々に合理主義、学問、批判的思考を奨励し、また、メディアや政治家とも手を携えて、現代の喫緊の科学的課題を明らかにするために一層の努力を払うべきである。■

（翻訳：菊川要）



Volume 467
Number 7316
2010年10月7日号



銀河の中の大騒動：円盤銀河では昔も今も星形成が乱流を駆動している

GALACTIC TURMOIL: Star formation drives turbulence in disk galaxies ancient and modern

我々は円盤銀河に住んでいるが、それにもかかわらず、円盤銀河がどうやって形成されたのかはほとんどわかっていない。初期宇宙の円盤銀河は、その多くが意外なほど大きく、天の川銀河やほかの現在の渦巻銀河よりはるかに乱流的である。今回、現在まで残存してきた「乱流円盤」銀河の例が発見され、議論にまた1つ新たな要素が加わった。それらの性質は、宇宙のいかなる時代においても、星形成が銀河円盤の乱流の強力な駆動要因であることを示唆している。



要性については広く議論されている。動物実験では、精製したトキシン A だけで *C. difficile* 感染にみられるほとんどの病態を誘導できることが示されているが、最近の論文 (go.nature.com/oh6un5) では、もう1つの毒素であるトキシン B が病気の症状の主要な原因であることが示唆されている。今回、トキシン A もしくはトキシン B のどちらか一方だけを産生する *C. difficile* 株に加えて、どちらの毒素も産生しない二重変異株を初めて使った研究により、発病には両方の毒素が重要であり、診断や治療の際には両方の毒素を考慮する必要があることが実証された。

生態：気候温暖化が動物の代謝に及ぼす影響

Metabolic impacts of climate warming

北半球の中緯度から高緯度の地域は気候温暖化が最も急速であるため、これらの地域に生息する生物は気候温暖化の影響を最も強く受ける可能性があると言われてきた。しかし今回、M Dillon たちは、熱帯に生息する外温動物、すなわち周辺環境との熱交換によって体温を調節する動物に関する予測に注目した。その結果、気温上昇が動物生理に及ぼす影響は一次的ではなく、温暖化によって熱帯の外温動物の代謝速度に生じると推定される変化の大きさは、温帯の気候で観察される変化と同程度で、北極地方での変化の大きさを大きく上回ることがわかった。熱帯は一次生産力の重要な牽引役であり、世界の生物多様性に占める割合が大きいため、今回の研究は、地域的にも全地球的にも極めて大きな意味をもつと考えられる。



気候：太陽光スペクトルの変動と気候

Solar spectrum variation and climate

これまでの知識から、11年の太陽活動周期の放射強制力と関連する気候への影響は同期していると考えられている。しかし、最近の人工衛星での観測データから、少なくとも最新の第23太陽活動周期の衰退期には、太陽変動に意外なスペクトル成分が存在するようにみえることがわかった。すなわち、紫外線放射が大きく減少している一方で、可視光放射が増加しているのである。J Haigh たちは今回、これらのスペクトル変動を放射光化学モデルに組み込み、この変動によってオゾンが高度45キロメートルより下では減少し、それより上では増加することを明らかにしている。このようなオゾン変化の結果として、地表の気候に対する放射強制力は太陽活動と同期しなくなる。この知見は、異例だった可能性がある太陽活動周期から得られた短期間の記録に基づいているものの、気候に対する太陽強制力についての認識を大きく修正したほうがよいことを示唆している。

神経：視細胞ネットワークの地図を作製

Photoreceptors networks mapped

色覚は網膜を起点とし、霊長類ではその第一段階の情報処理が、それぞれ視覚空間を一律にサンプリングする錐体視細胞の網目と神経節細胞の網目の重なりの中で行われる。色の感知は、異なる種類の錐体からの信号を比較して行われるが、これらの入力を神経節細胞がどのように組み合わせて網膜の出力としているのかは、長年にわたって議論が続いてきた。今回 Field たちは、大規模な多電極アレイと高精細点状視覚刺激を用い、神経節細胞の特定の集団について、1個の錐体からの入力の位置と種類を記録した。その結果、これまでにない分解能と規模の入出力地図が完成した。

医学：感染性下痢の原因毒素を見直す

***Clostridium difficile* toxins revisited**

Clostridium difficile は、ヨーロッパや北米の病院で院内感染性の下痢の最も一般的な原因菌であり、2種類の毒素を産生する。これらの毒素の相対的な重



Volume 467
Number 7317
2010 年 10 月 14 日号



権力につながる道：言語の進化系統樹を使ってオーストロネシア社会における政治の複雑性の変化をたどる

PATHWAYS TO POWER: Using evolutionary trees of language to trace changing political complexity in Austronesian societies

人類の歴史の中で、政治組織の進化が、複雑性の連続的で逐次的な拡大によって進行したのか、それとも非連続的で大幅な飛躍によって生じたのかについては、さまざまな意見がある。また、社会の複雑性がどのように縮小していくのかについても明確にされていない。今回、オーストロネシア社会で使われている言語に基づく系統発生学的分析を用いて、複雑な社会の発達と衰退に関する相いれないモデルの検証が行われた。今回の知見から、複雑性の拡大が逐次的に起こる傾向があるのに対し、衰退には急激なものがありうることが明らかになった。同時に、文化的進化には規則性があり、それはコンピューターを用いた系統発生学的方法で検出可能であることも示唆された。

宇宙：彗星が彗星でなくなるとき

When is a comet not a comet?

特異な天体 P/2010 A2 は、2010 年 1 月に発見された際には尾をもっていたことから、彗星であるとされた。しかし、この天体の「頭がない」ように見える外観と主小惑星帯の内側にある軌道は全く彗星のものらしくなく、尾をもった小惑星ではないかと考えさせるようなものだった。本号の 2 編の論文は、P/2010 A2 は小惑星であって、最近確認された主小惑星帯彗星の仲間ではないことを立証している。Snodgrass たちは 3 月に、ロゼッタ探査機により P/2010 A2 を観測した。この探査機は、7 月 10 日の小惑星ルテチアへのフライバイに向け主小惑星帯に接近しつつあった。彼らは、P/2010 A2 の尾が小

惑星の衝突の残骸からできていると結論し、また、計算機モデルにより、問題となっている衝突が 2009 年 2 月に起きたことを突き止めた。Jewitt たちは、ハッブル宇宙望遠鏡を使って 2010 年 1 月から 5 月にかけて P/2010 A2 の高分解能画像を撮影し、この天体の「核」の直径は 120 メートルで、ミリメートルサイズの塵粒子が尾を形成していると推測している。彼らもまた、衝突は 2009 年初頭に起こったことを突き止めている。

環境：固相のエアロゾル

A phased approach to aerosols

二次有機エアロゾル (SOA) 粒子は、光を散乱したり、雲凝結核となったりするため、地球の放射収支に影響を与える。SOA 粒子は普通、液体であると仮定されることが多いが、今回の実験研究によって、SOA 粒子は周囲条件下でアモルファス（おそらくガラス状の）固体状態となりうることが示された。この発見は、植物生育室内で栽培された苗木から生じる揮発性有機化合物の酸化生成物から形成された SOA 粒子のモニタリングと、大気の酸化事象の後に森林で行われた測定に基づいており、大気

中の二次有機エアロゾルの形成と、変質の反応速度論的性質および熱力学的性質についての従来の考え方に、異議を唱えるものとなっている。

地球：水を含まない沈み込みについて考察する

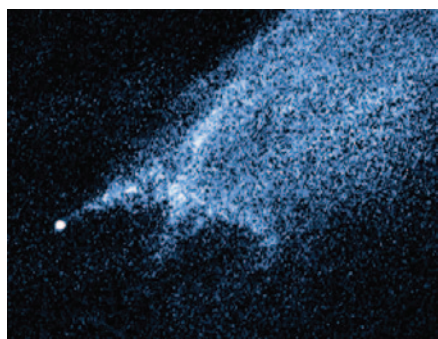
A case for dry subduction

水が地球表面からマントル下部まで移動し、再び表面へ戻ってくる深部水循環の性質については議論が続いている。沈み込み帯で地表から運ばれた水のうち、海溝や火山などで直接放出されて地表に戻ってくるのはほんの一部だけで、水のかなりの部分はマントル遷移層（410 ～ 660 キロメートル）やさらに下部のマントルに運ばれていると広く考えられている。この「水を含むリソスフェア」モデルを検証するために H Green II たちは、地震活動のパターンと、実験的証拠と地震学的証拠から決定された関連している可能性のある含水鉱物相の安定性を比較した。そしてこの証拠から、400 キロメートル以深では水を含まないリソスフェアが必要となると結論しており、沈み込むスラブは大量の水がマントル深部へ入る水路とはならないことを示唆している。

医学：消化器がんの発症因子 ETV1

ETV1 a factor in gastrointestinal cancer

消化管間質腫瘍 (GIST) は、消化管の筋組織中に存在して電気的な律動的運動を生じるカハール介在細胞から発生する。今回 Chi たちは、転写因子 ETV1 がこれらの細胞の発生に必要であり、また腫瘍の発生も促進させることを示している。GIST で変異によって活性化されていることの多い KIT 遺伝子は、ETV1 の安定化促進などにより、ETV1 と協同してカハール介在細胞を形質転換させる。ETV1 は、すべての GIST に多量に存在していて診断用のバイオマーカー候補になると思われる。また、ETV1 遮断薬は、薬剤耐性をもつ GIST に対して効力を発揮するかもしれない。





Volume 467
Number 7318
2010年10月21日号



特集：サイエンス・アンド・ザ・シティ

都市はどのようにして科学を育て、科学はどのようにしたら都市を維持できるのか

SCIENCE AND THE CITY: How cities nurture research - and how research can sustain them

世界人口の半数以上は都市に住んでいる。人々がこうして密集している状態は、公害や貧困、病気、犯罪など、世界が抱える重大な問題の温床となっている。しかし時として、人類は都市で最良の状態となることもある。本特集の記事で述べられているように、科学は都市に重要であり、都市もまた科学に重要である。都市には世界トップクラスの大学の大半が存在し、科学は主要な都市問題のいくつかを解決するのに役立っている。また、都市が今後、持続可能な形で成長していこうとするなら、多くの分野の科学者たちの多大な貢献が不可欠となるだろう。

生理：父親の食事習慣と娘のグルコース不耐性との関係

Paternal diet linked to glucose intolerance in daughter

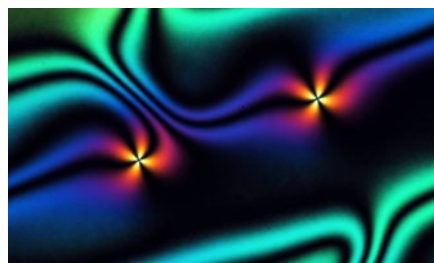
子どものときの肥満と糖尿病は、親のどちらかがその症状をもつことと密接な関係があるが、父親がどのようにかわってくるのかの仕組みは明らかになっていない。ラットでの研究で、正常な雌と、高脂肪食を与えられて肥満およびグルコース不耐性になった雄との交配から産まれた雌仔は、インスリン分泌と膵臓機能の障害によるグルコース不耐性を示すことがわかった。これは動物種で初めて、父親の食餌習慣が仔での糖尿病発症につながることを明らかにした報告である。この研究は、環境によって誘導された父親の因子が、仔の代謝性疾患や肥満と糖尿病の増加に果たす、今まで知られていなかった役割をはっきり示している。

化学：液晶電気泳動

Liquid crystal electrophoresis

電気泳動は、均一電場中の流体に対する分散荷電粒子の相対的な運動である。電気泳動は分離手段として広く使われており、直流電場では担体として等方性流体である水を用いることが多い。今回 Lavrentovich たちが報告している液晶電気泳動はこの技術の変種であり、新

しいディスプレイ技術や新規な分離法、マイクロモーターなどの分野に応用できる可能性がある。この新方法は、担体として異方性流体であるネマチック液晶を用いており、交流電場、直流電場の両方で、完全に対称な荷電粒子と非荷電粒子のどちらも移動させることができる。用途によっては、交流電場が利用できれば実用面での利点があるだろう。この新型電気泳動では、粒子自体に対する影響ではなく、粒子周囲の液晶配向の歪みによって動きが引き起こされる。



宇宙：赤方偏移 $z \approx 8.6$ にある銀河

A galaxy at redshift $z \approx 8.6$

これまでに分光学的に確認され、宇宙の最も遠くにある銀河として知られていたのは、赤方偏移 $z \approx 8.2$ と $z \approx 6.96$ のものだった。Lehnert たちは今回、UDFy-38135539 が赤方偏移 $z = 8.6$ にあることを報告している。この銀河は当初、ハッブル超深宇宙探査の深広視野カメラ3による観測で、 $z \approx 8.6$ にある候補天体として見つかり、地上からの

観測によりライマン α 光子を放射していることがわかって、その位置が確認された。輝線の脱出に必要な体積をイオン化する十分な光子が、この単一光源だけから供給されている可能性は小さく、おそらくはすぐ近傍のほかの暗い銀河が大きく寄与しているはずである。

地球：PETM 事件を引き起こした2つの温暖化

Two sources of warming for PETM event

暁新世始 / 新世境界温暖極大期 (Palaeocene-Eocene thermal maximum; PETM) は約 5580 万年前に起きた急激な温暖化として知られており、炭素同位体比偏位に記録されているように、おそらくメタンハイドレートからの大量の温室効果ガス放出が原因だと考えられている。今回、米国ワイオミング州で得られた哺乳類の歯の同位体分析により、同位体比偏位に先立って、大陸では約 5°C の気温上昇が起こったことが明らかにされた。したがって PETM は、それぞれ異なる過程により生じた、少なくとも2つの独立した温暖化事象により引き起こされたことが示唆される。

気候：水供給の問題

A question of water supply

蒸発散を含めた全球の水循環の加速は、地球システムに対する地球温暖化の影響の重要な指標と見なされている。蒸発散とは、蒸発と植物の蒸散の影響が組み合わされて起こる、地球の陸面から大気への水の移動である。M Jung たちは、データ駆動型の機械学習法と一連の過程ベースのモデルを用いて、1982 年から 1997 年にかけては、蒸発散量が地球温暖化につれて着々と増加したことを示している。しかし 1998 年以降は増加傾向は頭打ちとなった。これはおそらく、南半球、特にアフリカとオーストラリアの土壌の水分供給に限界が生じた結果である。この変化が、自然の気候変動の一部なのか、陸の蒸発散量が長期にわたって供給制限されるようになる気候変化の兆候なのかはわかっていない。



Volume 467
Number 7319
2010年10月28日号



Podcast



Video



1000 ゲノムプロジェクト 集団規模での遺伝子塩基配列解読のための方法を検討 した予備段階の成果

**A THOUSAND GENOMES: Pilot studies prepare the way
for population-scale gene sequencing**

ヒトの遺伝的多様性についての公共の大規模カタログ作製をめざしている国際共同研究、1000 ゲノムプロジェクトの最初の成果が報告されている。実際には、このプロジェクトで、世界の 20 集団約 2000 人の匿名のヒトについて塩基配列解読が行われることになっている。今回の最初の論文では、ハイスループット技術を用いる全ゲノム塩基配列解読のための 3 つの戦略が検討されており、このプロジェクトの予備段階の成果が示されている。ここで報告されているのは、3 つの集団の 179 人についての低カバー率の全ゲノム塩基配列、母・父・子という 3 人組の 2 セットについての高カバー率の塩基配列、および 7 つの集団からの 697 人についてのエキソンを標的とした塩基配列である。

脳：視覚型の脳-マシンインターフェース A visual brain-machine interface

脳は、外界から入るたくさんの感覚刺激のうち少数の刺激に集中して情報処理するために、刺激を常時選別しなければならない。内側側頭葉 (MTL) のニューロンは、特定の視覚対象に選択的に応答し、その活動は認知機能によって調節されることが知られている。今回 Cerf たちは、新しい脳-マシンインターフェースを構築した。これを用いて、神経外科処置を受けた被験者に 2 つの像が重なったコンピューター画像を見せ、一方の像をフェードインもしくはフェードアウトするよう求めたところ、被験者はすぐに、異なる大脳半球や小領域にある MTL ニューロンの活動を調節することを学習し、特定のニューロンの発火率を上げると同時にほかのニューロンの発火率を下げて、合成画像の内容を制御できるようになった。この研究結果は、ヒトが自分の脳の内部にある視覚ニューロンの活動を調節できること、またそうした活動を解読してデバイスを制御できることの直接的な証拠となる。このようなインターフェースデバイスによって、例えば閉じ込め症候群や運動ニューロン疾患など、さまざまな神経障害を抱える

患者のコミュニケーションを補助することが、将来可能になると期待される。

細胞：細胞誘導に働くプレキシシグナル伝達

Plexin signalling in cell guidance

セマフォリン-プレキシシグナル伝達系は細胞誘導の重要な合図となり、さまざまな組織の発生と恒常性維持に中心的な役割を担っている。この伝達系が神経接続、がん、細胞移動、免疫応答などに果たす役割については、広く研究が行われている。今回 2 つの研究グループが、セマフォリン-プレキシシグナル系の主要成分の結晶構造を解明し、それに基づいてプレキシシグナル伝達の機構を考察している。Janssen たちは、セマフォリンの細胞外ドメインと複合体を形成した、プレキシシン B1 および A2 のセマフォリン結合領域の結晶構造を決定した。^{のびてるかず} 木晃和 (大阪大学) たちは、セマフォリン 6A とプレキシシン A2 細胞外ドメインが作る複合体の結晶構造を明らかにしている。

進化：アフリカ類人猿の初期の多様性 Early diversity in African anthropoids

ヒトとヒトに近い高等霊長類を含む類

人猿の起源は、謎に包まれている。アフリカの始新世層で化石が見つかり、類人猿がこの大陸起源であることが示唆されているが、アジアでも化石が複数発見されたことで異論も出てきている。しかし今回、リビアの始新世層でそれぞれ別々の分類群に属する複数種の類人猿霊長類が発見され、この論争の風向きは変わった。この発見により、類人猿は初期に、おそらくはアジアで分岐し、ほかのいくつかの哺乳類と共にアフリカに移動してきた可能性が示唆される。



MARKA KLINGER (CARNEGIE MUSEUM OF NATURAL HISTORY)

||||||| ネイチャーからのご案内 |||||

naturevideo

Web: www.youtube.com/NatureVideoChannel

モバイル:



携帯電話で Nature Video チャンネルの科学関連動画を見ることができます。(一部の機種を除く)

naturepodcast

Web: www.nature.com/nature/podcast

モバイル:



Nature に掲載された研究成果をポッドキャストでチェックできます。(英語; iPhone™のみ対応)

10 月下旬、名古屋で生物多様性条約第 10 回締約国会議が開かれました。会議では、脊椎動物の 20% が絶滅の危機に瀕していることが改めて報告されました。一方、植物は総数がつかめず、どれくらいの割合が絶滅のおそれがあるのかよくわかっていませんでした。今回、世界初の地球規模の分析が行われ、38 万種の植物のうち 20% 以上が危険な状態にあり、特にソテツ類は 75% が絶滅危惧種であるとの発表がありました。植物は、私たちの想像以上に危険な状態にあるのかもしれないね。



ISTOCKPHOTO

nature news

語数：536 words 分野：環境学・生態学・生物多様性

Published online 28 September 2010 | Nature | doi:10.1038/news.2010.499

<http://www.nature.com/news/2010/100928/full/news.2010.499.html>

Threats to the world's plants assessed

Habitat loss is the biggest hazard to plant biodiversity.

Natasha Gilbert

- More than 20% of the world's 380,000 plant species are **at risk of** extinction, making plants more threatened than birds, according to the first global analysis of the status of plant biodiversity.
- The risk assessment, called the Sampled **Red List Index** for Plants, was **conducted** by plant scientists at the Royal Botanic Gardens, Kew, UK, and is published today. It finds that **gymnosperms** — or seed-bearing plants — including **conifers** and **cycads**, are the most at-risk group of plants, with more than 75% of cycad species currently threatened with extinction.
- Habitat loss, resulting from the **conversion** of natural habitats for agriculture and **livestock grazing**, is the biggest threat to plants' survival, the study concludes.
- Existing indicators of biodiversity — such as the Red List of Threatened Species of the **International Union for Conservation of Nature (IUCN)** — focus mainly on vertebrates, and have assessed only a handful of plants, says Eimear Nic Lughadha, a plant scientist at Kew and a lead researcher on the plant risk assessment.
- "By **bringing** plants **into the equation** we hope to **get a** broader and more **accurate picture** of what is happening to the world's biodiversity," says Nic Lughadha.
- Stephen Harris, **curator** of the Oxford University Herbaria, UK, agrees that conservation efforts have been one-sided. "When people think about what needs conserving, they rarely think about plants," he says.
- Harris says he is not surprised that the study found cycads to be the most endangered group. "They have a very small population size, and very limited **distribution**."
- Species head count**
- The researchers assessed a total of 7,000 plants species — including **bryophytes** (**mosses** and **liverworts**) and **legumes** (**peas** and **beans**) — from the five major plant groups. Examining more than 1 million **herbarium specimens**, the researchers looked at when and where a specimen was picked. This information was then **fed into** a computer-based **geographical** information system to produce a map of the different locations, or distribution, of the species worldwide, and also the size of the area or areas that they cover. Other information, such as habitat loss, collected from **scientific literature** and expert **consultation**, was also fed into the system to show whether the areas inhabited by particular species are under threat.
- The study uses IUCN **criteria** to classify species as threatened. For example, a species is classified as 'critically endangered' if the area that it occupies covers less than 10 square kilometres and if the species is known to exist at only a single location.
- The researchers plan to reassess the threat status to plants in 2015. Using the data published today as a baseline, they will be able to **gauge** whether the risk to plants is growing with time.
- Stephen Hopper, director of the Royal Botanic Gardens, says that the assessment will help countries to measure progress towards new targets to halt loss of the world's biodiversity by 2020, which **are due to** be agreed when the countries that are **signatories** to the Convention on Biological Diversity meet in Nagoya, Japan, in October.
- "The 2020 biodiversity target that will be discussed in Nagoya is ambitious, but in a time of increasing loss of biodiversity it is entirely appropriate to scale up our efforts," says Hooper. "We need a renewed **commitment** to care for biodiversity."

TOPICS

生物多様性 (Biodiversity)

生物多様性とは、多様な生物が生息しているのみならず、さまざまな生態系(生息環境)の存在や、同生物種間でも遺伝子に多様性(個体差)があることをいう。1992年の国連地球サミットで「生物の多様性に関する条約(生物多様性条約)」が採択され、生物多様性の保全、自然資源の持続可能な利用、遺伝資源から得られる利益の公正かつ公平な配分を締約国に求めている。現在、193の国と地域が批准しているが、米国は批准していない。

10月18～29日には、名古屋市で「生物多様性条約第10回締約国会議(COP10)」が開かれ、COP6で採択された「2010年までに生物多様性の損失速度を顕著に減少させる」という目標の達成状況を評価し、ポスト2010年目標が議論された。会議では、遺伝資源を巡って先進国と途上国が激しく対立したが、植民地時代の利益の還元については言及しないことで双方が合意。名古屋議定書が採択され、遺伝資源の利用から得られる利益の原産国への公平な還



名古屋議定書の採択に漕ぎ着け、アフメド・ジョグラーフ国連生物多様性条約事務局長と握手を交わす議長の松本龍環境相。

写真:ロイター/アフロ

元、遺伝資源の違法な入手を防ぐ監視機関の設置、途上国への資金支援などが定められた。また、「2020年までに陸域の17%、海域の10%を保護する」とした、愛知ターゲットも採択された。

SCIENCE KEY WORDS

リード **habitat:** 生息地 8 段落目 **inhabit** は動詞。

2. **Red List Index:** レッドリスト指数

レッドリストは、絶滅のおそれのある動植物のリストで、各国の政府機関、学術機関などが作成している。なかでも IUCN のレッドリストは、地球規模の最も包括的なものである。レッドリスト指数とは、種の絶滅の危険性を数値化したもので、1.0 は低危険種、0 は絶滅してしまったことを意味する。

2. **gymnosperm:** 裸子植物 (すぐ後の seed-bearing plants も同義)

胚珠(受精後に種子になる部分)がむき出しになっている種子植物。ソテツ類やイチョウ類、マツなどの針葉樹類などが含まれる。

2. **conifer:** 針葉樹

一般に、針状の葉をもつ常緑の裸子植物だが、カラマツやヌマスギなどの落葉樹、広い葉をもつナギ類なども含まれる。温帯北部から冷帯、あるいは亜高山帯を中心に約 500 種が分布している。

2. **cycad:** ソテツ

ソテツ類(cycadophytes)は、熱帯から亜熱帯に分布する裸子植物で、約 300 種ある。古生代に出現し、三畳紀に大繁栄した。幹は太く、先端に輪状の羽状複葉(線状の小葉)を付

ける。雌雄異株で、イチョウ類と同様、精子をもつ。

8. **bryophyte:** コケ植物(類)

藓苔類ともいわれる、維管束をもたない植物。胞子体と配偶体の生活環をもち、植物体は通常、配偶体。茎と葉をもつ茎葉体と、明瞭な茎がなく平たい葉が広がったような形状の葉状体に大別される。森林や水辺など湿った環境に生息し、淡水中に生息するものもある。

8. **moss:** 藓類

茎葉体を形成し、茎には中心束とよばれる水を通す管、葉には中肋とよばれる主脈をもつコケ植物。植物体の先端に胞子のうを形成する。スギゴケやミズゴケが含まれ、世界には約 2 万種、日本には約 1500 種が生息する。

8. **liverwort:** 苔類

茎葉体、または葉状体を形成するコケ植物。藓類と異なり、茎葉体でも中心束や中肋はみられない。葉に表裏の区別があり、裂けていることが多い。ゼニゴケやウロコゴケが含まれ、世界に約 8500 種、日本には 500 ~ 700 種いるといわれている。

8. **legume:** マメ科植物8. **herbarium specimen:** 押し葉標本

植物の標準的な標本。新聞紙などに挟んで圧をかけ、乾燥させて作製する。

WORDS AND PHRASES

リード **(a/the) hazard to ~:** 「~を害するおそれのあるもの」

1. **at risk of:** 「~の危険性がある」2. **conduct:** 「~を実施する」3. **conversion:** 「転換」3. **livestock:** 「家畜」3. **grazing:** 「放牧」4. **International Union for Conservation of Nature (IUCN):** 「国際自然保護連合」

国家、政府機関、非政府機関による国際的な自然保護機関。1948 年創立。

5. **bring ~ into the equation:** 「~を方程式に組み入れる」5. **get an accurate picture of ~:** 「~を正確に把握する」6. **curator:** 「学芸員」7. **distribution:** 「分布」8. **pea:** 「エンドウマメ」8. **feed into ~:** 「~に入力する」8. **geographical:** 「地理的な」、「地理学上の」8. **scientific literature:** 「科学文献」8. **consultation:** 「相談」、「問い合わせ」9. **criteria:** 「基準」10. **gauge:** 「測定する」、「評価する」11. **be due to ~:** 「~することになっている」11. **signatory:** 「締約国」12. **commitment:** 「コミットメント」、「公約」

参考訳

植物の絶滅の危険性を評価

植物の生物多様性にとって、最大の危険要素は生息地の減少である。

ナターシャ・ギルバート



ISTOCKPHOTO

38万種の植物の20%以上が、絶滅の危機に瀕している。

1. 植物の生物多様性の状況に関する初の世界的規模の分析によると、38万種の植物のうち20%以上に絶滅のおそれがあり、鳥類よりも植物の方が深刻な脅威にさらされているという。
2. 「植物に関するサンプルレッドリスト指数」とよばれる今回のリスク評価は、英国王立キュー植物園の植物科学者によって実施され、その結果が本日公表された。これにより、裸子植物（針葉樹やソテツ類を含む）が最も危機的な状況にあり、なかでもソテツ類の75%超が、現在、絶滅の危機に瀕していることが明らかになった。
3. 今回の調査は、植物の生存に対する最大の脅威は、植物が自生していた土地が農地や放牧地にされ、生息地が失われることであると結論付けている。
4. 英国王立キュー植物園の植物科学者で、今回のリスク評価のリーダーを務めた Eimear Nic Lughadha は、生物多様性の指標としては、これまでも国際自然保護連合（IUCN）の「絶滅危惧種に関するレッドリスト」などが公表されているが、これらは脊椎動物に重点を置いており、植物についてはわずかな評価しか行っていないと指摘する。
5. 「植物も考慮することで、世界の生物多様性の現状を、より広範かつ正確に把握したいのです」と Nic Lughadha はいう。
6. オックスフォード大学植物標本室（英国）の Stephen Harris 学芸員は、これまでの生物保全活動が一面的だったという見方に賛成で、「人々がどの生物を保全する必要があるかを考えるとき、植物について考えることはめったにありません」という。
7. 今回の調査で、絶滅の危険が最も大きい植物がソテツ類とされたことは意外ではないと Harris はいう。「ソテツ類は、個体群の規模が極めて小さく、分布が非常に限られているからです」。

植物の種類を数える

8. 研究チームは、コケ植物（蘚類や苔類）やマメ科植物（エンドウマメやインゲンマメ）を含む5つの主要な植物群から、合計7000種の植物を選んで評価を行った。彼らは100万点を超える植物標本を調べ、それぞれの標本が、いつ、どこで採取されたのかを調べた。次に、この情報をコンピューターベースの地理情報システムに入力し、植物の生息場所（分布）や生息域の広さを表す世界地図を作製した。また、科学文献の調査や専門家からの聞き取り調査により、生息地の消滅に関する情報なども集めてシステムに入力し、特定の植物の生息域が脅威にさらされているかどうかもわかるようにした。
9. 今回の研究では、IUCN の基準を用いて、絶滅危惧種の分類を行った。例えば、生息域が10平方キロメートル未満で、生息域が1か所しか知られていない種は、「CR（絶滅危惧 IA 類）」に分類された。
10. 研究チームは、植物の絶滅のおそれに関する状況を2015年に再評価する計画だ。今回公表されたデータを基準とすることで、植物の絶滅の危険が時間とともに増大しているのかどうかを評価できる。
11. 10月に名古屋で開催される生物多様性条約第10回締約国会議（COP10）では、2020年までに世界の生物多様性の減少をくい止めるための新たな目標への合意をめざすことになっている。英国王立キュー植物園の Stephen Hopper 園長は、今回の評価は、各国がこの目標の達成状況を測るのに役立つだろうと話している。
12. 「名古屋で議論される2020年の生物多様性の目標は野心的ですが、生物多様性の減少が加速している今、我々の取り組みをさらに拡大していくことは、極めて適切なことなのです。生物多様性に配慮するというコミットメントを再確認する必要があるのです」と Hopper はいう。

（翻訳：菊川要）

naturevideo & naturepodcast で

Natureダイジェストを

2倍楽しむ!

Natureでは、最新研究の音声ファイルや動画も提供しており、Natureダイジェスト掲載の記事に関連したコンテンツもお楽しみいただけます。(どちらも英語のみです。)

QRコードを読みこむ。



画面にURLが表示されるので、接続してください。

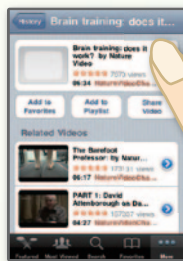
※ 通信にかかる費用は、お客様のご負担となり、携帯会社により異なります。

ハイライトページの

Podcast または Video の

QRコードの場合、表示されたURLに接続すると、すぐに音声または動画が再生されます。

naturevideo

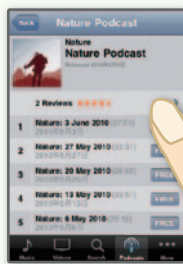


関連映像を楽しむ!



Nature Videoは、さまざまな分野の研究成果を動画でご紹介。5~10分程度にまとめられ、分かりやすく、楽しい映像です。

naturepodcast



最新研究について英語で聞いてみる!

Nature Podcastでは、Natureのハイライトや研究者のインタビュー、世界各国の記者による鋭い解説などを配信しています。

登録の必要はありません。ぜひ、アクセスしてみてください。

(※ Nature Podcastは、現在のところ、iPhoneのみに対応しています。 ※ Nature Videoは、一部対応していない機種もあります。 ※ iPhoneでQRコード読み取りアプリを事前にダウンロードしてください。) iPhoneはApple Inc.の商標です。

EDITOR'S NOTE

今月号は、巻頭でノーベル賞の話題を取り上げています。ノーベル各賞の発表時にツイッター (<http://twitter.com/naturejapan>) で速報を流していたのですが、みなさんの反応の速さには驚きました。特に、日本人2氏の化学賞受賞については、単純に日本人研究者の受賞を喜ぶだけでなく、受賞理由からみて「納得の受賞!」「ようやく!」という声が数多く寄せられました。おそらく、その分野の研究者の方なのでしょう。こうした明るい話題ならば、毎年続いてもいいですね。(m)

訂正とお詫び

Nature ダイジェスト 11月号 p.21 のお名前のルビに誤りがございましたので、訂正いたします。

誤: 関根康人 (せきねやすと) さん 正: 関根康人 (せきねやすひと) さん

ご迷惑をおかけしましたことを、お詫びいたします。

*翻訳記事は、原則として原文に沿っております。一部、Nature ダイジェスト編集部でよりわかりやすいように編集しております。

npg nature asia-pacific

NPG ネイチャー アジア・パシフィック
〒162-0843
東京都新宿区市谷田町 2-37 千代田ビル
Tel. 03-3267-8751 (代表)
Fax. 03-3267-8754
www.naturejpn.com

© 2010 年 NPG Nature Asia-Pacific
掲載記事の無断転載を禁じます。

広告のお問い合わせ

Tel. 03-3267-8765 (広告部)

Email: advertising@natureasia.com

編集発行人: David Swinbanks

副発行人: 中村康一

編集: 田中明美、中野美香、宇津木光代

デザイン/制作: 村上武、中村創

広告/マーケティング: 米山ケイト、池田恵子

藤原由紀

編集協力: 白日社



「Nature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。

宛先: naturedigest@natureasia.com
(「Nature ダイジェスト」ご意見係)

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。今後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。



BRITISH AIRWAYS 自分だけの時間

受賞歴のあるビジネスクラス「クラブワールド」では、自分だけの時間をお楽しみいただけます。静かなラウンジ、そして機内では自分だけの快適な空間。お客様のスペース、プライバシーを大切にしたキャビンでは、お好きな時間に、お仕事、ご就寝、おくつろぎいただくことができます。

今すぐ、ba.comでご予約ください。

