

日本語で読む世界の最新科学ニュース

# nature ダイジェスト

09  
2010

ほとんどの HIV-1 株に効く抗体

ニホンザルの謎の死

最古の多細胞生物か？

世界最高性能の蓄電ナノ材料

## 研究者は「幸せ」か？

音楽教育が、  
脳の認知機能を向上させる

研究者の採用は論文数や  
助成金額で決まるのか？

死と再生のドラマを  
演じる深海の生態系

創立 350 周年を迎えた  
英國学士院

米国州立大学では  
予算削減で学生にしわ寄せが

ドイツでも州の大学予算が  
大幅削減



定価 680 円



## 最新の材料科学研究をその手に！

NPG Asia Materialsは、NPG ネイチャーアジア・パシフィックと、東京工業大学グローバル COE プログラム「材料イノベーションのための教育研究拠点」が、共同で発行しているジャーナルです。アジア太平洋地域における最新の優れた材料科学研究を取り上げ、また、世界の第一線で活躍するアジアの研究者による総説(査読済み)も掲載しております。

**Volume 2, Issue 3**

July 2010

### Advances in crystalline silicon solar cell technology for industrial mass production

T. Saga  
Sharp Corporation

### Integrated devices based on networks of nanotubes and nanowires

B. Y. Lee, M. G. Sung, H. Lee, S. Namgung,  
S. Y. Park, D. S. Choi, S. Hong  
Seoul National University

### Self-assembled supramolecular hydrogels based on polymer-cyclodextrin inclusion complexes for drug delivery

J. Li  
National University of Singapore

Eメールアラートに登録すると、PDF版の無料ダウンロードのほか、最新コンテンツのお知らせやニュースを定期的に受け取ることができます。

すべてのコンテンツは無料で閲覧できます。

[www.natureasia.com/asia-materials](http://www.natureasia.com/asia-materials)



DIGITALVISION/GETTY IMAGES

## 幸せな研究者、不幸せな研究者 02

COVER IMAGE: DIGITAL VISION/GETTY IMAGES

### NATURE NEWS

- 09 HIV-1株の90%以上に効く抗体
- 10 音楽の効能
- 11 氷河後退  
— 原因は人間だけではない
- 12 集約農法が気候変動を緩和する
- 26 米国の学部学生の負担が増大
- 27 ドイツ各州も大学予算に大なた

### NEWS FEATURE

- 18 深海 — 死と再生のハーモニー
- 32 創立350周年を迎えた  
英國学士院

### NEWS & VIEWS

- 28 もう1つのヒトゲノム
- 30 超新星は2つの顔をもつ

### EDITORIAL

- 35 一貫性に欠ける教育への価値観
- 36 生物多様性に関する国際的枠組み

### JAPANESE AUTHOR

- 22 野生植物が複雑な季節変化を感じ取る仕組み — 工藤洋

### HIGHLIGHTS

- 37 2010年7/1～7/29号

### 英語で Nature

- 42 有機農法のほうがジャガイモの害虫防除の効果が高い

07

## ニホンザルで 謎の出血症

京大靈長類研究所のニホンザルに未知の出血症が流行し、大量死をまねいている。しかし、人間への感染はないとのことだ。



ISTOCKPHOTO

08

## アフリカ西部で 最古の多細胞生物発見

21億年前の「大型化石」は、単細胞生物から多細胞生物への進化過程を示しているのか？



© EL ALBANI

14

## 業績評価は 採用・昇進に影響するか？

発表論文数、獲得助成金額といった定量的業績評価は、研究者の採用や昇進の際に、判断基準となっているのだろうか。

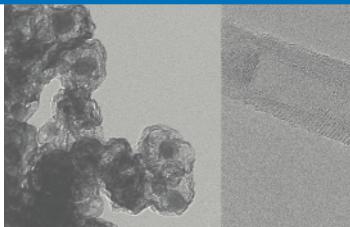


D.PARKINS

24

## 世界最高の 蓄電ナノ材料を開発

リン酸鉄リチウムを使って特殊なナノ構造を構成し、高出力のリチウマイオン電池用正極材料の開発に成功した。



K.NAOI



# 幸せな研究者、不幸せな研究者

For love and money

GENE RUSSO 2010年6月24日号 Vol. 465 (1104-1107)

*Nature* では今年、世界各国の研究者を対象に、研究環境についての満足度調査を行った。確かに日本などは、満足度を低く見積もる国民性があり、データをそのまま受け取ることは避けたい。しかし、例えば、研究者が仕事に対して感じる満足度は給与以外の要素によっても大きく左右されるなど、全体的な傾向は各調査項目からうかがい知ることができる。

米国立衛生研究所 (NIH；メリーランド州ベセスダ) のポスドクたちは、しばしば悩み事を NIH ポスドク支援課長 Lori Conlan に打ち明ける。なかには、既に自分の将来をじっくりと考え、学術研究機関でのポストを探したり、企業に就職することを検討したり、普通とは異なる職業に就こうとしたり、いろいろ決断している者もいる。その一方で、将来を決めかねているポスドクもいる。そのほとんどは、この先どうしたらよいかがわかつていない。「自分の

能力をよく理解できていなかったり、非現実的な期待をしていたりします」と Conlan はいう。彼らは、高額の初任給をもらえるはずだと思い込んでいるのだ。また、十分な指導を受けられる学術研究機関でポストを見つけられるだろうかと心配している者や、企業の「チームサイエンス」環境に順応できるかどうか不安に思っている者もいる。ポスドクたちが気にするこうした項目のひとつひとつが、今後、研究者としてキャリアを重ねていく過程で、どれ

ISTOCKPHOTO

表1 各国の研究者の待遇に対する満足度

	中国	インド	日本	韓国	オーストラリア	デンマーク	フランス	ドイツ	イタリア	オランダ	スペイン	スウェーデン	スイス	英国	カナダ	米国	全体
給与	0.387	0.501	0.471	0.542	0.665	0.694	0.374	0.586	0.339	0.698	0.463	0.585	0.844	0.580	0.567	0.511	0.509
休暇取得権	0.517	0.521	0.424	0.504	0.724	0.870	0.850	0.837	0.719	0.854	0.754	0.861	0.759	0.831	0.691	0.682	0.690
医療保険給付	0.491	0.442	0.546	0.592	0.562	0.840	0.851	0.747	0.528	0.746	0.664	0.758	0.575	0.580	0.707	0.731	0.623
出産・育児休暇	0.497	0.464	0.429	0.544	0.583	0.937	0.789	0.677	0.572	0.663	0.568	0.865	0.426	0.630	0.665	0.534	0.542
年金・退職金制度	0.455	0.443	0.341	0.421	0.689	0.771	0.525	0.537	0.291	0.703	0.330	0.571	0.643	0.653	0.545	0.565	0.516
1週間当たりの労働時間	0.542	0.644	0.448	0.581	0.513	0.665	0.604	0.547	0.585	0.626	0.549	0.620	0.644	0.584	0.612	0.625	0.589
独立性	0.657	0.632	0.567	0.754	0.797	0.841	0.793	0.782	0.764	0.858	0.740	0.831	0.803	0.754	0.814	0.784	0.753
上司や同僚とのディスカッションやアドバイス	0.466	0.466	0.442	0.523	0.584	0.598	0.580	0.520	0.456	0.600	0.459	0.594	0.576	0.532	0.592	0.595	0.533
8項目平均	0.501	0.514	0.458	0.558	0.640	0.777	0.671	0.654	0.532	0.718	0.566	0.711	0.659	0.643	0.649	0.628	0.594

各調査項目についての満足度（満足=1.0、どちらでもない=0.5、不満=0）は、すべての回答の平均。

だけ充実した研究生活を送れるかを左右することになる。

もちろんこれは NIH のポスドクだけの問題ではない。若手からベテランまで、世界中の多くの研究者は、給与や仕事の満足度について、その全体像がよくわかっていない。もちろん、大学院、ポスドクを経て学術研究機関や企業に就職するというキャリアステージの流れはよくわかっている。しかし、彼ら自身はどの程度満足しているのか。きちんと調査するのも簡単ではない。地域や待遇（医療保険、独立性、指導を受けられる環境など）によっても違ってくるからだ。

*Nature* は、今回初めて研究者の給与とキャリアに関する調査を行った。我々は研究者の仕事に対する全般的な満足度と、それに寄与する要因について、キャリアステージ、性別、地域ごとに検討した。この調査には、世界数十か国の1万500人以上の研究者から回答が寄

図1 研究者の満足度と国民の幸福度指数

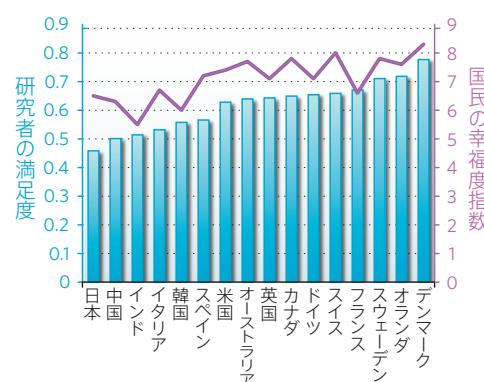
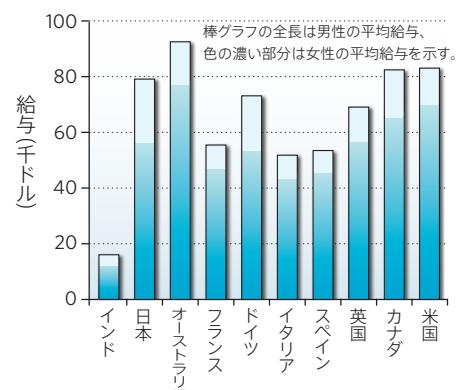


図2 給与の男女格差



せられた（調査方法の詳細については [go.nature.com/aSZqch](http://go.nature.com/aSZqch) を参照）。

調査サンプル数の多い16か国の中、あらゆる面で最良の環境で研究できる国第1位となったのはデンマークだった。デンマークは、給与、医療保険、年金制度、独立性などの項目で満足度スコアが最も高かった（表1、図1）。最下

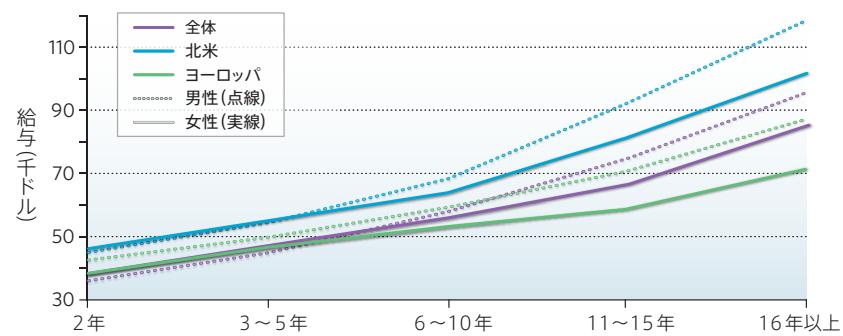
位だったのは日本で、各項目の「非常に満足」の割合は極めて低く、退職金制度に対しては2%、独立性については10%だった。科学新興国であるインドと中国の満足度も低かったが、仕事に対する全般的な満足度が前年よりも高まったという回答の割合が、ほかのほとんどの国よりも高かった。

## 男性研究者と女性研究者

大学は男女格差を小さくしようと努力を続けているものの（*Nature* 2010年6月10日号832ページ参照）、研究の世界に男女格差が依然として存在していることは明らかであり、おそらく最も顕著な差は収入であろう。

今回の調査でサンプル数が多かったオーストラリア、ドイツ、イタリア、スペイン、英国、インド、日本、カナダ、米国では、男性の給与が女性より18～40%も高かった（図2）。ちなみに、2009年に発表された『OECD 科学技術産業スコアボード2009』によると、世界には、高等教育（一般には大学教育）を受けた女性の給与が、高等教育を受けた男性の給与の50～60%しかない国がいくつかある。

図3 男性と女性の給与の推移



学位取得後の収入の推移を比較するデータは、キャリアが進むほど男女の格差が大きくなることを示している。ヨーロッパでは3～5年後、北米では6～10年後に、男性の給与が女性より顕著に増加し始める（図3）。

そのような格差があるにもかかわらず、学術研究機関でも産業界でも、研究者の全般的な満足度は男性と女性で

非常によく一致しており、男女ともに約65%が「非常に満足」または「やや満足」だった。例外はインドで、「非常に満足」または「やや満足」と回答した男性研究者は62%だったが、女性研究者では45%にすぎなかった。ただし、インド人の女性研究者の調査数は少ない。

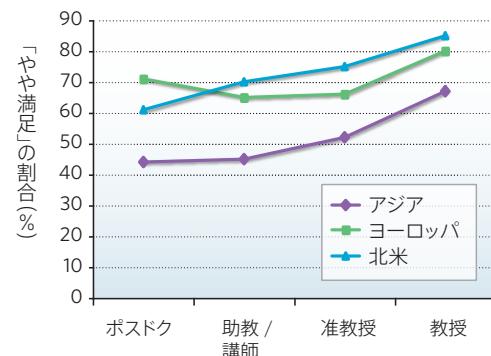
G.R.

全体的にみれば、多くの研究者が仕事に満足し、ほとんどがますますの給与を得ているようだ。学術研究機関では、大半の研究者がキャリアを積むほど仕事に対する満足度が高くなる傾向がみられた(図4)。その半面、今回の調査結果は、給与の男女格差がまだ解消されていないとする別の調査の結果と一致しており(前ページ図2および、コラム「男性研究者と女性研究者」参照)、一部の研究者は自国の待遇に不満をもっているようである。こうした不満は頭脳流出につながりうるが、中国やインドでは研究者の満足度に向上的兆しがみえてきており、頭脳流出に歯止めがかかる可能性が出てきた。これらの国々の科学は、かつては世界に後れをとっていたが、手厚い支援により、今ではめざましい成果を挙げている。アフリカ科学アカデミー(ケニア・ナイ

ロビ)のMohamed Hassanは、頭脳流出の時代は終わり、「頭脳循環」の時代が始まると予想している(Nature 2010年6月24日号1006ページ参照)。楽観的な予想の背景には、科学コミュニティの成長と科学技術への投資の増加がある。例えば、今年1月に米国科学財團(NSF)が発表した『科学技術指標2010』によると、中国では現在、自然科学と工学の博士号が米国とほぼ同数授与されていて、その総数は2002年から急増しているという。2007年の最新データによると、中国には現在、EU全体または米国と同じ約140万人の研究者がいるという。

もちろん、こうしたデータには注意すべき点もあり、鵜呑みにしてはいけない。まず、今回の調査で総合的な満足度が第4位～第9位となった国々のスコアにはほとんど差がなく、第4位のフ

図4 学術研究機関のキャリアステージと満足度



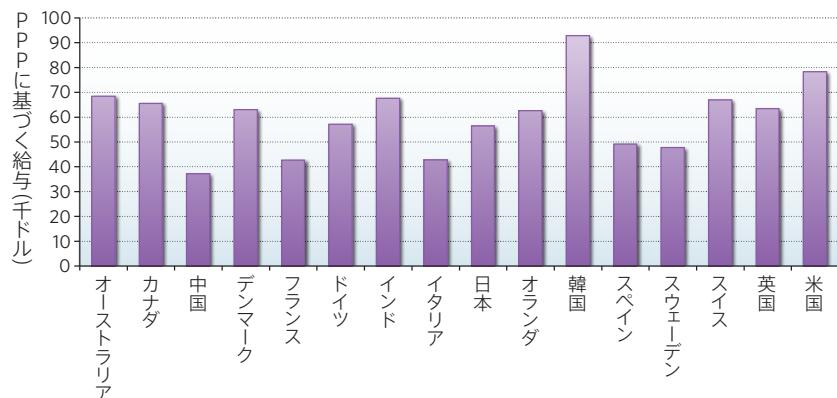
ランスと第9位のオーストラリアの間には、順位から予想されるほどの開きはない。さらに重要なことは、文化的な理由やライフスタイルの関係から、研究者に限らず、仕事に対する満足度や幸福度指数を低く回答する傾向がある国や地域があることだ。

## 給与格差

今回の調査では、地域ごとの給与を比較する際、基本的に生活費を考慮していない。より厳密な比較には、購買力平価(PPP)を用いた。これは、特定の国で所定の生活用品を買いそろえるのに必要な金額を考慮して、異なる地域の給与を比較する方法である。今回の調査では、ペンシルベニア大学のPPPデータを用いた(go.nature.com/fu7xcy参照)。

PPPを用いると、インドの相対的な給与は大幅にアップするが、中国はそれほどでもない(図5)。調査サンプルは少ないが、韓国の研究者の平均給与が最も高かった。経済協力開発機構(OECD)の2009年のデータによると、韓国の研究開発費は1990年代後半から急激に増えていて、才能ある人材が

図5 購買力平価



強く求められている。

今回の調査結果からは、産業界と学術研究機関では研究者の給与に大きな開きがあることもわかった。アジアの産業界の研究者の平均給与は学術研究機関と比べて50%も高く、ヨーロッパと北米でも40%高かった(図6)。どの地域でも、キャリアを重ねるにつれて平

均給与は上がっていく(図7)。ヨーロッパとオーストラレーシアでは、北米に比べてキャリアステージの後半での給与の上昇率が鈍くなる。

学術研究機関では、キャリアが一段と上がると、給与が大きく上昇することが図8(6ページ)からわかる。ポストドクの給与は北米とヨーロッパで同程度で

この潜在的バイアスを明確にするため、今回 *Nature* は、各国の研究者の満足度と国民全体の幸福度指数とを比較した。幸福度指数は、エラスムス大学（オランダ・ロッテルダム）が世界 146 か国の大規模な幸福度を調査して『World Database of Happiness』(go.nature.com/trnIeH 参照) にまとめたもので、頻繁に更新され、よく引用されている。ランキングのいくつかは、よく相関していた (3 ページ図 1)。例えば、デンマークは、国民全体の幸福度指数も最も高かった。これは、住んでいる場所や文化などの「背景」がその人の生活やキャリアに対する満足度に影響を及ぼすことがあり、研究者も例外ではないことを示唆している。一方、フランスのように、国民全体の幸福度指数（紫色の折れ線）に比べて研究者（青の棒）の満足度が高い国もあった。

待遇の中で、研究者の満足度に最も影響を及ぼす項目はどれだろうか？ 8 項目それぞれの平均満足度スコアを回答者の全般的な満足度と比較したところ、「上司や同僚とのディスカッションやアドバイス」が全般的な満足度に最も強く影響していることがわかった。この結果からは、キャリア競争が激しくなるにつれ、研究者たちが上司や同僚から助言を受けて確実に自分の研究を向上させることを強く求め、それができる環境に高い価値を見いだしていることが考えられる。

2 番目に影響を及ぼしていたのは給与だった (下のコラム「給与格差」参照)。「独立性」は全般的な満足度の決定要因の第 3 位にランクインしたが、基本的には、ほとんどの研究者は現在の自由度に満足しているようだった。独立性に「満足」または「やや満足」が 60%

未満だった国は、中国、インド、日本の 3 か国だけだった。職業としての科学には欠点があるかもしれないが、今回の調査結果は、多くの研究者がまざまざの独立性を確保できていることを証明している。

*Nature* は、研究者が学術研究機関でキャリアを築いていく中で、仕事に対する満足度がどのように変わるかも調べた。研究者をポスドク、助教 / 講師、准教授、教授という 4 つのカテゴリーに分けて、それぞれの仕事に対する満足度を調べ、アジア、ヨーロッパ、北米のデータを比較した (前ページ図 4)。その結果、一般にキャリアアップするにつれて満足度は高くなる傾向にあるが、ヨーロッパでは、ポスドクを終えると満足度はわずかに低下し、その後上昇に転じることがわかった。その理由は、助教 / 講師の待遇で 2 つの項目に、ヨーロッパと米国

図 6 学術研究機関と産業界の研究者の給与

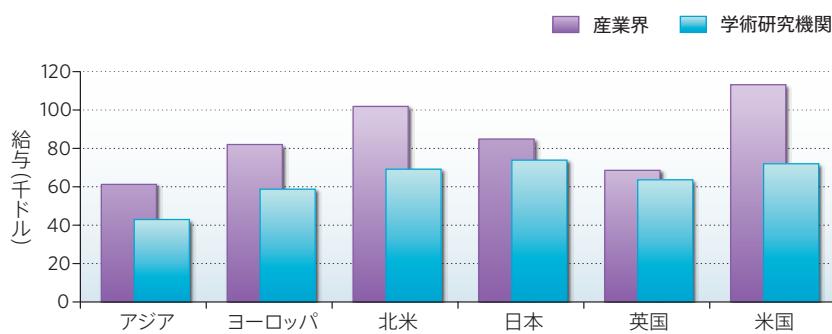
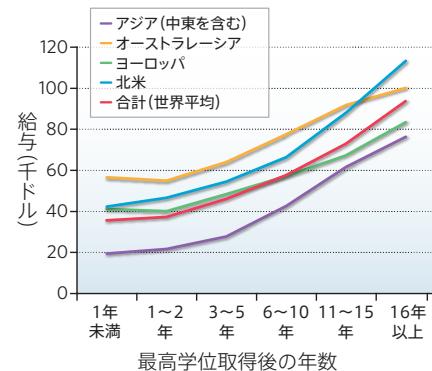


図 7 最高位取得後の給与



あるが、北米では、助教などに就くと給与は大幅に増える。ヨーロッパのポスドクも助教や講師（ヨーロッパでは、学術研究機関での最初のポストとして、より一般的である）になれば給与は増えるが、北米ほどではない。

今回の調査では、2009 年の給与は前年の水準がほぼすべての地域で維持されており、下がったという回答は

数 % だけだった。唯一の例外は日本で、20% 以上が減ったと答えた。給与が増えたと回答した割合が高かったのは、オーストラリア、スイス、インドだった。

ほかの職業と比較すると、研究者の給与はまざまざの水準にあるが、学術研究機関のポスドクの初任給はいまだに低いままである（米国ポスドク協会などは、この問題を解決するために活動

している）。米国では、労働省労働統計局によると、弁護士全体の平均給与は 12 万 9000 ドル（約 1100 万円）、医師全体の給与は、専門に応じて 10 万～16 万ドル（約 850 万～1400 万円）の間にある。今回の *Nature* の調査データと労働統計局のデータからは、トップレベルの研究者の給与はこの水準にあることがわかった。

G.R.

図8 学術研究機関のキャリアステージと給与

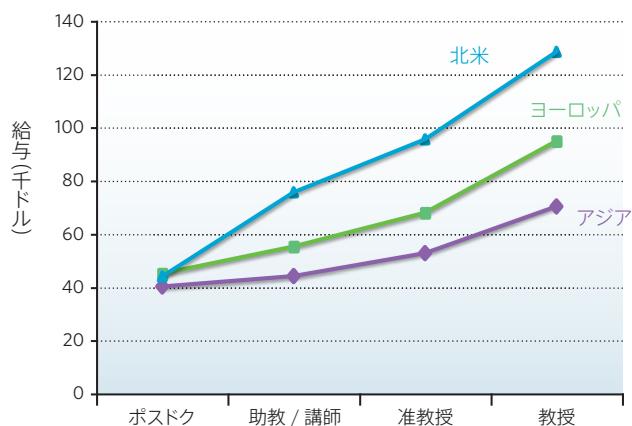
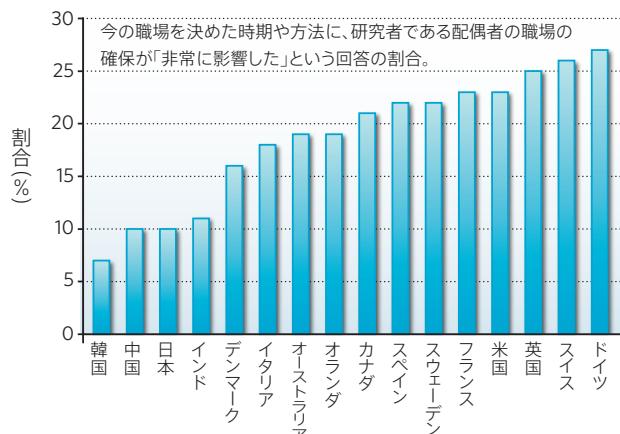


図9 研究者夫婦の雇用問題



の間に顕著な違いがあるからだ。1つは給与で、もう1つは「上司や同僚とのディスカッションやアドバイス」である。ヨーロッパの学術研究機関の助教や講師は、北米に比べて給与が少なく、雇用が不安定で、サポートも少ないので(図8)。ただし教授レベルになると、こうしたことはあまり問題にならなくなる。

### 研究者夫婦の雇用問題

このように、多くの研究者が最も重視している待遇は給与ではない。給与以外のライフスタイルにかかわる要因も、研究者の全般的な満足度を大きく左右することがある。ヨーロッパでは、研究者のほとんどが休暇取得権と出産・育児休暇に比較的満足しており、休暇取得権は71%、出産・育児休暇は51%が「非常に満足」または「やや満足」と回答した。これに対して、北米では、休暇取得権に「非常に満足」または「やや満足」だったのは56%、出産・育児休暇については41%だけだった。さらに、研究者夫婦がそろって職場を見つけることの難しさが、世界中で多くの研究者のキャリアに影を落としている。

研究者夫婦に、今の職場を決める際に、配偶者の職場の確保が影響を及ぼしたかという質問に対しては、ヨーロッパの数か国、米国、カナダ、オーストラリアの回答者の20%以上が、「非常に

影響した」と答えている(図9)。アジア諸国については、調査サンプル数の多い中国、インド、日本、韓国では、それより低くなっている。しかしながら、研究者夫婦の雇用問題が研究者全体にとって「非常に問題」または「やや問題」であると回答した割合は、ヨーロッパで48%、米国で43%、日本で54%であり、このことを考え合わせると、米国・ヨーロッパ・日本では、研究者夫婦の雇用が問題になっていることがうかがえる。

世界的に、研究機関には、研究者夫婦の雇用促進対策の明確化が求められているのかもしれない。スタンフォード大学を本拠地とするクレイマン研究所(米国カリフォルニア州)が2008年に発表した報告書『Managing Academic Careers Survey』によると、学術研究機関に勤務する女性(研究者とその他の職種を含む)が仕事のオファーを断つたのは、研究者である配偶者に同じ場所でのポジションがないことが主な理由であることがわかった。この調査には、米国の13の研究大学のフルタイムの職員9000人以上から回答が寄せられた。調査を行った研究者らは、研究機関に、候補者採用に際しての透明性、スピード、公正さを高めた、研究者夫婦の雇用に関するプロトコルを確立することを求めていた。

今回の調査により、研究者夫婦の雇用

問題をはじめ、研究者を取り巻く環境について、新たな情報を得られただけではない。それと同じくらい新しい疑問も生じている。例えば、研究者の移動が盛んになってきた地域や、科学企業が成長してきた国々では、研究者夫婦の雇用問題は悪化していくのだろうか? 学術研究機関の研究者の昇進に伴う満足度の変化に、地域差がある要因は何か? 米国ポスドク協会のStacy Gelhaus委員長は、独身女性を比較対象とした場合、給与の男女格差が小さくなるかどうかを知りたいと思っている(Nature 2010年6月24日号1006ページも参照)。研究者のキャリアパターンや、研究者という職業に対する姿勢は、変化しつつある。この変化を見極めるのに役立つ質問は数多くあり、今回の調査はその一部にすぎない。

(翻訳:三枝小夜子)

Gene RussoはNaturejobsのエディター。研究デザインとデータ分析にはSara Grimmeが協力。

Nature 2010年6月24日号1006ページも参照されたい。

購買力平価(PPP)を除き、生活費に対する給与の補正是行っていない。出典: 幸福度指数はエラスムス大学の『World Database of Happiness』、PPPのデータはペンシルベニア大学の『Penn World Table』より引用。

# ニホンザルで謎の出血症

## Japanese monkey deaths puzzle

DAVID CYRANOSKI 2010年7月15日号 Vol. 466 (302-303)  
[www.nature.com/news/2010/100713/full/466302a.html](http://www.nature.com/news/2010/100713/full/466302a.html)

京大靈長類研究所のニホンザルに未知の出血症が流行した。  
 しかし、人間への脅威とはならないと、関係者は主張している。

京都大学靈長類研究所（愛知県犬山市）で、ニホンザルに謎の出血症が流行し、大量死をまねいている。関係者らは、これはニホンザルに限定され、人間への脅威にはならないとして、世間を安心させようと腐心している。研究所は、7月1日付の『靈長類研究』（日本語）のオンライン版（*Primate Res.* 26, 69–71; 2010）と7月7日のプレスリリースで、この疾患について説明し、まだ原因が解明できていないことを明らかにした。しかし、外部の研究者らは、これらの説明では不十分だとし、さらに詳細な情報を求めている。

この疾患が最初にみられたのは2001年7月だった。その後2002年7月までに、7頭のニホンザル（*Macaca fuscata*）が発症し、6頭が死亡した。研究所ではこの疾患に「出血症」という仮称を付けた。臨床所見は、食欲低下、横臥、顔面蒼白、鼻粘膜からの出血などで、死体解剖では肺や腸管に出血が認められた。遺伝子検査や細菌および毒物の検査を行ったが原因は突き止められず、やがて流行は自然終息し、研究所は平常に戻った。ところが、2008年3月に再発生し、2010年4月までに、39頭のニホンザルが発症した。うち25頭が死亡し、13頭は安楽死処分を施した。2回の流行で生き残ったのはそれぞれ1頭のみである。

今回公表されたデータは、2回目の発生の後に靈長類研究所内に設置された疾病対策委員会によるものである。委員会は、発症したサルから血液、糞便、組織を採取し、6種の細菌と16種のウイル

スについてPCR解析などの検査を行った。しかし、死因を説明できる結果は得られなかつた。ヤーキス国立靈長類研究所（米国ジョージア州アトランタ）の所長 François Villingerは、日本の研究所は優れた診断能力を備えている場合が多いと話す。「ですから、この疾患が出血熱などの既知の病原体によるものでない可能性が高いという話を信頼しています」。

靈長類研究所所長の松沢哲郎は、この出血症がヒトやほかの動物に広まる可能性があるとする地元マスコミの報道を声高に否定している。彼は7月7日の記者会見で、研究所のほかの靈長類種で発症したものはいないことを強調した。研究所には現在、ニホンザルのほか、チンパンジー、マーモセット、カニクイザルなど13種、1200頭以上が飼育されている。サルを扱う人間にも症状はいっさい現れていない。「マスメディアでのこうした報道は適切ではありません。この出血症は、ニホンザルという種に特異的な病原体によって生じると考えています」と彼は話す。

松沢によれば、靈長類研究所が出血症に関する情報を迅速に公表しなかつたのは、公表によりさらに多くの人々にパニックを引き起こすおそれがあったからだという。発症はまだ続いているが、消毒薬の使用と体調不良のサルを隔離することでペースは鈍っている（5月に1例、6月に1例）。松沢は、今後の調査結果の公表に備え、一部のデータの発表を差し控えている。Natureは、環境面で考え



られる原因を探っているのか、どの細菌やウイルスを検査対象にしたのか、生き残った2頭のサルの解析で何が明らかになつたのかを尋ねたが、回答はなかつた。

松沢は、残りの790頭のニホンザルを対象に、ほかのウイルスや細菌についてスクリーニングや遺伝子検査を行つて、原因を突き止め、早期診断の検査法を確立したいと考えている。彼は現在、協力者を探しているところであり、Natureを通じてこの出血を知つた動物病原体研究者がさらに興味をもつことを期待している。靈長類疾患の専門家であるジョージア大学（米国アセンズ）のSonia Altizerは、これらのニホンザルの中に最近野生で捕獲されたものがいるのかどうか、どこでこの疾患にかかった可能性があるのか、また、サルたちは単独飼育と集団飼育のどちらだったのか、といった疑問を口にした。「動物どうしが接触した可能性や、病態と死亡の時系列パターンがわかれば、これが本当に感染症なのかがはつきりし、可能性のある感染ルートの発明にも役立つでしょう」と彼女は話す。

Altizerはまた、出血症流行の前に、サルとヒトの間の感染症病原体の伝播を最小限にするために靈長類研究所がとつた方策を知りたがつてゐる。「おそらく、細心の措置が随所で取られ、そのおかげで、ヒトが汚染物質もしくは病原体にさらされる確率が低く抑えられていたのだと思います。ですから、ヒトがこの疾患にかかるないと断言するには、まだ早すぎる気がします」と彼女は語つてゐる。

（翻訳：船田晶子）

# アフリカ西部で最古の多細胞生物発見

## Ancient macrofossils unearthed in West Africa

AMY MAXMEN 2010年6月30日 オンライン掲載

[www.nature.com/news/2010/100630/full/news.2010.323.html](http://www.nature.com/news/2010/100630/full/news.2010.323.html)

21億年前の大型化石は多細胞生物への進化過程を示しているのか。

アフリカ西部のガボンで発見された親指大の化石は、21億年前のまさに「巨大生物」だ。発見した研究チームによれば、これは太古の多細胞生物を示しているという<sup>1</sup>。これは、インドで発見された最古の多細胞生物と思われる化石より<sup>2</sup>、5億年近くさかのぼる。

研究チームの一員でスウェーデン自然史博物館（ストックホルム）の古動物学者 Stefan Bengtson は、「微生物しかいなかつた世界にこんな大型化石が現れたのですから、一大事です。大型生物は仲間どうしやほかの微生物と相互作用するので、生物圏の営みが一変するのです」と話す。生物が周辺環境の生物学的・化学的な構成を変えるように、環境の化学的背景も生物に影響する。古生物学では、約 7 億 5000 万年前の大気中酸素濃度の上昇により、多細胞生物が急拡大したとされる（「カンブリア大爆発」）。同様に、24 億年前の「大酸化イベント」により、今回の古生物が現れたのかもしれない、と Bengtson はいう。ブリストル大学（英国）の Philip Donoghue は、「発見された化石は、まさに驚異的な大きさです。通常、この時代の化石を見つけるには、岩石を溶解して顕微鏡で調べなければなりません」と語る。

研究チームは、マイクロ CT と質量分析法で構造と化学組成を調べ、これが岩石性のものではなく生物の痕跡だという結論に至った。この古生物は、体長 7 ~ 120 ミリメートルで、柔軟で縁のあるひだが体を取り巻いており、多くの細胞でできていると推測した。

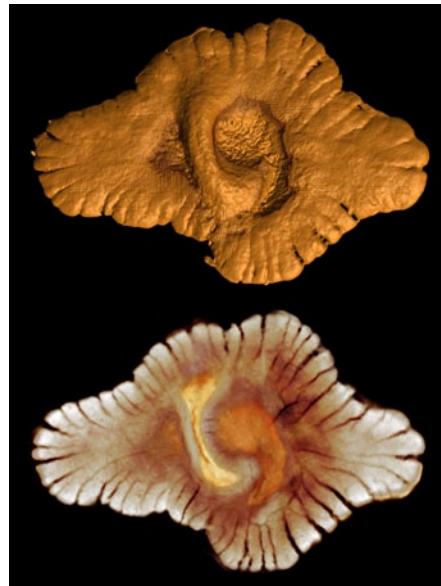
### 複雑でコミュニケーションを行う

研究チームによれば、この生物はシグナルを交換し合うコロニー形成性の細菌だった可能性があり、それゆえに複雑な構造を作ることができたのだという。堆積物には、これより数百万年前から存在していた細菌群がマットのように張り付いていたが、これとこの化石は違って見える。Donoghue は、「今回の標本はこうした細菌の凝集物ではありません。三次元的であることから、大酸化イベントの直後に出現した協調的な多細胞生物と考えられるのです」と語る。

バルセロナ大学（スペイン）の進化遺伝学者 Iñaki Ruiz-Trillo は、細胞の接着やコミュニケーションに重要な遺伝子は、多細胞生物の出現前から存在していたと話す。Bengtson は、この古生物は、初期の「実験的な」多細胞生物だったのかもしれない、という。

### 真核生物との共通点

今回の化石は、類似した化石生物や現生生物が存在せず、分類が難しい。「現生生物で唯一類似しているのは微生物のコロニーですが、その多くは小規模で薄っばらなのに対し、これは大きくて厚みと弾力性があります」と Bengtson は話す。「これが真核生物であることも十分考えられます。真核生物は弾力性がある大きな構造を作りやすいのです」。しかしこの標本には、真核生物の特徴である、膜で仕切られた核をもつ細胞はみられない。ただし、真核生物の細胞壁によくあるステロール化合物の痕跡が認められる。論



マイクロ CT で映し出された大型化石の外側（上）と内側（下）の形態の一例。

EL ALBANI - MASURIER

文の第一著者で、ポワティエ大学（フランス）の Abderrazak El Albani は、大きさや複雑さも考慮すると、ステロール化合物の痕跡は真核生物との類似性を裏付けているという。

しかし、ステロールなどの水溶性有機分子は、新しい時代に埋没した生物から古い堆積物に浸み込んでいくことも考えられる。Donoghue は「ステロールが真核生物の指標になるなんて危うい主張です。楽観視は禁物です」という。

一方、エール大学（米国コネチカット州ニューヘイブン）の古生物学者 Adolf Seilacher は、今回の化石を「偽化石」とよぶ。これは、堆積物の状態の変化に応じてさまざまな形状になった黄鉄鉱が凝集したものだというのだ。Seilacher 自身、1998 年に 11 億年前の真核生物の化石を発表した<sup>3</sup>が、現在では、それは偽化石だったと確信していると話す。

El Albani は、近々現地に戻り、こうした極めてよく保存された化石をさらに掘り出したい、と語っている。

（翻訳：小林盛方）

1. El Albani, E. et al. *Nature* **466**, 100–104 (2010).
2. Bengtson, S. et al. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **106**, 7729–7734 (2009).
3. Seilacher, A., Bose, P. K. & Pflüger, F. *Science* **282**, 80–83 (1998).

# HIV-1 株の 90%以上に効く抗体

## Souped-up antibody fends off HIV

HEIDI LEDFORD 2010年7月8日 オンライン掲載  
[www.nature.com/news/2010/100708/full/news.2010.341.html](http://www.nature.com/news/2010/100708/full/news.2010.341.html)

エイズの主要な原因ウイルスである HIV-1 には数多くの種類の株があるが、その 90%以上を無効化する広域中和抗体が見つかった。

優れたエイズワクチンを実現するカギは、多種類の HIV-1 株に有効な「広域中和抗体」にある。2009 年にはそうした抗体が次々と見つかり、9 月に発表された論文では、最大 78% の株を無効化できる抗体セットが報告された<sup>1</sup>。そして今回、HIV-1 の 90%以上の株に有効な抗体が見つかり、*Science* に 2 本の論文が掲載された<sup>2,3</sup>。

これまでの抗 HIV-1 抗体の研究では、有効なのは特異的な抗体で、相手になる株は 2 ~ 3 種類だと考えられてきたが、最近になって状況は一変したといわれている。

### ユニークな構造

過去に同定された有望な抗 HIV-1 抗体は、多くの場合、抗体のある領域が異常に長かったり、特定の化学的修飾を含んでいたり、変わった構造をしていた。ワクチンによって、生体内でこうした構造の抗体をどう産生させるのかもわからない。

「抗体は人間に似ています。それぞれの抗体はそれぞれの性質をもっているのです」と、米国立アレルギー・感染症研究所のワクチン研究センター（メリーランド州ベセスダ）の構造生物学者で、今回の 2 つの論文の共著者である Peter Kwong はいう。「治療に有望なこうした抗体はいなくなれば、異端児なのです」。

そこで Kwong たちは、別の試みを始めた。「さまざまな種類の HIV-1 株に中和効果を示す抗体」つまり広域中和抗体を探し始めたのだ。ただしそれは極めてまれな存在だ。Kwong 自身、まるでキューピックジルコニアの山の中からダイヤモ

ンドを探すようだといっている。

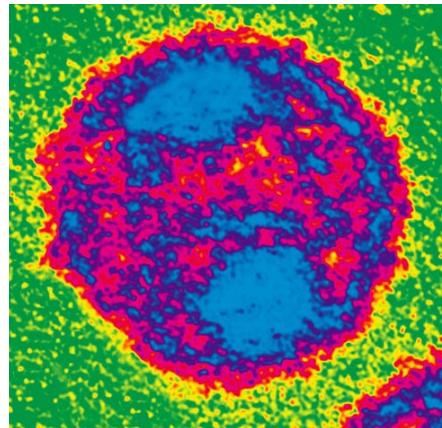
そこで研究チームは、CD4<sup>+</sup> 細胞（HIV の標的）と相互作用する HIV ウィルスのエンベロープ部分に対する抗体を選択的に捕捉するプローブを設計した。このとき、不要な抗体が結合しないように、免疫応答に作用しそうなほかのエンベロープ領域を別のウイルスに由来するタンパク質に置き換えてマスキングした<sup>2</sup>。

研究チームは、HIV-1 保有者 15 人に由来する抗体産生白血球（B 細胞）2500 万個をスクリーニングした。結果、29 個の B 細胞がヒットし、広域中和作用をもつ抗体が 3 種類同定された。その中の 1 つ VRC01 を構造解析し、VRC01 が CD4<sup>+</sup> 細胞に対して HIV-1 とそっくりの結合をするが、わずかに 6 Å ずれており、43° 回転していることがわかった<sup>3</sup>。

### 新たな希望と新たな難題

しかしこの抗体からワクチンを設計するには、「親和性成熟」という問題が立ちはだかる。これは、体内で継続的に抗体が産生される過程で、抗体遺伝子に変異が導入され、抗原に対して最も高い親和性をもつクローンが選択されていく現象だ。その結果、成熟した抗体の大半は約 10 ~ 15 個の変異をもつことになる。VRC01 の場合、変異は 66 個もあり、変異のない未成熟型では HIV-1 を阻止できないことがわかった。

今のところ抗体成熟過程の機序はまだ完全にはわかっておらず、こうした変異を適切に起こさせるようなワクチン設計は難しい。2 つの論文の共著者で、ワク



HIV ウィルスの電子顕微鏡写真。

© DECO/ALAMY

チン研究センターのウイルス学者 Gary Nabel は、多数の変異をもつ成熟抗体の产生には、反復接種や、接種回によって成分を変える必要があるかもしれないと考えている。例えば、初回ワクチンで VRC01 の基本構造の生成を促し、次に接種するワクチンで特異的な成熟型 VRC01 を選別させる、などである。

こうした広域中和抗体は、抗レトロウイルス療法の代わりに、HIV 感染患者に直接使うこともできるだろうと Nabel は話す。しかし、治療の難しさや追加費用の問題を正当化するためには、既存薬より効果が高いことを示す必要がある。

さらに、誰でもヒトは広域中和抗体を産生できるのか、それとも一部のヒトしかできないのかを検証することも重要である。研究チームは現在、今回とは別の患者で広域中和抗体を探しており、さらなる結果が期待できると Kwong はいう。

これらの機序が解明されれば、VRC01 抗体産生ワクチンとほかの広域中和抗体産生ワクチンとを組み合わせることで、ほぼすべての HIV-1 株の感染を阻止できるようになり、変異しやすい HIV-1 ウィルスの耐性を抑制できるのではないかと、Nabel は話す。「3 種類のワクチンの混合で HIV-1 感染を阻止できるようになる見込みは、十分あります」。

(翻訳：船田晶子、要約：編集部)

1. Walker, L. M. et al. *Science* **326**, 285-289 (2009).

2. Wu, X. et al. *Science* doi:10.1126/science.1187659 (2010).

3. Zhou, T. et al. *Science* doi:10.1126/science.1192819 (2010).

# 音楽の効能

## Why music is good for you

PHILIP BALL 2010年7月20日 オンライン掲載

[www.nature.com/news/2010/100720/full/news.2010.362.html](http://www.nature.com/news/2010/100720/full/news.2010.362.html)

音楽が認知機能を向上させるという研究結果が報告された。これは、音楽教育の重要性を訴える確かな根拠となる。だが、それは音楽の効能のすべてではない。

皆さんは「モーツアルト効果」を覚えておられるだろうか？モーツアルトの音楽を聞くと頭がよくなることを示唆する研究結果が1993年に発表されると、赤ちゃんの知力を高めるという触れ込みで、クラシック音楽のCDが続々と発売された。しかし、この宣伝文句を裏付ける証拠は全くない。それどころか、「モーツアルト効果」を最初に提唱した論文<sup>1</sup>も、そのような主張はしていないのだ。論文では、モーツアルトの音楽を聴いた後でいくつかの空間課題を遂行すると、音楽を聴かない場合に比べて、短時間だけ成績がわずかに向上するということだった。その後の追試でも、再現性ははつきりしなかった。さらに、ある研究では、ポップスでも児童に同様の効果を及ぼしうることが示された<sup>2</sup>。興味深いが、微妙なこの効果は、あらゆる種類の心地よい聴覚刺激がもたらす認知機能の向上に起因するものであり、その刺激は音楽でなくてもよいようだ。

オリジナルの論文がこれほど大きな影響を与えたのは、以前から音楽を聞くと頭がよくなるのではないかという期待があったからだろう。このほど、ノースウェスタン大学（米国イリノイ州エヴァンストン）の神経科学者 Nina Kraus と Bharath Chandrasekaran は、音楽教育には認知機能を広く向上させる方向に脳を変化させる効果があると発表した<sup>3</sup>。音楽教育は聴覚系全体を変化させるため、音楽家は音楽以外の聴覚情報について高い処理能力を示す、というのだ。

身体訓練で肉体が変化するように、脳は各種の精神機能の訓練や学習により変化するため、音楽家と一般人の脳には学習に関連した構造的な違いがあることが知られている<sup>4</sup>。また、神経学的、心理学的試験から、音楽情報処理には音楽に特異的でない認知資源（音高処理、記憶、パターン認識など）も必要なことがわかつており<sup>5</sup>、音楽を通じてこれらの精神機能を養えば、当然、より広範な効能が期待される。作用は双方向的だ。例えば、標準中国語などの声調言語（高低・昇降の変化で語義を区別する言語）を話す人は音高に敏感なため、絶対音感に優れている<sup>6</sup>。

また、音楽により子どものIQが向上する<sup>7</sup>と聞いても、意外ではない。なぜなら、音楽は、記憶力、協調性、注意力などの一般的な機能を高めるからだ。Kraus と Chandrasekaran は、音楽の訓練は、脳の可塑性（神経ネットワークの配線を変える能力）を通じて、音高、タイミング、音色への感度を高め、その結果、声の調子から話者の感情を推察したり、言語を習得したり、ランダムな聴覚刺激の中に規則性を見いだしたりする能力が高まると指摘する。

### 音楽教育がもたらすもの

音楽の効能がわかつても、「音楽教育は必須ではなく、音楽好きな子が受ければよい」という通念を変えるには至っていない。民族音楽学者の John Blacking は、「音楽的才能をもつ人はまれであり、音楽

とは、そういう一握りの人が作るものだと決めつけられているのです」と批判する<sup>8</sup>。こうした考えがないアフリカ文化の中で過ごしてきた Blacking は、ほとんどの人が「音楽的才能はない」とされている現状に強い違和感を抱いている。

Kraus と Chandrasekaran は、音楽教育による「学習技術と聞き取り能力の向上」から、学校での音楽教育が軽視されている現状を見直すべきだと主張する。しかし、こうした二次的な効果でしか音楽教育の必要性を納得させられないなら、悲しいことだ。音楽の真価は、我々の心を豊かにし、社会性や人間性をはぐくむところにあるからだ。

しかし、過剰な訓練は危険である。ピアニスト Leon Fleisher は、筋肉のコントロールが部分的にできなくなる病気、局所性ジストニアを患っている。局所性ジストニアは神経疾患であり、脳の可塑性が引き起こす負の現象の1つである。彼はこの病気により、右手の指が2本丸まってしまった。幼少期からの過度のレッスンにより筋肉と脳の間のフィードバックが機能しなくなり、感覚皮質での手の再現領域が拡大して指の神経相関がぼやけてしまったのだ。近年、深部組織マッサージとボトックス注射により、再び両手で演奏できるようになったが、完治したわけではない。この疾患は珍しくなく、プロの音楽家の100人に1人が患っているといわれる。

Fleisher を苦しめる局所性ジストニアは、幼児の英才教育がはらむ危険性の警告となる。これは、プロの演奏家だけでなく、Blacking が示唆するようにすべての人に関係がある。すばらしい音楽だけでなく、荒削りな音楽も必要なのだ。■

(翻訳：三枝小夜子、要約：編集部)

1. Rauscher, F. H., Shaw, G. L. & Ky, K. N. *Nature* **365**, 611 (1993).

2. Schellenberg, E. G. & Hallam, S. *Ann. NY Acad. Sci.* **1060**, 202-209 (2005).

3. Kraus, N. & Chandrasekaran, B. *Nature Rev. Neurosci.* **11**, 599-605 (2010).

4. Gaser, C. & Schlaug, G. *J. Neurosci.* **23**, 9240-9245 (2003).

5. Patel, A. D. *Music, Language, and the Brain* (Oxford Univ. Press, 2008).

6. Deutsch, D. et al. *J. Acoust. Soc. Am.* **119**, 719-722 (2006).

7. Schellenberg, E. G. *J. Educ. Psychol.* **98**, 457-468 (2006).

8. Blacking, J. *How Musical Is Man?* (Faber & Faber, 1976).

# 氷河後退 — 原因は人間だけではない

## Glacier's wane not all down to humans

Quirin Schiermeier 2010年6月10日号 Vol. 465 (677)  
[www.nature.com/news/2010/100604/full/465677a.html](http://www.nature.com/news/2010/100604/full/465677a.html)

アルプスの氷河の後退には、人為的な地球温暖化だけではなく、自然の気候変動も大きく関係している。

今、アレッチ氷河（スイス・ヴァレー州）が病んでいる。アルプス最大の氷河として知られるこの氷河は、20世紀の100年間で2キロメートル以上も後退してしまった。スイスには、これより小規模な氷河が1500あるが、いずれも似たり寄ったりの状態にある。

アレッチ氷河が後退したのは、人為的な地球温暖化だけのせいなのだろうか？

最近行われたある研究では、そうではないという結論に達している。その研究によると、スイスアルプスの氷河が後退した原因の約半分は、自然の気候変動にあるというのだ<sup>1</sup>。同じことが、世界中の氷河についてもいえそうだ。

この研究チームを率いたフリブル大学（スイス）の氷河学者 Matthias Hussは、「我々は、人為的な気候変動の存在や深刻さに異議を唱えているわけではありません」とくぎを刺す。「人為的な温室効果による地球温暖化は、今日の氷河の後退に大きな影響を及ぼしています。われわれはただ、自然の気候変動も、これに匹敵するほど大きな影響を及ぼしているのかもしれない」といっているのです。

インスブルック大学（オーストリア）の氷河学者 Georg Kaserは、この研究には関与していないが、「今回の研究は、既知の気候現象が氷河の挙動に及ぼす影響を詳細に明らかにした、最初のものです」と評価する。「地元の人々にとって、氷河は大切な水源です。ですから、今回の研究がもたらした情報は非常に重要なのです」。

研究者は以前から、氷河は自然の気候変動に敏感に応答するのではないかと考えていた。その一例が大西洋数十年規模振動（AMO）という現象だ。AMOでは、北大西洋の表面海水温が約60年周期で1度近く上下する。AMOは海洋循環の変化によって引き起こされ、大西洋のハリケーンやヨーロッパの降水量に影響を及ぼすと考えられている。

世界の多くの氷河では、その後退と現地の気候の歴史的記録がほとんど残っておらず、氷河に及ぼす、自然の気候変動サイクルの影響と人為的な地球温暖化の影響を分けることができない。しかし、スイスアルプスでは比較的よく観測が行われていたため、Hussの研究チームは過去100年間に現地で行われた約1万の観測のデータを集めて、30の氷河の三次元コンピューター・モデルを構築することができた。彼らは、氷河の毎日の融解量、積雪量、氷と雪の体積の時系列観測データを、広く使用されているAMO指数と比較することで、自然の気候変動

が氷河に及ぼす影響を見積もった。その結果、個々の氷河の質量取支はまちまちだったが、全体としては、AMOの変動に続いて長期的な動向がみられることが明らかになった。

今回の研究の対象となった30の氷河では、1910年以来、合計13立方キロメートルの氷が消失した。これは、かつての体積の約50パーセントに相当する。AMOの寒冷相だった1910年代と1970年代後半には短期間だけ氷河の質量が増加したこともあった。しかし、温暖相の1940年代と1980年以降に気温が上昇し、雪の代わりに雨が増えたことで氷河が急激に減少した。そして、この減少の影響のほうが大きかったのだ。研究者たちは、これらの変化は、自然の気候変動サイクルと人為的な地球温暖化の影響が組み合わさったものであると考えている。ただし、今日の人為的温暖化の影響は、20世紀初頭に比べて大きくなっているようだ。

### 微妙な混ざり合い

スイスアルプス以外の氷河も20世紀に減少したが、Kaserによると、これも自然の気候変動が関係している可能性があるという。例えば、彼はタンザニアのキリマンジャロ山の氷河について調べているが、その結果は、氷河の劇的な後退の主要な原因が空気中の湿度の数十年規模の変動にあることを示唆しているという<sup>2</sup>。

「多くの人々が、氷河の後退は気温上昇のみに起因していると信じています



アレッチ氷河は1890年(左)から2005年(右)までの間に約10立方キロメートルの氷を失った。



が、そんな単純なことではないのです」と Kaser はいう。「氷河はさまざまな気候変動要因に敏感に応答します。これらの要因のすべてが地球温暖化の結果と考えることはできません。氷河学者は、50 年間以上前からこのことを認識しています」。

2010 年に入ってから、地球温暖化が氷河に及ぼす影響についての疑惑がマスコミに大きく取り上げられるようになった。気候変動に関する政府間パネル (IPCC; スイス・ジュネーブ) が 2007 年に発表した第四次評価報告書にある、ヒマラヤの氷河の大半が 2035 年までに消滅するおそれがあるという記述が間違っていることが明らかになったからだ<sup>3</sup>。激しい批判を受けた IPCC は、その信頼性につき精査されることになり、15 か国の科学アカデミーの代表からなる InterAcademy Council (オランダ・アムステルダム) が独自に再検討を行うことになった。

研究者たちは、今回のスイスの氷河に

関する研究結果が論争を再燃させるとは思っていない。ジュネーブ大学 (スイス) の地域気候モデルの作成者 Martin Beniston は、この研究にはかかわっていないが、「このような研究がなかつたら、気候科学は信用できないものになってしまいます。地球温暖化に関する問題は、人間の活動と自然の変化が微妙に混ざり合って引き起こされます。今回の新しい知見は、この複雑さをわかりやすく解説する絶好の機会なのです。それは、すべての気候変化が地球温暖化ガスの増加のみに起因しているわけではないことを認める、科学の誠実さの問題なのです」と語る。

Beniston は、自然の気候変動の関与を認めたからといって、氷河の後退の問題が小さくなることはないと付け加える。「地球温暖化ガスが氷河の後退に 50 パーセントしか関与していなかったとしても、50 パーセントもあれば、取るに足りない関与ということはできないのです」。Kaser によれば、ヒマラヤの氷河は、

IPCC の第四次調査報告書が最初に指摘したほど危機的な状態はないのかもしれないが、ほとんどの氷河が後退し始めているヨーロッパアルプスでは、今世紀末までに最大 90 パーセントの氷河が失われるおそれがあるという。

今回の研究論文の著者らは、慎重を期して、今後数十年のうちに AMO が寒冷相に転じて、アレッチ氷河をはじめとするアルプスの氷河の減少に猶予を与える可能性もあるといっている。だが、Beniston は懐疑的だ。「AMO が寒冷相に転じれば、氷河の後退が一時的にスローダウンすることはあるかもしれません。けれども長期的には、かなり弱い温室効果であっても、AMO による回復をしのぐ打撃をもたらすでしょう」。

(翻訳：三枝小夜子)

- Huss, M., Hock, R., Bauder, A. & Funk, M. *Geophys. Res. Lett.* **37**, L10501 (2010).
- Kaser, G., Hardy, D. R., Molg, T., Bradley, R. S. & Hyera, T. M. *Int. J. Climatol.* **24**, 329–339 (2004).
- Schiermeier, Q. *Nature* **463**, 276–277 (2010).

## 集約農法が気候変動を緩和する

### Intensive farming may ease climate change

JEFF TOLLEFSON 2010年6月17日号 Vol. 465 (853)  
[www.nature.com/news/2010/100615/full/465853a.html](http://www.nature.com/news/2010/100615/full/465853a.html)

農業の高収率化は、炭素排出量を抑制する。

多くの人は、化学肥料に依存した産業規模の現代農業を、必要悪と考えているかもしれない。こうしたやり方が、増え続ける人類を養うかたわら、環境に甚大な害を及ぼしているからだ。しかし、これに代わる農法はもっと好ましくないのかもしれない、と結論づける研究がスタンフォード大学 (米国カリフォルニア

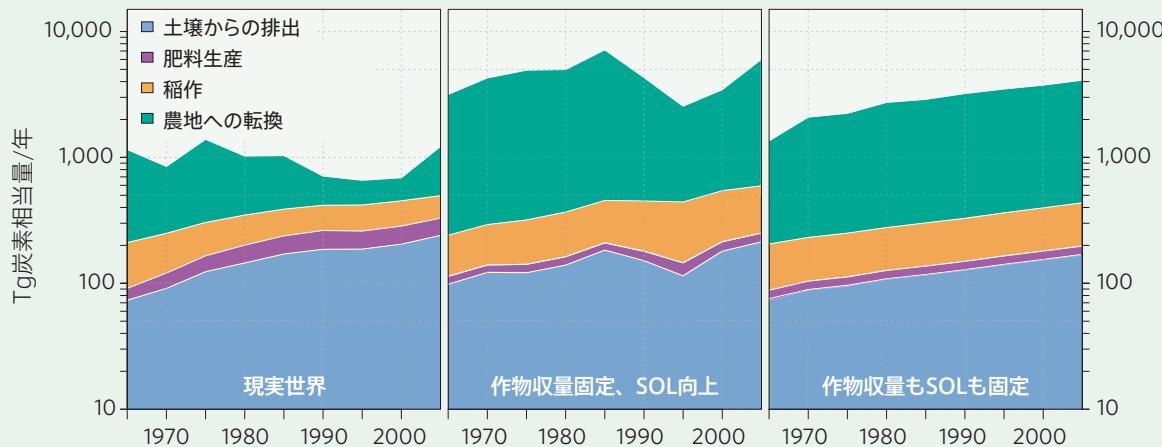
州) から発表された。生産性の低い農法はさらに多くの土地開墾を必要とするため自然を破壊し、温室効果ガスの排出量を増大させて生物多様性に大きなダメージを与えるというのだ。この研究結果は、農業の集約化を進めることが地球温暖化対策で重要な役割を果たすことを示唆している<sup>1</sup>。

研究チームは、「緑の革命」を終えた(集約農法が普及した)現実世界の温室効果ガス排出量のモデル化と、作物収量と生活水準を数十年前のレベルにとどめた場合と作物収量のみをとどめた場合という2つのシナリオのモデル化を行った。その結果、集約農法では温室効果ガス排出量は増加するが、天然の土壌、草原、森林に炭素を維持する土地保全の効果で「お釣り」がくることが示された。

この論文の著者の1人であり、スタンフォード大学で農業を研究する David Lobell は、「当初は、増加を続ける農業による温室効果ガス排出量より、土地利用による排出量の抑制が上回るのかどうか、実のところわかりませんでした」と打ち明ける。確かに温室効果ガスの排出量は、集約農法で利用される肥料により、最終的に増加した。合計すると、人類に

## 温室効果ガス排出量

2つのシナリオを現実世界と比較することにより、農業からの総炭素排出量が集約農法によって実際に抑制されていることが示唆された(SOL=生活水準)。



よる2005年の総排出量の10～12パーセントが農業によるものだった。

しかし、Lobellによれば、その收支は「黒字」になった、つまり「炭素排出抑制がかなり大きかった」というのだ。ほかのすべての条件が同じだとすると、1961年から2005年までの農業の進歩によりロシアより広い面積が開発から守られ、二酸化炭素590ギガトンに相当する排出量が抑制されたことがわかった。これは、産業革命が始まって以降の総排出量のほぼ3分の1に当たる。

作物収量の増大が森林その他の自然の土地を守るという考え方、緑の革命の父であり、米国の植物科学者だった故Norman Borlaugにさかのぼる。Lobellらは、Borlaug伝説として知られるこの効果について定量化を行い、それによる温室効果ガス排出削減量を試算した。

研究チームによれば、1961年から2005年までに、世界の人口は31億人から65億人へと111パーセント増加した一方、作物収量は135パーセント増加したという。しかしながら、増加した農地はわずか27パーセントで、9億6000万ヘクタールから約12億ヘクタールになつたにすぎない。

研究チームは、かつての技術で現在の

世界を養うのに必要な農地面積を算出しようと、まず、作物収量を1961年の水準に固定し人口と生活水準を一気に高めてみた。この場合、現実世界と比べると、肥料使用による排出量は少なかつたが、食糧生産に必要な農地の面積が18億ヘクタール近くも増大した。第二のシナリオでは、作物収量と生活水準とともに1961年のレベルに固定したところ、農地転換と温室効果ガス排出量に関する影響は、最初のシナリオのほぼ半分にとどまったが、それでも現実世界での実際の影響よりなお大きかった(上図「温室効果ガス排出量」を参照)。

最後に、研究チームは1961年以降、農業研究開発に投じられた約1兆2000億ドル(約10兆円)の資金を分析した。研究対象期間全体で平均すると、農産物収量への投資は、二酸化炭素1トン当たり約4ドルのコストで炭素の排出量を削減した。これは、ヨーロッパの炭素取引の枠組みによる排出権価格実勢値の4分の1未満だ。

作物収量が上昇し続ければ環境面のメリットはさらに大きくなる、と研究チームはいう。例えば、昨年、地球温暖化共同研究機構(米国メリーランド州カレッジパーク)の研究チームは、土地利用の

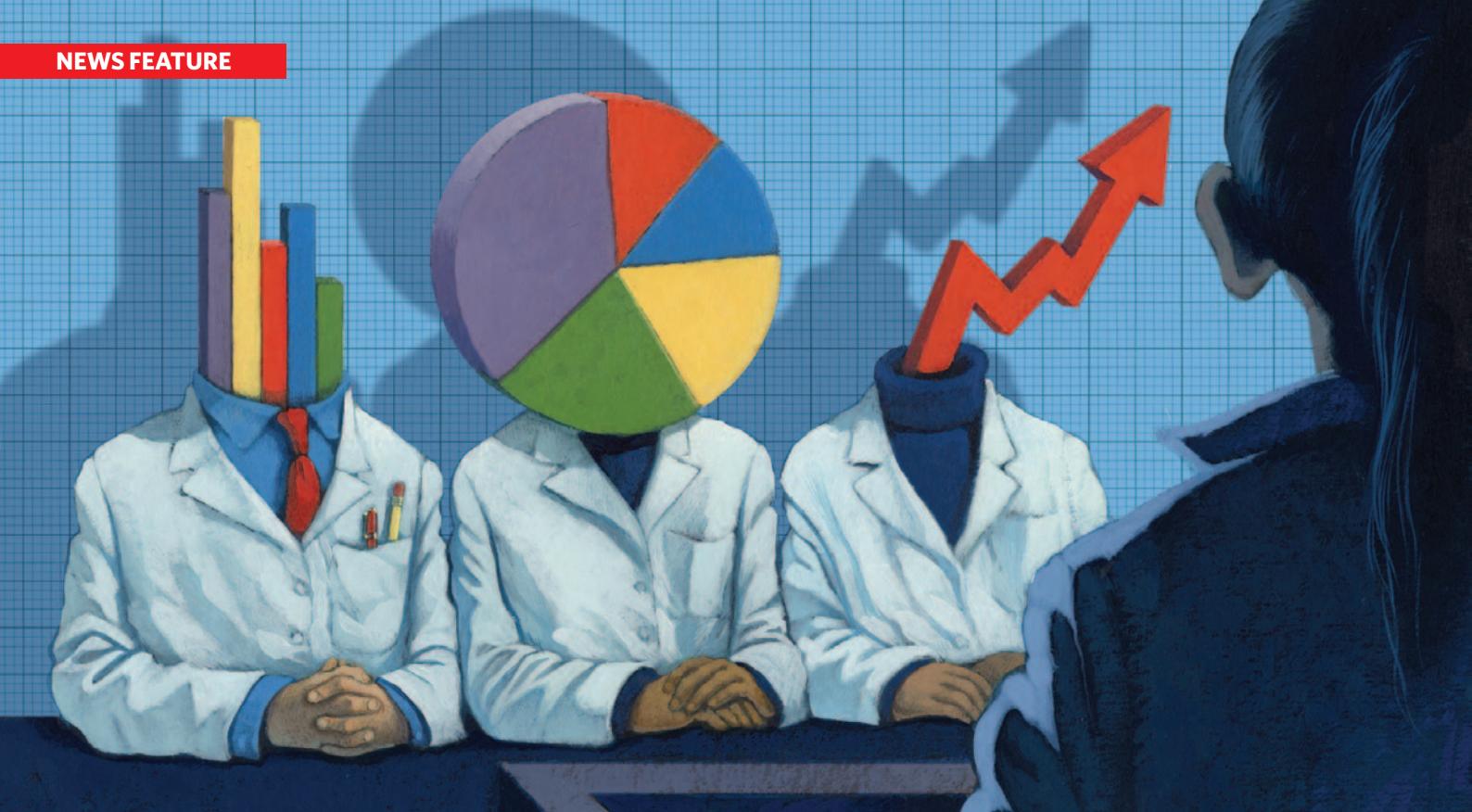
シナリオを分析し、作物収量の増加が風力や太陽光などのエネルギー技術に匹敵する排出量削減をもたらす可能性を明らかにした<sup>2</sup>。

ケンブリッジ大学(英国)の環境保全科学者Andrew Balmfordは、「この研究では、何よりも、農業研究への投資、特に開発途上国への投資が重要であるとしています」と語る。ミネソタ大学(米国セントポール)の生態学者David Tilmanが行っている分析によれば、第二の緑の革命が起こらないかぎり、増え続ける人類を養うためには、2050年までに約15億～20億ヘクタールを新たに開墾する必要があるという。しかし幸い、開発途上国にはまだ非効率的な農地があり収量増大が大いに見込める可能性がある、とTilmanは話す。「地球を救いたいなら、世界に食糧を供給しなければなりません。そして、それに最も貢献できるのは、こうした発展途上の最貧国なのです」。

(翻訳：小林盛方)

1. J.A. Burney et al. Proc. Natl Acad. Sci. USA **107**, 12052–12057 (2010).

2. M. Wise et al. Science **324**, 1183–1186 (2009).



## 業績評価は採用・昇進に影響するか？

**Do metrics matter?**

ALISON ABBOTT, DAVID CYRANOSKI, NICOLA JONES, BRENDAN MAHER,  
QUIRIN SCHIERMEIER, RICHARD VAN NOORDEN  
2010年6月17日号 Vol. 465 (860-862)

発表論文数、獲得助成金額といった定量的業績評価は、本当に、研究者の採用や昇進の際の判断基準となっているのだろうか。少なくとも応募する側の研究者はそう信じている。*Nature* は、独自のアンケート調査とインタビューを通じて、実際にどの程度利用されているかを探った。

研究者の業績を1つの数字で要約することなど不可能だ。研究者は膨大な時間を費やして、実験に関する問題を解決し、学生やポスドクを指導し、助成金の申請書の作成や審査をし、論文の執筆や査読をし、授業をし、会議の準備や組織をし、共同研究に参加し、同僚に助言をし、編集委員会の仕事をする。それ以外にも仕事はあるが、こうした努力や貢献は容易に定量化できるものではない。

しかし、研究者が研究機関での採用や昇進やテニュア（終身在職権）を希望するとき、こうした責務のうち、いったいどれが評価されるのだろうか？多くの研究者は、選考担当者が、容易に数値化できる少数の要素を重視しそぎることを心配している。それは例えば、発表論文数、論文が発表されたジャーナルのインパクトファクター、論文の被引用数、獲得した助成金の額、発表論文の定量的評

価 ( $h$  指数など) といったものである。

研究者は、こうした定量的業績評価が所属する機関で利用されていると思っているのだろうか。また、そうした慣行をどう思っているのだろうか。こうした疑問を明らかにするため、*Nature* は、2010年5月、150人の読者に対してアンケート調査を行った。同時に、どのような定量的業績評価が利用され、どの程度重視されているかを明らかにするため

## 【アンケートの意見より】

**アンケート回答者の 51% が、自分の所属機関が用いる定量的業績評価に合わせて研究行動を変えたと回答した。**

「評価につながらない可能性があるなら、重要な研究であってもやる気がしない」

「*h* 指数がもう少し上がりそうなときには、自分の論文が確実に引用されるようにするために、論文の査読を引き受けるかもしれない」

**アンケート回答者の 71% が、自分の所属機関の同僚が定量的業績評価システムに対して「する」をしないか心配していると回答した。**

「研究者の実績が定量的業績評価のみによって評価されるようになると知ったら、彼らはそれをねじ曲げてしまうかもしれない」

「論文を巡って多くの駆け引きがあり、質より量が注目される」

に、世界各国の約 30 の学術研究機関の学長、学部長、およびその他の選考担当者にインタビューを行った。その結果、定量的業績評価の受け止め方について、研究者と選考担当者の間にギャップがあるらしいことがわかった。

アンケートに回答した研究者の 4 分の 3 は、採用や昇進の判断に定量的業績評価が利用されていると信じており、また 70% 近くがテニュア審査や能力の評価に使用されていると信じていた（右下図「定量的業績評価に関する意識」参照）。「定量的業績評価の各項目を選考担当者がどの程度判断の参考にしていると思うか」という質問に対しては、回答者は、助成金の額と収入、発表論文数、インパクトファクターの高いジャーナルでの論文発表、発表論文の被引用数が最も重視されていると思うと答えた。そして、こうした基準の使われ方について、過半数（63%）の研究者が不満を感じていた（次ページ図「不満」参照）。米国のある生物学者は、「客観的にみて、その実、不完全なこれらの数字が、研究者の生産性の尺度として、あまりにも重視されすぎている」と記している。

回答者は、昔ながらの「定性的」な業績評価は、最近はあまり重視されないと思っていた。34 の評価項目のうち、「学部外または別の研究機関の同じ分野の研究者による研究の評価」は第 10 位、「同

じ分野の研究者からの推薦状」は第 12 位で、回答者の 20 ~ 30% は、自分が所属する研究機関はこうした要素を全く重視していないと回答した。

しかし、*Nature* がインタビューした選考担当者のほとんどは、採用、昇進、テニュア審査のいずれにおいても、回答者が思っているほどは定量的業績評価を重視していないと主張した。一部の選考担当者は、こうした審査の際には、論文引用数に基づく定量的業績評価は完全に無視し、候補者と同じ分野の別の研究機関の専門家からの推薦状を重視する、と答えた。スタンフォード大学（米国カリフォルニア州）の生物学部長 Robert Simoni は、「外部の研究者からの推薦状は、多くの場合、切り札になります」という。

世界各国の学術研究機関の選考担当者も同様の回答をした。オックスフォード大学（英国）数学物理学生命科学部長の Alex Halliday は、「定量的業績評価はあまり利用しません」という。「我々が重視するのは、推薦状、面接、履歴書と、発表論文に対する私たちの評価です」。

京都大学理学研究科長の吉川 研一は、「候補者が論文を発表したジャーナルのインパクトファクターを見るはありません」という。「インパクトファクターは、流行の論文、新興の研究分野、最近注目されているテーマが強調されているからです。京都大学は流行を追いかける

ようなことはしません」。

もちろん、定量的業績評価が完全に排除されることはない。「定性的」な推薦状にも、時として定量的業績評価が入り込むことがある。清华大学（中国・北京）の生命科学部長 Yigong Shi は、「我々は発表論文の記録は見ませんし、レビューにそれを求めることもありません」という。「けれども現実にはレビューがその記録を見て、影響を受けてしまうのです」。

## 矛盾したメッセージ

選考担当者は、「基本的に定量的業績評価は重視しないが、重視する場合もある」という、矛盾したメッセージを発しているのかもしれない。インペリアル・カレッジ・ロンドン（英国）の化学部長 Tom Welton は、「我々は毎年、学生による講義の評価、授業の負担量、獲得した助成金の額、発表論文数、*h* 指数など、さまざまな観点から研究者の平均的な実績を調査しています」という。研究者にはこの情報が与えられるが、Welton によると、それはあくまでも指針であり、「昇進のために飛び越えなければならないハードルではありません」という。しかし、そのような評価を行っていること自体が、選考の際にはこうした点を重視しているという印象を与える可能性がある。

マサチューセッツ工科大学（米国ケン

## 定量的業績評価に関する意識

質問：あなたが所属する研究機関や学部は、以下の判断にあたり、何らかの定量的業績評価を利用していると思いますか？



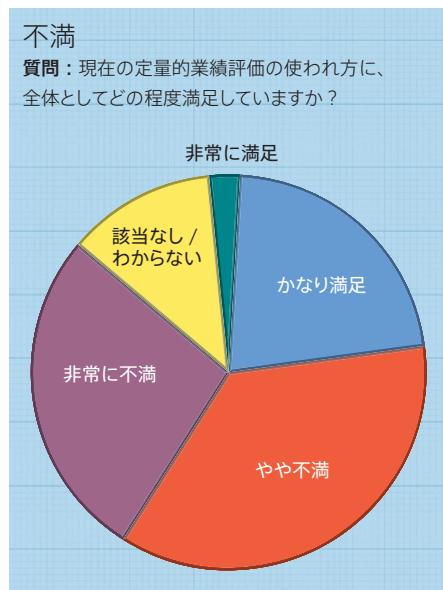
ブリッジ) 研究部長兼副学長の Claude Canizares は、「我々は引用指数や発表論文数には、ほとんど注目しません。全く見ないといつてもよいでしょう」という。しかし、「候補者がインパクトファクターの高いジャーナルで複数の論文を発表していたら、推薦状は増えるでしょう。その論文を審査した同じ分野の研究者が、高い評価を与えたからです」。

メッセージに矛盾が生じるもう 1 つの理由は、定量的業績評価の使い方が国によって大きく異なるからである(次ページコラム「世界各地の定量的業績評価」参照)。時には、分野ごとに違ってくることさえある。

アンケートに回答した研究者も選考担当者も、定量的業績評価には潜在的な落とし穴があると考えている。例えば回答者の 71% は、同じ基本的な研究について複数の論文を発表するなどの方法で、同僚が定量的業績評価をごまかすのではないかと心配している。一方、ほとんどの学部長や学長は、レビューがそうしたごまかしを見落とすことはないだろうとみており、あまり心配していないようだ。彼らが心配していたのはもっと微妙な影響だ。

アルバータ大学(カナダ・エドモントン)の理学部長 Gregory Taylor は、「発表論文数が多いことが重要だということは、それを基準に研究者の質を判断すると宣言したことになるのです」という。「それは非常に危険なやり方です。科学者がそんな基準に従って研究を進めるようになつたら、想像力を働かせる余地がなくなってしまうからです」。

実際、アンケートに回答した研究者の半数が、「自分の所属機関が用いる定量的業績評価に合わせて研究行動を変えた」と回答している。回答の多くは、「さらに仕事に励む」などの無害な変化であったが、なかには、科学研究の理想を損なうおそれのある回答もあった。米国のあるポスドクは、「評価につながらない可能性があるなら、重要な研究であつてもやる気がしない」と答えたのだ。



### コネより実績

アンケートに回答した研究者の多くが定量的業績評価の使われ方に不満をもつていたが、定量的業績評価を歓迎する研究者もいた。その多くが、定量的業績評価の透明性と客観性を高く評価していた。ヨーロッパのある研究機関の化学工学部長は、「定性的な業績評価よりも、定量的な業績評価のほうがいい」と書いた。また、所属機関での定量的業績評価の使われ方に不満を抱いていた研究者の中にも、定量的業績評価が十分に使われていないことや、使い方に一貫性がないことを理由に挙げる者がいた。米国のある神経科学教授は、「定量的業績評価は、カレッジや学長のレベルでは全く考慮されないことがあります」と不平を漏らした。Welton は、定量的業績評価を採用することには、若手研究者に対して、自分たちはコネより実績を重視しているとアピールすることにもなるという。

研究者の採用や昇進の判断に当たって定量的業績評価を考慮するという担当者は、これらの評価項目で研究者の実績を定義することに限界があるのはわかっていると強調する。研究者が論文を執筆するペースや引用を行う回数は、分野ごと、専門ごとに異なっている。正しい判断をするには、その分野を深く理解していることが重要であり、評価対象者を深く理

解していることはもっと重要である、と彼らはいう。ここから、より主観的な業績評価を用いる必要性が生じてくる。

意外だったのは、アンケートに回答した研究者が選考担当者に求めている改善が、定量的業績評価から脱却することではなかったことだ。Nature が回答者に業績評価項目のリストを渡し、研究者の評価に利用すべきだと思うものを 5 つ選んでもらったところ、最も多く選ばれたのは、「インパクトファクターが高いジャーナルに発表した論文の数」、「獲得した交付金の額」、「学生の指導」、「発表論文の引用数」の順だった。言い換えれば、アンケートに回答した研究者が自分たちの評価に利用されていると思っている項目は、彼らが評価に利用して欲しいと思っている項目とだいたい一致していたのだ。

研究者が選考担当者に求めているのは、定量的業績評価への依存を減らすことではなく、これらをもっと明確に、一貫性と透明性をもって利用することであるように思われる。ハワード・ヒューズ医学研究所(米国メリーランド州チェビーチェイス)の副所長兼最高科学責任者である Jack Dixon は、「引用指数を見るのは非常に興味深いですが、それに基づいて採用するかどうかを判断したり、唯一あるいは主要な評価基準にしたりするなら、自分の裁量で評価をする責任を放棄したことになります」という。彼は、自分たちの研究所ではそうした定量的業績評価の使用を控えているというが、それが完全に使われなくなることはないだろうと認めている。「すべての決定は、さまざまな評価基準に基づいて行われます。人々が期待するのは、レビューが十分に理解している評価基準に基づいて、公正な決定が行われることなのです」。

(翻訳：三枝小夜子)

Editorial (2010 年 6 月 17 日号 845 ページ) および定量的業績評価に関する特集 [www.nature.com/metrics](http://www.nature.com/metrics) を参照。

すべての調査結果は [go.nature.com/em7auj](http://go.nature.com/em7auj) にある。

## 世界各地の定量的業績評価

### 北米

米国の学術研究機関は、州立大学と私立大学からなる複雑なシステムであり、これらは互いにほとんど関係がない。研究者の採用、昇進、テニュア審査における評価システムはよく似ているが（多くの場合、その分野の専門家からの推薦状が最も大きな影響力をもつ）、*Nature* が 10 人近い学部長や学長にインタビューした結果には、かなりのばらつきがあった。

例えば、多くの大学が、候補者の助成金獲得能力に注目していた。なかには、助成金の金額よりも出所を気にする大学もあった。例えば、アリゾナ州立大学（米国テンピ）の Betty Capaldi 学長によると、米国科学財団（NSF）の助成金は競争率が高いため、米国立衛生研究所（NIH）の助成金よりも価値が高いと見なされるという。対照的に、マサチューセッツ工科大学（米国ケンブリッジ）理学部長の Marc Kastner は、研究者の昇進の審査に当たり、獲得した助成金の額を考慮することはほとんどないという。「助成金なしで国際科学コミュニティーに強い影響を及ぼした研究者がいたら、より大きな権限を与えます」。

カナダの学術研究機関の選考担当者の多くは、研究者を評価するときには、研究能力を 40%、教育能力を 40%、研究機関や科学コミュニティーへの貢献を 20% 考慮するという。けれども、*Nature* がインタビューした研究機関の大半は、この比率があまり厳密に守られていないことを認めている。特に教育能力の評価は軽視されやすく、北米の複数の選考担当者が、「影響力ある研究プログラムを進めている研究者なら教育能力が少々劣っていてもテニュアは得られるが、教育者としては優秀だが研究能力が劣っている研究者がテ

ニュアを得る可能性はほとんどありません」と回答した。

### ヨーロッパ

英国のカレッジや大学は、国が実施する研究評価（RAE）の対象となる。政府からの助成金は、学部ごとに評価された研究の質に基づいて決定される。そのため、どの研究機関も、研究者の発表論文に関する統計や学生による評価を含む定量的業績評価を実施している。マン彻スター大学（英国）技術革新経済発展学部長の Rod Coombs は、「大学の内部手続きが RAE の手続きによく似ていて、RAE の判断を模倣する傾向があるのは、意外なことではありません」という。現在、定量的業績評価をさらに重視する新しい研究評価システム（REF）が提案されているが、その詳細はまだ検討中である。

イタリアの大学には、全く異なる評価システムがある。学部も大学も、自分たちで教員を選ぶことができない。イタリア国内のすべての大学の教員を決めるために、関係する大学から 1 名ずつ代表を出して特別委員会を設置するのだ。下位の教員を選出する際には、委員会は、被引用数の合計、論文 1 本当たりの平均引用数、論文を発表したジャーナルのインパクトファクターなど、国際的に認められた定量的業績評価に基づいて判断しなければならない。ただし、これらの定量的業績評価をどの程度反映させるかは、法律で定められていない。一方で、イタリアの一部の研究機関には、より大きな独立性が認められている。IFOM 分子腫瘍学研究所（IFOM）の前所長の Pier Paolo di Fiore によると、インパクトファクターなどは参考にする程度だという。

ドイツでは、マックス・プランク研究所が運営する 80 の基礎研究機関には、

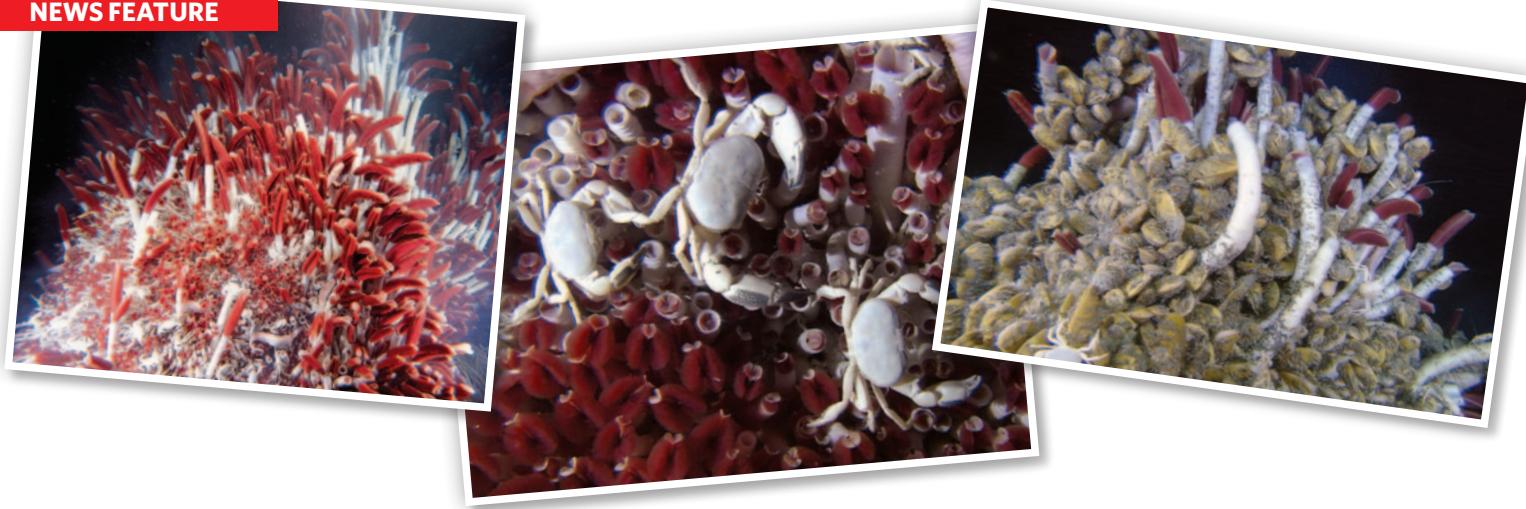
定量的業績評価と推薦状による、明確な評価システムがある。しかし、その他の研究機関には、研究者の実績を客観的に評価する方法に関するコンセンサスはほとんどない。

### アジア

中国、韓国、日本のほとんどの研究機関では、研究者の契約は 5 年間と短い。しかし、ほぼ自動的に更新されるため、事実上の終身雇用になっている。欠点は、昇進の予定を立てられないことだ。研究者は、ほかの研究者が研究所を去ったときか、死亡したときにしか、次のキャリアに移ることができない。

アジアでは定量的業績評価が重視されるが、中国の一部の大学は北米に似た評価方法を採用し、定量的業績評価から脱却し始めた。北京大学生命科学部長の Yi Rao も、清華大学生命科学部長 Yigong Shi も、自分たちの大学では、主として同じ分野の国際的な専門家からの推薦に基づいて候補者の選定を行っているという。東京工業大学理学部長の岡 真によると、国際経験があることも好印象を与えるという。

ほかの研究機関は、より多くの定量的業績評価を採用するようになってきている。国立中央大学（台湾・中壢市）の Ben Chao 地球科学部長は、この 5 年間で、システムはより厳格に、より定量的になったという。採用や昇進の候補者を評価するときには、研究能力が 50%、教育能力が 30%、コミュニティーへの貢献が 20% 考慮される。Chao によると、各カテゴリーに点数が付けられ、助教から准教授に昇進するためには最低得点をクリアする必要があるという。評価の際には、個人に関する定量的業績評価とともに、論文が発表されたジャーナルのインパクトファクターも考慮される。「このシステムで特に問題はありませんが、我々は常に、研究者の努力や貢献が数字に正しく反映されていない場合があることを思い知らされています」と彼はいう。



## 深海 — 死と再生のハーモニー

**Death and rebirth in the deep**

JANE QIU 2010年5月20日号 Vol. 465 (284-286)

海底火山の噴火は、そこに暮らす生命に壊滅的なダメージを与える。

だが、時としてその「死の世界」は、新しい命を生み出す「再生」の舞台となる。

ラトガース大学（米国ニュージャージー州ニューブランズウィック）の海洋生物学者 Richard Lutz たちが、その「ブリザード」に遭遇したのは、水深 2500 メートルの深海だった。時は 1991 年 4 月、場所はメキシコのアカブルコから 900 キロメートル沖。海底山脈がぱっくりと裂けて 1200 度の溶岩が水温 2 度の海水 中へ流れ出していた。まさに黙示録の世界が、そこに広がっていた。

研究チームは、潜水艇の位置を火山活動から安全な距離に保って観察していた。すると突然、微生物の破片からなる「スノー」が吹雪のように辺りに流れてきた。噴火場所に生息していた生物群集が壊滅的な被害を受けたのだ。この区域にある熱水噴出孔の開口部付近には細菌が繁殖し、海底から吐き出される硫化水素などの化学物質からエネルギーを取り出して、イガイ類をはじめとする二枚貝やカニ類、チューブワーム（ハオリムシ）の大群といった多様な生物からなる生態系に栄養分を与えていた。これら

のほぼすべてが、噴火によって被害を受けたのである。

しかし自然は、永久に生命を消し去ったのではなかった。ただリセットボタンを押しただけだった。そして幸運にも Lutz たちは、この東太平洋海膨、北緯 9 度 50 分の地点で、生物が海底火山噴出孔へ戻ってくるようすを観察できる機会に恵まれたのだ。研究チームはモニター機器を設置し、「死から再生へのドラマ」を記録した。やがて、調査開始から 15 年が過ぎ、自然は再び「実験」を行った。2006 年、研究チームが「Nine North」とよぶこの調査場所で、また噴火が起ったのである。

「ここは、深海で 1 回の完結した噴火サイクルが観察された唯一の場所です」と、Nine North で調査研究をしているウッズホール海洋研究所（WHOI；米国マサチューセッツ州）の生態学者、Lauren Mullineaux は話す。研究者たちは、Nine North のおかげで、熱水噴出孔に最初に戻ってくる生物種がわから

り、続いてどんどん再生する生物の「帰還パレード」を見物することができた。そして、前回の噴火から 4 年経った現在、もっと難しい疑問 — これらの生物がどこからやってくるのか、どのように旅をするのか、こうした生物の個体群は時間経過につれてどう変化していくのか — が解明されようとしている。

いや、それ以上に大きな課題を解決できるかもしれない。モントレー湾水族館研究所（米国カリフォルニア州モスランディング）の分子生態学者、Robert Vrijenhoek はいう。「生息環境の急転を通して、種分化と遺伝的多様性の一翼を担う進化圧を知ることができます」。研究者たちは、世界各地の深海底にさらに多くの熱水噴出孔を見つけ出し、起伏の激しい地形によって隔てられたり、距離的に遠く離れたりして散在する「生命の小島」の複雑な相互関連性を解明しようとしている。こうした場所では、無機物を吹き出す熱水噴出孔や圧倒されるような高低差のある海底山脈や渓谷を伴うな

ど、似たような地質学的特徴がみられるが、だからといって同じ生物種を共有しているとは限らない。研究者たちは、現在、その理由の解明に取りかかっている。

### 急速な遷移

Nine North という実験室から得られた最初の手がかりにより、急速に再生・再構築される生物群集のようすが明らかになった、と話すのは、Lutz と共同研究をする WHOI の海洋生物学者 Timothy Shank である（20 ページ図「熱水噴出孔の生物サイクル」を参照）。1991 年の海底火山噴火の直後、周囲には微生物の「スノー」が降り積もった。最初にそこに戻ってきたのは、牧草地のような微生物のマットをむしり食べる、エビやカニ、魚類などである。それらの中には熱水噴出孔起源のものも、そうでないものもいた。そして噴火後 1 年以内に、チューブワームが戻ってきた。最初にやつてきたチューブワームの一種、*Tevnia jerichonana* は、硫化物濃度の高い場所に繁茂した。さらに 1 年経ち、硫化物濃度が下がると、ジャイアントチューブワーム (*Riftia pachyptila*) が取って代わって繁茂した。

最大 2 メートルもある長く丈夫なチューブをもつジャイアントチューブワームは、数千個体にもなって、ほかの生物が生息できる豊かな環境を作り出す。やがて、そこに巻貝やさらに多くのカニ類、エビ類の大群がやってきた<sup>1</sup>。それは、今まで語られたことのない生物の移り変わりの物語だった。しかし、この熱水噴出孔を凌駕する生物たちが、同じ地域内からやってきたのか、それともはるか遠くからやってきたのかは不明だった。Shank によれば、この地域の生物種構成が噴火によって変化したのかどうかもわからないのだという。なぜなら、この領域についてこれまで詳細に調べられたことがなかったからだ。

そこで、海洋動物の幼生の専門家である Mullineaux の出番となった。熱水噴出孔のさまざまな生物は、成体になると

海底やほかの生物にしっかりと張り付いて生息する。しかし大半の幼生は発育初期の段階には自由に遊泳し、海流に乗って新しい別のすみかへ移動することができる。Mullineaux のチームは、1991 年の噴火以来ずっと Nine North で動物の幼生を調べており、さまざまな水深や海底で幼生を採集して、大まかな個体数や種の構成を把握してきた。

Mullineaux たちが 2010 年に発表した論文によれば<sup>2</sup>、Nine North の熱水噴出孔での幼生の種構成は、2006 年の噴火後に著しく変化した。噴火前にこの場所でよく見られた種の幼生は、噴火以降まるで見当たらなくなってしまった。再び棲み着く個体の供給源となりそうな生物群が、数キロメートル以内にあったにもかかわらずである。対照的に、それまでまれだった別の種が、噴火による壊滅的状況の後に豊富に見られるようになった。

ウッズホール研究所のチームは、Nine North で噴火以前にはまるで見られなかっただ、岩にしがみつく *Ctenopelta porifera* という巻貝の幼生も見つけた。この種が生息することが知られる最も近い熱水系は、ここから 300 キロメートル以上北にある。「熱水噴出孔に棲む幼生の移動距離は、我々の予想を大きく超えていました」と Mullineaux は話す。

Mullineaux のチームは 2001 年、寿命およそ 1 か月の幼生は、Nine North から最大 100 キロメートル先まで移動

できるが、大部分の幼生は 60 キロメートル以内の範囲に落ち着いただろうと予測した<sup>3</sup>。幼生はたとえそれ以上長生きしたとしても、さらに遠くまで移動することはできなかったと思われる。といふのも、その地域の海流は数週間ごとに海嶺の軸方向に沿って逆転しており、幼生の移動できる距離が制限されているからである。しかし、*C. porifera* がどうやって 300 キロメートルもの旅をしたのかは依然として謎に包まれていた。

### 複雑な流れ

研究チームは、海嶺の頂上部にある単一箇所での海流の測定値をもとに流量を算出し、海流の方向と速度はその場所全域で同じであると推測した。コロンビア大学ラモント・ドハティ地球観測所（米国ニューヨーク州パリセーズ）の海洋物理学者 Andreas Thurnherr は、「これは、海洋の多くの部分に当てはまる妥当な予想です。しかし Nine North では、地形によって海流の流れはかなり崩れてしまうのです」と話す。

そこで Thurnherr や Mullineaux たちは、海水の流れをもっと高精度で算出しようと、海嶺の頂上部に沿った箇所と両側面に 15 個の海流測定装置を設置した。また、海底と海嶺頂上部の間を行き来して、進みながらサンプリングする可動式の海流メーターを 2 台設置した。観測の結果、海嶺頂上に近づくにつれ海流が速くなり、海嶺の東側面の海流は南方向に流れているが、西側面の海流は北方向に流れていることを見つけた。

ところが意外なことに、最も海流の流れが強かったのは、海底に近いところで、秒速約 10 センチメートルであることがわかった<sup>4</sup>。これには研究チームも驚いた。「深海ではたいていもっと弱くて幅広い流れがみられます。つまり、我々の観測結果は著しく異なっていたのです」と Thurnherr はいう。これによって、*C. porifera* の幼生がどうやってこんなに遠くまで移動できたかも、説明できるかもしれない。



2009 年に撮影された海底火山噴火。

さらに、当時、Mullineaux の指導を受けていた大学院生の Diane Adams は、もう 1 つ意外な発見をした。水面渦（ここでは、海水密度の差異が地球の自転と相互作用して生じる渦のこと）が上を通過したときはいつでも、Nine North の幼生の個体数が減少していたのである。

研究チームは、水面渦が海洋底にまで達するとは思っていなかったが、水面渦の通過後まもなく、回転水流の痕跡を拾い上げることができた。「実際のところ、水面渦は幼生を海嶺から押し流して、幼生の分散に重要な役割を果たしている可能性があります」と Mullineaux は話す。

このような地質学上の特性と海流との相互作用には、化学合成生物の研究者たちも數十年前から関心をもってきた。「これは、自然災害後の生物再定着だけでなく、進化の過程での海洋生物どうしの結びつきにとっても重要です」と、マイアミ大学（米国フロリダ州）の海洋生物学者 Robert Cowen は話す。

研究者たちが知りたがっていることはいろいろある。海底では生物の生存が可

能な化学物質が供給される場所は距離を置いて点在しているのに、なぜ、棲み着いている生物種は独特だが重複しているのだろうか。これらの生物種はどこからやってきたのだろうか。これらが最初に現れるのは熱水噴出孔なのか、それともひょっとして、硫化水素やメタンなどの炭化水素が地球内部から漏れ出す浅海冷水湧出域なのだろうか。また、クジラ死骸から出る硫化物含有滲出物に頼って生活しているような生物群（鯨骨生物群集）は、化学合成生物群集どうしの結びつきにどういった関与をしているのだろうか。

こうした海洋生物種の進化上の分岐や収斂を考えるうえでカギとなるのは、海流や地質学的制約、そして数百万年にわたる海洋底の地形変化をうまく切り抜ける幼生の能力である。これだけの時間があれば、少数の幼生が移動するだけで、地理的に隔たった個体群の間で遺伝子交換は十分に可能である。「こうした結びつきの規模は驚くほど大きくなりうるのです」と、ペンシルベニア州立大学（米国ユニバーシティーパーク）の海洋生物学者 Charles Fisher は話す。

## 深海の長距離タクシー

例えば Fisher の研究チームは、メキシコ湾の冷水湧出域に生息する一部のチューブワーム種やイガイ種が、ナイジェリアの西岸沖に生息する同類種と遺伝的類縁関係があることを見つけている。これは、1 万キロメートル以上も離れた 2 つの地域の間で遺伝子交換があったことを意味する<sup>5</sup>。こうした結びつきは、未知のいくつかの段階を経て、何世代もかけて生じる。しかし研究者たちは、大西洋では赤道域深海のジェットとよばれる海流が生物群集間の結びつきに寄与しているのではないかと考えている。ジェットは、水深によって東へ流れたり西に流れたりしているため、幼生を東西両方向へ輸送できると考えられるからだ。

一方、かなり短い距離でも幼生の分散が遮断されている場合もあり、それが種分化につながっている。太平洋北東域では、長さ 450 キロメートルにわたるブランコ・トランスフォーム断層が、米国ワシントン州沖のファンデフカ海嶺系とオレゴン州沖のゴルダ海嶺系を切り離している（次ページ図「不思議な深海域」）。

### 熱水噴出孔の生物サイクル

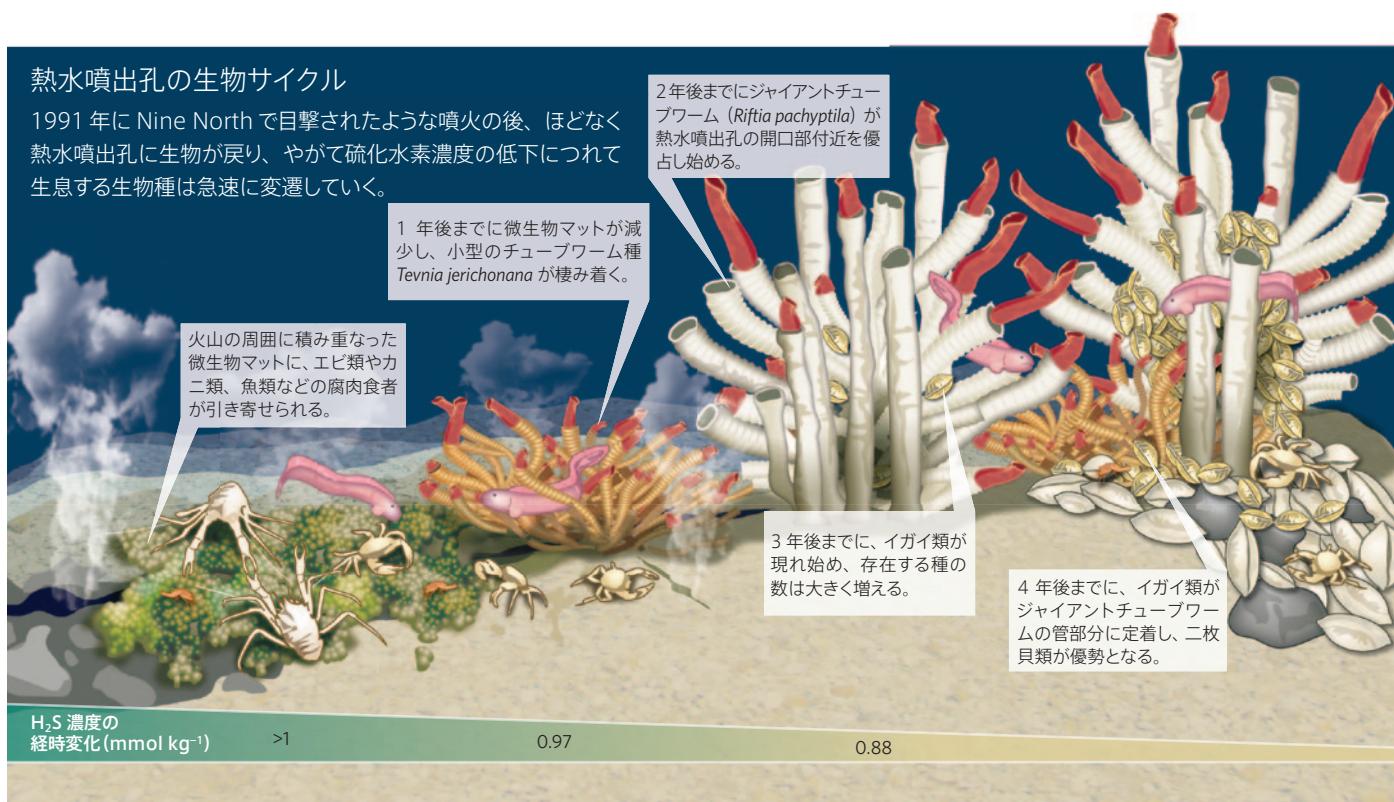
1991 年に Nine North で目撃されたような噴火の後、ほどなく熱水噴出孔に生物が戻り、やがて硫化水素濃度の低下について生息する生物種は急速に変遷していく。

1 年後までに微生物マットが減少し、小型のチューブワーム種 *Tevnia jerichonana* が棲み着く。

2 年後までにジャイアントチューブワーム (*Riftia pachyptila*) が熱水噴出孔の開口部付近を優占し始める。

3 年後までに、イガイ類が現れ始め、存在する種の数は大きく増える。

4 年後までに、イガイ類がジャイアントチューブワームの管部分に定着し、二枚貝類が優勢となる。



を参照)。Vrijenhoek の研究チームは、ファンデフカ海嶺とゴルダ海嶺に生息する同じ外見の巻貝が、類縁関係はあるが、およそ 1100 万年前に分岐した全く別の種であり、この分岐年代が断層形成の時期と一致することを見いだした<sup>6</sup>。

しかし Vrijenhoek よりれば、「こうした地理的制約がすべての動物に全く同じように作用したわけではない」のだという。例えば、断層の両端に棲むチューブワームは、遺伝学的にみて多少の違いはあるものの同一種である<sup>7</sup>。遺伝子の伝播は、この地域の海流と同じ方向である、北側から南側の個体群へと起こっている。「おそらくチューブワームの幼生は、十分長い寿命をもっているか、もしくは吹き出す海水柱の適切な箇所にとどまっているために長距離ジャンプができるのでしょうか」と彼はいう。

そのほかの場所でも、地質学的变化が同様に種の分離を生じた可能性がある。例えば、カリブ海の真東に位置する口ガチエフ熱水噴出孔は、太平洋でよく見られるオトヒメハマグリ科の貝が、大西洋中央海嶺の中で唯一生息することが知られる場所である。これらの貝は太平洋起源であり、500 万年前にパナマ地峡が隆起する前に、南北アメリカ間にあった「海の通路」を通り抜けて到来したのではないかと、一部の研究者はみている。

一方、デューク大学海洋研究所（米国ノースカロライナ州ビューフォート）の深海生物学者 Cindy Van Dover をはじめとするほかの海洋生物学者たちは、これらの貝はおそらく、現在考えられているよりも大西洋中央海嶺に広く生息しており、太平洋からきたものとは限らないと主張している。「我々はまだ、はつきりわかるほど十分な試料を入手していないだけなのです」。この言葉は、比較的歴史の浅いこの研究分野の限界をよく表現している。今のところ化学合成生物の分布に関しては、基礎的知識しか得られておらず、ましてや、群集の結びつきと種分化の基盤となる機構の解明など、ほど遠い話である<sup>8</sup>。

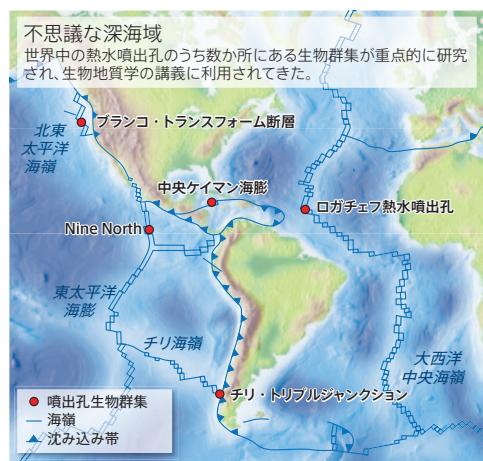
これまでのところ、世界中で見つかった熱水噴出孔はわずか 200 か所ほど、冷水湧出域は 20 ~ 30 か所しかない。「海洋の大部分は未調査なのです」と、英国立海洋学センター（サウサンプトン）の海洋生物学者 Paul Tyler。彼は、海洋の生物多様性を記録する世界的取り組みである海洋生物調査（Census of Marine Life; CoML）の「Biogeography of Deep-Water Chemosynthetic Ecosystems (ChEss; 深海化学合成生物生態系の生物地理学)」プログラムのリーダーを務めており、「プロジェクトの調査地点の中には、進化がどのように起こったかを解くための失われたパズルピースになるものがあります」と語る。しかし、そうした場所には北極海や南極海も含まれ、厚い氷や荒れ狂う海のために探索が非常に困難になっている。

そのほか、チリのトリプルジャンクションも調査地点となっている。ここでは、南米プレート、ナスカプレート、南極プレートの 3 つのテクトニック・プレートが 1 点で接しており、中央海嶺の 1 つであるチリ海嶺が南米プレート下へ沈み込んでいる。「この場所では、熱水噴出孔と冷水湧出域が非常に接近する可能性があります。そのおかげで、地理的な変数を導入しなくとも、熱水噴出孔の動物と冷水湧出域の動物の進化上の類縁関係の解明に取り組むことができます」と Tyler は話す。

## 未知の大物

カリブ海、なかでもグランドケイマン島近くの探査の進んでいない中央ケイマン海嶺は、深海生物学で最もやっかいな疑問のいくつかを解くうえでカギとなるかもしれない。この領域の水深ほぼ 5000 メートルにある熱水噴出孔は、未踏の極限環境にあるはずであり、新種の生物が見つかる可能性がある。またここは、熱水噴出孔の生物種の分岐や結びつきへのパナマ地峡の関与を調べることにもうつてつけの場所である。

中央ケイマン海嶺の動物相は、パナマ



地峡を挟んで反対側にある東太平洋海嶺の動物相により近いのだろうか、それとも大西洋中央海嶺の動物群に近いのだろうか。WHOI の海洋地球科学者で ChEss プログラムの副リーダーである Chris German が率いた、2009 年 10 月の調査では、中央ケイマン海嶺近くの熱水噴出孔のシグナルが検出された。続いて英国立海洋学センターが行った追跡調査では、それまでの記録で最深の水深 5000 メートルにある複数の熱水噴出孔が見つかった。そこで発見に関して、調査チームはほとんど何も公表していないようだが、それでもかかわらず German は驚くような結果を期待してほしいといっている。「2、3 年前には、地理的な制約や海流に関してはすべてわかつており、これから何が見つかるかも予測できると考えていました。しかし、我々はそれ以降今までずっと勘違いしていたのです」。

(翻訳：船田晶子)

Jane Qiu は、北京在住の *Nature* のライター。

- Shank, T. M. et al. *Deep Sea Res. II* **45**, 465–515 (1998).
- Mullineaux, L. S., Adams, D. K., Mills, S. W. & Beaulieu, S. E. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **107**, 7829–7834 (2010).
- Marsh, A. G., Mullineaux, L. S., Young, C. M. & Manahan, D. T. *Nature* **411**, 77–80 (2001).
- McGillivray, D. J., Lavelle, J. W., Thurnherr, A. M., Kosnyrev, V. K. & Mullineaux, L. S. *Deep-Sea Res. I* (in press).
- Cordes, E. E. et al. *Deep Sea Res. I* **54**, 637–653 (2007).
- Johnson, S. B., Young, C. R., Jones, W. J., Waren, A. & Vrijenhoek, R. C. *Biol. Bull.* **210**, 140–157 (2006).
- Young, C. R., Fujio, S. & Vrijenhoek, R. C. *Mol. Ecol.* **17**, 1718–1731 (2008).
- Van Dover, C., German, C. R., Speer, K. G., Parson, L. P. & Vrijenhoek, R. C. *Science* **295**, 1253–1257 (2002).

# 野生植物が複雑な季節変化を感じ取る仕組み

植物は、温度や日長の変化を感じて、ほぼ決まった季節に花を咲かせる。ただし、自然の気温変化はあいまいで、春なのに真冬日に逆戻りといったこともしばしば起きる。植物はこうした「季節の誤差」をどのようにとらえ、どのように処理しているのか。工藤洋博士らによって、そのメカニズムの一端が解明された。

くどうひろかず  
工藤 洋

—— Nature ダイジェスト：植物が季節を感じて花を咲かせる仕組みについて、これまでどのようなことがわかつて いたのでしょうか？

工藤：一口に花といっても、形態や生態は種によって実にさまざまです。実験室の研究では、アブラナ科のシロイヌナズナがよく使われています。1年生の草本で、世代期間が2か月と極めて短い、丈が10～30センチメートルと扱いやすい、遺伝子変異が容易、といった多くの利点をもつからです。さらに、ゲノムサイズが小さく、既に全ゲノムの解読が済んでいるため、配列や遺伝子機能に関する詳細なデータも集まっているという背景もあります。

植物が季節を感じて花を咲かせることを花成といいます。花成の仕組みは、このシロイヌナズナを用いて詳しく研究されており、60以上 の遺伝子が関与して

いること、これらの遺伝子のネットワークを動かす重要なシグナルが「日長」と「温度」の変化にあることなどがわかつています。シロイヌナズナでは、気温が高い間は、あるタンパク質（FLC 転写因子）が働くことで花成を抑制するブレーキがかけられています。逆に、気温の低い時期が続くと、このタンパク質の発現量が減り、ブレーキがゆるんで花成が進みます。一方で、日照時間が長くなると、葉に特定のタンパク質（CO タンパク質）が蓄積されるようになり、それが遺伝子ネットワークの下流にある別の遺伝子（FT 遺伝子など）の発現を促すことでも花成が進みます。つまり、野生のシロイヌナズナは、気温と日長の変化で春の到来を感じし、2～4月ごろに、白くて小さな花を咲かせていることになります。

## 環境誤差に対応する野生植物

—— 今回は、野生のハクサンハタザオを研究対象にされましたか。

私は、予測不能の複雑な環境下にある植物が、どのようにして季節を感じ、決まったころに花を咲かせるのかという点に興味をもっています。例えば春になったといっても、今週が先週よりも寒い、ときに真冬日になるといったことがよくあります。植物はこうした「環境の誤差」をどのように感知して、修正しているのか。その機能を検証したいと思ったのです。そのためには、実際に野外で自然に生育している植物をそのままの状態で研究することが重要と考えました。日本で

見られるシロイヌナズナは外来のものなので、シロイヌナズナの近縁種で各地に自生するハクサンハタザオを使うことにしたのです。

ハクサンハタザオは開けた場所に生育し、重金属耐性をもつて鉱山跡地に多く見られます。3月中旬から5月中旬まで、比較的長い期間、花を咲かせます。そのゲノムはシロイヌナズナによく似ており、今回の研究では、シロイヌナズナの情報がそのまま使えました。ハクサンハタザオは多年草なので、動物に食べられたり枯れたりしないかぎり、何年でも生き続けることができます。また、花が終わると茎の先端（茎頂）に葉をつけ、茎頂ごと地面に倒れて、そこから芽を出すというユニークな仕組みをもっています。つまり、花を咲かせる仕組みだけでなく、花をやめる仕組みをも研究することができる非常におもしろい植物です。種子でも増えますが、このようにしてクローネでも増えることで、生き延びるための保険がかけられているといえます。

—— 具体的にどのような調査や実験をされましたか。

ハクサンハタザオが自生している兵庫県多可町に調査地を作り、大型の株（クローネ）を6個体決めました。そして、2年間、1週間おきに計96回、若い葉を1個体当たり1枚ずつ採集し、実験室に持ち帰って *AhgFLC* という遺伝子（シロイヌナズナの FLC 遺伝子に相当）の発現を調べ続けました。今回は温度に着目し、その変化、*AhgFLC* の発現量、開花の関



写真1 兵庫県多可町の調査地に生育するハクサンハタザオの花。ハナバチの仲間などが訪花して花粉を媒介するため、決まった季節に開花することが繁殖を成功させるために重要である（左）。花茎の先端から葉が再展開するというおもしろい性質をもつ（右）。

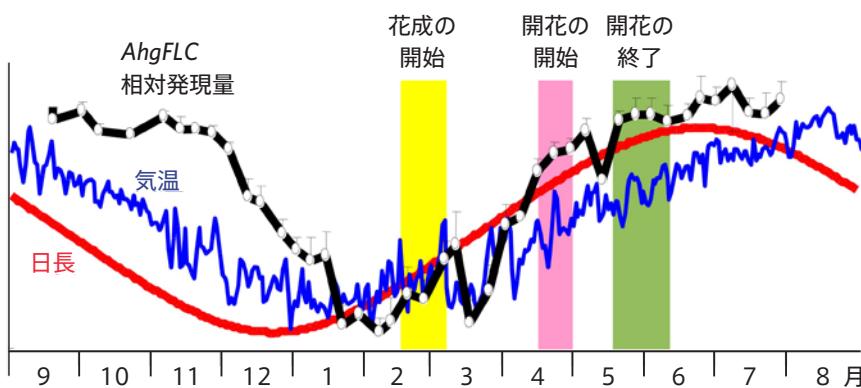


図 1 AhgFLC の季節変化。

AhgFLC の発現量は、12月ころからゆるやかに減り始め、2～3月にかけて最小になり、その後、花成と開花がみられた。春にゆるやかに増え、ピークに達すると開花が終了した。夏の間は高く保たれ、冬が近づくと再び減り始めるといったサイクルがみられた。

係をみようと思ったのです。私たちは、花成が多少の寒暖の差には惑わされないという事実から、ハクサンハタザオが「頑健性」とでもよぶべき仕組みをもち、直近の過去に経験した温度の情報をどこかに蓄積していると仮定しました。

#### 仮説との整合性は 80 パーセント以上

—— 解析の結果、どのようなことがわかったのでしょうか。

まず、ハクサンハタザオの AhgFLC にシロイヌナズナの FLC と同様の機能があることを確かめました。FLC はシロイヌナズナの植物体全体で発現し、葉において「花成特に重要な遺伝子 (FT 遺伝子)」の機能を抑制し、花成が進まないようにブレーキをかけますが、AhgFLC も同じように働いているようです。次に、AhgFLC の発現量の季節推移を分析しました。すると、12月にゆるやかに減り始め、2～3月にかけて最小になり(すなわちブレーキがゆるむ)、4～5月に向かってゆるやかに増え、その後、夏の間は高く保たれ、再び冬までにゆるやかに減る、といったサイクルの繰り返しであることがわかりました。つまり、AhgFLC は季節のおおまかな温度変化に応答して調節されているようだということがわかりました。

さらに、調査地の気温データを得て、気温変化と AhgFLC の発現量の変化を、

生態学で汎用される時系列解析を用いて解析してみました。「過去一定期間にわたる、ある一定（閾値）以下の温度を経験した量で、AhgFLC の発現量が決まる」という仮説を立て、温度変化の積算と AhgFLC の発現量の関係を「もっともらしく」説明できる閾値と期間を計算したのです。その結果、閾値として「10.5 度」が、期間として「過去 6 週間」という数値が割り出されました。このときの「もっともらしさ」は予想以上に高く、80 パーセントを超えていました。この値は、ほぼ完全に説明が付くというレベルです。私たちにとって驚くべき数値でした。

並行して、実験室の環境管理下でもハクサンハタザオを育て、同じように気温の変化と AhgFLC の発現の関係を調べました。その結果、野外では AhgFLC によるブレーキが、実際に必要な値よりも強くゆるめられている（遺伝子の発現が過度に抑制されている）ことがわかりました。花を咲かせるには細胞分裂やさまざまな代謝を促進しなくてはならない

ので、ある程度の温度が必要です。ところが、春に暖かくなつて AhgFLC によるブレーキがすぐに効いてしまうと、花成を進めることができなくなります。ブレーキを過度にゆるめておくことで、気温が上がってきたからといってすぐに花成が終了しないようにし、その間に花の細胞分裂や分化を進めるのではないかと考えられます。

—— 植物の新たな能力が解明できたわけですね。

そのとおりです。まだ詳細な検証はしていませんが、温度変化の情報は「AhgFLC 遺伝子周辺にある分子の状態」を変えることで記憶しているのではないかと考えています。遺伝子を束ねるタンパク質（ヒストン）が凝集すると遺伝子の発現（mRNA への転写）が抑制され、ゆるむと亢進する仕組み（エピジェネティック制御）が知られていますが、ハクサンハタザオの AhgFLC では、こうした機構が温度に反応して働いているのだと思います。

今後は、研究をさらに進め、一見何の変化もないようにみえる冬眠中の植物の状態変化を遺伝子発現の変化で解析するモデルを作りたいと考えています。完成すれば、分子メカニズムに基づくモデルとして、生息場所や植物種を問わずて開花予測に応用でき、農業や園芸、温暖化に対する植物の応答の予測などにも役立つと思います。

—— ありがとうございました。 ■

聞き手は、西村尚子（サイエンスライター）。

1. Aikawa,S., Kobayashi,M.J., Satake,A., Shimizu,K.K. and Kudoh,H. PNAS Early Edition (2010)

#### AUTHOR PROFILE

##### 工藤 洋

京都大学生態学研究センター分子生態部門教授。1994 年、京都大学大学院理学研究科で博士（理学）を取得。日本学術振興会海外特別研究員として米国スミソニアン環境研究所（SERC、1994～1996 年）に留学。その後、東京都立大学（現首都大学東京）大学院理学研究科助手（1996～2002 年）、神戸大学大学院理学研究科准教授（2002～2008 年）を経て、2008 年、京都大学生態学研究センター教授に着任。野生植物を対象に、分子生態学・エコゲノミクス研究を推進している。

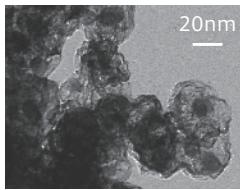
# 世界最高の蓄電ナノ材料を開発

松尾 義之（サイエンスライター）

**なあいかつひこ**  
東京農工大学大学院の直井勝彦教授の研究グループは、リン酸鉄リチウムを使って特殊なナノ構造を構成し、高出力のリチウムイオン電池用正極材料の開発に成功した。放電容量は世界最高の131ミリアンペア時／グラム（1分放電）で、従来のマサチューセッツ工科大学グループの結果<sup>1</sup>を3割以上も上回る。この成果は、国際電気自動車シンポジウムAABC2010と国際キャパシタ会議ICAC2010で発表された。

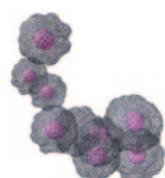
リチウムイオン二次電池やスーパーキャパシタは、電気自動車やハイブリッド車用の巨大市場が目の前にあり、今、世界中で開発・生産の大競争が展開されている。それとともに、技術や電極材料の面では、二次電池とキャパシタの垣根が重なり合いつつある。その象徴ともいえるのが、今回の直井教授らの成果だ（グループは、直井研究室、日本ケミコン（株）、同社の寄付講座である同大学院キャパシタテクノロジー講座、ケー・アンド・ダブル社からなる）。

電池もキャパシタも、電気を蓄えるデバイスという点では同じ。電池の場合は化学反応という形で蓄え、キャパシタはイオン分子が物理的に電荷を蓄える。



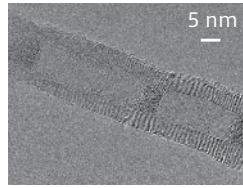
ホオズキ型リン酸鉄リチウム

ホオズキのように中空で球状カーボンの中にLiFePO<sub>4</sub>ナノ粒子が1粒ずつ入っている特殊な構造をとる。



ホオズキ型リン酸鉄リチウム

ホオズキのように中空で球状カーボンの中にLiFePO<sub>4</sub>ナノ粒子が1粒ずつ入っている特殊な構造をとる。



サヤエンドウ型リン酸鉄リチウム

サヤエンドウのようにカーボンナノファイバー内にLiFePO<sub>4</sub>ナノ粒子が入っている。

時間の大幅な短縮化、つまり高出力化が望まれてきた。今回、直井教授らは、この方向に向かって大きな飛躍を遂げたわけだ。ポイントは、LiFePO<sub>4</sub>の構造にある。使った素材は従来のものと変わらないが、その作り方と、できたナノ構造が決定的に違うのだ。

これを可能にしたのが、研究室発ベンチャーであるケー・アンド・ダブル社の独自技術だ。超遠心力場とゾルゲル法を用いて、炭素基材の中に、ナノレベルに粒子化したLiFePO<sub>4</sub>を高分散・複合化した。

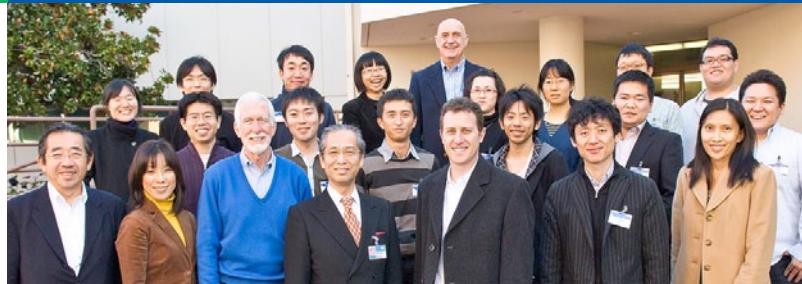
できた材料を電子顕微鏡で観察すると、LiFePO<sub>4</sub>ナノ粒子が炭素基材の中に1つずつ入っている。その入り方の違いから、直井教授は、ホオズキ型、サヤエンドウ型と区別しているが、放電容量を測定したところ、サヤエンドウ型で113、ホオズキ型で131（単位はともにミリアンペア時／グラム）という世界最高値が得られたわけだ。

「この出力密度は、電気二重層キャパシタと肩を並べる数字で、しかも、エネルギー密度はキャパシタの6倍以上です」と直井教授。キャパシタの方からいえば、高いエネルギー密度をもつ「第三世代キャパシタ」が誕生した、ともいえるのだ。

独創的な製造技術をもったグループは強い。2009年3月には、ナノ結晶化したチタン酸リチウムとカーボンナノファイバーを複合化し、これを負極にした「ナノハイブリッドキャパシタ」を実現、日本ケミコン（株）が2011年4月からサンプル出荷すると発表した。また今回、電池用の負極材料として酸化スズ(SnO<sub>2</sub>)を800回の充放電を繰り返した後でも、693ミリアンペア時／グラムという高い容量を維持するのにも成功した。

今回の成果については、論文をいつ発表するかも決まっていない。ただ、これだけ大きな成果であり、世界のトップクラスの学術ジャーナルから内々に執筆依頼が多数来ているようだ。

1. Kang, B., Ceder, G., *Nature* **458**, 190-193 (2009).



東京農工大学は、「農学と工学の二つの科学技術系領域を基本とし、産業技術とそれに関連する諸分野を対象とした教育・研究を推進し、それを通じて、人類の生存・繁栄と美しい地球の持続を実現する」ことを目的とし、全学的な理念として「**使命志向型教育研究－美しい地球持続のための全学的努力として－MORE SENSE: Mission Oriented Research and Education giving Synergy in Endeavors toward a Sustainable Earth**」を掲げ、地球規模の課題解決と安心で安全かつ健康な社会の構築、及びそれを担う人材育成を推進しています。

本学では、この基本理念を具現化するため、**大学戦略本部（本部長：学長）**を設置し、学長の強いリーダーシップのもと、教育研究の強化、国際化の推進、新規の人材養成システムの導入や分野横断的な研究プロジェクトの実施等に全学的に取り組む体制を整備しています。なお、本学が、基本理念に沿った強み分野として先端研究を推進してきた「環境」「低炭素」「エネルギー」「健康」の各分野では多数の研究成果を上げていますが、これは我が国の新成長戦略に掲げられている「ライフイノベーション」「グリーンイノベーション」の2つの研究領域と合致しています。

また、本学は実学志向を強く持っているため、「産学官連携」を「教育」と「研究」の両輪に対するエンジンとして位置づけており、企業との包括協定や共同研究などの組織的な連携活動を通して、先端研究の更なる進展、研究シーズの産業化による社会への還元、本学を中心としたオープンイノベーション

の展開や研究プロジェクト等への従事による実践型教育に積極的に取り組み、大学の推進力としてきました。

これらの取り組みが実を結び、**教員1名当たりの民間との共同研究費**は、昭和63年以降、常に全国トップ5に位置する水準であり、また本学の経常収益に対する**外部資金比率**は、**全国86国立大学中4位**（平成20年度）の実績を誇るなど、中規模の国立大学でありながら、産学官連携の実績では特に高い評価を得ています。

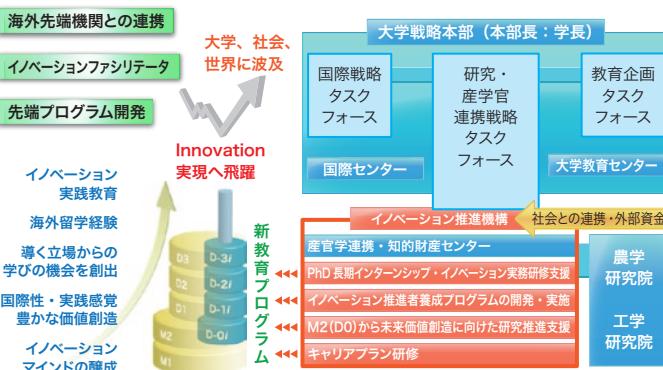
本学では、基本理念にも掲げている「**地球的規模の課題解決を担う人材育成**」を、大学が社会から期待されている役割の中でも特に重要なミッションの1つとして位置づけており、優秀な研究人材の養成に注力しています。これまでにも、科学技術振興調整費等を活用し、テニュアトラック制度、女性研究者養成制度などの新しい人材養成システムを先進的に導入し、優秀な若手研究者の養成及び裾野拡大を推進してきました。また、今後、我が国が国際社会においてイニシアティブを発揮してゆくためには、基盤となる科学技術力の向上に加え、多様な技術やアイデアを活用し、社会のニーズに対応した新たな価値の創造・提案ができる、**イノベーション創出への実現力を持った人材の養成**が重要な課題であると認識しています。このことから、本学では、平成22年4月に大学戦略本部の統括の下、**イノベーション推進機構**を設置し、大学院生へのイノベーション教育プログラムを実施するとともに、全学の教職員を対象として、海外機関での研修や意識啓発セミナー・ワークショップ等を実施して、教職員のスキルアップ、意識向上にも取り組んでいます。これにより、学生と教職員がイノベーション・マインドを共有し、大学院生が教育プログラムを通じて習得したイノベーションの方法・プロセスを日常の研究活動レベルにおいても常に意識、実践できる環境の整備を進めるなど、社会への新たな価値を創造・提案できるイノベーション人材の育成に大学全体で取り組んでいます。

さらに、若手研究者に対しては、独自の研究奨励金制度（JIRITSU）や大型研究プロジェクトへの雇用制度（スーパーRA）等を導入し、経済的に支援するとともに、自由な発想のもと主体的に研究課題等に取り組む機会を与えてきました。また、共同研究費の獲得が一定の水準を超えた若手研究者に対しては、インセンティブとして独自予算による研究ファンドの措置や研究スペースの優遇を行うなど、研究環境の整備にも積極的に取り組んでいます。

### イノベーション推進機構

未来価値の創造・提案・実践を完遂できる国際的高度研究人材の育成  
アカデミアからイノベーション実現へ飛躍するための力をつける  
新しい教育プログラムの推進

#### イノベーション推進者養成プログラムの内容



# 米国の学部学生の負担が増大

## US students pay for downturn

EMMA MARRIS 2010年6月10日号 Vol. 465 (678-679)  
[www.nature.com/news/2010/100609/full/465678a.html](http://www.nature.com/news/2010/100609/full/465678a.html)

世界の大学は経済不況によって試練に直面している。米国の公立大学の資金難は、授業料値上げによっても解消されず、学生は、苦境を実感している。

米国公立大学協会 (APLU; ワシントン D.C.) によれば、米国の学部学生 1700 万人の約 4 分の 3 が州立大学に通っている。その州立大学が今、世界不況によって痛手をこうむっている。経済危機が襲った 2008 年秋、多くの州政府は、直ちに予算カットに踏み切った。そして 2009 年の予算では、さらに痛みが増した。2009 年晚夏に APLU の会員大学のうちの 87 大学を対象に実施されたアンケート調査では、州からの補助金が削減されたと回答した大学が 85 パーセントを占め、授業料値上げと入学者定員増にもかかわらず財源が減少したと回答した大学が 50 パーセントに上った。

また、予算カットの結果、学部学生の教育に影響が出ていることを半数以上の大学が認めている。I クラス当たりの学生数は数百人規模に膨れ上がり、教育助手の人数が減り、体感型学習のできる実験室や一部の講座が丸ごと消滅し、数々の課程や学部学科が廃止された。これからも事態は悪化を続けると予想されている。景気回復の足取りは鈍く、州政府の税収回復は、景気回復の後になるのが必然だからだ。一方、2009 年に議会で承認された連邦政府の景気刺激策は、この秋には底をつくことになっている。

「ほとんどの学部学生にとって、これまでより大きな教室での講義となり、実験時間が減り、図書館の利用可能時間も減ることになるでしょう。希望する講座に入れない学生すら出てきます」。こう話すのは、APLU 副会長（学務担当）

の David Shulenburger だ。

特に、講座の人気が高まっているにもかかわらず、学部の予算が減少している大学では、多くの理学系学部学生が、苦境を体感している。

理学系学部学生の予算は近年になく逼迫した状況にあるが、その一方で、生命科学系の講義を受ける学生が急増している、とカリフォルニア大学バークレー校の Cathy Koshland 副学長（受講計画・施設担当）はいう。こうした学生は、米国での高齢化による医療関連の雇用の増加予測とバイオテクノロジー、バイオエネルギー、バイオ医薬品の台頭に引き寄せられている。「今ホットな研究分野には、生物学的要素が色濃くみられます」と Koshland は話す。

影響を受けるのは、生物学系の学科にとどまらない、と Koshland は続ける。「学生は、生物学の講義を受ける前に、ある程度の数学と化学の知識を身に着けていることが求められます」。そのため、こうした科目の教室でも過密状態が深刻化している。これがドミノ効果を生み出し、何年にもわたって大学の教育プログラムに影響を与えることがある。こうした過密化に対処するため、カリフォルニア大学バークレー校の各学部では、討論型講義の頻度を減らすか、クラスの大きさを 2 倍にした。また、場合によっては、講義と実験を切り離し、同じ学期中にその両方を取らなくてもよくなつた。

これと似た財源の縮小とクラスの過密化は、全国的にみられる。ワシントン大

学（シアトル）では、生物学の初級課程の学生数が 700 人に増えたため、化学の初級課程で、実験の半分を中止せざるを得なくなった。カレッジ・オブ・サザンネバダ（ネバダ州ラスベガス）では、24 時間体制で講座を増設し、深夜の講座も開設した。

教育内容が低下する一方で、大学の授業料は値上がりしている。ミズーリ科学技術大学（ローラ）では、I クラスの人数が増える一方で、授業料の値上げが行われ、多くの公立大学が不況以前から行っていたように、民間からの寄付金で州からの補助金の目減り分を補おうとしている。同大学の学長 John Carney は、こう話す。「時代がよかったころは、運営予算の約 60 パーセントを州からの補助金で賄っていましたが、それが今では約 27 パーセントに落ち込んでいます。質の高い大学教育プログラムを組むには、手品のトリックではなく、収入が必要なのです」。

米国の公立大学の授業料は、1999 年以降、毎年、インフレ率プラス約 5 パーセントの値上げが行われてきている（米国カレッジ・ボードによる）。米国の 4 年制公立大学に通う同一州内に居住する学生の年間授業料の平均額は 2009 年度には 7020 ドル（約 60 万円）に達し、学生とその親や大学助成プログラムを圧迫している。学生金融支援担当者全国協会の広報担当 Haley Chitty は、こう話す。「財政的援助の需要は大幅に増え、

### 予算削減の厳しい影響

米国の公立大学は、2009 年度の予算不足を解消するために以下の緊縮政策を実施した。



学費援助の資格を有する学生の数も急増しました」。

連邦ペル給付奨学金は、有資格者全員に対する助成をうたっているため、この助成金に対する連邦政府の支出が「爆発的に増加した」と Chitty は話す。しかし大学側としては、授業料値上げと学生を通じてペル給付奨学金を奪い取ること

だけでは、予算にあいた穴をふさぎきれない。2010 年度のペル給付奨学金の最高額は 5550 ドル（約 47 万円）だ。

不況によって学部学生の教育にはストレスと費用が多くかかるようになったが、ほとんどの大学管理者は、学士号は今でも「お値打ち品」だと主張している。「我が校の卒業生は年収 5 万～7 万

ドル（約 430 ～ 600 万円）を得ていますから、現在の授業料について弁解するつもりはありません」と Carney は語る。Shulenburger も同じ意見で、「これはたいへんなお買い得品です。長期的にみれば、学士号の取得より優れた投資はありません」と話している。 ■

（翻訳：菊川要、要約：編集部）

## ドイツ各州も大学予算に大なた

### German states wield the axe

QUIRIN SCHIERMEIER 2010 年 6 月 24 日号 Vol. 465 (966)  
[www.nature.com/news/2010/100622/full/465996a.html](http://www.nature.com/news/2010/100622/full/465996a.html)

**ドイツでは、科学研究を存続させるための連邦政府の努力とは裏腹に、一部の州政府が大学予算の削減に動いている。**

ドイツの連邦政府は、科学と高等教育を強力に支援しているが、その一方で、ドイツの公的財政の危機による犠牲者が始めた。財政状況の逼迫した州が、大学予算削減の準備に着手したのだ。

6 月中旬、シュレースヴィヒ＝ホルシュタイン州では、数千人が州都キールに集まり、まもなく実施されるリューベック大学医学部の閉鎖に反対する集会を開いた。「2011 年の冬学期から医学部の新入生の受け入れを中止せざるを得ないなんて言語道断です」。こう話すのは、同大学で構造ウイルス学を研究する Rolf Hilgenfeld だ。リューベック大学に限らず、ドイツ国内の大学の研究者は、今後の事態の悪化を心配している。

連邦政府は、5 月に発表した数十億ユーロ規模の公共支出削減から、ドイツ研究振興協会 (DFG) などの国家機関を除外した。しかし大学に対して資金助

成をしている州の多くは、助成予算の維持に四苦八苦している。例えばヘッセン州政府は、今後 5 年間、大学予算を毎年 3000 万ユーロ（約 34 億円）カットすることを 5 月に発表した。ザクセン州内の各大学も、同じような予算削減に直面している。

また、シュレースヴィヒ＝ホルシュタイン州政府は、公共支出を毎年 1 億 2500 万ユーロ（約 140 億円）削減して、迫り来る財政赤字の穴埋めに充てることを 5 月に発表した。これによって大打撃を受けるのが、科学と高等教育だ。リューベック大学の予算は、2015 年から年間予算総額の 30 パーセントに当たる 2400 万ユーロ（約 27 億円）が減額される。この予算削減で、医学部が閉鎖されるだけでなく、大学の存立自体が脅かされている、と同大学の研究者は話す。

リューベック大学は、計算医学と計算

生命科学の大学院を運営しており、炎症の医学研究に関する総額 3500 万ユーロ（約 40 億円）の「エクセレンス・クラスター」の一翼も担っている。これら 2 つのプログラムは、連邦政府から助成を受けている。いずれも廃止される可能性が高い、と同大学の Peter Dominiak 学長は語る。

提案された予算削減は、州議会の承認を必要とし、採決は 12 月に予定されている。しかし、一部の研究者は既に大学を離れる準備を始めている。「これによって大学は大きなダメージを受け、私が、ここで研究を続ける意味がなくなります」と神経科学者 Jan Born は話す。彼は、今年の 3 月に、睡眠と記憶の研究により、ドイツで最も栄誉あるライプニッツ賞を受賞し、250 万ユーロ（約 2 億 8000 万円）の研究助成金を受け取っている。

DFG と州立大学の協会であるドイツ大学長会議 (HRK) の両首脳は、リューベック大学の予算削減に懸念を示している。HRK の Margret Wintermantel 会長は、シュレースヴィヒ＝ホルシュタイン州の Peter Harry Carstensen 首相（ドイツキリスト教民主同盟）にあてた書簡の中で、こう述べている。「このような措置は、リューベック大学だけでなく、シュレースヴィヒ＝ホルシュタイン州、ひいてはドイツ全土に負の影響が広範囲に及ぶ失政といわざるを得ません」。 ■

（翻訳：菊川要）

## ゲノミクス

## もう1つのヒトゲノム

## The tale of our other genome

LIPING ZHAO 2010年6月17日号 Vol. 465 (879-880)

ヒトのマイクロバイオーム (microbiome) を解析するための基礎的研究として、  
「人体に常在する微生物全体の集合ゲノム」の塩基配列解読が行われた。  
この研究は、ヒトの健康と疾患の両方を理解するのに重要だ。

ヒトに2つのゲノムがあることをご存知だろうか。ヒトが遺伝によってゲノムを継承していることはよく知られているが、「人体に常在する外界由来の微生物全体がもつ遺伝情報の集合体」が第二のゲノムを構成していることについては、知らない人が多い。こうした常在の微生物群はひとまとめにして「マイクロバイオーム」とよばれ、普段は宿主であるヒトと仲よく平和に暮らしている。

この第二のヒトゲノムの解明をめざして、IHMC（国際ヒトマイクロバイオーム・コンソーシアム）が組織されている。その主な構成組織が、ヨーロッパの MetaHIT (Metagenomics of the Human Intestinal Tract: ヒト腸管メタゲノミクス) プロジェクトや、米国立衛生研究所 (NIH) の HMP (Human Microbiome Project: ヒトマイクロバイオーム・プロジェクト) などだ。

その HMP に属する HMIRSC (ヒトマイクロバイオーム・ジャンプスタート参照株コンソーシアム) の Nelson らの研究チームは、今回、IHMC として第二弾の成果を *Science*<sup>1</sup> に発表した。ヒトのマイクロバイオームから、細菌 178 種の参考ゲノム塩基配列を初めて解読したのである。第一弾の成果は、今年の3月に Qin らが *Nature* に発表している<sup>2</sup>。

人体に微生物が棲み着いているという理由だけで、それらの集合ゲノム（メタゲノム）を第二のゲノムと見なすべきで

はない、という意見もあるだろう。しかし実際のところ、微生物の貢献には驚くべきものがある。ヒトの腸内にはおよそ 1.5 キログラムの細菌が棲み着いており、ほかにも人体の外表面や内表面に常在する細菌がいる。また、人体に存在する細胞の総数のうち、ヒト細胞が占める割合はわずか 10 パーセントにすぎず、残りは共生細菌なのである<sup>3</sup>。

健康や疾患への関与についてみると、腸内細菌が産生した分子は、腸肝循環とよばれる組織を介した標準的なルートを通るか、もしくは部分的に損傷した腸壁をくぐり抜けて、血流に入る。有益な腸内細菌は、抗炎症因子や鎮痛作用のある化学物質、抗酸化物質やビタミン類を産生して、人体を守りはぐくむ。反対に、有害な細菌は、エネルギー代謝に関する遺伝子の調節を狂わせることがあり、また、DNA に変異を起こさせる物質を作り出して、神経系や免疫系に影響を及ぼすこともある。その結果、肥満や糖尿病、果てはがんまで、さまざまなか種類の慢性疾患を引き起こす<sup>4-6</sup>。このように共生細菌叢は、ヒト細胞と密接かつ特異的に接触して栄養素と代謝老廃物を交換することで、いわなればもう1つのヒト臓器を作り上げているわけだ。このように、細菌叢の集合ゲノムは我々の第二のゲノムとなっている。

ヒト腸内のマイクロバイオームには、約 1000 種の細菌が含まれると推定さ

れている。Qin ら<sup>2</sup> は、1 回の稼働で数百万の短い DNA リード（読み取った断片）が得られる次世代シーケンシング技術を用いて、ヨーロッパ人 124 人の便検体から、遺伝子 330 万個のカタログを作成した。この第二のヒトゲノムには、第一のヒトゲノムの 100 倍以上の遺伝子がコードされていることがわかった。しかし、マイクロバイオームの構成が変動すると健康にどう影響するかを解明するには、メタゲノム配列解読で得られたランダムなリードが、マイクロバイオームの既知の細菌種ゲノムのどこから由来するのか、きちんと対応させる必要がある。

そうした参照用のゲノム配列として、今回、Nelson ら<sup>1</sup> が初めて、微生物 178 種のゲノム参考配列の解読を報告したのだ。これらの微生物の大半は腸内のものだが、口腔や尿生殖路・膀胱、皮膚、気道、果ては血中に存在するものまである。この研究のおかげで、ヒトマイクロバイオームの参考ゲノム作成の水準が、大きく向上した。そのデータは現在、自由に利用することができる<sup>7</sup>。

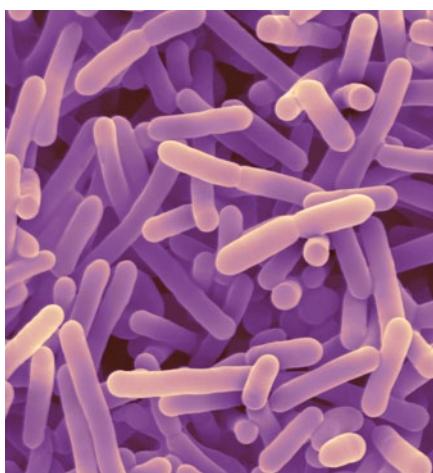
IHMC は、微生物 1000 種のゲノムからなる参考ゲノムセットの作成を目標としている。しかし、一見すると遠大なこの目標も、ヒトの健康に関連するマイクロバイオームの膨大な遺伝的多様性をとらえるには不十分かもしれない。1000 種の参考ゲノムセットで十分事足りるかどうかは、ランダムなメタゲノムリード

を、既知の細菌ゲノムにどれくらいうまく結びつけられるかにかかっている。

Nelson らは、中サイズの米国メタゲノムデータセット 2つを検証し、リードの 3 分の 1 が、配列解読した 178 菌種の参考ゲノムのいずれにも対応しないことを見つめた。多様な民族集団に由来する人々では、腸内マイクロバイオームもさまざまに異なっている可能性があり<sup>8</sup>、それを踏まえると、Nelson らの米国人を主とする参考ゲノムセットを、他集団由来のメタゲノムデータの解析に用いた場合には、参考ゲノムに対応させることのできないリードの割合はさらに高くなるかもしれない。

1 つの細菌種に属する株の間では、遺伝子の塩基配列は、最大で 30 パーセントも違う場合がありうる。ヒトとマウスのゲノムにはわずか 10 パーセントしか違いがないことを考えると、同一細菌種内の遺伝的、機能的な多様性は圧倒的に高いのかもしれない。実際 Nelson らは、同一種の異なる株の塩基配列を解読することで、新しい遺伝子の発見がかなり進む可能性があることを示している。Nelson ら<sup>1</sup>は、例えビフィズス菌の一種 *Bifidobacterium longum* で、ゲノムの違いが大きく、系統的に離れた株について 1 つだけ塩基配列を解読した。この方法によって、この細菌種の解読済み 4 株のパンゲノム (pan-genome) に、新しい遺伝子が 640 個も加わったのだ (パンゲノムとは、1 つの種で配列解読された複数の株に存在する全遺伝子のこと)。一方、これらの株のコアゲノムに含まれる遺伝子は、わずか 1430 個である (コアゲノムとは、1 つの種で配列解読された株のすべてが共有する遺伝子群のこと)。したがって、多くの腸内細菌種について、さらに多くの株の配列を解読すべきであり、そうすることで初めて、パンゲノムを読み解くことができる。

参考ゲノムセットを完成させるうえでネックになっているもう 1 つの問題は、ヒトの健康や疾患に関係する一部の微生物株が、培養では維持できないことだ。



腸内ビフィズス菌などの「第二のゲノム」から得られる情報は、医療の大きな助けとなるだろう。

過去の研究<sup>8</sup>で、腸内微生物叢の構成と、機能的メタゲノム解析法で得られた尿中代謝物のプロファイルの間で相関変動解析を行うことで、宿主の代謝に最も大きな影響を及ぼす微生物種を特定できることがわかっている。そこで 1 つの可能性として、そういう種の単一細胞を、顕微操作技術で塩基配列を目印に選別して集めることができる、遺伝子プローブの開発が考えられる。集められた細胞は、全ゲノムを增幅し、塩基配列を解読すること<sup>9</sup>で解析できるだろう。こうした手法によって、実験室で培養不可能な微生物株のための参考ゲノムを入手できると考えられる。

さらに多くの腸内細菌株が解読されるにつれて、さまざまな因子が、腸内マイクロバイオームの構成、ひいては健康と疾患に及ぼす影響をより正確に判定できるようになる。例えば食習慣は、腸内マイクロバイオームの構成を形作っているので、宿主のもつ遺伝学的特性の影響よりも優位に作用している可能性がある<sup>10</sup>。食習慣は、肥満や糖尿病、結腸がんなどの疾患発生率の増加の背景にある主要な因子<sup>11</sup>である。実際、ヒトが食物や薬剤を消化吸収した後、腸内細菌叢は個体数レベルを維持するために、どんな残存物でも利用する。何を食べるかによって、ヒト腸内でどの細菌種や株が繁

殖するかが決まり、これによって第二のゲノムの遺伝子構成や宿主の健康にも影響が出るわけだ。「食は人なり」の格言はまさに真実だといえるだろう。

Qin らが用いた高性能メタゲノム解析法<sup>2</sup>と、Nelson らの参考ゲノムセット<sup>1</sup>を組み合わせれば、食生活や生活スタイルが急激に変化している集団の腸内細菌について、その動的変化をモニターすることができる。さらに、そのモニター結果を、疾患にかかったことで生じる変化と結びつけることもできる。こうして得られた情報の中に、特定疾患の発症と腸内マイクロバイオームの特異的パターンが伴っているようなものがあれば、将来的には早期治療のためのバイオマーカーや治療の標的として利用できるだろう。

ヒトのマイクロバイオームの配列解読と特性解析は、気が遠くなるほどめんどうな作業である。しかしこれは、栄養の取り過ぎが慢性疾患につながる過程を解明するうえで、極めて重要な研究手段であると思われる。今後は、微生物学者とヒト遺伝学者の間のコミュニケーションが一層必要になるだろう。例えば、ゲノム全域に関する研究はヒト疾患の遺伝的基盤を明らかにするために行われているが、そこに腸内マイクロバイオーム、尿、血液の機能的メタゲノム解析も入れるべきではないだろうか。このようにして「第一のヒトゲノム」と「第二のヒトゲノム」の相互作用を解き明かすことで、新薬を開発するための新たな道が開けるかもしれない。

(翻訳：船田晶子)

Liping Zhao、上海交通大学生命科学技術学院（中国）。

1. Nelson, K. E. et al. *Science* **328**, 994–999 (2010).
2. Qin, J. et al. *Nature* **464**, 59–65 (2010).
3. Savage, D. C. *Annu. Rev. Microbiol.* **31**, 107–133 (1977).
4. Bäckhed, F., Manchester, J. K., Semenkovich, C. F. & Gordon, J. I. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **104**, 979–984 (2007).
5. Cani, P. D. et al. *Diabetes* **56**, 1761–1772 (2007).
6. Zhao, L. & Shen, J. J. *Biotechnol.* doi:10.1016/j.biote.2010.02.008 (2010).
7. Human Microbiome Project www.hmpdacc-resources.org/cgi-bin/hmp\_catalog/main.cgi?section=HmpSummary&page=showSummary
8. Li, M. et al. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **105**, 2117–2122 (2008).
9. Marcy, Y. et al. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **104**, 11889–11894 (2007).
10. Zhang, C. et al. *ISME J.* **4**, 232–241 (2010).
11. Campbell, T. C. & Campbell, T. M. *The China Study* (BenBella Books, 2005).

## 宇宙物理学

## 超新星は 2 つの顔をもつ

## The supernova has two faces

DANIEL KASEN 2010 年 7 月 1 日号 Vol. 466 (37-38)

星の死に方は、これまで考えられていたよりも種類が少ないことがわかった。

以前は異なるタイプと考えられていた 2 種類の超新星は、

新たな観測データと既存の観測データの分析から、

実際には 1 つのいびつなコインの裏表だったことがわかった。

一部の星は 10 億年あるいはそれ以上生きたのち、超新星爆発を起こしてわずか数秒間でばらばらになる。我々が目にするのは、最後のすさまじい一瞬ではなく、その直後のことだ。つまり、星の破片が作る光輝く雲であり、これは秒速 1 万キロメートルを超える速度で吐き出され、観測可能な宇宙の果てまでの半分を超える距離にあっても、我々はそれを見ることができる。東京大学数物連携宇宙研究機構 (IPMU) 特任助教の前田啓一<sup>さえだけいいち</sup>らは、今回、こうした超新星の残骸の分布を調べ、星の最後の瞬間が不均等で球対称ではないことを示し、Nature 2010 年 7 月 1 日号に報告した<sup>1</sup>。

前田らの研究は Ia 型超新星に関するものだ。Ia 型超新星は、高密度の炭素と酸素からなる白色矮星が核融合反応で起こす爆発と考えられており、伴星からの質量降着によって臨界質量に達する<sup>2</sup>。Ia 型超新星のピーク時の光度はほぼ一定しており（約  $10^{36}$  ワット）、超新星の見かけの明るさを測定すれば、超新星までの距離を推定できる。宇宙論研究者は Ia 型超新星を利用して、宇宙の大さやビッグバン以降の宇宙の拡大のようすを求めてきた。Ia 型超新星は、きちんと較正されれば約 10 パーセントの誤差で信頼できる距離指標として使える。しかし、宇宙論パラメーターの範囲を限定するには、さらに高い精度が欲しい。Ia 型超新星でそれができるかどうか

かについては、一部の宇宙物理学者は疑問視している。Ia 型超新星となる星は、銀河のさまざまな場所で生まれ、すさまじい嵐のような大爆発の中で死ぬ。そうした超新星がすべてよく似ていると考えることは可能なのだろうか。

実際のところ、すべてがよく似ているとはいえない。最近の観測から、Ia 型超新星にもさまざまなものがあることが明らかになった。宇宙物理学者にとっては興味深く、気になる研究結果だ。特に、一部の超新星は異常な高速で物質を放出する。これは、爆発から 1 週間ほど後のスペクトル線のドップラー偏移で測定されたものだ。これらの星の破片の外層は、典型的な超新星よりも 50 パーセントも速い速度で運動していた<sup>3,4</sup>。これらは Ia 型超新星のよりエネルギーの高い特殊型のように思える。こうした超新星は、低速で物質を放出する超新星よりも非常に明るいと思うかもしれないが、そういうわけではない。しかし、Ia 型超新星の光度に系統的な違いがあれば、その違いがたとえ小さくとも、正確な距離指標としては役に立たなくなってしまう可能性がある。

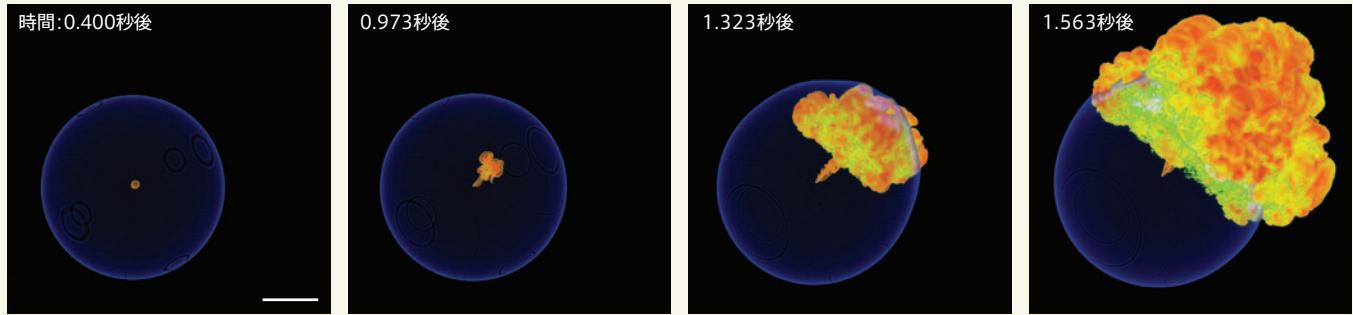
今回、前田らは、高速で物質を放出する超新星と低速で物質を放出する超新星の違いは、同じ超新星の 2 つの側面にすぎないと結論した<sup>1</sup>。前田らのデータは、超新星の爆発メカニズムは不均等であり、星の片側はもう片側よりも高速で

吹き飛ばされるという仮説を支持している。Ia 型超新星が高速のタイプか低速のタイプであるかは、その 2 つの面のどちらがたまたま我々に向いていたかにすぎないというわけだ。

この描像は、白色矮星はどのようにして爆発するかを説明する特定の理論モデルと一致しているように思える。その理論モデルによると、爆発直前の白色矮星はゆっくりと燃焼しつつ、熱核反応の暴走を引き起こす臨界温度に少しづつ近づいていくと考えられる<sup>5</sup>。星の中心核の中では対流は双極子的になる。熱いガスの泡は流れによって少しづつ表面へ向かって上昇した後、星を半周し、再び中心部へ沈み込む<sup>6,7</sup>。爆発を点火する最初のスパークはこの上昇流の中に捕らえられており、核融合反応は星の中心からわずかに離れて始まる。

点火場所のこの小さなずれが不均等な爆発をもたらす。核融合反応が野火のように広がるとき、炎と灰は浮力によってキノコ雲のように上昇する<sup>8-10</sup>（図 1）。浮力を得た火の玉は星の表面に近づいたところで爆轟を起こすかもしれない<sup>11-13</sup>。あるいは星から飛び出て表面のすぐ上で爆轟を起こすかもしれない<sup>14</sup>。どちらにしても、その結果は似ている。星の片側はもう片側よりも、より完全に燃焼して灰になり、より高速で放出される。

こうした不均等な爆発は、数年前から



**図 1. 不均等な超新星爆発。**前田らの Ia 型超新星の観測結果の分析は、超新星爆発に不均等をもたらすメカニズムがあることを示唆している<sup>1</sup>。ここに示したシミュレーション結果によると、白色矮星は中心からわずかに離れた場所で最初に点火し、熱核反応の炎が白色矮星を消滅させ始める。燃えた物質は熱く、浮力があるので炎と灰はすばやく上昇する。その結果、星の片側はもう 1 つの側よりもより完全に燃え、より高速で放出される。スケールバーは 1000 キロメートル。

計算機シミュレーションで予測され始めたが、それが現実世界で実際に起こっているのかどうか、確かめるのが難しかった。我々が観測する超新星は、少數の例外を除いて、その詳細を分解して観測するにはあまりにも遠く、地球からは構造のない光の点のように見えるからだ。超新星からの光は偏光していることが多く<sup>15</sup>、これは爆発が球対称ではないことを意味するが、破片の雲の正確な形状を推定するのは難しかった。

今回、前田らの研究チームの巧みな分析により、破片の雲の形状のあらましを知ることができた<sup>1</sup>。成功のカギは忍耐強さにあったようだ。天文学者たちはパラッチと似ていて、ピークを過ぎた燃え尽きた星には急速に興味を失ってしまい、カメラの向きを変えて新しい現象を追いかけがちだ。しかし、今回の新しい研究結果は、超新星をその最盛期の数年後に追跡調査することで得られた。数年後の超新星の明るさは 100 分の 1 以下に衰え、既に破片は広がってその密度は低くなり、半透明になっていた。だから、星の灰の雲の中をのぞき込み、物質の完全な分布を測定することができた。年老いた超新星はもはやその第二の顔を隠すことができなかつたのだ。

前田らは、超新星爆発のこの種のデータを新たな観測や既存の観測記録からた

くさん集め、その結果、Ia 型超新星の本当の姿が見えてきた<sup>1</sup>。放出した物質の速度が高速だった超新星の場合は、破片の中でも高速なものが地球に向かって運動していたらしい。放出した物質の速度が低速にみえた超新星の場合はその逆だ。破片の中でも高速なものが地球から見て向こう側へ運動していたため、爆発初期には、それが破片の雲に隠れて地球から見えなかつたらしい。違いは超新星の種類の違いではなく、観測する視点の違いだった。おそらく、これら超新星を地球から見たときの角度はランダムであるはずだ。観測から推定された非対称性は、中心から離れた爆発から予想される非対称性とおおむね一致しており、これは、理論モデルの優劣を決める手立てともなるかもしれない。

Ia 型超新星爆発にみられる多様性のすべてが、不均等な爆発で説明できるわけではない。少数の超新星の特色はこの画像では簡単には説明できない。それを説明するには、全く異なる爆発プロセスが必要になるかもしれないし、通常とは異なる星が元になっているのかもしれない<sup>16</sup>。しかし、少なくとも現在、超新星によくみられる違いの多くは、非対称性のためであることを観測も理論も示唆している<sup>17</sup>。超新星は地球から見てランダムな方向を向いているので、この効果が

超新星の輝度にもたらすすれば、系統的ではなく、統計的なもののはずだ。これは宇宙論研究者にとってうれしいニュースだ。たくさんの超新星を観測しさえすれば、さまざまな角度からまんべんなく観測したことになる。つまり、拡大する宇宙を測る私たちの物差しは、超新星がさまざまな顔をもっていることによって狂うことはない、ということだ。 ■

(翻訳：新庄直樹)

Daniel Kasen、カリフォルニア大学バークレー校物理学科およびローレンスバークレー国立研究所原子核科学研究部門（米国）。

1. Maeda, K. et al. *Nature* **466**, 82–85 (2010).
2. Hoyle, F. & Fowler, W. A. *Astrophys. J.* **132**, 565–590 (1960).
3. Branch, D., Drucker, W. & Jeffery, D. J. *Astrophys. J.* **330**, L117–L118 (1988).
4. Benetti, S. et al. *Astrophys. J.* **623**, 1011–1016 (2005).
5. Höflich, P. & Stein, J. *Astrophys. J.* **568**, 779–790 (2002).
6. Kuhlen, M., Woosley, S. E. & Glatzmaier, G. A. *Astrophys. J.* **640**, 407–416 (2006).
7. Zingale, M. et al. *Astrophys. J.* **704**, 196–210 (2009).
8. Niemeyer, J. C., Hillebrandt, W. & Woosley, S. E. *Astrophys. J.* **471**, 903–914 (1996).
9. Livne, E., Asida, S. M. & Höflich, P. *Astrophys. J.* **632**, 443–449 (2005).
10. Jordan, G. C. iV et al. *Astrophys. J.* **681**, 1448–1457 (2008).
11. Khokhlov, A. M. *Astron. Astrophys.* **245**, 114–128 (1991).
12. Livne, E. *Astrophys. J.* **527**, L97–L100 (1999).
13. Hillebrandt, W., Sim, S. A. & Röpke, F. K. *Astron. Astrophys.* **465**, L17–L20 (2007).
14. Plewa, T., Calder, A. C. & Lamb, D. Q. *Astrophys. J.* **612**, L37–L40 (2004).
15. Wang, L. & Wheeler, J. C. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* **46**, 433–474 (2008).
16. Howell, D. A. et al. *Nature* **443**, 308–311 (2006).
17. Kasen, D., Röpke, F. K. & Woosley, S. E. *Nature* **460**, 869–872 (2009).



英国学士院設立 250 周年記念行事。

## 創立 350 周年を迎えた英國学士院

### In the best company

COLIN MACILWAIN 2010年6月24日号 Vol. 465 (1002-1004)

**世界の国立科学アカデミーの祖である英國学士院は、2010年に設立 350 周年を迎え、6 月下旬から 10 日間にわたって大規模な祭典を開催した。**

**各国のエリート学術団体と同じく、英國学士院も、その存在意義と影響力を維持するために、さまざまな努力を重ねている。**

2010年6月23日、エリザベス女王は、英國で最も優れた数百人の科学者と共に、英國学士院の設立350周年を記念する夏の祭典を祝った。英國学士院の正式名称は「自然についての知識を改善するためのロンドン王立協会」である。

10日間の祭典には、有名人の講演会、討論会、生放送のテレビ番組、科学の成果や英國学士院の貢献を説明する展示など、一般の人々が参加できるプログラムも数多く用意された。会場となったのは、ロンドンの芸術の中心地であり、観光地としても大人気のサウスバンク。英國学士院がこの場所を選んだことは、自分たちが排他的でもお高くとまっているわけではなく、時代の先端をゆく、協調性に富んだ重要な団体だという強いアピールとなっている。

科学アカデミーの多くは、一握りのエリートが科学研究に従事していた時代に

設立された団体が、政府の科学政策に対して陰から助言するようになったものである。今日の科学アカデミーは、はるかに多様なコミュニティを代表しており、市民に対しても直接メッセージを発することが求められている。

英國学士院をはじめとする各国の科学アカデミーは、それぞれ独自のやり方で、21世紀の諸問題に立ち向かっている。例えば、気候変動、生殖生物学、遺伝子組み換え食品など、意見が激しく対立しがちな問題については、パトロンや会員の機嫌を損ねることなく、冷静な助言をしなければならない。また、公的資金に強く依存していても、政府とは独立の団体のような顔をしていなければならない。さらに、科学的名声に基づく伝統的な会員選出方法を維持しながら、科学コミュニティにおける民族的多様性の高まりや女性の進出にも対応していく必要がある。

現在、100か国以上に国立の科学アカデミーがある。2010年4月に設立されたばかりのエチオピア科学アカデミー（アシス・アベバ）から、1100人のフルタイムの職員を擁し、政府のために毎年200種類の報告書を作成する米国科学アカデミー（NAS；ワシントンD.C.）まで、その規模はさまざまだ。

NASの前会長であるBruce Albertsは、「科学アカデミーの役割は、科学コミュニティの総意を提示することにあります」と説明する。しかし、問題が広範にわたっているうえ、科学コミュニティ内の視点も多様であり、それは「非常に難しいこと」でもあるという。

英國学士院とNASは世界最大規模の独立の科学アカデミーだが、運営の仕方は対照的だ。英國学士院は科学者が自発的に設立したクラブであり、政府の中で公式の役割を負っているわけではない。一方、NASは、米国議会から要請があつたときに助言をするために、国からの許可に基づいて設立された団体である（共産主義国や旧共産主義国には第三の種類のアカデミーがあり、事実上の国家機関として、政府の科学プログラムを多数進めている。中国科学院はその例である）。

英國学士院とNASの運営形態の違いは、それぞれの歴史からも理解できる。NASは、多くの国立科学アカデミーと同様、1人のパトロンによって設立された。その人物はエイブラハム・リンカーン大統領で、南北戦争のただ中の、1863年のことだった。これに対して英國学士院は、科学者自らが科学の振興を図るために1660年に設立した。とはいえる、彼らは当時の王政復古を強く支持しており、1662年にはチャールズ2世の勅許状を得ている。

英國学士院は、早くから、王や国家ではなく、科学的真実に忠誠を誓うことを表明した。例えば、避雷針の形を巡る議論では、植民地の反乱を扇動した会員ベンジャミン・フランクリンの肩をもち、ジョージ3世を怒らせたことがある。

英國学士院は独自の路線を歩み続けて

きた。ほかの国立科学アカデミーと同様、自ら規則を制定し、その会員を選出してきた。ただし、この方式は「エリート主義」と批判されている。

2005年に会長に就任したMartin Reesは、「我々は、エリート主義を貫くことにプライドをもっています。英國学士院の会員になれる科学者は非常に少ないからです」と語る。「しかし我々は、エリートにふさわしい行動をしなければならないという意味においてのみ、エリートなのです」。

### 高い水準を維持する

英國学士院は、毎年、複雑な過程で新会員を選出することで、その高い水準を維持してきた。このプロセスは、1847年に選挙によって会員を選出するようになってから発展してきたものである。新会員の選出に当たっては、まず会員が候補者の推薦を行う。候補者の名は分野別委員会に送られ、審査によって各分野の有力候補がしぶり込まれる。その有力候補に対してのみ、全会員が投票を行い、新会員が選出される。要するに、推薦された候補者全員が投票対象となるわけではないのだ。

委員会は新規選出会員の平均年齢を下げようと努力している。オックスフォード大学（英國）の動物学者で、英國学士院科学政策顧問団長であるJohn Krebsは、「最近では、40代半ばの中堅の人が選ばれるケースが多くなっています」と指摘する。ちなみに彼自身も、1984年

に39歳の若さで会員に選出された。

役職も、会員からの推薦状に基づいて決められる。2010年4月には、200人近くから推薦を受けたロックフェラー大学学長の細胞生物学者Paul Nurseが、年末にReesから会長職を引き継ぐことに決まった。

Nurseが引き継ぐ帝国には2つの主要な部門がある。英國学士院の仕事の大半は、各種の賞と名誉ある305の研究助成金を通じて若手研究者を支援することにある。これには、政府から受け取る5200万ポンド（約70億円）の一括補助金が使われる。このほかに、英國学士院の基金もある。今年は、科学政策関連およびその他の活動に1300万ポンド（約18億円）が支出され、英國学士院の公的な顔となる声明や報告書が作成された。

ロンドン大学クイーンメアリー校の歴史学者で、英國政治史の権威であるPeter Hennessyはいう。「英國学士院は政府上層部に対して大きな影響力を及ぼしていました。判断の基準となる機関だと見なされてきたからです。英國学士院の意見には、人々は必ず耳を傾けます」。

1992～1994年に保守党内閣で科学大臣を務めたWilliam Waldegraveもこれに同意する。彼は特に、科学アドバイザーの選任に当たって英國学士院の力を借りたという。「その威光は絶大で、発言は常に尊重されます」。

Waldegraveの在任中から、英國学士院は、科学の専門家としての立場から、

社会問題に積極的に関与するようになった。その変化には、遺伝子組み換え食品と牛海綿状脳症（BSE）が関係していた。この2つの問題は、科学に対する市民の信頼を揺るがせただけでなく、科学自体の自信さえもぐらつかせた。

この事態に対処するため、英國学士院が2000年に第58代会長として選出したのが、物理学者から生態学者に転じたオーストラリア出身のRobert Mayだった。Krebsによると、過去に英國政府の首席科学顧問を務めたこともあるMayは、外の世界に無関心だった英國学士院を、社会的影響力をもつ勢力に変容させたという。Mayは、政府での経験から、「英國学士院のように政府から独立した組織の声が、現実的な影響力へと結びつく仕組みをよく理解していました」とKrebsはいう。

ReesはMayほど能弁ではないが、マスコミ通の科学者なので、市民の目は常に英國学士院に向くようになった。英國学士院会長に就任した彼は、Krebsのグループの助言を受けて、科学政策センターを設立した。これは、科学政策に関する問題を検討し、英國学士院として報告書を作成すべき問題を決定する機関である。

科学政策センターの最初の刊行物の1つは地球工学に関する報告書で、2009年9月に発表された。センター長のJames Wilsdonによると、この報告書が「議論の流れを変えるのを助け、英國研究評議会が人工降雨のための「雲の種まき」をはじめとするいくつかの地球

### 2つのエリート集団

英國学士院と米国科学アカデミー（NAS）は、最も規模が大きく、最も権威ある国立科学アカデミーの双璧である。

#### 英國学士院

会員	1354人
外国人会員	142人
2008/2009年度予算	6300万ポンド（約85億円）
職員	140人
2010年の新会員	44人
2010年の新会員における女性の割合	11%
存命中のノーベル賞受賞者	25人（および51人の外国人会員）

#### 米国科学アカデミー（NAS）

会員	2166人
外国人会員	408人
2009年予算	1億7600万ポンド*（約240億円）
職員	1100人*
2010年の新会員	72人
2010年の新会員における女性の割合	21%
存命中のノーベル賞受賞者	140人（および60人の外国人会員）

\* 米国科学アカデミー、米国研究評議会、米国工学アカデミー、米国医学研究所の数字を合計したもの。

## 英国学士院の350年の歩み

1660年

クリストファー・レンやロバート・ボイルなど12人の研究者がグレシャムカレッジで酒を飲んでいたときに、「物理-数学実験学習の振興を目的とする大学」を設立することを決意。



1663年

「自然についての知識を改善するためのロンドン王立協会」という団体名が勅許状に記される。



1752年

ベンジャミン・フランクリンが英国学士院のために有名な風の実験を行う。その20年後、避雷針に最適な形を巡り、英国学士院を二分する論争が起きた。



1847年

裕福なアマチュアを事実上締め出すため、毎年、科学的名声に基づき、限られた人数の新会員を選出することに決まる。

1850年

私的な科学研究のために、英国政府から初めて学士院に1000ポンドの補助金が給付される。

1900年

ある国際会議で、英国学士院が英国の人文科学分野の代表となることを辞退し、自然科学以外の分野を代表するブリティッシュ・アカデミーが設立されるきっかけとなる。



1960年

英国学士院設立300周年記念式典にエリザベス女王が臨席。

2010年

英国学士院設立350周年を記念した夏の祭典を開催。



工学的アプローチについて初めて公式に検討した。また、マスコミもまじめに議論するようになったという。

Reesは、英国学士院設立350周年を利用して、BBCなどのテレビ局に多数のドキュメンタリー番組を製作させた。その多くは、過去および現在の英国学士院会員の業績を称えるものだった（英国学士院と*Nature*は、夏の祭典の一環として、データストレージから科学者のキャリアまで、今後50年間の科学の展望を論じる会議を7月1日に共同開催した）。Reesはまた、英国学士院の基金として、個人と企業から1億ポンド（約135億円）の寄付を集め、額をほぼ倍増させた。

Rees会長のやり方には批判もある。英国学士院は研究資金の確保を重視しそうなり、政治的にやっかいな問題から手を引いてしまったという人もいる。

4月に、英国最大の学術団体である英國王立化学会（ロンドン）の代表執行役Richard Pikeは、英国学士院に予算に関する権限を与えるという政府案を批判し、英国学士院の政府からの独立性に疑問を投げかけた。「政府の科学政策に対してもっと毅然とした態度をとれるはずなのに、そうしていないようにみえます」とPikeはいう。一方、Reesは、こんな批判をしているのはPikeだけであり、ほかの人々は、英国学士院の科学政策部門は政府から独立していると考えていると反論する。

### 世界の動向

大西洋の向こう側の米国科学アカデミー（NAS）は、政府ともっと緊密に結びついている。NASが行う調査の大半は議会から要請されたものであり、連邦機関との契約を通じてその報酬を受け取っている。こうした契約により、NASや、ワシントンD.C.にある姉妹学術団体の米国工学アカデミーや米国医学研究所は、大勢の専門職員を抱えることができるのだ。世界各国の科学アカデミーも、英國学

士院やNASのような影響力をもちたいと願っている。ヨーロッパで比較的大きな力をもっているのは、1739年にカル・リンネをはじめとする科学者が設立したスウェーデン王立科学アカデミー（ストックホルム）と、1808年に設立されたオランダ王立科学芸術アカデミー（アムステルダム）である。

ドイツでは2007年に大きな進展があった。レオポルディナ（ハレ）がドイツの科学アカデミーであることを連邦政府が初めて公式に認めたのだ。2010年3月に会長に就任した生物学者のJörg Hackerによると、レオポルディナは職員を70人程度まで増やす予定だという。また、連邦政府と州政府から資金提供を受けているものの、今後も完全な独立を保っていくという。

近年、気候変動などの地球規模の問題に関して、各国の国立科学アカデミーが手を結ぶ動きが出てきている。トリエステ（イタリア）を本拠地とするInterAcademy Panelは、1993年の設立以来、そのメンバーとなっている104の科学アカデミーのために、科学政策に関する共同声明を多数発表してきた。2000年には、大規模な調査を行うために、アムステルダムに事務局を置くInterAcademy Councilも設立された。この組織は、現在、国連の要請を受けてIPCCのレビューを行っており、8月下旬に報告を行うことになっている。

科学アカデミーに批判的な人々はいるが、支持する人々は、科学アカデミーは、広い目的のために役に立っている信じている。英國学士院のStephen Cox事務局長は、「我々が取り扱うのは科学的な問題だけです」という。「けれども今日では、科学的要素をもつ問題が非常に多くなっているので、我々の重要性はますます高まっているのです」。

（翻訳：三枝小夜子、要約：編集部）

Colin Macilwainはエディンバラ（英國）在住のフリーランスライター。

*Nature* 2010年6月24日号のEditorial (986ページ)とOpinion (1009ページ)

# 一貫性に欠ける教育への価値観

## Education ambivalence

2010年6月3日号 Vol. 465 (525-526)

大学に所属する科学者は、教育と研究に同程度の価値を見いだしている。

しかし、大学側はそうではないようだ。

科学教育の質が低いという不満、そして、世界に後れを取ることへの国民的不安。いずれも多くの国々で繰り返し表明され、すっかりおなじみになっている問題だ。しかし、これほど一般的にはなっていないのが、「ほとんど誰もがそのように感じている」という厳然たる事実である。

ネイチャー・パブリッシング・グループの教育部門である Nature Education は、2009 年、30 か国以上の 450 人の大学レベルの理科系教官を対象とした意識調査を行い、このほど、中等教育から後の、総合大学と単科大学レベルの教育に焦点を合わせた調査報告書の第一報を発表した (go.nature.com/5wEKij で無料公開)。この報告書によると、各国の学部生向け科学教育の質が「平凡」「低い」「非常に低い」と感じる回答者は、ヨーロッパ、アジア、北米それぞれで、回答者総数の過半数を占めた。

一方、中等学校での科学教育が不十分なことを重大問題とする見方に同意しつつも、大学教授が大学レベルの教育向上させることで問題解決に寄与できる、という点で回答者の意見は一致している。さらに、回答者の 77 パーセントは、教育の責務が研究と同程度に重要なものと考えており、16 パーセントが「教育の重要度のほうが高い」と答えた。

学部生教育の質が低いことは一般的に認識されているのに、大多数の回答者は、自らの教育が非常に効果的だと感じている。ここには、回答者の少なくとも一部が思い違いをしていることが示されている。

こうした回答にみられる自己満足が、学部生の科学教育における革新的教授法の受容を著しく遅らせている原因の 1 つと思われる。学生に対する一方的な講義は、共同作業による体感型学習活動より、効果が大きく劣る。そのことを示す有力な証拠もある。体感型学習の典型例が、プロセス指向型質問応答式指導学習 (pogil.org) だ。これは、1994 年に米国の大学の化学科で導入され、今ではその他のさまざまな学科でも実施されている。

しかし、教育の質を高めるうえで最大の障壁となっているのは、実は別のものなのだ。それが、学術機関や通常の科学の褒賞制度において広く浸透している「研究のほうが教育よりもはるかに高い価値を有する」という認識である。今回の調査における最も注目すべき矛盾点は、多くの回答者が、教育が研究と少なくとも同じ程度に重要だと考えているにもかかわらず、終身在職権のあるポジションに空席があれば、教師ではなく研究者を選ぶと答えたことだった。この矛盾した態度には、教育より研究という価値観が明白に現れている。

このように、教育と研究に対する価値観には、一貫性が欠如している。これを正すには、2 つの要件を満たす必要がある。第一は、教育活動をきちんと評価するための標準化システムを創設することだ。これによって、大学にも教授にも、改善のために必要なフィードバックが生まれるようになる。学部生への教育効果については、さまざまな革新的方法によって既に測定可能である。例えば、物

理学教育で開発された概念調査 (concept inventory) システムは、標準テストを通して、学生が理解している概念・誤概念を洗い出すことができる。ただ、この分野に関しては、さらなる研究が必要だ。

第二の要件は、大学レベルでの教育のための支援と褒賞を充実させることだ。例えば、各大学や専門学会は、効果的に教える方法を訓練する系統的な研修を実施したらよい。2 年間の学位取得コースにまでする必要はないが、2 時間のワークショップ以上の充実した内容は必要だ。さらに、大学としては、優れた教育活動をうたう教授職の寄贈を募ることも可能であろう。研究助成機関としても、教育に対する資金助成の優先順位を高くすることができるはずだ。例えば民間のハワード・ヒューズ医学研究所（米国メリーランド州シェベーチェイス）は、科学教育の改革を目指す科学者に対し、4 年間で最高 100 万ドル（約 1 億円）の研究資金を提供している。

教育と研究に対する価値観に一貫性が欠ける現状は、短時間で簡単に直すことはできない。現実に、大学や研究助成機関は、教育ではなく研究に多くの褒賞を与えており、研究の長期的な発展に必要な教育の質を損ねる危険を冒している。必要なのは、資源をよりバランスのとれたやり方で配分する方法を見つけることだ。それを追い求める努力を重ねることで、大学に所属する大多数の科学者は、教育と研究が等しく重要だという信念に従って行動できるようになるはずだ。■

(翻訳：菊川要)

# 生物多様性に関する国際的枠組み

## Wanted: an IPCC for biodiversity

2010年6月3日号 Vol. 465 (525)

生物多様性の問題に関しても、独立した国際的な科学委員会を設立すべきである。

これによって、緊急性の高いテーマに関する研究活動を調整し、研究内容を社会に紹介する役割を果たせるだろう。

エコノミスト Nicholas Stern の主導によって作成され、2006年に発表された気候変動の経済学に関する報告書は、長期的な気候リスクに対応する必要性を、世界の人々に喚起する警告となつた。それもあって、この10月に発表予定の「生態系と生物多様性の経済学」研究の最終報告書は、「自然に関する Stern 報告書」と喧伝されている。当然、生物多様性損失による大きな代償を明らかにするとともに、生態系の破壊や生態系による恩恵の喪失を明示した厳しい内容の報告書になるとみられる。この生態系と生物多様性の経済学に関する研究は、2007年にポツダム（ドイツ）で開催された主要8か国（G8）と新興5か国の環境担当大臣会合の成果の1つだ。この研究の組織者は、その成果を通して、政策立案者の姿勢を正したいと期待している。

現在、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）を連想させる組織を設立し、生物多様性の変化を科学的に精査し、その影響の予測をめざす動きが進行している。2010年6月7日～11日、釜山（韓国）で、世界各国の代表が、「生物多様性および生態系サービスに関する政府間科学政策プラットフォーム（IPBES）」という長ったらしい名前の付いた組織の設立について議論し、詳細はともかく、その設立に関しては合意をみた。

ところで、生物多様性という問題に対処するうえで、IPCC モデルは適切なのだろうか。気候は全地球的問題であるのに対し、生物多様性の変化は、もっと地域的な問題だ。IPBES 推進派もこの点は認めており、IPBES は当初から、地

球規模だけでなく地域規模での評価にも取り組むことになっている。気候変動によって生じる極めて複雑な課題は、政策立案者や一般市民にとって、「地球上の気温がどこまで上昇するのか」といった単一の指標に突きつめることができた。しかし、生物多様性の場合、同様の重要な単一の指標が存在しないのだ。

こうした違いはあるものの、気候変動と生物多様性損失には、1つの重要な共通属性がある。ともに、経済的に重要な実在の現象だということだ。ところが、このことを無視してしまう人が少なくない。IPCC の報告書によって、気候変動の問題を無視することがかなり難しくなった。もし IPBES が、生物多様性と生態系の変化についても同じ状況を生み出すことができるなら、約 1200 万ドル（約 10 億円）と提案されている年間予算は十分に価値あるものといえよう。

最近の問題に対応して改善を図るならば、IPCC は今後も国際レベルにおける独立的科学評価の「究極のお手本」であり続けるだろう。IPCC の報告書は、正式な政府間プロセスの成果なのである。IPBES の代表者は、このような特徴を再現して IPBES を強力な組織とするよう、最善を尽くすべきだ。

生物多様性を左右する全当事者と確実に対話できるようにするため、IPBES は、生物多様性条約だけでなく、その他の生物多様性に関する条約、国連の諸機関、国際環境非政府組織、国際的な科学機関や民間部門とも正式な関係を構築すべきだ。

これまでのところ、IPBES は、国連環境計画（UNEP）の支持を得ている。

国連環境計画は、世界気象機関（WMO）とともに IPCC を監督している。また、IPBES が環境官庁以外の部門から意見や情報を得るために、さらに支援者の輪を広げるべきだ。例えば、国連食糧農業機関（FAO）が IPBES の運営に助力すれば、農業、漁業関係者のような食糧生産の利害関係者が IPBES の結論を支持する可能性が高くなるだろう。

生物多様性科学に関する標準や基盤（インフラ）の整備は大いに必要とされており、IPBES はそれを重点的に進めしていくはずだ。スタンフォード大学（米国カリフォルニア州パロアルト）の生態学者で、IPBES 推進派の中心人物である Harold Mooney は、IPBES は世界的変化の予測モデルの改良と標準化に力を貸すべきだと主張している。そして、IPBES の予算の一部は、当然のことながら開発途上国における科学研究能力の構築に費やされていくことは間違いない。

さらに、IPBES は、地球観測グループ生物多様性観測ネットワーク（GEO BON）と強力な結びつきをもつようになることも間違いない。GEO BON は、100 以上の政府機関とその他の団体が連携している組織で、これらの機関や団体は、既に生物多様性のデータと解析結果を共有している。

GEO BON から質の高いデータを受け、IPBES の活動によって調整された研究を実施することで、生物多様性の科学は発展すると考えられる。IPBES による定期的な評価は、地球上の生物相の繁栄にも役立つことだろう。

（翻訳：菊川要）



Volume 466  
Number 7302  
2010年7月1日号



## 力を合わせて生きる：20億年前の化石が示す多細胞生物出現の兆し

### JOINING FORCES: Two-billion-year-old fossils are first sign of multicellular life

西アフリカ・ガボン共和国フランスビル近郊の黒色頁岩中には、広範囲に化石を含む層がある。その層で発見された保存状態の良好なセンチメートルスケールの化石群から、これまで見つかっている中でおそらく最古の多細胞生物の姿を垣間見ることができた。中原生代（16億～10億年前）以前の多細胞生物を示す証拠は、極めて希少で異論も多い。今回の新発見は21億年前の堆積物からのものである。この時期は、大気中酸素濃度の上昇からさほど時間が経過しておらず、「カンブリア大爆発」として知られる多細胞生物の急拡大の15億年ほど前である。見つかった化石は、構造化された軟体性生物の、さまざまな大きさおよび形状の遺骸であり、柔軟なシート状の構造を示唆する皺が認められるものも存在する。その形状および規則的構造は、構成の多細胞性を示している。今回の化石群は、マクロ生物スケールでの細胞間シグナル伝達や協調的成長行動に関して、これまで知られている中で最古の証拠である可能性がある。表紙は、マイクロトモグラフィーに基づく画像化により明らかになったマクロ化石標本の構造を示している。

## 物理：LCLS の最初の大当たり

### First strike from the LCLS

世界初のX線自由電子レーザー、SLAC国立加速器研究所（米国カリフォルニア州メンロパーク）の線型加速器コヒーレント光源（LCLS）が、昨年から稼動し始めた。これによって、生体分子のような複雑なナノサイズの対象をとらえる単一ショット撮像への期待など、原子レベルの研究に新しい時代が開かれた。LCLSで行われた最初の実験の1つの結果が今回報告された。この新しい施設は、波長1.5ナノメートル以下の高強度X線の超短（フェムト秒）パルスを発生する。この実験では、このような放射に対する自由ネオン原子の電子応答が調べられた。単一X線パルスにより、原子はその10個の電子すべてを逐次放出して、完全にはぎ取られたネオン、すなわちX線に対して透明な「中空原子」が発生した。著者たちは、電子はぎ取りの観測結果とその基礎となる機構を簡単なモデルを使って説明している。これは、



X線とともに複雑な系との相互作用をさらに研究するには幸先よい結果である。

## 生理：雄の涙に誘われて

### Driven to tears

マウスでは、フェロモンと、鋤鼻器官によるその感知によって社会的行動が制御されることが知られているが、化学的シグナルで特定の行動応答との関連が明らかにされているものはほとんどない。坪紗智子（東京大学）たちは今回、雄の涙液中に分泌されるESP1ペプチドが雌の性的受け入れ行動を促すことを明らかにし、その特異的な鋤鼻受容体（V2Rp5）、並びに行動応答時に活性化される性行動に特異的な神経回路を同定した。このような「専用ライン」の論理がほかの哺乳類の生殖行動の制御にまで拡大可能か否かは、まだ明らかでない。

## 免疫：円形脱毛症の遺伝学

### Alopecia areata genetics

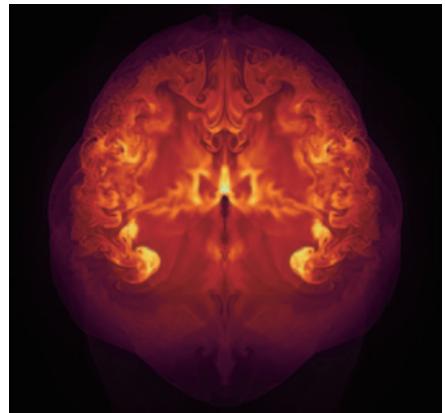
よくみられる自己免疫疾患である円形脱

毛症では、毛嚢の免疫特権（自己免疫反応を免れるという特権）が崩れることで脱毛が起こるが、その遺伝的な基盤はほとんどわかっていない。この形質について全ゲノム関連解析を行った結果、複数の円形脱毛症感受性の遺伝子座が見つかり、その大部分はゲノム内の8つの領域にクラスター状に集まっていた。異常がある遺伝子活性の範囲から、この病気には獲得免疫と自然免疫の双方が関与していると考えられる。有意の連鎖がみられたものの中で、ULBP遺伝子はナチュラルキラー細胞受容体NKG2Dを活性化するリガンドをコードしており、これは以前に自己免疫疾患と関連付けられたことがない。

## 宇宙：超新星は標準光源であり続ける

### Maintaining the standard

I型超新星が宇宙の「標準光源」となっている現状は、これらの超新星が互いに非常に似ていて、一様な天体種を形成しているという仮定によっている。しかし最近、Ia型超新星に観測結果の違いが見つかり始めた。前田啓一（東京大学）たちは、最近の理論データと観測データを考慮して新しいモデルを提案し、観測されたスペクトルの多様性が、理論的に提案された非対称な爆発をまちまちな方向から見ている結果生じたものだとしている。このように考えれば、標準光源としてIa型超新星を使い続けていくうえで、スペクトルの進化の多様性はもはや心配の種にはならない。



「偏った」Ia型超新星爆発のコンピューター・シミュレーションの例。



Volume 466  
Number 7303  
2010年7月8日号



## 小さくなった陽子：エキゾチック原子を使って新たに得られた半径は4%のカット

### SHRINKING THE PROTON: New value from exotic atom trims radius by four per cent

陽子は、通常の物質すべてにおける基本的な構成要素で、単独では水素イオンとして至るところに存在する。そう考えると意外とも思えるが、陽子の構造と挙動に関する我々の知識にはまだ「空白部分」が残っている。陽子の二乗平均平方根荷電半径は、現在の「最良」の値である1%という正確度で決定されている。これよりも高い精度で荷電半径を決定する共同プロジェクトから、「空白部分」は考えられていた以上に大きい可能性が示唆された。新たな値は、技術的に難しい分光学的実験、つまり、電子の仲間で電子よりも重いミュオンで電子を置き換えたエキゾチック原子である「ミュオン水素」におけるラムシフト（特定の一対のエネルギー状態のエネルギー差）の測定によって得られた。この結果は予想外のものであった。荷電半径が、以前の値よりほぼ4%小さくなつたのである。この不一致についてはまだ説明がなされていない。今後、最も正確に決定された基本定数であるリュードベリ定数の値に修正が必要になったり、量子電気力学理論の妥当性に疑問が生じたりするなどの影響が予想される。

## 遺伝：ユダヤ人の系譜

### The Jewish line

世界各地の14のユダヤ人共同体と、69の非ユダヤ人集団から得たゲノムデータを比較した研究から、現在のユダヤ人の大半とレバントの非ユダヤ人集団が近い関係にあることがわかった。この結果は、現在のユダヤ人の大半が、レバントにいた古代ヘブライ人およびイスラエル人の子孫であるとする考え方と一致する。これとは対照的に、エチオピアおよびインドのユダヤ人共同体は、それぞれエチオピアおよびインド西部の隣接する非ユダヤ人集団とクラスターを形成する。これは、これらの地域にユダヤ人共同体が確立されたときに、大規模な遺伝的、宗教的、文化的な交差が起つたことが一因なのかもしれない。

## 気候：農業が埃を増やす

### Farmers raise the dust

アフリカのサハラ／サヘル地域におけるダスト（塵埃）の放出は気候システムの重要な要素だが、アフリカ大陸でのダスト生成の長期的な記録はほとんど明らかになっていない。特に、アフリカのダスト放出に人が及ぼす影響については異論が多い。今回 Mulitza たちは、西アフリカのダストプリュームの下の海洋観測地点における堆積物の化学的性質と粒径分布を調べて、アフリカ北西部沖の3200年間にわたるダスト堆積記録を作成した。この知見から、人間活動が誘発したダスト放出は、約200年前の商業農業が始まった時期に、全般的なダスト収支に大きな影響を与え始め、それ以来影響が大きくなり続けていることが明らかになった。



## 考古：更新世前期の北ヨーロッパ人

### Our friends in the north

180万年以上前にアフリカを離れた初期人類は、非常に速やかにユーラシアへ移住し、東はフローレス島から西はスペインまでの、熱帯および地中海性の環境に定住した。わずかな化石および考古学的証拠から、当時的人類はまだ主として温暖な気候に適応しており、北緯45度線を越えたのは例外的に温暖な時期だけであったと一般に考えられてきた。しかし、英国ノーフォーク州の河川堆積物から出土した、78万年以上前の人遺物および動植物相に関する新たな知見によって、こうした見方は変わることになりそうだ。ヘイスバラの浸食性海岸にある遺跡で、現在の英國南部に似た気候の森林環境であった地層から、フリント石器を含むフリント製人工遺物78点が発見されたのである。これらは、考えられていたよりもずっと早い時代に、人類が寒冷期のヨーロッパ北部に定住できる能力を獲得していたことを示唆している。

## 神経：抗嗜癖マイクロRNA

### Anti-addictive microRNA

長い間コカインを摂取し続けると、脳の構造や機能に複数の変化が生じる。これらは強迫的な薬物探索行動につながる可能性があるが、この過程を調節する機構は明らかになっていない。今回、ラットでの実験から、強迫的なコカイン探索行動の発症の支配に、線条体のマイクロRNAが重要な役割を担っていることが明らかになった。マイクロRNAのmiR-212はコカイン探索行動を低減させるが、これがみられるのはコカイン摂取を長期間続けたラットだけで、薬物依存のないラットでは認められなかった。miR-212は、転写因子CREBの活性増幅によって作用するらしいが、CREBはコカインの報酬効果の調節因子であることが知られている。この研究から、非コードRNAの作用を調節する物質が、薬物嗜癖を回復させる効果をもつ可能性が出てきた。



Volume 466  
Number 7304  
2010年7月15日号



## 進化の分岐点：サウジアラビアで発見された化石から明らかになった旧世界ザルと類人猿の分岐時期

### PARTING OF THE WAYS: Saudi Arabian fossil pinpoints divergence of apes and Old World monkeys

靈長類の化石記録にはばらつきがあり、かなりの空白部分が残されている。その1つは、旧世界高等靈長類（狭鼻猿類）内での、オナガザル上科（旧世界ザル）とヒト上科（類人猿およびヒト）との分岐である。従来、この分岐は、漸新世前期から中新世前期までの期間にアフリカ・アラビア地域で起こったと考えられてきたが、今回サウジアラビア西部で新たなシステム系統狭鼻猿類が発見され、空白部分が狭められそうだ。2900万～2800万年前の漸新世中期のものとされたこのサウジアラビアの標本には、管状 ectotympanic (耳の部分の骨) が存在することを除けば、クラウン系統狭鼻猿類への特殊化がほとんど認められず、旧世界ザルと類人猿の分岐がそれ以降であったことを示唆している。表紙は、発見された中型靈長類の頭蓋骨（正面像）。

オーストラリアのほぼ7000の保護区域の成果を調べた研究によれば、長期的にはこうしたやり方が最良の方策になると考えられる。土地の評価額当たりで最低レベルの保全価値しか生まない約70か所の保護指定を解除して売却すれば、約210億オーストラリアドル（約1兆6000億円）が得されることになる。その資金を生物多様性保全戦略が高い効果をあげそうな区域に再投入すれば、同じ費用で今よりも高い保全効果が得られるはずである。また、保護区域への新たな資金投入の比率が世界的に低下し続けていることを考えれば、激しい土地開墾が進む中で最も価値や生産性の高い地域の保護が、これまでにも増して重要になると研究チームは示唆している。

## 宇宙：円盤を伴う大質量星

### High-mass stars on disk

大質量星のライフサイクルについては、重要な側面、特に初期の進化段階がまだよくわかっていない。例えば、大質量星は低質量星や中間質量星と同じように円盤の降着を通して形成されるのか、もしそうならその円盤の構造は低質量星の場合とは異なっているのかといった点は、いまだに決着がついていない。今回、ヨーロッパ南天文台の巨大望遠鏡干渉計を使った新たな観測により、大質量の若い原始星、IRAS 13481-6124の周囲に高温のコンパクト円盤が見つかった。この画像には、約13×19天文単位の大きさの引き伸ばされた構造がみられた。これは、ほぼ45度の傾斜角で見た円盤と一致する。また、その性質は、低質量星の形成中に観測される円盤に、定性的にも似ている。



## 医学：腸のウイルスマタゲノムの違い

### Gut virome variations

ヒトの腸内微生物叢を構成する細菌は、多くの研究で注目されている。今回、ウイルスマタゲノム (virome) が初めて解読され、この微生物叢の複雑度がさらに深まることになった。これには、一卵性双生児とその母親というセット4組から得られた便標品より単離したウイルス様粒子が使われた。これまでの研究で、双生児とその母親は、遺伝学的に無関係な個体に比べると、便内細菌叢の類似性が高いことがわかっている。これに対して virome は、遺伝的関係性の程度とは関係なく、個体独自のものであることがわかった。そして、各個体についてみると、研究が行われた1年の間、便の virome はほとんど変化しなかったのである。

の位置を示す地図が作られているが、調査は大陸地殻で最古の地域である非常に年代の古いクラトンに集中している。それは、採算の合うダイヤモンドのほとんどがこの地域で見つかっているからである。T Torsvikたちは過去5億4000万年のプレートテクトニクスを再構築し、キンバーライトが噴出したときの深部マントルとこれらのクラトンの相対的な位置を特定した。キンバーライトは、最下部マントルの大規模不均質構造の端と関連があることが明らかになったが、そこは核-マントル境界に当たる領域で、マグマ上昇によって生成されるマントルプリューム中でキンバーライトが形成される場所だろうと、Torsvikたちは推測している。このようなプリュームは、過去5億4000万年間に噴出したほとんどすべてのキンバーライトの分布を支配している。

## 地球：ダイヤモンドの分布

### Diamond distribution

ダイヤモンドは、地球マントル中の150キロメートル以深の高圧条件下で形成され、キンバーライトとよばれる火山岩からなるパイプ状の鉛直構造中を通って、地表へと運ばれてくる。これまでに、こうしたキンバーライト・パイプ数千個

## 環境：どこを保護区域にするか

### Conservation: where to save

成果の挙がらない自然保護区域は指定を解除し、浮いた資金を効果の高い別の場所に回すべきであるという意見は、自然保護活動家や地元のロビー団体になかなか受け入れられない。しかし、



Volume 466  
Number 7305  
2010年7月22日号



## 地球暖化に迫る：げっ歯類で関連付けられた集団の変化傾向と気候変動

### WAKING UP TO GLOBAL WARMING: The rodent linking climate change to population trends

気候変動は、出芽や渡り、冬眠といった動植物の生活環でみられる定期的事象のタイミングだけでなく、集団動態や形態にも影響を及ぼす。こうした相互作用因子のすべてを同時に検出するのは難しい。だが今回、冬眠する哺乳動物であるキバラマーモット (*Marmota flaviventris*) の、米国コロラド州アッパーイーストリバーバレーという亜高山帯環境に生息する集団の長期にわたる生活史研究から、こうした問題の研究にぴったりのデータが得られた。1976～2008年の気候変動により、冬眠からの目覚めが早まった結果、この動物の成長期が長くなり、冬眠に入ったときの体重が増加することになった。これと同時に、大型個体の適応度が高まり、集団の規模が急拡大した。今回の研究を通して、未来的な気候変動が集団に与える影響を予測するのに必要なデータの典型が得られたといえるだろう。

には、いまだ解明されていない点がいくつもある。Choi たちは今回、マウスに高脂肪食を与えることで誘発した肥満に、Cdk5 による PPAR $\gamma$  のリン酸化が関連することを報告している。抗糖尿病作用をもついくつかの PPAR $\gamma$  リガンドは、Cdk5 のこの作用を直接阻害し、それによって遺伝子発現をもっと正常に近い非糖尿病型パターンに維持させる。さらにヒトでは、ロシグリタゾンによる PPAR $\gamma$  リン酸化阻害と、その抗糖尿病作用とが密接に関連することが明らかになった。この特異な薬理学的特性から、肥満や糖尿病の発症機序と Cdk5-PPAR $\gamma$  との関連性や、これらの疾患に対する PPAR $\gamma$  リガンドの治療効果、また心疾患と糖尿病のリスクを増大させる複合的疾患である代謝症候群に対するこれらリガンドの治療効果についての新規モデルが示唆される。

## 進化：フェロモンで生じた隔たり

### Grounds for separation

ヨーロッパアノメイガ (*Ostrinia nubilalis*) は、性的コミュニケーションの遺伝学や、種分化に性的シグナルが果たす役割などの研究のモデル系となっている。その理由の1つは、アワノメイガが性フェロモンの異なる2つの品種からなることである。この2品種では、フェロモンである酢酸塩化合物のシス異性体とトランス異性体の比率が異なっていて、それが強固な生殖隔離に結びついており、これが種分化への第一歩になっている可能性がある。雌のフェロモン生産とそれに対する雄の応答行動の遺伝的制御は解明が難しいとされていたが、今回、フェロモンおよび品種の違いにかかる遺伝子が1個同定された。フェロモンの生合成に不可欠な脂肪酸アシル還元酵素遺伝子に存在する差異によって、雌のフェロモン生産の表現型の違いと、それにより生じる品種特異的シグナルの説明がつく。この知見から、単一の酵素のコード領域への置換蓄積によって、生殖隔離に十分結びつくほどの差異がフェロモン混合物に生じることが明らかになった。

## 宇宙：地球のものに似た、月のアパタイト

### Earth-like lunar apatite

月の内部は、月を形成した衝突によって起こったほぼ完全な脱ガスのために、地球に比べて水素や塩素などの揮発性物質が少ないと考えられている。月の玄武岩 14053 はアポロ 14 号が採取した試料で、これまで非常に詳しく研究されてきたが、新たに行われた分析によって、月マントルまたは地殻の一部が今まで考えられていたよりも揮発性物質に富んでいる可能性が示唆された。14053 に含まれるアパタイト (燐灰石) 鉱物内の水素、塩素、硫黄の濃度は、地球の一般的な火成岩内にあるアパタイトのものと区別できない。入手可能な別の月岩石に含まれるアパタイトを測定すれば、この玄武岩がもつ地球のものと似た性質の一般性とその意味を解明するのに役立ちそうだ。

程に欠陥が生じる。一定の行動パターンを学習し、実行する基盤となる機構は、まだよくわかっていない。今回 X Jin と R Costa は、課題トレーニングの間に、動作の開始・停止のニューロン活性化パターンが基底核内に発生することを明らかにしている。マウスには、一定回数の動作からなる順序行動（砂糖水を報酬にしたレバー押し）を、正確かつ自発的に行うように学習させることができる。Jin と Costa は、黒質線条体回路中の多数のニューロンが、この課題で各動作を順番に実行する際に、その自発的な開始と停止の信号を特異的に発信しているのを見いたした。この回路に遺伝学的変更を加えると、開始・停止ができなくなり、行動実行が障害され、特定のニューロン活動と課題学習との間の因果関係が証拠付けられた。

## 医学：新規の抗糖尿病薬

### Novel antidiabetics

ロシグリタゾンやビオグリタゾンなどのチアゾリジン系抗糖尿病薬は、核受容体 PPAR $\gamma$  を介して作用することが知られているが、これらの薬剤のもつインスリン感受性改善作用の仕組み

## 脳：やめるべき時を知る

### Knowing when to stop

ある行動を実行する際には、一連の動作を適切に開始・停止することが重要である。パーキンソン病やハンチントン病などの黒質線条体障害では、この過



Volume 466  
Number 7306  
2010年7月29日号



## 科学は世界中に食糧を供給できるようになるか

### CAN SCIENCE FEED THE WORLD?

国連の食糧農業機関は、世界の農業生産量は2050年までに70%増やす必要があると見積もっている。Nature 7月29日号では、この目標達成に向けて植物科学やバイオテクノロジー分野ではどのようなことができるのかを考察した特集を掲載している。現在10億人以上の人々が飢えに苦しんでいるのは、食糧が十分にないからではなく、貧しすぎて食糧を買えないからだという事実も含まれている。だからこそ、よりよい食糧管理方式が必要なのだ。大手の農業バイオテクノロジー企業は既に、農薬や除草剤耐性の問題から、干ばつや栄養不足に対処できる農作物の開発へと軸足を置き換えていている。N Gilbertが報告している。「科学は世界中に食糧を供給できるようになるか」という問い合わせにイエスと答えられるようにするために、研究者たちが持続可能なやり方での農業生産高増大に大きくかかわることが必要だろう。

## 環境：減少する植物プランクトン

### Phytoplankton in retreat

海洋の植物プランクトンは、地球の生物地球化学的循環で重要な役割を担っており、海洋生態系の基盤を形成している。1979年以降利用可能となっている衛星リモートセンシングのデータから、植物プランクトンのバイオマスが気候強制力と関連して10年単位で変動していることを示す証拠が得られているが、たった数十年程度のデータでは長期的な傾向を明らかにするのには不十分である。D Boyceたちは今回、セッキー円盤として知られる装置で得られた海洋の透明度測定値および各種の船上測定値を含むさまざまなデータに基づいて、1899年以降の植物プランクトンバイオマスの局地的、海域的、および全球的な傾向を見積ることにより、リモートセンシングのデータから得られた結果を長期的傾向に重ね合わせた。記録から現れたのは、全球植物プランクトンバイオマスの100年にわたる減少である。研究チームの推定によれば、植物プランクトン現存量の減少が最も激しいのは、高緯度、赤道海域、外洋性海域で、特に近年の減少が著しい。多くの海域の傾向は、海洋温暖化の進行や主要な気候指数と有意に相関している。

## 量子情報科学：光子3つの量子もつれ

### Entangled photon triplets

量子もつれ光子は基礎科学の強力な資源であり、計算や通信における新しい量子技術の進展を促進する可能性がある。量子もつれ光子対は、レーザー光の自発パラメトリック下方変換によって生成できる。しかし、これまでこの方法では3光子の量子もつれを生成できなかった。今回、Hübelたちは、直列に接続した光子対源を用いて、もつれた3光子を直接生成したことを見た。もつれた3光子はそれぞれたった1個のポンプ光子から生成され、その結果、3個の光子すべての間に量子相関が生じる。

## 進化：性染色体のダイナミックな進化

### Dynamic sex chromosomes

鳥類と哺乳類は異なる性染色体をもっている。鳥類では、雄は2本のZ染色体を、雌はZとW染色体を1本ずつもつ。哺乳類では、雄はXY、雌はXXである。性染色体の進化に関しては、性特異的なWおよびY染色体では劇的な変化が起きたが、雌雄に共通するZおよびX染色体では比較的小さな変化しか起らなかったと、長い間考えられてきた。しかし、ニワトリのZ染色体の塩基配列を解読してヒトX染色体の完

全塩基配列と比較した新しい研究によれば、話は違うらしい。Z染色体とX染色体は、もとになった常染色体（性染色体ではない染色体）から大幅な変化を遂げてきたことが明らかになったのである。これらはまた、祖先ゲノムの異なる部分から独立に進化したものであるにもかかわらず、精巣で発見される遺伝子ファミリーの獲得や増幅などを含め、収斂進化の道筋をたどってきたらしい。

## 宇宙：太陽系探求の歴史

### The Solar System story

惑星科学は、ガリレオによる惑星とその衛星についての研究から本格的に始まった。350年にわたり、我々の太陽系に対する認識は、地上の望遠鏡というフィルターを通して得られ、理論モデルによって磨きをかけられてきた。1962年に行われたマリナー2号による金星へのフライバイは、惑星との遭遇に成功した初めての成果で、太陽系探査時代が到来し、この50年間で詳細な観測結果が得られたうえに、実験も行われ、太陽系に関する我々の知見が様変わりした。J Burnsは、宇宙時代以前の惑星科学の歴史を概観し、最近の発見の中で最も興味深いいくつかについて論じ、太陽系天体の多様性、および太陽系進化におけるカオスの役割をはっきりさせている。また彼は、次の大きな飛躍は、太陽系外惑星が詳細に観測される時代の到来だろうと予想している。

||||||| ネイチャーからのご案内 |||||

## nature video

Web: [www.youtube.com/NatureVideoChannel](http://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ご覧いただけます。（一部の機種を除く）

## nature podcast

Web: [www.nature.com/nature/podcast](http://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）

近年スーパーなどで、有機栽培とか低農薬栽培などと銘打った農作物を目にする機会が増えています。しかし、農薬を使わない、あるいは減らす分、害虫や雑草が増え、農作業の手間がかかると考えられていました。この研究では、有機農法により害虫の天敵の種類が均等になって害虫が減り、作物が大きく成長するとしています。今後、もっと研究が進めば、有機栽培でも虫食いの少ない野菜が店頭に並ぶかもしれませんね。

#### nature news

語数：534 words 分野：生態学・生物保全学・農業科学

Published online 30 June 2010 | Nature | doi:10.1038/news.2010.324

<http://www.nature.com/news/2010/100630/full/news.2010.324.html>



©BUCKWINKEL/ALAMY

コロラドハムシの成虫。

## Organic farms win at potato pest control

Why ecological evenness is as important as relative richness.

Daniel Cressey

1. A study suggesting that organic agriculture gives better pest control and larger plants than conventional farming is sure to reignite longstanding debates about the merits of organic versus conventional agriculture. It also highlights an often-neglected aspect of biodiversity.
2. "Organic agriculture promotes more balanced communities of predators," says David Crowder, author of the new study published today in *Nature*<sup>1</sup>.
3. "Our study does not tell farmers they should shift to organic agriculture. What our study suggests is that organic agriculture is promoting these more balanced natural enemy communities and they may have better, organic pest control."
4. Much focus is put on species numbers or 'richness'. But the research by Crowder, an insect ecologist at Washington State University in Pullman, and his colleagues, shows the importance of 'evenness' — the relative abundance of different species. Evenness quantifies not just the presence of different species, but whether one is dominant or whether there is an equal distribution of numbers between species.
5. The team looked at the bugs, nematodes and fungi that attack the hated Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata*).
6. They conducted a meta-analysis of data collected on these denizens of Washington potato fields and found that although organic and conventional farms did not differ markedly in the richness of beetle eaters, the evenness of predators differed "drastically". Organic fields — where only a limited number of man-made chemicals can be used — had far greater evenness than those where pesticides were applied regularly.
7. Furthermore, the team set up an experimental field in which they manipulated the evenness of predators. Increasing the evenness led to what the researchers call a "powerful trophic cascade", resulting in fewer potato-munching beetles and larger potato plants.
8. Although the work of Crowder and his group does not address the issue of yields from organic versus conventional farms, their study found that the increased evenness of organic farms compared with that of conventional farms led to 18% lower pest densities and 35% larger plants. Bigger plants generally mean greater potato yields.

#### Even richer

9. At least as important as what the research says about organic farming is what it says about species evenness.
10. "Almost all the studies that have been done have looked at the number of species in an ecosystem," says Crowder. "Very few studies have looked at the relative abundance. We think our study is really one of the first to highlight that evenness is also important."
11. Understanding evenness can be extremely useful to those studying biodiversity, agrees Marc Cadotte, a community ecologist at the University of Toronto at Scarborough. This knowledge can shed light on, for example, the processes maintaining species abundance, and can also be crucial for determining how ecosystems will respond to challenges, such as those posed by climate change.
12. This paper, says Cadotte, demonstrates that different agricultural practices have distinct effects on evenness, and that manipulating evenness leads to the cascading reactions identified by Crowder and his team.
13. "Evenness is a critical component of biodiversity," says Cadotte. "Much research has emphasized species richness, maybe at the detriment of studying evenness."
14. Meanwhile, Crowder says that the next step is to discover what it is about organic agriculture that promotes evenness, and to determine whether this finding also applies in systems other than potato fields.

#### Reference

1. Crowder, D. W., Northfield, T. D., Strand, M. R. & Snyder, W. E. *Nature* **466**, 109-112 (2010).

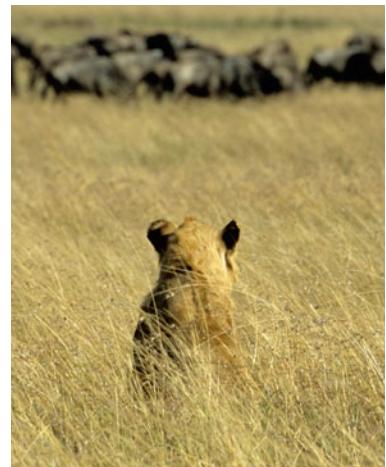
**TOPICS****生態系 (ecosystem) について**

生態系とは、ある地域について、そこに生息する生物どうしやそれを取り巻く非生物学的環境（気候・地勢・化学物質など）との相互関係をひとまとめにとらえたシステム。生態系における生物は、生産者（植物）、消費者（動物）、分解者（微生物など）で構成される。

一般に生態系を構成する種の豊富度や総数に注目しがちだが、安定ということも重要である。安定（平衡）状態の生態系とは、構成する生物の個体数や種類に変化がないことをいい、構成生物の種類や総数が少なくてよい。ただし、安定状態の生態系でも、生物種の個体数や種類に揺らぎはある。例えば、草が増えれば、それ

を食する昆虫が増加する。しかし、増えすぎた昆虫は食べる草がなくなることによる餌不足や、遅れて増えてきた鳥などの捕食者のために減少する。昆虫が減れば、やがて捕食者も減り、生態系は元の状態に戻る。このように安定した生態系には、ちょっとした変動に対して復元する力がある。しかし、一度破壊されると復元が困難な、もろい生態系もある。例えば、尾瀬のような高層湿原の泥炭層は、踏まれると保水力を失い、ミズゴケの再生は不可能に近い。

今回の研究では、均等性も生態系に重要な意味をもつことを示唆しており、破壊された生態系の復元のために必要な要素の1つとなるかもしれない。



サバンナにはサバンナの生態系が存在する。

NEWS.COM

**SCIENCE KEY WORDS****1. biodiversity: 生物多様性**

1992年の地球サミットでは、「すべての生物間の変異性をいうものとし、種内の多様性、種間の多様性および生態系の多様性を含む」と定義されている。つまり、地球上にはさまざまな種が存在し、同じ種でも遺伝子レベルに差異があり、さらに環境によって構成する生態系もさまざまに異なるということである。

**2. community: 群集**

ある地域に生息する生物全体、または近縁種のグループをまとめて、生物群集、あるいは単に群集という。

**2. predator: 捕食者**

ある生物を別の生物が食べることを捕食といい、食べる生物を捕食者、食べられる生物を被食者（prey）という。

**5. nematode: 線虫、線形動物**

体長数百μmのものから数十cmにもなる、長い円筒形または糸状の動物。体節構造や繊毛、付属肢をもたないが、一部には環輪やとげのような剛毛がみられる。多くの寄生性線虫が知られているが、大半は土壤や海中で自由生活する非寄生性であり、その種数は昆虫類をしのぐともいわれている。

**5. fungi: fungus (真菌) の複数形。**

真菌とは、キノコ、カビ、酵母の仲間のこと。核、ミトコンドリアや小胞体などの細胞小器官をもつ真核生物。細胞壁もある。

**5. Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata*):****コロラドハムシ**

コウチュウ目に属する。体長約10mm。幼虫はオレンジ～赤褐色で側面に黒い斑点があり、土中でサナギになる。成虫の上翅はオレンジ色で、黒い筋が10本ある。幼虫、成虫ともにナス科の植物、特にジャガイモの葉や茎を食い荒らす。もともと北米に生息していたが、近年、ヨーロッパでも見られ、被害が拡大している。日本では確認されていないが、侵入した場合の重大性を考慮し、輸入禁止動物に指定されている。

**6. meta-analysis: メタ解析（分析）**

多数の過去の研究を収集して統合し、質的、数量的に評価して分析する手法。個々の研究が小規模すぎたり、複数の研究結果にばらつきがあったりする場合に有効である。

**7. cascade: カスケード（反応）**

12段落の "cascading reaction" も同じ。カスケードとは小さな滝が連なった段々滝のことと、カスケード反応とは、こうした滝を水が流れ落ちるように連鎖的に反応が起こること。

**11. climate change: 気候変動**

地球の気温、降水量など気候に関する変化をいう。近年地球温暖化とともに人為的な意味で使用されることが多いが、氷河期のように自然現象によるものも多い。

**WORDS AND PHRASES****タイトル****pest:** 「有害生物」、「害虫」**リード** **evenness:** 「均等（性）」**1. conventional:** 「従来の」、「従来型」**1. be sure to ~ :** 「～になるのが確実である」、「確実に～になる」**1. reignite:** 「再燃させる」**4. abundance of ~ :** 「～の個体数」、「～の数度」**4. quantify:** 「量化する」**4. dominant:** 「優占している」**4. distribution:** 「分布」**6. conduct:** 「実施する」、「行う」**6. denizen:** 「(特定地域の) 居住者、生息者」、「帰化人」**6. drastically:** 「大きく」、**6. pesticide:** 「農薬」**7. manipulate:** 「操作された」**7. trophic:** 「栄養の」**7. munch ~ :** 「～をむしゃむしゃ食べる」

ここでいう "potato-munching beetle" は「コロラドハムシ」のこと。

**8. address ~ :** 「～に取り組む」**8. density:** 「密度」**11. shed light on ~ :** 「～を解明するうえでの手がかりとなる」、「～の解明に役立つ」**12. distinct:** 「独自の」、「異なる」**13. at the detriment of ~ :** 「～を犠牲にして」

detrimentは「損害」、「不利益」

**14. apply in ~ :** 「～に当てはまる」

## 参考訳

## 有機農法のほうがジャガイモの害虫防除の効果が高い

生態系の機能に関して、生物種の数（種の豊富さ）だけでなく、各生物種の個体数の分布（種構成の均等さ）も重要である理由がみえてきた。

ダニエル・クレッシー



ISTOCKPHOTO

農作物を食い荒らすコロラドハムシの幼虫。

1. このほど、有機農法のほうが従来型農法よりも害虫防除の効果が高く、作物も大きく成長することを示唆する研究結果が発表された。これにより、有機農法と従来型農法の利点に関する長年の論争が再燃するのは確実である。この研究は、生物多様性に関して見過ごされることの多かった側面にも光を当てた。

2. 本日、*Nature* に発表される研究論文<sup>1</sup>の著者 David Crowder は、「有機農法は、捕食者の群集のバランスをよくします」という。

3. 「この研究は、農家に有機農法への転換をよりかけるものではありません。ただ、有機農法を採用することで、害虫の天敵にあたる生物の群集のバランスがよくなる結果、より効果の高い、有機的な害虫防除ができるかもしれないといっているのです」。

4. 生物種の数（種の豊富さ）に注目する研究は多いが、ワシントン州立大学（米国ブルマン）の昆虫生態学者 Crowder らが今回行った研究では、さまざまな生物種の個体数の分布（種構成の均等さ）の重要性が示された。種構成の均等さは、多様な生物種が存在しているかどうかだけでなく、特定の種が優占しているのか、それとも、各生物種が均等に分布しているのかまで定量化した指標である。

5. Crowder のチームは、ジャガイモにつく害虫として嫌われているコロラドハムシ (*Leptinotarsa decemlineata*) を襲う昆虫や線虫や真菌について調べた。

6. 彼らは、ワシントン州のジャガイモ畑に生息する生物に関するデータのメタ解析を実施した。その結果、有機農法を採用する畑と従来型農法を採用する畑では、コロラドハムシを捕食する生物種の豊富さには著しい差はないものの、種構成の均等さが「劇的に」異なっていることがわかった。限られた種類の人工化学物質しか使わない有機農法の畑は、農薬を定期的に散布する従来型農法の畑に比べて、種構成がより均等だったのだ。

7. さらに Crowder のチームは、コロラドハムシの捕食者の種構成の均等さを操作した試験圃場を設定した。均等さを高めた場合には、Crowder らが「強力な栄養力スケード」とよぶ状態が生じ、その結果、コロラドハムシの個体数が減り、ジャガイモの植物体は大きくなった。

8. Crowder らは有機農法と従来型農法での収量については研究しなかったが、捕食者の種構成が均等な有機農法の畑では、従来型農法に比べ、害虫の密度が 18 パーセント低下し、植物体が 35 パーセント大きくなつたことがわかった。一般に、ジャガイモの植物体が大きくなれば、芋の収量も増える。

### さらなる意義

9. 今回の研究で、有機農法に関する知見と少なくとも同じくらい重要なのが、種構成の均等さに関する知見である。

10. 「これまでに実施されたほとんどすべて研究では、生態系における生物種の数が注目されています」と Crowder はいう。「各生物種の個体数の分布に注目した研究はわずかです。我々の研究は、種構成の均等さも重要であることを強調した初めての研究の 1 つだと思います」と Crowder は話す。

11. トロント大学スカーバラ校（カナダ）の群集生態学者 Marc Cadotte も、種構成の均等さの意義が明らかになれば、生物多様性の研究者にとって極めて有用であろうと考えている。その知識は、種の個体数を維持する過程の解明に役立つかもしれないし、気候変動が引き起こす問題などに対する生態系の応答の解明において極めて重要な役割を果たすかもしれません。

12. Cadotte によると、この論文により、農法によって種構成の均等さに及ぼす影響が異なることが明らかになり、また、Crowder のチームが特定したカスケード反応は、種構成の均等さを操作することで引き起こせることが実証されたという。

13. Cadotte はまた、「種構成の均等さは、生物多様性の極めて重要な要素です」という。「これまで行われてきた研究のほとんどが種の豊富さを重視していましたが、もしかすると、そのためには種構成の均等さの研究が犠牲になっていたかもしれません」という。

14. 一方 Crowder は、次の段階は、有機農法の何が種構成の均等さを高めているのかを解明し、この知見がジャガイモ畑以外の系にも当てはまるかどうかを確かめることだ、と話している。

(翻訳：菊川要)

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。



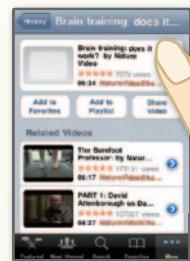
画面にURLが表示されるので、接続してください。

※ 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。

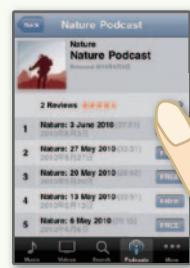
ハイライトページの  
Podcast または Video

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。

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。

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

ヒト microbiome (微生物群ゲノム) プロジェクトにより、まだまだ一部ですが、ヒトに常在する細菌の参照配列が得られました。ヒトに棲み着いている細菌数は、ヒトの細胞数の 10 倍といいますから、まさに、「第二のヒトゲノム」ですね。個人の全ゲノムシーケンシングが手の届く価格になってきた昨今、そこへ第二のゲノムの情報が加われば、オーダーメイド医療はさらに前進することでしょう。食料問題も解決してくれるかもしれません。……個人的には、ヒトの体表や体内でビタミン C が作れるようになって、シミ・しわが減ったらしいなと思います。（う）

\*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](http://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](mailto: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](mailto: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。

平成22年8月25日発行 第7巻第9号  
編集発行人：David Swinbanks

発行所：ネイチャード・ジャパン株式会社  
東京都新宿区市谷田町2-37千代田ビル

発行所：日本出版貿易株式会社  
ISSN：1880-0556



定価 680 円

本体 648 円  
Printed in Japan

雑誌 07271-09



4910072710904  
00648