

日本語で読む世界の最新科学ニュース

# nature ダイジェスト

## 12 ノーベル化学賞は準結晶に 2011

水星の意外な素顔

月の内部に迫る

イレッサが効くがん

ありがとう、ジョブズ!

年中無休で研究中!

プラセボ効果の排除は  
パーキンソン病治療の  
妨げになる?

脳が動かす仮想の腕で  
物体を「感じる」

ニュートリノは  
本当に光より速いか

大量絶滅の原因は  
巨大火山活動

FROM 日経サイエンス  
SNSで慢性疾患の治療法を改善  
ヒマラヤ越えインドガンの秘密

定価 680円

# 世界とつながる — nature

Nature の真髄はいうまでもなく、掲載論文の質の高さです。毎週発表される研究成果は、獨創性、重要性、注目度、社会性などの観点から査読を受けた、最高品質の論文です。しかし、論文だけが Nature のすべてではありません。Nature の前半部分には、Editorial、News in Focus、Comment など、さまざまなセクションがあり、研究成果が及ぼす影響、科学を取り巻く環境など、社会的な観点から科学を見つめ、科学が真にあるべき姿を考察することができます。科学的かつグローバルな視点から情報を提供しています。

# 36.101<sup>\*</sup>

The No.1 weekly science journal

\* 2010 Journal Citation Reports® (Thomson Reuters, 2011)

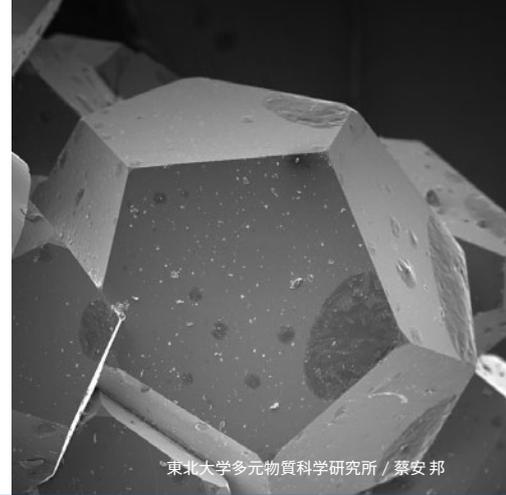
2011年、Nature は、過去最高の **36.101** というインパクトファクターを獲得し昨年引き続き総合科学誌で世界 No.1 に輝きました。

Nature で、新しい世界を発見してください！

定期購読お申し込み

[www.naturejpn.com/subscribe](http://www.naturejpn.com/subscribe)

 nature asia-pacific



東北大学多元物質科学研究所 / 蔡安邦

## ノーベル化学賞は準結晶に

# 04

表紙画像：東北大学多元物質科学研究所 / 蔡安邦

### NATURE NEWS

- 02 3日遅かった、  
ノーベル医学生理学賞
- 03 宇宙の加速膨張の発見に物理学賞
- 07 ヒトクローン胚から  
多能性の幹細胞を作製
- 09 脳がバーチャルな物体を「感じる」
- 15 RESEARCH HIGHLIGHT | 感染個体の処分では  
タスマニアデビルは救えない
- 16 月内部を精密探査する双子衛星
- 18 超光速ニュートリノが突きつけた難問
- 19 下痢から子どもを守る
- 21 血液から明かされるエピゲノム

### NEWS FEATURE

- 22 パーキンソン病の新治療法を  
科学が阻害する!?

### NEWS SCAN

- 10 SNSで慢性疾患の治療法を改善
- 10 ヒマラヤ越えインドガンの秘密

### NEWS & VIEWS

- 28 自信過剰は自然選択において  
有利に働く
- 30 大量絶滅を引き起こした巨大火山活動

### EDITORIAL

- 33 資金配分が少なすぎる脳疾患研究

### HIGHLIGHTS

- 34 2011年10/6 ~ 10/27号

### 英語で Nature

- 38 琥珀に封じ込められた原始的な羽毛

## 06 水星の奇妙な素顔

今年3月、初の水星周回衛星となった「メッセンジャー」。水星から地球への初めてのメッセージは、これまでの水星の概念を大きく変えるものだった。



NASA/JOHNS HOPKINS UNIVERSITY APPLIED PHYSICS LABORATORY/CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON

## 11 年中無休、 24時間研究中!

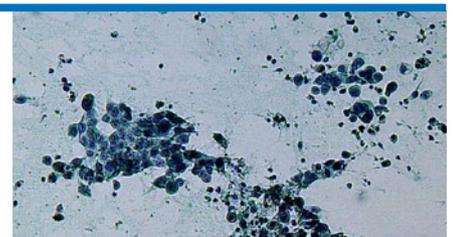
研究者の勤務時間は、研究室によってさまざま。ちょっと、ある年中無休の研究室をのぞいてみよう。



COURTESY OF ALFREDO QUIÑONES-HINOJOSA

## 26 イレッサで患者が 救えることを信じ続けた医師

間質性肺炎の副作用のあるイレッサ。しかし、EGFR遺伝子変異の肺がんに優れた効果があるのだ。



## 32 ありがとう、 ジョブズ!

10月5日、スティーブ・ジョブズ氏が亡くなった。彼の作ったMacは、科学の方法を変え、研究者に多大な恩恵をもたらした。



LANDOV/アフロ



左より、Jules Hoffmann、Bruce Beutler、Ralph Steinman。

## 3 日遅かった、ノーベル医学生理学賞

### Nobel announcement marred by winner's death

EWEN CALLAWAY 2011年10月6日号 Vol. 478 (13-14)  
[www.nature.com/news/2011/111005/full/478013a.html](http://www.nature.com/news/2011/111005/full/478013a.html)

今年のノーベル医学生理学賞は、免疫機構の解明に大きな業績を残した3人に授与された。だが、その1人、Steinman は発表3日前に死去していた。

10月3日、2011年ノーベル医学生理学賞が発表された。受賞者は、フランス国立科学研究センター細胞分子生物学研究所の Jules Hoffmann、スクリプス研究所（米国）の Bruce Beutler、そして、ロックフェラー大学（米国）の Ralph Steinman の3人だ。だが、まもなく残念なニュースが飛び込んできた。Steinman は発表3日前の9月30日に死去していたのだ。通常、故人への授賞はないが、ノーベル賞選考委員会は授賞者決定の時点で Steinman の死を知らず、結局、Steinman への授賞は取り消さないと決定した。

3人は、自然免疫と適応免疫という2つの免疫系の「武器」が働く仕組みの解明に貢献した。自然免疫は、感染微生物や異物に対して先天的に備わった免疫で、適応免疫は、そうした異物に対して後天的に獲得する免疫である。

Steinman は、適応免疫系にきわめて重要な樹状細胞と呼ばれる免疫細胞を発見した。樹状細胞は、免疫応答の標的を絞り込むために、体内に侵入した病原体の種類を正しく見分ける。一方、Hoffmann と Beutler は、適応免疫系よ

りもすばやく防御線を張る自然免疫系に重要な「異物感知センサー分子」を発見した。このセンサー分子は、さまざまな病原体が共有する特徴を認識して警報を発する「監視員」の役目をしている。

Steinman は1970年代前半に、ロックフェラー大学の Zanvil Cohn 研究室で免疫系の研究を始めた。当時、ほとんどの研究者は、マクロファージが、T細胞に特定の病原体の存在を警告していると考えていた。T細胞は警告を受けると活性化して増殖し、病原体に感染した細胞を殺したり、B細胞に病原体を阻害する抗体を産生させたりして、感染に挑戦する。

そんな中、Steinman は別の種類の免疫細胞を見つけた。その細胞には樹枝に似た突起があったので、これを「樹状細胞」と名付けた。さらに、T細胞の活性化にはマクロファージよりも樹状細胞のほうが重要なことがわかった。

「当初、樹状細胞は大したことのない細胞とみられて、その重要性を誰も認めませんでした」と、オックスフォード大学（英国）の免疫学者で、Cohn や Steinman とともに研究した Siamon

Gordon は振り返る。「法王が2人現れたような騒ぎになってね。樹状細胞派とマクロファージ派の対決が勃発しました」。だが、Steinman は粘り強くデータを集め続け、ついには批判派を納得させたのだ。

一方、Hoffmann は、適応免疫系がないショウジョウバエが真菌に感染しない理由を調べていた。そして1996年、胚発生に関係する Toll 遺伝子が、病原体と闘うためにも重要なことを突き止めた。Toll 遺伝子に変異したショウジョウバエを細菌や真菌にさらしたところ、死んでしまったのである。

同じころ、テキサス大学サウスウェスタン医療センター（米国ダラス）にいた Beutler は、マウスで6年にわたって探していた、菌体内毒素の一種リポ多糖類（LPS）を認識する免疫系遺伝子をようやく見つけた。それはなんと、Toll 遺伝子に非常によく似ていた。やがて、次々とほかの Toll 様受容体が発見され、病原体由来の分子を感知し、自然免疫系の重要部分を担っている分子群であることが明らかになった。

樹状細胞の発見も Toll 様受容体の発見も、医学にさまざまな影響を及ぼしてきた。ワクチンは通常、迅速な免疫応答を促すために金属などのアジュバント（免疫補助剤）を加えて投与されるが、いくつかの製薬会社は現在、Toll 様受容体を活性化するアジュバントを開発中である。また、米国食品医薬品局にがんの細胞免疫療法薬として唯一承認されているプロベンジは、前立腺がんで作られ出される分子を樹状細胞に認識させて治療するものだ。患者自身の樹状細胞を採取して培養し、前立腺がんに対する免疫を増強させる処置をしてから患者に戻すという手順を取る。

「免疫研究分野がこれほど大きく進み、臨床現場に生かされているのは、免疫系の活性化機構が解明されたおかげなのです」と、英国医学研究会議の免疫学ユニット副部長 Vincenzo Cerundolo は語っている。

（翻訳：船田晶子、要約：編集部）



左より、Saul Perlmutter、Brian Schmidt、Adam Riess。

## 宇宙の加速膨張の発見に物理学賞

### Stellar performance nets physics prize

GEOFF BRUMFIEL 2011年10月6日号 Vol. 478 (14)  
[www.nature.com/news/2011/111004/full/478014a.html](http://www.nature.com/news/2011/111004/full/478014a.html)

超新星の観測に基づいて宇宙の膨張が加速していることを明らかにした研究者に、  
 今年のノーベル物理学賞が贈られる。

宇宙論の核心部分に大きな謎の種をまいた3人の天体物理学者が、2011年のノーベル賞を受賞することになった。

ローレンスバークレー国立研究所（米国カリフォルニア州）のSaul Perlmutterは、宇宙の膨張が加速していることを発見した研究チームを率いた功績により、ノーベル物理学賞の2分の1を授与される（S. Perlmutter *et al. Astrophys. J.* **517**, 565-586; 1999）。これとは独立に宇宙の加速を測定したオーストラリア国立大学ウエストンクreek校（キャンベラ）のBrian Schmidtと宇宙望遠鏡科学研究所（米国メリーランド州ボルティモア）のAdam Riessは、賞の4分の1ずつを授与される（A. G. Riess *et al. Astron. J.* **116**, 1009-1038; 1998）。彼らの発見以来、研究者らは、この現象を説明しようと努力を続けている。

Schmidtはスウェーデンからの電話取材に対して、「膝がガクガクしていません、子どもが生まれたときのような感じですよ」と答えた。

3人の科学者たちは、遠方のIa型超新星の測定に基づいて、その結論に達した。Ia型超新星爆発はきわめて特殊な連星系で起こるもので、白色矮星が伴星から物質を剥ぎ取り、一定の質量に達したところで爆発するものだ。Ia型超新星は、そのピーク時にはほぼ同じ量の光を発するため、宇宙の「標準光源」として、超新星が出現した銀河までの距離を測定するのに利用できる。

受賞者たちは、1980年代末から1990年代初頭にかけて、新たに開発されたデジタルセンサーを用いてIa型超新星の明るさを高い精度で測定した。次に、その測定値を、超新星の赤方偏移（天体が我々から遠ざかる運動により生じる色の変化）から予想される明るさと比較した。その結果、超新星の明るさの実測値が、赤方偏移から予想される明るさよりも暗いこと、つまり、超新星の実際の位置が、赤方偏移から予想される距離よりも遠いことを見いだした。これを理解するためには、宇宙が単に膨張している

だけでなく（天文学者が最初に膨張に気づいたのは1920年代のことだった）、速度を上げながら膨張していると考える必要があった。

Schmidtは当初、この発見に「当惑させられた」と言う。天文学者の大半は、ビッグバン後の宇宙は急激に膨張しているが、遠く離れた銀河どうしを重力が引き寄せるため、徐々に失速していきだろうと予想していたからである。それにもかかわらず、彼らの発見は天文学コミュニティによってほとんどすぐに受け入れられた。これには、かのアルバート・アインシュタインが、宇宙を押し広げる圧力という概念を提案していたことも関係している。

アインシュタインが1917年に自分の一般相対性理論を宇宙全体に適用したとき、彼の方程式にはまさにそのように外へ向かう力を記述する「宇宙定数」が含まれていた。最近10年間に行われた宇宙の大規模構造の観測は、ビッグバンのかすかな残光である宇宙マイクロ波背景放射の観測とともに、我々が、宇宙にあるエネルギーの大部分を検出できていないことを示唆している。天文学コミュニティは現在、宇宙のエネルギーの約73%が宇宙膨張の加速につき込まれていることを認めている。この力はダークエネルギーと呼ばれ、その正体は謎に包まれている。カーディフ大学（英国）の天体物理学者Peter Colesは、「発見されたものが何なのか、誰も本当にはわかっていないのです」と言う。

現時点では、ダークエネルギーは宇宙の真空の量子ゆらぎから生じるという見解が支配的だが、量子論を用いてこれを記述しようとする試みはこれまでのところ失敗に終わっている。重力理論の改変など、その他の理論はほとんど受け入れられていない。

「どれも正解ではないのかもしれませんが」とColesは言う。しかし、「彼らの実験がなかったら、我々は今、『どれも正解ではないのかもしれない』と言うことさえできなかったのです」。

（翻訳：三枝小夜子）

# ノーベル化学賞は準結晶に

松尾義之 (科学ジャーナリスト)

四半世紀前まで、X線結晶回折において、5回対称パターンは「存在しないもの」とされてきた。その常識を覆した発見に、今年のノーベル化学賞が贈られる。

2011年のノーベル化学賞は、1982年に準結晶を発見したテクニオン・イスラエル工科大学（ハイファ）のDan Shechtman



Dan Shechtman

に贈られる。準結晶とは、古典結晶学が規定したような厳密完全な周期性を持たないものの、それに匹敵する長距離秩序を持った構造のことだ。この発見により、19世紀に確立された結晶学は見直しを迫られ、1992年に国際結晶連合は、結晶の定義を「不連続な回折パターンを示す物質」という緩い定義に変更した。

ではShechtmanは何を見たのか。彼が実際に見たのは、5回および10回対称性を持つ電子線回折パターンだった。このような対称性は、少なくとも1980年代前半までの結晶学・X線（電子線）結晶解析では、「存在しないもの」と信じられていた。理由はこうだ。

まず結晶とは何か。結晶とは、単位胞（セル）を三次元空間に無限に埋めつくしたものと定義される。例えばサイコロ（正六面体）は空間を隙間なく埋めつくすことができる。この空間格子はまた、並進対称性という特徴を備えている。つまり、サイコロ全体をいっぺんに1つ分だけずらしても、すべてが前とピッタリと重なる。このような単位胞に、原子や分子を配置し、それで空間全体を埋めつくしたものが結晶だ。

以上は三次元空間の話だが、次に、回折像つまり二次元平面での話になる。三

次元のサイコロ結晶にX線（電子線）を当てて回折像をとると、碁盤の目のように並んだ格子点ができる。碁盤の目は、90度回転しても全体が完全に重なり、4回×90度=360度で元に戻るので「4回（回転）対称性」を持つという。

1980年代の教科書（例えばキッテルの『固体物理学入門』など）には、結晶には、「1回、2回、3回、4回、6回の回転対称性しかありえない」と書かれていた。1回は任意だが、2回は長方形、3回は正三角形、4回は正方形、6回は正六角形の格子のことだ。空間を埋め尽くせる同じ形はこれだけしかない。抜けている5回の正五角形では、どうしても隙間が空いて歪んでしまう。したがって並進対称性は生まれず、結晶で5回対称はありえない。そのはずであった。

だから、多くの実験科学者が、回折像の中に実際には5回対称や10回対称を見ていたと思われるのに<sup>1</sup>、見ないか見えないふりをしていたのだ。ところが、Shechtmanは違った。明るいスポットが正五角形、正十角形に並ぶ回折像を見て、ありうる空間構造だと見抜いたのだった。

この辺りで、あまり立派でない光景が見られた。ノーベル賞を2回受賞した、かのLinus Paulingなど、著名な科学者がこぞってShechtmanの主張を嘲笑したのだ。論文は2年以上も受理されなかった。受賞の知らせを受けてShechtmanは*Nature*に「観察を繰り返して自分に確信を持ったならば、他人に聞いて『そんなのありえないよ』と言われても、決してあきらめてはいけません」と答えて

いる<sup>1</sup>。この言葉は、当時の彼の苦境を物語る。大多数から馬鹿にされたのだ。

Shechtman が 5 回対称性を観察したのは、アルミニウムとマンガンの合金であった。彼はサバティカル(研究休暇)で、イスラエルから米メリーランド州ゲイサーズバーグにある国立標準局(現在の国立標準技術研究所:NIST)に来ており、1982年4月8日、この発見と出会ったのだった。彼の実験ノートには「10回対称???」と記された<sup>1</sup>。

### 準結晶は、正二十面体の対称性

その Shechtman の仕事が、いかにして認められていったのか。その辺りの事情は、研究者だけでなく、科学ジャーナリズムでも広く記憶されている。論文は1984年によく発表された<sup>2</sup>。そしてそのすぐ後に、Dov Levine らによる準結晶の理論的論文が発表されたのだった<sup>3</sup>。この論文は、Roger Penrose によるマクロな 5 回対称性を示すモザイク状平面充填形(いわゆるペンローズ・タイリング)を、三次元空間に拡張したものであり、論文のタイトルに堂々と準結晶(quasicrystal)とうたっていた。

Shechtman の仕事は広く知られるようになり、その後の高温超伝導フィーバー(1986年)には負けるものの、19世紀に確立され、材料科学や半導体の基盤である結晶学が根底から覆されたとは大騒ぎになり、世界中で精力的な研究が展開されたのである。

特筆すべき点は、その後、さまざまな準結晶物質が発見・合成されたことだ。5回、10回に限らず、8回対称、9回対称といったパターンさえ発表された。そうした新種の準結晶物質の9割以上を、また安定な準結晶を初めて発見したのが、現在、東北大学多元物質科学研究所の蔡安邦教授である。それだけでなく、蔡教授の数年前の研究結果が、今回、準結晶がノーベル賞の授賞テーマとなるうえで、決定的な役割を果たしたらしい。ノーベル財団が発表した(スウェーデン王立アカデミーによる)解説 The

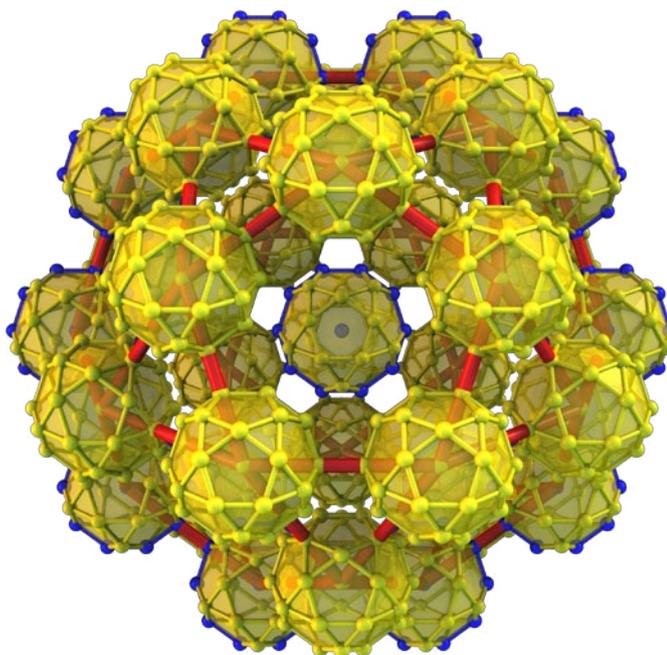


図1 イッテルビウム(Yb)とカドミウム(Cd)の二元準結晶の原子構造<sup>4</sup>。こうしたクラスターが三次元空間を埋め、マクロな正二十面体対称性を生み出している。

Discovery of Quasicrystals で、後半部分がすべて蔡教授らの仕事の紹介となっているからだ。

1984年のShechtman論文は事実の発見であり、同時期に発表されたペンローズ・タイリングの三次元版という理論がもし準結晶の本質を示していれば、Levine らが共同受賞するのが自然だ。そうならなかったのは、科学倫理にからむ微妙な背景があったからと言われる。それより何より、残念ながら多くの準結晶がこのモデルでは説明しきれないのだ。

多くの準結晶は、本質的に、正十二面体(=正二十面体)と同じマクロな対称性を持っている。このことは、Shechtman はもちろん東北大学グループが当初から指摘してきたことだった。ペンローズ・タイリングの三次元版でも同じ対称性を示すのは可能だし、近似結晶などの理論も提案されてきた。こうした準結晶論争に、ほぼ決着をつけたのが2007年の論文<sup>4</sup>と思われる(図1を参照)。

正十二面体には、正二十面体、菱形三十面体という双対の(頂点と面を入れ替えた全く同じ対称性を備えた)多面体が存在する。これらとその相補的な形が、

ふくそう  
輻輳しながらも巧妙に美しく空間を埋めていき、しかもフラクタルのような自己相似構造を作りながら、アボガドロ数つまり10の23乗個というとても多く多くの数の原子を、秩序正しく空間に並べている。蔡教授らは、イッテルビウムとカドミウムによる準結晶の詳細な構造モデルを提示し、原子と原子の距離などを精密な実験で突き止めたのだった。

そこから見えてくるのは、既存の結晶とよく似た長距離秩序構造を作り上げるマクロな整合性が利いていることだ。だからこそ、準結晶という存在が生まれるのではないか。もはや、準結晶は結晶のおまけではない。結晶をより深く理解するための、より普遍的な秩序構造なのかもしれない。少なくとも正二十面体準結晶は、三次元空間において、ほとんどの結晶よりも優れた長距離秩序を持っている<sup>4</sup>。やっぱり自然は、ランダム(行き当たりばったり)でなく、対称性を好むらしい。 ■

1. van Noorden, R. *Nature* **478**, 165 (2011).

2. Shechtman, D. et al. *Phys. Rev. Lett.* **53**, 1951-1953 (1984).

3. Levine, D. and Steinhardt, P. *Phys. Rev. Lett.* **53**, 2477-2480 (1984).

4. Takakura, H. et al. *Nature Mater.* **6**, 58-63 (2007).

メッセンジャーが撮影した高解像度画像から、以前は知られていなかった水星表面の地形が明らかになった。

## 水星の奇妙な素顔

### Close-ups reveal a weirder Mercury

RON COWEN 2011年9月29日 オンライン掲載  
www.nature.com/news/2011/110929/full/news.2011.561.html

水星探査機メッセンジャーの観測結果は、  
これまでの水星形成の仮説に異議を唱えるものとなった。

米国航空宇宙局（NASA）の水星探査機メッセンジャーは今年3月、水星を回る軌道に入り、初めての水星周回衛星となった。先頃、*Science* にメッセンジャーの最初の一連の観測結果が発表され、太陽系の最も内側の惑星、水星の正体と歴史について、従来の基本的な仮説の一部を再検討しなければならなくなった。

報告によると、これまで知られていなかったタイプの地形が発見されたほか<sup>1</sup>、高熱のために遠い昔に大部分が水星から失われているはずだと考えられていた揮発性の元素（硫黄やカリウムなど）が、ふんだんに存在する証拠が見つかった<sup>2</sup>。このほか、水星の地勢<sup>3</sup>、表面の化学組成<sup>4</sup>、磁場<sup>5,6,7</sup>に関する5つの報告があった。

こうしたメッセンジャーの観測結果が、このプロジェクトにかかわっている地球上の研究者に伝えるメッセージは明確だ。「水星は奇妙な惑星だ。すべてが

変わっている。それがどんな種類の岩でできているのかも、その色さえもわからない。誰もがもうなくなってしまったと考えていた揮発性物質も、依然として存在する」。

プロジェクトのメンバー、ジョンズホプキンス大学応用物理学研究所（米国メリーランド州ローレル）の惑星地質学者Blewettらは、メッセンジャーが撮影した、水星のこれまでで最も高解像度の画像を調べ、北半球のクレーターの底、壁、中央丘に「くぼみ」が散在していることを発見した。この不規則な形のくぼみは、これまでに見つかっているいかなる地形にも似ておらず、直径数十mのものから数kmのものまでである。水星の長い歴史の中で生じてきた隕石衝突によっても変化しておらず、できてからそれほど経っていないように見えるのだ<sup>1</sup>。

「このくぼみは火山爆発でできたものではないようです」とBlewettは話

す。ただし、火星の南極地域で見られる「スイスチーズ状の地形」とは少し似ている。スイスチーズ状の地形では、二酸化炭素の氷の堆積物が太陽の加熱によって昇華（固体が直接気体になること）し、その際、地表面から周囲の物質を少しずつ運び去る。

Blewettらは火星の例を参考にして、水星の地表面下の温度は一部の揮発性物質が安定に存在できるほど低いのだろうと考えている。「デブリ（天体の破片）が水星表面に衝突すると揮発性物質の放出を引き起こすエネルギーが供給され、揮発性物質が昇華する際に周囲の地形がえぐられるのでしょ」とBlewettは話す。

英国ミルトンキーンズにあるオープン・ユニバーシティ（通信手段などを利用して、遠隔教育を行う大学）の惑星科学者David Rotheryは、この研究には参加していないが、「このくぼみは確かに謎です。私も最も有力な説明は昇華によってできたというのだと思います」と話す。

Blewettらは、水星北部にあるラディトラディ盆地では、このプロセスにより水星表面の厚さ1cmの物質がなくなるのに7万～20万年かかったと見積もっている。つまり、くぼみができるのに数十億年かかったことを示している。

#### どうして揮発性元素が

しかし、水星は太陽系で最も小さな惑星であり、常に太陽に焼かれている。水星

では簡単に表面からなくなってしまうと思われる元素を、どうして相当量保持し続けることができたのだろうか。水星は巨大な鉄の核を持ち、ほかのどの地球型惑星の核よりも惑星体積に占める割合が大きい。このことを説明するシミュレーションモデルの多くは、水星が初期に高熱にさらされたことを前提にしている。

これらのモデルでは、初期の水星の大きさが地球に近く、現在の水星の地殻とマントルよりもずっと厚い地殻とマントルを持っていたという仮定からシミュレーションを開始する。さらに、水星ができてすぐに大きな衝突があり、岩を作る物質の多くが失われたか、あるいは、若い太陽が高熱だった時期があり、トーランプのように水星の外側の層を熱して除去したかのいずれかのシナリオを想定している。

しかし、今回のメッセンジャーの最新の観測から、どちらのシナリオも正しく

ないことが示唆された。メッセンジャーのX線分光分析は、水星表面には、地球のマントルの少なくとも10倍以上の硫黄が含まれていることを示している<sup>2</sup>。また、ガンマ線分光分析の結果からは、水星表面のカリウムとトリウムの比がほかの地球型惑星の比に近いことがわかった<sup>4</sup>。この2つの結果は、水星は過去に高熱にさらされてはいないこと、形成時からそのマントルは現在のように薄かったかもしれないことを示唆している。ガンマ線分光分析の研究を率いたジョンズホプキンス大学応用物理学研究所のPatrick Peplowskiは、「水星の形成を説明するためにこれまで提案されてきた例外的な理論では、実はうまく説明できないという見方が、今、私たちの間では有力です」と話す。

では、水星とその巨大な鉄の核は、いったいどのようにしてできたのだろうか。太陽を回っていたガスとちりの円

盤の中から集まって水星を形成した物質が鉄を豊富に含んでいた、と提案する理論研究者もいる。しかし、この仮説ではなぜ、太陽系のほかの地球型惑星は、同様の組成にならなかったのかがはっきりしない。

「これらの謎を説くことは、普遍的に重要なことです」とBlewettは話す。太陽系外惑星にも親星の近くを回り、岩石でできているものがある。水星は、そうした太陽系外惑星に最もよく似た太陽系内の天体だ。「水星を理解するまでは、こうした太陽系外惑星がどのようにしてできたのかを本当に理解したとは言えません」とBlewettは話している。

(翻訳：新庄直樹)

1. Blewett, D. T. *et al. Science* **333**, 1856-1859 (2011).
2. Nittler, L. R. *et al. Science* **333**, 1847-1850 (2011).
3. Head, J. W. *et al. Science* **333**, 1853-1856 (2011).
4. Peplowski, P. N. *et al. Science* **333**, 1850-1852 (2011).
5. Anderson, B. J. *et al. Science* **333**, 1859-1862 (2011).
6. Zurbuchen, T. H. *et al. Science* **333**, 1862-1865 (2011).
7. Ho, G. C. *et al. Science* **333**, 1865-1868 (2011).

## ヒトクローン胚から 多能性の幹細胞を作製

### Cloned human embryo makes working stem cells

DAVID CYRANOSKI 2011年10月5日 オンライン掲載  
www.nature.com/news/2011/111005/full/news.2011.578.html

ヒト卵細胞から作製するES細胞。これまでうまくいかなかったのは、  
卵の染色体を取り除いていたためかもしれない。

クローン技術を用いて、成人の卵細胞を胚の状態に再プログラム化し、発生中の胚から自己複製能を持つ胚性幹細胞株の作製に、ニューヨーク幹細胞財団研究所の研究グループが成功した。彼らがここまで達するには、希望と挫折の山と谷をいくつも越えなければならなかった。この研究成果は、*Nature* 2011年10月6

日号に発表された<sup>1</sup>。

しかしながら、今回の成果は、胚性幹細胞(ES細胞)の作製をめざす研究者たちが求める最終目標ではない。なぜなら、この胚由来の幹細胞株のDNAは、細胞を提供した患者のDNAと同一ではなく、真のクローン胚ではないからだ。それでも、今回の実験結果は、患者特異

的な幹細胞株を作製するための一歩であり、これまで、なぜ実験がうまくいかなかったのか、その原因のいくつかを説明できるだろう。

#### 思わぬ誤算

1996年、羊のドリーが誕生し、成体のDNAを卵細胞に注入することで、クローンを作製できることが示された。それ以来、研究者たちは、クローン作製よりも容易と考えられる、ヒトクローン胚から幹細胞株を作製しようと取り組んできた。これが実現できれば、研究や治療を目的とした組織が作製できると考えられるからだ。

しかし、だんだん、クローン胚からの幹細胞株の作製は難しいことがわかってきた。しかも、難しいのはヒトに限るわけではない。多くのグループが研究しているにもかかわらず、これまで、マウスやアカゲザルなど、数種の哺乳類でしか、クローン胚からES細胞株は作製で

きていないのだ。特にヒトの場合、カギとなる材料の卵を自由に入手できないことは確かに障害ではあるが、少なくとも提供卵の数の問題ではなく、ヒトの生物学の繊細なプロセスを微調整しなければならなかったことが原因だと考えられる。

2004年、ある研究グループがクローン胚からの幹細胞株の作製に成功したと発表した。当時、ソウル大学の生物学者だった黄禹錫が、生存可能なヒトクローン胚を作製したと報告したのだ。しかし、その論文は捏造だった。黄の研究グループは、倫理に反する手段で入手した2000個以上もの卵を、誤った実験や不正な実験に使い尽くしていた。結局、何の成果も得られず、研究に卵を使用する正当性および倫理性について疑念が生じ、クローン胚作製の研究は停滞してしまった。

さらに、2006年、人工多能性幹細胞(iPS細胞)が作製され、クローン胚作製の必要性は疑問視されるようになった。iPS細胞では、1個の完全な卵を使用する必要はなく、成体細胞に数個の遺伝子を導入することで細胞を再プログラム化し、胚の発生能(万能性)を持たせることができるのだ。このためiPS細胞は、倫理的な障害をはるかに少なく、クローン胚由来のES細胞と同じ研究や応用が可能だろうと考えられた。ところが、ここ数年、iPS細胞はES細胞と微妙に違って、それが発生に影響を与えることがわかってきた。

### 一歩、一歩

従来のクローン技術では、未受精卵から一倍体の染色体を除去して、患者の成体細胞の二倍体の染色体を注入し、その導入DNAによって卵を胚発生させようとする。しかし、通常、このような細胞は、数回分裂すると発生が停止してしまうのだ。

今回、研究チームを率いたニューヨーク幹細胞財団研究所のDieter Egliは、ゼロからやり直した。研究チームは、16人から270個の卵の提供を受けて一連の実験を行い、従来のクローン技術の3つの主要な手順について、何が問題で発生が停止するのかを調べた。その結果、卵のDNAを除去したことに原因があることがわかった。卵の染色体を除去せずに残したままで外部から染色体を導入すると、再プログラム化が行われ、卵に由来する余分な1組の染色体を持っているにもかかわらず、70~100個の細胞からなる胚盤胞期まで発生し、さらにそれらの細胞から幹細胞を誘導できたのだ。

これには、Egliらもたいそう驚いた。「それは本当に、幹細胞でした。技術的な問題が解決できることが実際に立証されたのです」。

### 議論されるクローン

「ヒトの卵は、我々が思っていたとおり、本当に『魔法』を使ったんです!」と、幹細胞技術を使った治療法を開発しているアドバンスト・セル・テクノロジー社(米国カリフォルニア州サンタモニカ)

の最高科学責任者であるRobert Lanzaは言う。「この研究は、今回のクローン技術の持つ、とてつもない力を明確に示しています」。一方で、Lanzaは、今回の特別な実験を手放してたたえてはいない。彼は、「この方法が今まで試みられなかったのは、臨床的な意義がないからです」と話す。この方法で作製された幹細胞は、染色体を余分に1組持つため、患者の組織に利用できないのだ。

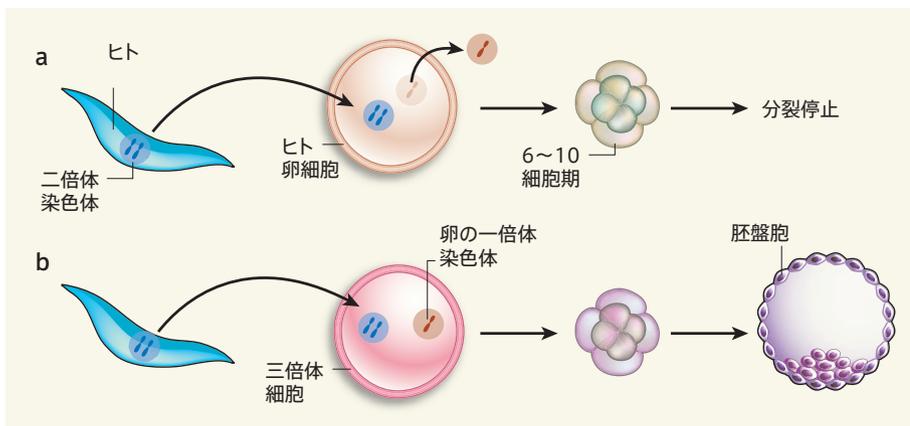
クラグイェヴァツ大学(セルビア)のクローン技術の専門家Miodrag Stojkovicは、こうした懸念に同感の意を示す。「この方法で作製されたES細胞は異常細胞であり、ヒトの初期発生を理解するための非常に限られたツールでしかありません」。そして、染色体の組数が正常なクローン胚由来のES細胞を作製し、iPS細胞と厳密に比較するべきだと付け加えた。

それでも、iPS細胞に問題があるとすると報告は増え続けているため、この最新の研究によって、クローン技術を用いた「もっと自然な」再プログラム化法の探索が促されるだろう。

Egliのグループは、卵のDNAを除去して生存可能な胚を作製しようと、ほかの細胞種の使用やiPS細胞の誘導効率を高めるために用いられた方法をはじめ、多数の異なるアプローチを検討している。Egliは、卵の染色体で、成体細胞の染色体で置き換えられない「胚盤胞期への発生に必要な今までに知られていない因子」を徹底的に調べるつもりだ。

Lanzaは、卵から染色体を除去してしまうと、細胞分裂を可能にする紡錘体も除かれてしまうことが、真の問題ではないかと考えている。「ほかのいくつかの種とは異なり、ヒトの胚では、分裂を続けるためには紡錘体が重要なのです。これこそ、ヒトのクローン胚作製が今までうまくいっていない理由なのです」とLanzaは話す。

(翻訳: 三谷祐貴子)



1. Noggle, S. et al. *Nature* **478**, 70-75 (2011).

# 脳がバーチャルな物体を「感じる」

## Monkey brains 'feel' virtual objects

SUSAN YOUNG 2011年10月5日 オンライン掲載  
www.nature.com/news/2011/111005/full/news.2011.576.html

マカクザルの実験で、脳が制御する仮想の手を使って、  
物体のバーチャルな質感を感じることができた。

ある国際共同研究チームが、脳に埋め込む装置を開発した。この装置を埋め込まれたサルは、自分の脳が制御する仮想の腕を使って、バーチャルな物体を探ることができた。この装置は、視覚フィードバックに頼らずに、ユーザーが周囲の情報とリンクできるような義足やロボットスーツの開発に向けた次なるステップとなるだろう。

デューク大学（米国ノースカロライナ州ダーラム）の Miguel Nicolelis を中心とする研究チームは、2頭のマカクザルの運動野と体性感覚野に電極を挿入した。運動野は、随意運動の遂行に関与する脳領域であり、体性感覚野は、数ある感覚的刺激の中で触覚に敏感な体細胞からの入力を処理する。

サルたちは、脳だけを使って仮想の腕の像を動かすことで、コンピューター画面に表示された物体を探るように訓練された。運動野の電極は、サルが動かそうとする意思を記録して、その情報をバーチャルな世界の仮想の腕に伝える。そして仮想の手が画面上の物体の上を通り過ぎると、サルの体性感覚野に電気シグナルが供給されて、「触覚」フィードバックが与えられた。

視覚的には同一の2つの物体の一方を選ぶ作業では、ごほうびがもらえる物体（触れたときに与えられる電気刺激と関連付けた）と電気刺激もごほうびもない物体とが識別された。このことは、皮膚への刺激がなくても脳は触覚に関する情報を解読できることを示している、と



Nicolelis は説明する。「サルが何を知覚したのかはわかりませんが、それは、脳と仮想の指とを直接つなぐことによって人工的に作り出された感覚なのです」。

今回の結果は10月5日付オンライン版 *Nature*<sup>1</sup> に発表された。

### 現実を把握する

研究チームによれば、記録用の電極と刺激用の電極は連結する脳組織に設置されており、感覚の入力と運動の出力とが互いに干渉しないようにしておくことが難しかったのだという。この問題は、ブレインマシンブレインのインターフェースが脳を刺激する状況と運動野の活動が記録される状況とを交互に切り替えることによって解決され、それぞれのプロセスには100ミリ秒ごとに半分ずつの時間が与えられた。

この研究には参加していないイタリア工科大学（ジェノバ）の神経科学者、Stefano Panzeri は、「これは、感覚領

域と運動領域との情報交換に対してある種の制約となります」と話す。しかし、サルはその情報を利用することを学習するため、この実験はこうした制約の下でも脳が情報を交換できることを示している、と Panzeri は説明する。

同じく今回の研究とは無関係のレスター大学（英国）の神経科学者、Rodrigo Quian Quiroga によれば、この双方向的なコミュニケーションは、ブレインマシン・インターフェースの開発にきわめて重要なステップなのだという。従来のブレインマシン・インターフェースは視覚フィードバックに依存しており、ロボット補装具への応用には理想的なものではなかった、と Quian Quiroga は語る。「グラスをつかもうとすると、視覚フィードバックは役に立ちません。うまくつかめたとか、落ちたことしそうだとかいう状況を脳に伝えるのは、感覚フィードバックなのですから」。

感覚情報は、Nicolelis の最終目標に必要な要素であり、それは Nicolelis が加わっている国際共同研究「ウォーク・アゲイン・プロジェクト」の最終目標でもある。このプロジェクトでは、重度の身体麻痺に苦しむ患者が動けるような外骨格スーツを作ろうとしているのだ。「我々は、臨床応用に向け、3年以内にこうした補装具の製作と試験の実現をめざしています。そのためには、今回の成果は欠かすことのできないものになるでしょう」と Nicolelis は話す。

Nicolelis は、ウォーク・アゲイン・プロジェクトの共同研究者の支援を得て、母国ブラジルで開催される2014年のサッカーワールドカップで、ブレインマシン・インターフェースで動くスーツのお披露目をしたいと考えている。スーツを装着した四肢麻痺のブラジルの若者に試合開始のキックインをしてもらおうというのだ。

（翻訳：小林盛方）

1. O'Doherty, J.E. et al. *Nature* advance online publication, <http://dx.doi.org/10.1038/nature10489> (2011).

## SNS で慢性疾患の治療法を改善

フェイスブックに似たサイトを通じて臨床研究を進める「C3N」が米国で始動

医学が進歩したとはいえ、多くの慢性疾患の治療法はいまだに場当たり的で一貫性がない。例えば痛みを伴う消化器系疾患であるクローン病の場合、投薬や食生活の改善、代替療法をめぐって矛盾した情報が存在する。そこで、患者が受ける治療法を改善するため、小児科医とコンピューター科学者のチームが新タイプのソーシャルネットワークを開発した。このネットワークを通じて、臨床研究に参加してもらおう試みだ。

医師と患者は治療法を少し変えるたびに、いわば「ミニ版の臨床試験」として、その結果を報告する。患者は症状を毎日記録し、その記録を携帯メールかインターネットを通じて提出する。医師はこの情報を利用して、「薬の投与量を交えるべきか」「新しい食事療法は症状の改善に役立っているか」などを速やかに判断する。これら個別の実験から得られたデータはウェブ上のデータベースに蓄積する。同様の実験データが集まれば、問題の症状について理解は深まるはずだ。

### 新たな臨床試験の基盤に

初期のテスト運用では、新たな薬を用いずに症状改善率を55%から78%に高めることができた。「途切れなく患者をケアし、リアルタイムのデータを集めて、クローン病に関する理解と治療法を変えていきたい」と、新ポータルサイト「共同慢性病治療ネットワーク」の共同設立者であるシンシナティ小児病院医療センターのPeter Margolisは言う。

英語名称の頭文字を取って「C3N」と呼ばれるこのネットワークは、2011年前半に全米の約30の医療機関が参加してスタートした。いまのところ小児のクローン病に焦点を絞っているが、将来は、糖尿病、心疾患、乾癬、一部のがんなどにも広げる可能性がある。

C3Nの設立者たちは、この試みが利益主導によらない新たな臨床試験の基盤となると考えている。「大規模臨床試験には多額の費用がかかるので、実際には大きな利益を生むような治療法しか試験できていません」と、マサチューセッツ工科大学メディア研究所の研究員でC3Nのウェブ設計主任でもあるIan Eslickは言う。「C3Nならそんな制限はありません。プロバイオティクス、グルテン除去食、鉄分摂取の調整など、すでに患者が家庭で進めている試みはもちろん、お金になりそうもない治療法でも、科学的に試験できるのです」。

(翻訳協力：栗木瑞穂)

## ヒマラヤ越えインドガンの秘密

鳥が高度9000mもの高空を飛べる理由が明らかになった

世界で5番目に高い山、ヒマラヤのマカルーに挑む登山家が、山頂まであと少しのところまできて驚いた。越冬のためにインドに渡るインドガンが頭上高く飛ぶ光景を見たからだ。この鳥は高度9000m、実に、民間航空機とほぼ同じ高さを飛ぶ。

これほどの高さを飛べる理由は、これまでは、強い追い風と上昇気流に助けられているからだと考えられてきた。英バンガー大学のCharles Bishopが率いる研究チームは、この古い仮説を検証するため、10数羽のインドガンに小型の衛星発信器をつけて追跡した。この発信器で、鳥が飛んでいる位置、スピード、高度がわかる。

その結果、驚いたことに、インドガンが飛ぶのは地表からの熱で秒速5m強の上昇気流が生じる昼過ぎの時間帯ではなく、実際には少し下降気味の気流が発生する夜間か早朝の時間帯であることがわかった。研究チームがProNASに発表した最新の論文では、夜間や早朝は空気が冷たく密度が高いため、ガンに生じる揚力が大きくなると理論づけている。冷たい空気は体熱の調節を助ける面があるほか、酸素を多く含んでいるので空気が薄い高高度でも飛ぶことができる。

Bishopらは、インドガンがたった1日でヒマラヤ山脈を越えることにも驚いた。高度6000mを7～8時間にわたって飛び続ける。このような高い高度を長距離飛ぶには、インドガンは酸素消費量を10～20倍に高めてそれを維持しなければならない。ちなみに、低高度を飛ぶカナダガンなどの場合、高度9000mでは安静時の代謝レベルも維持できない。

インドガンは大きな翼と大きな肺、飛翔筋を取り巻く高密度の毛細血管網、酸素にしっかりと結合するヘモグロビンがすべてそろって、飛翔筋と循環系全体の酸素の流れが維持されている。インドガンの組織が酸素をうまく取り込んでいる仕組みを詳しく知れば、人間の呼吸についても新たな知識が得られるかもしれない。

(翻訳協力：栗木瑞穂)

### nature × 日経サイエンス ダイジェスト

今月号より、日経サイエンス最新号の記事の一部を掲載することになりました。日経サイエンスは、ネイチャー・ジャパン株式会社と同じネイチャー・パブリッシング・グループ (NPG) のメンバー、Scientific Americanの日本版で、幅広い分野の話題をわかりやすく紹介しており、科学的知識のない方でも気軽に読める雑誌です。詳細は、日経サイエンスのウェブサイトをご覧ください。

[www.nikkei-science.com](http://www.nikkei-science.com)

# THE 24/7 LAB



LEFT TO RIGHT: JAMES KEGLEY; HEIDI LEDFORD; MAX FRANZ; DAVID PURGER; HEIDI LEDFORD

## 年中無休、24 時間研究中!

### The 24/7 lab

HEIDI LEDFORD 2011年9月1日号 Vol. 477 (20-22)

帰宅は真夜中、週末もラボ。

ミーティングは金曜日の夜。

こうした生活を送ってこそ、すばらしい研究成果が得られるのだろうか。

7月のある暑い金曜日の深夜、ラジオからはエンリコ・イグレシアスの歌う「Dirty Dancer」が流れていた。26歳の大学院生 Sagar Shah は、ちょっと疲れてきたようだった。彼の頭を悩ませているのは、もうすっかり夜中だということでも、細胞培養用の窮屈なクリーンベンチで3時間も作業し続けていることでもない。問題は、希少なヒト腫瘍細胞を集めて新鮮な培地に浸すという細胞培養おきまりの作業をしているだけで、データが全く得られていないことだ。自分はデータに「飢えて」いるのだと Sagar は話す。

Sagar の隣のクリーンベンチでは、22歳の学部生 Lyonell Kone が作業をし

ていた。突然 Kone は立ち上がり、顕微鏡に足を向けると、研究室仲間の Nathaniel Tippens を脇に押しつけ、彼は自分の培養細胞に目を凝らした。細胞が適正な密度で増殖していることを確かめると、満足した彼は顕微鏡から離れて、細胞培養フラスコをインキュベーター内に注意深く置き、両目をこすって大きく伸びをした。これでこの日の作業は終わりだ。

ここは、真夜中のジョーンズホプキンス大学コッホがん研究棟（米国メリーランド州ボルティモア）。この日は7月4日の米国独立記念日を月曜日に控えた金曜日で、夜の清掃人たちも数時間前に

帰ってしまった。シンとした廊下には消毒薬の臭いがかすかに漂い、時おり、高圧蒸気滅菌器のピーッという音だけが響き渡っていた。そんな研究棟内で唯一見られる人間活動、それがこの狭い細胞培養クリーンルームで繰り広げられるくたびれた光景だった。しかし、神経外科医 Alfredo Quiñones-Hinojosa の研究室のメンバーが研究棟を最後に出るのは、いつものことだ。ボスが、研究室のメンバーに朝の6時に電話したり、夜10時までかかるような研究室ミーティングを金曜の夕方に入れたり、クリスマス休暇中できさえも仕事をするのが当然と思っているような研究室では、連

休となる週末でも夜中まで当たり前のように仕事をするのだ。

強烈な研究意識と長時間労働で知られる研究室は多々ある。私（筆者）はそうした研究室のありさまを調べるにあたって、どんな人間がこうした環境に魅力を感じるのか、そこで働くことが現実にはどういふものなのか、そして、長時間労働がより多くの、またはより優れた研究成果につながるのかどうかを知りたいと思った。そこで、非常にハードワークだと評判の11の研究室に取材を申し込んだ。だが、10人の研究リーダーは私の取材を断り、中には自分が「奴隷監督」のように思われるのを恐れるリーダーもいた。

しかし、11人目の Quiñones-Hinojosa はそうしたことを全く気にかける必要もないだろう。19歳のときにメキシコから不法入国し、カリフォルニアの農場で働いた後、米国の一流の研究病院の1つで神経外科医になるまでの立志伝は、すでに *New England Journal of Medicine* にエッセイ<sup>1</sup>として掲載されたり、テレビや新聞でも取り上げられたりしている。9時から5時までというレギュラーワークでは、現在の地位に上り詰めることはなかったのである。

Quiñones-Hinojosa は、学部生であったカリフォルニア大学バークレー校（米国）時代も、また、その後医学生となったハーバード大学（米国マサチューセッツ州ケンブリッジ）時代も、研究所で1人遅くまで残って研究していた。彼は、今でも昔を懐かしむ。カリフォルニア大学サンフランシスコ校（米国）でレジデントだったとき、3人の幼い子どもたちは、父親は病院に住んでいると思い込んでいた。実際、当時の Quiñones-Hinojosa の生活は、週に140時間も研究に従事し、ちょっとした合間に10分の仮眠をкаろうじて取るというものだった。自分がここまで成功したのは、こうした持ち前の回復力と無限にも見える体力に裏打ちされたプロフェッショナル魂

だと、Quiñones-Hinojosa 自身、自負している。「他人より一歩先の研究をするには、運動選手が体を鍛えるように脳を鍛えるのです」。Quiñones-Hinojosa の研究グループは過去6年間に113本の論文を発表しており、研究助成金を13件受けている。だが、その理由は、ほかに比べて優秀であるからでも、人脈が広いからでもないのだと Quiñones-Hinojosa は言う。「これは単に量の問題なのです。ポイントは、助成金の交付申請を年に24件も提出していることです。そして我々は、自らの過ちから学習しているのです」。

そんなわけで、ハードワークにもマスコミにも抵抗感がなく、医学研究の長時間労働文化にどっぷり浸っている Quiñones-Hinojosa は、私の研究室訪問を歓迎し、「喜んで取材に応じますよ」と言ってくれた。

取材当日の朝、私は午前8時きっかりに到着した。その日の最初の手術を見学するように Quiñones-Hinojosa から言われていたからだ。それは、部下のレジデント Shaan Raza とともに、54歳の女性から下垂体腫瘍を摘出する手術だった。Quiñones-Hinojosa の説明では、手術室は研究棟の増築部分にある。患者の同意を得たうえで、組織検体を集め、それを培養細胞として不死化し、細胞株を作製する。これらの検体は、がん幹細胞が脳腫瘍発生を促す仕組みや、腫瘍細胞が脳内を広がるようすを調べているこの研究グループにとって、研究の「種子」になるものだ。

Quiñones-Hinojosa が前日に就寝したのは午前1時。起床は午前5時だった。手術に向かいながら、彼は研究室への階段を上る Kone を追い越した。「ロックンロールの準備はできているかい？」 Quiñones-Hinojosa はすれ違いざまにそう声をかけた。次に時計に目をやり、いたずらっぽいなを笑みを浮かべた。そして足を止めることなく、肩越しに、「もう10時じゃないか。10時に来て、いったい何をやるんだい？」と言った。

研究棟を出ると、Quiñones-Hinojosa は私を肘でつつき、大声で笑った。「見てごらん、彼は研究室に戻ってみんなにきっこう言うよ。『朝10時に来たところをドクターQに見つかったよ！』ってね」。（実際、ドクターQの言ったとおりだった。研究室のメンバーは9時過ぎにはだいたい来ているのだ。）

Quiñones-Hinojosa は社会的かつ魅力的、周囲の人への影響力を持ちながらも、謙虚さを見せることも忘れない。一方で Quiñones-Hinojosa は、研究室で働くメンバーが自分に恐れをなしていることもよくわかっており、それをお構いなくフル活用している。彼がジョンズホプキンス大学の職についてからちょうど2年目の2007年、大学カフェテリアの角を曲がったところで、研究室のメンバーたちがテーブルに座って談笑しているのを目にした。Quiñones-Hinojosa の姿を見た彼らは会話を止め、立ち上がって即座に研究室に戻って行った。

Quiñones-Hinojosa には、研究室のモチベーションを維持するための秘策がもう1つあった。折をみて、がん患者やその家族にミーティングに加わってもらうのだ。患者にとっては、自分の腫瘍に関連する研究について知るチャンスになるし、研究室側にとっては、自分たちの仕事がどんなに緊急で切実なものであるかを再確認する機会となる。Quiñones-Hinojosa は患者から個人的な話を聞き出す。自分ががんであることをどうやって知ったのか。がんであることを知ったとき、どう感じたのか。そして、家族にどんなショックを与えたのか。このように患者に向かい合うことは、臨床訓練を受けていない研究者にとって衝撃的である。「研究者たちの表情を見ればよくわかりますよ」と、研究員の Hugo Guerrero-Cázare。「患者さんが『私は余命6か月です』と言うと、みんなほんとうに衝撃を受けるんです」。

公開手術の話に戻ろう。手術室では看護婦や外科医が忙しく動き回り、麻酔で意識のない患者の周囲に器具や装置を



Alfredo Quiñones-Hinojosa は、長時間労働もいとわぬ研究者を選びすぎ、研究室のミーティングに患者を招いて研究員のモチベーションを高めている（写真中央、外科手術チームとともに）。

セッティングしていた。下垂体腫瘍は、脳に血液を供給する2本の頸動脈<sup>けいどうみやく</sup>の間に埋まっていることがあり、その場合、腫瘍が大きくなると摘出が非常に難しくなる。通常、下垂体腫瘍はエンドウ豆ほどの大きさだが、この患者ではゴルフボールに近い大きさだ。(Quiñones-Hinojosaの話だと、昨晩はこの手術のことが心配で夜中に目が覚め、2時間かけて手術の全手順をイメージトレーニングしてから仮眠をとったのだという。) Quiñones-Hinojosa と Raza は、細心の注意を払って少しずつ腫瘍をかき出した。

手術はどうやら成功したようだ。Quiñones-Hinojosa は患者から離れ、摘出した検体がラベルを貼られて適切に冷蔵保管されていることを確かめた。そして、廊下の先にいる病理学者たちとこの検体をチェックし、目当ての腫瘍組織が

含まれていることを確認してから、研究室へ搬送した。こうして、彼の検体コレクションに「872番」が加わった。

### ファストフード三昧の日々

研究室では、ランチタイムの頃、内分泌学研究員の Nestoras Mathioudakis がクリーンベンチ内でこの採取組織を準備していた。彼は、組織に混入している赤血球を破壊する酵素とともに細胞をインキュベーターに入ると、グッシュで部屋を出た。昼食の冷凍食品を食べるためだ。Mathioudakis はほとんど冷凍食品ばかり食べて暮らしているが、塩分量が多いので、頭痛を引き起こすのではないかと心配している。冷凍ディナーを5回ほど食べた後、顕微鏡の前に座ったところ、右目のピントがうまく合わないことに気付いたこともある。それでも、冷凍

食品は安価で手早く食べられ、研究室を離れずに食事ができる。Mathioudakis は、「今日は忙しくなるから、冷凍食品三昧になるなあ」と予想していた。

だが、Mathioudakis はこの状況を嫌だと思っているわけではない。「この種の研究室に居続けるのは、一部の特別な性格の持ち主だけでしょう」と、Quiñones-Hinojosa 研究室に来て4年になる Guerrero-Cázares は話す。私が取材に訪れた日の前夜、Quiñones-Hinojosa は帰宅途中にメールをチェックしていた。その中に、ロザリンド・フランクリン医科学大学（米国イリノイ州シカゴ）の Joshua Bakhsheshian という医学生から、研究室で働きたいという申し出があった。Quiñones-Hinojosa は、毎日数件、そうした問い合わせを受けるが、この学生には少々興味を持った。そ

ここで、すぐさま「午前6時に連絡を取りたいが、電話番号を教えてほしい」と返信した。時はすでに真夜中だというのに。だが、その1分後には、Bakhsheshianから返信が来たのである。

翌朝午前6時2分、Quiñones-HinojosaはBakhsheshianに電話をかけた。「私は彼のことを思い、かなりキツイ言い方をしたんですよ。『君はテレビを見て、私のことをいい人だと思ったのだろうが、うちの研究室に来るということは、とにかく働くということなんだよ。うちの研究室のメンバーは四六時中働いている。クリスマスや新年ですら、休まずここで助成金の申請書類を書いている。研究室のメンバーになれば、君もそうなるんだよ』ってね」と、Quiñones-Hinojosaはその日の午前中、小声で話してくれた。

しかし、「それこそ、私には心地よいことなんです」とBakhsheshianは返事をしたというのだ。後に、Bakhsheshianは、あんなに多忙な外科医からこんなに速く返事がくるとは予想していなかったので、その夜は遅くまでQuiñones-Hinojosa研究室の出版物を必死に調べまくった、と私に話してくれた。(Quiñones-Hinojosaはその後Bakhsheshianに、特別研究員奨学金を獲得できれば研究室に彼の席を用意すると伝えた。)

一方、Quiñones-Hinojosaが選んだ研究員が全員、彼の研究室の猛烈さにうまく適応できるわけではない。メリーランド大学(米国カレッジパーク)の神経外科のレジデントで、神経免疫学のPhDを持つ研究員David Cheslerは、目の下にくまのある顔で、「続かなかった」実験助手の話をしてくれた。また、Guerrero-Cázaresは、金曜夜の研究室ミーティングに顔を出さなくなってしまう同僚の話の詳細をしてくれた。どちらも研究室を辞めてしまったが、Quiñones-Hinojosaによれば、彼は「立つ鳥跡を濁さず」を実践するよう助言し、新しい職を見つけるのを手伝ったという。

とはいえ、研究室がこれほど猛烈な

のにもかわらず順調に動いているのは、仕事ぶりや性格的な特徴を見抜くQuiñones-Hinojosaの眼力が、その理由の1つに挙げられるだろう。マサチューセッツ工科大学スローン経営大学院(米国)で戦略を教える准教授Pierre Azoulayは、長時間労働に慣れていない被雇用者を長時間働かせると、思わぬめんどろを招くことがあると話す。「細心の注意を払って自分たちの基準に合う部下を選ぶようにしないと、おそらく悪影響が現れるでしょう。私は、ほとんどの研究リーダーはこうした慎重な人選をしていないと感じています」。

もう1つ重要なのは、研究者の自主独立性である。Quiñones-Hinojosa研究室の多くのメンバーは、それぞれ自分のプロジェクトを進め、助成金の申請書類を自分で作成している。彼らは自分の研究に、自分自身で執り行っているという自負を持っているのだ。そして、朝6時に病院への通勤中にボスから電話がかかってきても、さほど苦にせず自分なりのスケジュールを組み立てられるのだという。Shahの話だと、20時間労働も珍しくない。「出退勤のタイムカードなんて考えられないですね。だけど、もし研究室じゃなくてスーパーマーケットで働いていたなら、タイムカードを切つて残業代をきちんともらいますけどね」。

そうした自主独立性は、研究者の満足感と生産性を維持するのに欠かせないのだとAzoulayは話す。「科学は厳しい世界です。9時から5時までの仕事を期待する研究者などまずいないと思います。研究者が求めているのは、独立性です。ですから、独立性を侵害する研究リーダーは問題にぶつかって苦勞することになるでしょう」。

これまでQuiñones-Hinojosaの研究室はあまり問題が起こらずにすんでいるようだ。しかし果たして、長時間労働と私生活の犠牲は、研究者にとって、また科学にとって、見合った価値があるのだろうか。2004年にウェイン州立大学(米国ミシガン州デトロイト)の社

会学者Steven Stackは、学術研究機関で働くPhDを持つ科学者や技術者1万1231人を対象に、米国学術研究会議が集めた調査データを解析して結果を発表した<sup>2</sup>。それによると、平均的な研究者の労働時間は週に約50時間で、一般に、費やす時間が増えるほどその研究者の発表論文の数も増えていく。

Quiñones-Hinojosaの研究室はそのパターンに当てはまるようだ。彼が2005年に研究室を立ち上げてから発表した論文は113本。大部分はがんの臨床転帰(治療後の経過)に関する小規模でドライな研究(コンピューター解析やデータ分析など)から生まれたものだが、27人が従事するウェットな研究(手を動かして実験する研究)でも、29本を発表している。全体では彼の*h*指数(論文数と被引用数の関数で表される研究の生産性の物差し)は27となり、同じ准教授レベルの米国神経外科医の10.7を大きく引き離している<sup>3</sup>。Quiñones-Hinojosaは、ジョンスホプキンス大学医学部の研究者が教授に昇格するには平均15年かかるという。しかし彼は今年、わずか6年で教授職に推薦された。

ダンディー大学(英国)の生化学者Philip Cohenによると、彼が在任中に指導してきたポスドク70人と学生50人近くのうち、最も成功したのは、研究室に長時間詰め、なおかつ効率よく作業していた者たちだという。Cohenは、研究室の伝統が変化しつつあることを心配している。「誰もが、自分で自分にストレスをかけたり、仕事をしすぎたりしないようにと言います。でも、私は絶対に反対ですね。むしろ、研究をする者が自分を限界まで追いつめなかつたら、人生の真の喜びを見つけられずに終わってしまうだろうと心配に思っています」。

しかし、研究時間が多いほど成果も上がるという意見に、誰もが賛成しているわけではない。カリフォルニア大学デービス校(米国)の心理学研究者で、研究の創造性を研究しているDean Simontonは、科学の世界では、論文発

表、助成金申請、終身雇用といったプレッシャーが、1つのことに専心する「ストイックな伝統」を作り出してきたのかもしれないと話す。しかし彼によると、創造性の高い研究者は創造性の低い研究者に比べて興味の対象が広く、趣味も幅広いことを示唆する研究結果もあるという。マサチューセッツ工科大学（米国ケンブリッジ）の化学者 Stephen Buchwald は、研究室メンバーに、毎年1か月休暇をとるよう強く勧めており、休暇中は仕事について考えないよう言い渡している。「私はメンバーに考える能力をつけてほしいのです。完全に疲れ果ててしまったら、高い創造性なんて生み出せないでしょう」と彼は言う。Buchwald のやり方が生産性を損なっているようには見えない。トムソン・ロイター社は、1999～2009年間で論文の被引用数の最も多かった化学者の1人に Buchwald を挙げた。彼の171本の論

文の平均被引用数は86を超えていた。

猛烈な研究活動には個人的な犠牲がつきものだが、これを測ることは難しい。「私がいちばん失敗した分野は父親業です」。Quiñones-Hinojosa はあっさりと認めた。今、これを何とか取り戻そうと、子どもたちと過ごす時間を増やしたり、水泳教室の送り迎えをしたりしている（その道すがら研究室メンバーに電話をしてはいるが）。

また、ポスドクの Pragathi Achanta は、インドにいる姪の話になると、寂しげな表情になった。Achanta が最後に会ったとき、姪は生後6か月だった。今はもう5歳近いはずだ。これまで Achanta は、休暇中もずっと助成金申請に追われ、帰省する時間も取れなかった。

7月1日金曜日午後8時。定例ミーティングが珍しく早く終わった。Achanta は、幹細胞への放射線治療の効果をモデル化する実験のために、マウス用の外科

道具を準備している。彼女は、翌日、ワールド・スプリング・ハーバー研究所（米国ニューヨーク州）の授業補佐に出かける前に、朝のうちに手術を手早く終わらせるよう準備を整えているのだ。助成金申請の状況が許せば、今年後半にはインドへ帰省して姪の顔を久しぶりに見たいとも思っている。でも、ボスにこの話を切り出すことを考えると緊張する、と彼女は告白した。

だが、Quiñones-Hinojosa は、研究員が休暇を取ることに反対しないと話す。「バカンスは大事だよ。週末は休むようにね」。

（翻訳：船田晶子）

Heide Ledford は、米国マサチューセッツ州ケンブリッジ在住の Nature 特派員。

1. Quiñones-Hinojosa, A. *N. Engl. J. Med.* **357**, 529-531 (2007).
2. Stack, S. *Res. Higher Ed.* **45**, 891-920 (2004).
3. Lee, J., Kraus, K. L. & Couldwell, W. T. *J. Neurosurg.* **111**, 387-392 (2009).

## RESEARCH HIGHLIGHT

### 感染個体の処分では タスマニアデビルは救えない

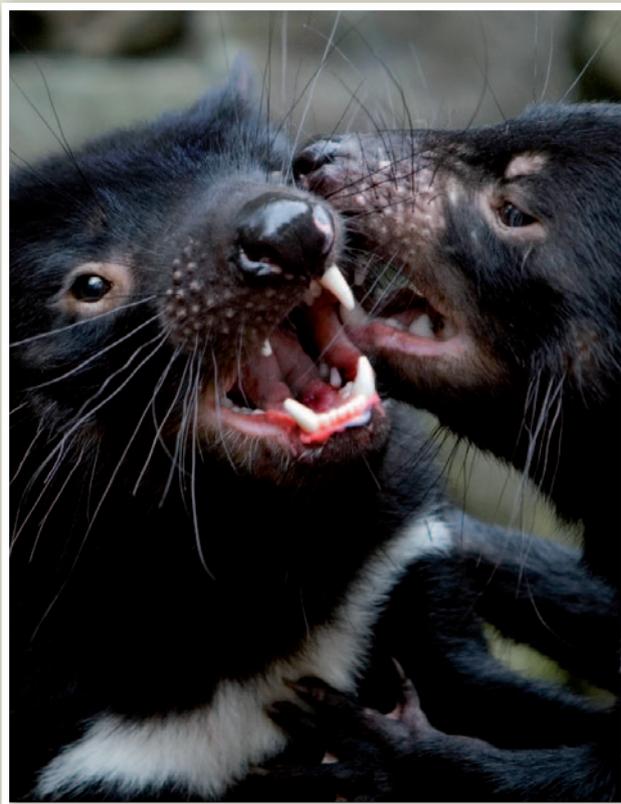
#### Culls won't save Tasmanian devils

2011年10月13日号 Vol. 478 (158)

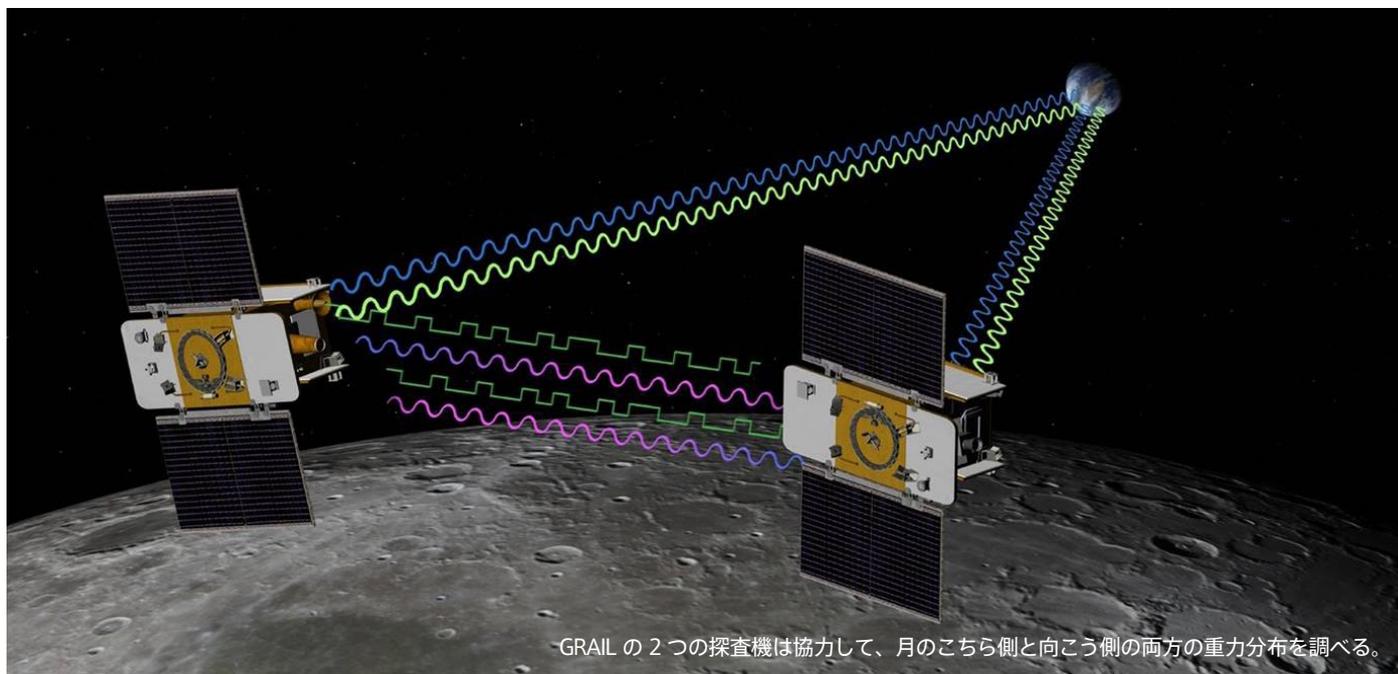
タスマニアデビル *Sarcophilus harrisii* の間では、致命的な顔面のがんが広がっており、絶滅の淵へと追いやられている。このがんは、噛まれることで伝染すると考えられており、ある隔離集団で感染個体を根絶しようとしたが、徒労に終わった。タスマニア大学（オーストラリア・ホバート）の Nick Beeton とグリフィス大学（同・ネイサン）の Hamish McCallum が作成したモデルによれば、典型的な集団では、がんを撲滅して集団を守るためには、96%もの個体を継続的に除去しなければならないという。しかし、これは不可能である。一部の個体がわなを避けるからだ。未感染個体の集団を動物園や保護区で維持する方法や、自然に抵抗性を獲得した個体を育成する方法での保護が必要である。

*J. Appl. Ecol.* <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02060.x> (2011)

（翻訳：小林盛方）



DEADLYPHOTO.COM/ALAMY



GRAIL の 2 つの探査機は協力して、月のこちら側と向こう側の両方の重力分布を調べる。

NASA/PL

## 月内部を精密探査する双子衛星

### Twins to probe Moon's heart

ERIC HAND 2011年9月1日号 Vol. 477 (16-17)  
[www.nature.com/news/2011/110830/full/477016a.html](http://www.nature.com/news/2011/110830/full/477016a.html)

月の重力を精密に測定して、  
 地下にある高密度の岩の分布を調べる NASA の探査機が打ち上げられた。

月の表面を見るのは簡単だが、その内部はまだ多くの謎に包まれている。これまでにヨーロッパ、日本、インド、中国、米国の探査機が、月の表面をくまなく撮影したり、鉱物資源の分布を調べたり、水が存在する証拠を探したり、将来、着陸するのに適した場所を探したりしてきた。今回、米国航空宇宙局 (NASA) の月探査機 GRAIL (Gravity Recovery and Interior Laboratory) が9月10日に打ち上げられた。この計画の研究責任者 (PI) であるマサチューセッツ工科大学 (米国ケンブリッジ) の地球物理学者 Maria Zuber は、「まだ明かされていない月の歴史を解明したい」と考えている。

「今回の調査で驚くべき事実が見つかるでしょう」と Zuber は話す。彼女がこれほど確信を持っているのは、GRAIL がこれまでの調査よりも数桁高い精度で月の重力分布を調べることができるからだ。その重力分布から、地下の岩の密度分布が得られる。このデータは、地質学的に大きな変動を経てきた月の過去を解明し、月が液体の核を持っているのかという問題に答えを出し、月の「海」と呼ばれる巨大衝突盆地の地下構造の手がかりを得るのにも役立つはずだ。

GRAIL は、1 対の双子の探査機となり、地球観測衛星 GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) を

ベースに開発された。GRACE は 2002 年に打ち上げられた地球を回る衛星で、軌道から地球の重力場を高精度に調べ、地下水帯水層や海洋の流れの変化をとらえることができる。この実地に検証済みの技術を使ったため、GRAIL 計画の費用は 4 億 9600 万ドル (約 380 億円) に抑えることができた。飛行計画もコスト削減に役立った。まっすぐ月に向かって打ち上げるのではなく、GRAIL は 3 か月半の旅をした後に月の極軌道に入る。このため、減速のための燃料も少なくて済む。

2 つの GRAIL 機には、教育目的の画像を撮影するために 4 個ずつのカメラが搭載されているが、それ以外には 1 つの測定装置しか搭載されていない。また、その装置は月のほうさえ向いていないのだ。2 つの探査機は月面の上空 55km を飛び、互いに 60 ~ 225km 離れている。2 機はマイクロ波をやりとりして、お互いの正確な距離を測定する。片方の探査機が密度の高い物体 (例えば山) に接近すると、わずかに強い重力を感じて一時的に速度を上げ、もう 1 機との距離が変わる。GRAIL が高精度の重力測定を行うためには、この距離の変化を 1 $\mu$ m 未満の精度で測定する必要がある。「高

精度の重力測定を実現するためには、このほかにも、遠い惑星の重力の影響、地球の追跡ステーションがのっているプレート（岩板）の運動、探査機の太陽電池パネルへの太陽光の圧力などを考慮する必要があります」と Zuber は話す。

月の重力の分布は、すでに、これほど正確にはないが、1機の月周回衛星の速度変化を地球から測定することによって調べられている。しかし、この測定は月周回衛星が月の向こう側に隠れたときは不可能だった。2007年に打ち上げられた日本の月探査機かぐや（セレーネ）は、中継衛星を使って月の向こう側の重力の分布を調べた。この中継衛星は高い高度を回り、地球とセレーネの両方と無線通信が可能な位置にいた。Zuber は言う。「GRAIL が作成する重力分布図はこれよりもっと正確で、地球を回る GRACE が作成した重力分布図よりも正確です。なぜなら、GRACE は地球大気の抵抗を避けるために、GRAIL の 10 倍高い高度を回らなければならなかったからです」。

研究面での目標の1つが、月の深部の構造だ。アポロ計画で宇宙飛行士が月面に残してきた反射体に向けて地上からレーザー光を発射し、反射して帰ってくる時間を測定することで、月がかすかにふらついていることがわかった。これは、月に軟らかい核が存在していることを示している。「GRAIL はこれが事実であるかを確かめることができるはずですが、核に意外な物質が付け加わっていることがわかるかもしれません。例えば、月ができてまもなく、まだマグマの球だったときに、マグマから結晶化して出た酸化チタンなどの化合物が月の核に加わった可能性があります」と Zuber は話す。

そうした成果を総合すれば、内部太陽系が冷えたときに、その惑星がどのようにして層状の構造になったのかを明らかにすることもできるかもしれない。ワシントン大学（米国ミズーリ州セントルイス）の地質学者 Brad Jolliff は、「それは月を理解するということにとどまりません。ほかの岩でできた天体がどのよう

に分化したかを理解するうえでも役立つはずです」と話す。一方、Zuber は「GRAIL は、衝突盆地の周囲の岩を調べることにより、巨大衝突の動力学も明らかにするでしょう。それは巨大衝突のシミュレーションモデルを作っている研究者にも役立つはずです」と話す。

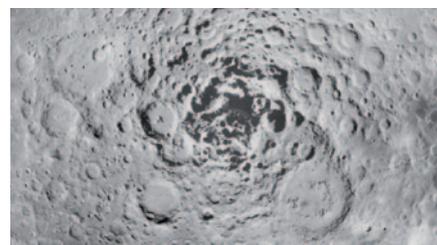
しかし、「90 日間の GRAIL の探査が終わってしまうと、NASA の月探査計画がその後どうなるかは不明確です」と、ニューメキシコ大学（米国アルバカーキ）の惑星地質学者 Chip Shearer は指摘する。彼は NASA の諮問機関「月探査検討グループ」（LEAG）の代表でもある。NASA は 2020 年までに月に再び人を送ることをめざしたコンステレーション計画を打ち出していたが、この計画は中止された。コンステレーション計画を進めるために策定された一連の月探査計画は終わりに近づいている（コラム「月探査ラッシュ」を参照）。LADEE（月大気・ちり環境探査機）計画はそうした計画の最後のもので、2013年に打ち上げられ、月の薄い大気とその中の微細なちりを測定する。

しかし、月の科学研究において重要な2つの計画が進んでいない。月の南極近くの最大の衝突盆地からサンプルを持ち帰る計画は、Jolliff がその代表を務めているが、小惑星からサンプルを持ち帰る計画に敗れた。また、「国際月ネットワーク」（ILN）は月表面に地震計などのネットワークを設置する計画で、かつては NASA が主導していたものだ。しかし今では、「NASA の支援を受けるには、ほかのあらゆる太陽系探査計画との競争に勝ち抜く必要がある」と言われているという。

Shearer は「私たちは、月科学の観点から次に何を行うべきかはわかっています。しかし、実際に次にどのような計画が実現するのが、わからない状態なのです」と話している。

（翻訳：新庄直樹）

1. Kim, D.-H. et al. *Science* **333**, 838-843 (2011).



## 月探査ラッシュ

月探査計画はこの 20 年間は頻繁に行われてきたが、このペースは今後は続かない見込みだ。

**1994年** NASA の月探査機クレメンティンが月の南極に水が存在していることを示唆（上の写真）。

**1998年** NASA の月探査機ルナ・プロスペクターが月のごちら側の重力分布を調査。

**2004年** 米国は再び月へ宇宙飛行士を送る新宇宙政策を発表。

欧州初の月探査機スマート 1 の打ち上げ。

**2007年** 日本の月探査機かぐや（セレーネ）が月の向こう側の重力分布を調査。

中国が同国初の月探査機「嫦娥 1 号」を打ち上げ。

グーグルがスポンサーになり、民間で初めて月で無人探査車を走らせたプロジェクトなどに総額で 3000 万米ドル（約 23 億円）を贈る「グーグル・ルナ X 賞」が始まる。

**2008年** インドの月探査機チャンドラヤーン 1 号が水を含んだ鉱物の証拠を発見。

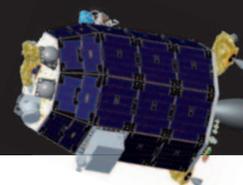
**2009年** NASA の月探査機ルナ・リコネサンス・オービターは、極の影になったクレーターの中で水を発見。

**2010年** 嫦娥 2 号の打ち上げ。

NASA の有人宇宙計画が変更され、月の前に小惑星を目指すことになった。

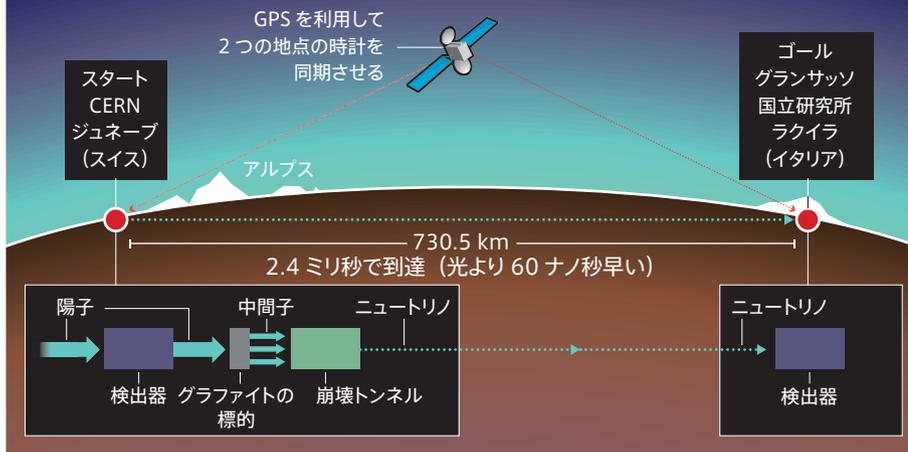
**2011年** GRAIL 打ち上げ。

**2013年** NASA の月探査機 LADEE（下図）の打ち上げ予定。



## ニュートリノの速さを測る

OPERA 実験では、CERN でニュートリノを発生させるのに用いた陽子ビームのシグナルを、グランサッソで検出したニュートリノのシグナルと比較することにより、ニュートリノが地中を飛んでいくのに要した時間を算出した。



# 超光速ニュートリノが突きつけた難問

## Speedy neutrinos challenge physicists

EUGENIE SAMUEL REICH 2011年9月29日号 Vol. 477 (520)  
[www.nature.com/news/2011/110927/full/477520a.html](http://www.nature.com/news/2011/110927/full/477520a.html)

ニュートリノが光より速く走るといふ OPERA 実験の結果を受けて、研究者らは、この実験を精査すると同時に、独立の検証実験を準備している。

有名な科学のジョークがある。ニュートリノがバーに入ってくる。バーテンが「悪いが、うちにニュートリノに飲ませる酒はないよ」と言うと、ニュートリノは「いいさ。通り抜けるだけだから」と答えるというものだ。もしかすると、このジョークは修正しなければならないかもしれない。最初にバーテンが「飲ませる酒はない」と言い、オチとしてニュートリノがバーに入ってくるのだ。

最近、因果律の破綻はたんに関するこうしたジョークがインターネット上で飛び交っている。きっかけは、「スイスのジュネーブ近郊にある欧州原子核研究機構 (CERN) で発生させたニュートリノを、730.5km 離れたイタリアのラクイラ近

郊にあるグランサッソ国立研究所まで飛ばし、その速度を測定したところ、ニュートリノの速度が光速を上回る結果になった」というニュースが伝えられたことだ。

2011年9月22日に OPERA (Oscillation Project with Emulsion-tracking Apparatus) 共同実験によってこの結果が発表されると、アインシュタインの特殊相対性理論から始まった100年間の物理学を根底から引っ繰り返す大発見として、メディアは騒然となった。特殊相対性理論では、運動する物体は決して光速に到達することはできず、光速は因果律などの「現実」の基礎と関連しているとされている。

たいていの物理学者は、OPERA の

驚くべき結果の背景には何らかの系統誤差があるのではないかと考えているが、これまでのところ、明らかな系統誤差は見つかっていない。多くの研究者は、OPERA 実験の精度の高さを「離れわざ」と評価する。検証実験を行うとみられるフェルミ国立加速器研究所 (米国イリノイ州バタビア) の MINOS (Main Injector Neutrino Oscillation Search) 実験の共同スポークスマンである Rob Plunkett は、「非常に複雑な実験ですが、彼らは専門家にふさわしい仕事をしました」と言う。

透過性が非常に高く、質量がほとんどないニュートリノは、飛行中に、ある種類から別の種類へと「振動」するという奇妙な振る舞いをする。OPERA 実験は、この現象を調べるために2006年に始まったが、その後、従来のどの実験よりも高い精度でニュートリノの速度を測定できるよう改良された。この実験のポイントの1つは、GPSを利用して、ニュートリノのスタート地点とゴール地点の時間基準を確立したところで、まさに先駆的な試みであった。もう1つのポイントは、遅れが生じる原因を特定するため、1対の超高精度セシウム時計を用いて、粒子が実験装置の各ステージを通過する時間を慎重に測定していることだ。

2011年3月、OPERA 実験グループは、光が同じ距離を飛ぶ場合よりも60ナノ秒早くニュートリノがゴール地点に到達したことを示唆するデータに衝撃を受けた。OPERA 実験の物理学コーディネーターであるリヨン核物理学研究所 (IPNL: フランス) の Dario Autiero は、「我々は半年間のクロスチェックを経て、この結果を公開することに決めました」と言う。共同実験のメンバーの大半は決定に同意したが、ドイツ電子シンクロトロン研究所 (DESY: ハンブルク) の物理学者 Caren Hagner らは、この結果に自分の名前を載せることを辞退した。Hagner はその理由について、特別な問題があったからではなく、単に、もっと時間をかけて確認しなかったからだ

言っている。

ニュートリノ研究コミュニティは、OPERA 共同実験チームが arXiv サーバーに投稿したプレプリント (<http://arxiv.org/abs/1109.4897>) とプレゼンテーション ([go.nature.com/kl4jah](http://go.nature.com/kl4jah) 参照) で公表したデータについて、実験結果を説明できそうな誤差の要因を探している。実験の中で、特に慎重に検討されている要素が2つある。1つは GPS を利用した同期システムで、もう1つは、標的との衝突の副産物としてニュートリノを生成する陽子ビームのプロフィールである。実験チームは、CERN の陽子ビームのシグナルの形を、グランサッソで検出したニュートリノのシグナルの形と比較することにより、ニュートリノの飛行時間を決定したからである（前ページ図

「ニュートリノの速さをはかる」参照）。

米国の MINOS と日本の T2K という2つの共同実験チームが、それぞれ OPERA 実験の結果を検証しようとしている。いずれも現時点では OPERA 実験に匹敵する精度でニュートリノの飛行時間を測定することはできないが、MINOS 実験ではすでにアップグレードが予定されている。MINOS 実験は、フェルミ研究所からミネソタ州のスーダン鉱山までミュー型ニュートリノのビームを飛ばすもので、その距離は CERN からグランサッソまでの距離にほぼ等しい。

T2K 実験は、茨城県東海村の大強度陽子加速器施設 (J-PARC) で発生させたニュートリノを 295km 離れた岐阜県飛騨市のスーパーカミオカンデ検出器まで飛ばすものものだが、3月11日の東

日本大震災以来、実験は中断している。T2K 実験の科学者たちもまた、OPERA の結果を確認するためにアップグレードを検討していると、共同スポークスマンの Chang Kee Jung は言う。

どちらのアップグレードにも1年以上かかるだろう。その間、T2K 実験と MINOS 実験の研究チームは、自分たちの既存の実験データを見直して、OPERA 実験の結果と整合性があるかどうかを確認する予定である。Plunkett は、MINOS 実験のグループは数か月以内に答えを出すかもしれないと言う。たとえばニュートリノの速度が光速を超えていないことがわかったとしても、より正確な計時が可能になれば、長期的には実験を大きく発展させることになる。 ■

(翻訳：三枝小夜子)

## 下痢から子どもを守る

### Vaccine campaign to target deadly childhood diarrhoea

DECLAN BUTLER 2011年9月29日号 Vol. 477 (519)  
[www.nature.com/news/2011/110927/full/477519a.html](http://www.nature.com/news/2011/110927/full/477519a.html)

5歳未満の子どものロタウイルス感染を防ぐプログラムがアフリカで始まる。

毎年、下痢のために5歳未満の子どもが100万人以上死亡している。下痢は、5歳未満の子どもの第2位の死亡原因(1位は肺炎)で、その40%がロタウイルスによるものだ。そして、ロタウイルス感染によって死亡した子どもの半数は、アフリカの子どもである。

まもなく、そのアフリカで、ロタウイルスワクチンの接種キャンペーンが初めて大規模に実施される。これは、スイスのジュネーブに本拠を置く GAVI アライアンス（「ワクチンと予防接種のための世界同盟」より改称）によるプログラム

だ。GAVI は、2015年までに40か国の世界最貧国で、5000万人の子どもにロタウイルスワクチンの接種を行うことを計画している。ロタウイルス胃腸炎は世界中で一般的に見られる疾患であり、高所得国では死亡する子どもはごく少数だ。こうした国では、入院や点滴による水分補給治療を容易に受けることができ、また、ワクチン接種がより一般的になっているからである。

すでに、GAVI からの資金援助を受け、ニカラグア、ボリビア、ガイアナおよびホンジュラスの4か国で、ロタウイル

スのワクチン接種プログラムが成功をおさめており、今回は、アフリカの13か国(次ページの図参照)とアフリカ以外の4か国の計17か国に規模を拡大している。「飛び上がるくらいうれしいです。やっとワクチンをアフリカの子どもたちに届けられるのですから」と、「保健分野における適正技術導入プログラム」(PATH: 米国ワシントン州シアトル)の John Wecker は話す。PATH は、世界保健機関 (WHO) と米国疾病対策予防センターと協力してロタウイルスワクチン接種プログラム (RVP) を進めている。

これまで、高所得国で承認されたワクチンが低所得国に供給されるまでには、15~20年もかかっていた。だが、GAVI からの資金援助によって、ロタウイルスをはじめ、いくつかのワクチンについては迅速になりつつある。現在のロタウイルスワクチンは、高所得国と中所得国での臨床試験に基づいて、ちょうど5年前に最初に WHO と米国食品医薬品局によって承認された。低所得国でこれらのロタウイルスワクチンの接種プロ

グラムによる臨床試験を行うことは、たとえ、そうした国では栄養状態が悪く、ほかの感染症にかかっている子どもが多いためにワクチンの効果がそれほど得られなかったとしても、キャンペーンをより拡大するためには重要であった。しかし、臨床試験から、これらのワクチンが下痢の症例数を減少させること、そして、さらに重要なことに、実際に重症例や死亡を防ぐことが証明された。そのうえ、複数の変異性の高いロタウイルス株も予防した。これは、予想外のことだった。研究者たちは、ロタウイルスは変異性が高いので、多くの異なるロタウイルスワクチンが必要かもしれないと思っていたからだ。

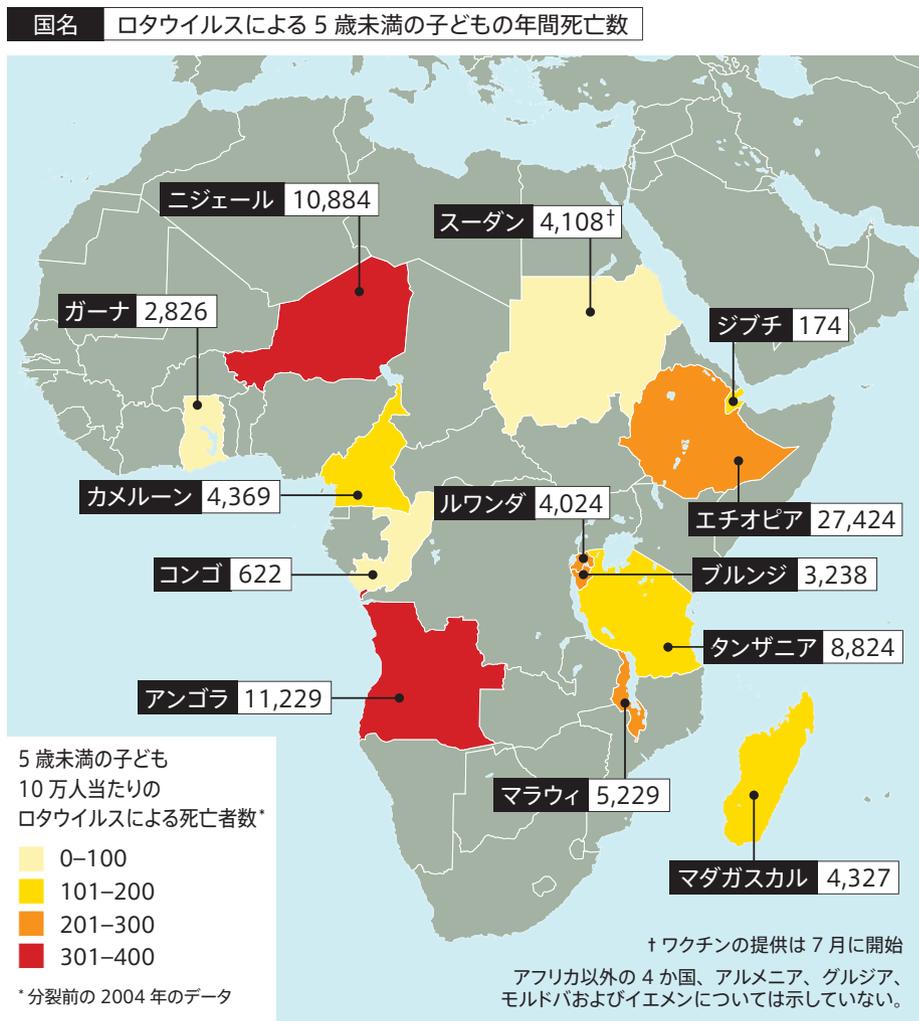
RVP では、過去数年間にわたって、発展途上国の保健当局者に、発展途上国での疾病による負担やワクチンの効果の証拠を示して、ワクチン接種を強く求めてきた。このことが、ワクチン接種が最も必要な場所の特定、ワクチンの有効性の評価、およびワクチンの安全性のモニタリングに役立つ疾患監視ネットワークの構築につながっている。

実は、ロタウイルスワクチンの開発は1990年代に中止されたことがある。ワイズ社（2009年にファイザー社 [米国] が買収）のワクチン、ロタシールドの重篤な副作用のためである。ロタシールドは、1998年に米国で導入されたが、接種を受けた子ども1万人当たり1～2例で、腸重積（致命的な腸閉塞）のリスクが示され、数か月後に市場から回収された。

今回の新しいワクチン、ロタリックスとロタテックの臨床試験では、それぞれ6万人以上の子どもを対象に検討されたが、腸重積のリスク上昇は見られなかった。しかし、南米での導入後に行われた調査では、ロタシールドよりはるかに低い、腸重積のリスクが示された (M. M. Patel *et al.* *N. Engl. J. Med.* 364, 2283–2292; 2011)。だが、Weckerによれば、WHOと国家監視官がそのデータを再検討した結果、腸重積のリスクは10万人当たり1～2例とわずかに上昇

## ロタウイルスワクチン接種キャンペーンの開始

ロタウイルスワクチンが13のアフリカ諸国で子どもに提供される予定である。アフリカ諸国ではロタウイルスが子どもの高い死亡率の原因になっている。

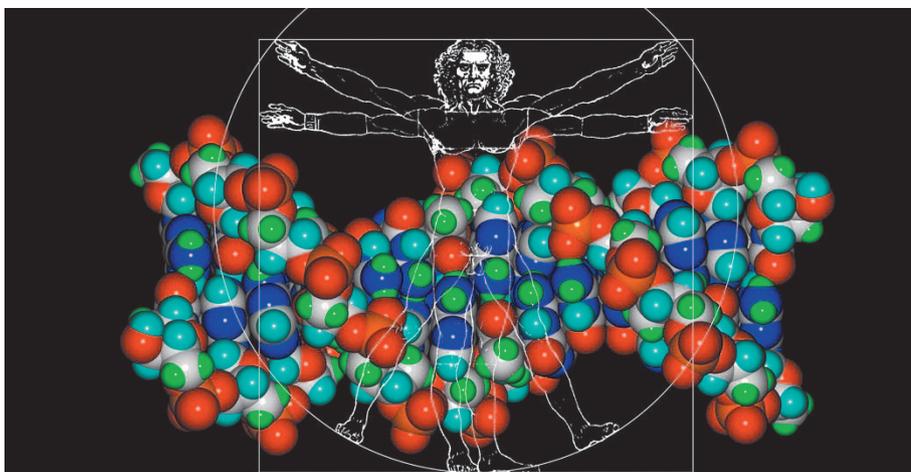


したが、ワクチン接種の利益のほうがはるかに大きいと述べているという。

ロタリックスを製造するグラクソ・スミスクライン社（英国）は、ワクチンを1回接種当たり2.50ドル（約190円）で、GAVIのキャンペーンに提供すると申し出ている（ワクチンは2回接種が必要）。これは現在のワクチン最低価格を67%も下回る。メルク社（米国）もロタテックの割引価格での提供を約束している。GAVIは、ここ数年のうちに、新興国のいくつかの製造業者で自社ワクチンの生産が始まれば、価格はさらに低下すると予想している。

GAVIはロタウイルスワクチン接種プログラムに先立ち、2010年12月から肺炎球菌（肺炎やほかの感染症を引き起こす細菌）のワクチン接種プログラムを実施している。そのプログラムは、今年の9月下旬には、発展途上国19か国から37か国にまで拡大した。「この2つのキャンペーンは、確実に状況を好転させます。これらのワクチンは、発展途上国の子どもの主要な死亡原因である下痢と肺炎を大きく減少させるでしょう」とWeckerは語っている。

（翻訳：三谷祐貴子）



## 血液から明かされるエピゲノム

### Europe to map the human epigenome

ALISON ABBOTT 2011年9月29日号 Vol. 477 (518)  
[www.nature.com/news/2011/110928/full/477518a.html](http://www.nature.com/news/2011/110928/full/477518a.html)

ヨーロッパで、血液を利用したエピゲノムの参照ライブラリーの構築がスタートした。

今年10月、欧州委員会の衛生研究部門が3000万ユーロ（約32億円）を投じて、ヒトのエピゲノムを明らかにする史上最大のプロジェクトがスタートした。エピゲノムとは、後天的なDNA修飾のことで、遺伝子の発現を調節している。BLUEPRINTと呼ばれるこのプロジェクトは、ヨーロッパ全域の41の施設と50人以上の主要な研究者を結びつけて、エピゲノムの参照ライブラリーを構築しようという計画だ。

すでに昨年、エピゲノムが健康や疾病にどのような影響を与えているのかを明らかにするために、国際ヒトエピゲノムコンソーシアム (IHEC) が立ち上げられており、今後7～10年間で参照エピゲノムを1000組集める計画がある。これに対し、BLUEPRINTは、2020年までに100組を超える参照エピゲノムを集める予定だ。ヨーロッパは、BLUEPRINTで、IHECの主役になろうとしているのだ。

1人の人間を作り上げている細胞はすべて、同じ受精卵から生じ、同じゲノムを持っている。しかし、発生の過程で、細胞内のDNAが化学的に修飾されて固いコイル状の三次元構造が変化し、これにより、どの時点のどの細胞でどの遺伝子が活性化あるいは抑制されるのかが左右される。その後エピゲノムは基本的に安定化するが、環境の変化に反応してわずかながら絶えず変化し、また、がんなどの疾患でも変化する。

健康や疾病に対するエピゲノムの重要性は、徐々に明らかにされつつある。しかし、研究者は巨大な障壁にぶつかっている。新しいデータを突き合わせるための、定量的で質が高く、信頼できる参照エピゲノムのライブラリーがまだないのだ。1人の個人内あるいは個人間の細胞の間で、通常、エピゲノムがどれほど異なっているのかさえ、ほとんどわかっていない。

BLUEPRINTは特に、血液系に焦点を絞った。診断検査の多くは血液検体に依存しており、臨床応用への近道になるのだ。ナイメーヘン分子生命科学センター（オランダ）に所属するBLUEPRINTの取りまとめ役、Henk Stunnenbergは、「血液は、バイオバンクに貯蔵されていて、ゲノム解析にも利用されています」と語る。

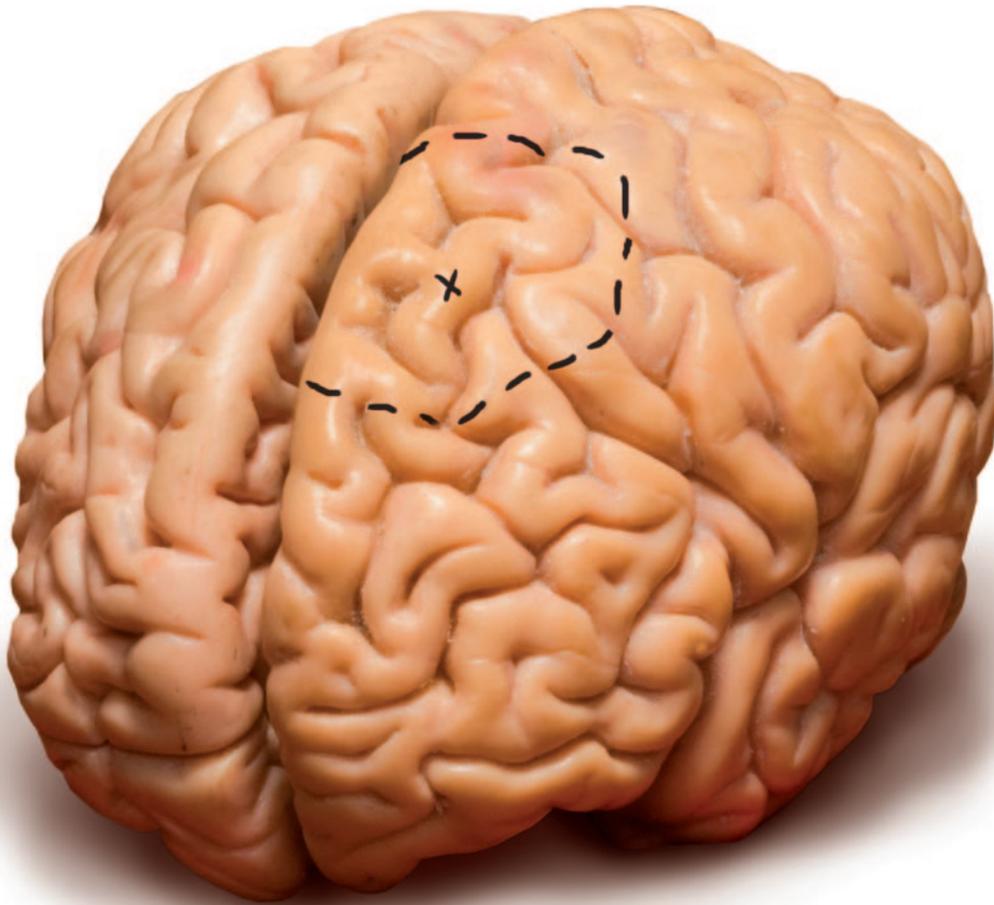
さらに、血球は常に新しいものと入れ替わっており、血液はさまざまな成熟段階の細胞の混合体となっているという利点がある。「血球のエピゲノムから、細胞の発達について何らかの一般則が明らかになるかもしれません」とStunnenbergは期待する。

BLUEPRINTでは、英国の国立血液バンクに貯蔵されている健常者の血液から採った60種類の細胞から参照エピゲノムを得ようとしている。それぞれのエピゲノムには、全ゲノム配列とともに、9種類のエピジェネティックマーカーの存在と分布に関するゲノム全体の定量的データが含まれている。

また、健常者のエピゲノムと比較するため、60種類を超える血液がん細胞の参照エピゲノムも得る予定だ。さらに、エピゲノムがどの程度子孫に受け継がれるのかをマウスで調べたり、健常者100人に由来する2種類の血球から低分解能のエピゲノムを得て、もともと個人が持っている変異を定量的に示そうとしたりする計画である。

IHECの立ち上げに尽力した南カリフォルニア大学（米国ロサンゼルス）のPeter Jonesによれば、「BLUEPRINTは、IHECの目的に合うよう特別に作られた最初の大きなエピゲノムプロジェクト」なのだ。「血液幹細胞が分化する仕組みに関してはとてもよく知られています。一方、疾患につながるプロセスに関与するエピジェネティックな事象の流れはほとんど明らかにされていません。それゆえに、血液エピゲノムは非常に興味深いのです」。

（翻訳：小林盛方）



## パーキンソン病の新治療法を科学が阻害する !?

### Why fake it?

ALLA KATSNELSON 2011年8月11日号 Vol. 476 (142-144)

脳の「偽手術」は、二重盲検法とともに科学の正当な手法と見なされている。

しかし、こうした方法論自体が、パーキンソン病の有望な治療法をつぶしてしまう危険性をはらんでいる。

Peggy Willocks は 44 歳のときにパーキンソン病と診断された。病気の進行は速く、4 年後には米国テネシー州エリザベスタンの小学校長の職を辞めざるを得なくなった。その後ほどなく彼女の症状は悪化し、1 人で身支度や食事、歯磨きや入浴をするのが難しくなり、部屋の中を人の手を借りずに歩くこともほとんどできなくなった。

彼女は、カリフォルニア州南サンフランシスコのバイオテック企業である Titan Pharmaceuticals 社が開発した、スフェラミン (Spheramine) という実験的治療薬の臨床試験 (治験) に参加した。スフェラミンは、特殊な人工マイクロ担体に付着させた培養ヒト網膜上皮細胞だ。この細胞群を脳内に移植すると、そこでドーパミン前駆体であるレボドパを産生

して、パーキンソン病の症状を低減してくれると期待されている。2000 年 8 月、Willocks はこの療法を受けた 2 番目の患者となった。

頭蓋に定位用の鉄製の輪を固定された後、全身麻酔を施された。次に、外科医がその枠と磁気共鳴画像法 (MRI) による多数の像から得た座標をもとに、位置を決め、頭蓋に孔を開けた。そして、

脳の白質の中にカテーテルを通し、奥深くにある線条体に移植用の細胞群を注入した。

最初は何の効果も見られなかったが、6～8か月経つと、Willocks はよくなったと感じ始めた。この変化は常にゆっくりで段階的だったが、手術後9か月後頃に1回だけ、例外的な変化があり、主治医はこれを見て「平衡感覚が大幅に改善されている」と言った。この第一相臨床試験の対象となった彼女とほかの5人の患者は、手術後1年までの間に運動能力に48%の改善が見られ、4年後でもこの改善状態はほぼ保たれていた<sup>1</sup>。

それから10年、彼女は今、症状が悪化しているのがわかるが、手術を受ける前よりはずっといいと話す。彼女はこの療法がうまくいったと信じて疑わない。しかし研究者たちはそうは思っておらず、スフェラミンは2008年にお蔵入りになった。追試の二重盲検法を使った第二相試験で、プラセボ（偽薬）以上の効果が見られないことがわかったからだ<sup>2</sup>。このときに細胞療法と比較対照されたのが、脳の「偽手術」である。これは、脳内に細胞を注入しないことだけが異なり、あとは、Willocks が受けた手術とすべてほぼ同じ手順で進められる。

パーキンソン病をはじめとする神経疾患を、侵襲的な手法で治療しようとしている研究者にとって、比較対照実験としての脳の偽手術は、簡単だしやりやすい方法だ。現在、実験的な組織移植法、遺伝子治療、幹細胞療法が開発され続けており、この偽手術法は今後増えていくとみられる。Willocks が参加したような小規模で安全な臨床試験は、治療の有効性を知る「手がかり」にはなるかもしれないが、有効性を「実証する」ようには設計されていない。

二重盲検法というのは、医師も患者もわからない状態でなされる検査だが、この偽手術の場合、最低限、医師の側は目あきでわかっている。関与する研究者も患者も非盲検、つまり医薬が投与されていることを知っている場合、先入観にと

らわれてしまい、実験結果に歪みが生じる可能性がある。「盲検ではない方法で得られる結果に信頼性がないことははっきりしています」と言うのは、ニューヨークのマウント・サイナイ医療センターの神経学者で、20年以上も前から細胞を使ったパーキンソン病の脳外科手術療法を研究してきた Warren Olanow である。「自分の研究データや仮説を二重盲検法で検証しないなんて、まともな科学者には考えられません」。

しかし、脳の偽手術は費用がかかりすぎ、危険もあり、医学生物学的行為として非倫理的側面もある、と指摘する研究者もいる。偽手術は不要なのかもしれないのだ。ケンブリッジ大学（英国）の臨床神経研究者 Roger Barker は、こうした療法の施術の仕方はいろいろだし、患者の応答の仕方にもばらつきがあるので、次の開発段階へ進む前に、非盲検の状況でプロトコルをきちんと整えておく必要がある、と主張する。また、こうした侵襲的な療法は費用がかかり、複雑で、適した患者の人数も少ないために研究の規模が制限されるので、偽手術による対照群から得られる結果は、統計的有用性が制限される。

Barker とヨーロッパ各地の研究仲間は、現在、胎児のドーパミン作動性神経細胞を移植する多施設臨床試験に向けて、患者登録を進めている。総額で1200万ユーロ（約13億円）規模となる予定だ。ここでは、偽手術による対照群の検査は十中八九行われぬ。プラセボを使った対照群は、いわば歴史的な前例にすぎず、脳外科手術の臨床試験には適用できないだろうと Barker は言う。一方で、Willocks やほかの患者たちはもっと踏み込み、プラセボ対照実験は単に不要だけではなく、有用となりうる療法を失墜させている、と攻撃する。

### めんどろな対照実験

パーキンソン病の外科的療法は、過去25年、まさに苦難の道を歩んできた。1987年、メキシコの外科医の論文<sup>3</sup>で、

重度のパーキンソン病患者2人に、ドーパミンを産生する副腎由来組織を移植したところ、奇跡的な治療効果が見られたことが報告された。その後、数年の間に何百人かの患者がこの療法を受けたが、後に行われた数例の遺体解剖によって、移植した細胞群は実際には生着していなかったことが判明した<sup>4</sup>。それと同じころ、胎児由来神経細胞（Barker が臨床試験で使うのと同様のもの）の移植療法を検討する小規模な研究が開始され、いろいろ入り交じってはいるが有望な結果が得られた。

しかし、この細胞移植法と偽手術を比較解析した2つの研究<sup>5,6</sup>の結論は、この移植法は効果がないばかりか、ジスキネジアまで起こすことが多々あるというものだった。ジスキネジアとは、特に投薬を受けているパーキンソン病患者に見られる運動性障害のことだ。この7年の間に、小規模な試験で有望とされた3つの実験的療法（スフェラミンを含む）<sup>1,7,8</sup>は、偽手術対照群と比較する第二相臨床試験で、すべて失敗に終わっている<sup>2,4,9</sup>（次ページの「偽手術という壁」を参照）。

脳の偽手術は、砂糖のプラセボを使うわけではない。頭蓋に定位用の枠を装着した後、患者は普通、麻酔をかけられ、外科医が頭蓋骨に孔を開ける。大半の場合、この穿孔は脳を保護する硬膜のところ<sup>せんこう</sup>で止められるが、時にはもっと深く開けることもある。神経成長因子 GDNF について調べた第二相臨床試験では、参加した患者全員の脳にカテーテルを挿入し、対照群では GDNF ではなく生理食塩水を注入した<sup>9</sup>。

「偽手術では、こうした手順をすべて演じ切り、端から見ていて、実際の医療行為をした場合と全く区別がつかないようにならなければなりません」と、Ceregene 社の医務部長 Joao Siffert は言う。同社はカリフォルニア州サンディエゴにあり、ニューロツリンと呼ばれる別の神経成長因子の遺伝子をウイルスベクターで送り込む療法を研究している。

多くの偽手術の場合、手術室にいる外科医から看護助手まで、全員が手術を忙しく進めているふりをしなくてはならない。場合によっては、機械のスイッチを入れて適当なノイズをわざと出すこともある。完璧な手順を踏むことで、誰がどの治療を受けたのか、手術チーム以外の誰にもわからなくていいのだ。「非常にめんどろですし、動かす人や物もたくさんあるのです」と Siffert は言う。あれやこれやで臨床試験の費用は積み重なっていく。Siffert の試算では、手術を演じる費用からデータ管理まで、患者 50 人規模の研究で 1000 万ドル（約 7 億 6000 万円）以上もかかることになる。

それでも、少なくとも北米では、パーキンソン病研究者は偽手術の利用を圧倒的に支持しており、2004 年の調査では支持率は 94% にもなった<sup>10</sup>。約 20% が、こうした治療行為なしの脳手術でも正常化されると回答している。また、支持派はこの手法がかなり安全だと言っている。脳の偽手術には間違いなくリスクがあり、とりわけ顕著なのは全身麻酔に伴うリスクだが、支持派によれば、実際の治療にリスクがあるのとは異なり、害を被った例はほとんど知られていないという。また、偽手術集団に入った参加者は普通、その療法が最終的に認可された場合、それで治療してもらえらる約束になっている。その場合、頭蓋にすでに開けられた穿孔を使って投与されることになるだろう。

偽手術は、プラセボ効果や先入観を排除するのに役立つ。パーキンソン病では、プラセボ効果が特に強く現れる。その理由の 1 つは、治療でよくなるはずだという患者の期待が、この疾患に欠乏している神経伝達物質であるドーパミンの放出を促すからだ<sup>11</sup>。「プラセボ効果は実際に現れ、その程度もすごく大きいのです。生理学的な裏付けも得られています」と、ブリティッシュ・コロンビア大学（カナダ・バンクーバー）でパーキンソン病とプラセボ効果を研究している神経学者 Jon Stoessl は話す。胎児神経細胞移植

## 偽手術という壁

この 10 年間で、パーキンソン病の脳手術療法に対する希望は、偽手術による対照実験によって、少数例を除く全てが打ち砕かれた。

| 療法                           | 非盲検試験<br>(第一相)                                      | 偽手術を用いる対照試験<br>(第二相)  |
|------------------------------|---|---|
| グルタミン酸デカルボキシラーゼ (GAD) の遺伝子導入 | 患者 12 人；術後 3 か月で 19% が改善し、術後 1 年も持続 <sup>14</sup>   | 患者 45 人；術後 6 か月で治療グループの 23% が改善したのに対し、対照群では 13% の改善 <sup>15</sup>                   |
| 培養網膜細胞（スフェラミン）の移植            | 患者 6 人；術後 1 年で 48% が改善、術後 4 年で 43% が改善 <sup>1</sup> | 患者 71 人；術後 1 年で有意差なし <sup>2</sup>   |
| ニューロツリンの遺伝子導入                | 患者 12 人；術後 1 年で 36% が改善 <sup>7</sup>                | 患者 58 人；術後 1 年で有意差なし <sup>4</sup> 、ただし 18 か月の追跡データおよび遺体解剖データが 2 回目の試験につながり、現在進行中である |
| グリア細胞系由来神経栄養因子 (GDNF) の注入    | 患者 5 人；術後 1 年で 39% が改善 <sup>8</sup>                 | 患者 34 人；術後 6 か月で有意差なし <sup>9</sup>  |

改善の程度は、パーキンソン病統一評価スケール (UPDRS) の薬が効いていないときの運動機能スコアで評価。

法を二重盲検で調べたある研究では、患者の病状の改善は、実際に移植手術を受けたかどうかではなく、自分が移植手術を受けたと信じているかどうかと関連していた<sup>12</sup>。さらに Stoessl は、同僚の未発表の研究を引用して、プラセボ効果は 2 年間も続くことがあると話す。

先入観はプラセボ効果よりも重要な混同・混乱因子だと考える研究者は多い。「研究者は、自ら開発した療法が有効であってほしいという偏った姿勢で研究に臨んでいます」と、トロント大学（カナダ）の神経学者で、パーキンソン病の実験的脳外科療法の臨床試験に何度か参加したことのある Anthony Lang は話す。どの臨床試験でも、研究者の先入観が、患者の反応に対する評価に影響を及ぼしたり、患者の期待を膨らませてプラセボ効果を高めてしまったりする可能性がある。

パーキンソン病研究でこの問題がさらにややこしくなるのは、患者がどの程度よくなっているかを客観的に測る尺度がないことだ。「それはまさに、嵐に翻弄される船に乗っているようなもの

で、疾患の本当の変化が読み取れないのです」と臨床試験方法論学者の Steven Piantadosi は話す。シーダー・サイナイ医療センター（米国カリフォルニア州ロサンゼルス）に所属する彼は、「偽手術は、適切に行えば対照実験となりうるでしょう」と言う。

しかし Barker はそうは考えない。非盲検試験でも、「目隠し」された評価者が患者を評価するなどの段階を踏めば、研究者の先入観をコントロールできる、という意見もあるが、Barker はそうは思わない。彼の姿勢はある意味で、当然である。ヨーロッパでは、偽手術が米国ほどは容認されておらず、英国では偽手術は一度も行われたことがない。

Barker は、胎児組織の移植が少なくとも一部の人のために効き目があるという信念をはっきりと持っている。「その証拠を示すために偽手術など必要ない」と彼は語り、昨年発表された論文<sup>13</sup>を挙げた。この論文では、かつて治療を受けた 13 歳と 16 歳の 2 人の患者を取り上げ、これらの患者では細胞移植療法による症状改善がいまだに維持されてお

り、彼らの脳の移植部位には機能するドーパミン産生神経細胞が認められると報告されている。彼は、過去の複数の研究で得られた結果にばらつきがあるのは、実験的治療法のために選ばれた患者、移植組織の特性、移植の手法にばらつきがあるせいだと考えている。彼の行う臨床試験でも、2つの偽手術対照実験で見られたような副作用を引き起こすことなく、有効性を示さねばならない。それには何らかの対照実験が必要だが、深部脳刺激療法など、効き目があることがわかっている認可済みの治療法との比較、という形になるという。

しかし、有効性の確認には時間をかけるのが一番だと Barker は話す。ほとんどの臨床試験では、最終評価の時期は治療からわずか1年後で、これでは十分な長さとはいえない。移植した細胞群や注入した成長因子が完全に機能を果たすまで1年以上かかるだろうが、プラセボ効果はもっと早く消えてしまうとみられるからだ。「試験終了まで3～5年は欲しいですね」と Barker は言う。

失敗した第二相臨床試験のうちの一部から、いくつかのヒントが得られている。試験終了後も追跡した患者から、有益な話が得られているのだ<sup>4</sup>。そのため、偽手術の対照実験が有用な医薬の将来性をつぶしている、という声も出ているのだ。Barker と共同研究をしている Lund 大学（スウェーデン）の神経科学者 Anders Björklund は、ほんとうに効き目がないのではなく、技術的もしくは方法論的な問題のために臨床試験が失敗に終わっていたとしたら、偽手術のせいでは有用な療法を投げ捨てていることになる」と話す。

## 擁護と不満の声

「その通りのことが、今まさに起こっているんですよ」とパーキンソン・パイプライン・プロジェクトという患者活動家ネットワークのリーダーを務める Perry Cohen が話す。彼は偽手術の必要性に疑問を投げ続けてきたが、第二相試験の

相次ぐ失敗の後、「我々は声に出し始めたのです」という。「これは問題ですよ。これらの臨床試験は失敗したけど、一部の患者で効き目を発揮しているのは明らかなんですから」。

研究者にとって、こうした反応を感情に動かされたものと片付けるのはたやすい。「患者は回復することを強く望み、積極的かつ外科的な治療法ほど治療効果が高いと思いがちです」と Lang は言う。しかし Cohen は、患者にはそれぞれに優先したいことがあり、研究者はそれらに配慮すべきだと反論する。研究では、プラセボ対照群を用いて偽陽性を排除している。しかし患者が本当に恐れているのは偽陰性、つまり効き目があるのに誤ってそれを否定されてしまうことなのだ。これによって、実験中の療法が、最適化される前につぶされてしまう。

優れた臨床試験ほど、偽陽性は排除され、偽陰性率は高くなる。つまり、よくて先延ばし、悪ければ行き止まりなのだ。例えばスフェラミンは、「ずっと棚ざらし状態なのです」と Cohen は言う。彼はもう1つ、アムジェン社の GDNF の第二相試験を挙げた。この臨床試験は、パッとしない結果と安全性の潜在的懸念が生じ、2004年に中止された。この安全性問題は、療法そのものではなく、アムジェン社のやり方のせいにする声もあった。現在、研究者の関心が改めて GDNF に向いているが、Cohen は2度目のチャンス到来を喜びつつも、「ここまで6年も棒に振ったんですよ」と話している。

患者の側では、研究者からのリスクについてもさまざまな見解がある、と Cohen は話す。彼は Tom Intili の話をしてくれた。この患者は50歳のときにパーキンソン病になって10年後に、ニュールツリンの二重盲検プラセボ対照実験に参加した。最初、Intili の症状は劇的に改善された。ところが、実験の結果が公開されて、彼は自分がウソの治療を受けたことを知った。すると彼の症状は急激に悪化し、治療を受ける前よりも

衰弱してしまった。「非盲検試験が心理学的にどんな影響を持つのか、我々にはわからないんです」と Cohen は言う。

さらに Cohen は、プラセボ効果を排除しようとするのは全くの見当違いだ、とも主張する。「プラセボ効果を取り除きたくはないです。むしろ守りたいのです。なぜなら、プラセボ効果は、現実として、治療効果の一端を担っているからです」と彼は話す。パーキンソン病では心理的要因が非常に顕著であり、プラセボによる反応が実際に治療効果を高める可能性もある、と彼は説明する。「それは私も偽手術が必要だと思いたいですよ。でも、そう思う理由を探しても、何もないんです」と彼は言う。

Willocks は、自分が、最近棚上げされた実験的療法の多くが復活可能なことを示す生き証人だと言っている。もちろん、科学的見地から言えば彼女の経過は1つの逸話であって、データではない。5月に、失敗に終わったスフェラミンの第二相試験（彼女が10年前に受けた療法）の結果がようやく発表された<sup>2</sup>。この論文では、締めくくりにプラセボ効果の危険性に関する警告が書かれており、二重盲検法でプラセボ効果を抑制することの重要性が強調されている。「この論文の最終段落を見て、私は困惑しました」と Willocks は話す。「10年も経っているのに、どうしてプラセボ効果と呼べるのか、私には理解も納得もできません」。

（翻訳：船田晶子）

Alla Katsnelson は、ニューヨーク市で活動するフリーランスの科学ライター。

1. Stover, N. P. & Watts, R. L. *Neurotherapeutics* **5**, 252-259 (2008).
2. Gross, R. E. et al. *Lancet Neurol.* **10**, 509-519 (2011).
3. Madrazo, I. et al. *N. Engl. J. Med.* **316**, 831-834 (1987).
4. Marks, W. J. et al. *Lancet Neurol.* **9**, 1164-1172 (2010).
5. Freed, C. R. et al. *N. Engl. J. Med.* **344**, 710-719 (2001).
6. Olanow, C. W. et al. *Ann. Neurol.* **54**, 403-414 (2003).
7. Marks, W. J. et al. *Lancet Neurol.* **7**, 400-408 (2008).
8. Gill, S. S. et al. *Nature Med.* **9**, 589-595 (2003).
9. Lang, A. E. et al. *Ann. Neurol.* **59**, 459-466 (2006).
10. Kim, S. Y. H. et al. *Arch. Neurol.* **62**, 1357-1360 (2005).
11. de la Fuente-Fernández, R. et al. *Science* **293**, 1164-1166 (2001).
12. McRae, C. et al. *Arch. Gen. Psychiatry* **61**, 412-420 (2004).
13. Politis, M. et al. *Sci. Transl. Med.* **2**, 38ra46 (2010).
14. Kaplitt, M. G. et al. *Lancet* **369**, 2097-2105 (2007).
15. LeWitt, P. A. et al. *Lancet Neurol.* **10**, 309-319 (2011).

# イレッサで患者が救えることを 信じ続けた医師

日本人の死因の30%を占めるがん。そのうち肺がんは、男性のトップ、女性で第3位だ。2002年に発売された肺がん治療薬イレッサ（薬物名ゲフィチニブ）は、高い効果を発揮したものの、副作用のために認可取り消しの危機に見舞われた。その後、イレッサが安心して使えるようになるまで長い道のりを要したが、その陰には、基礎研究と臨床の現場を結んだ医師たちの努力があった。



萩原 弘一

—— Nature ダイジェスト：イレッサは、どんな薬なのですか？

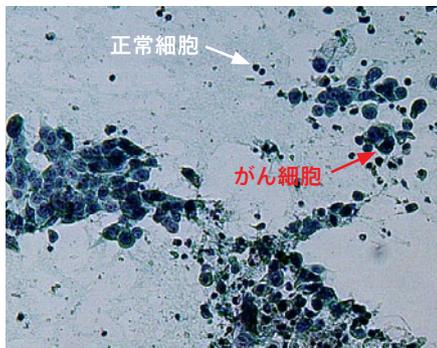
萩原：肺がん患者さんに驚くほどよく効く薬です。肺がんで寝たきりだった患者さんが、歩いて帰れるほど元気になる例もあります。

肺がんのうち80%を占めるのは、「非小細胞性肺がん」と呼ばれるタイプなのですが、イレッサはこのタイプに対する治療薬です。日本では2002年に、米国では2003年に認可されました。

——まるで夢のような薬なのですね。

ところが残念ながら、予期せぬ副作用が出たのです。不幸なことに、劇症の間質性肺炎を起こして急死する人が相次ぎ、薬害訴訟問題に発展しました。

さらに、2004年に発表された国際的な臨床試験の暫定的な結果では、東洋人を除くと、イレッサの明確な延命効果が実証されなかったのです。ヨーロッパでは認可申請取り下げ、米国では使用停止になりました。



気管支鏡で得た肺がんの細胞。

——日本の医療現場では、どうでしたか？

日本の医師の間では、その薬効が実感されていきましたから、何とか使い続けられないかという要望が強かったですね。副作用を避けようと、それが出るタイプの患者さんを見分ける努力が続けられました。

——萩原先生は、イレッサが効く人と効かない人の判別に有用な遺伝子変異検査法を開発されたのですか？

はい。まず、ハーバード大学や名古屋市立大学などの研究者たちにより、イレッサの作用についての重要な発見があったのです。それを利用して、イレッサが効く人と効かない人を見分け、効く人たちにだけイレッサを投与すれば、有効な治療ができるだろうと考えました。

——どんな発見だったのですか？

細胞の表面には、細胞増殖を制御するEGF（上皮細胞増殖因子）受容体があります。イレッサは、この受容体を標的にした薬なのですが、イレッサが効く患者さんの場合、この受容体を作る遺伝子に変異が生じていることがわかったのです。

がん化した細胞には、さまざまな遺伝子変異が発生します。けれども、どんな遺伝子にどんな変異が生じるかは一律でなく、人によって違いがあるので、イレッサの効果も、人によって変わります。

臨床と基礎研究では検査法に違いがある

——それで、EGF受容体（EGFR）の遺伝子変異の検出に着目されたわけですね？

そうです。しかし、患者さんを検査して、つまり臨床で遺伝子の変異を調べるとなると、そう簡単ではありません。実験室の実験ならば難しくはありませんが、

——どのように調べたのですか？

まず、患者さんから検体を得なくてはなりません。検体としては一般に、組織、細胞、血液の3つが考えられます。

組織を得るためには手術が必要ですが、手術をしておきながら、遺伝子検査の結果が陰性で治療ができなかったら、患者さんに与える心理的影響はとても大きなものになります。そこで、肺がん患者さんすべてに組織検査を行うのは難しいと考え、これは、検討対象から外しました。

血液検体の場合、検査の感度を満たすためには、がん細胞が血液1ml当たり数十個必要です。これがどのくらいの量を計算すると、心臓が毎分5000mlの血液を送り出すとして、1日当たり5gものがん細胞が血液中に流出することに相当します。こんな大量のがん細胞が、初期のがん患者の血液中に存在するとは考えられません。そこで血液も検討対象から外しました。

——では、細胞検体を用いたのですか？

はい。細胞の入手は、診療の流れにうまく組み込むことができると判断しました。肺がんの診断では、気管支鏡を挿入して患部の細胞をこすり取り、その細胞を顕微鏡で見ると判断します。その際に、

こすり取った細胞検体を2つに分けて、半分を診断用に、残りの半分を遺伝子変異の検査に用いる方法が、現実的だろうと考えたのです。

遺伝子変異の検出は、遺伝子を増幅するPCR装置を利用すれば可能であることがわかりました。

——ほかにどんな点を工夫されましたか？

患部から得た細胞検体には、がん細胞だけでなく正常細胞も混ざっています。ですから、正常細胞の遺伝子は検出せず、がん細胞の遺伝子だけを検出する「高感度な検査」にする工夫が必要でした。そのためには、正常細胞とがん細胞がどのくらいの割合で混ざっているかを知る必要もありました。

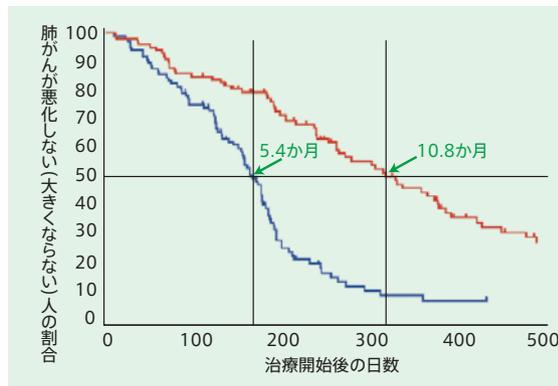
そこで、病理診断で使用された検体写真中に含まれるがん細胞の数を実際に数えました。その結果、病理医ががんと診断している検体では、正常細胞100個に対し、がん細胞が1個（1%）以上あることがわかりました。これが臨床での病理診断の感度です。この数字を目安に、遺伝子検査の感度を決めました。こうして、2004年の夏頃に、検査法が完成しました<sup>1</sup>。

実際の患者さんで効果を試す

——次に臨床の現場で試されたのですか？

この検査法が患者さんの治療に有効であることを実際に確かめるため、臨床試験を行いました。2004年の秋から東北大学病院、宮城県立がんセンター、日本医科大学付属病院、北海道大学病院などの医師たちとともに、患者さんの同意が得られた場合に、検査を実施することにしたのです。

そして、遺伝子変異を持つことがわかった患者さん約230人にイレッサを投与した結果、がんの進行速度が遅く（平均で2分の1に）なる効果が得られるとわかったのです。日本人の肺がん患者さんで、このEGFR遺伝子に変異を持つ人は、約30%（2万人以上）に達します。



臨床試験結果。手術ができない肺がんの治療で、EGF受容体の遺伝子変異陽性の患者（230人）にイレッサを用いた。対照群の5.4か月に対し、イレッサ使用では10.8か月後まで悪化せず、がんの進行が1/2倍遅かった。

私たちの検査法を含め、複数の検査法が商業化されました。いずれも臨床検体を2つに分け、片方を病理検査、片方を遺伝子検査にする手順を採用しています。実績は徐々に増え、2009年の時点で日本人の肺がん患者の約65%がEGFR遺伝子変異検査を受けています。臨床で使用可能な検体を考え、手順を決め、検査方法を確立したことがよかったです。

臨床試験の成果は2010年に論文として報告しました<sup>2</sup>。現在は、米国、英国、ヨーロッパのがん学会のガイドラインや、英国、仏国、オランダなどの国のガイドラインに、EGFR遺伝子変異検査の重要性が記載され、実際のがん治療に利用されています。

——多くの患者さんが、この遺伝子検査の恩恵を受けたのですか？

そうです。臨床の現場で実際に使用可能な遺伝子検査を実現できたと思います。ただし、ごくわずかですが、イレッサの副作用の出る方がまだいらっしゃいます。投与後の経過を慎重に観察する必要があります。また現在、患者さんのQOL（生活の質）の向上という観点からも効果を調べています。

——臨床の医師と基礎の研究者が協力することが重要に思えます。

そのとおりです。人間を対象にする場合、いろいろな制約があります。制約をクリアし、臨床の現場で実施できるものでないと、役には立たないのです。また、臨

床医と基礎研究者が協力する場合には、両者を橋渡しする人の存在も重要です。臨床医と基礎研究者が議論できないといけませんし、研究者からの提案が臨床の現場で実施可能なものなのかを見極めたり、臨床医からの提案を研究者に伝える場合もあるでしょう。

——萩原先生は、その役割を果たしていらっしゃるのですか。いろいろなアイデアはどうやって生まれるのですか？

最先端の手法だとか流行のテーマにそれほどこだわらず、自分の頭で考えてアイデアを出すようにしています。予算がないときに、使えるのは頭しかないですから。

若いときには研究に専念したい思いもあったのですが、そのときよりも、今のほうが充実しているかもしれませんね。

——ありがとうございました。

聞き手は藤川良子（サイエンスライター）

1 Nagai Y et al. *Cancer Res* **65**, 7276-7282 (2005).  
2 Maemondo M et al. *New England J Of Medicine* **362**, 2380-2388 (2010).

AUTHOR PROFILE

萩原 弘一（はぎわら・こういち）  
埼玉医科大学呼吸器内科教授、医学博士。1983年、東京大学医学部卒業。東京大学医学部附属病院第三内科医員、助手を経て、1993年、米国立がん研究所 Visiting fellow、Visiting associate。1999年、東北大学加齢医学研究所呼吸器腫瘍研究分野講師。2003年より現職。2011年、文部科学大臣表彰・科学技術賞開発部門受賞。

## 進化

## 自信過剰は自然選択において有利に働く

## Selection for positive illusions

MATTHIJS VAN VEELEN, MARTIN A. NOWAK 2011年9月15日号 Vol. 477 (282-283)

過信が無謀さにつながることは、誰もが知っている。

しかし、リスクより大きな報酬がある場合には、

過度に肯定的なセルフイメージを持つことが進化上の利点となるかもしれない。

運転免許を持っている人に、自分の運転技能を評価するように言うと、ほとんどの人が「平均より上」と答えるだろう<sup>1</sup>。同じことが、認知課題の遂行能力<sup>2</sup>、魅力（ただし、女性ではなく男性の場合）<sup>3</sup>、行動の健全性<sup>4</sup>についての自己評価についてもいえる。我々は概して、自分の能力を実際より高く評価しているのだ。高校生100万人を対象とした調査では、実に70%の生徒が自分を平均以上のリーダーであると評価していた（逆に、自分を平均以下だと思っている生徒は2%だけだった）<sup>5</sup>。さらに驚くべきことに、大学教授の自己評価によれば、その94%が平均以上の教育能力を有していることになる<sup>6</sup>。

回答者の全員が正しいはずがないのは明らかだ。だからといって、彼らが社会生活に適応できていないとか、精神的に不健康であるという訳ではない。むしろ、抑うつ状態の人々を対象とする調査に限定したほうが、集団における自己評価に整合性が見えてくる<sup>7</sup>（ただし、この知見には疑問の声も上がっている<sup>8,9</sup>）。精神的に健康な人々は、いわゆる「肯定的幻想」という幸せな病気にかかっている、自分の能力や自分がコントロールできる出来事について過大評価し、危険に対する弱さを過小評価している<sup>10</sup>。もちろん、過大評価の程度が甚だしい場合には自己愛性人格障害や誇大妄想ということになるが、健康な人々の自己評価は、

実際の能力よりもわずかに高いところから始まっているようだ。その理由について説明できそうなモデルを、JohnsonとFowlerが*Nature* 2011年9月15日号317ページで提案している<sup>11</sup>。

まず、明らかに問題になるのは、過信がいかにして自然選択の過程を生き残ってきたかということだ。多くの人におめでたい自己評価が見られることは、自信過剰であることが、適応的でさえあるかもしれないことを示唆している。これは、適応的でないにもかかわらず、集団内にある程度の割合で存在している統合失調症などの形質とは対照的だ。それにしても、他人と比較した自分の能力の評価を誤ることが適応的であるとは、いったいどういうことなのだろう？ 自分の能力を誤解していたら、判断を誤るだけだとはいえないだろうか？

これに対しては、これまでいくつかの説明が提案されている。その1つが、自分を過信している人は他人にも自分の偉大さを信じ込ませることができるという利点を指摘するものだ。確かに、揺るぎない自信ほど強い説得力があるものはない。このため、他人と比較した自分の位置付けに対して上向きのバイアスがかかると考えられる<sup>12</sup>。こうした過信はあちこちで間違いを引き起こすかもしれないが、他人から高い評価をされることで、間違いを上回る利益を得る可能性がある（図1）。

今回、JohnsonとFowler<sup>11</sup>が提案している説明は、これとは明らかに大きく異なっている。彼らのモデルによれば、バイアスがかかったセルフイメージは人々に正しい判断をさせることができるが、バイアスのかからないセルフイメージは最適でない判断を導くおそれがあるという。これは直観に反しているように聞こえる。ポイントは著者らが、人間が物事を判断する過程について「純朴経済学者」のような考え方をすることをやめた点にある。（といっても、言葉のとおり、「純朴な」経済学者という意味ではない。ここでいう純朴とは「純朴概念」のことで、人は日常的経験から物事に対して思い込みがあり、それによって概念やルールを形成しているという考え方のことである。）

著者らのモデルで想定しているのは、1つの価値ある資源をめぐる、2人の人間がその所有権を主張するかどうかを判断するという状況だ。両者が所有権を主張する場合には、2人はその資源をめぐる戦うことになる。戦いはどちらにとってもコストがかかるが、強いほうが勝って、資源を手にするようになる。一方だけが所有権を主張する場合には、資源はその人のものになる。どちらも所有権を主張しないなら、資源は誰のものにもならない。

さて、競い合う2人が相手の闘争能力を正確に評価できるなら、最適な戦略

は明らかだ。自分のほうが強ければ戦えばよいし、自分のほうが弱ければ相手に資源を譲ればよい。話がおもしろくなるのは、両者が相手の強さについて不十分な情報しか持っていない場合である。この場合、強いほうが相手の強さを過大評価して、所有権を主張するのをためらう可能性がある。そうしてためらっている間に弱いほうが所有権を主張すれば、報酬を手にすることができてしまうのだ。

この状況は、経済学者が「完全な合理性」と呼ぶ領域、すなわち、競い合う2人が自分の置かれた状況を完全に理解し、相手が資源の所有権を主張する見込みを正しく予想しているという仮定のうえで、扱うことができる。しかし、JohnsonとFowlerは、正しい判断へはもっと近道があるという。それは、単純な発見の方法（つまり、自分のほうが強いと思ったら戦う）を、バイアスと組み合わせたものである。資源の価値が戦いのコストを上回っている場合には、あちこちで余分な戦いをするリスクよりも、相手が所有権を主張しなかった資源を手に入れられる利益のほうが大きくなる。このとき、自分の闘争能力を過大評価する特性は好都合になる。反対に、資源の価値が戦いのコストを下回っている場合には、自分の闘争能力を過小評価しているほうがよい。なお、著者らのモデルにおける人々の行動は実際にはもっと複雑で、自分を過大評価する人と過小評価する人が安定して混在する集団へと進化するという予想なども導かれている。

もう1つの進化論的説明も考えられる。過信は平均的な報酬を少なくするかもしれないが、一方では、大きな成功を手にする人々は自信過剰のグループから現れるという説明だ。例えば、ルーレットの「腕前」についての過信は、概してプレイヤーの負けを誘う。けれども、ルーレットで大儲けする人々は、頻繁にこのゲームをしているはずだ。「勝者がすべてを手に入れる」などの強い選択では、過信が有利に働くと考えられる。



図1 蝶のように舞い、蜂のように刺す。モハメド・アリは、自分は「世界の王」だと信じていた。この究極の自信が彼を支え、多くの勝利をもたらした。JohnsonとFowler<sup>11</sup>によれば、過信は進化上の利点となるという。

さて、今回のJohnsonとFowlerの研究<sup>11</sup>からは、さまざまな興味深い問題が出てくる。例えば、我々の脳には、戦いのコストが低い場合の「勝利の戦略」の回路が組み込まれているはずだが、その方法は2種類考えられるだろう。1つは単純な発見の方法と過信が合わさったもので、自分のほうが強いと思ったらときにだけ戦うが、自分の強さを過大評価しているというものだ。もう1つは、過信のない「完全な合理性」が作用するもので、若干の不確実性がある場合には、自分よりわずかに強いと思った相手とも戦うことが勝利の戦略となるかもしれない。今後の実証研究や理論研究により、どちらの方法が我々の特徴をよりよく説明しているのかが明らかになるかもしれない。

さらには、取引行為における過信<sup>13</sup>、非常に複雑な金融商品を購入しようとする意欲（これが現在の金融危機を引き起こしたと考えられる）、戦争に至る政治的決定<sup>14</sup>、動物の闘争行動の進化<sup>15</sup>などと、今回の知見との関連を解明することができたら、興味深い。94%の大

学教授が自分の能力を平均以上だと評価しているなら、今回の知見に関連して自然に出てくるこうした問題に片っ端から取り組むだけの「過信」も持っているはずだ。

（翻訳：三枝小夜子）

Matthijs van Veelen、アムステルダム大学（オランダ）実験経済・政治意思決定センター。Martin A. Nowak、ハーバード大学（米国マサチューセッツ州ケンブリッジ）数学科および有機体・進化学科進化ダイナミクスプログラム。

1. Svenson, O. *Acta Psychol.* **47**, 143-148 (1981).
2. Kruger, J. & Dunning, D. *J. Pers. Social Psychol.* **77**, 1121-1134 (1999).
3. Gabriel, M. T., Critelli, J. W. & Ee, J. S. *J. Pers.* **62**, 143-155 (1994).
4. Hoorens, V. & Harris, P. *Psychol. Health* **13**, 451-466 (1998).
5. Alicke, M. D. & Govorun, O. in *The Self in Social Judgment* (eds Alicke, M. D., Dunning, D. A. & Krueger, J. I.) 85-106 (Psychology, 2005).
6. Cross, P. *New Directions Higher Educ.* **17**, 1-15 (1977).
7. Taylor, S. E. & Brown, J. D. *Psychol. Bull.* **103**, 193-210 (1988).
8. Shedler, J. et al. *Am. Psychol.* **48**, 1117-1131 (1993).
9. Colvin, C. R. & Block, J. *Psychol. Bull.* **116**, 3-20 (1994).
10. Sharot, T. *The Optimism Bias: A Tour of the Irrationally Positive Brain* (Pantheon, 2011).
11. Johnson, D. D. P. & Fowler, J. H. *Nature* **477**, 317-320 (2011).
12. Trivers, R. *Deceit and Self-Deception: Fooling Yourself the Better to Fool Others* (Allen Lane, 2011).
13. Barber, B. M. & Odean, T. *Q. J. Econ.* **116**, 261-292 (2001).
14. Johnson, D. D. P. *Overconfidence and War: The Havoc and Glory of Positive Illusions* (Harvard Univ. Press, 2004).
15. Enquist, M. & Leimar, O. *J. Theor. Biol.* **127**, 187-205 (1987).

## 地球科学

## 大量絶滅を引き起こした巨大火山活動

## Lethal volcanism

PAUL B. WIGNALL 2011年9月15日号 Vol. 477 (285-286)

非常に広い範囲にわたって火成岩が分布するシベリア・トラップの調査から、そのマグマ源に、リサイクルされた海洋地殻がかなりの割合で含まれていたことを示すデータが得られた。

巨大火成岩岩石区 (LIP: Large Igneous Province) は、地球の火山活動のスケールの大きさを雄弁に物語る地形である。この広大な火山性台地は、実に、数千  $\text{km}^3$  もの玄武岩質溶岩流が何層にも積み重なってできた。実際に溶岩が噴出している様子を目撃した人はいないが、それは幸運以外の何ものでもない。この巨大火成岩岩石区での溶岩の噴出が、生物の大量絶滅や炭素循環の大変動を引き起こしたのではないかと考えられているからだ。

しかしこれまで、巨大火成岩岩石区と環境変化との関連については、ほとんど何もわかっていなかった。今回、Stephan および Alexander Sobolev 兄弟らが、シベリア・トラップ (図1、シベリアにある巨大火成岩岩石区) での研究を通して新しい仮説<sup>1</sup>を提案しており、それが答えにつながる可能性がある。

特定の場所の火山活動が地球規模の大災害を引き起こす場合、そこに火山ガスの放出が関与しているのは明らかだ。火山ガスに豊富に含まれる二酸化硫黄 ( $\text{SO}_2$ ) やハロゲンは短期的な寒冷化と酸性雨を引き起こすし、二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ ) は温室効果を及ぼす。火山ガスが環境を破壊する可能性があるのも明らかで、LIP (巨大火成岩岩石区) で溶岩が噴出する際に放出される火山ガスの量を計算すれば、その程度を評価することができる。原理は単純だ。最初に、現在のハワイなどで玄武岩が噴出する際に放

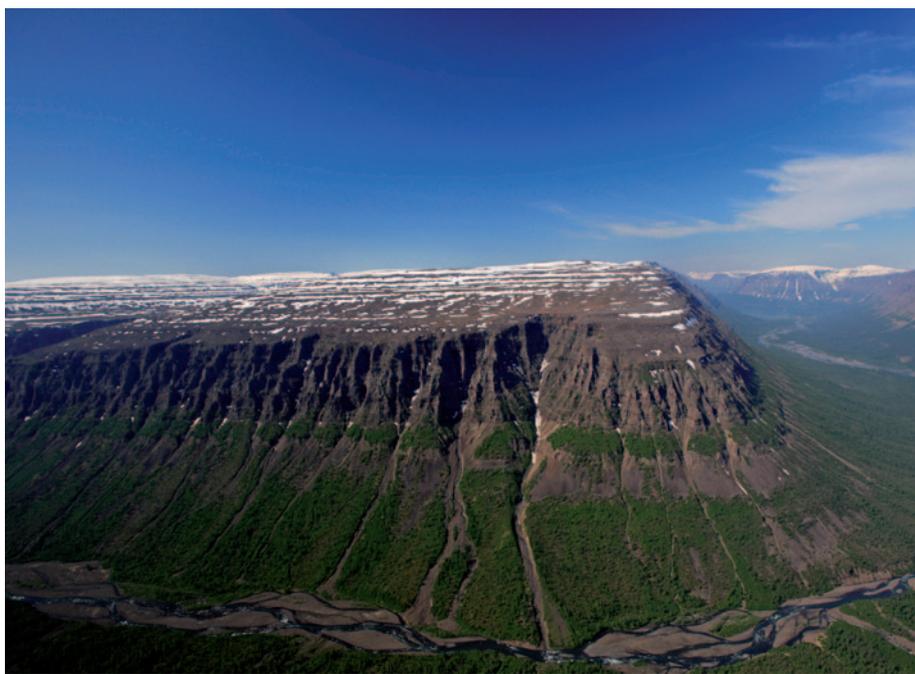


図1 シベリア・トラップ

シベリアのタイミル半島ブトラナにある洪水玄武岩流。この岩山は、ペルム紀末期の大量絶滅が起きたのと同じ約2億5000万年前に噴出した巨大火成岩岩石区 (LIP) の一部である。Sobolev らによる新しい研究<sup>1</sup>は、噴出したマグマに大量の海洋地殻物質が含まれており、そのために膨大な量の火山ガスが発生し、このような環境危機を引き起こしたと説明する。

出されるガスの量を測定し、LIPの大きさ (典型的なもので数百万  $\text{km}^3$ ) まで、その数字をスケールアップすればよい。

計算からはかなり大きな数字が出るが、これは、LIPの火山活動が続く100万年近い歳月の間に放出されるガスの総量である<sup>2</sup>。この点は重要だ。なぜなら、大気中に入ったガスは数年以内に除去されるため、次の噴出が始まるまで、環境が回復する時間は十分にある

からだ。CO<sub>2</sub>でさえ、数千年以内にかんりの部分が除去されて、岩石の風化、特に玄武岩流そのものの風化の際に消費される<sup>3</sup>。

このように大気は速やかに回復するため、環境の破壊は、1回の溶岩噴出の間か、短い間隔で何度も溶岩噴出が起きている間に起こることになる。このような推論は、LIPで溶岩の噴出が始まった時期が大量絶滅が起きた時期とよく一致し

ていることを明らかにした最近の研究<sup>4</sup>で裏付けられている。つまり、最初の一撃ですべての環境被害が生じるのだ。

しかし、1つ問題がある。1回の溶岩流に伴って放出されるガスの量は、大した量にはならず、人間の活動によって発生するSO<sub>2</sub>やCO<sub>2</sub>の年間排出量よりも少ないくらいなのだ<sup>2</sup>。LIPで溶岩噴出が起きた時期は環境危機の時期と一致しているのに、単純に計算したガス流量からは、火山ガスによる影響は小さいことになってしまう。これは困った話である。

Sobolevらの仮説<sup>1</sup>は、LIP（巨大火成岩岩石区）のマグマ源に関するもので、噴出が始まった時点では特に、一般に仮定されているよりはるかに多くのガスを含んでいた、と提案する。従来の理論では、LIPは地球深部で生成したマンテルプルームに由来しており、一度も溶融したことの無い始原的な物質が噴出したものとされてきた<sup>5</sup>。Sobolevらは、この見解には反対しないが、上昇してくるプルームに海洋地殻が含まれていることを示す地球化学的・岩石学的証拠を提示したのだ。

この海洋地殻は、海溝を経由してマンテルへとリサイクルされ、プルームの成分の最大20%を占めている可能性がある。その影響は甚大だ。プルームに含まれる海洋地殻は、マグマが地表に到達する機構を変え、放出されるガスの量を大幅に増やすからである。

これまでは、高温で浮力の大きいマンテルプルームが地殻のすぐ下まで上がってくると、隆起と伸張が起きて、マグマが噴出できるようになると考えられてきた<sup>6</sup>。しかし、海洋地殻成分を含むプルームは、マンテル物質のみからなるプルームに比べてかなり密度が高いため、その上昇は純粋に熱的なプロセスではなく、力学的なプロセスが加わってくる。すなわち、マンテルの最上部と地殻を「侵食」していくのだ。

地殻の下部の熱的・力学的な侵食が起るためには、従来のモデルよりも多くのマグマが必要となり、その分、ガスの

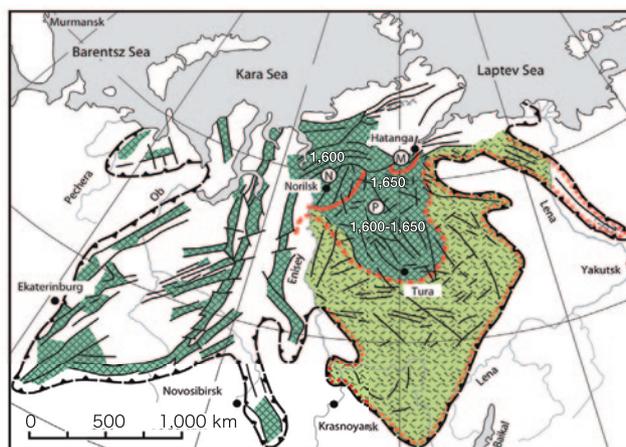


図2 シベリア・トラップの地質分布<sup>1</sup>

濃い緑色で示したのが冷えた溶岩地帯で、黄緑色は凝灰岩（火山砕屑岩の一種）地帯を示す。火成岩の岩石区がいかに広大か、想像できるだろう。

量も多くなる（ガスはリサイクルされた海洋地殻から発生する）。Sobolevらのモデルでは<sup>1</sup>、玄武岩の溶融が起こる先端部から揮発性の火山ガスが抜けていくので、LIPの火山活動は大量のガス噴出から始まることになる。こうした大規模な爆発が活動初期にあったことは、大量絶滅イベントと密接に関連しているシベリア・トラップや峨眉山トラップなど複数のLIPの調査で裏付けられている<sup>4</sup>。

Sobolevらのモデルは、従来の理論で不足していた火山ガスの発生量を増やし、大量絶滅とLIPでの溶岩噴出の開始時期との相関を説明し、多くのLIPで溶岩噴出前の隆起（熱的なドーム形成）が見られないという問題<sup>7</sup>を解決するなど、優れた点がいくつもある。そのうえ、LIPでの溶岩噴出と同じ時期に、炭素同位体記録に記された炭素循環が大きく変化していることも説明できるのだ。

マンテルのCO<sub>2</sub>の同位体組成は、海洋-大気系のCO<sub>2</sub>の同位体組成に比べて、炭素12 (<sup>12</sup>C) の比率がわずかに高いものの、それほど大きな違いはない。これは、火山の噴火に由来する膨大な量のCO<sub>2</sub>でさえ、同位体記録にはほとんど痕跡が残らないことを意味している。ところが、ほとんどのLIPで溶岩が噴出していた時期、特に、大量絶滅と関連付けられている時期は、炭素同位体比が突然大きく変動する時期、すなわち、<sup>12</sup>Cに富むCO<sub>2</sub>が大気中に到達したと考えられる時期と一致しているのだ。海

洋地殻に由来する炭素は、純粋なマンテル物質に由来する炭素に比べて<sup>12</sup>Cを豊富に含んでいるため、炭素同位体記録に痕跡を残しているのは、この炭素かもしれない訳だ。

Sobolevらによる研究<sup>1</sup>は、シベリア・トラップに注目したものであり、その活動時期は、約2億5000万年前のペルム紀末期の大量絶滅の時期と一致している。小規模な絶滅イベントが起きた時期に活動していたカール・フェラー岩石区や、地球規模の生物相に全く影響を及ぼさなかったパラナ・エテンデカ岩石区など、ほかの巨大火成岩岩石区（LIP）を調べて、このモデルをさらに検証するのは有益なはずだ。巨大火成岩岩石区が環境に影響を及ぼす場合と及ぼさない場合があることを説明するため、現在、各種の複雑な仮説<sup>8</sup>が提案されている。この関係に欠けていた変数は、地表に向かって上昇するプルームに含まれるリサイクルされた海洋地殻の割合なのかもしれない。

（翻訳：三枝小夜子）

Paul B. Wignall、リーズ大学地球環境大学院（英国）。

1. Sobolev, S. V. et al. *Nature* **477**, 312-316 (2011).
2. Self, S., Widdowson, M., Thordarson, T. & Jay, A. E. *Earth Planet. Sci. Lett.* **248**, 518-532 (2006).
3. Schaller, M. F., Wright, J. D. & Kent, D. V. *Science* **331**, 1404-1409 (2011).
4. Wignall, P. B. et al. *Science* **324**, 1179-1182 (2009).
5. Jackson, M. G. & Carlson, R. W. *Nature* **476**, 316-319 (2011).
6. Saunders, A. D. et al. *Chem. Geol.* **241**, 282-318 (2007).
7. Sun, Y. et al. *Lithos* **119**, 20-33 (2010).
8. Wignall, P. *Elements* **1**, 293-297 (2005).

# ありがとう、ジョブズ!

## An eye for success

2011年10月13日号 Vol. 478 (155-156)

ジョブズと Mac は、科学論文の製作環境に革命をもたらした。

転写シールの切り貼りや用紙をずらしてタイプする作業から科学者を解放し、研究に専念できるようにしてくれたのだ。

2011年10月5日、アップル社の最高経営責任者で共同創業者のスティーブ・ジョブズが56歳で死去した。彼とアップル社を評価する人々は、多くが iPhone や iPad のユーザーであろうし、ジョブズが残した多くの遺産は、この「i世代」が引き継いでいくはずだ。それでも、ジョブズとアップル社の Mac (マッキントッシュ) が科学の仕方を変えたという歴史は、長く記憶されてよい。

何十年も前、分子科学者にとって、画面上にベンゼン環をデジタル描画できることが最先端技術だった時代がある。それを科学者すべてができるようにし、また、それ以上のことも可能にしたのがジョブズとアップル社の Mac だった。だから今でも多くの科学者が Mac の忠実なユーザーで、ジョブズの死に接して、浅からぬ感慨を覚えるのだ。

法人向けパソコン市場では、Mac はとうの昔に Windows に敗北している。ところが、設計・デザイン・出版などの業界では、Mac は今なお圧倒的な支持を得ている。1984年、最初の Mac が発売されたが、そこにマウスが付いていた。これはまさに画期的な道具で、一般の人が簡単に画像を処理できる道を開いたのだ。

化学者や分子生物学者は、研究成果の表や図版を簡単に描けるようになり、短時間のうちに論文を提出できるようになった。今のような Windows が発売されるのは何年も先の話で、Mac は一歩も二歩も先を進み、その後も、科学の世

界で Mac の優位性が失われることはなかったのである。

Mac の革新性は、1つ前の技術や環境を知るとよくわかる。1980年代の中頃、Grafacon 1010 などの卓上型デジタル化装置があり、これを使えば、手書きの図を画面上に移し取ることができた。しかし、その恩恵に浴すことができたのはほんの一握りの人々だった。大部分の科学者は、文房具店で転写シールを買ってきて、論文の空白部分に、ひとつひとつ、文字や記号をゴシゴシこすって転写したのだ。

インベリアル・カレッジ・ロンドンの計算化学者 Henry Rzepa は、ChemDraw のようなソフトウェアと Mac と初期のレーザープリンターを併用することで、雑作業から解放されて「本来の研究ができるようになった」と話している。Mac が登場するまでは、シールを転写したりして、出版社が要求する「完全版下」を作成するのに1週間かかることも珍しくなかったという。専従スタッフを抱えた学部もあったそうだ。それが、Mac の登場によって短時間で済むようになったわけだ。

南カリフォルニア大学 (米国ロサンゼルス) の分子生物学・計算生物学教授の Susan Forsburg も、早くから Mac を使っていた。「図をせっせと手書きしていた時代から、コンピューター処理によるきれいで明瞭な線画とデジタル画像の時代に移ったこと、それは本当に大きな変化でした。このことを今の学生に説明するのは難しいです。まさに革命だった

のですね」。

それからずっと、分子生物学者はアップルの引力圏内に居続けているという。「現在では Windows でもたくさんのグラフィックソフトが使えますが、今でも Mac のほうが優れていると思いますよ。そもそも使いやすさが違うのです。でも、私がずっと Mac を使ってきたから、そう思うのかもしれませんがね」と Forsburg は笑った。

ここまで来ると、Windows 派は歯ざしりするかもしれない。ただ、初期の Mac にいろいろと欠点があったのは、紛れもない事実だ。例えば、1980年代後半に発表された「二次元化学構造の編集用ソフトウェア」に関する包括的総説 (A. C. Norris and A. L. Oakley *Comput. Chem.* 12, 245-251; 1988) では、「Mac 版の ChemDraw は、化学者にとって、当初感じられる以上に使い勝手が悪い」と厳しく指摘されていた。その一例として、「環を描くたびにサイズと向きを指定する必要があるため、縮合環の描画にはうんざりする」と書かれていた。

しかし、こうした欠点があったにせよ、この論文の著者は、新しいトレンドを正しく認識し、「こうした電子化は、論文著者、研究機関、営利企業、出版社に大きな影響を与える可能性が高い」と書いた。確かにそのとおりだった。ジョブズとアップルは、彼らが果たすべき役割以上の贈り物を、我々に遺してくれたと思う。ありがとう、ジョブズ。 ■

(翻訳: 菊川 要)

# 資金配分が少なすぎる脳疾患研究

## Brain burdens

2011年9月8日号 Vol. 477 (132)

このほど発表されたヨーロッパの神経・精神疾患に関する統計は、まさに衝撃的なものだ。この分野にもっと研究資金を振り向けるよう、明らかに現在のやり方を変える必要がある。

病気と闘うための研究予算は、国民が受ける苦しみに比例した形で決めるべきであろう。苦しみの負荷が多ければ多く、少なければ少なく、である。しかし、現実には大きな乖離がある。例えば途上国では、さまざまな病気による国民負担は莫大なのに、そうした病気に取り組む研究リソースは、資金の面でも人の面でもわずかである。

もう1つ、大きな落差が存在していることが、今回わかった。それが人間の脳の神経・精神疾患である。この病気は多大な負担が生じているのに、その解明や治療のための研究資金が非常に少ないのだ。ほとんどの場合、脳疾患（神経疾患と精神疾患の両方）による負担は、心血管疾患やがんのような早過ぎる死としてではなく、患者と介護者への生活負担としてのしかかってくる。そのため、こうした負担を定量化するのが簡単ではないのだ。

このほど、脳科学者と統計学者のグループが、ヨーロッパ30か国における脳疾患の負荷を定量化した結果を発表したが、このような現実を考えれば、こうしたデータは特に貴重だ。今回の研究では、前回の研究結果を踏まえて、評価対象とする疾患数を増やし、文献の解析を行い、国内の専門家の助言を得て、新しい傾向を検証した。その結果、まず、控えめに見積もっても、年間平均およそ1億6500万人（30か国の総人口の38%）が進展期の精神疾患にかかっていることが明らかになった（H. U. Wittchen

*et al. Eur. Neuropsychopharmacol.* 21, 655-679; 2011）。

この統計の衝撃は、有病率だけではない。脳疾患は、国民の健康に対する最大の負荷であり、男性の障害調整生存年（DALY）の23.4%、女性のDALYの30.1%を占めることが示されたのだ。DALYは疾病負荷を測る尺度で、心身障害と早世で失われた損失を人-年で表したものだ。

アルコール使用障害（アルコール依存症）は、男性が女性よりもかなり多く、特に東欧で顕著に見られる。一方、認知症と単極性うつ病の男女比は、いずれもおよそ1対2で女性のほうが多い。この男女差の理由はわかっていないが、女性のうつ病は、特に妊娠可能年齢において発生すると考えられている。研究対象となった30か国での大うつ病の患者数は3000万人で、人間の病気の中で最も負荷が大きいものとなった。

朗報は、アルコール依存症以外の神経・精神疾患の有病率が過去5年間増えていない点だ。一方で、問題点もはっきりしてきた。例えば、精神疾患を持つ人は、2人に1人しか医師の診察を受けていないこと、わずか10%しか「理論上適切な」治療を受けていないこと、それも最初の診察からかなりの時間が経っていることなどが明らかになった。

冒頭で述べた病気と研究資金の関係からいえば、明らかに優先順位を見直すべきである。ヨーロッパにおける脳疾患研究予算は、がん、情報技術、農

業などと比べると、かなり少ない（[go.nature.com/hr2jqp](http://go.nature.com/hr2jqp) 参照）。基礎研究としての神経科学から応用としての心理療法まで、すべての分野で多額の資金を必要としているのが、脳疾患研究の現状なのだ。

ここには、もっと微妙なメッセージも込められている。研究の目標とすべきなのは、今後、高齢者罹患率が増えるのが確実視されるアルツハイマー病のような脳疾患だけではない。若者の脳の健康と病気の研究も必要だということだ。多くの精神疾患は、20歳までに現れたり、進行が始まったりする。こうした活発な神経の発生が続いている健康な青少年の脳の研究は遅れている。青少年期における、治療や予防目的の心理療法、薬剤による介入についても、議論と研究を進める必要がある。

これには倫理的な問題も伴う。例えば、将来的に精神疾患を発症する確率が高いというレッテルを、一部の人々に貼ってしまう危険性がある。また、薬物への過度の依存も怖い。

しかし、解明すべきテーマは、きわめて興味深く、また科学の課題としても高度なものだ。青少年の脳内で、神経回路はどのように発達するのだろうか。環境的要因と先天的要因は、どのように組み合わせられて、その発達を阻害するのだろうか。今回明らかにされた事実は、こうした研究の緊急性と重要性を改めて強調している。

■  
(翻訳：菊川要)



Volume 478  
Number 7367  
2011年10月6日号



### ゲノムの均衡：低体重は肥満と表裏の関係

#### GENOMIC BALANCE: Underweight as the mirror image of obesity

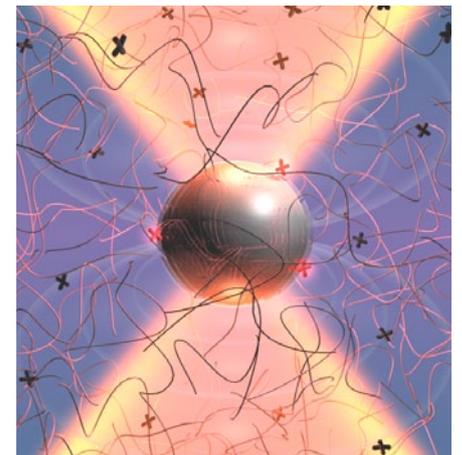
低体重と肥満は、どちらも重大な健康リスクとなる。肥満についてはいくつもの遺伝的変異が関連付けられているが、低体重と遺伝との関係はほとんど知られていない。しかし今回、ヨーロッパと北米にある28の細胞遺伝学センターから集めたデータの大規模スクリーニングによって、低体重には16番染色体の短い領域の重複が関係している場合が多いことが明らかになった。この染色体領域の欠失は、すでに肥満と関連することがわかっていて、今回の発見は、欠失→肥満、重複→低体重というまさに裏表の関係を示すものだ。低体重の人々は、重複領域の遺伝子転写産物レベルが変化していたが、周辺領域の遺伝子への影響は見られなかった。これらのことから考えて、重度の肥満と低体重の原因は鏡像的な関係にあり、おそらくエネルギー収支に及ぼす対照的な影響によるものと考えられる。

入されることによって発症する。神戸大学の戸田達史<sup>とだたつし</sup>たちは、この挿入によって、病的エキソントラッピングとして知られている異常なスプライシング現象が起こり、その結果として *fukutin* の転写産物が切断されることを明らかにしている。異常なスプライシングを妨害するアンチセンス・オリゴヌクレオチドを、筋ジストロフィーのマウスモデルの細胞またはヒトの筋ジストロフィー患者の細胞に投与すると、フクチンの機能が回復する。この結果は、SVAによるエキソントラッピングが生じるほかの疾患にもかかわってくるはずだ。

### 物理：色付きになったブラウン運動

#### Brownian motion — now in colour

ブラウン運動は、粒子と周囲の溶媒分子との高速衝突によって粒子が動く現象である。この熱的な力は不規則なものとされており、白色ガウス雑音スペクトルによって特徴付けられている。粒子の動きは粒子と粘性溶媒との摩擦によって減衰する。ところが、変位した流体は粒子に作用し返すので、流体力学的「記憶」と、色付き雑音スペクトルを持つ熱的な力とが発生する。この色付きスペクトルを直接実験で観測するのは困難とされてきたが、S. Jeney たちは今回、強力な光トラップ中にある微小球のブラウン揺らぎを測定し、色付きスペクトルの明確な証拠を示した。熱的ノイズに関するこうした特徴を生かせば、新種のセンサーや粒子ベースのアクセシビリティを開発できる可能性がある。



ALAIN DOYON & SYLVIA JENEY

### 発生：ヒト卵母細胞は体細胞を多能性状態へ再プログラム化する

#### Human oocytes reprogram somatic cells to a pluripotent state

体細胞核移植は、ドナーの核を持った卵を作製する技術で、これによって体細胞核を再プログラム化し、胚性幹 (ES) 細胞を誘導することは、ヒト以外の哺乳類では確立された実験技術となっている。ヒト細胞ではこれまで不可能だったが、D. Egli たちは今回、ヒト卵母細胞への体細胞ゲノム移植によって、三倍体のヒト多能性幹細胞株の誘導に成功した。従来の手法 (卵母細胞から核を抽出した後、ドナー細胞の核体と融合させる) を使って再構築されたヒト卵母細胞は、例外なく卵割期で発生が停止してしまっていた。しかし、卵母細胞ゲノムを除去せずに体細胞ゲノムを追加することで作製した今回の三倍体細胞は、効率よく胚盤胞期まで発生した。この研究は本来の形の二倍体核移植によるES細胞の作製にまでは至っていないが、そのような核の再プログラム化がヒトでも可能であることを明示している。この結果は、再生医学や生殖医学、発生生物学や幹細胞の多能性研究に関連してくる。また、利他的な卵子提供

に関連する倫理問題としても関心を引くだろう。

### 植物：フロリゲンに対するジャガイモの反応には2種類ある

#### Dual florigen response in potatoes

開花やジャガイモの塊茎形成など、植物の成長過程に見られる季節性は、日長の変化に依存する部分が多い。こうした応答は、シロイヌナズナ、トマトおよびイネでは、長距離作用性のフロリゲンシグナルの主要な構成要素である FLOWERING LOCUS T (FT) という移動性タンパク質が仲介している。今回、ジャガイモ (*Solanum tuberosum*) を用いた研究で、別々の環境的刺激に反応する2種類の FT 様遺伝子である StSP3D および StSP6A によって、花成および塊茎形成が制御されていることが明らかになった。

### 医学：アンチセンスで筋ジストロフィーの原因となる *fukutin* 遺伝子の異常も救済

#### Talking antisense: *fukutin* rescue in muscular dystrophy

福山型筋ジストロフィーは、可動性遺伝因子である SVA レトロトランスポゾンが *fukutin* 遺伝子の非コード領域に挿



Volume 478  
Number 7368  
2011年10月13日号



## 北極の氷が溶けた後で：新しい北極最前線での科学

### AFTER THE ICE: Science at the new Arctic frontier

北極の氷は溶けつつあり、それとともに、これまで想定されてきた北極圏での多くの科学研究計画が、実現不可能となりつつある。今週号の一連の News Feature および Comment では、北極の科学研究の変わりゆく姿を地図で表し、それに加えて、北極の氷の後退が政治や環境にもたらす影響についても論じている。

## 地球：二酸化硫黄と大気への酸素供給

### Sulphur dioxide and atmospheric oxygenation

およそ 25 億年前（始生代末期）に、大気は無酸素状態から酸素を少し含んだ状態へと変化し、これは大酸化事変と呼ばれている。Gaillard たちは、火山性脱ガスのモデルを用いて、大陸地殻形成に先立つ時期がそのきっかけとなった可能性を立証している。彼らは、大陸が出現して海中ではなく地上の火山が増加するにつれて、マグマ性の揮発性物質はより低い圧力で脱ガスし、放出されたガスの酸化が次第に進んだと考えている。H<sub>2</sub>S ではなく SO<sub>2</sub> としての硫黄放出へのこのような移行が、海洋の硫黄の還元を促進し、結果的に地球大気の酸素化が進んだのだろう。

## ナノ材料：自己複製で作る世界

### Nanomaterials: a self-made world

自己複製は生物系では広く見られる現象だが、自分自身をコピーできる人工系はほとんど見られない。しかし、自己複製は、材料作製においては非常に有用な特性であると思われる。今回、材料作製分野での自己複製に向かう第一段階に当たる結果が報告された。Wang たちは、まず、あらかじめプログラムされたとおりに相補タイルを認識して結合できる DNA タイルモチーフを用いて、7つのタイルからなるシード配列

を形成するタイルモチーフを設計した。次に、そのシード配列を用いて、7つのタイルからなる第一世代の相補的娘配列を形成するよう指示した。最後に、その娘配列が、7つのタイルからなる孫娘配列を形成するよう指示した。孫娘配列は、最初のシード配列と同じになる。DNA は無機物質を組織化できるので、この手法を使えば、複雑な材料からなるナノスケール構造体やデバイスをコピーして増やすことができるようになるかもしれない。

## 生理：食べ物に恋の滋養になるならば...

### If food be the food of love...

求愛行動は時間とエネルギーの両面で大きなコストがかかる作業であるから、動物は求愛に入る前にまず、気のある相手を見つけたことを確かめておく必要がある。こうした探索作業は、フェロモンによるコミュニケーションを介して行われることが多い。今回 R. Benton たちは、ショウジョウバエの雄が定型的な求愛行動に入る際には、十分な食物が近くにあることも必要なことを見いだした。研究チームは、最近発見された化学刺激によって開閉するイオンチャネルファミリーに属するイオンチャネル型受容体 84a が、果実由来の芳香族化合物の感知と、定型的な求愛行動を制御するフェロモン感知ニューロン経路のゲート開閉の両方に重要であることを突き

止めた。嗅覚回路とフェロモン回路とのこのようなクロストークは、生殖行動と良好な採餌場所および産卵場所とを結びつける、従来知られていなかった進化的機構である。

## 宇宙：天の川の乱流

### Turbulence in the Milky Way

乱流は、気象学から心臓学までさまざまな分野でよく研究されている現象だが、宇宙物理学での乱流は 15 桁にわたる範囲のスケールで作用し、現行の理論をその限界まで押し広げることになる。星間乱流についてのこれまでの知見は、乱流運動に付随する小規模スケールの構造が画像化できないことで制限されていた。今回、星間ガスの乱流を初めて直接とらえた画像が示された。Gaensler たちは、オーストラリアコンパクト電波干渉計によって銀河面の一画を観測し、その電波連続波画像を用いて、ストークスベクトル (Q,U) の勾配から、希薄なイオン化ガス中の磁化した乱流の画像を得た。乱流はガス密度と磁場の不連続で複雑なフィラメント状網目構造として見られる。イオン化した暖かい媒質中の乱流は、ほぼマッハ 2 という比較的低いマッハ数を有している。

## 医学：キヌレニンによる腫瘍形成促進

### Tumour promotion by kynurenine

インドールアミン-2,3-ジオキシゲナーゼによるトリプトファン分解と、トリプトファン分解産物のキヌレニン (Kyn) は、抗腫瘍免疫応答の抑制に関係すると考えられてきた。M. Platten たちは、トリプトファン-2,3-ジオキシゲナーゼ (TDO) がグリオーマなどのがんで発現して、トリプトファンを Kyn に変換している酵素であることを明らかにしている。Kyn はアリアル炭化水素受容体 (AHR) の内在性リガンドで、グリオーマ細胞に直接作用して腫瘍形成を促進する。がん細胞での TDO の発現は AHR を介する免疫応答も抑制する。ヒトのグリア芽腫では、TDO と AHR に調節される遺伝子群の発現が、がんの進行や予後の悪さと相関している。



Volume 478  
Number 7369  
2011年10月20日号

## その土地のものを食べてやっていく：拡大しつつある世界への持続的な食糧供給を可能にするには

**LIVING OFF THE LAND: Feeding a growing world sustainably**

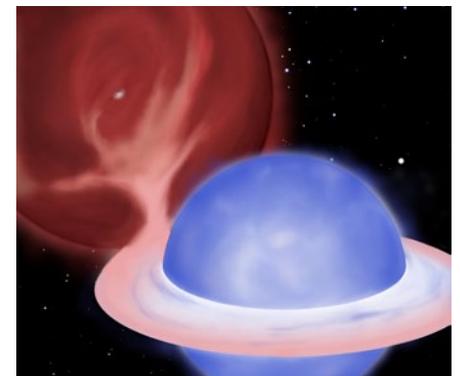
人口増加、所得の上昇、肉・乳製品の消費量増大、バイオ燃料使用の拡大などにより、近い将来、世界の農業と天然資源には過大な要求が課せられることになる。我々は、増大し続ける食糧需要に応えながら、同時に農業が環境に与える害を削減できるのだろうか。今週号の Analysis では、環境および農業の研究者による国際共同研究チームが、この問題に対して「可能だ」という答えを出している。しかし、それは容易なことではない。研究チームは、新しい地理空間的なデータおよびモデルを用い、農業への新たな取り組み方が食糧生産と環境の持続可能性の両方にどのような利益をもたらすかを評価している。そして、環境への影響を減らしながら食糧生産を倍増させる戦略が4つ見つかった。第一は農地の拡大停止である。第二は低収量農地の「収量ギャップ」の縮小、第三は耕作効率の改善である。最後の第四は、我々の食習慣を変えることだ。家畜飼料、バイオエネルギー作物、むだの多い非食用作物の生産を減らし、食用穀物生産を増やすことだ。

性のヒト疾患の治療に使えるようにするには、臨床応用が可能で、効率も効能も高く、標的ゲノムに余分な塩基配列を残さない病因変異修復法の開発が必要となるだろう。ウェルカムトラスト・サンガー研究所（英国）の遊佐宏介<sup>ゆさこうすけ</sup>たちは今回、患者特異的 iPS 細胞に存在する1個の病因変異を遺伝学的に完全に修復できることを実証する原理実験について報告している。彼らはジंकフィンガーヌクレアーゼと piggyBac 技術を用いて、 $\alpha_1$  アンチトリプシン欠損症の原因となる  $\alpha_1$  アンチトリプシン遺伝子の点変異を修復した。変異が修復された iPS 細胞は効率よく分化して肝細胞様細胞を形成し、肝臓損傷動物モデルに腫瘍を形成することなく生着できた。

## 宇宙：連星をなす青色はぐれ星

**Companions sustained blue stragglers**

青色はぐれ星は、星団中で同時期に形成されたと考えられるほかの星よりも明るく青い主系列星であり、星の進化に関する標準的な理論に疑問を投げかけている。これらは、理論的にはすでに巨星や星の残骸にまで進化しているはずのものだ。こうしたはぐれ星の説明としては、星どうしの衝突、伴星からの質量移動や連星の合体などが考えられている。A. Geller と R. Mathieu は、10年以上にわたる正確な観測と数値シミュレーションを組み合わせて、年老いた散開星団 NGC 188 中の青色はぐれ星の多くが形成している連星は、質量移動に起源を持つという考え方と一致し、提案されているほかの形成経路による予想とは両立しないことを示した。



AARON M. GELLER

## 脳：関節の動きはフィードバック経路で追跡される

**Joint movement tracked by a feedback pathway**

おし  
肢に複数の関節を持つ動物では、動きの複雑な組み合わせによって生じる感覚入力を、神経系はどうやって正しく解釈して応答するのだろうか。例えば、見かけは単純な1回の肩の移動でも、それが生じるために肩と肘に働く力の組み合わせの数は、ほぼ無限大になってしまう。Pruszynski たちは、サルでの神経生理学記録とヒトでの刺激実験を用いて、肢の機械的動きの情報が、大脳皮質の一次運動野 (M1) を含むフィードバック経路によって解かれており、過去四半世紀にわたって主流となっていた説、つまり運動変数のフィードフォワード情報処理によって解かれるのではないことを示している。この結果は、ヒト型ロボットや脳マシンインターフェースの設計に影響を与えると同時に、脳卒中などによる運動機能障害のある患者の状態理解や治療にも関係してくる。

## 植物：トウモロコシ黒穂病を引き起こすクロボキンが宿主を「懐柔する」仕組み

**How maize smut fungus softens-up its host**

トウモロコシの黒穂病の原因菌である *Ustilago maydis* は、植物組織内へエフェクターを送り込み、その働きによって植物に腫瘍を発生させる。そのようなエフェクターの1つが、コリスミ酸ムターゼの Cmu1 であることが明らかになった。この酵素は、宿主植物細胞に取り込まれると細胞のサリチル酸濃度を低下させ、感染がうまく進むように細胞を下げしらす。Cmu1 を不活性化すると菌の毒性が消失するので、この酵素は黒穂病阻止のための新たな標的として関心を集めそうだ。多くの植物病原体が分泌型コリスミ酸ムターゼをコードしており、これは広く使われている感染機構であると考えられる。

## 医学：iPS 細胞の遺伝子を修復

**Fixing the genes in iPS cells**

ヒトの人工多能性幹 (iPS) 細胞を遺伝



Volume 478  
Number 7370  
2011年10月27日号



## 黒死病菌のゲノム：再構築された14世紀のDNAは現代の病原菌と非常に近かった

**BLACK DEATH GENOME: Reconstruction from fourteenth-century DNA is close match to modern pathogen**

14世紀ヨーロッパで大流行した黒死病（腺ペスト）の原因となったペスト菌（*Yersinia pestis*）のゲノムが、最新のDNA回収技術と塩基配列解析技術を使って再構築された。1348年と1349年、ロンドンのイーストスミスフィールドで、2000人を超す黒死病犠牲者が埋葬された。この王立造幣局跡の大規模墓地から発掘された4名の遺骨から抽出されたすべてのDNAをつなぎ合わせたものが、今回のペスト菌ゲノムである。ゲノムの概要塩基配列は、現在のペスト菌株と比べて大きな違いは見られず、なぜ黒死病の致死率が非常に高かったのか、まだ答えは得られていない。表紙は王立造幣局跡での1987年の発掘作業の様子。

## 脳：ヒトの脳での遺伝子発現



### Gene expression in the human brain

脳では、発生、発達、可塑性から継続的な神経発生に至るまで、すべてが遺伝子発現によって制御され指示されている。しかし、脳の遺伝子の転写が一生を通じて時間的にどう変化していくかについては、ほとんどわかっていない。今週号では2つの研究グループが、出生前から80歳を超える、さまざまなヒト脳標本から作成した大規模な遺伝子発現データベースについて報告している。Colantuoniたちは、前頭前皮質に焦点を当て、発生・発達の全体を通じて、重要な動的発現パターンが見られることを明らかにした。また、異なる人種間では多数の遺伝的多型が見られるものの、少なくとも前頭前皮質における転写に関しては、それらをを超えて、一貫性を持った基本的な分子機構があることを見いだした。一方、Kangたちは、エキソレベルのトランスクリプトーム（全一次転写産物）および関連付けされた遺伝子型解析データを取得して、より包括的な経時変化を明らかにしている。彼らは16の異なる脳領域での遺伝子発現を調べ、最大の時空間的な変動が出生前に起こること、また歳をとるにつれて脳領域のトランスクリプトームの変動が収束していくことを明らかにした。

## 気候：2011年春における北極のオゾンホール

### An Arctic ozone hole in spring 2011

1980年代に発見されて以来、南極のオゾンホール、すなわち成層圏下部のオゾンのほぼ完全な消失は、毎年発生している。北半球においても同様の現象が起こる可能性が指摘されてきたが、これまでのところ、北極のオゾン濃度はかなり変動するにもかかわらず、南極ほど極端な事態には至らなかった。少なくとも今年までは。しかし、2011年の晩冬から早春にかけて行われた観測から、北半球上空でこれまで観測された変化幅をはるかに超え、南極のオゾンホールに匹敵するオゾン消失現象が明らかになった。このオゾンホールが形成されたのは、寒冷な時期が異例に長く、オゾンを破壊する塩素の濃度が高かったためだ。この影響は劇的だったが、北極オゾンホールが将来現れるのかどうか、予測するのは簡単ではない。

## 宇宙：古典新星に起因する同位体混合

### The isotope mix from classic supernovae

宇宙の化学組成分布は、星が爆発する際の元素合成で生じた物質におおむね依存する。古典新星は、同位体 $^{15}\text{N}$ 、 $^{17}\text{O}$ 、 $^{13}\text{C}$ の銀河系における主な供給源

と考えられているが、古典新星が放出する物質にはこれらの核種が不均一に分布しており、その原因は40年以上も謎のままである。今回、新星が爆発する際にコア-外層境界で生じる混合についての三次元シミュレーションが行われ、流体力学的不安定性が、コア物質によって外層が自己濃縮する主な機構であることが確認された。このシミュレーションでは、観測と矛盾しない化学組成不均一性が自然に再現される。

## 宇宙：忘れられた冥王星の双子天体

### Pluto's twin is out in the cold

4つの太陽系外縁天体、エリス、ハウメア、マケマケ、冥王星が、現在準惑星として認められている。これらのうち、惑星から「降格された」冥王星は長年研究され、大気が検出されている。ほかの天体は太陽から非常に遠いため、観測が難しい。しかし、2010年11月6日に起きた星食によって、エリスをより詳細に観測する機会が得られた。得られたデータは、大きさの観点からエリスが冥王星の「双子天体」であることを示しており、過去の研究は、エリスと冥王星の表面組成が似ていることを示している。しかし、エリスには検出可能な大気がなく、その表面は明るい。これは、極端に寒冷な環境中での大気崩壊の結果なのかもしれない。

## ||||||| 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見ることができます。(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)

一昔前の映画で、琥珀に閉じ込められた蚊から恐竜の DNA を抽出して恐竜のクローンを作るといったものがありました。これが可能かどうかは別として、琥珀には太古の虫や植物、小動物さえも閉じ込められており、当時の世界を垣間見ることができます。今回は、琥珀内部に含まれた羽毛が主役です。この琥珀ができた頃には、鳥類も羽毛恐竜も存在していました。持ち主は、果たしてどちらだったのでしょうか？



琥珀の中に保存された羽毛の持ち主は、恐竜なのだろうか。

## nature news

語数：580 words 分野：古生物学・進化学

Published online 15 September 2011 | Nature | doi:10.1038/news.2011.539

http://www.nature.com/news/2011/110915/full/news.2011.539.html

# Amber inclusions showcase prehistoric feathers

Fossils could help to reveal how dino feathers first evolved.

Brian Switek

1. A **painstaking** search through thousands of chunks of amber has **unearthed** 11 prehistoric feathers. They **promise** an **unprecedented** look at the history of these **peculiar** structures in both birds and **non-avian dinosaurs**.
2. The amber samples are between 70 and 85 million years old, and come from a site called Grassy Lake in western Canada that **was** once **home** to a **conifer forest**. The site is well known for the wide range of insects found preserved in its amber.
3. Palaeontologist Ryan McKellar and his colleagues at the University of Alberta in Edmonton **were keen** to find out whether any feathers had been preserved, so they **sifted through** more than 4,000 of the amber inclusions held in museum collections. Once feathers were found, the samples were mounted on slides and polished, before being analysed using microscopy. The team reports the 11 feathers identified, as well their range of structures, today in *Science*<sup>1</sup>.
7. The more complex specimens include asymmetrical feathers made up of **interlocking** elements, and highly specialized feathers similar to those used by modern **sandgrouses** and **grebes** to absorb water. McKellar says that these feathers probably came from birds. However, the group also found simple, wispy feathers similar to those that have been found on non-avian dinosaurs such as *Sinosauropteryx* and *Sinornithosaurus*.
8. Thomas Holtz Jr, a palaeontologist at the University of Maryland in College Park, agrees that the find adds a new dimension to our understanding of prehistoric **plumage**. "These are the closest we have to **pristine** non-avian feathers in the fossil record," he says, adding that they may prove useful for future studies of the structure and composition of dinosaur feathers. They may even contain signs of prehistoric **parasites** and **fungi**, Holtz suggests, "giving us a better look at the **biota** that bothered the dinosaurs".

## From fuzz to feather

4. During the past 15 years, researchers have unearthed the remains of numerous dinosaurs **sporting remnants** of fossilized feathers. Feathers' evolutionary origin remains **murky**, but palaeontologists propose that they started off as simple, flexible filaments similar to those in the coat of 'dino fuzz' that covered the small predatory dinosaur *Sinosauropteryx*. From there, feathers adapted to become complex branching structures, eventually **culminating in** the **asymmetrical** flight feathers of the early bird *Archaeopteryx* and its living relatives.
5. The collection of amber-preserved feathers provides palaeontologists with the most **diverse** and best preserved set of samples yet, says McKellar. Fossilized feathers are normally flattened and **carbonized**, but the amber-preserved specimens **retain** their three-dimensional shape, along with minute structural details.
6. Because the amber-encased feathers are not associated with body fossils, the researchers cannot be sure whether they come from birds or from non-avian dinosaurs. Both were present in prehistoric Canada 70-85 million years ago. But the authors do make some guesses.
9. The microscopy also revealed how dark or light the feathers were. McKellar says that the more complex feathers display a range of shades similar to that of modern birds, whereas the simpler protofeathers were mostly dark colours.
10. Last year, palaeontologists reconstructed the partial colouring of *Sinosauropteryx*<sup>2</sup> and the full plumage **palette** of *Anchiornis*<sup>3</sup> by analysing the shape, size and density of microscopic structures called **melanosomes** present inside their fossilized feathers. In the Grassy Lake feathers, such details are locked behind their amber coating.
11. The specimens are too rare to be broken open but Julia Clarke, an expert in fossil feathers at the University of Texas at Austin, suggests that it might in future be possible to study their melanosomes non-destructively using **high-resolution X-ray imaging**.

## Reference

1. McKellar, R. C., Chatterton, B. D. E., Wolfe, A. P. & Currie, P. J. *Science* **333**, 1619-1622 (2011).
2. Zhang, F. *et al. Nature* **463**, 1075-1078 (2010).
3. Li, Q. *et al. Science* **327**, 1369-1372 (2010).

## TOPICS

## 羽毛恐竜

羽毛恐竜は、非鳥類型恐竜（下記参照）の中で羽毛を持つもので、多くは、獣脚類に属している。獣脚類は、ティラノサウルスのように、一般に、二足歩行の肉食で、前肢には曲がった鋭い爪がある。現生鳥類は、解剖学的に獣脚類から進化したと考えられている。

中国では多くの羽毛恐竜が見つかっており、なかには羽毛の保存状態が非常によいものもある。そうした化石から、羽毛やメラノソームの解析が行われ、シノサウロプリテクスやアンキオルニスの体色が推定されている。

2009年、獣脚類の属する竜盤類とは系統の違う鳥盤類の恐竜ティアニュロングが、

シノサウロプリテクスによく似た、枝分かれしていない繊維状構造の外皮を持っていたことがわかり、羽毛の起源はさらにさかのぼることになった。（2002年に鳥盤類のプシタコサウルスからも尾部だけに同様の構造が見つかった。）

いずれにしても、初期の羽毛は飛行には適さず、保温や競争相手へのディスプレイが目的だったと考えられている。今回見つかった琥珀内部の羽毛は、繊維状から現生鳥類のものに近い形状まで、さまざまな種類が立体的に保存されており、羽毛の進化の研究にとって貴重である。



メラノソームの解析から体色が再現されたシノサウロプリテクス。

CB2/ZOB/WENN.COM/NEWS.COM

## SCIENCE KEY WORDS

タイトル **amber**: 琥珀

樹脂が地中に埋まって化石化したもの。内部には、樹脂が固まった当時の昆虫や小動物、植物のほか、ガスなどが封じ込められていることが多く、太古の生態や環境を知ることができるとなる。

リード **dino**: =dinosaur 恐竜

1. **non-avian dinosaur**: 非鳥類型恐竜

恐竜のうち、鳥類でないもの。

2. **conifer forest**: 針葉樹林

針葉樹とは、一般に、針状の葉を持つ常緑の裸子植物。温帯北部から冷帯、あるいは亜高山帯に分布。

4. **Sinosauropteryx**: シノサウロプリテクス

白亜紀前期に生息した、針状の羽毛を持つ体長約1mの羽毛恐竜。メラノソーム（下記参照）の解析により、体は赤褐色、尾は栗色と赤褐色の縞模様であることがわかった。

4. **asymmetrical**: 非対称の

4. **Archaeopteryx**: 始祖鳥

ジュラ紀後期に出現した原始的な鳥類。カラス大で、骨のある長い尾と鋭い歯のある顎を持つ。現生鳥類の直接の祖先ではなく、恐竜から鳥類への進化の過程で分岐したものと考えられている。最近、中国で、解剖学的に始祖鳥によく似た羽毛獣脚類の化石が発掘され、始祖鳥を鳥類とすることに疑問を投げかけている。

5. **carbonize**: 炭化する

有機化合物が、低酸素状態での加熱や、脱水反応、微生物による分解などで、大部分を炭素が占めるようになること。

7. **sandgrouse**: サケイ

体長約38cmの淡褐色の鳥。中国北部から、モンゴル、カス

ピ海東岸までの内陸部に生息。

7. **grebe**: カイツブリ

体長25～29cmの鳥。黒褐色で、喉が夏は赤褐色、冬は黄褐色。ユーラシア大陸の中緯度以南、サハラ砂漠を除くアフリカ大陸、日本、インドネシア、フィリピンなどに生息。

7. **Sinornithosaurus**: シノルニトサウルス

白亜紀前期に生息していた小型羽毛恐竜で、前肢には羽がある。分類学的にはヴェロキラプトルに近いが、始祖鳥などの原始鳥類と共通した特徴を持つ。毒牙を持っていたという説もある。

8. **parasite**: 寄生生物

寄生は共生の一種で、一方のみが利益を得てもう一方は害を被る場合を言う。

8. **fungi**: fungus (真菌、菌類) の複数形

キノコ、カビ、酵母の仲間のこと。核やミトコンドリア、小胞体などの細胞小器官や細胞壁を持つ。

8. **biota**: 生物相

特定の環境、区域に生息する生物の全種類。

10. **Anchiornis**: アンキオルニス

ジュラ紀後期に生息していた小型の羽毛恐竜。メラノソームから、体は灰色または黒色の羽で全身を覆われ、翼に似た前肢と後肢には白い部分があり、顔には赤褐色の斑点、頭部には赤褐色の冠羽があったと考えられる。羽は、飛ぶための構造にかなり近いが、左右対称（現生鳥類は非対称）であり、空を飛ぶことはできなかったと思われる。

10. **melanosome**: メラノソーム

メラニン細胞などの色素細胞に存在する、メラニンを含む小胞。

11. **high-resolution X-ray imaging**: 高解像度 X 線イメージング

## WORDS AND PHRASES

1. **painstaking**: 「念入りな」、「入念な」

1. **unearth**: 「発見する」、「発掘する」

1. **promise**: 「期待させる」、「見込みがある」

1. **unprecedented**: 「今までなかった」

1. **peculiar**: 「特異な」

2. **be home to ~**: 「<場所>には~がある」

3. **be keen to**: 「~することを熱心に望む」

3. **sift through**: 「~を入念に調べる」

4. **sporting**: 「~を身に着ける」

4. **remnant**: 「遺物」、「残骸」

4. **murky**: 「はっきりしない」

4. **culminate in ~**: 「ついに~となる」

5. **diverse**: 「多様な」、「多様性のある」

5. **retain**: 「保持する」、「保つ」

7. **interlocking**: 「かみ合った」、「からみ合った」

8. **plumage**: 「羽衣」、「羽毛」

8. **pristine**: 「原始の」

10. **palette**: 「色の範囲」

## 参考訳

琥珀に封じ込められた  
原始的な羽毛

琥珀化石から、恐竜の羽毛の進化過程を解明する手がかりが得られるかもしれない。

ブライアン・スワイテク



メラノソームの解析から体色が再現された、アンキオルニス。

- 数千点の琥珀を念入りに調べた結果、原始的な羽毛が11点見つかった。これにより、鳥類と非鳥類型恐竜が持つ羽毛という特異な構造の歴史について、今までなかった角度から研究できるようにになると期待される。
  - この琥珀試料は7000万～8500万年前のもので、その採掘地であるカナダ西部のグラッシーレイクは、かつては針葉樹林があったところである。この採掘地は、さまざまな昆虫が琥珀の中に保存された状態で発見されることでよく知られている。
  - アルバータ大学（カナダ・エドモントン）の古生物学者 Ryan McKellar の研究チームは、琥珀の中に保存された羽毛があるかどうかを知りたいと、博物館に収蔵されている4000点以上の琥珀内包物を入念に調べた。羽毛が見つかったら、琥珀試料をスライドガラスに載せ、研磨したうえで顕微鏡で分析した。研究チームは、11点の羽毛と、そのさまざまな構造が同定されたことを、本日発行の *Science*<sup>1</sup> で報告している。
- #### 羽毛の進化
- 過去15年間、研究者チームは、化石化した羽毛の残骸のついた恐竜の遺骸化石を数多く発掘してきた。羽毛の進化的起源はまだ解明されていないが、古生物学者たちは、小型の捕食性恐竜シノサウロプテリクスの体を覆っていた「dino fuzz（ダイノファズ）」に似た、柔軟な繊維状構造から始まったのではないかと提案している。その後、羽毛は複雑な分岐構造をとるようになり、最終的には、原始鳥類の始祖鳥やその近縁の現存種が持つ非対称な風切羽となったのだ。
  - McKellar によると、この琥珀の中に保存された羽毛のコレクションは、古生物学者がこれまでに手にした試料の中で、最も多様で、最も保存状態のよいものであるという。化石化した羽毛は、通常、平たくなり、炭化しているが、琥珀に保存された試料は、三次元形状を保ち、微細な構造も残っている。
  - 琥珀に封じ込められた羽毛は、体の化石とともに発見された訳ではないので、この羽毛が鳥類に由来するものなのか、非鳥類型恐竜に由来するものなのかを断定することはできない。7000万～8500万年前のカナダには、鳥類も非鳥類型恐竜もいたからだ。それでも McKellar たちは、羽毛の持ち主について推定を試みた。
  - より複雑な試料には、互いにかみ合った構成要素からなる非対称な羽毛や、現代のサケイやカイツブリが水を吸収させるために用いる羽毛に似た、高度に特殊化した羽毛が含まれていた。McKellar は、これらはおそらく鳥類に由来する羽毛だろうと言う。だが一方で研究チームは、シノサウロプテリクスやシノルニトサウルスなどの非鳥類型恐竜の羽毛に似た、単純な繊維状の羽毛も発見していた。
  - メリーランド大学カレッジパーク校（米国）の古生物学者 Thomas Holtz Jr. は、McKellar らと同じく、今回の発見が原始的な羽毛の研究に新たな展開をもたらすだろうと考えている。彼は、「これらの試料は、非鳥類型恐竜の羽毛の本来の状態に最も近い化石記録であるといえます」として、恐竜の羽毛の構造と組成に関する今後の研究にも役立つかもしれないと期待している。彼はまた、今回発見された羽毛には当時の寄生生物や菌類の痕跡も含まれているかもしれないと考えており、「恐竜を悩ませた生物相に関する研究も進むかもしれません」と言う。
- #### 羽毛の色
- 今回の顕微鏡観察では羽毛の色の濃淡も明らかになった。McKellar によると、より複雑な羽毛が、どれも現生鳥類の羽毛に似た色をしていたのに対し、より単純な原羽毛は、ほとんどが黒っぽい色をしていたという。
  - 古生物学者たちは2010年に、化石化した羽毛の内部にあるメラノソームという微細構造の形状、大きさ、密度を分析することにより、シノサウロプテリクスの体の一部の羽毛の色を再現し<sup>2</sup>、アンキオルニスの羽衣のすべての色を再現した<sup>3</sup>。グラッシーレイクの羽毛については、そうした詳細は琥珀の中に封印されている。
  - 羽毛を内包する琥珀試料は非常にまれなので、これを壊して中身を取り出す訳にはいかない。しかし、羽毛化石の専門家であるテキサス大学オースチン校（米国）の Julia Clarke は、将来的には、高解像度 X 線イメージングを用いて非破壊的にメラノソームを研究できるようになるかもしれないと言っている。

（翻訳：菊川 要）

定期購読を  
始めたいな!



Fujisan.co.jp

雑誌のオンライン書店

当社サイト、Fujisanなら  
バックナンバーの購入、  
定期購読も可能です。

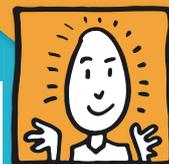
帰りに  
買いたい!



全国の書店・生協

全国の書店、生協で  
扱っています。

いつも  
利用している  
Amazonで!



amazon.co.jp

Amazonで最新号の予約購読も  
可能です。

\*詳しくは、www.naturejpn.com/bookstores をご覧ください。 AmazonおよびAmazonのロゴは、Amazon.com, Inc. またはその関連会社の商標です。

弊社のサイトからのお申し込みはこちらから

[www.naturejpn.com/nd-sub](http://www.naturejpn.com/nd-sub)

npg nature asia-pacific

EDITOR'S NOTE

今年のノーベル賞、日本の研究者が共同授賞してもよさそうなのにと考えた方、結構いるのでは？ 医学生理学賞は樹状細胞の発見者と Toll 様受容体 (TLR) の発見者に授与となりましたが、TLR とくれば阪大の審良静男先生を外せないと思うのは私だけではないでしょう。また、化学賞は準結晶の発見者が授賞しましたが、今号の掲載記事からもわかるように、東北大の蔡安邦先生も値すると思います。ノーベル賞の授賞は、研究が評価されたということなのですが、皆さんもご承知のように授賞しなくても素晴らしい研究はたくさんありますよね。ただ、授賞すると、特に日本では世間の評価が一気に上がります。たかがノーベル賞、されどノーベル賞 (ふる)。

\*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

©2011 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific.  
All rights reserved. 掲載記事の無断転載を禁じます。

広告のお問い合わせ  
Tel. 03-3267-8765 (広告部)  
Email : advertising@natureasia.com

編集発行人: David Swinbanks  
副発行人: 中村康一  
編集: 田中明美  
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。

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。

