

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  
2011

## サイバー戦争が始まった

太平洋海底のレアアース

悩める都会人

量子コンピューター販売

イヌ実験を減らそう

沖縄科学技術大学院大学  
本格始動へ

ロックアウトマウス  
ライブラリー完成へ

無料公開論文の広がり

NASAがヒ素微生物の  
サンプル提供

ウイスコンシン大で  
内部告発者が失職

伊ラクイラ地震で  
研究者が告訴される

定価 680円

# 京都大学 iPS 細胞研究所 教授または准教授、 研究員 募集



この度京都大学 iPS 細胞研究所 (CiRA) では、  
以下の 2 職種を募集します。

\* CiRA 採用情報:

<http://www.cira.kyoto-u.ac.jp/j/employment.html>

## 募集① 教授または准教授

職名・人数: 教授または准教授 (CiRA 規制科学部門) 1 名

**業務内容** および **研究内容:**

- ・iPS 細胞技術の医療応用に向けた前臨床・臨床研究データ、ゲノム情報などの大規模電子データの管理・処理システム構築、データベース構築・運用に関わる研究開発
- ・細胞調整施設 FIT (Facility for iPS cell Therapy) を含む CiRA 内全体の情報環境整備や管理体制構築の統括

**応募資格:** 平成 23 年 7 月現在、博士号を取得している者  
\*機関において大型計算機を運用しながらの情報処理やデータベース構築、ネットワーク構築、管理などの経験があること。

**採用予定時期:** 平成 23 年 12 月以降 (応相談)

**給与・待遇:** 本学の規程に基づき支給  
\*京都大学規程による教授・准教授職となります。

## 募集② 研究員

職名・人数: 特定研究員 (CiRA 山中研究室) 1 名

**業務内容** および **研究内容:**

ヒト多能性幹細胞を用いた生殖細胞分化誘導系の構築

1. 生殖細胞特異的レポーターラインを用いた分化誘導至適条件の探索および低分子化合物ライブラリーを用いたハイスループットスクリーニング。
2. 単一細胞における発現解析をベースとした多能性幹細胞由来生殖細胞の性質解明。
3. その他、新規アイデアに基づいた生殖細胞分化および培養系の確立。

**応募資格:** 平成 23 年 7 月現在、博士号を取得している者

**採用予定時期:** 平成 23 年 12 月以降 (応相談)

**給与・待遇:** 本学の規程に基づき支給、年俸制・裁量労働制

**応募締め切り:** 平成 23 年 9 月 30 日 (金) (必着)  
\*提出書類など、詳細はホームページをご覧ください。  
<http://www.cira.kyoto-u.ac.jp/j/employment.html>

**連絡先・書類提出先:** 京都大学 iPS 細胞研究所 所長室 研究推進グループ  
黒川 紘美  
〒606-8507 京都市左京区聖護院川原町 53  
E-mail: [collaboration@cira.kyoto-u.ac.jp](mailto:collaboration@cira.kyoto-u.ac.jp)

皆様のご応募をお待ちしております。

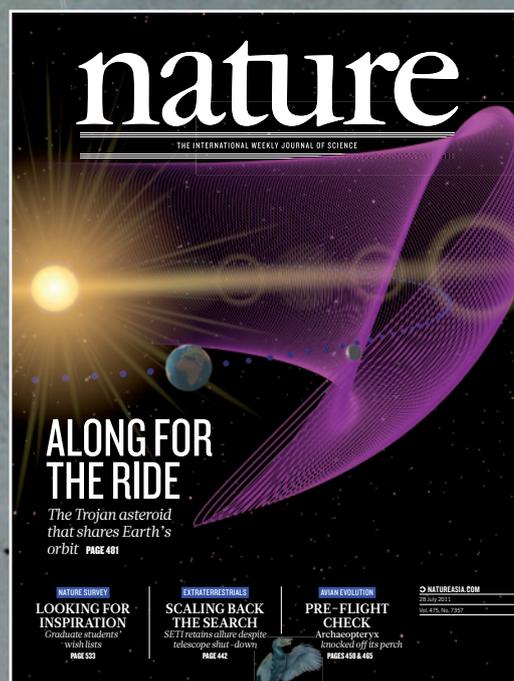
nature LATEST IMPACT FACTOR

36.101\*

The No.1 weekly science journal

インパクトファクター記念

36% OFF!



1 年購読

2 年購読以上

36,000 円 36% OFF

購読キャンペーンお申し込み

2011 年 8 月 31 日まで

[www.naturejpn.com/IF-2011](http://www.naturejpn.com/IF-2011)



nature asia-pacific



## 本当のサイバー戦争が始まった 10

COVER IMAGE: 月本佳代美

イランのウラン濃縮施設へのウイルス侵入は、制御ソフトを標的にして機器を制御不能に陥らせる、真のサイバー攻撃の始まりだ。

### NATURE NEWS

- 03 海王星の1日は  
15時間57分59秒
- 05 地震予知に失敗した  
地震学者を起訴
- 06 「ヒ素微生物」の実験をしませんか
- 07 量子コンピューターに、  
最初の買い手が見ついた
- 09 日本の医療システムに革新を
- 15 SEVEN DAYS | 詳細な3D宇宙地図が完成
- 16 内部告発をして失職した若手研究者
- 19 イヌの動物実験を減らせ
- 21 広がるオープンアクセス出版

### NEWS & VIEWS

- 26 二原子分子からの  
放出電子が干渉する

### JAPANESE AUTHOR

- 22 放射線被ばくによる生体への影響と  
治療法の研究を進める  
— 石原 弘

### EDITORIAL

- 28 生物学者ゲールドの偽善
- 29 沖縄科学技術大学院大学の船出

### HIGHLIGHTS

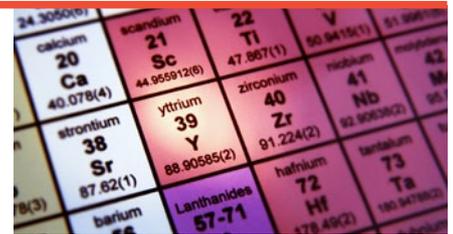
- 30 2011年7/7～7/28号

### 英語で Nature

- 34 インドをアジアに  
急接近させたマントルプルーム

## 02 海底にはお宝が ザックザック

太平洋海底の泥には、レアアースが大量に眠っている。



ALAN SPENCER PHOTOGRAPHY/ALAMY

## 04 いざ、沖縄へ!

設立には、懐疑的な見方も多かった沖縄科学技術大学院大学。今秋の本格始動へ向けて、世界各国から優秀な研究者が集まりつつある。



撮影 東出清彦

## 18 ノックアウトマウスの ライブラリー完成まで あと一息

いよいよプロジェクトが、最終局面へ。



DECO IMAGES II/ALAMY

## 24 都市生活が 精神疾患を誘発する?

ストレス下での都市生活が脳機能に及ぼす影響について、最新イメージング技術で初めて解析された。



ISTOCKPHOTO

# 海底にはお宝がザックザック

## Sea holds treasure trove of rare-earth elements

NICOLA JONES 2011年7月3日 オンライン掲載  
www.nature.com/news/2011/110703/full/news.2011.393.html

太平洋海底の泥は、現代技術に欠かせないレアアースを大量に含んでいる。

ランタンやネオジウムなどのレアアース（希土類）は、パソコンから洗濯機まであらゆる現代機器に重要な資源である。需要は増加の一途をたどっており、1980年代の3万tから、2010年には約12万tまで拡大した。これは、年間生産量の約11万2000tを上回っている。名前に「レア（希少な）」という言葉が入っているが、レアアースは地質学的に希少な元素ではない。ところが、世界生産の約97%を占める中国が、近年、輸出を厳しく制限し、価格の高騰と各国の備蓄の減少を招いている。このため現在、米国、カナダ、オーストラリアなど、世界中で新しい鉱床の開発が進んでいる。

そんななか今回、東京大学地球システム工学専攻の加藤泰浩らの研究チームが太平洋の海底資源を調査し、海底の泥に含まれるレアアースの濃度が高い「ホットスポット」のリストを*Nature Geoscience*に発表した<sup>1</sup>。彼らの見積もりによると、含有量が最も高い地点周辺1km<sup>2</sup>の泥には、現在の世界の年間需要の20%に当たるレアアースが含まれているという。これは、陸上の小規模な鉱床の産出量に相当する。だが、海底に堆積している資源の大規模な採取は、多額の費用を要するだけでなく、海底の生態系に悪影響を及ぼすおそれもある。

### 海底に眠る宝

海に大量のレアアースが存在している可能性は、ずっと前から知られていた。海底の熱水噴出孔からは熱水に溶けたレアアースが吹き出し、それはやがてほかの

元素とともに海底で集積してジャガイモ大のマンガン団塊になる。こうした元素は海底の泥にも堆積するが、これまで、泥に含まれるレアアースの量の測定は、少数の地点でしか行われていなかった。

研究チームは今回、海底の泥に含まれるレアアース量を広い範囲で評価した。太平洋全域の78の地点から採取した2000の海底堆積物試料を調べ、南東太平洋の泥には0.2%、ハワイ付近では0.1%のレアアースが含まれることを明らかにした。研究チームによれば、これは、現在中国で操業中のある粘土鉱床の含有量と同じか、それ以上なのだという。一部の海底堆積物の厚みは70m以上あり、研究チームは、ハワイ付近のホットスポットの周囲には1km<sup>2</sup>当たり2万5000tのレアアースが含まれると見積もっている。

さらに、海底全体の合計は、陸上の推定埋蔵量1億1000万tよりずっと多いと考えられるという。そのうえ、海底堆積物は特に重いレアアース（重レアアース）も豊富に含んでいる。重レアアースは、より希少で高価な金属である。

### 採算は取れるか？

加藤は、レアアース資源泥に商業的な採算性があるかどうかはわからないという。

Technology Metals Research社（米国イリノイ州カーペンターズビル）というコンサルタント会社の設立者で産業アナリストのGareth Hatchは、「昔から、小惑星や月の鉱物を採掘するという話があります。それに比べれば海底の泥を採

取することは容易でしょうが、似たようなものです」と言う。また、現在採掘されている陸上の鉱床や、将来の採掘が予定されている鉱床のレアアースの含有量は3～10%であると指摘する。確かに、前出の中国の粘土鉱床の含有量はこれよりずっと低いが、資源が固い岩の中ではなく粘土の中にあるので容易に採掘でき、採算が取れているのだ。深さ4000～5000mの海底の泥からレアアースを採取するには、船の使用時間を考えても必要設備を考えても高額になるため、採算が合うとは考えにくい。

ハワイ大学マノア校（米国）の海洋学者Craig Smithによると、現在、複数の企業が、海底のマンガン団塊を採取して、銅やニッケル、レアアースなど、商業的に価値のある資源を抽出する方法を模索しているという。彼によると、マンガン団塊の商業的な採取が始まるのは「おそらく10年先」であるという。海底の泥は、今後、価値を増していく元素の供給源の1つになるかもしれない。

一方でSmithらは、深海の泥の採取が、環境、特に熱水噴出孔の周囲に及ぼす影響を心配している。熱水噴出孔の周囲には、ほかの場所にはいない、珍しいチューブワームや二枚貝などが生息しているからだ。加藤は、海底の泥から金属を採取しても熱水噴出孔に影響を及ぼすことはないという。今回見つかったホットスポットのうち、レアアースの含有量が最も高いものは、熱水噴出孔がある場所から数千kmも離れており、それよりも近いところでは、ほかの堆積物のせいでレアアースの濃度は低いからだ。けれどもSmithは、熱水噴出孔から離れた場所でも海底生物に影響を与えるおそれがあると指摘する。海底の生態系の再生には非常に長い年月がかかるため、ダメージを受けた場合、回復するまでに数十年から数百年という長い歳月を要するというのだ。

（翻訳：三枝小夜子、要約：編集部）

1. Kato, Y., et al. *Nature Geosci.* 4, 535-539 (2011).

# 海王星の1日は15時間57分59秒

## Neptune begins to give up its secrets

RICHARD A. LOVETT 2011年7月7日 オンライン掲載  
www.nature.com/news/2011/110707/full/news.2011.403.html

太陽系の最も外側を回る謎多き惑星、海王星の自転周期が正確にわかった。

7月中旬、海王星は、1846年の発見以来、初めて太陽の周りを一周した。

太陽系の一番外側にある青い惑星、海王星。地球の隣人たちの中で最も謎に包まれた惑星の1つである。これまで、海王星の1日の長さは約16時間6分とされていた。しかし今回、アリゾナ大学月惑星研究所（米国トゥーソン）のErich Karkoschkaは、15時間57分59秒とはじき出した<sup>1</sup>。

火星や水星など、岩でできた天体の自転速度の決定は簡単だ。画像で表面を観察し、特徴的な地形の動きを追跡すればよいのだ。しかし、海王星は厚い雲に覆われていて、地表面は見えない。外側から見える唯一の特徴は大気中の嵐だ。この嵐は移動するが、それは惑星の自転と大気中の前線の移動があいまったものだ。これまで海王星の1日の長さは、米国航空宇宙局の惑星探査機ボイジャー2号が1989年にフライバイ（接近通過）を行った際に観測した電波信号をもとに見積もられていた。しかし、土星の研究から、こうした信号はかつて考えられていたほど惑星の自転と明確には関係しないことがわかってきた。

そこでKarkoschkaは基本的な方法に立ち戻った。海王星には「South Polar Feature」と「South Polar Wave」と呼ばれる2つの雲の擾乱<sup>じょうらん</sup>がある。今回、この2つの擾乱の惑星上の位置はきわめて安定していることがわかった。こうした擾乱は、雲の下深くにある地表面の特徴、おそらく固体の中心核のホットスポット（高温部）に関係していると思われる。「こ

れらは、山の上に発生する雲に似ています。雲そのものは移動してしましますが、その現象自体は惑星上の一つ所にとどまります」とKarkoschkaは説明する。

Karkoschkaは、20年にわたってハッブル宇宙望遠鏡で撮影された500枚の画像から、2つの擾乱の位置を丹念に調べ、海王星の自転速度を $\pm 0.0002$ 時間（約0.7秒）の精度で決定した。

惑星の自転速度を正確に調べるのは興味だけが理由ではない。「自転速度は惑星の内部構造モデルに制限を加えます。自転速度を知れば、海王星内部の質量分布を決定できるのです」とKarkoschkaは話す。

また、海王星が、内部の固体部分とこれほど強く関連した大気の特徴を持つことも興味深い。「太陽系には、海王星を含め4つの巨大惑星がありますが、こうした現象は見つかっていませんでした」とKarkoschkaは話す。

### 誕生もまた謎

海王星は多くの謎に包まれている。Karkoschkaの発見も、新たな謎をもたらした。常に雲の擾乱を作り続ける熱源だ。

さらに不思議なのは、海王星の磁場の源だ。木星と土星の磁場は、金属水素の運動の結果、生じていると考えられている。金属水素は、地球大気の数百万倍もあるガス惑星内部の圧力により形成されているとみられる。しかし、海王星は木星や土星より小さく、内部の圧力も低い。ミシガン大学アナーバー校（米国）の惑星科学者 Sushil Atreya は、「海王星で



1989年8月にボイジャー2号が接近したときに撮影した海王星。

金属水素が形成されているとは思えません」と話す。

海王星の存在そのものにも疑問がある。海王星は、地球の30倍も太陽から遠く離れている。カリフォルニア大学サンタクルーズ校（米国）の惑星科学者 Francis Nimmo は、「惑星形成モデルでは、これだけ遠く離れていると原始太陽系星雲はきわめて希薄だったと考えられます」と話す。太陽系の惑星は原始太陽系星雲が凝縮してできた。このため、海王星は原始太陽系星雲がもっと濃い太陽の近くででき、その後外側へ移動したと考えられている。しかし、Nimmoによれば、ほかの惑星系の海王星質量の惑星の多くは、外側ではなく内側へ移動したようだという。カリフォルニア大学パークレー校（米国）の天文学者 Geoffrey Marcy は、「海王星の謎は、海王星に外見上似ている数百個の太陽系外惑星の謎でもあるのです」と話す。こうした謎の解明には、「将来、海王星の大気中に進入できる探査機を送ることが最善の策です」と、Atreyaは語る。

願わくば、海王星が太陽の周りをもう1周するまでに。

（翻訳：新庄直樹）

1. Karkoschka, E. *Icarus* doi:10.1016/j.icarus.2011.05.013 (2011).



300億円をかけた OIST の本館と研究棟は 2012 年に完成予定である。

## いざ、沖縄へ!

### Okinawa goes recruiting

DAVID CYRANOSKI 2011年6月30日号 Vol. 474 (553)  
[www.nature.com/news/2011/110629/full/474553a.html](http://www.nature.com/news/2011/110629/full/474553a.html)

沖縄は、自由な研究で、日本の学際的研究を推進する旗手となる。

自分の研究に自由に没頭できる環境として、欧米の前途有望な若手研究者はどんな場所を選ぶのだろうか。意外なことに、沖縄県にある研究機関がその選択先として浮上してきている。この研究機関は10年前に構想され、独立行政法人・沖縄科学技術研究基盤整備機構 (Okinawa Institute of Science and Technology; OIST) がその実現を進めてきた。今秋の大学院大学としての本格的始動に向けて、初代学長兼理事長にはスタンフォード大学線形加速器センターの元所長で物理学者の Jonathan Dorfan が就任する予定で、そのほか多数の教員採用も進めている。

日本の学術研究機関には厳然たる上下関係があり、若手研究者が自由に研究する機会はほとんどない。また日本の大学では、新規採用の研究者に終身雇用が保証されていないため、外国人教員の勧誘はなかなかうまくいかない。20年前から国際化に努めているにもかかわらず、大学教員に占める外国人の割合は3%前後のほぼ横ばい状態だ。さらに、沖縄県は、本土に比ベインフラが弱く経済も低迷している。

そこで、政府は、科学と沖縄県の双方の振興策として、2001年、沖縄科学技術大学院大学 (OIST; 英名と略称は研究基盤整備機構と同じ) を設置し、国際的な学際研究の拠点とする構想を打ち立てた。OIST では、教員と学生の半分以上を海外出身者にすることを義務付けている。また、学部はなく、教授や准教授という階級もない。学長は、国内外の著名な科学者で構成される運営委員会の意見を聞きながら大学運営を進める。緑に囲まれた施設はまるでリゾートホテルのようで、眼前には海が広がり、研究者どうしが親交を深められる設計になっている。さらに、給与水準は世界トップクラスで、研究室の立ち上げにも潤沢な資金が提供される。

OIST では、2004年、初代理事長であるノーベル賞受賞者の Sydney Brenner の下で、日本人を代表研究者 (Principal Investigator; PI) とする4つの研究ユニットが選定され、先行研究を開始した。最終的にPIは25人ほどになった (多くは生物学者である)。しかし、その立地条件や、年間およそ100億円とい

う高額な経費などに批判的な見方もあった。それでも OIST は、文部科学省から大学設置認可を得て大学院生を受け入れるため、質の高いPIを集められることを示そうとしてきた。

昨年7月に、初代学長予定に決まって以来、Dorfan は、政治的駆け引きや管理業務、社会への働きかけ、PI募集などに尽力してきた。彼は、テニユア制度 (終身雇用制度) を導入し、海外出身の研究者であっても、将来に不安のない終身雇用となれるようにした。本土から遠いという点や、若者を地方に呼び寄せるという難しい問題は、こうした潤沢な研究資金と豊かな自然という魅力的な環境で、ある程度は克服できるだろうと、Dorfan は話す。「沖縄に研究者を勧誘するにはそれなりのお膳立てが必要です。テニユア制度がなければ、PI募集の時点で OIST は自滅してしまいます」。

2010年12月には、3週間にわたってPI候補者27人がOISTを訪れた。「私が知っている中でも最大級の勧誘活動でした」と Dorfan は言う。この勧誘活動の成功の裏には、候補者に合同で沖縄に来てもらい、お互いに研究の話をしてもらったらいいのではないかと Dorfan の妻の提案があった。「応募者たちは張り合う感じではなかったですね。バーの席をとるために競い合っていました」と彼は話す。Dorfan は、このうち26人に誘いの声をかけ、これまでに物理学者11人を含む20人が応じた。Dorfan は、PI勧誘の成功により、OISTの大学設置は認可されるだろうと考えている。認可されたらすぐに、大学院生の受け入れを始める。最終的には、幅広い専門分野の大学院生、およびPI300人を含む、計2400人の研究者を受け入れる予定だ。すでに、海洋科学や神経科学、画像化技術の分野で際立った成果が現れてきている。

OISTのPIの多くは若く、平均年齢は41歳だ。一方で、シニアの研究者に研究を延長する機会も提供している。京都大学を定年退職後、OISTのPIとなっ

て2年になる海洋生物学者の佐藤矩行<sup>さとうのりゆき</sup>は、沖縄という環境に合わせて新しいプロジェクトを起こした。サンゴのゲノムプロジェクトだ。1998年の夏に酷暑に見舞われた後、沖縄周辺海域では、白化現象を起こしたサンゴと起こさなかったサンゴがあった。その違いを解明しようというのだ。(編集部註：サンゴの全ゲノム解析はNature 2011年8月18日号に掲載。関連Nature Newsの翻訳をNature ダイジェスト次号に掲載予定。)

研究設備もOISTの魅力の1つで、電子顕微鏡や最新の遺伝子シーケンサー、2光子励起顕微鏡はもちろん、約7億5000万円の構造解析用の卓上型シンクロトロン、約4億円の沿岸海洋観測システムなどが備わっている。新規採用の研究者の1人、新竹積<sup>しんたけつもる</sup>は、兼任している理化学研究所でX線自由電子レーザーの設計に携わった。彼は現在、溶液中にあるDNAなど生体分子の三次元像を撮るための、新型の低エネルギー電子顕微鏡を作ろうとしている。「さまざまな設備の力を信じています」とDorfanは話す。

しかし、OISTの看板は、なんといつでも「自由」だ。それぞれのPIの研究室には、5年間の資金提供が保証されており、大学院生やポスドクへの支援もある。「私は、何の制約条件もなく、やりたい研究に必要な支援をすべて受けてきました」と、イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校から移動してくる31歳になる流体力学者Pinaki Chakrabortyは話す。ミシガン大学からやってくる29歳の生態学者Evan Economoも、同意見だ。「OISTではどれほど多くの研究用リソースを利用できるのか、また、米国で同じことをしようとすると全米科学財団を相手にどれだけ大変な交渉をしなければならないかがよくわかりました。私は今、自分の研究の成否は、匿名委員からなる研究助成審査会ではなく、自分自身にかかっていると感じています」。

(翻訳：船田晶子)

## 地震予知に失敗した地震学者を起訴

### Scientists on trial over L'Aquila deaths

NICOLA NOSENGO 2011年6月2日号 Vol. 474 (15)  
www.nature.com/news/2011/110601/full/474015a.html

2009年4月にイタリアで発生したラクイラ地震を予知できず、避難勧告を出さなかったとして、地震学者が公判に付されることになった。

マスコミの前で科学的に不確実なことを語る危険性について、裁判で検証されることになった。イタリア・ラクイラ地裁の予審判事は5月下旬、2009年4月6日のラクイラ地震で死亡した309人の一部に対する過失致死罪で、6人の地震学者と1人の官僚を起訴した。裁判は今秋始まり、有罪とされた場合、最長12年の懲役刑に服することになる。

7人の被告人は、当時、ラクイラ周辺で頻発していた地震について危険性を評価する委員会のメンバーだった。地震発生1週間前に委員会は会合を開き、一部の委員が大地震の危険はないと、記者会見で発表したのだ。遺族の多くは地震後、この記者会見の発表を信頼し、人々は自宅から避難しなかったのだと語っている。

ラクイラの検察官Fabio Picutiは、5月下旬、委員たちが地震を予知することは不可能であったにしても、科学的には不確実なことを過度に楽観的な発表に転換したとして非難した。検察側は、起訴されている委員の1人で、当時、イタリア市民安全局技術部門の副部長だったBernardo De Bernardinisの記者会見での発言に注目している。De Bernardinisは、「私は研究者たちから、エネルギーの解放が続いているので危険はないと聞きました。つまり状況としてはよい方向にあると思われまます」と言ったのだ。

被告の1人でイタリア国立地球物理学火山学研究所(ローマ)の所長であるEnzo Boschiを含め、多くの地震学者は、

記者会見での発表には科学的根拠がないと批判してきた。また、委員会の議事録には記者会見での発表のような発言は記録されておらず、起訴された地震学者たちは、自分たちに責任はないと主張している。一方、De Bernardinisの弁護士は、依頼人は、研究者たちから告げられたことを要約しただけだと述べている。こうした主張に対し、検察側は、ほかの委員はDe Bernardinisの発表をすぐに訂正すべきだったのにしなかったのだから、全員が等しく非難に値するとしている。

Boschiは、今回の起訴によって「打ちめられている」と語った。彼は、イタリアでは毎年数百回の地震動が観測されていると指摘し、「そのたびに警報を出していたら、今度は、不当に警報を発したかどで起訴されてしまうでしょう」と言う。そして、悲劇の主因は建築基準の不備だったと付け加えた。

地震で妻と娘を失い、被災者の会の会長を務めるラクイラの医師Vincenzo Vittoriniは、裁判により問題点が徹底的に検証されることを期待している。「我々は、『科学を裁判にかけたい』と思っているわけではありません。ただ、避難なりとどまるなり自分たちが選択できるだけの、危険に関するもっと明確な情報が欲しかったのです」。Vittoriniは、こう語った。

(翻訳：三枝小夜子)



ヒ素の多い湖から回収した細菌に関する研究で、Felisa Wolfe-Simon は批判の矢面に立っている。

## 「ヒ素微生物」の実験をしませんか

### Will you take the 'arsenic-life' test?

ERIKA CHECK HAYDEN 2011年6月2日号 Vol. 474 (19)  
[www.nature.com/news/2011/110601/full/474019a.html](http://www.nature.com/news/2011/110601/full/474019a.html)

ヒ素微生物を疑う人に、NASA の研究者がサンプルを提供すると申し出ているが、あまり人気がない。

当初、それは世紀の大発見かと受け止められた。DNA などの生体分子中にあるリンの代わりに、有毒元素のヒ素を利用して生存する細菌が見つかったと発表されたからだ。

しかし、半年前に論文が *Science* に発表されて以来<sup>1</sup>、科学者たちはこぞってその成果を批判してきた。5月末には、主要な異論をまとめた8本もの専門的コメント<sup>2-9</sup>が、自らの主張を曲げない著者のグループからの返答<sup>10</sup>とともに、同誌に掲載された。

原著論文の著者たちは、ほかの研究者によって再現実験がなされるのを期待して、その細菌「GFAJ-1」のサンプルを分譲すると申し出ている。さて、世の中の研究者は、驚くべき主張を検証する機

会をつかもうとするのか、それとも、すでに一部の研究者が表明しているとおり、根本的に間違っているに違いない研究結果を再現する機会など時間の無駄だとして拒絶するのか。これは大きな選択問題だ。別のところで批判を発表しているフロリダ国際大学（米国マイアミ）の Barry Rosen<sup>11</sup> は、「関係者以外で、今回の研究成果を支持する人など、私は知りません」と言い放つ。

特に、主張を補強する追加実験をする時間が十分にあるのに、原著者らが返答の中で何も新しいデータを公表しないことに対して、反感が強いようだ。1月に Faculty of 1000 のウェブサイトとその研究を批判したコーネル大学（米国ニューヨーク州イサカ）の John

Helmann<sup>12</sup> は、「こんなお粗末なデータについて、議論を蒸し返すのはうんざりです。あの研究チームでもほかの研究者でもいいから、仮説の検証に必要なきちんとした実験を始めてほしいと思います」とぶちまける。

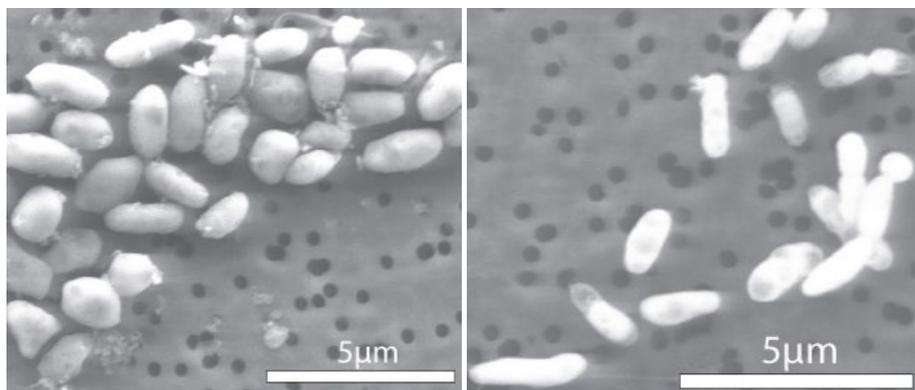
米国地質調査所（カリフォルニア州メンロパーク）で活動する NASA（米国航空宇宙局）の宇宙生物学研究員、Felisa Wolfe-Simon が中心となって行われた今回の研究<sup>1</sup>では、カリフォルニア州南部にあるヒ素の多いモノ湖から採取した細菌が対象となった。研究チームは、実験室でその細菌を培養するにあたり、ヒ素を含みリンを含まない培地を使用した。生命に欠かせないとされるリン元素がなくてもこの細菌は増殖し、本来あるはずのリンの代わりにヒ素を DNA に取り込んだ、というのが論文の趣旨だ。

5月末の返答<sup>10</sup>で Wolfe-Simon らは、「整合性を持つさまざまな証拠に基づいて、ヒ素による代替という我々の解釈は正しいと考えます」と主張した。

しかし、批判する側は、培地に微量のリンが含まれていれば<sup>2,3</sup>、細菌が数回増殖するのに十分だ<sup>5</sup>、と指摘する。また、その培養手順では、ヒ素に十分対応できない微生物を死滅させて、ヒ素に耐性を持つ細菌の生存が助けられた可能性がある、という指摘もあった<sup>3</sup>。

そもそも、ヒ素原子が細菌の DNA に取り込まれたことを示す証拠が十分ではない、という意見もある<sup>4,6-9</sup>。これと関係して、応用分子進化財団（米国フロリダ州ゲインズヴィル）の Steven Benner は、リン酸塩に比べてヒ酸塩は化学的に不安定なため、これは「ヒ酸塩とリン酸塩についての100年近くにわたる化学的データをないがしろにする」とんでもない主張だ、と指摘する<sup>4</sup>。

批判の急先鋒であるブリティッシュ・コロンビア大学（カナダ・バンクーバー）の Rosemary Redfield は、その細菌をヒ素含有培地で培養してから、質量分析法で分析し、DNA 本体にヒ素が共有結合しているかどうかを調べるのが「か



なりわかりやすい」確認方法だろう、と説明する。

Redfield は、GFAJ-1 のサンプルを手入して、こうした追加実験を行う意向であり、ほかのいくつかの研究チームが共同で個別に再実験を行い、結果を同時に発表できたらいい、と考えている。

しかし、主だった研究者の中には、自分の研究資源や学生の時間を再現実験

に割くことに後ろ向きの人もある。イリノイ大学（米国シカゴ）の Simon Silver は、「ヒ素が検出されないことを示してその結果を補足したとしても、それをどこに発表できるのでしょうか。そんな仕事を頼まれた若者は、いったいどうやって就職先を見つければよいのですか」と問いかける。

Helmann は、ちょうど今、微量の元

素を測定できる高感度の質量分析装置を導入するところなので、それがあれば今回の知見が正しいかどうかを明らかにできるのではないかと打ち明ける。しかし Helmann は、この装置は自分独自の研究にこそ使いたいと本音をのぞかせる。「私には私の仕事があるからです」。

（翻訳：小林盛方）

1. Wolfe-Simon, F. *et al. Science* doi:10.1126/science.1197258 (2010).
2. Foster, P. L. *Science* doi:10.1126/science.1201551 (2011).
3. Redfield, R. J. *Science* doi:10.1126/science.1201482 (2011).
4. Benner, S. A. *Science* doi:10.1126/science.1201304 (2011).
5. Cotner, J. B. & Hall, E. K. *Science* doi:10.1126/science.1201943 (2011).
6. Schoepp-Cothenet, B. *et al. Science* doi:10.1126/science.1201438 (2011).
7. Csabai, I. & Szathmáry, E. *Science* doi:10.1126/science.1201399 (2011).
8. Oehler, S. *Science* doi:10.1126/science.1201381 (2011).
9. Borhani, D. W. *Science* doi:10.1126/science.1201255 (2011).
10. Wolfe-Simon, F. *et al. Science* doi:10.1126/science.1202098 (2011).
11. Rosen, B. P., Ajees, A. A. & McDermott, T. R. *BioEssays* **33**, 350–357 (2011).
12. Helmann, J. *F1000.com*/6854956 (2011).

## 量子コンピューターに、最初の買い手が見ついた

### First sale for quantum computing

ZEEYA MERALI 2011年6月2日号 Vol. 474 (18)  
[www.nature.com/news/2011/110531/full/474018a.html](http://www.nature.com/news/2011/110531/full/474018a.html)

**D-Wave Systems 社の量子コンピューターが、ロッキード社に販売された。しかし、このマシンはまだブラックボックスのようなものだ、という批判もある。**

それは後に、量子コンピューティングにとって節目となる出来事であったと評価されることになるかもしれない。2011年5月下旬、D-Wave Systems 社（カナダ・ブリティッシュコロンビア州バーナビー）は、世界的軍需企業のロッキード・マーチン社（米国メリーランド州ベセズダ）に、市販用量子コンピューターを初めて販売したと発表した。

問題のコンピューターの名は D-Wave One といい、黒い一枚岩のような、印象的な外見をしている。考えようによっては量子コンピューターにふさわしいのかもしれないが、D-Wave One が実際にどのように動作するかについては、なお「不確定性」が残っている。コンピューター科学者たちは以前から、D-Wave のシステムは本当は量子物理学を利用して

いないのではないかと疑っている。同社は5月に *Nature* に論文を発表し (M. W. Johnson *et al. Nature* **473**,194-198; 2011)、それが本当に量子コンピューターであることの立証に役立てようとした。しかし、一部の人はまだ、ここに用いられている技術を疑っているのだ。

量子コンピューターは、古典コンピューターには手も足も出ないタイプの問題に取り組むことができ、革命を起こすことが期待されている。古典コンピューターは、データを「ビット」という単位で格納したり処理したりしている。個々のビットは1つのスイッチとして理解することができ、スイッチはオンまたはオフの状態をとる。

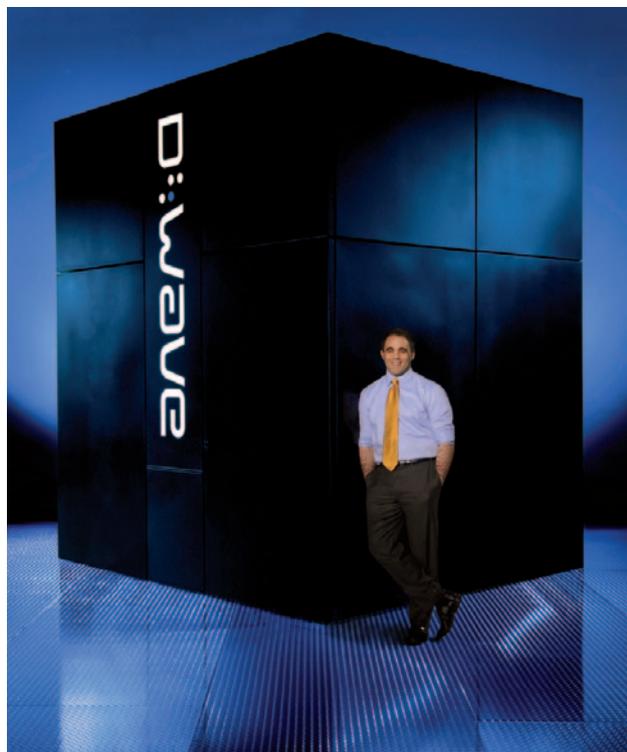
量子ビット（キュービット）の強みは、オンとオフの状態を同時にとれる点にある。量子もつれ（エンタングルメント）を利用して十分な数のキュービットを結合させることができれば、コンピューターは、複数の計算を並列に驚くべき速度で実行できるようになる。

しかし、量子コンピューターを実際に製作するのは非常に困難であることが知られており、ほとんどの研究チームは、わずか数個のキュービットをもつれさせるのにも、悪戦苦闘しているのが現状だ。だから、D-Wave 社が 128 キュービットのプロセッサを完成させたと主張したことは、同社がそれまで査読のある科学ジャーナルで自社の技術の詳細について発表するのを渋ってきたこととあいまって、専門家の眉をひそめさせていた、とマサチューセッツ工科大学（米国ケンブリッジ）のコンピューター科学者 Scott Aaronson は解説する。

しかし、ロッキード・マーチン社は、専門家のこうした懸念には動じなかった。広報担当の Thad Madden は、同社が 1 年がかりで D-Wave One コンピューターを吟味したうえで購入を決めたと説明している。量子コンピューターの具体的な用途について、D-Wave 社は語ろうとしないが、Madden によると、ロッキード・マーチン社としては、ソフトウェアと環境センサーを統合した「サイバー物理システム」の構築にこの技術を役立てたいと計画しているそうだ。

D-Wave の共同設立者である Geordie Rose は、今回、D-Wave One に買い手がついたことは、量子コンピューティングがその数十年来の約束をついに果たしたことの証明である、と語っている。しかし Aaronson は、コンピューター科学コミュニティを納得させるには、それだけでは足りないと考えている。「大企業がシステムを購入したというだけでは、それが実際に機能する証拠にはなりません」。

コンピューター科学コミュニティの不信は、D-Wave 社が数独パズルを解ける 16 キュービットのコンピューターをデモンストレーションした 2007 年までさかのぼる。このとき、多くのコンピューター科学者と物理学者が、同社のコンピューターはごくふつうの古典物理学の原理によって動いていると指摘した。これに対して D-Wave 社は当時、



D-Wave 社の共同設立者である Geordie Rose と、同社の量子コンピューター「D-Wave One」。

その可能性を否定する発表を一切行わなかったのだ。

しかし、同社が *Nature* で発表した論文は、ニオブの超伝導ループからなる 8 キュービットの系で、確かに量子的な挙動が見られることを実証するものだった。系が問題のパラメーターを定義するまでは、キュービットの結合したエネルギー状態を磁場で操作している。この系は量子的重ね合わせの状態にあるため、異なる解を表す複数のエネルギー状態を同時に「探る」ことができるのだ、と Rose は説明する。系を冷却すると、この重ね合わせの状態は、最終的な解を表す 1 つの低エネルギー状態へと移行する。これは「量子アニーリング」と呼ばれる手法である (W.D.Oliver *Nature* 473, 164–165; 2011)。D-Wave One は、この 8 キュービットのセルを 16 個使用している。

懐疑的な人々は、この系は量子効果ではなく熱ゆらぎを利用してキュービットにさまざまなエネルギー状態をとらせている可能性がある、と主張していた。しかし、こうした古典的效果が強く効いて

くるのは温度が 45mK（ミリケルビン）以上の場合であり、D-Wave 社の最新の論文は、その系が機能している温度が 45mK よりも低く、量子効果のみが効いていることを示している。

Aaronson は、この論文は正しい方向に一歩踏み出すものであるが、その歩幅は小さいと言う。「彼らがここでやってみせたように、8 キュービットの系である種の量子効果を実証することと、計算的に興味深いタスクを従来のコンピューターよりも高速に実行できる 128 キュービットのチップを製作したと主張することの間には、途方もなく大きな隔りがあります」と彼は言う。大部分の物理学者は、キュービットのもつれは量子コンピューティングにとって必要不可欠な性質であると考えているが、Aaronson は、D-Wave One のキュービットのもつれは実証されていないと指摘する。「私は、D-Wave の成功を心から願っています」と彼は付け加える。「ただ、証拠を見せてもらわないと、その成功を信じることはできないのです」。

（翻訳：三枝小夜子）

# 日本の医療システムに革新を

## A healthier Japan

NAKAMURA YUSUKE INTERVIEW BY DAVID CYRANOSKI 2011年6月9日号 Vol. 474 (136)

www.nature.com/news/2011/110608/full/474136a.html



東京大学医科学研究所の遺伝学者、中村祐輔は、長年にわたり、日本の医療システムの改革と、自国の生物学的発見の活用を主張してきた。そんななか起こった、東日本大震災。彼の使命に新たな緊急課題が加わった。現在、中村は、そうした問題を討議する立場にいる。今年1月、発足した「医療イノベーション推進室」の室長の座についたのだ。

**Q:** 今回の震災では、日本の医療システムのどのような弱点が露呈したのでしょうか？

**A:** 大勢の人々の医療カルテが失われたため、政府は、被災地でどんな医薬品がどれくらい必要かを把握できませんでした。また、医療支援もかなりひどい状況で、もし、福島県相馬市で脳卒中に襲われたら、ほかの都市にある病院まで1時間半から2時間かけて行かなくてはなりません。これは早急に何とかすべきです。

また、政府は歯の治療歴をもとに遺体の身元確認をしているため、時間がかかりかかっています。歯の治療記録はないことがしばしばあるからです。回収された遺体のうち2000体は、いまだに身元がわかりません。私は、DNAを調べる一塩基多型検査法を導入すべきだと思っています。このほうが時間もかからず、精度も高いのです。私の試算では、費用は8億円ですが、復興にかかる費用に比べればずっと少ない額なのです。

**Q:** こうした問題を防ぐにはどうしたらよいのでしょうか？

**A:** 日本では、それぞれの医療機関が独自にカルテを保管しています。今後

は、国レベルで診療記録を保管し情報を連携する「クラウド」システムが必要です。また、患者は自分の診療記録をカードや携帯電話に記録して持ち歩けるようにすべきでしょう。まずは、医療システムの再建が必要な東北地方から始めて、順次ほかの地域へ普及させていくべきです。優れた医療システムを万事整えておけば、今回の震災を超える大地震が起こっても、多くの人命を救えるはずですよ。

**Q:** 被災者の健康状態をモニターするために、どのような調査を考えていますか？

**A:** 合計およそ50万人を対象とする3つの大規模集団調査を提案しています。まず、被災者の精神状態の調査です。2004年のインド洋大津波後のタイでは、被災者の5分の1がPTSDになっていました。このことから、今回の大震災のPTSD患者は膨大な人数になると思われます。PTSDをより早い段階で治療できるよう、調査をすぐにでも始めるべきです。

2つ目は、長期にわたって避難所生活を強いられている被災者の健康

や慢性疾患についての調査です。福島第一原発事故による持続的な低レベルの放射線の影響も考察しなければなりません。3つ目は、高レベルの放射線にさらされている原発作業員や近隣住民を対象とした調査です。これは20～30年は継続する必要があります。

**Q:** 日本の医療革新はどのような状況でしょうか？

**A:** 嘆かわしい状態です。医薬品は1兆円以上の輸入超過になっています。日本の研究者は基礎科学を扱う *Nature* や *Science*、*Cell* などには多くの論文を発表していますが、臨床研究を扱う *The Lancet* や *The New England Journal of Medicine* にはほとんど発表していません。また、臨床試験にもっと支援が必要だと言う研究者もいますが、そもそも臨床試験が行われる医薬品は、欧米で製造されたものが大部分を占めます。必要なのは、臨床応用研究に対する支援です。今後、超高速処理スクリーニング技術や薬剤を最適化する設備を提案していくつもりです。台湾には、毎月100万種類の化合物をスクリーニングできる施設があります。それに匹敵する規模で年間稼働費用が25億～30億円程度の設備を、我々は提案しています。

また、遺伝学やエピジェネティクスのデータの急増に対処するためにバイオインフォマティクス・センターの設立も提言しました。こうしたデータと診療記録を統合すれば、今後10年以内に個別化医療システムを作り上げることも可能でしょう。

政府は過去10年間に生命科学分野へ多額の資金を投入してきましたが、その最終目的は医療革新だったはずですよ。今こそ、それが達成できなかった理由を知る必要があると思います。

(翻訳：船田晶子)



## 本当のサイバー戦争が始まった

### Is this the start of cyberwarfare?

SHARON WEINBERGER 2011年6月9日号 Vol. 474 (142-145)

2010年に発生した Stuxnet は全く新しいタイプのウイルスで、発電所や給水施設などの重要なインフラを攻撃する。米国政府機関が作成したと疑われるこの超高性能ウイルスは、まさにサイバー戦争への宣戦布告だ。

2010年初夏、イランの1台のコンピューターが、意味もなく再起動を繰り返すようになった。「悪意あるソフトウェア(マルウェア)」の関与を疑ったウイルス対策ソフト会社 VirusBlokAda 社(ベラルーシ・ミンスク)のウイルスアナリストたちは、インターネットで異常な動作をしているコンピューターを調べ、まも

なく、自分たちの推測が正しいことを知った。彼らは不安と不気味さを感じた。イランのコンピューターから抽出したそのコードは、前例のない大きさと複雑さを持つ、未知のコンピューターウイルスだったからだ。

2010年6月17日、VirusBlokAda社は全世界に警報を発し、ウイルスの正

体を突き止めるための国際競争が始まった。Stuxnet と呼ばれるようになったこのウイルスは、これまでに発見されたマルウェアの中では最も精巧にできていて、新世代のサイバー攻撃の先触れとなるものだった。従来のマルウェアがコンピューターとネットワークからなる仮想世界だけにダメージを与えるのに対し

て、Stuxnetの標的は、ポンプや弁、発電機などの産業機器を制御するソフトウェアであることがわかったのだ。

世界最大のコンピューターセキュリティ会社であるシマンテック社（米国カリフォルニア州マウンテンビュー）のセキュリティ対応部門を率いるLiam O Murchuは、「現実世界にダメージを与える能力があって、実際に機械を壊すことに成功し、爆発を引き起こすことさえできるかもしれないウイルスを分析したのは、これが初めてでした」と言う。

Stuxnetは、ある種の集団や国家が、社会にとって必要不可欠な水やエネルギーのインフラに対してサイバー攻撃を仕掛けることができるという、まさにぞっとするような可能性を実証した。ウイルス対策会社のエフセキュア社（フィンランド・ヘルシンキ）の主任研究員であるMikko Hypponenは、「我々はおそらく、サイバー軍拡競争の時代に入りつつあるのでしょう」と指摘する。

さらに悪いことに、今回のStuxnet騒ぎは、サイバー攻撃から社会を守る体制が十分でないこと、そして、サイバーセキュリティ科学には大きな欠点があることを浮き彫りにしてしまった。

### シマンテック社も驚いたウイルス

コンピューターセキュリティ会社は、市場では互いに競い合っているものの、Stuxnetのような脅威に対しては、舞台裏で緊密に協同して対応することが多い。例えば今回も、VirusBlokAda社が警告を発した直後に、カスペルスキー社（ロシア・モスクワ）とマイクロソフト社（米国ワシントン州レッドモンド）が協力して、このウイルスが狙ったウィンドウズOSの脆弱性を特定した（ちなみに、このウイルスのコードに隠されていたファイルの1つにちなんで「Stuxnet」という名前をつけたのはマイクロソフト社である。また、Stuxnetは宿主となるファイルがなくても感染し、単独で活動することができるため、厳密には「ウイルス」ではなく「ワーム」という種類のマルウェア

である。しかし、ウイルスという言葉は、自分自身を複製するマルウェアの総称にもなっているため、専門家もワームをウイルスと呼ぶことが少なくない。

最も大掛かりで包括的な対応の1つは、シマンテック社の主導によるものだった。シマンテック社は、O Murchuと世界中に広がる彼の専門家チームを、3か月間、24時間体制でStuxnetに取り組ませた。この作戦の主要な拠点の1つになったのが、シマンテック社のマルウェア研究室（米国カリフォルニア州カルバーシティ）だった。ここでは、バイオセーフティーレベル4の生物実験施設のデジタル版のような場所である。

ドアには訪問者に対する警告が掲示されていて、入室の際には、コンピューター、USBフラッシュドライブ、スマートフォンは外に置いてくるようにと書かれている。いちど室内に入った電子機器は、たとえ間違いで持ち込んでしまった場合でも、二度と外に出すことはできない。研究室に入ったチームは、まずはシミュレーションされたネットワーク環境にStuxnetを感染させて、ウイルスがどんなことをするのか観察した。ウイルスは信じられないほど大きかった。このソフトウェアのコードは約1万5000行からなり、その開発には1万人時（マンアワー）を要したと推定された。これまでに発見されたとのウイルスと比較しても、「莫大な量のコードでした」とO Murchuは言う。

そのコードが非常に高度だったことも衝撃を与えた。Stuxnetは、社会的信用のある企業から盗んだ2つのデジタル証明書を利用してうえに、4種類の「ゼロデイ脆弱性」、すなわち、それまで知られていなかったウィンドウズのセキュリティホールを狙って攻撃をしかけていたのだ。

そして、ウイルスの活動だ。「非常に風変わりな動きであることは、すぐにわかりました」と、O Murchuは回想する。Stuxnetの活動で特に変わっていたのは、産業機械に指示を出すのに用いら

れるPLC（プログラミング可能なシーケンス制御装置）に話しかけようとしていたことだった。ここで、Stuxnetは非常に選択的だった。つまり、このウイルスは、ウィンドウズを走らせているコンピューターならほとんど何にでも感染できるはずなのに、シーメンス社のStep7というソフトも走らせているコンピューターでしか、実行可能コードがアクティブにならなかったのだ。Step7は、産業プロセスの管理に用いられる各種のSCADA（監視制御データ収集）システムの1つである。

多くの産業制御システムは、マルウェアや乗っ取りから保護するため、絶対にインターネットに接続されない。その壁を乗り越えるために、Stuxnetには巧妙な工夫が施されていた。ほかのマルウェアの多くがそうであるように、Stuxnetはネットワーク上を広げることができたが、USBドライブに自分自身をひそかにインストールすることもできるようになっていたのだ。そのため、何も知らないオペレーターが、ウイルスに感染したUSBメモリーを制御システムのコンピューターに差し込むだけで、ウイルスは爆発的に活動を開始することができたのだ。

### 動機は不明だが、標的はイランだった

Stuxnetがシーメンス社のソフトウェアに何をやるかは、まだ不明だった。シマンテック社のチームがそのてがかりをつかんだのは、Stuxnetが、感染したホストコンピューターに関する情報を集めて、マレーシアとデンマークのサーバーにデータを送信していることを理解したときだった。これはおそらく、未知の犯人がひそかにStuxnetウイルスを更新できるようにするためだった。

シマンテック社は、コマンドと制御サーバーを特定することはできたが、犯人を特定することはできなかった。しかし、インターネットサービスプロバイダーを説得して犯人のアクセスを遮断し、感染したコンピューターからのトラフィックの経路を変えてシマンテック社

に向かわせて、盗聴できるようにした。O Murchuによると、サーバーへのトラフィックがどこから来ているかを観察することで、「感染のほとんどがイランで起きていたことがわかりました」と言う。イランでのウイルス感染は、じつに全体の60%以上を占めていて、2009年から波動的に発生していたようだった。

ここから推測できるのは、何らかの理由により、このウイルスがイランを狙っていたということだ。しかし、シマンテック社の研究者たちは、単独ではこれより先に進むことはできなかった。多くのマルウェア対策チームがそうであるように、彼らもまた、コンピューターとネットワークについては非常によく知っていたが、PLCやSCADAシステムに関する専門知識はほとんどなかったからである。制御システムセキュリティコンサルティング会社であるRalph Langner社(ドイツ・ハンブルク)は、「分析がある程度進むと、彼らは、Stuxnetの目標がさっぱりわからなくなっていました。彼らの研究室環境では、このウイルスの実験をすることができなかったからです」と言う。

Langnerは、独自にその隙間を埋めることを試みた。彼とそのチームは、夏の間、シーメンス社のソフトウェアと産業制御システムを備えた研究室環境でStuxnetを走らせ、ウイルスがどのようにしてPLCと相互作用するかを調べた。「たちまち、非常に奇妙でおもしろい結果が始めました。我々の研究室で実験を始めた最初の日のうちにね」と彼は言う。

その結果を見たLangnerは、Stuxnetは特定のソフトウェアやハードウェアを探し出して、攻撃するように作られていると推測した。そして、2010年9月中旬に、Stuxnetがイランを狙って作られたのではないかという疑いが裏付けられたと自分のブログで発表した。彼は当時、Stuxnetが狙っていたのはイラン南部ブシェールの原子力発電所である可能性が高いと考えていた。

### 遠心分離器を破壊したのか?

Langnerの主張は憶測の域を出るものではないが、マスコミはすばやく飛びつき、「標的限定型サイバー兵器」という言葉を広めた。しかし、Langnerらはその後もコードに取り組み続け、数か月後には、標的はブシェールの原子力発電所ではなく、ナタンツのウラン濃縮施設である可能性が高くなった。ナタンツでは数千台の遠心分離機が、核分裂を起こさない重いウラン238から、量は少ないが核分裂を起こすウラン235を分離している。この濃縮施設は、表向きは原子力発電所に燃料を供給するためのものとされているが、欧米諸国の多くは、本当の目的は核兵器の製造にあると考えている。Langnerらによると、そのマルウェアのコードは、遠心分離機の回転速度を変化させるためのものであるという。遠心分離機はデリケートな装置なので、そんなことになったら制御不能に陥り、破損してしまう。

国際原子力機関(IAEA; オーストリア・ウィーン)は、イランで稼働している遠心分離機の台数が2009年に激減したという報告を行い、Langnerの解釈の信憑性を高めた。Stuxnetが最初にイランのコンピューターに侵入したのはこの年だったと、多くの専門家が考えているからである。

もちろんこれは直接的な証拠にはならない。米国科学者連盟(FAS; ワシントンD.C.)とともにイランの遠心分離機の性能を調べていたブルガリア人物理学者Ivanka Barszashkaは、機械が稼働していないときは、「それらが何をしていたのか、知ることはできません」と言う。「遠心分離機が本当に破壊されたのか、それとも、ただそこに置かれていただけなのか、私たちにはわからないのです」。

イラン政府は、Stuxnetの感染が国内の広い範囲で起きたことは公式に認めたものの、そのせいでナタンツの多数の遠心分離機が破壊されたことは否定した。また、2010年の末にIAEAが発表した調査報告書からは、イランの核計画

がどんな妨害を受けたにせよ、せいぜい一時的に勢いをそがれただけであつたことが明らかになった。イランのウラン濃縮能力は、これまで以上に高くなっているのだ。

### 真犯人は米国政府!?

しかし、Stuxnetの標的が本当にナタンツであつたとしたら、誰が、何のためにこのウイルスを作成したのかという謎に対して、1つの答えが見えてくる。Stuxnetを分析した人々は、マルウェアと産業セキュリティの専門知識や、標的となった産業機器の種類と構成など、このウイルスの作成に必要なとされる知識のことを考えれば、犯人の背後にはどこかの国の政府がいるはずだと、早い段階から結論付けていた。

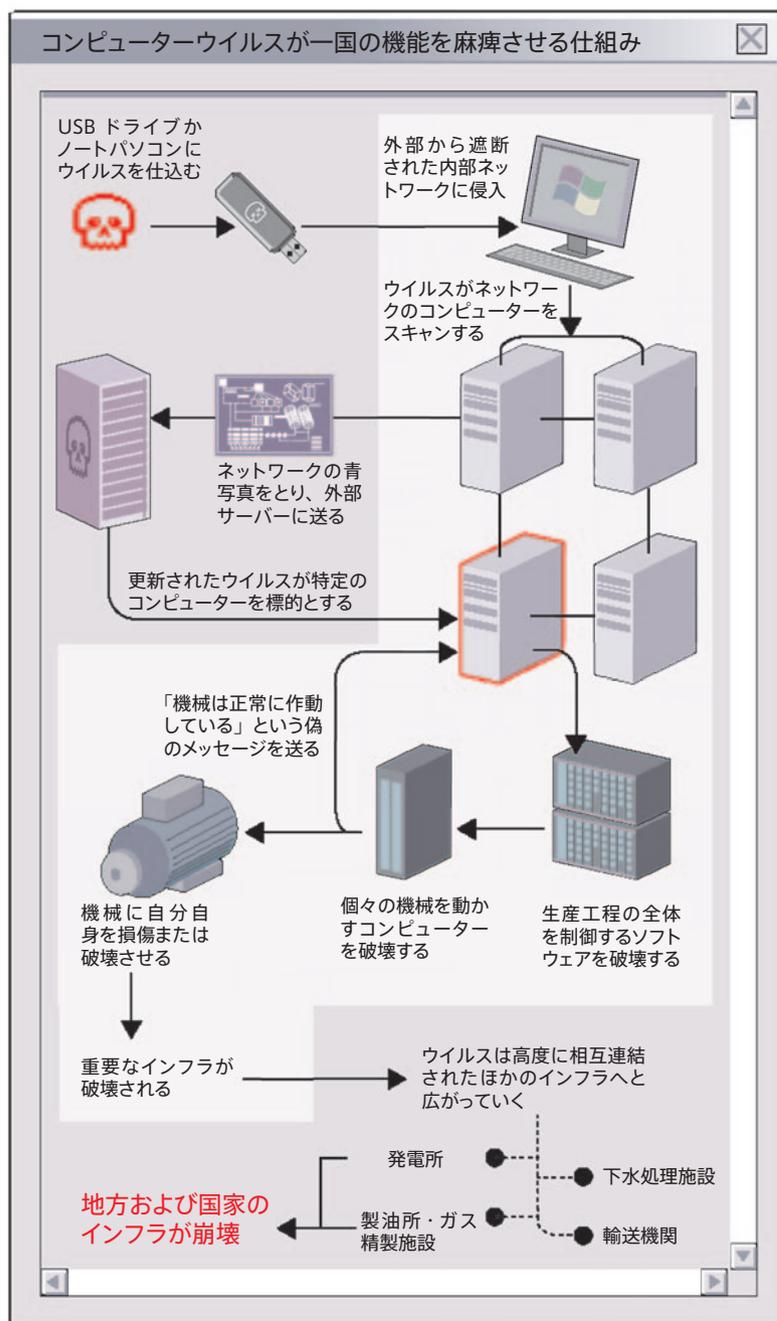
ハーバード大学バルファー科学国際問題研究所(米国マサチューセッツ州ケンブリッジ)の上級フェローで、IAEAの前事務次長であるOlli Heinonenは、ある国の政府が他国の核開発計画を妨害しようとした例はこれまでもあつたと指摘する。例えば、欧米諸国の政府は、1980年代から1990年代にかけて、パキスタンがイランや北朝鮮に核技術を供与するために利用していた密売ネットワークに、欠陥部品を紛れ込ませる活動を組織していた。米国のCIAを含む各国諜報機関も、核兵器開発をめざす国々に、間違いを忍び込ませた設計図を売りつけようとしたことがある。「同じことを別の方法でしようとしたのがStuxnetなのです」とHeinonenは言う。

Langnerは、Stuxnetの背後には米国政府がいると主張する。米国政府には、サイバー戦争に必要とされる専門知識と、イランの核開発を阻止するという積年の目標の両方があるからだ。Langnerや、シマンテック社や、その他の研究者が、Stuxnetに関する意見と情報を盛んに交換していた2010年夏、サイバー攻撃への対応に特化したコンピューター緊急対応チーム(CERT)を持つ米国国土安全保障省は、不可解な沈黙を守っていた。

米国アイダホフォールズのはずれに位置するアイダホ国立研究所内にあるCERTは、産業制御システムの試験を行うための世界最高レベルのテストベッドを備え、Stuxnetに関しても一連の警報を発してきた。けれども、CERTによる最初の警報は、バラルーシで最初の警報が発せられてから1か月以上も経過した2010年7月20日のことで、しかも新しい情報は一つ含まれていなかった。その後の警報も、同じパターンで発せられた。つまり「少なすぎ、遅すぎた」のだ。SCADAシステムのセキュリティー会社Digital Bond社（米国フロリダ州サンライズ）の設立者であるDale Petersonは、自分のブログ上でCERTのこの対応を「何日も遅れる切り抜きサービス」と評した。

「彼らがこの問題を見落としたとも、あるいは、すべてを誤解していたとも、考えることはできません。そんなことはありえません」とLangnerは言う。彼は、アイダホ国立研究所の気の抜けた対応は意図的なものであり、その目的は、Stuxnetがそこで作成されたという事実を隠蔽することにある、と指摘する。

もちろんLangner自身も、米国の犯行を疑わせるこうした事実は、状況証拠にしかないことを認めている（米国政府は、秘密諜報活動に関する慣習にのっとり、その主張を認めることも否定することもしないだろう）。米国とともに容疑がかかっているイスラエルの犯行を裏付けているとされる証拠は、さらに間接的である。例えば、シマンテック社に言わせると、Stuxnetのコードに埋め込まれているMyrtus（ミルトス）という名前が、その証拠であるという。旧約聖書の『エステル記』でユダヤ人虐殺計画を阻止したペルシャ王妃エステルは、ヘブライ語名をハダッサーといい、「ハダッサー」も「ミルトス」も、ギンバイカという植物をさしているのだそうだ。Stuxnetを分析したほかの人々は、彼らの主張はあまりにも根拠が希薄だと言っている。サイバーセキュリティーコン



サルティング会社 Taia Global 社（米国バージニア州タイソズコーナー）の設立者にして最高責任者である Jeffrey Carr は、イスラエルの関与を裏付ける「事実はない」と言い切る。

### パンドラの箱が開いた時代に、どうする？

「いったい誰が？」という謎に対する答えは、もう明らかにならないかもしれない。2011年2月にシマンテック社が Stuxnet に関する権威ある報告書の最終

アップデートを行ったことで、このウイルスの集中的な研究は事実上終了した。報告書には、Stuxnet の実行に関する重要な詳細や、攻撃と感染の時間経過がまとめられている。この時点で、マイクロソフト社は Stuxnet に狙われたセキュリティーホールをとくに修正していたし、すべてのウイルス対策ソフト会社は、顧客のデジタル免疫系を更新して Stuxnet をただちに認識して隔離できるようにしていた。現在では、新規の感染

はめつたにない。しかし、完全になくなったわけではない。シーメンス社の制御システムを利用するすべてのコンピューターにセキュリティホールをふさぐためのプログラム（パッチ）が行きわたるまでには、あと数年はかかるだろう。

Stuxnet 自体が深刻な脅威ではなくなった今でも、サイバーセキュリティの専門家は、それが浮き彫りにした、より大きな脆弱性について心配している。Stuxnet を調べた研究者の多くが、今回のサイバー攻撃は、未来のサイバーテロリストにヒントを与え、おそらくそれを改良するための青写真を示してしまったと考えている。犯人は米国だったと考える Langner は、「ある意味では、この攻撃に踏み切った者は、パンドラの箱を開けてしまったと思います」と言う。「その影響は、最終的には、彼ら自身にはね返っていくかもしれません」。

サイバーセキュリティの専門家は、準備が十分にできていない。理由の1つに、産業制御システムの専門家との接点がないことが挙げられる。Tofino Industrial Security 社（カナダ・ランツビル）の共同創設者にして最高技術責任者である Eric Byres は、「我々は2つの全く異なる世界に住んでいて、十分なコミュニケーションをとってきませんでした」と言う。彼は、その溝に橋をかけたシマンテック社や Langner らを称賛する。しかし、両者を結びつけるために要した努力が、Stuxnet の分析を大幅に遅らせたのも事実である。

もともと大学の研究者だった Byres によると、この溝は、大学のコンピューターサイエンス学科にも影響を及ぼしているという。大学の研究者は、産業制御システムのセキュリティは技術的な問題にすぎず、科学的に重要な問題ではないと考える傾向がある。そのため、大学院生が暗号技術や産業制御に興味があると申し出ても、そのテーマは数学的に難しくないから博士論文にはならないだろう、と言われてしまうのだ。

Waterfall Security Solutions 社（イ

スラエル・テルアビブ）の北米部門の産業セキュリティ部長である Andrew Ginter も、「大学の研究者で、Stuxnet を調べるにあたって大きな寄与をした人はいなかったように思います」と言う。そうした仕事をする研究者のほとんどが産業界か政府の下で働いている。アイダホ国立研究所のチームはその1つで、Sophia という次世代システムに取り組んでいる。Sophia は、ネットワーク中の異常を検知することにより、Stuxnet のような脅威から産業制御システムを保護しようとするものである。

サイバーセキュリティを研究する大学研究者にとっては、マルウェアを入手することが、障壁の1つとなっている。Stuxnet の場合、最初に発見された直後に、そのコードがウェブに投稿されたため、あまり問題にはならなかった。けれども一般には、シマンテック社などの企業が安全のためにマルウェアを特殊な研究室に閉じ込めてしまうことが多く、マルウェアを調べたがっている研究者にとっては、障壁になっている可能性がある。

ジョージ・メイソン大学（米国バージニア州フェアファックス）の安全情報システムセンターの主任科学者であり、米国国防高等研究計画局（DARPA）のプログラムマネージャーを務めたこともある Anup Ghosh は、「生物学的なウイルスの場合、研究用のウイルスを持っているグループの数は少なく、ほかの研究者にウイルスを分け与えるのを渋ります。同じことがマルウェアについても言えるのです」と指摘する。「この分野を発展させるためには、研究者がよいデータを入手できるようにしなければなりません」。Ghosh は現在、ウイルスのコードに見られる特異的なパターン（「署名」）ではなく、ウイルスの挙動に基づいてこれを特定するマルウェア検出システムの開発に取り組んでいる。

米国科学研究協議会（NRC；ワシントン D.C.）のコンピューターサイエンス・遠距離通信委員会の主任科学者で

ある Herb Lin によると、大学の研究者は、デジタル兵器に対するある種の潔癖症にも足を引っ張られているという。彼は、サイバー攻撃から身を守る方法を理解するには、サイバー攻撃の方法を知ることが役に立つと指摘する。しかし、マルウェアの書き方を大学院生に教えることをめぐっては「激しい論争」が起きているという。「『ハッカーを教育・訓練するのか?』と言われてしまうのです」。

## 次の攻撃に備える

国防を含めた科学技術の問題に関して米国政府に助言している JASON グループは、去年、サイバーセキュリティに関する研究を行い、多くの問題点を見いだした（JASON Science of Cyber-Security; MITRE Corporation, 2010）。おそらく最も重要だったのは、サイバーセキュリティ科学という研究分野が「実験結果の報告においても、それを利用する能力においても未発達である」という結論だ。

カーネギー・メロン大学（米国ペンシルベニア州ピッツバーグ）のコンピューター科学者で、JASON に情報を提供した Roy Maxion は、サイバーセキュリティは科学的な厳密性を欠いているとまで言う。医師たちは、200年前にはヒルに患者の血液を吸い出させる治療法を推奨していたが、その後の「根拠に基づく医学（EBM）」の出現により、近代的な科学者へと生まれ変わった。「コンピューターサイエンス、特にコンピューターセキュリティにおいては、そのような変化の兆しが全く見えてこないのです」。

コンピューターサイエンスは、Maxion が言うところの「小手先のトリック」の寄せ集めとして発達してきた。例えば、ある会議で最初に発表された論文は、コンピュータースクリーンが窓などに映ったものから、そこに表示されている内容を読みとる方法を示すものだった。「実際に秘密会議に出席したことのある人間から見れば、話にならない論文です」と

彼は言う。「コンピュータースクリーンに表示されている内容を第三者に知られたくないなら、窓がない場所で見るのは当たり前です。こんな論文が、その年、大きな話題になったのです」。

現在、コンピューターサイエンスやコンピューターセキュリティのカリキュラムに、実験計画や統計学などの伝統的な研究手法の課程は入っていない。Maxion は、こうした課程を緊急に取り入れる必要があると見る。「なぜ、それが問題になるかといえば、Stuxnet のような現象を調べたり、こうした脅威への適切な対処法を検討したりするのに必要な科学的基礎を、我々が持っていないからなのです」。

Stuxnet を分析した人々の多くは、米国政府の対応の鈍さにも不安を感じた(もちろんこれは、米国政府が犯人でなかったと仮定した場合の話である)。Stuxnet は新しい世代のサイバー兵器を代表するものであり、米国が標的になる可能性もあったはずだ。それなのに、米国政府が、大学、研究所、民間企業から資源を持ち

寄って協調的に対応する計画を立てるなどして、そうした攻撃に備えていることを示す証拠は見当たらないのだ。

ほかの国々は、米国よりは真摯に対応しているようである。例えば、中国の大学と専門学校の一部は、サイバーセキュリティに取り組むために、軍との間に強固な関係を築いたと伝えられている。イスラエルも、コンピューティングの専門知識を国家安全保障に役立てているようである。

Stuxnet が発見されるほんの数か月前、ネゲブ・ベングリオン大学ドイツテレコム研究所(イスラエル・ベエルシェバ)の所長であるコンピューター科学者の Yuval Elovici は、*Nature* に、サイバーセキュリティの分野でイスラエル国防省と密接に協力し合っていることを明かした。彼はそのとき、次にくるサイバー攻撃は物理的なインフラを標的にするだろうと警告していた。「SCADA システムへのコード・インジェクション(プログラムが受け取る入力データにセキュリティを侵害するようなコマン

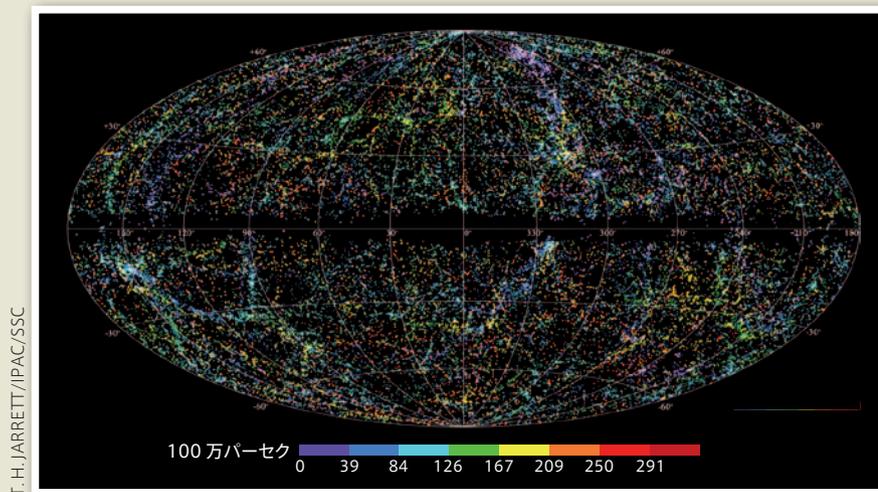
ドを混入し、コンピューターの内部で機能させること)があったら、どうなるのでしょうか? 誰かが突然それを活動させたら、どうなるのでしょうか?」と彼は言った。Elovici は、ほかの専門家とともに、送電網を制御する SCADA システムへのそうした攻撃が全国的な停電を引き起こしたり、発電所の安全システムを乗っ取って機能を停止させたり、大事故を引き起こしたりするおそれがある、と数年前から警告してきた。上下水道施設や食品加工工場も、同様の攻撃を受ける可能性がある。

そのような攻撃は現実的なものであり、過小評価されていると、Elovici は警告する。どのくらい悪い状況になるのかという質問に対して、彼の答えは明確だった。「主要都市に数発の原子爆弾を投下するより、はるかに甚大な影響が出るでしょう」。

(翻訳: 三枝小夜子)

Sharon Weinberger は Alicia Patterson 財団の特別研究員。ワシントン D.C. 在住。

SEVEN DAYS



## 詳細な 3D 宇宙地図が完成

### Details of the 3D Universe

2011年6月2日号 Vol. 474 (10)

2011年5月25日、ボストンで開催されたアメリカ天文学会の会場で、局所宇宙の三次元地図が発表された。これは現時点で最も完全な三次元地図であり、赤外線で見つかった空のほぼ全域をカバーしている。「2MASS 赤方偏移サーベイ」では、全天の近赤外線スペクトルを観測して二次元地図を作成し、これをハーバード大学の故 John Huchra が測定した赤方偏移と組み合わせることで第三の次元を持たせた。完成した地図には、2億9000万パーセクまでの距離にある約4万5000個の銀河が示されている。その中には、天の川銀河の銀河面の近くにあり、塵に隠れてこれまでの観測では知られていなかった銀河も含まれている。

(翻訳: 三枝小夜子)

# 内部告発をして失職した若手研究者

## Whistle-blower claims his accusations cost him his job

EUGENIE SAMUEL REICH 2011年6月9日号 Vol. 474 (140-141)

www.nature.com/news/2011/110608/full/474140a.html

連邦政府のガイドラインでは、内部告発者に対する報復行為は禁じられている。

ウィスコンシン大学側は、研究室の発表したデータを問題にした

若手研究者に対する報復を否定するが……。

ウィスコンシン大学マディソン校(米国)動物学科に所属する遺伝学のポスドク Aaron Taylor は、上司との数か月にわたる軋轢あつれきの末、研究室が発表したデータに関して公然と疑問を表明した。その後、彼は、動物学科長 Jeffrey Hardin から3つの選択肢を提示された。①解雇されるのを待つか、②自発的に辞職するか、③「科学的不正行為の問題」を取り下げ、投稿論文を作成するまでの時間的猶予を得るという「寛大な出口戦略」を受け入れるか。

第3の選択肢については、まるで「司法取引」であり、研究室のデータに関する懸念に目をつぶらせようとしていると Taylor は抗議した。Hardin はこれには耳を傾けず、「何が自分自身にとって、より重要なのかを判断すべきだと思う」と言い、その後、「内部告発のようなことを始めたいかどうか、自身で決断する必要がある」とも話した。

Taylor は、Hardin に無断でこの2009年11月のやり取りを録音していた。これはウィスコンシン州法では認められている行為だ。Taylor は、その場では決断を拒否したが、その数日後、懲罰委員会が開かれる数分前に辞職した。彼は、自分が職を失ったのは、彼を雇ったウィスコンシン大学マディソン校の教官 Yevgenya Grinblat の研究室の発表したデータに異議を唱えたからだとして主張する。しかし、大学側は Grinblat の研究上の行為を支持し、Grinblat の調査

はしていない。Grinblat は、Taylor が失職したのは「無礼千万な態度」があったからだと話している。

### 性格の不一致が、事をややこしくする

この出来事は、研究の公正をめぐる、研究室内の下位の研究者が上位の研究者と衝突したとき、どんな状況が起こりうるのかを明示している。内部告発者は、たとえ彼が間違っていたとしても、誠実に行動しているかぎりは報復から守られることになっている。しかし、この衝突に「性格の不一致」という問題が加わることがよくあり、そうなると、かなり歯切れの悪い結果になることがあるのだ。

Taylor の事例では、学科長 Hardin は、報復が行われたことを強く否定し、「重大な人事上の問題があった」ために Taylor の契約を解除する措置がとられたのだ、と話している。Grinblat から提供された電子メールには、Taylor が、Grinblat のデータを問題にする前から大学内外で同僚に対して否定的態度をとっていたことが書かれており、それについて Grinblat が助言を求めていたことも示されている。

ただ、たとえそうだとした場合、Hardin が Eric Wilcots 副学部長(数学・自然科学)に宛てた電子メールは、Taylor の告発が彼の失職の一因だったことを意味しているように思われる。この電子メールには、Taylor が「不適切と思われる通信」(Grinblat が研究者・研究室長と

して不正行為をしたとする辛辣しんらつな電子メールのことを指す)を行っていたことが記されている。

Nature は独自に、研究上の不正行為を専門とするイリノイ大学アーバナ・シャンペーン校(米国)の法律学者 C.K. Gunsalus に、ウィスコンシン大学から提供された文書の精査を要請した。彼女は「大学側の行動を一見すると、少なくとも、内部告発に対して報復があったかどうか、疑義は生じています」とコメントしている。

内部告発者に対する報復は、「研究不正行為に関する連邦政府規律」によって禁止されている。この連邦政府規律は、政府から助成金を受けている研究機関が告発を処理する際のガイドラインで、Grinblat の研究室も政府からの助成金を受け取っている。ウィスコンシン大学にも内部告発者を報復から守ることを明示的に定めた規則がある。Taylor は、自分自身の経験には、上司の研究について異議を唱えようとする者にとっての教訓が含まれている、と話す。つまり、告発するときは、疑義の内容をはっきりと示し、該当法令を引用することが、報復の防止に役立つかもしれないというのだ。

今回、Taylor は、Grinblat 研究室でゼブラフィッシュの発生を調べていた。そのときに、同研究室から投稿されていた論文について疑問を感じた。彼が共著者となった論文 (*Development* 136, 3791-3800; 2009) では、特定のタンパク質の発現の変化を説明するために用いられたゼブラフィッシュ胚の画像が、定量的な裏付けがないまま選ばれていたと Taylor は思った。

電子メール記録によれば、彼は Grinblat にデータに関する質問をしたが、論文はそのまま投稿された。Grinblat は、これらの画像の使用が標準的な方法に従ったものであり、反復可能な実験に基づいている、と回答した。また、彼女は、Taylor が使いたかったかもしれない定量化方法は、その研究で観察

されていた遺伝子発現の変化を検出できるほど感度が高くなかったと付言した。

今となつては、生データを入手できないため、これらの画像がデータの誤用(あるいは恣意的選別)に当たるかどうかは立証できない、と Taylor は言う。彼は、ウィスコンシン州の公記録関連法規に基づいて生データの閲覧を請求したが、大学側は、教官のデータを公表することが学問の自由の侵害に当たると判断して、データの公表を拒否した。

画像をめぐる対立から数か月後、Grinblat が Taylor に対し、ある実験技術について詳細なプロトコルを提出するよう求めたとき、事態は重大局面を迎えた。Taylor は、彼自身が信頼性に欠けると考えるデータを公表するよう繰り返し圧力を受けたと Grinblat を非難し、この問題を学部長に訴え出ると脅した。それから間もなく、Taylor は、Grinblat 研究室から発表された論文の再現性と信頼性に疑問があるという内容の書簡を学科長 Hardin に送った。

圧力をかけられたという Taylor の主張について問われた Grinblat は、締切日を設定したのは、公表する良質のデータを彼から得るには、ほかにもう手段がないと思ったからだと答えた。また Grinblat は、Taylor は研究発表に異常に消極的だった、ともコメントしている。

### 不正行為の基準を満たしていない

Taylor の博士課程の指導教官だったブラウン大学(米国ロードアイランド州プロビデンス)の神経科学者 Justin Fallon によれば、Taylor は聡明で独創的な考えの持ち主で、研究室では単独で研究を進め、迅速に研究発表をしていたという。Fallon は「Taylor は、プロらしい態度で、効率的に研究に取り組んでいました」と言い、Taylor が研究室の厄介者だとする見方には賛成できない、と話した。

大学側から提供された Taylor への書簡には、Wilcots が Taylor から提出された証拠を審査し、その後、Taylor や



研究の公正をめぐる論争の中心となったゼブラフィッシュ胚

そのほかの者と面談し、Taylor の申し立ては大学の研究上の不正行為に関する基準を満たさないと判断したことが記されている。「彼が申し立てたのは、結果の有意性に関する共著者との見解の相違でした」と Wilcots は言う。ただし、Wilcots は、この判断を下す前に、ゼブラフィッシュの実験から得られた生データを見ていないと話している。大学側も、この問題に関する調査は行っていない。

法律家の Gunsalus は、文書を検討したうえで、Taylor の懸念には、不正行為の主張が含まれており、調査の実施が当然と考えられる事例だったという解釈を示している。

大学側は Taylor が辞任したのであって解雇したのではないと主張したため、Taylor はウィスコンシン州の失業手当を受給する権利がなかった。そこで彼は、同州の労働力開発部に不服申し立てをした。同部は、大学側の主張を認めず、彼の離職が自発的なものではなかったと裁定した。また、2010年に Taylor は同部に対して、内部告発者に対する報復の申し立てをしたが、別の州の研究機関に就職した後、その申し立てを取り下げた。

その後、Taylor は、自らの主張と懸念を米国研究公正局(ORI)に申し立てた。ORIは、米国立衛生研究所から助成金を得ている研究における不正行為の主張を管轄している。ORIは、2010年に Taylor に対し、この問題に関して大

学側が十分な調査を行ったかどうかを調べていると伝えたが、報復の点については、Taylor がウィスコンシン州労働力開発部に不服申し立てをしたため(この時点ですでに無効となっていたが)、それ以上の行動をとらなかった。

ウィスコンシン大学の William Mellon 副学部長(研究政策)は、この件に関して ORI から電話連絡があったと話すが、それ以上の調査は行われていない。

Taylor の解雇のタイミングと性格の不一致という2つの事実は、あいまいな結果を避けるには、格別の注意が必要だったことを示唆している。しかし、Mellon は、大学側が適切な対応をとらなかったという見解には驚きを見せ、不正行為に対して強い態度で臨むのは当然で、大学は必要ならそう行動するが、「基準に適合しないときに、とるべき行動などありません」と話す。

Taylor 自身は、今回の出来事に関しては心の整理がつき、新たに就職した研究機関(Nature は具体名を公表しないことに同意した)での研究生活に満足している。ただし、ウィスコンシン大学による今回の出来事の処理の仕方には幻滅を感じていると話した。「内部告発者に対して大学の報復を許さないことは、科学の公正にとって非常に大事だと思います」と Taylor は話している。

(翻訳: 菊川 要)



ES 細胞系列から作り出された変異マウスは、ヒト疾患の解明に役立ってくれるだろう。

## ノックアウトマウスのライブラリー 完成まであと一息

### Mouse library set to be knockout

ELIE DOLGIN 2011年6月16日号 Vol. 474 (262)  
www.nature.com/news/2011/110615/full/474262a.html

全遺伝子をそれぞれ破壊したノックアウトマウスのライブラリーを構築する  
国際プロジェクトが、いよいよ佳境に。

ヒトゲノムプロジェクト以降で最大の国際的な生物研究プロジェクトが、いよいよ大詰めに入った。2006年に北米とヨーロッパで始動したこのプロジェクトは、マウスのゲノムにある2万個余りの遺伝子をそれぞれ無効化（ノックアウト）した細胞系列のライブラリーを作り、研究者に提供できるようにすることをめざしている

開始からすでに5年の歳月と1億ドル（約80億円）以上が費やされているが、今、作業のペースがしだいに速くなっている。ヘルムホルツセンター・ミュンヘン（ドイツ）の発生遺伝学研究所所長で、プロジェクトのヨーロッパ地域のリー

ダーの1人でもある Wolfgang Wurst は、「プロジェクトはあと3年以内に完了するでしょう」と話す。

「このライブラリーは、マウス遺伝学の研究者はもちろんのこと、哺乳類の生理学に関心を持つすべての研究者や企業、さらには、より優れた医薬品の設計や医療の構築を考えるあらゆる研究者に、多大な恩恵をもたらすでしょう。これは過去1世紀の科学史の中で、最も重要な生物研究資源の1つです。決して大げさな表現ではありませんよ」と、英国医学研究会議（MRC）の哺乳類遺伝学部門（ハーウェル）主任である Steve Brown は言う。

これまでは、特定の遺伝子がかかわるヒト疾患のモデル動物として、遺伝子操作によって対象遺伝子を欠損させたマウスを作り出すのに、通常、数年を費やしていた。時間も労力もかかる大変な作業だったのだ。また、作業がすべて終わり、ノックアウトマウスが完成しても、それをほかの研究者と共有することは、いろいろな問題があり簡単にはできなかった。そこで設立されたのが国際ノックアウトマウス・コンソーシアム（IKMC）である。IKMCの目的は、ノックアウト操作が可能となすすべての遺伝子をそれぞれ欠損させたマウス胚性幹細胞（ES細胞）系列のライブラリーを作製し、そして、詳しい研究をしようとする研究者らにこれらの細胞を提供することである。

その実現に役買う新しい技術が、最近、*Nature* に報告された（W. C. Skarnes *et al. Nature* 474, 337–342; 2011）。毎月数百個の遺伝子を高精度で操作できる「ハイスループット遺伝子ターゲティング・パイプライン法」という技術だ。これを開発したのは、ウェルカムトラスト・サンガー研究所（英国ヒンクストン）の Bill Skarnes と Allan Bradley である。彼らサンガー研究所チームは、ドイツおよび米国の研究者と共同で、すでにマウス ES 細胞の遺伝子を9000個以上不活性化した。順調に進めば、今後2、3年で7500個以上の遺伝子をノックアウトできるだろう。「現在、ノックアウト細胞系列の作製ペースはピークに達しています」と Skarnes は話す。

サンガー研究所チームのライブラリーにある特注のノックアウトマウスには、それぞれ、「条件的対立遺伝子」が加えられている。この挿入された対立遺伝子を認識する酵素を適当な時期に加えることで、マウス生体のすべての部位、また発生・発育のすべての時点で、対象とする遺伝子を機能しないようにできる。このおかげで、欠損させると発生途中でマウスが死んでしまうような遺伝子でも、調べることが可能になったのだ。

「これは実にすばらしい成果です」と、

マニトバ大学（カナダ・ウィニペグ）の遺伝学者で、IKMCカナダ地域のリーダーである Geoff Hicks は言う。「この論文のおかげで、ロックアウトマウス作製の技術に革新的な手法が導入され、達成不可能だと思われていた難題を乗り越えることができたのです」。

この国際プロジェクトでは、条件的手法以外の方法で、さまざまな研究グループが数千個余りの遺伝子を不活性化している。米国テキサス州、カナダ、ドイツの研究者らは、ターゲッティング法（基本的に DNA 相同的組み換えを利用）でなく、遺伝子トラップ法という、マーカー遺伝子を組み込んだトラップベクターを導入して遺伝子を破壊する方法で、1万2000個近い遺伝子を変異させた。また、米国ニューヨーク州タリータウンに本社のある Regeneron Pharmaceuticals 社は、小さい遺伝子に効果の高い技術で、約3500個の遺伝

子を特異的に標的にしてロックアウトした。しかしながら、この技術は、マウスでは条件的ロックアウト法よりも柔軟性がやや劣る。「こうした手法は補完的なものです」と、Regeneron社のゲノム工学技術のシニア・ディレクター Aris Economides は話す。「今回の新技術は、エンドユーザーのために力を十分に発揮してくれるでしょう」。

これまでのところ1万7000個ほどの遺伝子がロックアウトされており、残りは3000個余りである。しかし、サンガー研究所チームは、遺伝子トラップ法で破壊した遺伝子の大半を、条件的ターゲッティング法によるロックアウトで置き換えたいと考えている。なぜなら、ターゲッティング法のほうが、個々の遺伝子をより高い精度で操作できるからだ。

すでに、得られた約1000のES細胞系列から変異マウスが作り出されており、米国、カナダ、ヨーロッパにある

IKMCの保管庫には、毎月、数百件の新しい注文が来ている。次の課題は、破壊したそれぞれの遺伝子本来の機能を調べることだ。この目標達成のため、米国立衛生研究所は2010年、国際マウス表現型解析コンソーシアム（IMPC）に2011年からの5か年計画で1億1000万ドル（約88億円）を提供し、IKMCの変異マウス約2500系統を特徴解析することを表明した。もし、この第一期が成功に終われば、さらに1億1000万ドル（約88億円）を注ぎ込んで5000系統の特徴解析をする計画だ。

「マウスの遺伝子ロックアウトは、マウスの全遺伝子のそれぞれの機能を突き止めるという難儀な課題に比べれば、まだ簡単ですよ」と、テキサスA&M社保健科学センター（米国ヒューストン）の遺伝学者 Richard Finnell は語っている。

（翻訳：船田晶子）

## イヌの動物実験を減らせ

### Call to curb lab tests on dogs

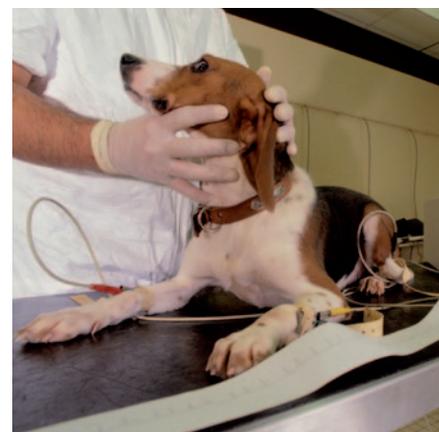
MARIAN TURNER 2011年6月30日号 Vol. 474 (551)  
www.nature.com/news/2011/110628/full/474551a.html

イヌは時代遅れの薬物毒性試験で、いまだに「デフォルト設定」になっている。

製薬業界では、いまだに「人間のベストフレンド」に重苦を与えている。イヌではヒトに対する薬物の作用は十分に予測できないと考える研究者が多いにもかかわらず、欧米では、毎年数万頭のイヌが薬物毒性試験に使われているのだ。このほど、犬をこよなく愛するスイスの慈善家 Hildegard Doerenkamp が、動物実験の削減のための活動を支援している Doerenkamp-Zbinden 財団（スイス・チューリヒ）に多額の寄付を行った。こ

れがきっかけとなって、この敏感な問題に関する議論が始まった。

6月中旬、産学の毒物学研究者と動物愛護団体がブダペスト（ハンガリー）で会議を開き、今後の行動計画の策定や、100万ユーロ（約1億1000万円）を超える Doerenkamp の寄付金でどう変革を実現するかについて話し合った。会議では、*in vitro* 実験（ここでは、試験管内や培養細胞を用いた人工的な条件下での実験のこと）や齧歯類の動物実験では



薬物毒性試験などで、多くのイヌが使用されている。

得られないがイヌの実験で得られる情報とは何なのかを、研究者は明らかにする必要がある、という声が上がった。また、米国食品医薬品局（FDA）や欧州医薬品庁のような規制当局は、イヌ実験の要件を統一し、製薬企業が使う頭数を最小限に抑えるようにしなければならないという意見も出た。

規制当局は、一般に、齧歯類と非齧歯類の両方で薬物の毒性試験を行うことを要求する。非齧歯類での実験にはイヌが使われることが多いが、それは、イヌが実験動物として容易に手に入るうえに取り扱いやすく、また、多くの面で生理学的にヒトに近いからだ。薬理試験で使われるイヌの頭数は、研究目的で使われるすべてのイヌの約4分の3にも上る。

しかし、業界内外の研究者の間には、実験に最適の材料が必ずしもイヌだとは限らず、*in vitro* 実験で代替できることもある、という意見がある。「こうした意見や、イヌを実験で使うことに対する一般社会の憂慮にもかかわらず、イヌの実験を減らすための努力はほとんどなされていません」。こう話すのは、今回の会議を主催したジョンスホプキンス大学（米国メリーランド州ボルティモア）動物実験代替法センター（CAAT）の所長、分子毒物学者の Thomas Hartung だ。

一方、規制当局は実験の手続きを変えることには慎重である。もし新薬に何らかの有害な副作用が出れば、危険を見抜けなかった新しい実験法のせいだという非難が起こる可能性があるからだ。*in*

*vitro* の各種代替法で得られる毒性予測が、イヌ実験での結果と一致しなければ、規制当局の方針は変わらないだろう、と Hartung は語る。これまでに、唯一、薬物が不整脈を引き起こすかどうかの予測に利用される方法だけがそのレベルに近づいているが、国際的には妥当性が認められていないのが現状だ。

今後2、3か月以内に発表される行動計画で、CAAT は、イヌの実験結果のデータベースを設立することを求める予定だ。このデータベースは、イヌでしか確認できない生理学的作用を明示することによって、*in vitro* 実験で可能なものを明らかにする一助となる。CAAT はさらに、イヌが最適のモデルである実験と、ミニブタなどほかの動物で行うべき実験をより明確に定義することを求めるつもりでもある。ロシュ社（スイス・バーゼル）の毒物学者 Georg Schmitt は、製薬会社は、施設や実験計画書があるからというだけで当然のこのようにイヌを実験に使うべきではないと語る。「イヌは、ホルモンなど一部の物質に対して敏感すぎる場合があるうえ、消化器系の動きがヒトとは違うのです」と彼は言う。

また、イヌがモデルとして適していないとわかった実験を明らかにするべきだ、とも主張している。

この新しい活動は、10年以上前に医薬品試験の専門家 David Smith が創設したイニシアチブからヒントを得たものであり、その後、製薬大手のアストラゼネカ社（英国ロンドン）が採り入れ、現在では実験動物科学協会（英国ハル）が取り組んでいる。Smith は、イヌを使った実験についての非公式の話し合いに、12の製薬会社と愛護団体を集めた。この集まりでは、100種類以上の物質の実験計画書が評価され、用量試験に関する標準ガイドラインが作成された（D. Smith *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 41, 95-101; 2005）。これにより、1社当たり実験に使用するイヌの数が毎年120頭も減ったと、Smith は言う。

当時は、こうした活動を共同で行う正規の仕組みが存在しなかった。現在は、CAAT が公式の枠組みを提供している。ブダペストでの会議に先立ち、CAAT は、イヌの取り扱いと実験に関する最適な方法を共有するため、製薬企業の国際的な委員会を立ち上げた。

次のステップは、規制当局にも同様の流れを起こすことだ、と Hartung は話す。製薬企業は、1つの大きな地域の規制当局がイヌの実験を必要とすれば、イヌを使い続けるだろう。例えば、EU では12か月にわたるイヌでの慢性毒性試験が2006年に廃止されたが、FDA はいまだにその実験を求めているのだ。

こうしてイヌを用いた実験に新たな焦点が当てられたことで、動物実験に幅広い変化が起こることを、Hartung は期待している。「ただ実験に使うイヌの数を減らすのではなく、40年以上も採用されてきた毒性試験の標準規格を作り替えようという話なのです。そうした科学的根拠に基づく改善は、人類の保健衛生にも役立つはずですよ」と Hartung は語っている。

（翻訳：小林盛方）



# 広がるオープンアクセス出版

## Open access comes of age

JOHN WHITFIELD 2011年6月23日号 Vol. 474 (428)

www.nature.com/news/2011/110622/full/474428a.html

登場から 20 年近くになるオープンアクセス出版は、緩やかな安定成長期に入った。

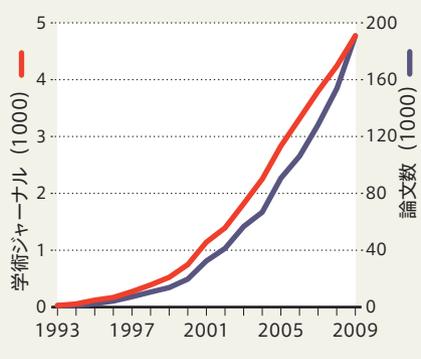
今年6月、オープンアクセスジャーナル *PLoS ONE* に、オープンアクセス出版に関する論文が発表された。それによると、無料で閲覧できるオープンアクセスの学術ジャーナルに掲載される論文は、毎年20%のペースで増えているという (M. Laakso *et al.* *PLoS ONE* 6, e20961; 2011)。このことは、著者が掲載費用を負担して無料で論文を公開する「著者支払い型」が健全な手法であることを裏付けている。

ハンケン経済大学 (フィンランド・ヘルシンキ) の Mikael Laakso らによって行われた今回の分析では、完全オープンアクセス方式の学術ジャーナルの数も、毎年約15%ずつ増加していることがわかった (グラフ参照)。これには、新創刊のオープンアクセスジャーナルと、読者が購読料を支払う購読型からオープンアクセス方式へ転換したジャーナルの両方が含まれている。一方、購読型ジャーナルの増加は、毎年3.5%程度である。Laakso は、「オープンアクセス出版モデルは十分に機能していることが、自ら証明されたのです」と言う。

Laakso は、オープンアクセス出版の歴史を3つの時期に分けている。第1期は1993～99年の開拓期で、創刊されたオープンアクセスジャーナルの大半は、個人が立ち上げ、大学のサーバーをホストとする「自家製」ジャーナルであった。第2期は2000～2004年の革新期で、Public Library of Science (PLoS) などの出版社や、インフラとなるソフトウェアが登場し、電子ジャーナルの創刊

### オープンアクセスの扉が開く

オープンアクセス方式を採用する論文と学術ジャーナルの数は、2000年以降、着実に増加している。



が格段に容易になった。2005年以降は統合期で、イノベーションは鈍化したか、成長は続いているという。

Nature Publishing Group (NPG) も、こうした潮流を鑑み、今年6月、紙媒体なしのオンラインジャーナル *Scientific Reports* を創刊した。このジャーナルは著者支払い型方式を採用し、インパクトではなく技術的妥当性の面から査読を行う。創刊にあたり NPG は、*PLoS ONE* がヒントになったことを認めている。*PLoS ONE* は、2010年には6749本の論文を掲載し、世界最大の学術ジャーナルとなった。NPGのビジネス・ディベロップメント・ディレクター Jason Wilde は、*PLoS ONE* は「驚異的な成功」をおさめたと評価する。「これは、著者と読者の両方が、広い分野を取り扱い、査読が簡略な出版モデルを望んでいることを示しています」。Wilde は、*Scientific Reports* は、*PLoS ONE* のライバルとなり、オー

プンアクセスジャーナルのレベルアップに役立つだろうと語る。

非営利ロビー団体 Public Knowledge (米国ワシントン D.C.) のオープンアクセスプロジェクトを仕切る Peter Suber は、この傾向は「オープンアクセス方式の成功」を示していると言う。また、これまでのところ、オープンアクセスジャーナルの増加は出版業者を脅かしてはいないとも付け加える。

一方、サウザンプトン大学 (英国) の Stevan Harnad は、100%のオープンアクセス化をめざすなら、この程度の成長スピードで満足してはならないと言う。このほか、著者個人や所属機関のウェブサイトで論文を無料で公開するセルフ・アーカイビングや、オープンアクセスの料金を支払うかどうか著者が選択できるハイブリッド方式のジャーナルも増加はしているが、研究に必要なペースに比べると、増加率は小さすぎると語る。

現在の段階では、オープンアクセスジャーナルが購読型ジャーナルと競合しているのか、それとも、出版のニッチを開拓したのかは、わからない。Harnad は、オープンアクセスジャーナルのほとんどはベンチャーであると考えている。研究者に必要な学術ジャーナルの大半は、購読料によって成り立っており、著者支払い型モデルでは、研究資金提供機関が追加経費を捻出しているのが現状であるという。

オープンアクセス方式の需要をリードしてきた研究機関や研究資金提供機関がこのジレンマから抜け出すためには、助成金を受けている研究者が購読型ジャーナルで発表した論文をオープンアクセスのリポジトリにも登録することを義務付ける必要があると Harnad は言う。これにより浮いた資金を、著者支払い型オープンアクセス出版の援助に回すことができるのだ。「著者の支払う掲載費が確保されるまでは、出版社がオープンアクセス方式に転換することはないでしょう」と彼は語る。

(翻訳：三枝小夜子)

# 放射線被ばくによる生体への影響と治療法の研究を進める

日本のみならず、世界を震撼させた東京電力福島第一原子力発電所の事故。炉心溶融と圧力容器の損傷により大量の放射性物質が外部に漏れ出し、事態の深刻度は、最悪の「レベル7」と暫定評価された。放射線は人体にどのような影響を与えるのか？治療研究は進んでいるのか？放射線医学総合研究所緊急被ばく医療研究センター被ばく医療部体内汚染治療室の石原弘室長にうかがった。



—— Nature ダイジェスト：放射線には、どんなものがあるのでしょうか？

石原：放射線は「物質に対する透過性が高く、物質の原子をイオン化させるもの」の総称で、X線やγ線のような電磁波、電子線（β線）、中性子線、陽子線、ヘリウム原子核（α線）、炭素やネオンなどの原子を加速して得られる重粒子線など、小さな粒子から大きな粒子までが含まれます。放射線源としては、「宇宙から降り注ぐ」「自然界の放射性物質から放出される」「原子力発電所や加速器等で人工的に作られる」ものがあります。

東京電力福島第一原子力発電所の事故以来、環境中の放射線レベルが重大視されていますが、太古の地球には宇宙から強い放射線が常に降り注いでおり、大気などで放射線がある程度まで遮られるようになって、生物は海から陸へと進出できたと考えられています。なお、現在でも、ウランなどの鉱山付近では自然の放射線量がかなり多いことが知られています。

## 放射線に強い臓器、弱い臓器

—— では、なぜヒトは放射線に弱いのでしょうか？

放射線が、細胞中の物質を電離させて分解を促進するからです。おそらく、地球上の放射線量が多かった時代の生物には、放射線に対する耐性機構が発達していたと思われませんが、ヒトを含む脊椎動

物が繁栄したのは線量が十分に低くなってからだったので、耐性機構を失ったのでしょうか。

多細胞生物の細胞分裂では、遺伝物質であるDNA（デオキシリボ核酸）を傷のない状態でミスなく複製し、新しい細胞へと受け継がせる必要があります。DNAは「ある程度の可塑性」を持つ、比較的頑丈な物質ですが、放射線を照射されたり、活性酸素などの細胞内の物質にさらされることで傷ができてしまいます。傷ができて、元どおりに修復されれば問題ないのですが、放射線量が修復能力を超えると、細胞が正常に増殖できなくなって死滅したり、がん化に向かい始めます。

ヒトの場合、最も放射線に弱いのは、血球の生産工場である骨髄です。骨髄以外では、小腸粘膜や末梢血管が弱いことが知られています。逆に、骨格筋や脳神経などはかなり強いです。細胞分裂が盛んで、DNAの傷が致命的になるような細胞では放射線の影響を受けやすく、ほとんど分裂しない筋肉細胞などではDNAが傷ついたとしても生体への影響が小さいのです。

500ミリシーベルトを超える放射線被ばく（注1）では、骨髄の急性障害は貧血や免疫力の低下となって表れます。小腸については、6000ミリシーベルトを超えると、命にかかわるほどの消化機能の停止や粘膜からの出血が起きます。こうした急性障害を克服できても、DNA

に傷をもった細胞が増えることになるため、白血病や固形がんなどの発症リスクが高まります。

—— 内外での放射線被ばくの事例と研究について教えてください。

放射線による生体障害は1895年にレントゲンがX線を発見した当時から研究されてきましたが、日本では、原爆投下後、被爆者に白血病が多く発生したことで本格化しました。1954年には、アメリカの水爆実験によってマグロ漁船（第五福竜丸）が被ばくする事件が起きました。放射線医学総合研究所（以下、放医研）は、この事件をきっかけに作られました。現在では、重粒子線によるがん治療などの先端医療技術の開発も行っていますが、被ばく治療技術の開発は現在でも大命題です。

世界的には、放射線作業の際の被ばく事故などが、1年に数件程度のペースで発生しています。JCOウラン加工工場臨界事故（1999年日本茨城県東海村）のような高線量被ばくによる死亡事故も時折発生し、さまざまな治療法が試みられています。チェルノブイリ原子力発電所事故（1986年旧ソ連）ほど重大でなくとも、無関係な市民が低線量被ばくする事例もたまたま発生しており、その長期的影響については、現在も経過観察と研究が続けられています。

## 小腸粘膜障害の研究へ

——ご自身はどのような研究をされてきたのでしょうか？

私が9歳のときに、放射線科に勤めていた看護師の叔母が骨髄性白血病を発症して亡くなったことをきっかけに、放射線に興味を持ちました。博士（薬学）取得後、三菱化成生命科学研究所を経て、1987年に放医研に着任しました。

放医研では、主に2つの研究をしました。1つは、放射線被ばくで発生率が増える骨髄性白血病の発症メカニズムについて。もう1つは、ヒトを対象にした、放射線被ばくに対する生体防御や応答のメカニズムの解明です。加えて2007年から、小腸の急性放射線障害の治療をめざした研究も始めました。

——この春に、小腸粘膜障害研究の成果を発表されましたね。

はい、「ナンドロロン」という男性ホルモン様の物質に、小腸の粘膜障害を改善する効果があるとわかったからです<sup>1</sup>。骨髄障害については骨髄移植が適用できるほか、抗生物質やサイトカインなどの使用が可能です。ところが粘膜細胞が破壊されて出血がとまらなくなる小腸粘膜障害については、有効な治療法がありません。将来的には、再生医療を用いた治療法が開発されるかもしれませんが、放医研では現時点で可能な治療法を模索すべきだと考えたのです。一方、欧米では、婦人科のがんへの放射線治療で起きる小腸粘膜障害が問題視されており、やはり治療法の確立が急がれています。

今回、私たちは、さまざまな市販の医薬品を用いて、大量被ばくさせたマウスの小腸粘膜障害を改善するものがないか、スクリーニングを行いました。その結果、ナンドロロンを探し当てることができたのです。ナンドロロンは、強力な男性ホルモン（テストステロン）の構造を一部変えて作られた薬で、男性の更年期障害などに使われています。代謝物による副作用が少なく、タンパク同化作用を促進させる薬効を発揮するのが特徴です。

細胞レベルでも、培養した小腸粘膜細胞に性ホルモンを加えると効果が現れ、ナンドロロンが最も強力に細胞増殖を促進することを突き止めました。詳細は明らかではありませんが、小腸粘膜細胞にはさまざまな性ホルモンに反応する能力（受容体）があり、ナンドロロンによる男性ホルモン受容体の刺激が、組織を再生するための細胞増殖に必要な遺伝子群を活性化するのではないかと考えています。

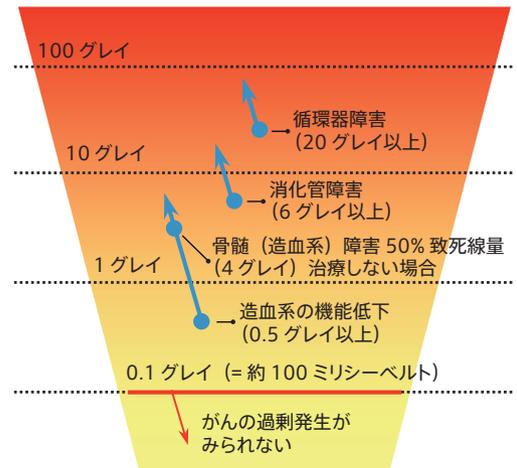
## 福島原発事故の影響と研究

——最後に、今回の原発事故の影響と今後の研究についてお聞かせください。

福島県での放射線被ばくによる人体への影響については、さまざまな考え方がありますが、過去の研究結果を重視するかが、100ミリシーベルトより低い線量での健康被害は通常は考えられません。ただし、子どもの甲状腺への影響については不明なことが多く、事故直後に放射性ヨウ素を多く取り込んだことが予想される胎児、乳児、子どもについては、長期にわたるケアがなされるべきだと思います（注2）。

牛肉や野菜などの汚染が大々的に報道されていますが、暫定基準が守られているかぎり、健康被害に至るといふ科学的根拠はありません。人体は生命維持のためにカリウムを必要としますが、体内に取り込まれるカリウム中には、もともと天然の放射性カリウム（<sup>40</sup>K）が一定量含まれています。体重60kgとすると、人体内に<sup>40</sup>Kが4000ベクレル含まれ（注3）、すべての細胞が至近距離から常に内部被ばくしていることとなります。そのほか、放射性炭素（<sup>14</sup>C）も2500ベクレル含まれ、国連科学委員会は2000年の報告において、これらの内部被ばくによる吸収線量を「1年当たり約0.3ミリシーベルト」と見積もっています。また、自然放射線による総被ばく線量は「1年当たり約2.4ミリシーベルト」と見積もられますので、今回の農作物による内部被ばく量はごくわずかといえます。

## 被ばく線量と急性放射線障害



私自身は、内部被ばくした放射性物質の体外への排出を促進するための研究も始めており、今回の原発事故を受け、成果の社会的な還元を急がなくてはならないと感じています。

——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）

注1 シーベルトは、ヒトなどへの影響の指標となる単位となるように算出されたもの。内部被ばく、外部被ばくにかかわらず、同一シーベルトならば、同等の影響があると考えられる。

注2 ヨウ素は甲状腺ホルモンの成分となるため、甲状腺で選択的に取り込まれる。ただし、放射性同位体のヨウ素 131 の半減期は約8日と短い。

注3 1000ベクレルの<sup>40</sup>Kを大人が経口摂取した場合の内部被ばく量は、50年間で総計6マイクロシーベルトと算出される。

1. Ishihara, H. et al. *Radiat. Res.* **175**:367-374 (2011)

## AUTHOR PROFILE

石原 弘（いしはら・ひろし）

（独）放射線医学総合研究所 緊急被ばく医療研究センター 被ばく医療部 体内汚染治療室室長。1985年、明治薬科大学大学院薬学研究科博士課程修了、1985年6月より三菱化成生命科学研究所細胞分子生物学研究室特別研究員。1987年4月より、放射線医学総合研究所化学薬学研究部研究員、1992年4月より主任研究官、2006年4月より緊急被ばく医療研究センター室長、2011年4月より現職。

## 社会神経科学

## 都市生活が精神疾患を誘発する？

## Stress and the city

DANIEL P. KENNEDY &amp; RALPH ADOLPHS 2011年6月23日号 Vol. 474 (452-453)

都会で生まれ育った人、あるいは都市出身でなくても都会で暮らす人の数は多い。

ストレスの多い状況に直面したとき、都会生活が脳機能にどういった影響を及ぼすのかについて、

今回、新しい神経画像化技術を用いた研究が行われ、社会環境と精神疾患との関連が初めて示された。

ヒト社会の様相は劇的に変化している。都会に住む人の割合は、1950年には世界人口の約30%でしかなかったが、今日では50%以上になり、そして2050年までにはおよそ70%にまで上昇すると考えられている<sup>1</sup> (図1)。社会から隔離されると弊害が伴うことがよく知られているが<sup>2</sup>、その逆の「人口過密」にも弊害が伴うようである。個体密度が高くなりすぎると、昆虫から齧歯類<sup>3</sup>だけでなく、ヒト<sup>4</sup>を含む霊長類でも、ストレスが生じて病気が引き起こされることがある。さらに、例えば都市に住む人ではうつ病や不安障害のリスクが上昇しており、統合失調症の罹患率も、都市で生まれ育った人では非常に高い<sup>5</sup>ことがわかっている。そうした理由から、ヒトの精神疾患は都会環境と関連があると考えられていたものの、神経系における過程との関連は明らかにされていなかった。今回、Lederbogenら<sup>6</sup>は、都会生活によって影響を受けるヒトの特定の脳領域について、機能的磁気共鳴画像法を用いて初めて調査し、Nature 2011年6月23日号の498ページで報告した。

この研究の参加者は、農村地域から都市までの「人口の異なる地域」に「住んでいる」、あるいは「住んでいた」人たちである (図2)。Lederbogenらは、参加者に社会的ストレスを感じる試験 (制限時間があるなかで難しい計算問題

を解くだけでなく、自分の成績についてよくない結果を聞かされる) を受けさせている間、彼らの脳のどの領域が活動しているのかを測定した。その結果、参加者の心拍や血圧、唾液中のコルチゾール (ストレス関連ホルモン) 濃度の上昇が見られただけでなく、感情やストレスに関与することが知られている脳領域においては、有意な活動亢進も引き起こされていた。

特に興味深いのは、「扁桃体」と「膝周囲部前帯状皮質 (pACC)」の2つの脳領域の活動に亢進が見られたことである。扁桃体の活動の亢進は、現在住んでいる都市の大きさと相関しており、また、pACCの活動の亢進は、小児期に大きな

都市に住んでいた期間の長さと同様に相関していたのである。さらに、扁桃体とpACCとの間の機能的結合 (ニューロン間で情報伝達をしあっている状態) の強さには「都会で育ったこと」が影響しており、大きな都市で育った期間が長いほど、これらの2つの脳領域間で機能的結合の低下が見られた。

すでに、似たような扁桃体-pACC間の機能的結合の低下が、精神疾患の遺伝学的なリスクと関連しているという報告がある<sup>7</sup>。また最近では、扁桃体は、交友関係の広さ<sup>8</sup>や、パーソナル・スペース (心理的な縄張り) を侵害されたと感じること<sup>9</sup>に関連があると言われていた。これらを考え合わせると、今回のLederbogenらの知見は、帯状皮質-扁桃体の回路が、精神障害の遺伝学的リスクと環境リスクの両方が収束する部位の1つかもしいことを示唆している。

現実の社会を研究する場合、関与する要因は非常に多く、また複雑であるため、都会生活の影響を示す結果が本当に信頼できるものであるのか、また、解釈が間違っていないかどうかを慎重に吟味しなければならない。そこで、Lederbogenら<sup>6</sup>はまず、結果の信頼性を確認するために、さらに2件の独立したストレス誘発試験を行った。その結果、参加者にストレスなく課題を行わせた場合の脳活動には、都会生活の影響が全く見られないことがわかった。

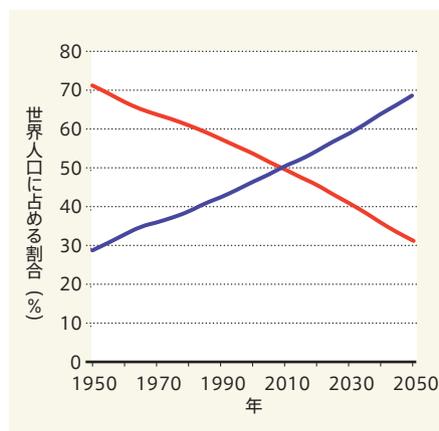


図1 都市の魅力

世界人口に占める都会 (青) および農村 (赤) 地域に居住している人の割合。(1950年から2050年までの予測値<sup>1</sup>を示している)。



図2 都市の大きさの分類

Lederbogenらは、都市の大きさを (a) 農村地域、(b) 1万人以上が居住する町、(c) 10万人以上が居住する都市と分類し、試験を行った<sup>6</sup>。その結果は、都市生活が脳の応答に影響を与えていることを示唆するものであった。

次に、解釈が間違っていないことを確認するため、ほかの要素（つまり、都会生活に関連するが、原因とは無関係の因子）の影響を受けていないことを検証する必要がある。しかし、こうした要素が非常にたくさん存在することを考えると、この検証は難しい。そこで、彼らはいくつかの可能性を調査するため、健康状態、心的状態、パーソナリティ、それまで受けてきた社会的支援の量、さらに参加者の年齢、教育、収入、結婚歴や家族状況についても検討した。そして、こうした要素のすべてが、今回得られた結果を有意に変化させることがないことを確認したのである。こうして、「都市環境に居住し、社会的なストレス要因にさらされると、機構は不明であるが、脳の応答が変化することが示唆される」と言えたのだ。

Lederbogenらの研究は、純粋な相関研究である。そこで、次の段階としては、大規模な縦断研究を行い、より多くの変数となる要素について測定することが求められる。都市生活をより詳細に個別化し、脳の活動と関連する要因を追跡することが必要、というわけだ。例えば、人口密度、家のタイプや広さ、あるいは社会的地位や見知らぬ人と遭遇する頻度なども、調査する必要があるのかもしれない。

ニューヨーク市のような大都会の生活を満喫する人もいれば、自ら望んで都市から無人島に移り住む人もいる。このように、どのような生活を好むのか、また、都市で快適に過ごせるかどうかは、人それぞれで異なるようだ。心理学の研究<sup>10</sup>によると、こうした多様性は、日常生活において自身で物事をコントロールできていると感じる「統制感の高さの程度」が重要な要因になっているという。ここから容易に想像できるのは、社会的な脅威、自己管理の欠如、劣等感といったものが、都市生活ではストレス作用を仲介する候補要因となる可能性だ。おそらく個人差の多くは、こうした「ストレスを仲介する要因」によって説明可能であろう。

今回の結果は、都市生活のよくない面ばかりを強調するものであったが、都市生活が常に悪いというわけではない。例えば、都市生活と自殺との複雑な関係について研究が行われ、多くの国では、都市よりも農村地方のほうが自殺率が高いことが示されている<sup>11</sup>。この研究結果についてはいろいろな解釈が考えられるが、都市のほうが経済活動が盛んであることや、刺激的で相互に影響を受けあう社会環境であること、また大規模な社会

的支援ネットワークがあることや医療機関が身近にあることが関係しているのかもしれない。

世界人口は今秋には70億人に到達すると推定されており、都市に住む人の数は今後もますます増えることだろう。今回の研究成果は、ヒトの精神面における健康に対して、都市の生活環境が及ぼす影響の大きさを理解することがどれだけ重要であるかを示した。今後、Lederbogenらの研究<sup>6</sup>を補完する研究が行われ、都市生活の影響についてより詳細に調べられれば、よりよい都市計画や都市構造の設計に生かすことができるかもしれない。

（翻訳：三谷祐貴子）

Daniel P. Kennedy および Ralph Adolphs はともにカリフォルニア工科大学（米国）。

1. <http://esa.un.org/unpd/wup>
2. Harlow, H. F., Dodsworth, R. O. & Harlow, M. K. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **54**, 90–97 (1965).
3. Calhoun, J. B. *Ann. NY Acad. Sci.* **51**, 1113–1122 (1950).
4. Hall, E. T. *The Hidden Dimension* (Doubleday, 1966).
5. Krabbendam, L. & van Os, J. *Schizophr. Bull.* **31**, 795–799 (2005).
6. Lederbogen, F. et al. *Nature* **474**, 498–501 (2011).
7. Pezawas, L. et al. *Nature Neurosci.* **8**, 828–834 (2005).
8. Bickart, K. C., Wright, C. I., Dautoff, R. J., Dickerson, B. C. & Barrett, L. F. *Nature Neurosci.* **14**, 163–164 (2011).
9. Kennedy, D. P., Gläscher, J., Tyszka, J. M. & Adolphs, R. *Nature Neurosci.* **12**, 1226–1227 (2009).
10. Fleming, I., Baum, A. & Weiss, L. J. *Pers. Soc. Psychol.* **52**, 899–906 (1987).
11. Hirsch, J. K. *Crisis* **27**, 189–199 (2006).

## 分子物理学

## 二原子分子からの放出電子が干渉する

## Matter-wave interference made clear

UWE BECKER 2011年6月30日号 Vol. 474 (586-587)

点光源からの光が2つの平行なスリットを通過すると、干渉縞が生じる。

これと同様に、二原子分子から放出される電子が、同じような干渉縞を作る可能性が指摘されてきた。

この40年来のテーマが、今回、ついに直接観測された。

水素分子などの二原子分子に紫外光を当てると、電子の波が2か所から飛び出して、干渉縞（明るい帯と暗い帯の繰り返し）を作るはずだと考えられてきた。スウェーデンのルンド大学マックスラボの Sophie Canton らは、今回、干渉が実際に生じていることを直接的に示すデータを実験で観測し、*Proceedings of the National Academy of Sciences* に報告した<sup>1</sup>。この干渉縞は、二原子分子が2つの中心から電子波を放出する物体として振る舞うことを、疑いのない形で示した初めての証拠だ。

光が粒子なのか波なのかという問いかけは、何世紀にもわたって続けられてきた。オランダの物理学者クリスティアン・ホイヘンスが1678年に光は波からなると提案したものの、英国の物理学者トマス・ヤングが1803年に古典的な二重スリット実験を報告するまでは、一般には、光は粒子だと見なされていた。ヤングは、点光源からの光で2つの平行なスリットを持つパネルを照らし、スリットを通過する光がパネルの後ろのスクリーンに干渉縞を作ることを観測した。この実験は、光が波の性質を持つことを疑いのない形で証明した。ところが、米国の物理学者アーサー・コンプトンは1923年、高エネルギー光子の散乱の研究で、光が小さな粒子の性質を持っていることを証明した。このときの物理学者たちの混乱ぶりを想像してほしい。

ヤングとコンプトンの矛盾する結果は、「粒子と波動の二重性」という形で解決された。この二重性は量子力学の核心にある概念であり、量子力学が古典物理学と大きく異なっている点の1つだ。事実、粒子と波動の二重性は光子に限らず、物質を含め、すべての量子力学的な対象が備える基本的な性質である。このことは1961年に光子ではなく電子を使った二重スリット実験によって示された<sup>2</sup>。この実験では、光で生じたのと似た干渉縞が観測され、電子が波の性質を持つことが証明された。それ以来、フラーレン（サッカーボール分子 C<sub>60</sub> など）<sup>3</sup> や巨大な有機分子<sup>4</sup> など、大きな量子力学的な対象も、二重スリット実験で波の性質を持つことが次々と確かめられた。生きている生物など本当にマクロなものでも、二重スリットで干渉を起こすかどうか、そんな実験も始まっている。

あらゆる二重スリット実験の基礎に、ハイゼンベルクの不確定性原理がある。この原理は、量子力学的な対象について、その位置と運動量を測定するときの正確さを制限する規則である。干渉縞を得るためには、量子力学的対象の運動量を正確に定め、その位置が2つのスリットの間隔よりも局在化されないようにしなければならない。こうした状況では、量子力学的な対象は「コヒーレント」(可干渉)になる。この非局在化が失われると、デコヒーレンス(干渉性の消失)が起こり、

干渉縞は消える。干渉縞を失わずに、ある対象がどちらのスリットを通過したかを決定できるかどうかは、いまなお研究と論争が続く長年の未解決問題である<sup>5</sup>。

さて、不確定性に基づくコヒーレンスのほかに、もう1つのメカニズムも同種の現象を起こすことができる。それは、空間的に離れた位置から放出された量子力学的対象のコヒーレントな重ね合わせで、「分子二重スリット」と呼ばれることが多い(図1)。1つの例は、窒素分子(N<sub>2</sub>)などの等核二原子分子が光の照射に反応して電子を放出するとき起こる(光電子放出という過程)<sup>6</sup>。電子は、分子の両方の原子からコヒーレントに放出され、電子波の位相は同位相か逆位相かのいずれかだ。だから、こうした系は通常二重スリット実験で見られるものと同じ干渉縞を作るはずである。

ハーバード大学化学科の Howard Cohen とシカゴ大学物理学科の Ugo Fano は1966年(いずれも所属は当時)、この類似性に初めて気づいた<sup>7</sup>。彼らは、両方の原子からのコヒーレントな放出を記述する波動関数を提案し、それによって光電子放出の部分断面積が、入射光のエネルギーに応じて振動することを予言した(断面積は光電子放出が起こる確率を示すもの)。

Cohen と Fano が彼らの発見を発表したとき、彼らの論文は N<sub>2</sub> と H<sub>2</sub> の価電子光イオン化(最外殻電子の光電子放

出)について、入射光のエネルギーに対して断面積をプロットした実験結果のグラフを含んでいた。このグラフは明らかな振動を示しており、CohenとFanoは予言された効果が初めてとらえられたものと解釈したが、予言された干渉による振動を示すデータはほかにはほとんど存在しなかった。しかし、二中心干渉が明確に証明されるまでには、 $H_2$ についてはそれから35年<sup>8</sup>、 $N_2$ についてはさらに長い時間がかかったのである<sup>6</sup>。

しかも、これらの論文<sup>6,8</sup>は、CohenとFanoが報告したような価電子ではなく、等核二原子分子における内殻電子の光イオン化の効果について、報告したものだ。また、これらの論文では、干渉を直接的には観測できないような方法を使い、結果に不確かさをもたらすデータの校正も必要であった。このため、なお2つの課題が残された。1つ目は、干渉による振動を直接観測できる方法を見つけること、もう1つは、価電子光イオン化が干渉縞を作る証拠を得ることである。

Cantonらは、この両方の目的を達成することに成功した<sup>1</sup>。彼らは二原子分子の「振動分解光イオン化」のスペクトルを得ることにより、これまでの内殻電子光イオン化実験につきまとっていた校正の不確かさを取り除いた。さらに、彼らの方法により、 $N_2$ と $H_2$ の価電子光イオン化を調べることができた。特に $H_2$ のデータは有用で、水素分子は、光イオン化のたいていの理論的研究において、モデル化の基準系となっているからである。

Cantonらの研究でいちばん思いがけなかったのは、一酸化炭素(CO)などの異核二原子分子でCohen-Fano振動が観測されたことだ。これらの分子では、最も内側の電子は2つの原子のどちらかにほとんど完全に局在しているので、Cohen-Fano振動は起こりえない。その代わりに、放出された電子がもう一方の原子のところ(位置)で散乱されて、別の種類の振動が起こり、その振動数はCohen-Fano振動の2倍になる<sup>9</sup>。

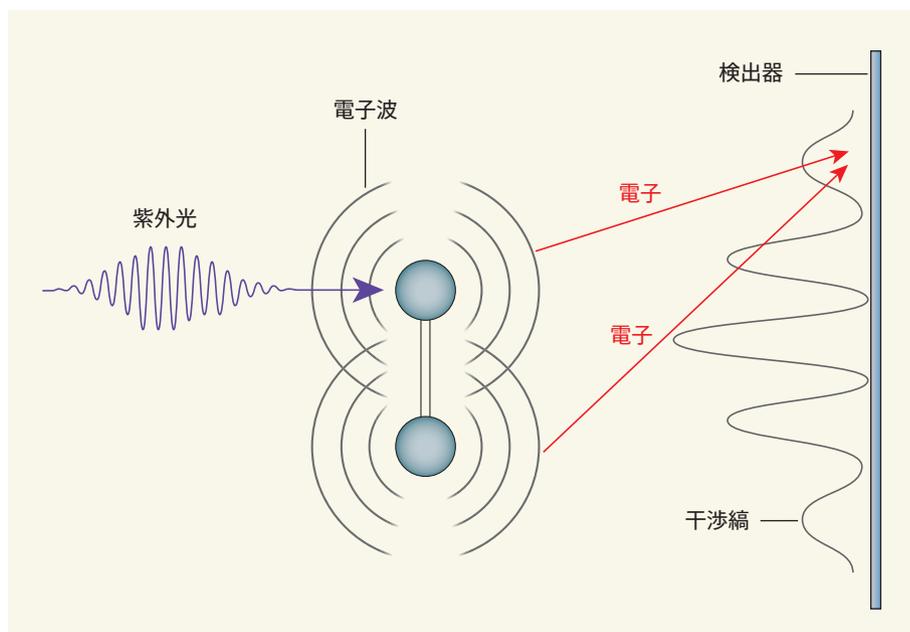


図1 1分子による二重スリット実験

二原子分子に紫外光を照射すると、光電子放出というプロセスで電子が放出され、電子波ができる。電子波は分子中の2つの原子の両方から放出され、位相は同位相か逆位相かのいずれかになる。このため、電子波の干渉縞ができ、適切な検出器を用いれば原理的には観測できる。しかし、干渉縞はほかの効果によって覆い隠され、これまで直接には検出されなかった。Cantonらは、分子の振動をうまく取り扱う方法を使って二原子分子の光電子スペクトルを調べ、干渉縞を直接的に観測した<sup>1</sup>。

しかし、COの価電子軌道は自然に非局在化している。もし、この非局在化が分子の両方の原子をカバーするほど大きければ、電子の放出はコヒーレントになりうる。したがって、CantonらがCOでCohen-Fano振動を観測した事実は、コヒーレントな価電子光イオン化が起きたとすれば説明可能である。これらの発見は、非局在化された電子軌道が二中心干渉の源として機能しうることを示している。それは、スリット幅(隙間の大きさ)が異なる場合のヤングの二重スリット実験に相当している。

二中心干渉は、高次高調波発生においても観測されている<sup>10,11</sup>。高次高調波発生は、強いレーザー場にさらされた分子が低エネルギーX線を放つ現象である。また、フラーレンは、一次元の二原子分子とよく似た光電子放出パターンを示すので、三次元の分子二重スリットと見なすことができるかもしれない<sup>12-14</sup>。こうした実験結果を見るまでもなく、コ

ヒーレントな二中心放出の研究から、今後思いがけない成果が次々と明らかになってくるであろう。量子コンピューターなどへの応用も考えられ、ますますエキサイティングな研究テーマとなりつつある。

(翻訳: 新庄直樹)

Uwe Becker, マックス・プランク協会フリッツ・ハーバー研究所分子物理学部門(ドイツ・ベルリン)、およびキング・サウド大学物理学科(サウジアラビア・リヤド)。

1. Canton, S. E. et al. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **108**, 7302-7306 (2011).
2. Jönsson, C. Z. *Phys.* **161**, 454-474 (1961).
3. Hackermüller, L., Hornberger, K., Brezger, B., Zeilinger, A. & Arndt, M. *Nature* **427**, 711-714 (2004).
4. Gerlich, S. et al. *Nature Commun.* **2**, 263 (2011).
5. Kocsis, S. et al. *Science* **332**, 1170-1173 (2011).
6. Rolles, D. et al. *Nature* **437**, 711-715 (2005).
7. Cohen, H. D. & Fano, U. *Phys. Rev.* **150**, 30-33 (1966).
8. Stolterfoht, N. et al. *Phys. Rev. Lett.* **87**, 023201 (2001).
9. Zimmermann, B. et al. *Nature Phys.* **4**, 649-655 (2008).
10. Kanai, T., Minemoto, S. & Sakai, H. *Nature* **435**, 470-474 (2005).
11. Wörner, H.-J., Bertrand, J. B., Kartashov, D. V., Corkum, P. B. & Villeneuve, D. M. *Nature* **466**, 604-607 (2010).
12. Benning, P. J. et al. *Phys. Rev. B* **44**, 1962-1965 (1991).
13. Xu, B., Tan, M. Q. & Becker, U. *Phys. Rev. Lett.* **76**, 3538-3541 (1996).
14. Korica, S. et al. *Surf. Sci.* **604**, 1940-1944 (2010).

# 生物学者グールドの偽善

## Mismeasure for mismeasure

2011年6月23日号 Vol. 474 (419)

米国の著名な進化生物学者 Stephen Jay Gould (1941-2002) は、人種差別に反対するあまり、19世紀の医師 Samuel Morton の成果を意図的に歪めて、解釈・批判していた。

著名な研究が、著者の死後に問題視されたケースは、これまでも多数ある。例えば1978年、ハーバード大学（米国マサチューセッツ州ケンブリッジ）の物理学者 Gerald Holton は、ノーベル物理学賞受賞者であるロバート・ミリカンによる1913年の油滴実験の論文を取り上げ、データが恣意的に選択されたことを批判した。

逆に、批判自体が批判されたこともある。例えば1936年、英国の統計学者 Ronald Fisher は、オーストリアの修士グレゴール・メンデルを相手に、エンドウマメにおける遺伝継承パターンを実証したデータが整いすぎていると批判したが、2007年にハーバード大学の生物学者 Daniel Hartl とユタバレー大学（米国ユタ州オレム）の生物学者 Daniel Fairbanks はメンデルを弁護している。

こうした批判論文の最新刊が2011年6月に発表された。今回は、2002年に亡くなった米国の進化生物学者で著名な作家でもあった Stephen Jay Gould への批判だ。これは Gould の大半の業績とは関係ないが、一種独特のとげを持っている。

Gould は、1978年の論文 (S.J. Gould *Science* 200, 503-509; 1978) と1981年の書『*The Mismeasure of Man* (人間の測りまちがい)』の中で、19世紀の医師 Samuel Morton の仕事を批判した。Morton は、1839～1849年に発表した論文で、全世界の民族の数百点に及ぶ

頭蓋骨に基づいて頭蓋容量を測定している。Gould は「Morton の測定には無意識にバイアスが入っており、それは、白人の知能のほうが高く、したがって頭蓋骨も大きいという Morton の偏見に基づいている」と主張した。科学の世界では、不正行為よりも無意識の偏見を告発したほうが心に突き刺さることを、Gould は知っていたのだ。

今回の批判論文は、スタンフォード大学（米国カリフォルニア州）の人類学者 Jason Lewis らによるもので、Gould の主張が詳細に検証されている (J. Lewis *et al.* *PLoS Biol.* doi:10.1371/journal.pbio.1001071; 2011)。Lewis らは、ペンシルベニア大学考古学人類学博物館（米国フィラデルフィア州）に保管されている Morton のコレクションから、約300点の頭蓋骨を取り出して容量を再測定した。その際、各頭蓋骨がどの民族のものかわからないようにして測定した。そして、測定結果を Morton の測定結果と比較したが、Morton の測定結果が偏見によって歪められていたとする証拠は見つからなかった。

Lewis らは、Morton のデータに関する Gould の記述の誤りも具体的に指摘している。そのうえで「Gould はアメリカ先住民の標本を誤って定義し、アメリカ先住民に関する平均値を誤って過大に計算し、それを根拠として、Morton の示した平均値が異常に低いと主張した」とも述べている。

論文では、Gould が Morton の研究成果を意図的に歪めたという指摘はなされていない。しかし、共同著者の何人かは、インタビューでその可能性を示し、「もし Gould に几帳面な学者という定評がなければ、これほど厄介な問題とはならなかった」と語った。少なくとも、Gould の人種差別に断固反対する姿勢と Morton を見せしめにしたという思いが、Morton のデータの解釈に偏りを生み、そのために、Gould を偽善者にした可能性は高い。

著者の2人は「たとえ曲解されるおそれがあっても、科学者は、科学的事実を自由に立証しなければならない」と表明している。Lewis らは、方法とデータを文書に示して、その主張をほかの研究者が十分に検証できる形にしている。Morton もこの点は同様だったことが Lewis らの論文で示されている。何も隠さず記録を残せば、たとえ著者に客観性が欠けていても、科学全体の客観性は保持できるのだ。

Gould の説得力のある著作と称賛に値する反人種差別的な動機が、彼に関する事実の精査を遅らせる一因となった面は否定できない。それは非常に残念なことである。同様のことは、現在の科学者についても当てはまる。批判を未来の歴史家に委ねてしまってよいわけがない。■

(翻訳：菊川 要、要約：編集部)

# 沖縄科学技術大学院大学の船出

## Made in Japan

2011年6月30日号 Vol. 474 (541-542)

沖縄に今秋開学予定の大学院大学は、教員と学生の少なくとも半数が外国人で、やりとりはすべて英語で行われる。予想に反して、成功への道を歩み始めたようだ。

日本は、国際化を達成するために長い間苦勞を重ねてきた。1989年には世界に向けて、HFSP（ヒューマン・フロンティア・サイエンス・プログラム）を提供している。そして今年、沖縄科学技術大学院大学（OIST）がスタートする。11月に大学として認可される見込みだ（4ページのニュース記事参照）。

HFSP 事務局長を務め（2000～2009年）、現在は OIST 運営委員会共同議長を務めるノーベル賞受賞者 Torsten Wiesel は、かつて HFSP と OIST について、「日本と国際社会のかけ橋を築き、日本が国際社会を受け入れ、国際社会を受け入れられるようにするための日本政府の英知を示すもの」と語ったが、それは正しかった。

HFSP は、数十年間続いた好景気が終わろうとする 1989 年に、国際社会とのかけ橋として創設された。しかし、国際化という点では国内にほとんど何の変化も起こすことができなかった。しかし、今や情勢は切迫している。日本の国内産業は後退期に入り、若手研究者は減少傾向にある。国内経済は低迷し、ハイテク製造分野でさえ、中国や韓国などに追いつかれ追い越されている。一方で、人口の高齢化が進み、留学して研鑽を積もうという大学院生やポストドクも減っている。

外国人が滞在できるような学術環境を日本国内に構築する歩みは遅い。理化学研究所には比較的多くの外国人が所属し

ているが、大学では、2004年に国立大学の法人化があったにもかかわらず、自由度、柔軟性、異文化環境を実現するための学内改革は、十分には進んでいない。

教員と学生の少なくとも半数が外国人で、すべてのやりとりを英語で行う大学を設立する、というのは野心的な考え方だった。この構想を後押ししたのは、HFSP の現会長である有馬朗人と当時の与党自由民主党の尾身幸次代議士だった。有馬は、1990年代前半に東京大学総長の職にあったとき学内改革に取り組んで失敗していた。一方、尾身は、当時の内閣における力関係の偶然の産物として、科学技術政策と沖縄という一見無関係な分野を担当する大臣に任命された。

これらの要素に加えて、在日米軍基地の見返りとして 10 億ドル（約 800 億円）を国家予算から沖縄に投入することで、OIST ができあがった。OIST は、当時の情勢から生まれた気まぐれと思われた。早い時期から参加を決めていた科学者でさえ、実現には懐疑的だった。Wiesel もそうだったし、キャンパス建設に起用された建築家 Kenneth Kornberg も、*Nature* も同様だった（D. Cyranoski *Nature* 429, 220-221; 2004）。

しかし、いったん計画が決まれば、計画通りに事業を進めるのが政府というものだ。日本政府は OIST 建設を進め、Kornberg の設計によるリゾート地のようなキャンパスが完成した。キャンパス

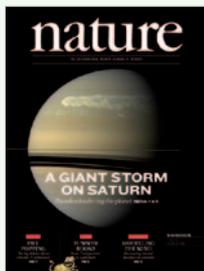
は海岸沿いの山にまたがって建てられ、上席研究員の執務室は、海と森のすばらしい景色が見えるよう、注意深く配置されている。さまざまな設備や機器がそろう、今、優秀な新規採用者が大学に集まっている。これは、主として、OIST の学長に内定している Jonathan Dorfman の尽力に負うところが大きい。

懸念材料がなくなったわけではない。質の高いポストドクや大学院生が集まらなければ、あるいは、科学者が履歴書に OIST の名を記すのはまずいと思ったなら、OIST は失敗に終わる可能性がある。ただ、この 1 年間に Dorfman が人材集めに成功したことから判断すると、課題は克服できると思われる。

一方で、OIST の教員数は 50 人に達しておらず、開学時の目標を大きく下回っている。勢いがついている今こそ、行動を加速すべきだ。例えば第三研究棟の建設を遅らせてはならず、建設予算を確保する必要がある。

OIST には、さらに大きな目標がある。それは、日本国内の大学のモデルとなることだ。この目標を達成するには、既存の大学が OIST を手本と認めるレベルまで、質を高めなければならない。OIST 出身者が日本の他大学でキャリアを続けたり、OIST の研究者が他大学と共同研究を進めたりすることで、それは達成されていくだろう。OIST に注目していきたい。

■  
(翻訳：菊川要)



Volume 475  
Number 7354  
2011年7月7日号



### 土星の巨大嵐：惑星を周回する雷雨



#### A GIANT STORM ON SATURN: Thunderclouds ring the planet

1876年以降、土星大気中では6回の大白斑（Great White Spot；GWS）事象が観測されている。これらの巨大な対流嵐は、約1土星年（地球の29.5年に相当）に1回生じている。2010年12月には6回目のGWSが起こり、集中的に観測された。本号には、観測結果の一部についての詳細を報告する、2つの論文が掲載された。1つの論文では、北半球の春の初めに弱い西向きジェットがピークに達した際、嵐が北緯域で成長したことを報告している。嵐の最前線はジェットよりも速く動き、惑星を周回する擾乱を引き起こした。また、この現象は土星の天候層へ深く広がるのが、数値シミュレーションから示された。もう1つの論文では、嵐の幅が3週間以内に1万kmに達したことを報告している。この嵐の稲妻閃光率は、以前の嵐で観測されたものよりもほぼ1桁高く、ピーク時には1秒当たり10回以上にもなった。表紙は、嵐が始まってから約12週間後の2011年2月25日に撮影された画像で、尾部を形成した雲が惑星に巻きついている。

### 医学：ファンコニ貧血におけるアルデヒド毒性

#### Aldehyde toxicity in Fanconi anaemia

ファンコニ貧血の患者では、発育不全、幹細胞の異常や、白血病になりやすいという傾向が強く見られる。また、その患者の細胞は、シスプラチンやマイトマイシンCなどのDNA架橋形成剤によるDNA損傷に対して感受性がある。しかし、細胞がこうしたがん化学療法剤に普段さらされることはない。では、ファンコニ貧血DNA修復経路によって修復されるDNA損傷の、本来の発生源とは何なのだろうか。今回、*Fancd2*（ファンコニ貧血遺伝子の1つ）と*Aldh2*（アルデヒド解毒酵素をコードする遺伝子）を欠損したマウスを用いた実験から、ファンコニ貧血では、アセトアルデヒドがDNA損傷の内在性発生源の1つであり、がんの発症しやすさや造血不全の一因となっていることが示唆された。これらのマウスモデルは、妊娠中に胎児がアルコールに曝露されることで生じる損傷の仕組みについても示唆している。

### 医学：抗ヒスタミン剤と受容体の複合体

#### An antihistamine/receptor complex

一般的な抗ヒスタミン剤は、Gタンパク質共役受容体（GPCR）の一種で、気道や腸管平滑筋、脳などのいろいろな組織に発現しているヒスタミンH<sub>1</sub>受容体（H<sub>1</sub>R）のアンタゴニスト（拮抗薬）である。今回、第一世代のH<sub>1</sub>R拮抗薬であるドキシセピン存在下でのヒトH<sub>1</sub>RのX線結晶構造が報告された。この結果から、ドキシセピンはほかのアミン作動性GPCRの構造に比べてずっと深いポケットの中に位置していることが明らかになった。薬剤とタンパク質の相互作用を解析することで、現在使用可能な薬剤よりも選択性が高く、副作用を引き起こす可能性の低い抗ヒスタミン剤の開発が進むだろう。

### 物理：固体アト秒科学

#### Solid attosecond sciences

アト秒技術は、フェムト秒レーザーパルスの電場を利用して電子を操作するもので、気相中の原子や分子に幅広く適用されている。数サイクルのレーザーパルスによって固体から遊離した電子も、

光の位相に強い感受性を示すと予測されているが、この効果の明確な観測結果は得られていない。今回、ナノスケールのタングステンチップからレーザー放出された電子のスペクトル中で、この現象が実証された。レーザーのキャリアエンベロープ位相に応じて、100%に達する電流変調と干渉が観測されたのだ。この成果によって、さまざまな固体系での集団電子動力学について、サブフェムト秒やサブナノメートルレベルで調べることが容易になるだろう。

### 物性：スピントロニクスにおける熱利用

#### Turning on the heat in spintronics

ゼーベック効果はよく知られた現象であるが、そのスピン版であるスピントロニクス効果も、さまざまな強磁性体（金属、絶縁体、半導体）で起こることが知られている。スピントロニクス効果では、帯状の強磁性体に温度差があるとスピンプラズマが生じ、帯の片端に上向きスピン電子が、もう片方の端に下向きスピン電子が集まる。しかし今回、これとはかなり異なる現象が報告された。強磁性体/酸化物/シリコン構造のデバイスに熱勾配があると、酸化物障壁を通してゼーベック電子スピン・トンネリングが起こるといったものだ。この結果は、非磁性半導体へのスピン注入や、スピントロニクスデバイスにおける熱の機能的な使用について、新たな機構を示している。

### 生化学：抗アミロイド薬の設計

#### Anti-amyloid drug design

アルツハイマー病などのアミロイド病は、本来は可溶性であるタンパク質が、枝分かれのない長く伸びたタンパク質凝集体である「アミロイド繊維」へと変化することに関与があると考えられている。この病原性アミロイド繊維の形成を阻害する薬は、特異性が十分に高ければ、治療薬として役立つ可能性がある。今回、アミロイド繊維の一部の既知の原子構造を鋳型として、構造に基づくコンピューター支援設計を行い、アミロイド繊維の形成を遅らせるD-アミノ酸ペプチドが作製された。



Volume 475  
Number 7355  
2011年7月14日号



## ジャガイモゲノム：世界中で食べられている南米原産塊茎作物の DNA 塩基配列

THE POTATO GENOME: The DNA sequence of the South American tuber eaten around the world

ジャガイモは食料安全保障において重要な作物である。今回、そのゲノム塩基配列が解読された。「ジャガイモゲノム塩基配列解読コンソーシアム」によって、ホモ接合性倍加一倍体のクローンに加え、ヘテロ接合性二倍体クローンのゲノム配列が明らかになったのだ。ゲノムを解析した結果、過去にゲノム重複事象が少なくとも2回生じていた痕跡が明らかになり、キク亜綱に特異的な遺伝子が多数発見された。今回の結果から、遺伝子の存在 / 非存在を引き起こす変異など、有害となりうる変異が多数生じていることがわかり、これが近交弱勢の原因となっている可能性が示唆された。この成果は、収量の増大や病害およびストレス抵抗性の向上といった、ジャガイモの遺伝学的改良を促進することだろう。

## 化学：自然から学ぶ天然物合成

A natural approach to natural product synthesis

今回、自然界で進化した2つの生合成機序を組み合わせることで、さまざまな天然物の合成を可能にする強力な手法が開発された。1つ目は有機カスケード触媒反応であり、従来の断続的な方法に代わり、連続的な触媒カスケード反応を使用する。2つ目は集団的合成 (collective synthesis) である。これは、一般的な合成経路によって共通の分子骨格を合成した後に適切な微調整を行うと、この分子骨格がパイプ役となって、同一化学族の複数の化合物が得られるというものである。この手法の有効性は、関心の高い6つのアルカロイドの不斉全合成によって実証された。

## 再生医療：脊髄損傷後の神経軸索再生

Axonal regeneration after spinal injury

頸部の脊髄に損傷を負った患者の主な死因の1つは、呼吸障害である。呼吸機能の回復を困難にしている要因は2つある。1つは、第四頸椎より上位に損傷が起こると、脳幹内の呼吸中枢から脊髄内の横隔運動核に至るインパルス伝導が遮断され、横隔膜活動が消失することである。もう1つは、成人では、

損傷後に脊髄神経軸索がほとんど再生しないことである。今回、脊髄損傷ラットモデルを用いた実験から、損傷後の軸索再生は、細胞外マトリックス中の分子群の発現量増加によって妨げられていることが示された。この分子群のコンドロイチナーゼによる分解と、脊髄の損傷部分をまたぐ形での末梢神経自己移植を組み合わせたところ、軸索再生後の呼吸活動に相当の回復が見られた。この結果は、脊髄損傷の一部において、損傷後の軸索再生と横隔膜機能の回復が可能であることを示唆している。

## 物理：軽いタッチの量子測定

Light-touch quantum measurement

光を使って単一の原子やイオンを検出する方法では、通常、光子のいくらかの自然散乱によって測定対象との間にエネルギー交換が起こって、測定対象の状態が変化する。このような相互作用で発生する熱は、原子を使った量子情報処理の場合に問題になる。また、この種のエネルギー交換は、量子力学において必要ない。今回、原子を光共振器中に閉じ込めることで、この問題を回避できることが示された。原子は共振器と強く結合するため、光と共振器との相互作用を検出すれば、原子の状態を調べ

ることができるのだ。実際、この光子は共振器に入ることなく原子を測定した。この方法は、基礎科学的な関心と呼ぶだけでなく、最近提案された中性原子の量子計算スキームを容易にすると考えられ、閉じた遷移がない分子や原子の高感度検出が可能となるかもしれない。

## 生理：より安全な心臓蘇生法をめざして

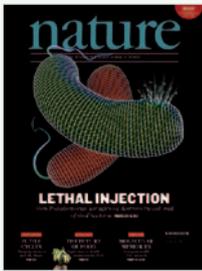
Towards safer heart resuscitation

心臓の除細動は、4000ボルトに達する単回の高エネルギー電気ショックを用いて行われるのが普通だが、心臓組織を損傷させるおそれもある。今回、低エネルギー電気パルスを用いて、心臓の細動の原因となる乱れた電氣的動態を制御できる仕組みが示された。イヌを用いた実験から、血管のような心臓組織に内在する「不均一性」を核として電氣的活動の波を発生させ、この電気波を不安定領域に作用させることで、組織動態の同期性を回復させられることが明らかになった。この「低エネルギー抗細動ペーシング (LEAP)」と呼ばれる新手法は、細動状態の心臓に低エネルギー電場パルスを連続5回与えるもので、標準的な除細動法に比べて平均84%も少ないエネルギーで済む。

## 宇宙：木星が段取りをつけた惑星形成

How Jupiter pulls the strings

太陽系の歴史において、巨大惑星は地球型惑星よりもずいぶん早い時期に形成され、原始惑星系円盤からの集積にはほんの数百年程度しかかからなかった。また、巨大惑星は非常に移動しやすく、その時間スケールはわずか10万年程度であった。今回の初期太陽系のシミュレーションでは、木星はまず内側へ移動し、その後外側に移動したことによって、縁を断ち切られた微惑星円盤が形成され、その後の3000万～5000万年の間に、この円盤から地球型惑星が形成された。地球型惑星の降着の停止はさらに後であり、火星質量が小さいといった地球型惑星の特徴は、太陽から約1天文単位の位置に外縁を持つ微惑星円盤を起源とすると、最もよく再現された。



Volume 475  
Number 7356  
2011年7月21日号



## 命を奪う一刺し：緑膿菌が、競合する菌の細胞壁を破壊する仕組み

**LETHAL INJECTION: How *Pseudomonas aeruginosa* destroys the cell wall of rival bacteria**

VI型分泌系（T6SS）は、タンパク質搬出装置の1つで、ゲノム塩基配列が解読された細菌のほぼ4分の1に存在する。細菌はこの系を使って、毒性エフェクタータンパク質を細胞どうしの接触を介してほかの細菌細胞に送り込むことができる。しかし、こうしたエフェクタータンパク質が目的地に到達してから何をするのかは、ほとんどわかっていない。今回、ヒトに日和見感染する病原菌である緑膿菌（*Pseudomonas aeruginosa*）が、エフェクタータンパク質である Tse1 と Tse3 という2種のペプチドグリカン分解酵素を T6SS を用いて注入し、競合するグラム陰性菌を殺すことが明らかになった。緑膿菌は、このような毒素に結合する免疫タンパク質を発現して、自身をエフェクターから守っている。表紙は、こうした細菌どうしの小競り合いを表している。供与側の細胞（赤）から受容側の細胞（緑）へ T6SS エフェクタータンパク質が送り込まれると、受容側の細胞壁は分解され、その結果、ペプチドグリカン層が破れてしまう。この図では、グラム陰性菌の外膜下のペプチドグリカン層を見えるようにするため、外膜は描かれていない。

で混合を制御する「インクジェット式印刷技術」を開発した。この貧溶媒結晶化技術によって、結晶性が並外れて高く均一な半導体薄膜が得られた。

## 地球：東北地方太平洋沖地震

**The Tohoku-Oki earthquake**

国土地理院が管理する全地球測位システム（GPS）観測網データの詳細な解析から、東北地方太平洋沖地震が発生した日本沿岸沖の巨大逆断層における、地震時および地震後のプレート間すべりの分布記録が得られた。地震時のすべり領域は日本海溝に沿って約400 km にわたっており、地震前の固着域と一致している。地震後のすべり領域は地震時のすべり領域と重なっていて、その周辺へと広がっている。このような測地的データは、他の沈み込み帯に沿った地域での地震発生の可能性について、予測を改善するために役立つと考えられる。

## 細胞：肝細胞様細胞への直行ルート

**A direct route to liver-like cells**

2つのグループから、肝臓工学や再生医療に用いる肝細胞様細胞の作出につながる可能性のある新しい手法が報告された。1つの論文では、Gata4、Hnf1 $\alpha$  および Foxa3 の過剰発現と p19<sup>Arf</sup> の不活性化を組み合わせることで、マウス繊維芽細胞を、成熟肝細胞に非常によく似た遺伝子発現プロファイルをもつ誘導肝細胞様（iHep）細胞に直接転換できることが示された。また、関谷明香（九州大学）と鈴木淳史（九州大学および科学技術振興機構）によるもう一方の論文では、Foxa1、Foxa2、Foxa3 のいずれか1つと Hnf4 $\alpha$  という2種類の転写調節因子の3通りの組み合わせによって、マウスの胚性繊維芽細胞および成体の繊維芽細胞を、機能を備えた iHep 細胞に直接転換できることが示された。2つのグループは共に、肝損傷モデルである遺伝子欠損マウスに移植した iHep 細胞が、肝臓へ生着でき、肝機能の回復も可能であることを示している。

## 遺伝学：「ポスト光」時代のゲノム塩基配列解読チップ

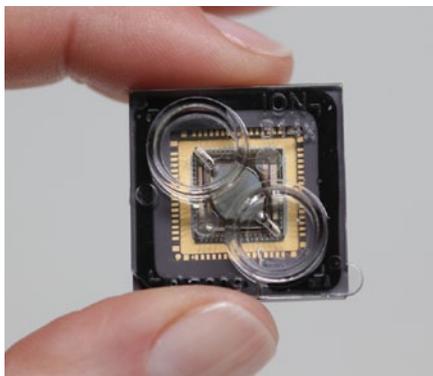
**'Post-light' genome sequencing chips**  
より安価でよりコンパクトな DNA シーケンサー開発においては、画像化技術の必要性といったいくつかの要因が障害となっている。今回、光学的読み取りを行わず、代わりに、鋳型指示 DNA 合成反応で生成される水素イオンを直接検知して塩基配列データを集めるといふ、新規の DNA シーケンシング技術が報告された。この手法は、大規模並列

処理半導体検出装置（イオンチップ）を用いた、廉価で拡張性の高い塩基配列解読法への道を開くものだ。この反応はすべての天然ヌクレオチドを用いて行われ、個々のイオン感受性チップは使い捨てで価格も安い。この装置を用いて、実際に3つの細菌ゲノムと1つのヒトゲノムの塩基配列が解読された。解読されたヒトゲノムは、「ムーアの法則」で有名なゴードン・ムーアのものである。

## 材料：薄膜トランジスターを印刷する

**Thin-film transistors in print**

電子デバイスで「半導体インク」を使って印刷することができれば、安価でフレキシブルな大面積電子機器のための有望な手段になると考えられている。しかし、そのようなデバイスは、印刷された材料の結晶性が比較的低いという問題を抱えている。峯廻洋美（産業技術総合研究所）たちは今回、半導体（C<sub>8</sub>-BTBT）溶液およびその半導体材料が溶けない液体という2種類の溶液の表面





Volume 475  
Number 7357  
2011年7月28日号



### 旅の道連れ：地球と軌道を共有するトロヤ群小惑星

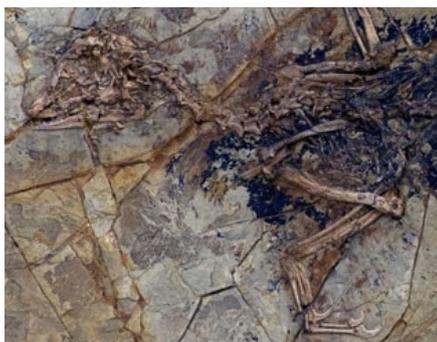
ALONG FOR THE RIDE: The Trojan asteroid that shares Earth's orbit

200年以上前に、数学者ジョゼフ・ルイ・ラグランジュは、後に「トロヤ群小惑星」と呼ばれるようになった小型天体の存在を予測した。この予測は、小型天体が、惑星の公転軌道内でその惑星の60度前方もしくは後方の「三角形の頂点」付近に位置していれば、惑星と同じ軌道を安定に共有できるというものである。木星には数千個のトロヤ群小惑星があり、火星と海王星にもいくつか存在する。今回、地球にトロヤ群小惑星があることが示された。NASAの広域赤外線探査衛星(WISE)によって集められたデータを調べたところ、小惑星2010 TK<sub>7</sub>が有力な候補であることがわかり、さらにその後の光学観測から、この小惑星が地球のトロヤ群小惑星であることが確認されたのだ。2010 TK<sub>7</sub>は、(先行の) L<sub>4</sub> ラグランジュ点周辺で振動している。表紙は、全体が眺められる地球軌道外の上から見た、2010 TK<sub>7</sub>の165年間の動きである。

### 進化：始祖鳥が「始祖」でなくなる？

Has Archaeopteryx fallen off its perch?

鳥のようで鳥でないのは、どんな動物だろう。その答えは始祖鳥ということになりそうである。最初の化石発見から150年が経った今、始祖鳥の「最古の鳥類」としての地位が危うくなっている。それは、この15年の間に、羽毛を持ち、鳥類に似た恐竜の化石が続々と発見されたためだ。今回、もう1つ新たな鳥類様恐竜の発見が報告されたことは、最後の駄目押しになりそうだ。新たな分析は暫定的ではあるものの、始祖鳥の系統分類上の位置を、デイノニクスなどの恐竜と同じくらい現生鳥類の祖先から離れていると見なす新時代に入りつつあることを、この論文は示唆している。



### 物理：維持された CPT 対称性

CPT symmetry upheld

CPT対称性(荷電共役変換、空間反転、時間反転に関する対称性)の原理は、反物質粒子の質量やその電荷の絶対値が、対応する物質粒子のものと全く同じであることを示唆している。堀正樹らは今回、反陽子ヘリウムの高精度2光子分光を行って、この原理を検証した。研究グループは、分光測定結果と計算結果を比較することにより、反陽子と電子の質量比の値を初めて導き出した。この結果は、既知の陽子-電子質量比の値と同等の精度で一致している。さらに、今回の研究では、反陽子と陽子の電荷-質量比を比較する際の精度を4桁向上させている。

### 宇宙：波によって加熱されるコロナ

Coronal heating is wave-powered

アルベーン波は、イオンと磁場の振動が伝播していくもので、太陽コロナでは2007年に初めて検出された。しかし、振幅が小さすぎ、コロナガスを数百万度まで加熱して太陽風を毎秒数百kmまで加速するようなエネルギーがどこから来るのかは、謎のままだった。

今回、遷移領域とコロナの観測結果から、外向きに伝播するアルベーン波的な運動が静穏な大気全体に広く存在し、その振幅は毎秒20km程度、周期は100~500秒程度であることが明らかになった。これらの観測結果から、このコロナ波は、大気全体を満たし、太陽大気外層のエネルギー収支に対して、主要な役割を果たすのに十分なエネルギーを持つことが示された。

### 免疫：T<sub>H</sub>17細胞の隠れ場所

Keeping T<sub>H</sub>17 cells under wraps

インターロイキン17を産生するヘルパーT(T<sub>H</sub>17)細胞は免疫系で重要な役割を担っており、関節リウマチや多発性硬化症など、多くの自己免疫疾患の病因に深くかかわっている。だが、免疫系が*in vivo*でT<sub>H</sub>17細胞を制御している仕組みは明らかになっていない。今回、CD3特異的抗体によって寛容を誘導したマウス、敗血症モデル、およびA型インフルエンザウイルス感染を用いた研究から、T<sub>H</sub>17細胞は小腸に遊走し、そこで「除去される」か「免疫抑制的な制御性を獲得するように再プログラム化される」という仕組みによって制御されていることが示された。この研究によって、消化管がT<sub>H</sub>17細胞制御の場であることが明らかになった。

### ||||||| 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)

3月11日の東北地方太平洋沖地震以降、プレートという言葉を目にする機会が増えました。日本は、太平洋プレート、フィリピン海プレート、ユーラシアプレート、北米プレートが会合しており、地震や火山の多発地帯になっています。今回の記事は、インドプレートとアフリカプレートの移動についてです。日本からは離れていますが、先だつてのスマトラ沖地震やチリ地震なども含め、ここ数年活発化しているように思われる地球全体の地殻運動を考えるうえで、重要になってくるかもしれません。



現在のレユニオン島の活火山、ピトン・ドゥ・ラ・フルネーズ

HEMIS/ALAMY

## nature news

語数：493 words 分野：地震学・地質学・地球物理学

Published online 6 July 2011 | Nature | doi:10.1038/news.2011.400

<http://www.nature.com/news/2011/110706/full/news.2011.400.html>

# Mantle plume propelled India towards Asia

Ancient hotspot is linked to the motions of African and Indian plates.

Sid Perkins

1. Evidence of historical irregularities in the motions of both the **Indian** and **African tectonic plates** bolsters the contention that plumes of hot rock rising from deep within Earth's mantle can drive the planet's tectonic plates.
2. About 68 million years ago, the tectonic plate that includes the **Indian subcontinent** — which, at that time, had yet to **slam into** southern Asia — lay northeast of Madagascar and was moving north-eastward at a tectonically typical few centimetres per year. Then, it suddenly **surged forward**, **racing along** at an average annual speed of more than 10 centimetres for about 15 million years, before gradually slowing to its earlier pace.
3. This extended period of rapid motion has been recognized since the late 1960s, says Steven Cande, a marine geophysicist at the Scripps Institution of Oceanography in La Jolla, California. But what most scientists have overlooked, he notes, is that during the same interval, the eastward motion of southern Africa slowed drastically and almost **ceased**.
4. In today's issue of *Nature*<sup>1</sup>, Cande and his Scripps colleague Dave Stegman suggest that the two **anomalies** are linked to another geophysical event, the arrival at Earth's surface of the **Réunion mantle plume**. This mass of hot, **buoyant** rock rose beneath what is now southern India about 67 million years ago, **spewing out** massive amounts of **basaltic lava**, and **eruptions** plagued the region for at least another 5 million years.
5. As the rising Réunion plume hit the lower surface of **Earth's crust**, it spread in all directions, much like the flow of water from a power hose slamming into a wall. Cande and Stegman **speculate** that **tectonic forces** generated by the plume's spread **acted** as a **'tailwind'** for the Indian plate, propelling it forwards, and **simultaneously** acted as a **'headwind'** for the southern end of the African plate, slowing it considerably. Then, as the plume **waned**, so did the forces driving the plates, and the Indian and African plates **subsequently resumed** their previous rates of motion.

## Baffling bends

6. The **jostling** of tectonic plates triggered by the Réunion plume may also explain other geophysical anomalies that occurred during the same period, including the previously **enigmatic bends** in the **fracture zones** along portions of the **mid-ocean ridge** southeast of Africa.
7. These anomalies, along with the **inferred** motions of the Indian and African tectonic plates, "are like the **skid marks** at a crash scene", says Cande. "Maybe no one saw what actually happened, but the clues can help you **figure it out**."
8. However, Dietmar Müller, a geophysicist at the University of Sydney in Australia, says that some recent studies suggest that the plate-driving forces that can be generated by mantle plumes are too modest to explain the acceleration of the Indian plate proposed by Cande and Stegman<sup>2</sup>. In addition, he adds, the boost in speed seems to have lasted several million years longer than the surface eruptions triggered by the Réunion plume. Nevertheless, Müller notes, the duo's findings do offer an **intriguing** solution to several **longstanding** geophysical puzzles<sup>3</sup>.

## Reference

1. Cande, S. C. & Stegman, D. R. *Nature* **475**, 47-52 (2011).
2. van Hinsbergen, D. J. J., Steinberger, B., Doubrovine, P. V. & Gassmöller, R. J. *Geophys. Res.* doi:10.1029/2010JB008051 (2011).
3. Müller, R. D. *Nature* **475**, 40-41 (2011).

## TOPICS

## プレートテクトニクス

プレートテクトニクスは、惑星などの表層部を構成する物質の運動を扱う理論のこと。現在、太陽系の惑星では地球だけにしか見られない。地球表面には、地殻とマントル上部からなる厚さ 100km 程度の岩盤であるプレート（テクトニック・プレート）が数十枚存在しており、下部の対流によって移動している。境界部は、運動のパターンによって次の 3 つに分けられ、地震、火山、造山活動などが見られる。

**発散型境界**：2 つのプレートが互いに遠ざかる。

両側の張力のために中央に溝ができ、そこに地下からマントル物質が上昇して形成されたマグマが湧き出している。典型が中央海嶺であり、上昇したマグマが海水で冷やされてプレートを生産している。海嶺が地上に現れた場所がアイスランドである。また、紅海はアラビア半島とアフリカ大陸が引き裂かれた場所であり、今も大陸が引き裂かれつつあるのがアフリカの大地溝帯である。

**収束型境界**：2 つのプレートがぶつかる。

比重の高いプレートと比重の低いプレートがぶつかると、重いプレートは軽いプレートの下に沈み込み、海溝を形成する。沈み込んだプレートは水分を多量に含んでいるため岩石の融点を下げるので、マ



グマが形成され火山活動が起こる。日本列島のように軽い大陸プレートと重い海洋プレートの衝突や、海洋プレートどうし（古いほうが重い）の衝突で見られる。一方、大陸プレートどうしの衝突では、お互いの比重が軽すぎてうまく沈み込めず、衝突部分が隆起する。インドプレートとユーラシアプレートの衝突でできたヒマラヤが典型である。

**平行移動型境界**：2 つのプレートが水平にずれ合う。

ここでは、横ずれのトランスフォーム断層が形成される。米国西部のサンアンドレアス断層が典型であるが、ほとんどのトランスフォーム断層は、海嶺部に存在する。

## SCIENCE KEY WORDS

タイトル **Mantle plume**: マントルブルーム

マントルの熱対流運動のこと。キノコ雲のように上昇するホットブルームと、下降するコールドブルームがある。

リード **hotspot**: ホットスポット

高温のマントルが上昇して、火山活動が生じている場所。

1. **Indian tectonic plate**: インドプレート

インド亜大陸とインド洋北部を含むプレート。東 Gondwana 大陸（マダガスカル島、インド亜大陸、オーストラリア大陸、南極大陸）から分裂したマダガスカルおよびインド亜大陸が、さらに 9000 万～6500 万年前に分裂してできた。

1. **African tectonic plate**: アフリカプレート

アフリカ大陸、大西洋南東部、インド洋北西部を含むプレート。西 Gondwana 大陸が、南米大陸とアフリカ大陸に分裂してできた。

2. **Indian subcontinent**: インド亜大陸

大きな大陸プレートに接した小さな大陸プレートを亜大陸という。インド亜大陸には、インド、バングラデシュ、パキスタン、ネパール、ブータンなどが含まれる。

4. **Réunion mantle plume**: レユニオン・マントルブルーム

デカン高原を形成したといわれるマントルブルーム。レユニオンは、マダガスカル東方の島で、現在でもホットスポットである。

4. **basaltic lava**: 玄武岩質溶岩

玄武岩の組成を持つ溶岩。玄武岩は SiO<sub>2</sub> の含有量が 45～52%、Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O 含有量が 5% 未満の火山岩。

5. **Earth's crust**: 地殻

地球地表からマントル境界部までの層。厚さは、海洋部で約 6km、大陸部で平均 30km だが、チベットの山岳地帯では 60～70km にもなる。

5. **tectonic force**: テクトニックな力

マントル対流やプレート運動などで生じる、地殻変動に関与する力。

6. **fracture zone**: 破碎帯

断層運動によって、岩石が破碎されてできた帯状の層。粘土や角礫が多く、隙間に水が入り込んでいる。

6. **mid-ocean ridge**: 大洋中央海嶺

大洋のほぼ中央にある海底大山脈。山脈の中央部分は深い谷（中軸谷）になっている。

## WORDS AND PHRASES

タイトル **propel**: 「進ませる」、「前進させる」

1. **bolster**: 「支える」、「裏付ける」、「強化する」

1. **contention**: 「主張」

2. **slam into**: 「～に激突する」

2. **surge forward**: 「前方に突進する」

2. **race along**: 「どンドン走っていく」

3. **cease**: 「停止する」

4. **anomaly**: 「異常」

4. **buoyant**: 「浮揚性のある」

4. **spew out**: 「噴出する」

4. **eruption**: 「噴出」

4. **plague**: 「悩ます」、「苦しめる」

5. **speculate**: 「推測する」

5. **act as**: 「～として作用する」

5. **tailwind**: 「追い風」

5. **simultaneously**: 「同時に」

5. **headwind**: 「向かい風」

5. **wane**: 「衰える」

5. **subsequently**: 「その後」

5. **resume**: 「回復する」、「復旧させる」

6. **jostling**: 「ぶつかり合い」

6. **enigmatic**: 「原因不明の」、「謎めいた」、「不可解な」

6. **bend**: 「湾曲」

7. **infer**: 「推論する」

7. **skid**: 「スリップ」

7. **figure ~ out**: 「理解する」、「解明する」、「わかる」

8. **intriguing**: 「興味深い」

8. **longstanding**: 「長年の」、「長年にわたる」

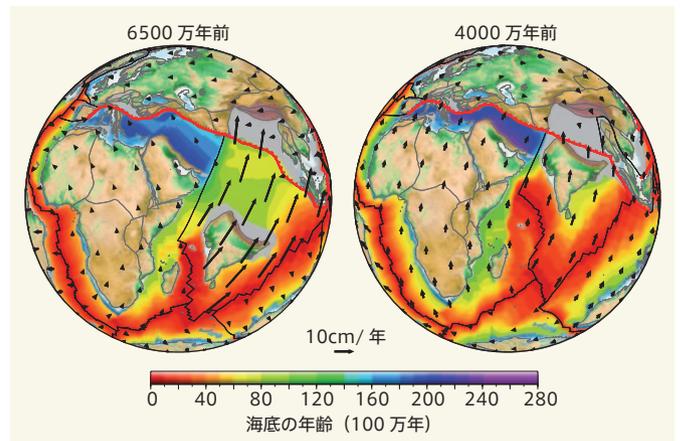
## 参考訳

## インドをアジアに 急接近させたマンタルプルーム

大昔のホットスポットがアフリカプレートとインドプレートの運動を結びつける。

シド・パーキンス

- 地球のマンテル深部から上昇してくる高温の岩石からなるマンタルプルームは、テクトニック・プレートを動かすことができると言われている。今回、インドプレートとアフリカプレートの両方が異常な運動をしていた時期があったことを示す証拠が得られたことで、この主張が裏付けられた。
- 今から約 6800 万年前には、インド亜大陸を含むプレートは、まだアジア南部に激突していなかった。それはマダガスカルの北東にあり、地殻運動に典型的な 1 年に数 cm という速度で北東方向に移動していた。それから突然、速度を上げて、1 年に平均 10cm 以上の猛スピードで進むようになった。この運動は約 1500 万年にわたって続き、その後、徐々に減速して、もとの速度に戻った。
- スクリプス海洋研究所（米国カリフォルニア州ラホヤ）の海洋地球物理学者 Steven Cande によると、インドプレートが長期にわたって高速で運動していた時期があったことは 1960 年代後半から知られていたという。ところが、同じ時期にアフリカ南部が東に向かう運動が急激に減速し、ほぼ停止していたことは、大部分の研究者が見落としているという。
- 今週号の *Nature* に掲載される Cande とスクリプス海洋研究所の同僚 Dave Stegman の論文<sup>1</sup>では、この 2 つの異常が、もう 1 つの地球物理学的事象と結びついているという見解が示されている。それは、レユニオン・マンタルプルームが地表に到達したことだ。このプルームは、現在のインド南部にあたる場所のマンテル中を上昇してきた高温で浮揚性のある岩石のかたまりで、約 6700 万年前に地表に到達すると膨大な量の玄武岩質溶岩を噴出し、それが 500 万年以上にわたって続いた。
- マンテル中を上昇してきたレユニオン・プルームは、地殻の下面にぶつかると、高压ホースの水を壁面に向けたときのように、全方向に広がっていった。Cande と Stegman は、プルームの広がりによって生じたテクトニックな力が、インドプレートに「追い風」として作用してその前進を促すと同時に、アフリカプレートの南端に「向かい風」として作用してその運動を大幅に減速させたと推測している。そして、プルームが衰えると、プレートを動かす力も弱まり、それに続いて、インドプレートとアフリカプレートの運動の速度は元に戻ったと考えられる。



6500 万年前 (左) と 4000 万年前 (右) のインドプレートとアフリカプレート

### 不可解な湾曲

- レユニオン・プルームによって引き起こされたプレート間のぶつかり合いは、同じ時期に起きたほかの地球物理学的異常も説明できるかもしれない。その 1 つが、アフリカの南東に位置する大洋中央海嶺の一部に沿った破砕帯の謎めいた湾曲である。
- こうした異常や、インドプレートやアフリカプレートの運動に関する推測は、「車の衝突事故現場に残されたタイヤのスリップ痕のようなものです」と Cande は言う。「おそらく、実際に起きたことを目撃した人はいませんが、残された手がかりから、何が起こったかを明らかにすることができるのです」。
- これに対して、シドニー大学（オーストラリア）の地球物理学者 Dietmar Müller は、最近の研究により、マンタルプルームがプレートを動かす力は弱すぎて、Cande と Stegman が提起したようなインドプレートの加速は説明できないと指摘する<sup>2</sup>。Cande はまた、インドプレートの運動の加速は、レユニオン・プルームによる地表への溶岩の噴出期間よりも数百万年長く続いたと考えられるとも付言する。とはいえ、Cande と Stegman による今回の知見は、地球物理学における長年の疑問のいくつかに関して興味深い解答を提示するものであると Müller は言う<sup>3</sup>。

(翻訳：菊川 要)

新規購読  
キャンペーン  
3か月無料購読  
プレゼント!

↑  
締め切り間近!  
8月31日まで



npg nature asia-pacific  
&  
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\*

最新号の

\*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。

新規購読キャンペーンお申し込みはこちらから  
[www.naturejpn.com/3mnt](http://www.naturejpn.com/3mnt)

npg nature asia-pacific

## EDITOR'S NOTE

太平洋にレアアースが大量に眠っているというニュース、すでに耳にしていると思います。中国によるレアアースの輸出規制が厳しくなっている昨今、ハイテク産業にとっては朗報です。とはいえ、採算ベースで採掘できればの話ではありませんが。それより皆さんは、機種変更した後の古い携帯電話をどうしていますか。実は、私は全部手元にあります。でもこれって、本当はすごくもったいない話ですよ。携帯電話に使用されている金やレアアースを回収すると、結構な量になるといいますから。あらゆる地球資源を消費してきた人間。今すべきことは、節電のみならず、こうした小さな節約なのかもしれませんね。ちりも積もれば山となる。(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、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。

