日本語で読む世界の最新科学ニュース

nature ダイジェスト

06
2013

結晶化不要のX線構造解析

初期宇宙の高精度な「地図」

恐竜胚の最古の化石

「生きた組織」を3D印刷

輝く女性科学者たち

スローな科学

“最も近い銀河”までの正確な距離

HeLa細胞のゲノムはエラーだらけ!

実在の論文誌をかたった詐欺事件

東日本大震災による瓦礫が続々と米国西海岸に

FROM 日経サイエンス
侵略アリどうしの戦い
宇宙のオタマジャクシ

10th ANNIVERSARY
日本語でNature since 2004

定価 680 円

Nature Publishing Group のメールマガジンは発行日 * に最新の情報を日本語でお届けします！

nature

毎週木曜日配信

今週のハイライト、今週号の目次を日本語で紹介します。同日メディアで見たニュースや気になる記事をすばやく見つけ、サイトにすぐにアクセスできます。その他、お得な情報、*Nature* 以外のジャーナルの最新コンテンツ（日本語翻訳）もお届けします。役立つ情報満載のメールマガジンです。

nature ダイジェスト

毎月 25 日配信

今月号の目次はもちろん、今月号の Hot topic、無料公開記事など紹介します。また、今年は *Nature* ダイジェスト創刊 10 周年の特別コンテンツを企画していますので、その最新情報も発信していきます。キャンペーン情報も見逃せません。

ご登録はたった 1 分、無料です。ぜひ、この機会にメールマガジンにご登録ください。

SCIENTIFIC REPORTS

毎週火曜日配信

最新の論文、注目のハイライト、注目の論文を紹介。最新の論文は、「生物」、「化学」、「物理」、「地球、環境科学」、「医療」の分野にまとめられており、研究領域の論文に素早くアクセス可能です。毎日新しい論文が掲載される *Scientific Reports*、メールマガジンなら週 1 回まとめてチェックできます。

nature COMMUNICATIONS

毎週水曜日配信

最新の論文、注目のハイライト、注目の論文に加え、毎月 1 本論文全文を無料公開しています。毎週発表される最新の論文には、日本語タイトルと要約を掲載し配信しているので、サイトにアクセスする前に、メールマガジンで内容をご覧いただけます。

**Scientific Reports, Nature Communications* はオンラインジャーナルのため、この通りではありません。

メールマガジン登録

nature.asia/jpn-register

nature publishing group

nature ダイジェスト
06
2013

2013 年 5 月 25 日発行
©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.
掲載記事の無断転載を禁じます。
www.nature.com/naturedigest

DANA SMITH

輝く女性科学者たち 10

表紙画像：CORBIS/AMANAIMAGES

科学界でも、なお男女平等は遠い。女性のキャリアにとってのハンデが子育てだが、それに挑む 4 人の 30 代女性を紹介する。

NATURE NEWS

02 恐竜胚の最古の化石が見つかった！

03 自己組織化する「生きた組織」を 3D 印刷する

06 津波漂流物とともに海を渡る生物への懸念

08 “ケイ素版グラフェン” に熱い視線！

16 ニセの論文誌にだまされるな！

17 製薬会社のデータを開示させる機運が高まる

NEWS SCAN

05 侵略アリどうしの戦い

05 宇宙のオタマジャクシ

NEWS & VIEWS

24 結晶化せずに分子構造を決定する「結晶スポンジ法」

JAPANESE AUTHOR

20 分子モーターの「回転する原理」を解明！ ── 村田 武士

EDITORIAL

31 抗生物質耐性菌対策に、機運が高まる

32 市民がいくら銃の犠牲になっても、変わらない米国

HIGHLIGHTS

33 2013 年 4/4 ～ 4/25 号

「Nature ダイジェスト」では、森林保全の支援を目的として、今号より FSC 認証* 紙を使用することと致しました。
＊ FSC 認証制度：適切な管理が行われている森林から産出された木材・木材製品に対して与えられる認証です。
http://www.forsta.or.jp/fsc-japan/fsc_1.html

26 スローな科学

現代科学は、高速かつ短時間という方向へと突っ走ってきた。しかし、速いばかりが能ではなく、数百年が必要な実験もある！

ROTHAMSTED RESEARCH

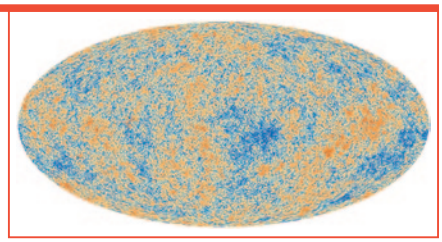
22 “最も近い銀河” までの正確な距離

天の川銀河のすぐ隣にある大マゼラン雲までの正確な距離が測定され、多くの宇宙の謎に、より厳密に迫れるようになった。

ESA/NASA/HUBBLE

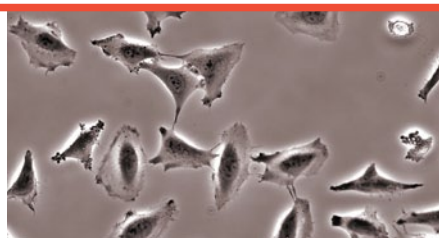
18 初期宇宙の最も高精度な「地図」

プランク宇宙望遠鏡を使って、これまでになく精密なマイクロ波背景放射地図が作製され、公開された。


PLANCK COLLABORATION/ESA

04 HeLa 細胞のゲノムはエラーだらけ!

実験用ヒト細胞として長く広く使われてきた HeLa 細胞は、ゲノム解読の結果、エラーだらけであることが判明した。


ISTOCKPHOTO

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

都合により、「英語で Nature」は休載致します。

恐竜胚の最古の化石が見つかった！

Oldest dinosaur embryo fossils discovered in China

Chris Palmer 2013年4月10日 オンライン掲載（doi:10.1038/nature.2013.12779）

今回見つかった化石群には、発生段階が異なる多数の個体が含まれており、また、陸上脊椎動物のものとしては最古の有機遺物も含まれていた。

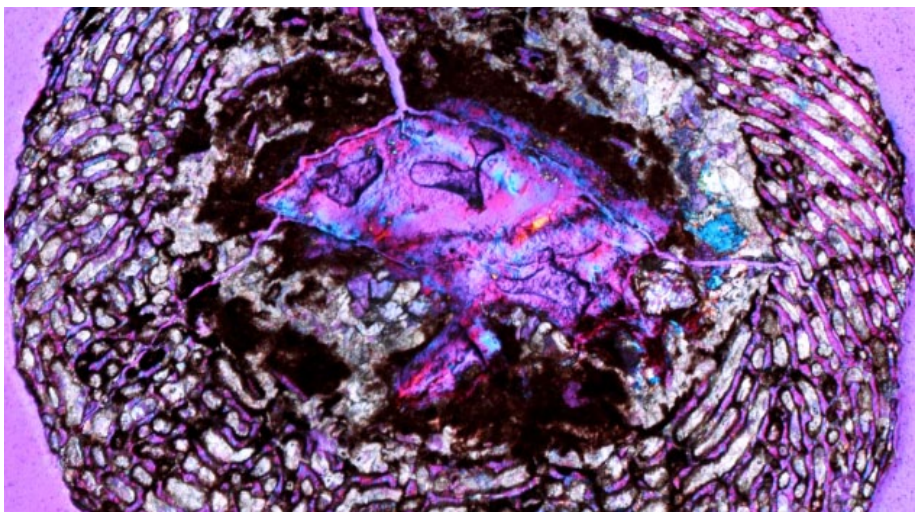
最古の恐竜胚、つまり孵化前の子ども恐竜の化石群が中国で発掘された。そこには発生段階が異なる多数の個体が含まれており、先史時代の生物種の胚発生を知るうえで、またとない機会が得られた。

トロント大学（カナダ・ミシソーガ）の古生物学者Robert Reiszの研究チームは、禄豊（ルーフェン）県のジュラ紀前期（約1億9700万～1億9000万年前）の骨化石包含層の中から、竜脚形類恐竜の化石群を発見した。この発掘区域には、複数の卵殻や、関節が外れた状態の骨が200点以上も含まれていた。これは、知られているかぎりでは、恐竜の胚の痕跡として最古のものである。研究チームはその成果を*Nature* 2013年4月11日号で報告した[1]。

王立オンタリオ博物館（カナダ・トロント）の脊椎動物古生物学学芸員David Evansは、「恐竜の胚の記録は、ほとんどが白亜紀後期（約1億～6600万年前）に集中しています」と語る。「今回の研究によって、恐竜の胚発生に関する詳細な記録が得られただけでなく、これまでの記録を1億年以上も塗り替えたことになります」。

研究チームによれば、今回の化石で注目すべき点は、その古さだけではないという。得られた骨組織の標本を分光分析した結果、陸上脊椎動物のものとしては最古の有機物が含まれていることが明らかになったのだ。Reiszによれば、化石化した大腿骨は多孔性で繊細なものであり、風化や地下水による浸食作用を受けやすいため、有機物が発見されたことは本当に意外だった、という。

「ということは、ほかの恐竜の化石にも有機物の遺物が含まれているかもしれません。まだ適切な方法で観察されていないからです」とReisz。



A. LEBLANC

ルーフェンゴサウルスの胚の骨は、恐竜の発生に関する新たな情報をもたらした。

タンパク質が教えてくれること

研究チームがその有機物の中に見いだした複雑なタンパク質は、保存されたコラーゲンだとReiszは考えている。コラーゲンの組成は種によって異なるため、研究を進めれば、その竜脚形類の化石をほかの生物と比較することができるかもしれない。比較の対象としては、初期の竜脚形類に近縁で、おそらくはその子孫と考えられる巨大な竜脚類が挙げられる。竜脚類は1頭で約100tもあり、地上を歩いた史上最大の動物だ。

今回の禄豊の恐竜は、2005年にReiszが南アフリカで発掘した竜脚形類「マッソスポンディルス」[2]の無傷の胚骨格と多くの点で類似しているため、研究チームはやはり竜脚形類だろうと考えている。ただ、研究チームによる分析の結果、2つの化石には重要な違いも見いだされた。禄豊の胚は、マッソスポンディルスの胚より発生が進んでいないため、別属の「ルーフェンゴサウルス」のように見える。

二足歩行する首の長い恐竜である竜脚形類の成体は、どのようにして体長9m（その全盛期にあってそれは地上最大の動物だった）まで成長することができたのか。今回見つかった胚は、その謎を解明するのに役立ちそうな情報も与えてくれた。大きさと発生段階が異なる24点の大腿骨を比較することで、ルーフェンゴサウルスでは、急激かつ持続的に胚が成長し、孵卵期間が短かったことを示す証拠が得られたのである。

Reiszによれば、ルーフェンゴサウルスは、捕食者よりも速く成長することによって捕食を免れるために、孵化後もその急激な成長速度を維持した可能性が高いという。「それが、こうした生物群の巨大化を説明するモデルとなるのかもしれません」。■

（翻訳：小林盛方）

1. Reisz, R. R. *et al. Nature* http://dx.doi.org/10.1038/nature11978 (2013).
2. Reisz, R. R., Evans, D., Sues, H. D. & Scott, D. *J. Vertebr. Paleontol.* **30**, 1653–1665 (2010).

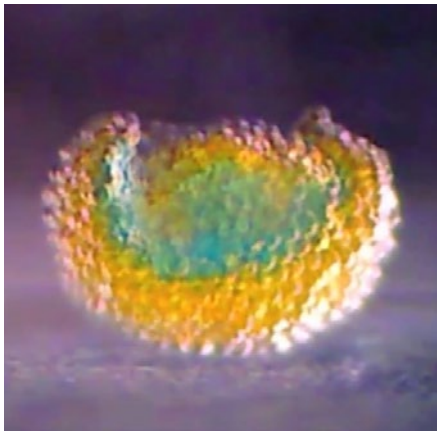
©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

自己組織化する「生きた組織」を3D印刷する

Scientists print self-assembling 'living tissue'

Beth Marie Mole 2013年4月4日 オンライン掲載（doi:10.1038/nature.2013.12743）

脂質で被覆した水滴を立体的に整列させて、
生体組織に似た構造物を3D印刷することに成功した。



3Dプリンターで印刷した構造物は、その全体を屈曲させることもできる。

オックスフォード大学（英国）の研究チームが、細胞をまねた水滴を作り、それらを立体的に整列させて、生体組織とよく似た構造物を作成した。

それは、3Dプリンターを使って微小な水滴を並べたゼリー状の構造物であり、筋肉のように収縮したり、つながったニューロンのように電気信号を伝達したりすることができる。彼らの研究は、*Science* 2013年4月5日号で発表された[1]。

論文の共著者である技術移転企業ケンブリッジ・コンサルタンツ社（英国ケンブリッジ）のGabriel Villarによると、この手法を用いることで、最大で3万5000個の水滴を並べた構造物を作ることができ、将来的には、人工組織を作製するための足場にしたり、臓器の機能のモデルにしたりすることが可能になるだろうという。「生きた組織をどこまで模倣できるのか、挑戦したいのです」。

構造物を形成する個々の水滴は、脂質の膜でぐるりと包まれている。この被膜付きの水滴は、厳密に調製した油と純粋な脂質の混合液の中に水滴を落とすことで形成される。

マジックテープ方式で密着

脂質分子は親水性の頭部と疎水性の尾部を持つため、混合液の中に水滴を落とすと、脂質分子の頭部が水滴の表面に付着し、尾部は混合液の方に突き出る。このような水滴が互いに近づくと、表面に突き出た疎水性の尾部どうしが、ちょうどマジックテープのようにくっついて、細胞膜の脂質二重層に似たものを形成する。この脂質二重層が、水滴の間に構造的・機能的な結びつきを生じさせるわけだ。

これまでの研究でも[2,3]、脂質で被覆した水滴どうしがそのようにしてくっつき合うことは示されていたが、水滴の成分が純粋な水であり、形が球状であったため、組織化させるのは困難だった。南デンマーク大学（オーデンセ）の生物医学工学の専門家David Needhamは、今回の研究には参加していないが、「私も多数の水滴を互いに結合させることはできましたが、Villarらが3D印刷に成功したことは画期的だと思います」と言う。

水滴を使った3D印刷には、巧妙な操作が必要だ。当時、オックスフォード大学のHagan Bayleyの研究室の大学院生であったVillarは、油と脂質の混合液を満たした深さ5mmの容器の中に、ガラス製のノズルから水滴を噴射する3Dプリンターを製作した。水滴が容器の底に向かって沈んでゆく過程で、脂質の被膜が形成される（nature.asia/nd1306-3dの下の動画を参照のこと）。

ノズルが水滴を1個落としたら、モーター付きの台が容器をほんの少しだけ移動させて、次の水滴が前の水滴の横か上に落ちるようにする。この動作を繰り返すことで、球形や立方体、さらには城や花の形に水滴を並べることができた。

Villarは次に、ノズルをもう1本追加して、2種類の水滴を同時に噴射できるようにした。そして、できあがった構造物が収縮できるようにするため、塩分濃度の低い水滴の層の隣に、塩分濃度の高い水滴の層を印刷した。水は脂質二重層を透過できるので、塩分濃度の高い水滴は、隣の水滴から浸透してきた水によって膨張する。Villarはこの方法で、構造物の全体を屈曲させることに成功した（nature.asia/nd1306-3dの上の動画を参照のこと）。

また、脂質二重層に孔（あな）をあける毒素を含んだ水滴を印刷して、電流がこの孔を通って流れるようにすることもできた。

クレムソン大学（米国サウスカロライナ州）の生物工学の専門家であるKaren Burgは、この技術はまだ初歩段階なので、臨床現場で用いたり、実際の臓器のモデルにしたりすることはできないという。「正確な情報を得るためにはどのくらい複雑な構造物を作る必要があるのか、これから長い時間をかけてじっくり議論していかなければなりません」。

「彼らの目標が生きた組織を作ることにあるなら、その道のりはまだまだ長いでしょう」とNeedhamは言う。「ただ、歩み出した方向だけは正しいと思います」。■

（翻訳：三枝小夜子）

1. Villar, G., Graham, A. D., & Bayley, H. *Science* **340**, 48-52 (2013).
2. M. A. Holden, D. Needham, H. Bayley, *J. Am. Chem. Soc.* **129**, 8650 (2007).
3. G. Maglia *et al.*, *Nat. Nanotechnol.*.**4**, 437 (2009).

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

HeLa 細胞のゲノムはエラーだらけ!

Most popular human cell in science gets sequenced

Ewen Callaway 2013年3月15日 オンライン掲載（doi:10.1038/nature.2013.12609）

科学の世界で最も有名なヒト細胞がHeLa細胞であろう。
今回、そのゲノム配列が解読されたが、中身はエラーだらけだった。
そのため、研究に使い続けることに疑問が生じている。

SPL/AMANAIMAGES

Henrietta Lacks。彼女のがん細胞からHeLa細胞が樹立された。

欧州分子生物学研究所（ドイツ・ハイデルベルグ）の遺伝学者Lars Steinmetzが率いる研究チームは、HeLa細胞株のゲノム配列を解読し、*G3* 2013年3月11日号で報告した[1]。

HeLa細胞は、Henrietta Lacksという患者から採取された子宮頸がん細胞から1951年に樹立された細胞株で、研究室で増殖させることができた最初のヒト細胞株だ。そのため、HeLa細胞を用いて報告された論文の数は、これまでに6万報以上にも及ぶ。古くは1950年代のポリオワクチンの開発から、ごく最近ではENCODEとして知られる国際的ゲノム研究まで、幅広く、また長い間、科学研究に貢献してきた。

しかし、他の多くの腫瘍細胞と同様に、HeLa細胞ではほとんどの染色体で1本以上の余分なコピーが存在するなど、この細胞のゲノムは異常でエラーが多いことが、これまでの研究から示されていた。

今回、Steinmetzの研究チームは、HeLa細胞の遺伝的変化をより詳細に調べるために、最も有名なHeLa細胞のKyoto株の塩基配列を解読し、ヒトの参照ゲノムの配列と比較した。

Steinmetzの研究チームは、正常な細胞では2本で対をなしている染色体が、HeLa細胞ではほとんどが3本で存在し、5本で存在する染色体もあることを確認した。また、正常な細胞では2コピーであるはずの遺伝子が、HeLa細胞ではその多くで大規模な重複が見られ、4コピー、5コピー、あるいは6コピーも存在する場合さえあった。さらに、11番染色体をはじめとしたいくつかの染色体では、まるで一組のトランプをシャッフルしたかのように染色体断片が入れ替わっており、遺伝子の配置が劇的に変化していた。

残念ながら、Lacksの正常細胞のゲノム配列も、また彼女のオリジナルな腫瘍のゲノム配列も存在していない。そのため、これらの変化がオリジナルな腫瘍にもともと存在していたものなのか、それとも継代培養の過程で獲得されたものなのかを明らかにすることは難しい。Steinmetzは、他の子宮頸がんでも11番染色体に大規模な再編成が見られるので、HeLa細胞に見られるこのような変化が、Lacksの細胞のがん化に寄与した可能性はあるという。

HeLa細胞の使い道

HeLa細胞は、60年間にわたって世界中の研究室で継代培養されているので、オリジナルの腫瘍DNAには存在していなかったエラーも生じていると考えられる。そのうえ、現存するすべてのHeLa細胞も同一ではないだろう。これを逆手に、HeLa細胞の進化を追跡すれば興味深い結果が得られるだろう、とSteinmetzは言う。

遺伝的変化がいつ生じたものであれ、これほどの異常があれば、HeLa細胞をヒトの細胞生物学的モデルとして使うことに疑問が生じる。例えば、HeLa細胞では約2000個の遺伝子が、重複のために、正常なヒト組織よりも高発現していることを、Steinmetzの研究チームは確認している。患者の皮膚細胞から樹立された人工多能性幹細胞など、HeLa細胞以外の細胞株の方がヒト生物学をより正確に反映していると、Steinmetzは言う。

HeLa細胞は、抗がん剤に対する応答など、子宮頸がんの生物学的側面の研究には有用かもしれないと、ウェルカムトラスト・サンガー研究所（英国ケンブリッジ）のがん生物学者Mathew Garnettは言う。近年では、多くの子宮頸がんゲノムが解読されているので、それらとHeLa細胞のゲノムとを比較することも可能だ。

HeLa細胞を基盤として行われた研究論文は山ほどあり、そこには遺伝学的に操作されたHeLa細胞株の情報や、今ではそのゲノム情報までもが記されている。このため、たとえHeLa細胞がヒト生物学の完全なモデルではなくとも、研究室ではなお、HeLa細胞は使用され続けるだろう、とSteinmetzは指摘する。「これからの10年間は、まだまだHeLa細胞が研究に使われ続けるでしょう。しかし、20年後はわかりません」。■

（翻訳：三谷祐貴子）

1. Landry, J. *et al. G3* http://dx.doi.org/10.1534/g3.113.005777 (2013).

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

侵略アリどうしの戦い

オオハリアリが米国に侵入し、先着アリとの戦闘を開始

アルゼンチンアリは南極以外のすべての大陸に進出し、数の多さと猛烈な攻撃性で在来種のアリを圧倒している。だが最近、この侵略者は米国で強力なライバルに出会ったようだ。それが、アジアからやってきたオオハリアリだ。

世界で1万2400種以上いるアリのうち、侵略性の種はほんの一握りにすぎない。しかし、それが大きな影響を及ぼす。侵略アリは、その土地で重要な役割を果たしている在来種を攻撃して、駆逐してしまうからだ。在来アリは庭師のように土壌を耕して種をまくが、侵略アリはそうした仕事をしないのが普通だ。

アジアとアルゼンチンからの侵略アリどうしの戦いは、偶然に見つかった。数年前、ノースカロライナ州立大学の昆虫学の研究チームは、同州モリスビルのオフィスパークでアルゼンチンアリの巣のネットワークを追跡していた。当時大学院生だったElenor Spicer Riceは、オオハリアリの巣をいくつか見つけ、「アルゼンチンアリの縄張りの中に別種のアリが巣を作れるなんて、とても異様だと感じました」。アルゼンチンアリは通常、ライバルを容赦しないからだ。さらに異様だったのは、オオハリアリがアルゼンチンアリを追い返していたことだった。

数で劣るオオハリアリは、どうやって足がかりを得たのか。不思議に思って耐寒テスト実験をしたところ、オオハリアリは、熱帯性のアルゼンチンアリよりもノースカロライナ州の温暖な気候にうまく適応しているらしいことがわかった。オオハリアリは3月には冬場の活動停止状態から抜け出すのに対し、アルゼンチンアリは4月末から5月初めにならないと活動を再開しない（論文は*PLOS ONE*の2月8日号）。とすると、オオハリアリがノースカロライナ州での戦いに勝利しているのは、単にここがアルゼンチンアリの生息の北限であるからだけかもしれない。

オオハリアリの進出は、在来種のアリだけでなく、人間にとっても厄介だ。刺されると激痛がはしり、敏感な人だと致命的なアレルギー反応を引き起こしかねないからだ。「オオハリアリの毒にアレルギーがある人は、ハチ毒アレルギーのある人よりも多いのです」とSpicer Riceは言う。すでにオオハリアリは、米国東海岸のニューヨークから西海岸のワシントン州まで各地で見つかっている。侵略アリに有利な環境条件が生まれる中、侵略者どうしの戦いも続くだろう。 ■

（翻訳協力：粟木瑞穂）

宇宙のオタマジャクシ

天の川の若き日の姿を示す奇妙な銀河たち

アンドロメダ銀河や天の川などの巨大な渦巻銀河は、小さな銀河を吸収し、また周囲の空間からガスを取り込んで、大きく成長してきた。最近、風変わりな“オタマジャクシ型銀河”がいくつか観測され、天の川銀河がその最も明るい部分、つまり太陽や地球が存在する星の多い円盤部分をどのように形成したのかについて、新たな手がかりが得られた。

オタマジャクシ型銀河は明るく若い星を擁する“頭”の部分から、ほのかな長い尾が伸びているのが特徴で、1990年代に初めて見つかった。大半は地球から数十億光年の彼方にあり、宇宙が若かった頃は一般的だったことを示している。

カナリア天体物理研究所のJorge Sánchez Almeidaらは、地球から6億光年以内と珍しく近いところにある7つのオタマジャクシ型銀河を詳しく調べた。ラ・パルマ島の望遠鏡で観測した光を解析し、それぞれの銀河の異なる部分の速度を割り出した。この結果、多くは渦巻銀河の円盤と同じように回転していることがわかった。

だが、衝撃的な違いも明らかになった。天の川銀河の場合、酸素が最も豊富に存在するのは明るくて星の多い中心部であり、そこでは大質量星が酸素を作り出して超新星爆発によってそれを放出している。一方、オタマジャクシ型銀河のパターンは逆で、明るい頭の方が暗い尾よりも酸素が少なかったのだ。「これは非常に奇妙です」とSánchez Almeida。

*Astrophysical Journal*誌4月10日号に発表されたこの驚くべき発見を説明するため、Sánchez Almeidaらは銀河間空間に残っている原初のガスを引っ張り出した。宇宙誕生のビッグバンでは、酸素よりずっと軽い元素だけが生まれ、以来この銀河間ガスはほとんど変化していないと考えられる。このシナリオでは、酸素の乏しいガスの流れが生まれたての銀河円盤の一部に流れ込んで、新たに明るい星の形成を引き起こした。このため、オタマジャクシの頭は明るいが、酸素は乏しいというわけだ。

この考えが正しければ、天空のオタマジャクシは地上のオタマジャクシと同様、成長過程にある幼い生き物だということになる。「天の川銀河もかつてはオタマジャクシ型銀河だったのかもしれません」と、研究チームの一員であるIBMリサーチのBruce Elmegreenは言う。数十億年前、周囲のガスを集めて回転する銀河円盤を作り上げ、ついには、天の川銀河というスーパーパワーに成長したのだ。 ■

（翻訳協力：鐘田和彦）

Scientific American trademarks used with permission of Scientific American, Inc.

日本から津波にさらわれて海に流出し、太平洋を横断して米国オレゴン州ニューポートに漂着したコンクリート製の浮桟橋の付着物を焼却する作業員。

OREGON DEPARTMENT OF PARKS AND RECREATION/AP/アフロ

津波漂流物とともに海を渡る生物への懸念

Tsunami triggers invasion concerns

Virginia Gewin 2013年3月7日号 Vol. 495 (13-14)

2011年3月の東日本大震災の際に
がれきとともに津波にさらわれて海に流出したさまざまな生物が、
長期間外洋を漂流した後に米国の海岸に漂着している。
生物学者たちは、こうした生物を追跡して、
現地の生態系への影響を調べようとしている。

2012年6月、鋼鉄とコンクリートからなる重さ165tの物体が、米国オレゴン州中部の海岸に漂着した。物体の正体は、2011年3月に日本で発生した東日本大震災の際に青森県の三沢港から海に流出した浮桟橋だった。漂着物の調査に当たったオレゴン州立大学ハットフィールド海洋科学センター（ニューポート）の海洋生態学者Jessica Millerは、日本の浮桟橋に付着していた生物が15か月も太平洋を漂流した後もなお生きていたことに衝撃を受け、「現実とは思えませんでした」と言う。漂着した浮桟橋には、褐藻やピンク色のフジツボ、エビに似たワレカラという生物などが、厚さ15cmもの層を成してびっしりと付着していて、個体数の合計は数万にも及んだ。2012年12月には、日本から流出した別の大きな浮桟橋がワシントン州の海岸に漂着したが、これにもさまざまな生物が付着していた。生きた生物が付着した船舶やブイなどの漂流物は、オレゴン州やワシントン州のほか、最近ではハワイ州にも漂着し始めている。

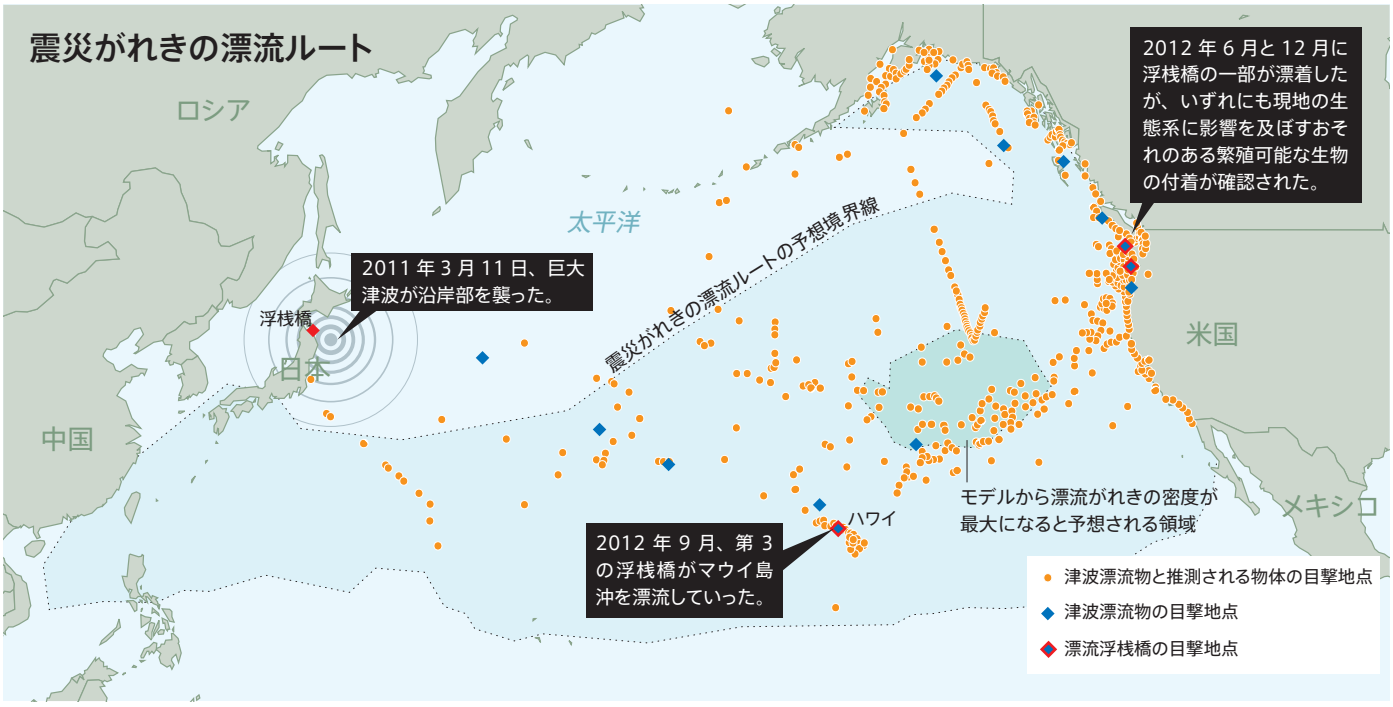
東北地方太平洋沖地震に伴う巨大津波が日本を襲ってから2年が経った今、津波によって日本から流出して海を漂流していた「震災がれき」が、約8000kmも離れた北米沿岸に次々と流れ着いている。津波漂流物は「浮き島」を形成し、そこには、外来種として漂着地の生態系に悪影響を及ぼすおそれのあるものを含めて、さまざまな生物が生息している。日本政府の推定によれば、海に流出した震災がれきの量は約150万tに上るという。米国海洋大気庁（NOAA、メリーランド州シルバースプリング）で漂流がれきプログラムのアラスカ地区コーディネーターを務めるPeter Murphyは、「津波漂流物は今後何年にもわたって漂着し続けるでしょう」と言う。

津波をきっかけに、それまで不可能と思われていたいくつかの実験が始まった。生物学者は、外来種の侵入に至る可能性のある現象を発生当初から追跡できる先例のない機会に飛び付いた。また、海洋学者は、漂流がれきの目撃情報を利用して、風と潮流が漂流物に及ぼす影響に関するモデルを精密化させている。そして、海洋生態学者は、震災時に津波が引き起こした福島第一原発の事故により放出された放射性同位体を利用して、魚類の回遊ルートをたどっている。

カリフォルニア大学デービス校（米国）の海洋生態学者Susan Williamsは、「海に流出した時期と場所が明確にわかる津波漂流物から、科学研究にとって絶好の機会がもたらされたのです」と言う。

一方、緊急の対応を最も強く求められているのは侵入生物学者かもしれない。沿岸域に生息する生物がこれほど長い間外洋を漂流できるとは、誰も予想していなかったからだ。ウィリアムズカレッジ（米国マサチューセッツ州ウィリアムズタウン）の外来種の専門家で、Millerらと協力して漂着生物の調査に当たって

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.



SOURCE: NOAA

2011年に日本で発生した東北地方太平洋沖地震に伴う津波では、4つの巨大なコンクリート製の浮桟橋を含めて、約150万tの震災がれきが海に流出したと推定されている。すでに、そのうちの2つが北米の海岸に漂着したが、いずれにも生物がびっしりと付着していた。

いるJames Carltonは、「こんな出来事はめったに起こらないので、自分が目にするなんて考えたこともありませんでした」と言う。

研究者はまず、自分が調べている漂着物が本当に津波によるものであることを確認しなければならない。その際、日本語が書かれたペットボトルはよい手がかりになるし、船舶なら、登録番号を見れば震災の際に行方不明になったものかどうかを確認できる。それにもかかわらず、ここ数か月間に報告された約1500点の漂着物のうち、日本領事館が確認したものはわずか21点であるとMurphyは話す。

外来種の侵入は、太平洋沿岸域では取り立てて新しい問題ではない。生物が船舶の船体に付着したりバラスト水に混入したりして外洋を渡ることは、実際に起こりうるからだ。けれども普通は、船舶が港の生物群集をそのまま運んでくることはないし、船体に付着した生物の多くは航行速度が速いために途中で振り落とされてしまう。これに対して津波漂流物は、沿岸の生息地から津波にさらわれた生物群集を乗せて、震災がれきとともにゆっくりした速度で外洋を漂流してくるうえ、監視の目が行き届いている港だけでなく、北米の海岸全域に漂着する可能性がある。現時点では、津波漂流物に付着した外来種の侵入は確認されていない。しかし、CarltonやMillerのチームが北米に漂着したすべての津波漂流物を把握しているとは考えられないので、現地の生態系に影響を及ぼすおそれのある生物の漂着を見落としている可能性は否定できない。

研究チームは次に、どの生物が、どのような方法で太平洋横断に成功したかを特定しようとしている。彼らは、最初の浮桟橋が漂着してからの9か月間に、すべての津波漂流物に付着していた175種の生物のうち約半数を同定した。ハットフィールド海洋科学センターの海洋生物学者John Chapmanは、2013年3月に実際に三沢港を訪れて、震災が発生したのと同じ時期に浮桟橋に付着している生物の種類を調査した。

現時点で得られている結果は、侵入の危険性が高いことを示唆している。ニューポート在住のオレゴン州立大学の海藻の専門家Gayle Hansenによると、津波漂流物の調査で侵入種として知られる藻類が3種見つかったという。彼女はこれまでに津波漂流物から46種の海藻を採取したが、その75%に繁殖力があり、胞子を落としていたという。つまり、これらの海藻が太平洋北西部に定着して、在来種に取って代わる可能性があるのだ。

津波漂流物が漂着したという報告を受けて最初に現場に駆け付けるのは、普通は州当局である。彼らは外来種の侵入を防ぐため、漂着物に付着した生物を見つけるとすぐに駆除してしまうことが多い。このような対応は、Carltonのチームによるサンプル採取を困難にするおそれのあるものだが、彼によると、サンプル採取への理解が広がってきたため、以

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

前ほど問題にならなくなったという。一方、アラスカ州やカナダのブリティッシュコロンビア州、カリフォルニア州からは、日本の生物が生きたまま漂着したという報告がほとんどない。これは、きちんと報告が行われていないか、海洋学調査上のミスの可能性があるという。

最近、津波漂流物の漂着が急激に増えている。これは、冬から春にかけての海流と風の大規模なパターンから予想がついていたことだ。また、震災がれきはハワイ島の北方沖を通るルートを漂流しているが（「震災がれきの漂流ルート」参照）、このルートも、船員による震災がれきの目撃報告を取り入れたNOAAのモデルによって予測されていたとおりだ。けれども、ハワイ大学（米国ホノルル）の海洋学者Nikolai Maximenkoは、コンクリート製の浮桟橋が「どこに漂着するか」まで正確に予測するのは困難だと言う。浮桟橋は浮力が大きく、その進路には風と海流が同じくらい大きな影響を及ぼすからだ。

Maximenkoは、福島第一原発事故により形成された放射性同位体のプルームのサンプル採取にも協力している。プルームの動きは津波漂流物より遅く、東に向かってゆっくりと移動している。この放射性同位体が、生態学者に利用されている。2013年2月には、ストーニーブルック大学（米国ニューヨーク州）の海洋科学者Nicholas Fisherらが、セシウム134とセシウム137という2種類の放射性同位体を利用して、日本とカリフォルニアの間を移動するクロマグロの回遊ルートをたどることができると報告した（D. J. Madigan *et al. Environ. Sci. Technol.* http://doi.org/kn9; 2013）。またFisherのチームは、日本から回遊してきたクロマグロにはセシウム134と137の両方が存在しているが、その濃度は人体に健康被害を及ぼさない程度であることを確認した。「我々は、魚が約1か月で太平洋を横断する可能性を示唆する証拠を得ました。これは驚くべきことです」とFisherは言う。

オレゴン州立大学（米国コーバリス）とNOAAの研究者らも、Fisherと同じ手法を用いて、北太平洋のビンナガマグロに2つの集団があるかどうかを明らかにしようとしている。集団が2つあるなら、放射性同位体の蓄積量に差が出るはずだ。

Fisherのチームはこの手法を利用して、ほかの大型海洋動物（アホウドリ、アカウミガメ、ネズミザメなど）の移動パターンも追跡したいと考えている。

なお、研究者たちは、福島第一原発から放出された放射性同位体を利用して生物を追跡したり、津波漂流物に付着した生物の個体数を数えたりしていても、この津波によって多くの尊い命が失われたという事実を忘れることは片時もない。「このような実験は、あってはならないものだったのです」とChapmanは言う。■

（翻訳：三枝小夜子）

“ケイ素版グラフェン”に熱い視線！

Sticky problem snares wonder material

GEOFF BRUMFIEL　2013年3月14日号　Vol. 495 (152–153)

シリセンはケイ素版グラフェンで、優れた特性が期待されているが、扱いにくさが問題だ。

2011年、ダラス（テキサス州）で開催されたアメリカ物理学会（APS）3月会議の最終日のことだった。物理学者Guy Le Layは、会場を半分ほど埋めた聴衆の前で、新しい形態のケイ素（Si）に関するデータを発表した。彼は、エクス・マルセイユ大学（フランス）の研究室で、原子1個分の厚みしかない蜂の巣（ハニカム）構造のSiシートを作製したのだ。当時、予備的な証拠しか持ち合わせていなかったが、データを発表することに決めた。「それは冒険でした」と振り返る。

今年のAPS3月会議は3月18～22日にボルチモア（メリーランド州）で開催され、シリセンについて20数件の発表が行われる予定だ。シリセンとは、Le Layが2年前に恐る恐る報告した材料のことだ。

シリセンという名前はグラフェンを想起させる。グラフェンといえば、現在の材料科学界の花形である。シリセンへの関心が急上昇していることを考えると、シリセンがグラフェンの跡を継ぐことになるかもしれない。しかし、そうなるには、接触するほぼすべてのものにくっつくというシリセンの不利な性質を克服する必要がある。

シリセンの構造はグラフェンと非常によく似ており、両者ともハニカムシート構造をとる。違うのは、シリセンがSi原子からなるのに対し、グラフェンは炭素（C）原子からなることだ。シリセンも二次元構造をとるため、奇妙な量子効果が現れるはずであり、電子が信じられないほどの猛スピードで動きまわると考えられている。これは、2004年にグラフェンが初めて単離・評価されたときから、物理学者や電子デバイスメーカーを夢中にさせた特性である。グラフェン研究は2010年にノーベル賞受賞の対象となり、今年、欧州委員会によって10

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

億ユーロ（約1300億円）の最重要プロジェクトの1つに選ばれた（*Nature* **493**, 585–586; 2013参照）。

だが、シリセンにはグラフェンを上回る魅力があるかもしれない。シリセンはトポロジカル絶縁体と似た特性を持つことが予測されているからだ。トポロジカル絶縁体は、表面だけに電気が流れる物質であり、最近盛んに研究が進められている。

そして何より魅力的なのは、シリセンはシリコン（Si）でできていることだ。シリコンといえばまさに現代のエレクトロニクス産業を牽引する材料である。シリセンを取り入れたシリコンエレクトロニクスの「新時代」が到来するかもしれない、と中国科学院物理研究所（北京）の物理学者Kehui Wuは言う。

1つだけ問題がある。シリセンはものすごくくっつきやすいのだ。「グラフェンはとても安定な材料です」とアントワープ大学（ベルギー）の凝縮物質理論の研究者François Peetersは言う。しかし、シリセンは周囲の物質と容易に反応する。空気中で酸化されるし、他の物質とも化学的に結合する。また、ほぼ平坦なグラフェンと異なり、シリセンは、隣り合うケイ素原子が互いに結合し合うため波状の凹凸がある。このため、表面に付着しやすくなるのだ。

こうした反応性の高さが災いして、シリセンはグラフェンよりもはるかに作製が難しい。ノーベル賞受賞対象となったグラフェン研究では、まずグラファイトの塊から粘着テープでグラフェンシートを剥がしとった。これに対し、シリセンは、超高真空中でシリセンの自然な構造とぴったり合う材料の表面でしか成長させることができない（「シリセンをつくる」参照）。

しかし、銀（Ag）結晶がシリセンと最もぴったり合うことがわかった。Agの原子構造がシリセンの波状の凸部とかみ合うからだ。また、Ag表面には反応性がほとんどないため、シリセンが引き裂かれることがない。Si基板上にAgを成長させるために磨き上げてきた手法を逆に使って、Le Layは初のシリセンサンプルをAg表面に成長させたのだ[1]。

Agのほかに、シリセンを成長させることのできる材料が2種類だけ見つかっている。1つは二ホウ化ジルコニウム（ZrB_2）である。Siウエハー上に高温でZrB_2薄膜をコーティングすると、ZrB_2はSiウエハーから自然にSiを吸い上げるので、表面にシリセンが形成される[2]。もう1つの材料は、今年1月に報告されたばかりのイリジウム結晶である[3]。

残念ながらこれらの材料は3つとも電気を通してしまう、と北陸先端科学技術大学院大学（石川県能美市）の材料科学者高村（山田）由起子（たかむら やまだ ゆきこ）は言う。分厚い伝導体が存在すると、シリセンの繊細な電気的特性がわからなくなるため、奇妙な量子効果という理論予測が正しいかどうか調べられなくなるのだ。

シリセンが期待どおりの性能を示すかどうか調べるには、シリセンを成長させるための半導電性または絶縁性の表面を探さなければならないだろう。基板から剥がれた状態のペラペラのシリセンシートを作製する手法が開発されればもっとよい、と高村（山田）は言う。だが、どうすれば基板に付着していないシリセンシートを作製できるのか、完全には明らかになっていない。「この分野はますます競争が激化しています。たとえアイデアがあったとしても口外しないと思います」と彼女は言う。

ところが、競争に参加していないPeetersは、進んでアイデアを話してくれた。彼は、別の材料でできた2枚のシートでシリセンを挟むことによってシリセンを安定化でき、外界とシリセンとの反応を防ぐことができるのではないかと考えている。

「もしシリセンシートが使われるとしたら、2枚のシートでサンドイッチされた状態で使われるでしょう。それがシリセンを安定化させる方法だからです」と彼は言う。外側のシートは「どんな材料でもよく、シリセンシートで何をしたいかによって決めればいいのです」。

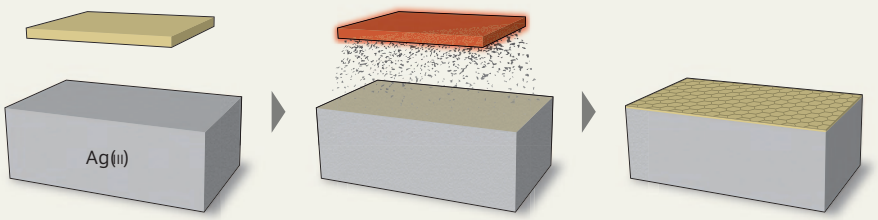
いろいろな問題はあっても、シリセンの未来は明るいように見える。シリセン研究は、ヨーロッパの大規模なグラフェンプログラムの一部として組み込まれてきたし、米国でも注目を集めつつあるとLe Layは言う。

APS 3月会議でのシリセンに関する発表は、2年前より盛況になりそうだ。しかし、Le Layはそこにはいないだろう。セミナーで講演するのに忙しいからだ。ハワイからオーストラリア、そして日本へと移動する。「忙しすぎるけど、それでいいんです」と彼は言う。■

（翻訳：藤野正美）

シリセンをつくる

シリセンは、原子1個分の厚さのケイ素（Si）シートであり、2010年に初めて作製された。しかし、絶縁性の表面上にシリセンを成長させることに成功していないので、予測された特性の一部はまだ調べられていない。



第1段階：真空中でSiウエハーを銀（Ag）結晶の上にかざす。

第2段階：Siが昇華し始めるまで加熱する。

第3段階：Si原子がAg表面上で自発的に組織化してシリセンを形成する。

1. Vogt, P. *et al. Phys. Rev. Lett.* **108**, 155501 (2012).
2. Fleurence, A. *et al. Phys. Rev. Lett.* **108**, 245501 (2012).
3. Meng, L. *et al. Nano Lett.* **13**, 685–690 (2013).

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

輝く女性科学者たち

30 something science
2013年3月7日号　Vol. 495 (28–31)

女性であることは研究に何か影響しましたか？
本格的な研究生活をスタートさせつつ、
出産や育児にもチャレンジする30代の女性科学者4人に尋ねてみた。

DANA SMITH

KAY TYE：ブレイクダンスの名人

神経科学者としてテニュア取得を目指すブレイクダンサー。

BY HEIDI LEDFORD

妊娠5か月になると、我慢しなければならないものが次々と出てくる。お酒や寿司に、ダブルショットのエスプレッソコーヒーもそうだ。そして、ブレイクダンスの切れだって悪くなるが、これはやること自体あまり推奨できないものだろう。「今は自分らしい踊りがまるでできないんです」と話すKay Tyeは、ブレイクダンスのコンテストでの受賞歴を持つ神経生物学者で、現在はマサチューセッツ工科大学（MIT）ピコワー学習記憶研究所（米国ケンブリッジ）で助教を務めている。「ウィンドミル（ブレイクダンスの技の1つ）は、やらないことにしました。流産の原因になりそうなことはやらないと決めたのです。今は何をするにもこれを基準にしています」。

ダンスの自粛は、31歳になるTyeが進んで受け入れた数少ない制約の1つである。彼女はこれまで、神経科学で最もホットな分野の1つである光遺伝学で業績を挙げようと努力を重ねてきた。真夜中過ぎまでの実験もいとわず、毎日4～5時間の睡眠時間で乗り切り、大陸を横断する出張が絶え間なく入ったスケジュールもこなしてきた。しかし数週間前から、彼女はこれまでのような仕事のペースを緩めた。また、娘が生まれた後の生活についても、今以上に変わるだろうという心構えはすでにできている。「私はずっと、このための準備を重ねてきました。そして、家族持ちに優しいキャリアの道を選んだのです」。

MITでは、テニュア（大学教員の終身

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

雇用資格）の取得率が50％前後で推移しており、いまだに教授陣の約80％が男性である。MITの助教の職は、家族持ちに特に優しいというほどではないかもしれない。だが、Tyeは理論物理学者の父と生化学者の母を持ち、母親のいた研究施設の中で育った。そこでTyeは、ピペット用チップを箱に詰めるお手伝いをして1箱当たり25セントの報酬をもらった。母親を手本としていたTyeは、10代の時にはすでに、自分の性別が昇進の壁になることに気付いていたという。「でもそれより前に、私は科学がすっかり好きになっていたんです」と彼女はにっこりしながら言った。

とはいえ、彼女は自分が科学研究に向いているという確信を持てなかった。MIT在学中にブレイクダンスを始め、卒業後にはオーストラリアへ行って畜産農家やヨガの道場に住み込んだりして、しまいにはアートコミューンのビーチテントでも生活した。彼女の目標は、その時その時を大切に過ごし、実体験に基づいた小説を書くことだった。しかし、新しいライフスタイルになっても心が満たされないことに気付いた。さらに、書いた小説の出来もあまりよくなかった。そこで彼女は帰国して、カリフォルニア大学サンフランシスコ校の大学院に入った。3つの平均的な研究室を回ったが、安住の地を見いだせず、その後、彼女は神経生物学者Patricia Janakに、研究室の末席に加えてくれるよう頼んだ。「移籍のチャンスをいただけないなら、研究を辞めるつもりです」とTyeは涙ながらに訴えた。

その結果、Tyeは研究の場を得ただけでなく、Janakという新しい指導教官も得られた。すでに2人の子を持ち、女性科学者としても成功していたJanak は、Tyeの開花を見守った。「彼女は最初、自信がないようすでしたが、それはすぐに消えました。すばらしい成果を挙げ始めたのです」とJanak。彼女の研究室に所属しているときにTyeは、合図と報酬とを関連付ける学習をしているラットでは、扁桃体（へんとうたい）という脳領域のニューロンの活動とシナプス結合の強度が高まることを発見した（扁桃体は、ヒトでは情動反応の処理と関連付けられている）。この成果は、彼女にとって初めての*Nature*掲載論文となった（*Nature* 2008年6月26日号、1253ページ）。しかしTyeは、これだけで満足しなかった。ニューロンのオン・オフを直接切り替えられるようにしたいと考えたのだ。そこで彼女は光遺伝学に目を向けた。この手法を用いれば、光を使ってマウス脳内の特定ニューロンを活性化したり抑制したりできる。

JOHNNY TANG

Tyeは、スタンフォード大学（米国カリフォルニア州）のKarl Deisseroth研究室で、博士研究員として過ごした2年の間に光遺伝学の手法を学び、その後ピコワー学習記憶研究所に腰を落ち着けた。動物個体は外部環境からの合図に対して正または負の情動との関連付け形成するが、彼女は光遺伝学の手法を使って、その関連付けの形成を支配する神経回路をマッピングしようと考えている。そしていずれは、積み重ねた研究成果が、不安神経症やうつ病、依存症などの精神疾患の治療法の発展に役立つことを願っている。

MITは、2004年に、Tyeの仕事場から通りを1つ挟んだ所に託児所をオープンし、それを看板の1つにして教職員を募集してきた。そして、ピコワー学習記憶研究所はこの5年間で、若い女性を何人も教授に就任させ、そのうちの数人は現在家庭を持っている。道を切り開いてきたのは彼女たちであることをぜひ知っておいて欲しい、とTyeは言う。

2012年にMITに戻ったTyeは、学部卒業生4人と博士研究員4人を抱え、13件の助成金申請を行い、一流学術誌への掲載論文数も増やした。そして、母親に

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

なるインパクトに備え始めた。その中には簡単に決められるものもある。例えば研究室にあるエアロバイクは、娘を連れて出勤した場合に備えて「ベビーベッドやベビーサークル」に置き換えるつもりだ。しかし、決めかねるものもある。出産予定日の1か月後に東京で開かれる会議で講演することになっているのだが、Tyeはまだ辞退できずにいる。

テニュア取得も彼女の目標リストの上位にあるままだ。「自分の人生を限定すべきではないと思います。私は娘のよい手本となりたいのです」とTyeは語った。■

KARINE MARAFIGO DE AMICIS

KEITY SOUZA SANTOS：ハチ毒の捜査人

アレルギー性のショックを研究している免疫学者が、妊娠というショックに対処する方法。

BY ANNA PETHERICK

Keity Souza Santosにとって、いつもの木曜日になるはずだった1日が、まるで違う1日になってしまった。2012年11月22日午前4時、彼女は疲れてはいたが、眠気を断ち切り起床した。彼女は数日前から、妊娠検査薬で調べなくてはと思っていた。そしてこの日の朝、検査をもうこれ以上先延ばしにできないと思い、確かめることにしていたのだ。

その後、サンパウロ大学医学系大学院（ブラジル）のアレルギー免疫学科の研究室に行って仕事をしたが、当時33歳のSantosは、その数時間前におめでたがわかったことを同僚の誰にも話さなかった。同僚の1人が、彼女にサンパウロ研究財団の名誉ある「若手研究者賞」が贈られることを知らせてくれたときでさえ、妊娠のことを黙っていた。受賞によって、彼女は研究室を持つことができるようになったのだが、時期を同じくして、彼女には子どもが生まれる。しかも、生まれてくる子どもは1人だけではない。お腹の中には双子がいるのだ。

Santosの研究テーマは、人命を脅かす食品アレルギーや昆虫アレルギーだ。ブラジルではこの種のアレルギーが深刻な脅威となっている。この国は生物多様性のすばらしさでよく知られており、例えばアシナガバチ類は、北半球には少ししかいないのだが、ブラジルには数百種類もいる。そのうちの*Polybia paulista*というハチ種に刺されて入院する例が、ブラジルでは年に数百件もある。しかし、医師がアレルギー反応の原因を正確に特定するのに難儀する場合が多い。「患者が自分を刺したハチを病院に持参することもありますが、それでも適切に治療することはできません。そのハチの毒針の中に、どんなアレルゲン（アレルギー反応の原因物質）があるかわからないからです」とSantosは説明する。

Santosは、サンパウロ大学でのPh.D.取得の課程で、「アフリカ化ミツバチ」もしくは「キラービー」と呼ばれるハチ（*Apis mellifera* L.）の針毒の抗毒素について研究した。博士研究員時代には、ブラジル北部で主食の1つになっているキャッサバ（*Manihot esculenta*）や数種の狩りバチの針毒に対して、アナフィラキシー反応を起こす原因となるタンパク質について研究した。その後、彼女は同僚たちと84種類もの毒タンパク質を*P. paulista* たった1種から単離して同定し、これらの毒タンパク質が破壊

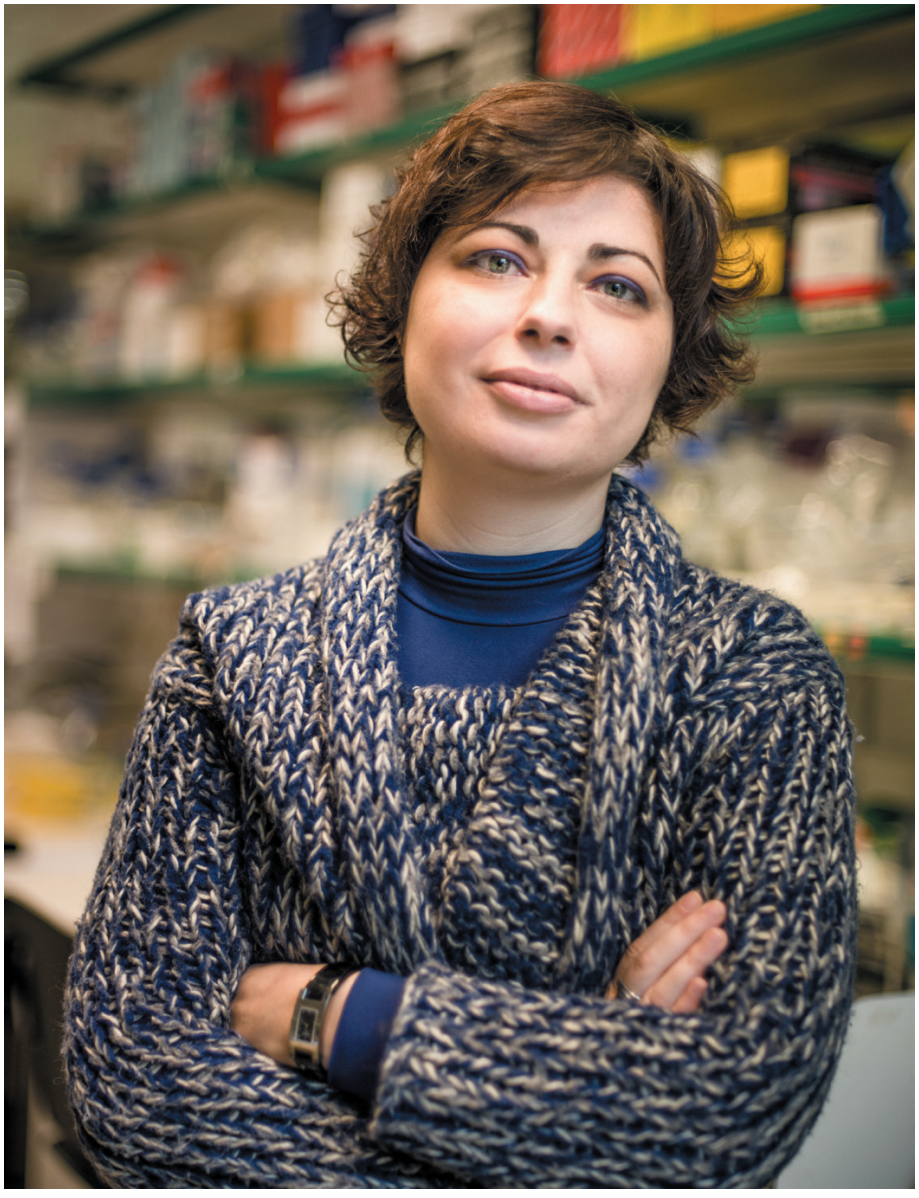
©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

的な組織損傷を引き起こす仕組みを明らかにした（L. D. dos Santos *et al. J. Proteome Res.* **9**, 3867–3877; 2010）。同定した毒タンパク質のうちの数種類は、これまでヘビ毒でしか見つかっていなかったものだった。彼女は現在、ほかの昆虫の毒に含まれるアナフィラキシー反応の原因タンパク質を同定しようとしている。

Santosは、研究に必要な質量分析法などの分子分析法を習得するために、米国とオーストリアの複数の研究室で何か月間かを過ごした。海外にいる間、彼女は性差別の話を何度か耳にしたが、彼女が育ったブラジルではそういうものに出合ったことはなかった。Santosによれば、彼女が（クローンヒツジのドリーの話を読んで）生物学者になりたいと言い出したとき、家族は驚いたという。しかしそれは、彼女が「女性である」という理由からではない。一族の中に科学者が1人もおらず、科学研究など別世界の話だったからだ。

Santosは現在、ほぼ自立して研究を行える立場にある。彼女の目標は、医師が患者がさらされたアレルゲンを短時間で特定してそれを解毒する方法を知るのに役立つ「キット」を作ることだ。しかし彼女はまず、この夏にやってくる「出産」というチャレンジに向けて気持ちを集中している。「私のボスはちょっと心配しています。でも、すでにPh.D.取得課程の学生1人と実験助手1人を確保しました。それにスカイプを使えば、出産休暇中でもたくさん話せますよ」と彼女は言う。

「彼女はうまくやっていけると思いますよ」と話すのは、学科主任の免疫学者Jorge Kalilだ。しかし彼は、一呼吸おいてから、「でも双子なんですよね」と付け加えた。一方のSantosには、さほどの不安はない。「研究グループに学生や共同研究者をもっと入れたいですね。出産したからといって科学者のキャリアをあきらめることなどできません」と彼女は語った。 ■



ROBERTO KELLER-PÉREZ

MÓNICA BETTENCOURT-DIAS：細胞の技工士

細胞の複雑な仕組みを調べ、おもしろさを伝える生物学者。

BY ALISON ABBOTT

Mónica Bettencourt-Diasは、手本となる人たちに囲まれて育った。ポルトガルは、決して裕福な国とは言えないが、学術研究などの専門的な分野で女性をトップの座に据えるという点では、欧州の中でも優れた実績を残している。一部の見方によれば、こうした状況は1960～1970年代までさかのぼることができるようだ。当時、学歴のある若い男性は戦争のためにアンゴラやモザンビークに送り込まれていたので、社会では女性が出世して活躍できる余地が生じた。その結果、研究界にも性別を問わない風潮が生まれた。それに加えて、Bettencourt-Diasは、数学者の父と社会科学者の母に支えられて育った。

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

しかも幸運なことに、彼女が科学の道に入ったのとほぼ同じ頃、ポルトガルでは政策によって革新的な博士課程プログラムが導入され、彼女は1996年にそのプログラム課程受講者に選ばれた。「世界の一流の科学者たちが、私たちを指導してくれました。そのおかげで私は、細胞生物学と発生学の研究に従事すべきだと悟ったのです」と彼女は当時を振り返る。

Bettencourt-Diasは、Ph.D.取得課程の一貫としてロンドン大学ユニバーシティカレッジへ行き、サンショウウオの再生能力について研究した。その後、ケンブリッジ大学（英国）で博士研究員として、細胞小器官の1つである「中心体」のマスター調節因子を発見した。中心体は、細胞内で細胞周期に関与する重要な構造や機構の一部を統制している。この因子発見の論文は、彼女にとって初の*Nature*掲載論文となった（*Nature* 2004年12月23日号、980ページ）。2006年、彼女はポルトガルに戻り、グルベンキアン科学研究所（オエイラス）に自身の研究室を開設した。それ以来、欧州研究会議からの若手研究者助成金150万ユーロ（1億9500万円）をはじめとして、潤沢な研究資金を獲得し続けている。

数か月前、現在39歳のBettencourt-Diasの生活は大きく変わった。養子として1歳になる女の子が家族に加わったのだが、これは長く待ち望んでいたことであった。ポルトガルには専門の託児所が多数あり、親族も近所に住んで育児を手伝う傾向がある。また、同じく科学者である彼女の夫も、子育てに積極的に参加している。さらに夫妻は、家事をやってくれるお手伝いさんも雇っている。

Bettencourt-Diasの研究室では、今も、細胞のシグナル伝達経路と中心体による厳密なコミュニケーションや組織化という研究テーマに取り組んでいる。このテーマは彼女自身の人生にも通じるところがある。彼女によれば、上手な「組織化」は自分のキャリアにとっても必要不可欠なものだという。科学について一般市民へ伝えるための運動を展開していたBettencourt-Diasは、旧ポルトガル植民地で開催されるワークショップに定期的に参画するようになった。そして2012年、彼女はアフリカ西沖合にある島国のカーボベルデでの分子生物学ワークショップを「組織」した。同国は2008年に、政府閣僚の過半数を女性が占めるようになったのだが、これはアフリカでは初のことであった。なお、このワークショップの参加者は、男女ほぼ同数だったという。「参加者たちは私に、科学を学んで国の役に立ちたいと話してくれました。今の欧米諸国では聞けない話です」とBettencourt-Diasは振り返る。

「分かち合い」はBettencourt-Diasの人生哲学の1つであり、自分の発見について思い出すときにもその気持ちがよみがえるという。彼女がそうした瞬間を最初に体験したのは、ケンブリッジ時代のことだ。そこで彼女は、初めて受け持ったPh.D.取得課程の学生とともに、PLK4という酵素がハエの中心体の構造に重要なことを明らかにした（M. Bettencourt-Dias *et al. Curr. Biol.* **15**, 2199–2207; 2005）。2人は一緒に、顕微鏡下で微小な中心体がいくつも形成されるようすを見つめた。「指導している学生とともにそうした瞬間を分かち合うことは、何ものにも代え難いものです」と彼女はしみじみと語った。■

AMANDA WELTMAN：前へ進む力

ダークエネルギーを探る、既成概念にとらわれない宇宙学者。

BY LINDA NORDLING

Amanda Weltmanは、ケープタウン大学（南アフリカ）の学部生時代に物理学のおもしろさを知り、そのときこう思った。「宇宙がどのように動いているかを解明するのは、人ができる仕事の中でも最高に格好いいものだわ」。

Weltmanは、最大級のスケールで見たときに宇宙がどう動いているかを若干24歳で提案して、一躍有名になった。「カメレオン宇宙論（Chameleon Cosmology）」という画期的な論文（J. Khoury and A. Weltman *Phys. Rev. D* **69**, 044026; 2004）を発表したとき、彼女はまだコロンビア大学（米国ニューヨーク州）の大学院生だったが、この理論は暗黒エネルギーを説明する有力な理論の1つとなった。暗黒エネルギーとは、宇宙の膨張を加速させていると考えられている正体不明の力である。

Weltmanは同僚のJustin Khouryとともに、環境に応じて変化する新しい力を想定すれば、宇宙の膨張についての多くの観察結果を説明できることを示唆した。この「カメレオン的な力」は、地球上や初期宇宙のように粒子が密に詰まっている状態では弱いと考えられる。しかし、銀河が互いに離れていくにつれてこの力は大きくなり、それが力の増大をさらに加速させる。この理論が一躍広まった理由は、検証が可能なことにある。この理論では、光子が強い磁場内を通過するときに崩壊して「カメレオン粒子」に変わる場合があると予測されている。実験物理学者たちはこの効果を見つけ出そうとしているが、決定的な証拠はまだ見つかっていない（*Nature* http://doi.org/b96z3f; 2009に関連記事）。

Weltmanは、コロンビア大学でPh.D.を取得後、ケンブリッジ大学（英国）で博士研究員として過ごしていたが、2009年に南アフリカに戻った。それでようやく、夫である「ひも理論」学者のJeff

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

TONY MARKS

Muruganとの生活を始められるようになった。夫とは10年前に出会っていたが、結婚するまで、彼らの交際はまるで宇宙研究でいう「二体問題」そのもの、つまり、惑星とその周りを回る衛星のように、ほとんど遠距離恋愛の状態だった。また彼らが南アフリカに戻ったのには、理想主義的な理由もあった。宇宙理論研究という分野で一流の研究者から数年にわたって学んだことを、母国に還元したいと考えたのである。「私たちは、この国の科学や知恵を育てるために、ここに戻って役に立とうと思ったのです」とWeltmanは言う。

ケープタウン大学に戻った彼女は現在、ある大きな研究グループに所属しているが、カメレオン理論の拡張や検証をするための自身のグループも構築中であり、すでに学部生1人と博士研究員1人を集めた。2012年、彼女は南アフリカ国立研究財団（NRF）から「P」の評定を受けた。この評定は、専念する研究分野で国際的リーダーになると期待される少数の若手研究者に与えられるものだ。

Weltmanは、女性が若いときに直面する壁が最も有害だと考えている。つまり、女の子はハードサイエンスよりもソフトサイエンスに向いているとか、数学は男の子の方が向いているという思い込みのことだ（ハードサイエンスは数量化に重点を置く物理学などのことで、ソフトサイエンスは数量化できないものを主に対象とする社会工学や情報理論などを指す）。彼女はそうした既成概念のない家庭で育ち、ありがたいことにお手本もいて、その多くは男性だった。「女の子には、女の子用のお手本が必要なのではなく、優れたお手本が必要なのだと思います」と彼女は言う。

現在33歳のWeltmanは、2人の子ども（現在2歳と8か月）を授かったが、夫のオフィスと彼女のオフィスが同じ階にあることでずいぶんと助かっているという。彼女は、4か月間の出産休暇の間も研究を続け、実際に休んだのは学生を指導する仕事だけだった。正直に言えば時にはかなりキツかった、と彼女は打ち明ける。「私が研究を続けられたのは、夫が育児のために可能なかぎり時間を割いてくれたからです。今も、日々の生活の中でそれぞれが仕事のちょっとした合間を見つけることでやり繰りし、2人で育児をこなしています」。2人は研究会議にも子連れで行き、交代で子どもたちの世話をしている。

大学は柔軟に対応してくれるが、子どもを産むにはまだ大変な場所だ、とWeltmanは言う。「妊娠したとき、少しですが、身構えた気持ちや後ろめたさを感じました。まるで、子どもを持つことで、自分には研究より私生活の方が重要なのだと公言したような気分になったのです」と彼女は打ち明ける。「物理学では、身も心も100％研究に捧げるべきだという考え方があるのですよ」。■

（翻訳：船田晶子）

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

ニセの論文誌にだまされるな！

Sham journals scam authors

Declan Butler 2013年3月28日号 Vol. 495 (421–422)

実在の論文誌をかたった詐欺事件が起こり、科学者が論文掲載料を巻き上げられた。

論文投稿にかかわるサイバー犯罪が発生した。定評あるヨーロッパの科学論文誌2誌が、偽（にせ）のホームページを使った、なりすまし犯罪の被害に遭ったのだ。この偽のウェブサイトに数百人の研究者がだまされ、著者負担金を払わされ、お金はアルメニアに還流した。

問題となった論文誌の編集者が最初に詐欺に気付いたのは2012年で、詐欺を止めさせるための対策をとったが、今のところ何の成果もない。なりすまされたのは、ジュネーブ物理学・自然史協会（SPHN、スイス）が出版する総合論文誌 *Archives des Sciences*（1791年創刊）と、カリンチア地域博物館（オーストリア・クラーゲンフルト）が出版する植物学論文誌 *Wulfenia* だ。

犯人たちは、巧妙かつ細心の注意を払っており、正しい雑誌名だけでなく、そのインパクトファクター、住所とISSN雑誌コード（国際標準逐次刊行物番号）まで、複数のウェブサイトに表示していた。ISSNは全世界の雑誌に1つ1つ割り当てられている識別番号のこと。

かたりにあった論文誌の編集者たちは、犯人の陰謀によって論文誌の名声が傷付いたことを深く悲しんでいる。

「被害を受けた研究者は、投稿論文の状況を定期的に問い合わせてきています。送金したのに論文が掲載されないからです」。こう話すのは、*Wulfenia* の編集長で、カリンチア地域博物館付属植物センター長であるRoland Eberweinだ。同センターは、20万点以上の植物標本を所蔵している。

「我々は今、犯人との闘いに無益な時間を費やしています」と話すのは、*Archives des Sciences* の編集長で、ジュネーブ大学に所属する植物生物学者、電気生理学者のRobert Degli Agostiだ。

これら2つの論文誌には、専用のウェブサイトがなく、それゆえに詐欺師たちの格好の餌食となった。しかし、事件を受けて、SPHNもカリンチア地域博物館もホームページに警告文を掲載し、*Wulfenia* は、オンライン版のバックナンバーを掲載し始めた。

偽のウェブサイトは実に本物らしく作られていたため、最初はトムソン・ロイターもだまされた。同社は米国ニューヨークに本社があり、サイエンス・サイテーション・インデックスを制作し、論文誌のインパクトファクターをまとめている。

しかし、2012年5月に、トムソン・ロイターは疑いを抱き、同社が索引登録している *Archives des Sciences* の印刷版に掲載されている論文コンテンツと問題のウェブサイトの内容に「非常に大きな食い違い」があることについて、SPHNに対して文書で説明を求めた。トムソン・ロイターは、発行頻度の不一致についても指摘し、質問状には、こう記された。「弊社は、毎年、各巻2号を受け取り、索引登録していますが、現在のウェブサイトには、各巻12号、つまり、毎月の発行となっております」。

犯人の1人は、トムソン・ロイターの索引登録文献リストから偽のウェブサイトにリンクを張らせることにも成功していた。ただし、詐欺の発覚後、このリンクは直ちに削除された。それ以降、「偽の論文誌を代表する者からのクレームとリンクの復活要求の集中砲火が始まったのです」とトムソン・ロイターのコンテンツ選定部長のMarie McVeighは話す。問題の論文誌によって受理された論文が、なぜ同社の索引に登録されていないのか、という問い合わせもあったという。

厚顔無恥な犯人たちは、いくつかの *Archives des Sciences* の偽ウェブサイトで、87人からなる編集委員会のリストまで掲載している。その中には、ワシントン大学（米国シアトル）の化学者、材料科学者Daniel Gamelinとベイラー大学（米国テキサス州ウェーコ）の高エネルギー物理学者Gerald Cleaverが含まれていた。もちろん両人とも困惑・憤慨している。「私の名前が含まれていることを初めて知りましたが、この組織とは、過去、現在を問わず、一切関係したことはありません」とGamelinは言う。Cleaverも自分の名前が無断で使われたと話している。

偽 *Archives des Sciences* のウェブサイトでは、“Prof. Dr. Eliana Schmid” なる者が編集長とされ、所属は「スイス・ジュネーブ」となっている。偽 *Wulfenia* のウェブサイトでは、Vienna S. Franzが編集長とされ、編集委員会の35人の委員が列挙され、そのほとんどの所属は国と都市の名前だけとなっている。EberweinとDegli Agostiは、いずれの編集長も架空の人物だとみている。

これら偽論文誌に論文を投稿した研究者は、多額の金銭をすでに支払ってしまった。偽の *Archives des Sciences* と *Wulfenia* での著者負担金は、500ドル（約5万円）を超えており、支払いに当たっては、アルメニアのエレバンにある2つの銀行の口座へ送金するよう指示されていた。

Degli Agostiは、偽の *Archives des Sciences* のウェブサイトをスイスのサイバー犯罪特捜部に報告した。しかし、これらの偽ウェブサイトが米国内で運営されているため、犯人に対して直接的な措

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

置を発動できないという回答だった。それでも、スイスのサイバー犯罪関連法による刑事告発は可能だという助言を得た。ジュネーブ大学の法務担当者は、SPHNに対して、告発状を作成するよう支援しているが、SPHNはジュネーブ大学に所属する組織ではないため、実際の告発は単独で行わざるを得ない。

一方、Eberweinによれば、*Wulfenia*に関するオーストリア警察の方の進展はほとんどない。オーストリアで運営されていた偽ウェブサイトは閉鎖されたが、国外のサーバーには、この偽サイトのコピーが複数出現した。オーストリア当局はEberweinに対し、法的救済がわずかしかないと通告した。しかし納得のいかないEberweinは、*Archives des Sciences*と連絡を取り、意見交換を進めている。■

（翻訳：菊川要）

製薬会社のデータを開示させる機運が高まる

Drug-company data vaults to be opened

Daniel Cressey　2013年3月28日号　Vol. 495 (419–420)

欧州では、製薬会社の臨床試験データを開示する方向で事が進み出した。

大手製薬会社が安全性や有効性に関する重要なデータを隠していた事実が明るみに出たこともあり、製薬企業に対して臨床試験の結果を公表するよう求める声が、世界中でかつてない高まりを見せている。現在、ヨーロッパの施策は、データ開示を大幅に増やす方向へと傾きつつある。

EU内で使用される医薬品の承認を行う欧州医薬品庁（EMA、英国ロンドン）は、企業から提出された臨床試験データの一部を公表するため、その政策と手続きを検討中だ。4月には英国の医学界の重要人物が集まり、データの公開にまつわる実際的な問題について討議が行われる。

討議の主な参加者は、生物医学分野の公益団体であるウェルカムトラストのほか、医科学アカデミー、英国製薬産業協会、医学研究助成機関協会の代表者などである。ウェルカムトラスト（英国ロンドン）の基本戦略を取り仕切るNicola Perrinは、今回の討議は、議論から行動への転換を示すものとなるだろうと語る。「データの開示が重要なのかどうかを議論するのはもう止めて、前に進む方法について実際的な議論をしなければなりません」。

すでに米国では、医薬品の承認を受けるための臨床試験をオンラインの公開レジストリーに載せることが求められている。臨床試験の登録を促す規則が定められている国もある。

しかし、カギとなる詳細情報の公開が進んでおらず、このため医薬品の安全性評価は困難であり、研究者はデータを得ることができない、と懸念する研究者や運動家もいる。

近年、例えば、製薬会社のアストラゼネカ社（英国ロンドン）は、抗精神病薬セロクエル（クエチアピン）の副作用に関するデータを隠したとして訴訟となるなど、法的な問題を抱えている。グラクソ・スミスクライン社（GSK、英国ロンドン）も、糖尿病薬アバンディア（ロシグリタゾン）の安全性と抗うつ薬パキシル（パロキセチン）の小児での有効性に関する不適切な報告に関する訴訟で罪を認め、数十億ドルの支払いに応じている。また、国際的な医療専門家集団であるコクラン・コラボレーションは、ロシュ社（スイス・バーゼル）に対して、インフルエンザ薬タミフル（オセルタミビル）について有効性を評価するためのデータを開示することを求めている。

このような背景もあり、製薬会社は譲歩を重ねている。GSKとロシュ社は、要求に正当性があると考えられれば、科学者に対してデータ開示することを了承した。しかしロシュ社に関しては、要求を評価するための完全に独立したグループが構築されていないという指摘もある。

昨年、運動団体からの圧力を受けたEMAは、製薬会社から提出された特定のデータについて自発的に公表する方向性を発表した。EMAは、それがどのように役立つかについて、産学の研究者と投資家の意見を聴いているところで、2014年1月1日までには政策が実行に移される見通しだ。

カリフォルニア大学サンフランシスコ校の薬理学者で、科学的発表の偏りについて研究しているLisa Beroは、「この領域では、米国よりもヨーロッパの方が進んでいます」と話す。さらに、「誰もが成り行きを見守っています。今までになかったことなのですから」とも付け加える。

透明性を高める方向への動きは「勝利」だとBeroは言う。しかし、情報をどのようにして公表するのか、どの程度詳細なデータを公表するのか、誰が公表を管理するのか、誰にデータの利用を認めるのか（データからは誰が試験の参加者なのかがわかる可能性がある）については「さらに多くの戦い」があるだろう。

政府や規制当局者に圧力を加えることを目的として1月に結成された国際的グループ「オール・トライアルズ」など

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

の運動団体は、医薬品の承認申請のための試験のみに公開を限定せず、実施済み・実施中の試験の方法と結果をすべて対象とするよう求めている。

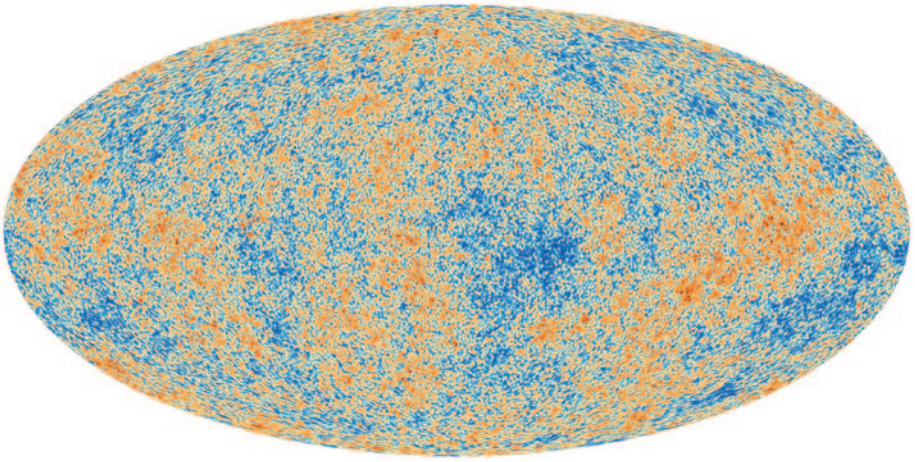
多くの医学研究者にとっては、結果の概略が（理想的には査読済みの論文として）公開されれば十分だろう。しかし、製薬会社が規制当局に提出する詳細な臨床試験報告書全体を公表するよう求める研究者もいる。複数の試験のデータを集めてメタ解析を行う研究者も、個々の参加者に関する匿名データを利用したいと考えている。

2010年、欧州オンブズマンは、臨床試験の詳細なデータを企業秘密と見なすべきではないと判断した。そのことが、情報の公表を進めようというEMAの方針策定を後押ししている。しかし、患者レベルのデータが無差別に公開されることにはならない見通しで、どの研究者にデータの利用を認めるかを誰が決めるかについては、企業、研究者、試験への出資者、患者団体などの間で意見が一致していない。

患者団体は、誰がその規則を施行するかについても問題にしている。医学研究の基準と規制を監督する英国医療研究機構（HRA、ロンドン）は、現実性を考えて、臨床試験を承認するのと同じ倫理委員会にその業務を付託することを検討している。

ジョンズホプキンス大学ブルームバーグ公衆衛生大学院（米国メリーランド州ボルティモア）の臨床試験センターで所長を務めるKay Dickersinは、透明性によって不正があぶり出された場合、法的に厳しく対処することが必要だと説く。不適切な研究報告があれば罰金では不十分だとさえDickersinは言う。重大な違反の場合、「誰かを刑務所に入れなければなりません」。■

（翻訳：小林盛方）



PLANCK COLLABORATION/ESA

プランクが観測した、宇宙誕生から38万年後の光の最も高精度な分布図。この図は、黒体放射として見た宇宙マイクロ波背景放射の温度の分布を示している。温度分布はひいては物質密度の分布を表す。

初期宇宙の最も高精度な「地図」

Planck snaps infant Universe

Mark Peplow　2013年3月28日号　Vol. 495 (417-418)

宇宙望遠鏡でマイクロ波背景放射の非常に精密な分布図が作成された。
これにより、宇宙の初期の発展を説明するさまざまな理論が、ふるいにかけられる。

それは、天文学者にとっては究極の「宝の地図」だ。プランク宇宙望遠鏡を使って研究を進めている国際共同研究チームが、2013年3月21日、宇宙マイクロ波背景放射のこれまでで最も高精度の分布図を公表した。宇宙マイクロ波背景放射は、ビッグバンの名残の光（電波）であり、弱いけれども宇宙のあらゆる方向から地球に届いている。今回の分布図は、50年近い歴史を持つ宇宙マイクロ波背景放射の研究の到達点として得られたものであり、生まれて間もない時期の宇宙に存在した物質密度の揺らぎを正確に記録している。さらに、この分布図から、今日の宇宙を決定付ける重要な変数を知ることができる。

プランクは欧州宇宙機関（ESA）が2009年5月に打ち上げた宇宙望遠鏡で、地球から150万km離れた地点で観測を行っている。この分布図に見られる微小な揺らぎから、宇宙の膨張速度は、これまで考えられていたよりもわずかに遅いことがわかった。同時に、斥力として働くダークエネルギー（暗黒エネルギー）が宇宙の物質・エネルギー全体に占める割合は68.3%とこれまでの見積もりよりも少し減り、一方、目に見えない物質、ダークマター（暗黒物質）の割合はこれまでの見積もりよりも少し多いことがわかった。これは、宇宙の年齢がこれまでの見積もりよりももう少し古いことも意味しており、宇宙の年齢は数千万年増えて138億2000万年とされた。また、この分布図から、宇宙に存在するニュートリノの世代はおそらく3世代にとどまるだろうということもわかった。もしも第4世代のニュー

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

トリノが存在したら、宇宙はその最初の時期にずっと速く膨張したはずだ。

これらの結果は、米航空宇宙局（NASA、ワシントンD.C.）が2001年に打ち上げたウィルキンソン・マイクロ波異方性探査機（WMAP）などのこれまでの観測計画で得られたデータを精密化するものだ。プランクの今回の新たな成果は、宇宙最初期の発展を説明するインフレーション理論を支持するデータが得られたことだ。インフレーション理論によると、宇宙はわずか10^{-32}秒ほどの間に、原子よりも小さい点からグレープフルーツほどの大きさまで、想像もできないほど急速に膨張（インフレーション）し、その後は速度を落として膨張し続けたという。このスタートダッシュのような膨張は、私たちが現在見る宇宙が、銀河の集まりやフィラメントやシートといった構造はあるものの、最大のスケールでは均質である理由を説明してくれる。

プランクとWMAPのデータを分析したオックスフォード大学（英国）の宇宙物理学者Jo Dunkleyは、「プランクの観測で、インフレーション理論が間違っていることを示す証拠が見つかる可能性はありました。しかし、実際には膨張が実際に起こったことを示す新たな証拠が得られたのです」と話す。

爆発的な膨張が始まった後、原始物質の大釜の中から陽子や電子などの粒子ができ、光子はその間をピンボールのように跳ね回り始めた。光子が自由に飛べるようになったのは、宇宙誕生の38万年後、荷電粒子でできたプラズマが冷えて中性の原子になってからだった。このとき自由に飛べるようになった光子が現在の宇宙マイクロ波背景放射になり、宇宙の最初期に存在した量子揺らぎの痕跡を運んでいる。

この揺らぎは、2.7ケルビンの平均温度からの微小な変動として、マイクロ波分布図の中に見えている。温度の揺らぎは物質密度の揺らぎを反映していて、密度の揺らぎはやがて雪だるま式に増えて今日見られる銀河となった。プランク計画に加わっているケンブリッジ大学（英国）の宇宙論研究者Paul Shellardは、「宇宙で私たちが目にするすべての構造はこの小さな摂動が原因です」と話す。

インフレーション理論は、現在はマサチューセッツ工科大学（米国ケンブリッジ）にいる物理学者Alan Gutheらが1980年頃に提案した。同理論は、マイクロ波背景放射の温度揺らぎの分布の仕方は、「ガウス性」という比較的単純な統計的性質を持つはずだと予言している。これまでの観測計画では、温度揺らぎがガウス性から外れていて、何かほかのプロセスが宇宙の膨張に関与していることを示唆する徴候も見つかっていた。しかし、今のところ、プランクの温度データはほぼ完全なガウス性を示していて、インフレーションを説明する標準的理論の正しさは一層確かなものになった。

プリンストン大学（米国ニュージャージー州）の理論物理学者Paul Steinhardtは、「たくさんの風変わりなインフレーションモデルが消えて行きました」と話す。Steinhardtは、エクピロティック宇宙論などの理論を提案してインフレーション理論の欠点を突こうとした。エクピロティック宇宙論は、宇宙はビッグバウンスという、死んでは生まれ変わるサイクルを繰り返すとしている。

しかし、すべての問題が片付いたわけではない。プランクの分布図を詳細に見ると、いくつかおかしな点がある。例えば、奇妙な低温部分があることや、高温の場所の割合が空の一方の側で大きいことなどだ。さらに、プランクが得たハッブル定数の値は、天文学のほかの方法で得られた見積もりと比較して驚くほど低い。ハッブル定数は宇宙の膨張速度を決定する。これは、もしかしたら未知の物理現象が働いていることを示しているのかもしれない。

インフレーションが起こったことの最終的な確認と、インフレーションを起こしたものの手がかりを得るには、宇宙マイクロ波背景放射の光子の詳細な性質を知ることが必要だ。インフレーションが起こったとき、それは時空を揺さぶり、重力波が放出されたはずだ。重力波は、光子の偏光にあるパターンを残している可能性がある。プランク計画の研究チームは、2014年初めに偏光データを公表する予定だ。研究チームのリーダーの1人で、カブリ宇宙論研究所（英国ケンブリッジ）の所長であるGeorge Efstathiouは、「もし、私たちが重力波を見つけることができたらノーベル賞を受賞することになるでしょう。それほど大きな成果です」と期待する。

偏光の信号は非常にかすかで、プランクの検出器の検出限界を超えているかもしれない。南極大陸に設置されたケックアレイなどの地上のマイクロ波望遠鏡も偏光をとらえようとしているが、空の片方の半球を調べることしかできないし、地球の大気中の酸素が宇宙マイクロ波背景放射の光子の一部をさえぎるので、特定の波長のマイクロ波しかとらえることができない。プランク計画の米国の責任科学者である、NASAジェット推進研究所（カリフォルニア州パサデナ）のCharles Lawrenceは、「この研究をやり終えるには、新たな宇宙望遠鏡や、場合によっては、数十年先になるでしょうが、重力波を直接検出する観測計画が必要かもしれません」と話す。

しかし、Lawrenceは、「温度揺らぎに関しては、天文学者たちはプランクの結果で満足すべきでしょう。プランクは、宇宙マイクロ波背景放射の温度揺らぎから得られるだろう成果は、ほぼすべて手に入れました」と話す。いくつかの手の届かない疑問が残るにしても、これまでの成果はとても意義のあるものだった。「宇宙がどういうものかについては、かなりよくわかってきています。しかし、宇宙がなぜ今あるようなものになったのかは、全くわかっていません」とLawrenceは話し、いたずらっぽい笑みとともに付け加えた。「それを知ることはかなり楽しいことです。そうじゃありませんか？」。■

（翻訳：新庄直樹）

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

分子モーターの「回転する原理」を解明！

さまざまな生命現象に関与するタンパク質の中には、ナノテク顔負けの駆動装置がある。モーターのように回転するタンパク質はその代表格で、ATP 合成酵素などが知られている。千葉大学大学院理学研究科の村田武士准教授は、今回、ATP 合成酵素とよく似た別のタンパク質を用いて、その詳細な構造と、一方向に回転し続ける仕組みを解明した。

村田 武士

―― Nature ダイジェスト：タンパク質の分子モーターを研究されたきっかけは？

村田：1980年代に、日本が研究を牽引する形で、バクテリアのATP合成酵素（F型ATPase）の構造と機能の解析が進められました。F型ATPaseは、大腸菌からヒトに至るまで広く見られ、生命維持に必要とされるATPの大半を合成しています。

1985年、柿沼喜己博士らが、酵母の液胞からF型ATPaseによく似た酵素（後にV型ATPaseと命名）を発見しました。当時の解釈は、「V型ATPaseは真核生物だけに見られるもので、F型ATPaseから進化した」というものでしたが、彼らは、バクテリア（腸球菌）もまた、V型ATPase様のタンパク質を持つことを突き止めました。そこで、それが本当にV型ATPaseなのかどうか、柿沼教授らと私たち東京理科大の研究室とで検討しました。私はタンパク質の合成を担当したのですが、それ以来、腸球菌V型ATPaseの構造と機能の解析を続けています。

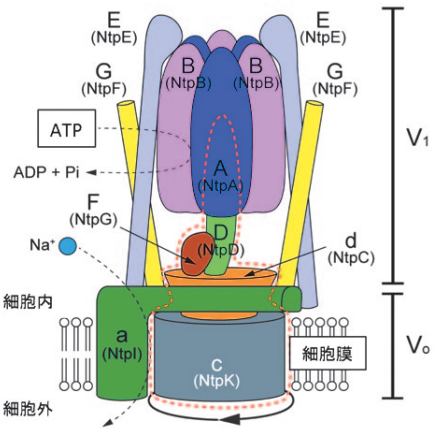


図1　腸球菌V型ATPaseの構造モデル。膜タンパク質部分（V_o）と細胞内の水溶性タンパク部分（V_1）からなる。触媒頭部（AとB）でATPを加水分解し、回転軸（D、F、c）とローターリング（c）を回転させ、ナトリウムイオンを細胞外へ輸送する。

分子モーターとは？

―― タンパク質分子モーターとは、どのように定義されるものでしょうか？

「ATP、イオン濃度勾配などの化学的なエネルギーを、動きのある仕事（物理的な力）に変換するタンパク質」というのが一般的な理解だと思います。真核生物では、細胞内の物質を輸送するのに重要なキネシン、骨格筋を動かすミオシンなどが知られています。キネシンもミオシンも、ATPを加水分解することでエネルギーを作り出し、キネシンは微小管の上を、ミオシンはアクチンフィラメントの上を直線的に移動します。

一方、F型ATPase やV型ATPaseなどは、くるくると回転運動する回転分子モーターです。バクテリアの鞭毛の根元にも、水中を泳ぎ回るためのタンパク質回転分子モーターが存在することが知られています。F型ATPaseの研究は、遺伝子操作が容易な大腸菌の酵素で先行していましたが、F型ATPaseが回転するタンパク質であると考えるのは、ごく少数の研究者だけでした。その後、ウシの心臓のミトコンドリアからも大量に精製され、まず、分子モーター部分（F_1-ATPase）の結晶構造がX線解析によって明らかにされました[1]。さらに1996年に、吉田賢右博士らが、回転するF_1-ATPaseを直接観察することに成功し、回転モーターであることが証明されました。

―― V型ATPaseとは、どんなタンパク質なのですか？

V型ATPaseの形はF型ATPaseとよく似ていますが、具体的な機能を担っている点が異なります。V型ATPaseは、ATPのエネルギーを使って分子モーターを回転させ、プロトンを輸送します。液胞で見つかったと言いましたが、その後、ゴルジ体やリソソームなどの、真核生物のあらゆるオネガネラの膜にあることがわかりました。例えばリソソームでは、プロトンを汲み上げて内部を酸性に保ち、タンパク質分解酵素を活性化するという機能を発揮します。

私たちが発見した腸球菌のV型ATPaseも、基本的には酵母や脊椎動物のV型ATPaseと同じです。ただし、汲み出すのはプロトンではなくナトリウムイオンです（図1）。実はこのことが、イオン輸送メカニズムの研究にきわめて有利に働きました。プロトンは小さいので無理ですが、ナトリウムイオンなら、どのように輸送されるのか、容易に予想できるからです。

私たちはまず、F型ATPaseにおいても未解明のままだった膜タンパク質部分の詳細な形を、世界で初めて明らかにしました[2]。そのうえで、形の情報をもとに、イオン輸送のメカニズムの研究を進めました[3,4]。

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

回転部分の構造解析に成功

―― 今回は分子モーター部分の解析をされましたね。

はい。初めはV型ATPaseのモーター部分（V_1-ATPase）もF型と同じだろうと思っていました。ところが、研究を進めるうちに、かなり違うことに気付きました。そして、どう違うかを明らかにするために、V_1-ATPaseの結晶構造解析を行いました。

実は1996年頃から結晶化を試みてきたのですが、「モーターの軸になるタンパク質（DF複合体）」の解離したものが混在し、高い分解能を示す良質の結晶が得られませんでした。そこで今回は、DF複合体を持たない触媒頭部（A_3B_3複合体）のみを精製しました[5]。これを結晶化してX線で解析したところ、AもBも、それぞれに基本構造が同じ3つの部品からなるものの、立体構造がわずかに違っていることがわかりました（図2のa,b）[6]。AとBの各部品は、同軸を中心にリング状に配されていますが、完全に非対称だったのです。

続いて、ATPとどのように結合するかを調べるために、ATP様の物質（以下、ATP）が存在する環境で同様の操作をし、結晶解析を行いました。すると、AとBの境界部分に存在する3か所のATP結合部位のうちの2か所にATPが結合し、結合することが引き金となって立体構造の一部がわずかに変化することがわかりました（図2のc,d）[6]。

さらに、ATPが「存在しないとき」と「するとき」の立体構造を詳しく比較し、A_3B_3複合体が「ATPと結合できないフォーム（Empty）」「ATPと結合できるフォーム（Bindable）」「ATPと結合しているフォーム（Bound）」から構成されることも突き止めました[6]。

―― 回転の分子メカニズムもわかったのでしょうか？

はい、かなりの部分を理解することができました。ATP存在下では、BindableにATPが結合し、2つのBoundができていました（図2のd）。次に、もともとあったBoundのATPが分解されると、BoundはEmptyにEmptyがBindableに構造変化していました。A_3B_3複合体が安定化するのは「Empty、Bindable、Bound」の順に3つがそろった構造なので、常に、Boundの右隣はEmptyへ、その右隣はBindableへと戻ろうとするようなのです。つまり、各フォームが120°ずつずれていくことになり、これこそが「ATPのエネルギーで一方向に回転する仕組み」であることがわかりました[6]。

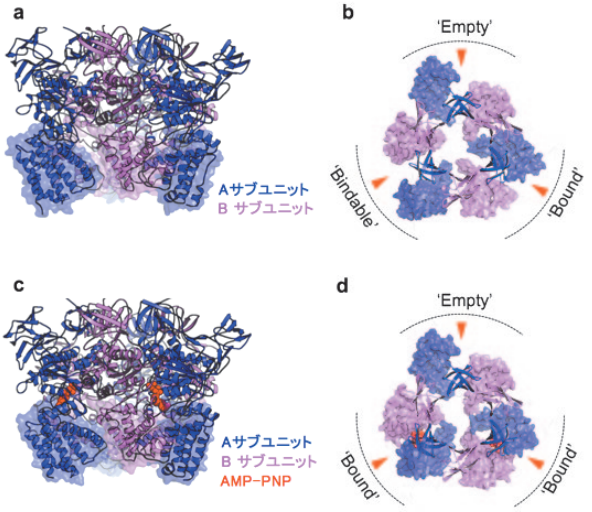


図2　触媒頭部（A_3B_3複合体）の結晶構造。
a,b　A_3B_3複合体の結晶構造。右図ではN末とC末のドメインのみを表示し、3か所あるATP結合部位を赤い矢印で示した。
c,d　AMP-PNPが結合したA_3B_3複合体の結晶構造。

さらに私たちは、A_3B_3、DFの各複合体からなるV_1-ATPaseを安定に精製することにも成功し、その高分解能結晶構造を得ることもできました。「DF複合体があることで、V_1-ATPaseの構造がどのように変化するのか」という点も検討し、実に興味深いことを発見しました。DF複合体の結合により、BindableフォームはATPがなくてもBoundフォームに変化し、Boundフォームは「よりコンパクトなフォーム（Tight）」に変化していたのです。この結果は、軸が、単に回転のためだけでなく、A_3B_3複合体と結合することで立体構造をも変化させ、ATPの分解場所の特定という機能も果たしていることを示しています[6]。

―― V型ATPaseは、創薬のターゲットとしても注目されているそうですね。

はい、V型ATPaseの阻害薬の開発などに期待がかかっています。V型ATPaseは、骨の形成にかかわる破骨細胞やがん細胞の細胞膜にも存在しており、骨粗鬆症（こつそしょうしょう）やがんの悪化や転移に関与していることが知られているからです。

私たちは現在、腸球菌V型ATPaseで得られた知見をもとに、ヒトV型ATPaseの研究も進めており、ごく最近、創薬ターゲットとなる軸複合体の結晶構造を得ることにも成功しました。私たちの成果が、疾患の病態解明や治療薬開発に役立てば幸いに思います。

―― ありがとうございました。 ■

聞き手は西村尚子（サイエンスライター）。

1. Abraham, J.P. *et al. Nature* **370**, 621-628 (1994).
2. Murata, T. *et al. Science* **308**, 654-659 (2005).
3. Murata, T. *et al. PNAS* **105**, 8607-8612 (2008).
4. Mizutani, K. *et al. PNAS* **108**, 13474-13479 (2011).
5. Saijo, S. *et al. PNAS* **108**, 19955-19960 (2011).
6. Arai, S. *et al. Nature* **493**, 703-707 (2013).

AUTHOR PROFILE

村田 武士（むらた たけし）
千葉大学大学院理学研究科 生体構造化学研究室 准教授。1995年、東京理科大学基礎工学部卒業。2000年、東京理科大学大学院博士課程修了（工学博士）。日本学術振興会特別研究員DC1、PD、海外特別研究員、理化学研究所基礎科学特別研究員、京都大学医学部助教を経て、2009年に現所属の特任准教授（テニュアトラック）。2013年より現職。

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

宇宙物理学

“最も近い銀河”までの正確な距離

An accurate distance to the nearest galaxy

Bradley E. Schaefer 2013年3月7日号 Vol. 495 (51–52)

銀河系（天の川銀河）のすぐ隣にある銀河、大マゼラン雲への距離を正確に測定すれば、宇宙に満ちているダークエネルギー（暗黒エネルギー）の正体に迫る足がかりになる。今回、食連星を使う方法で誤差 2.2％の値が得られた。

地球から天体までの距離は、天文学では非常に重要だ。天体の距離がわかれば、宇宙の構造を理解することができる。例えば太陽系の姿を理解したり、銀河系の外にある銀河を識別したりすることができる。天体の物理的大きさの推定値は、天体までの距離が増えるほど大きくなる。また、天体が出しているエネルギーの推定値は、距離の2乗とともに大きくなる。現在、非常に遠くにある超新星の距離を測定して、宇宙の膨張の歴史を解明し、謎めいたダークエネルギーの正体に迫る試みが進んでいる。

こうした天体までの距離は、「宇宙の距離梯子（はしご）」をもとに導き出されている。距離梯子とは、近くの天体までの距離をもとに、より遠くの天体の距離を決め、それを繰り返してさらに遠い天体の距離を求める方法のことだ。コンセプシオン大学（チリ）天文学科のGrzegorz Pietrzyńskiらは今回、距離梯子の「段」の中でも特に重要な大マゼラン雲（図1）までの距離を、非常に正確に求め、*Nature* 2013年3月7日号76ページに報告した[1]。これまで、大マゼラン雲の距離は、距離梯子を上っていくうえでボトルネックとなっていた。

距離梯子の1段目は地球の大きさである。天文学の歴史を振り返ると、2段目の地球・太陽間の距離は、地球の大きさから求められた。具体的には、金星が太陽の前を横切る時間が、地球上の観測点によって違うことを利用した。3段目は近い恒星までの距離で、このときは視差による方法、つまり、地球が太陽の周りを回るにつれ、近くの星の位置がふらついて見える現象を利用した。

宇宙論や銀河系外の研究のためにさらに距離梯子を上るには、ほとんどすべての方法が、大マゼラン雲までの距離という段を経由する。大マゼラン雲は、かつては「銀河系に最も近い銀河」だった（現在ではもっと近い銀河が見つかっている）。もしも大マゼラン雲までの距離が10％狂っていれば、あらゆる銀河の距離（宇宙の膨張率であるハッブル定数を使って計算される）も同じように10％狂ってしまう。逆に、大マゼラン雲までの非常に正確な距離が得られれば、それを遠い超新星の測定と組み合わせると、ダークエネルギーの性質を示す値の測定精度が大きく向上し、その結果、ダークエネルギーの正体が明らかになる可能性がある。

大マゼラン雲の距離は、以前から議論の絶えない問題だった。数十年にわたって測定が行われてきたが、発表された値は常にばらついていた。2001年までの10年間に発表された値だけで36％のばらつきがあったが、報告されたエラーバー（グラフで誤差の範囲を示す棒）は、このばらつきよりずっと小さかった[2]。つまり、大マゼラン雲の距離を決定するために使われたさまざまな方法には、明らかに、大きくて原因不明の系統誤差があった。

2001年、ハッブル宇宙望遠鏡の重点観測計画で、影響力の大きな「キープロジェクト」が、50.1±2.3キロパーセク（16万3400±7500光年）という値を発表した[3]。これは、それまでのばらつきの真ん中辺りの値であり、エラーバーの大きさも妥当なものだった[3]。しかし、この発表はバンドワゴン効果（勝ち馬に乗る風潮）を生んだ。それから6年間、天文学者たちはこの値を意識して、そこから大きく外れない値を発表した[4]。

一方、ビラノーバ大学（米国ペンシルベニア州）を中心とするグループは、食連星を用いる別の測定法を開発し、4組の食連星に応用した[5-8]。2011年のノーベル物理学賞を受賞したジョンズホプキンス大学（米国メリーランド州ボルティモア）のAdam Riessが率いるSHOES計画は、このビラノーバ大学の手法を採用し、2011年、大マゼラン雲の距離を誤差3％で49.8キロパーセクと報告した[9]。

今回、Pietrzyńskiらは、国際共同観測計画であるアローカリア計画の一環として、誤差2.2％の値を得た。チリにあるラスカンパナス天文台の口径6.5mの望遠鏡などを使い、大マゼラン雲の8組の食連星の距離を8年間かけて測定した成果である。

連星は、2つの星が互いの周りを回っているもので、食連星の場合、地球から見たとき、一方の星がもう一方の星の前

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

を定期的に通過する。Pietrzyńskiらは、それぞれの連星について、食の期間と測定された星の速度から両方の星の正確な大きさを求め、一方、星のスペクトルからその表面温度を求めて、それらをもとに各連星の合計の固有光度を導き出した。そして、合計の固有光度と観測された明るさとを比べて、光の逆二乗則から連星の距離を決定した。

この方法は、学部学生レベルの天文学と物理学のみを使って極めて注意深く行われたものであり、信頼性は高く、距離梯子の低い方の段をすべて飛び越してしまった。Pietrzyńskiらは、8組の食連星の距離を平均し、大マゼラン雲の新しい距離を49.97±1.13キロパーセクとはじき出した。

しかし、今回の新しい大マゼラン雲の距離と、これまでに発表された値を比較すると、気になる問題が3つあることに気付く。第一に、アローカリア計画は以前、食連星の1つの距離を50.1±1.4キロパーセクと報告していた[10]。しかし、今回はその食連星の距離を49.3±0.5キロパーセクとしており、どうして値が変わったのかについては説明がない。

第二の点はもっと気にかかる。ビラノーバ大学グループが報告した4組の食連星の平均距離は47.1±1.4キロパーセクで、アローカリア計画の結果とはかなり異なっている。両グループの採った方法の主な違いを見ると、アローカリア計画では低温の星を使っていること、星の表面温度を決定するのに表面輝度と色との経験則を用いたことが挙げられる。対照的に、ビラノーバ大学グループは高温の星を使い、温度の推定には理論モデルを使っている。

気になる第三の点は、新しい距離がキープロジェクトの値と非常に近いことだ。差はPietrzyńskiらが示したエラーバーの10分の1しかない。かつてのバンドワゴン効果をどうしても思い出してしまう。

今後、どういう成果が期待できるだろうか。現在、10個以上の食連星の観測が進んでおり、結果が出るのは近いとみられる。また、今回の方法は、さんかく座にあるM33銀河の食連星にも応用されるだろう。しかし、2013年秋に欧州宇宙機関（ESA）が探査機ガイアを打ち上げることになっており、そうすれば状況は大きく変わるはずだ。

ガイアはすばらしい性能を持ち、視差によって正確な距離を測定することができ、大マゼラン雲の距離でさえ視差で測定できる。距離梯子の大マゼラン雲よりも上の段に上るために、さまざまな標準光源が使われているが、ガイアは、それらの距離について、決定版となるキャリブレーション（比較校正作業）を行う予定だ。それにより、大マゼラン雲の距離の精度がボトルネックになっている現状は解消されるだろう。

ガイアは、大マゼラン雲の多数の星の視差データを合成平均誤差1％で得て、大マゼラン雲の構造を明らかにするだろう。したがって、大マゼラン雲の食連星を調べる方法が宇宙物理学の最先端である状況は、今後数年間に限られるはずだ。■

（翻訳：新庄直樹）

SPL/AMANAIMAGES

図1　大マゼラン雲

Pietrzyńskiらは、私たちの銀河系のすぐ隣にある銀河、大マゼラン雲までの正確な距離を決定した[1]。大マゼラン雲の距離は、ほかの銀河の距離を決定するための基礎となっている。

Bradley E. Schaeferは、ルイジアナ州立大学物理・天文学科（米国）に所属。

1. Pietrzyński, G. *et al. Nature* **495**, 76–79 (2013).
2. Benedict, G. F. *et al. Astron. J.* **123**, 473–484 (2002).
3. Freedman, W. L. *et al. Astrophys. J.* **553**, 47–72 (2001).
4. Schaefer, B. E. *Astron. J.* **135**, 112–119 (2008).
5. Guinan, E. F. *et al. Astrophys. J.* **509**, L21–L24 (1998).
6. Fitzpatrick, E. L. *et al. Astrophys. J.* **564**, 260–273 (2002).
7. Ribas, I., Fitzpatrick, E. L., Maloney, F. P., Guinan, E. F. & Udalski, A. *Astrophys. J.* **574**, 771–782 (2002).
8. Fitzpatrick, E. L., Ribas, I., Guinan, E. F., Maloney, F. P. & Claret, A. *Astrophys. J.* **587**, 685–700 (2003).
9. Riess, A. G. *et al. Astrophys. J.* **730**, 119 (2011).
10. Pietrzyński, G. *et al. Astrophys. J.* **697**, 862–866 (2009).

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

X 線結晶構造解析

結晶化せずに分子構造を決定する「結晶スポンジ法」

One size fits most

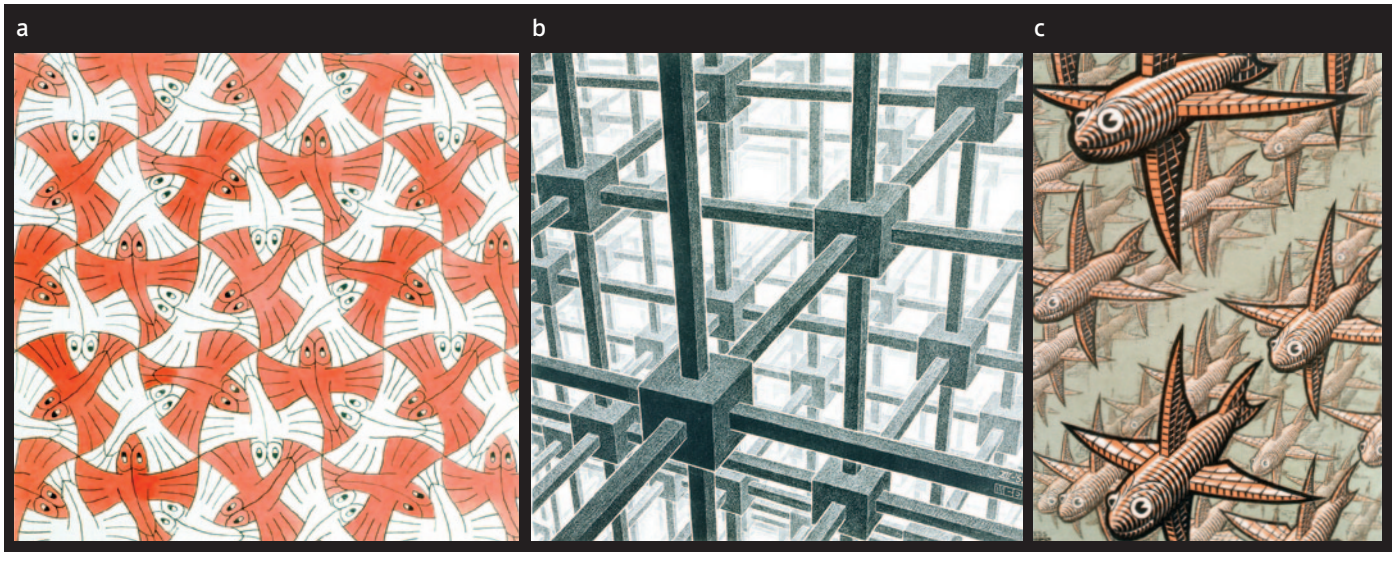
Pierre Stallforth & Jon Clardy 2013 年 3 月 28 日号 Vol. 495 (456–457)

「結晶スポンジ」と呼ばれる材料を使うと、小さな分子を規則正しく配列させることができ、
サンプルを結晶化することなく X 線結晶構造解析法で分子構造を解明できることが実証された。
しかも、この新しい解析法なら、サンプルもナノグラムオーダーの微量化合物で済むという。

科学の世界では、分子など目に見えないものの形や様子が普通に説明される。そうした分子の構造を実際に明らかにする方法はいくつかあるが、X線結晶構造解析法ほど優れたものはない[1]。ただ、この解析法は、サンプルがほんの少量しか得られない場合、サンプル調製も解析も難しくなる。しかし今回、猪熊泰英(いのくまやすひで)らは、こうした問題を克服する「結晶スポンジ法」という新しい手法を報告した[2]。この手法のおかげで、X線結晶構造解析の適用範囲は大幅に拡大するだろう。

X線結晶構造解析は、抗生物質、工業用触媒、人工甘味料、脳内で信号として働く神経伝達物質など、多くの小分子の構造解明に不可欠である。X線結晶構造解析に関する論文が雑誌のインパクトファクターに大きな影響を及ぼすことからも、この解析法の重要性がわかる。例えば、小分子X線データの解析に最も広く用いられるプログラムに関する論文[3]が2008年に発表されると、発表年には2.05であったその雑誌のインパクトファクターは、2009年に49.93、2010年に54.33に急上昇した。その後、2011年には2.08まで落ち込んでいる。

これほど大きな注目を集めるX線結晶構造解析だが、意外にも大きな欠点がある。それはサンプルの結晶が必要だという点だ。結晶中では、分子が規則正しい繰り返し配列をとることによって、そこに照射されたX線が、その繰り返し



THE M. C. ESCHER COMPANY; WWW.MCESCHER.COM

図 1　骨格が秩序を作る

M. C. エッシャーの絵画は、さまざまな結晶構造の特徴を表している。**a,** たいていの結晶は、*Symmetry Drawing* の魚のように分子がぎっしり詰まっている。**b,** しかし、結晶スポンジは、*Cubic Space Division* に見られるような規則正しく穴のあいたネットワーク構造をとる。**c,** 猪熊ら[2]は、分子を結晶スポンジの穴の中に捕らえることによって、*Depth* の魚に似た配列で分子を格子状に並べた。これにより、ナノグラムオーダーの微量化合物の X 線結晶構造解析が可能になった。

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

単位に応じた回折を示す。そこで回折を受けたX線を回折点として測定し、その強度データをコンピューターで処理することにより、結晶中の分子の画像が生成される。ところが、結晶化していない分子の場合、分子構造を決定するための十分な回折点が得られず、この構造決定手法はほとんど役に立たなくなってしまうのだ。

もちろん、質量分析法や核磁気共鳴法など、別の手法を用いて分子構造を求めることもできる。だが、それらは、候補を除外する推論過程を経て分子構造を絞り込んでいく手法であり[4,5]、分子像が得られるX線結晶構造解析法とは根本的に異なる。しかし、質量分析法や核磁気共鳴法のメリットは、X線結晶構造解析法よりもはるかに少ないサンプルで測定できること、そして何より重要なのは、サンプルの結晶化が不要なことだ[6]。

単結晶X線解析法は、シンクロトロンによる高強度X線ビーム、散乱されたビームを測定する効率のよい方法、分子像を作成するコンピューター処理に有効なアルゴリズムといった技術開発の恩恵を受けてきた。こうした進歩のおかげで、測定に必要な結晶サイズは小さくて済むようになった。しかし、結晶が不要かどうかまで検討した例はこれまでなかった。結晶の作製は、わずかな一般原則と膨大な試行錯誤に基づく作業であり、知的技能よりも職人的技能が求められる。サンプルは、少量しか得られないことがほとんどであるため、結晶化は困難を極める。通常、1mgに満たないサンプルを結晶化することは非常に難しい。

今回、猪熊らは、「結晶スポンジ法」という驚くほどシンプルな手法でサンプルの結晶化を回避した。まず、多孔(たこうせい)性のホスト結晶を作製する。ホスト結晶は、内部で無数の穴が互いにつながった構造をとっており、サンプル溶液から小分子を吸い上げることができる。小分子がホスト結晶の穴に捕捉されるのにちょうどいいサイズと形状を持つ場合、ホスト結晶内部で小分子が規則正しく配列するため、X線結晶構造解析法でその分子構造を調べることが可能になる。

混雑する空港の出発ゲート前の様子を考えると事情がよくわかる。出発ロビーには、座席が二次元格子状に配置されている。搭乗客は、いろいろな入口から空港に入り、別の便の搭乗客と混ざり合いながら通路や施設を通って出発ゲート前ロビーに向かってくる。そして、出発の少し前の段階では、出発予定の便の乗客だけが席の大部分を占めるわけだ。このたとえでは、規則正しく配置された空の座席が、ホスト結晶中の穴に相当する。正しい搭乗券を持つ乗客、つまり適切な形状を持つ分子だけが、然るべき場所に落ち着くことができる。

猪熊らがホスト結晶として用いた材料は、金属有機構造体、多孔性材料など、いろいろな名前で呼ばれているものだが、今回の用途には結晶スポンジと呼ぶのが最も適当と思われる[7]。結晶スポンジの構造は、M. C. エッシャーのモザイク画のような、球体がぎゅうぎゅうに詰め込まれた構造の図（図1a）ではない。むしろ、建設中のビルの足場のようなもので、内部に空洞がある（図1b）。この図で、桁が交差する部分は金属原子に相当し、桁は長く剛直な直鎖状有機分子に相当する。内部の空洞の特性は、接続基の特性（長さなど）に依存する。

分子を選択的に吸収するよう結晶スポンジを設計できることは、すでに知られていた。今回、猪熊らは、適度の無選択性(特定のものだけを選択する性質の逆)を持つ結晶スポンジについて報告している。こうした結晶スポンジは、さまざまな形状の分子を収容する無選択性と、一方向を向いた状態で分子を保持する選択性を併せ持つ。また、分子は、可逆的な結合が可能な程度に緩く閉じ込められる。このため、分子はいろいろな結合方向を試した後、エネルギーが最低になる結合方向へと落ち着く。つまり、結晶スポンジは、ゲスト分子の大部分を溶液から引っ張り出して、規則正しい配列で保持することができる。だから、X線結晶構造解析法で明確な分子構造が得られるのだ（図1c）。

猪熊らは、結晶スポンジ法を用いて、さまざまな分子の構造を見事に解明した。他の方法では、完全な解析が不可能だった天然物ミヤコシンAの構造も、解明できた。また、研究者の1人が被験者となったブラインド試験では、6種類の分子構造を正しく決定できた。さらに驚異的なのは、解析に必要なサンプル量を、従来のX線結晶構造解析法に必要な量の約1000分の1まで減らせることである。

ただし、何%の分子に結晶スポンジ法を適用できるのかは、今のところ不明である。また、分子はスポンジの穴にぴったり収まる必要があるが、ミヤコシンAは今回の結晶スポンジを利用できる上限のサイズに近いようである。今後、結晶スポンジ法が広く採用されるためには、猪熊らが開発した結晶スポンジを、例えば供給業者から、容易に入手できるようにする必要がある。ただ、今回の初期成果が一般に適用可能になれば、新しい分子構造の報告が増え、新しい結晶スポンジがどんどん合成されるようになるだろう。そんな時代が目に浮かぶ。近い将来、研究者たちは、分子を結晶化するなんて面倒なことはしなくて済むようになる。結晶スポンジセットを使って分子を吸収すればいいからだ。どのスポンジを使えば最も明瞭な分子像が得られるか、X線解析でどんどん試していけばいい。■

（翻訳：藤野正美）

Pierre Stallforth と Jon Clardy は、ハーバード大学医学系大学院生化学・分子薬理学科（米国）に所属。

1. Blow, D. *Outline of Crystallography for Biologists* (Oxford Univ. Press, 2002).
2. Inokuma, Y. *et al. Nature* **495**, 461–466 (2013).
3. Sheldrick, G. M. *Acta Crystallogr. A* **64**, 112–122 (2008).
4. Nuzillard, J.-M. & Massiot, G. *Tetrahedron* **47**, 3655–3664 (1991).
5. Lederberg, J. *et al. J. Am. Chem. Soc.* **91**, 2973–2976 (1969).
6. Molinski, T. F. *Nat. Prod. Rep.* **27**, 321–329 (2010).
7. Kitagawa, S., Kitaura, R. & Noro, S.-I. *Angew. Chem. Int. Edn* **43**, 2334–2375 (2004).

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

スローな科学

Slow science

Brian Owens 2013年3月21日号 Vol. 494 (300–303)

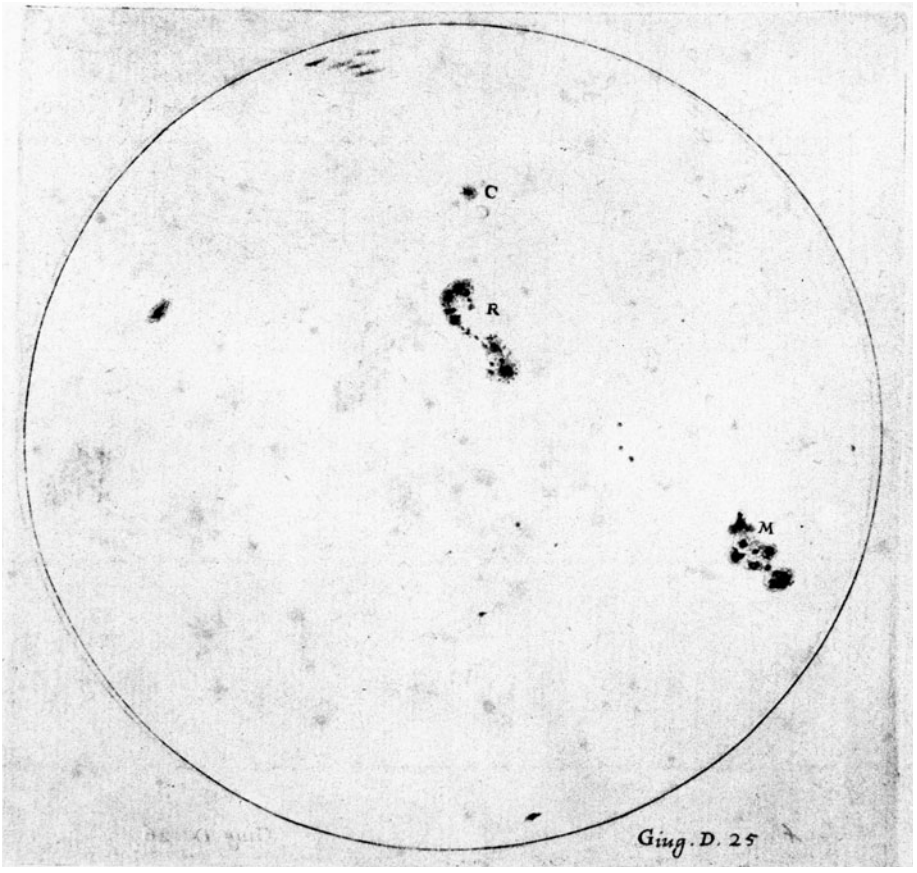
速いばかりが能じゃない。
世の中には、数十年あるいは数百年も続いている実験がある。
科学は短距離走ばかりではなく、マラソン競技も含めた知的作業であることを、改めて思い出そう。

科学という知的作業は、長期的な営みである。しかし、今日の科学研究のタイムスケールは短く、連続性のない実験や、研究助成金の期間内に完結するよう計画されたプロジェクトばかりが目につく。研究の中には短期間では答えが出せないタイプのものもあり、例えば、人間の寿命、地殻の変動、太陽表面の活動などを調べるためには、数十年から数百年という時間が必要だ。

ここでは、特に長く続けられている研究プロジェクトを5つほど紹介する。その中には、数世紀にもわたって途切れることなくデータを蓄積している研究もある。また、毎年数百本の関連論文が発表されている研究もあれば、10年に1個程度のペースでしかデータ点が増えない研究もある。

研究の優先順位や実験に用いられる技術はどんどん変化していく。そのため、時間のかかる研究プロジェクトは、その意義に疑問を投げかけられるケースが多く、研究資金の不足や責任者の交代によって、その存続が周期的に脅かされる。けれども研究チームの結束は固く、簡単には崩れない。研究を始めた科学者の先見性と、プロジェクトを引き継いだ人々の忍耐と献身があるからだ。

人間の寿命に関する90年に及ぶ研究によると、地道に努力するタイプの人は健康で長生きする傾向があるという。それが本当なら、ここで取り上げる科学者たちも、何らかの新記録を打ち立てるに違いない。



ガリレオは1613年に太陽黒点をスケッチしている。

THE BRIDGEMAN ART LIBRARY/PANA

太陽黒点を数えて400年

400年以上前に望遠鏡が発明されて以来、天文学者たちは太陽の表面に現れる黒点を記録し続けてきた。あのガリレオも、黒点の観測記録を残している。初期の観測者は、太陽の表面に見える黒い点の正体についても、それらを作り出す磁場についても、なんの知識も持っていなかった。そんな状況が変化し始めたのは1848年のことだった。スイスの天文学者Rudolf Wolfが黒点の組織的な観察を始めて、黒点の量を計算するための公式を考案したのだ。この式で求められる値は「ウォルフ数」と呼ばれ、太陽活動の時間変化の尺度として、今日も国際的に

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

用いられている。

ベルギー王立天文台では、1700年から太陽表面のスケッチや写真に基づいて算出した太陽黒点の数の集計を行っていて、今日までに500人以上がこの観測に従事している。2011年、Frédéric Clettеはベルギー王立天文台（ユックル）の太陽影響データ解析センター（SIDC）の所長に就任した。

スタンフォード大学（米国カリフォルニア州）の太陽物理学者Leif Svalgaardによると、黒点の観測データは次なる活動の予測に非常に役に立つという。黒点の活動は、11年程度の周期で活発化したり沈静化したりしているように見える。そして、太陽フレアによって黒点付近から宇宙空間に噴出する荷電粒子の流れは、人工衛星や地球上の電子機器に影響を及ぼすおそれがある。詳細な記録があれば、黒点の活動に周期がある理由を解明し、特に激しい太陽活動の予測の精度を向上させることができる。「観測期間が長くなればなるほど、理論をしっかり検証することができます」とSvalgaardは言う。太陽黒点の観測データは、太陽物理学のみならず、地磁気学、大気科学、気候科学など、広範にわたる分野の論文に引用されており、毎年の引用回数は約200回にもなる。

けれども、このプロジェクトは研究者の善意に頼る部分が大きい。ベルギーのSIDCでは、毎月、約90人の観測者（その3分の2はアマチュア）が、200年前の望遠鏡と同程度の性能しかない小型の光学望遠鏡を使って観測した太陽黒点の数を照合している。SIDCは、国際科学会議（フランス・パリ）が承認する世界データセンターの1つであるにもかかわらず、そこから資金提供を受けていない。さらにCletteは自身も、ベルギー王立天文台の天文学者としての「夜の仕事」のほかに、もう1人の「パートタイマー」と協力してデータベースの管理をしているのだ。

それでもCletteは、何百年も前の仲間と「共同研究」をすることが魅力的なのだと言う。例えばガリレオは「惑星やら何やらの研究で忙しく」、太陽の観測は時々しかやっていなかったが、彼のスケッチは非常に詳細だったため、太陽黒点群の磁気構造や、太陽磁気双極子の大きさと傾きに関する情報が得られるという。「ガリレオのスケッチから、今日のスケッチと同じ情報を得ることができるのです」と彼は言う。

それ以上にCletteを魅了しているのは、先達たちの先見性であるという。彼らはただ、後世の研究者の役に立つだろうと考えて、自分が見たものを忠実に記録していた。しかし、「こうした姿勢こそが科学の土台になるのです。最終的にどのような結果になるのか、気に病んだりしないのです」と彼は言う。

ベスビオ山を監視して170年

イタリアのナポリ湾岸にあるベスビオ火山は常に活動しているが、数千年に一度、特に激しい噴火を起こす。最も新しい大噴火は西暦79年に起きたもので、火砕流によってポンペイ市が滅亡したことはあまりにも有名だ。その前の大噴火が起きたのは約3800年前で、今日のナポリにあたる地域を高温のガスと岩石で覆い尽くしたと考えられている（*Nature* **473,** 140-141; 2011参照）。この気性の

ベスビオ火山観測所は、現在は博物館になっているが、もともとはベスビオ山の火山活動を山腹から監視するために設立された。

ALINARI /GETTY IMAGES

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

荒い山を監視するために1841年に設立されたのが、ベスビオ火山観測所だ。世界最古の火山観測所であり、火山性地震の記録から噴火の危険を予知しようとしている。この観測所は、当初はベスビオ山の標高600mの山腹にあった。この位置は、火口から噴出する岩石の破片が届かない程度に山頂から遠く、小高い丘の上にあたるので溶岩流も回避できるからである。ベスビオ火山観測所の現在の所長であるMarcello Martiniは、「この観測所が、現在も続く火山学と地質学の研究方法を形づくってきたのです」と言う。

同観測所の初代の所長だったMacedonio Melloniは、溶岩の磁気特性について先駆的な研究を進め、後の古地磁気学（岩石中に記録された過去の地球磁場についての研究）の発展に、決定的な影響を及ぼした。また、第2代の所長であるLuigi Palmieriが1856年に発明した電磁式地震計は、従来の地震計に比べて地震動への感度が格段に高く、これを利用して噴火を予測することができた。現在、世界の火山活動の監視に用いられている観測装置の多くは、Palmieriの時代以降、ベスビオ火山観測所で開発されたものである。20世紀初頭には、同観測所の所長であるGiuseppe Mercalliにより火山活動を分類するスケールが考案され、このスケールは今日も用いられている。

観測所の建物は、今では設立当初とは違った目的に利用されている。ロードアイランド大学（米国キングストン）の火山学者Haraldur Sigurdssonは、「ベスビオ火山観測所が設立された時代には、観測所はできるだけ火口に近い場所にあることが重要でした。しかし、最近はそうとは限らないのです」と言う。今日では、地上に設置したセンサーを使った遠隔観測が主流になっており、ベスビオ山周辺のデータはイタリア国立地球物理学火山学研究所（INGV、ナポリ）の研究室へと送信されるようになった。そして、元の観測所の建物は1970年に火山博物館となった。

ベスビオ火山観測所が収集する観測データは、理論家に情報を提供するだけでなく、災害を予測して市民を守るためにも用いられる。実際、1944年の小規模な噴火の際には、このデータが大いに役立った。ナポリのINGVでは、ベスビオ山のほかに、シチリア島の北方にあるストロンボリ島と、ナポリの西にあるカンピ・フレグレイというカルデラと、ナポリ湾のイスキア島も24時間体制で監視している。けれども、未来の火山学は、危険であることがわかっている火山にセンサーを設置することではなく、どんな場所の地形変化でも調べることができる人工衛星に搭載したレーダーを使って、地質学者の予想にかかわりなく危険な領域を見つけ出せるようにすることだ。そうSigurdssonは言う。「我々は、火山の山腹に立つレンガとモルタルの建物に閉じこもるのではなく、国際的に協力して火山を監視するシステムの構築をめざすべきであり、地球規模の包括的な視野を持たなければならないのです」。

肥料の効果を検証して170年

一般に、長年にわたって続けられている研究プロジェクトを引き継いだ研究者は、研究の本来の形を保とうと努力する一方で、それが時代に合った研究となるよう工夫するものだ。2008年に一連の農業実験を引き継いだAndy Macdonaldも同じである。この実験は、無機肥料と有機肥料が農作物の生産量に及ぼす効果を検証するもので、1843年から続いている。

これらの研究は、肥料産業の祖とされる実業家のJohn Lawesがロンドン北部のロザムステッドにある邸宅の土地で始めたもので、窒素、リン、カリウム、ナトリウム、マグネシウム、堆肥の使用が、コムギ、オオムギ、マメ科植物、根菜類などの主要作物の収穫量にどのような影響を及ぼすかを調べるものだ。

ロザムステッドでは、肥料がコムギなどの農作物の収穫率に及ぼす影響を調べる実験が1843年から行われている。

ロザムステッド研究所で続けられている「古典的実験」の責任者であるMacdonaldは、「実験開始から20年か30年後には、各種の肥料の相対的重要性に関する基本的な疑問については、答えが出ていました」と言う。効果が最も大きいのは窒素で、次がリンであった。その後、実験の内容は定期的に更新されて、現在の農業技術に合った新しいアイデアを検証するものとなっている。例えば、実験が始まった当初は、当時の農家が栽培していたのと同じ背の高い穀物品種を使っていたが、背が低く収穫量の多い品種が主流になったのに合わせて、1968年以降、実験に使う品種も変更されている。Macdonaldによると、こうした新しい矮性（わいせい）品種は、従来の品種よりも多くの栄養分を土壌から奪い、より多くの肥料を必要とすることが明らかになったため、農家は施肥の方法を変えることになったという。

ミシガン州立大学W. K. ケロッグ生物学研究所（米国ヒッコリーコーナーズ）の所長Phil Robertsonは、「ロザムステッドは長期的農業研究の祖です」と言う。途切れることなく続いている実験データは非常に貴重だとRobertsonは指摘する。ロザムステッドでの実験は、長いタイムスケールの観察によって初め

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

ROTHAMSTED RESEARCH

て明らかになるような、環境的・生物学的な傾向（土壌中の炭素貯留量の推移や外来種の影響など）を教えてくれるだけでなく、短いタイムスケールの研究（土壌中の窒素化合物の減少など）の土台にもなるからだ。

ロザムステッドのアーカイブには、実験開始当初からの植物と土壌のサンプルが約30万点も保管されている。2003年には、このアーカイブに保管されている1843年以降のコムギのサンプルから2種類の病原体のDNAが抽出され、産業活動で排出される二酸化硫黄の量が、どちらの病原体が優勢になるかを左右していることが明らかになった[1]。

このような長期プロジェクトにとって、研究資金提供機関の興味を引き続けるのは一苦労だ。ロザムステッドは、政府からの資金提供と、競争的研究資金と、Lawesが生前に手配しておいた信託資金を組み合わせることで、なんとかプロジェクトを続けている。2012年に米国農務省の長期農業生態系研究ネットワークの立ち上げに参加したRobertsonは、「大きな成果が全く得られない間も、観察は続けなければならないのですから、資金提供機関の側からしてもたいへんなことです」と言う。Macdonaldの研究チームは、自分たちの歴史を誇りに思っている。「私は時々、170年前のJohn Lawesのことを考えます」と彼は言う。「私は、この実験がよい状態で次の世代に引き継がれるよう、環境を整える重大な責務を負っています。これは骨董品ではなく、今日の生きた科学コミュニティーの一部なのです」。

天才児の人生を追跡して90年

1921年、スタンフォード大学（米国カリフォルニア州）の心理学者Lewis Termanは、自ら考案した「スタンフォード・ビネー式知能検査」を使って1500人以上の天才児を選抜し、彼らの発達・成長を追跡する研究を始めた。以来、研究チームは、1900年から1925年までに生まれた参加者を90年間にわたって追跡し、その家庭生活、教育、関心事、能力、性格を調べてきた。この研究は、世界で最初に行われた縦断的研究の1つであり、人間の発達に関する詳細な記録を最も長い期間にわたって蓄積するものとなっている。

この「天才の遺伝学的研究」と呼ばれるTermanの研究が始まった当時、天才児は病弱で、社交性に欠け、発育がいびつであるという偏見が一般に広がっていた。研究の主要な目的の1つは、この偏見を反証することにあった。しかし、当時の基準で見ても、Termanの研究デザインには多くの問題点があった。

例えば、研究対象となる天才児は、主に教師から推薦された児童に対して知能検査をするという行き当たりばったりの方法で選抜しており、その標本は母集団を正しく代表していなかった（結果として、参加者の90%以上が白人の上流または中流階級出身者で、Terman自身の子どもたちまで含まれるという有様だった）。さらにTermanは、天才児の人生を研究しようとしていたにもかかわらず、まさにその人生に介入してしまった。彼は、「Termanの天才児」と呼ばれるようになっていた参加者たちのために推薦状を書き、そのうちの数人がスタンフォード大学に入学できるようにしてやったのだ。

それでも、Termanは天才児を成人期まで追跡することにより、彼らが普通の子どもと同じように健康で、社会によく

STANFORD UNIV. ARCHIVE

Lewis Termanが1921年に始めた「天才の遺伝学的研究」は、人間の発達に関して最も長く続けられている研究の1つである。

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

適応していることや、一般的には、成功した幸せな大人になることを示した。その後の研究者たちは、当初の研究方法を改良して、問題点の一部を克服しようとした。

例えば、1980年代には、ハーバード大学医学部（米国マサチューセッツ州ボストン）の心理学者George Vaillantが、成人の発達に関する自分の長期研究を補充するためにTermanのデータを利用するようになり、「Termanの天才児」たちの死亡診断書を集め始めた。

さらに、カリフォルニア大学リバーサイド校（米国）の心理学者Howard Friedmanは、これらの記録を利用して、Termanの研究で最も重要な知見の1つを導き出した。それは、児童期と成人期で測定される「まじめさ」、すなわち、思慮分別、粘り強さ、計画性が、長寿を予言するカギとなる心理的因子であり、まじめな人は、そうでない人に比べて6～7年も長生きするという知見である[2]。「参加者の生涯にわたる縦断的研究データがなかったら、このことを発見するのは容易ではなかったでしょう」とFriedmanは言う。

縦断的研究はその時代の科学的流行とともに進化する、とスタンフォード長寿研究センターの所長Laura Carstensenは指摘する。新たに研究に参加する研究者は、新しい測定項目を追加したり、興味がなくなった項目や時代遅れになったと考える項目を修正したり、削除したりする。「例えば、今日では1900年とは全く異なる方法で、感情的幸福感を測定します」と彼女は言う。「縦断的研究のデータを眺めることは、多くの点で、心理学の歴史を書くことに相当するのです」。

ピッチが滴り落ちる瞬間を待って85年

1961年、物理学者のJohn Mainstoneは、クイーンズランド大学（オーストラリア・ブリズベーン）にやってきて2日目、戸棚の中で34年間もひっそり続けられているという奇妙な実験を見せられた。それから50年が過ぎ、今でも彼はこの実験の管理をしている。そして、その最も劇的な瞬間を目撃しようと待ち構えている。

この実験が始まったきっかけは、同大学の初代の物理学教授だったThomas Parnellが、ピッチが液体としてふるまうこと、そして世界で最も遅い砂時計のように漏斗（ろうと）から滴（したた）り落ちることを学生に見せようと思い立ったことだった。ピッチは、タールを蒸留した後の残渣（ざんさ）として得られる黒い物質のことで、低温ではハンマーでたたき割れるほどもろい。この実験で、ピッチが確かに漏斗から滴り落ちることが証明されたが、それは約6～12年に1滴という超スローペースであった。Mainstoneは、今年の終わり頃までに9滴目が落ちるかもしれないと期待している。

この実験から多くの成果が得られているとは言いがたい。実験開始から86年の間に執筆された科学論文は、ピッチの粘度が水の2300億倍であると計算した1本しかないのだ[3]。2005年には、ノーベル賞のパロディー版で、「人々を笑わせ、そして考えさせる」研究に対して贈られる「イグ・ノーベル賞」を受賞して、名誉なのか不名誉なのかよくわからない注目も浴びた（*Nature* **437**, 938-939; 2005参照）。

しかし、この実験から得られる科学的知見はまだある。ピッチが滴り落ちる瞬間は、まだ目撃されていないからである。いちばん新しい滴が落ちた2000年11月には、実験を記録するウェブカメラが設置されていたが、たまたま故障していたため、ピッチがどのように滴り落ちるのか、厳密にはわかっていないのだ。また、天気、空調の導入、建物の改修作業による振動が滴下のペースに及ぼす影響を解明するには、さらに数十年の時間が必要になるだろう。

ピッチ滴下実験は、科学というよりは歴史的・文化的な価値がある、と

JOHN S. MAINSTONE, UNIV. QUEENSLAND

実験が始まったのは1927年だが、ピッチはまだ8滴しか落ちていない。

Mainstoneは言う。この実験は、彫刻家や詩人や作家が、時間の経過や現代生活のペースについて思いを巡らせるきっかけとなった。それはまた、科学の歴史や不変性の感覚にもつながる。「外の世界で生起するあらゆる騒乱を尻目に、ピッチは静かに滴り落ちてゆくのです」とMainstoneは言う。漏斗に残っているピッチの量を考えると、この静かな実験はあと150年は続くだろう。現在78歳のMainstoneは、自分がいなくなった後にこの実験を引き継いでくれる若い同僚をすでに確保しているという。■

（翻訳：三枝小夜子）

Brian Owensは、カナダのニューブランズウィック州在住のフリーライター。

1. Bearchell, S. J., Fraaije, B. A., Shaw, M. W. & Fitt, B. D. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **102**, 5438-5442 (2005).
2. Friedman, H. S. & Martin, L. R. *The Longevity Project: Surprising Discoveries for Health and Long Life from the Landmark Eight-Decade Study* (Hudson Street Press, 2011).
3. Edgeworth, R., Dalton, B. J. & Parnell, T. *Eur. J. Phys.* **5**, 198-200 (1984).

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

抗生物質耐性菌対策に、機運が高まる

The antibiotic alarm

2013年3月14日号　Vol. 495 (141)

既存の抗生物質に耐性を持つ細菌の発生件数が、憂慮すべき急増を見せており、
世界の人々の健康に及ぼす影響を見極めて、行動を起こさねばならない。
幸い、政策立案者の認識がようやく高まってきた。

本誌読者にとって、抗生物質耐性菌の脅威は新しい話ではないだろう。すべての抗生物質に耐性を示す「スーパー細菌」の報道も、最近では珍しくなくなった。そうした中で意外なのは、政策立案者の間でこの問題への認識が比較的低いことだ。特に、破局的な危機の様子が明らかになってきた現状からすると、認識の希薄さには愕然とせざるを得ない。要するに、これは病原菌との「軍拡競争」なのであり、我々は劣勢に立たされているのだ。

何十年も前から医療・大学関係者などが警告してきたように、抗生物質の乱用と過剰処方が、耐性菌株を増加させてきた。新種の抗生物質の発見・開発が細っている現在、問題はより悪化しているといえる。しかし、そのぶん、警告メッセージの力は増しており、以前はばらばらだった声も1つにまとまるようになった。また、Antibiotic Action（英国抗菌薬化学療法学会による世界規模の取り組み）など、うまく組織化されたキャンペーンが功を奏し、全世界の政策立案者の間で、抗生物質耐性菌の脅威に関する認知度が着実に高まっている。

3月11日、英国主席医務官Sally Daviesが、感染症と抗菌薬耐性の増加に関する報告書を公表した。この報告書では、英国における感染症の負荷と、抗生物質耐性菌株による感染症の増加について概説されている。Daviesは、政策と政治行動に関する17項目の提言を行っており、内容は、抗生物質耐性、病原体監視、感染症予防、医療従事者の研修まで及んでいる。

その中で最も重要なのが、英国政府の国家安全保障上の脅威リストに、流行性インフルエンザとテロ行為とともに、抗生物質耐性を加えようという提言だ。この提言だけでも、問題の認知度が高まるのは確実だ。さらに、これが世界的な問題であること、解決のためには国際的な協調行動が必要であることを指摘している。今回のDavies報告書に続いて、「2013～2018年 英国政府間抗菌薬耐性戦略」が公表されることになっている。

一方、3月5日には、米国疾病対策センター（CDC、ジョージア州アトランタ）が報告書を公表し、ここでも、監視体制の充実と医療関係者向け研修の強化、抗生物質の慎重な使用を求める内容が含まれている。特にCDCの報告書では、重点がカルバペネム耐性腸内細菌（CRE）感染症に置かれている。

カルバペネム系抗生物質は、多くの細菌感染症治療の最後の手段となっている。しかし、過去10年間に米国でのCRE感染症の発生率が上昇しており、とりわけ重大な医療処置を受けた患者が、この感染症に罹患（りかん）する頻度が最も高く、強い懸念が生じている。

抗生物質耐性への認知度を高め、政策を有意義な方向に転換する機運が、これまで何度も高まっていたが、その都度、期待外れに終わっていた。専門家が抗生物質の過剰処方を諌（いさ）めても、全世界で医師による抗生物質の大量処方が続いてきたのだ。処方箋がなくても店頭で抗生物質を購入できる国がたくさんある。さらに、先進国でも開発途上国でも、抗生物質は家畜の成長補助飼料として広く使われ続けてきたのだ。批判があるにもかかわらずである。

しかし、抗生物質の問題に対する政治家や政策立案者の関心は、いまや確実に高まりつつある。科学者は、これらの人々を支援・応援すべきであろう。そして、次の段階として、この問題の利害関係者である研究者、医療関係者、政策立案者、製薬業・農産業の代表者をすべて結集して、一丸となって危機に取り組むための計画を策定しなければならない。

それは、決して容易な過程ではなく、本格的な政治的意思に加えて、おそらくは、多額の予算が必要となるだろう。現在の経済情勢を見れば、この資金の問題がネックとなる可能性は高い。しかし今この問題に取り組まないと、社会および個人の経済負担は、より大きくなることを知るべきであろう。

かつての英国では、兄弟姉妹が、今では治療可能な病気で命を失うことが日常的だった。それは決して遠い昔の話ではない。現在の英国で、こうした過去への逆戻りは、あってはならない。それは他の国にもいえることだ。■

（翻訳：菊川要）

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

市民がいくら銃の犠牲になっても、変わらない米国

Under the gun

2013年3月28日号 Vol. 495 (409)

信じられないかもしれないが、米国の政府機関では、銃を規制するための支持行為や促進活動が禁止されている。そのため、銃に関する政策や銃犯罪の防止に必要となる研究そのものさえも、公的資金で実施できない。いったい、銃乱射事件が何回起これば、こうした状況は変わるのだろうか。

3月26日、オバマ米国大統領は、政府暫定予算を2013会計年度末まで延長する法案に署名した。この法案には、2012年12月14日のサンディーフック小学校での銃乱射事件に対応した初めての銃規制法案が含まれていた（コネチカット州ニュータウンの事件で20人の児童と6人の教員が犠牲になった）。しかし現在、この法案のマイナス面が注目されている。現在の米国の銃器関連政策には無数の疑問があるが、その闇に光を当てる法案とは到底いえず、政策策定に不可欠な銃関連研究を制限している規定も、従来のまま認めているからだ。銃器による殺人事件の発生件数が他の富裕国の約20倍となっている米国に必要なのは、まさに真逆の法案だ。

似た状況は何度も起こる。2012年7月、コロラド州の映画館で、銃を持った犯人が12人を射殺し、58人にけがを負わせる事件が発生した。その直後、*Nature*は、全米ライフル協会（NRA）がシンパの国会議員を使って、1996年以降、米国疾病対策センター（CDC、ジョージア州アトランタ）の年次予算に関する法案に制限的文言を追加してきたことを指摘した。この文言ゆえに、CDCは「銃を規制するための擁護や助成」に予算を支出することが禁じられている（*Nature* 2012年8月9日号129ページ参照）。

2012年には、この制限的文言が、CDCの上部機関である保健社会福祉省まで拡大適用され、そこには生物医学の研究機関である米国立衛生研究所（NIH）も含まれる。NIHは、銃器所持者が銃器による襲撃から身を守れなかったと結論付けた研究（C. C. Branas *et al. Am. J. Public Health* **99**, 2034-2040; 2009）に助成金を交付しており、銃所持推進派の怒りを買っていた。この研究には、一部の論者から方法論上の批判があったことは確かだが、NRA会長のWayne LaPierreは、2010年に、インターネット上での論説において、この研究を利用して、NIHが助成した銃器関連研究が、すべて「論理的根拠のない公衆衛生研究だ」と一刀両断にした。その後まもなく、議会は、禁止条項をNIHに拡大適用したのだった。

今週、オバマ大統領の法案署名によって成立した法律には、NRAが後押しする禁止事項が存続している。1月にニュータウンでの銃乱射事件への対応を発表したオバマ大統領は、この法律の条文を厳格に読めば、銃規制の擁護や助成と無関係な研究自体は、全く禁止されていないと説明した。

オバマ大統領が発表した対策には、銃による暴力の原因究明と防止策について、活発に研究を始めるようにCDCとその他の政府機関に指示する覚書が含まれており、称賛に値する。また大統領は、議会に対して、CDCで緊急を要する研究を支援するために、1000万ドル（約10億円）の追加予算を求めた。大統領府の法務担当者の解釈によれば、そうした研究は現行の禁止条項に違反していないという。添付資料において、オバマ政権は、「銃による暴力についての研究は、銃規制の擁護ではなく、すべての米国国民に対して必要な情報を与えるための極めて重要な公衆衛生研究だ」と主張した。

確かに米国国民は、そのような情報を必要としている。この17年間にわたって、政府資金による研究が不足し、それと並行して、米国政府機関による銃器関連データの収集が萎縮してしまい、政治家は、政策策定に必要とされる最も基本的な情報が得られなくなっていた。例えば、私人同士の銃器取引に関する司法省の最新データは、実に1994年のものしかないのだ。また、銃器による暴力に関する学術論文の数は1996年のピークから60%も減少したことが、「銃の不法所持に反対する市長連合」の分析で明らかになっている。

オバマ大統領が考える研究課題は、現行の禁止条項ゆえに実施は望み薄だ。この禁止条項は、研究者と研究助成機関を威嚇するために制定されたものであり、まさにその効果を発揮し続けている。

あと何回のニュータウン事件が起これば、こうした疑問や緊急の問題に答えるための研究に、議会は予算を認めるのだろうか。■

（翻訳：菊川要）

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

Volume 496
Number 7443
2013 年 4 月 4 日号

Podcast

犯人は上空の雲：低高度の雲が 2012 年のグリーンランド熱波を引き起こした

UP IN THE CLOUDS: Low cloud enhanced 2012 Greenland heatwave

2012 年 7 月にグリーンランドを襲った熱波は、氷床のほぼ全域にわたって表面の氷を解かし、広範囲に洪水を引き起こした。氷床コアのデータによると、同様の現象が前回生じたのは 1889 年で、約 150 年に 1 回程度の割合で起こるらしい。R. Bennartz らは、2012 年のこの事象を引き起こした物理機構について調べた。その結果、上空にあった水を含んだ薄い雲が、地表の温暖化に重要な役割を果たしたことがわかった。この雲の高度は十分に低く、また光学的には十分厚かったため、地表への下向き赤外線フラックスが増強された。一方で、太陽光が透過して地表面に達するくらいには薄かったため、地表で、氷の融点を超える高い温度がもたらされた。表紙写真は、2012 年 7 月にグリーンランドの最も標高が高いところにあるサミットステーションで、米国立科学財団の移動観測所の上空に現れた霧虹（雲虹とも呼ばれる）を示す。霧虹は、虹と同じような現象だが、液体の水の粒がより小さいために虹ほどカラフルではない。

地球：北米西部はどのようにしてできたか

How the west was made

北米西部の地質学的性質がどのようにして発達したかについては、ファラロン海洋プレートがコンベヤベルトとして働き、北米プレートの下に沈み込む際に地殻テレーンを大陸縁辺へと運んでいるという説が広く受け入れられている。しかしこのモデルでは、集積したテレーンの性質の多くを説明できない。今回、下部マントルスラブの新しいトモグラフィー画像とこの地域の深部マントル構造のモデルに基づいた、別のモデルが提示された。白亜紀には、北米西部に一連の島弧があり、その下で原始太平洋プレートがほぼ静止した海溝に沈み込んでいた。そして、スラブ上では長寿命の火山列島と沈み込み複合体が成長し、北米が火山列島に乗り上げた時に、集積してコルディレラ山系が形成されたというのだ。

遺伝：条虫類 4 種のゲノム塩基配列の解読

Four tapeworm genomes sequenced

条虫類（サナダムシ類）が引き起こすエキノコックス症や嚢虫（のうちゅう）症は、いずれもヒトの寄生虫症として最も重症な部類のもので、世界保健機関の「顧みられない熱帯病」リストに掲載されている。今回、ヒト感染性の条虫類である多包条虫、単包条虫、有鉤（ゆうこう）条虫、および実験室モデルとして使われる *Hymenolepis microstoma* の 4 種のゲノム塩基配列が解読され、他の動物に広く存在する遺伝子および経路が非常に多く失われている一方で、遺伝子が種特異的に拡大していることが明らかになった。また、多包条虫の 1000 種類以上のタンパク質が治療標的候補となることがわかり、そのうちの 200 種類近くは、既存の薬剤の標的となりそうだ。

構造生物学：結合型および非結合型のクリプトクロムの構造

Bound and unbound cryptochrome structures

クリプトクロムは植物と動物の両方で見つかっている光受容体であり、概日時計機能に必要である。今回、N. Zheng らは哺乳類のクリプトクロムタンパク質である CRY2 の遊離状態および結合状態の結晶構造を初めて報告した。構造解析結果から、他の光感受性クリプトクロムとは異なる、全く新しい予想外の特徴が明らかになり、クリプトクロムが時計経路でどのように機能するかを理解するための枠組みが確立された。

ゲノミクス：パンコムギの祖先 2 種のゲノム解読

An A to D of wheat genomes

パンコムギ（*Triticum aestivum*）の AABBDD という構成の六倍体ゲノムは、3 種のイネ科祖先種の交雑によって生じた。今回、それらのコムギ祖先のうちの 2 種について、ゲノム塩基配列の解読とその解析結果が報告された。1 つ目は、二倍体野生コムギであるウラルツコムギ（*T. urartu*；A ゲノムの起源）に関するもので、そのゲノム塩基配列は、クサビコムギ（*Aegilops speltoides*；B ゲノムの起源）やタルホコムギ（*Ae. tauschii*；D ゲノムの起源）に比べると、栽培コムギにずっとよく似ていた。2 つ目はタルホコムギのゲノムで、トランスクリプトームも併せて解析された。

生化学：サーチュインが持つタンパク質リシンデアセチラーゼ活性

Sirtuin's protein lysine deacetylase activity

サーチュインファミリーの酵素は、加齢、転写、アポトーシスや代謝を調節するため、大きな注目を集めている。この酵素群は NAD 依存性デアセチラーゼとされることが多いが、一部の酵素のデアセチラーゼ活性は *in vitro* ではきわめて弱く、2 つの酵素は他とは異なる基質の方を選ぶ傾向があることがすでに報告されている。今回、ヒト SIRT6 が、リシン残基からミリストイル基などの長鎖脂肪酸アシル基を取り除き、TNF-α 分泌を促進する機能を持つことが明らかになった。すでに報告されているそのヒストンデアセチラーゼ活性は、SIRT6 の機能の一部にすぎないのかもしれない。SIRT6 の新たな活性が明らかになったことで、タンパク質のリシン残基の脂肪酸アシル化は重要な研究課題となりそうだ。

関連したポッドキャスト（英語）を上記 QR コードから無料配信中です（iPhone™のみ対応）。

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

Volume 496
Number 7444
2013 年 4 月 11 日号

Podcast

ジュラ紀恐竜の胚発生：恐竜の巣から見つかった卵殻と骨

JURASSIC EMBRYOLOGY: Eggshells and bones from dinosaurs' nests

恐竜の胚（孵化前の子ども）化石はきわめて希少だ。また、その化石の大部分は後期白亜紀層に限定されている。そのため、中国の下部ジュラ紀層で新たに見つかった骨化石包含層には大きな関心が集まっている。この層は約 1 億 9700 万～ 1 億 9000 万年前のもので、これまでに発見された骨群集の中では最古だ。今回、3 年にわたる国際的発掘・研究プログラムによって、孵化前の子どもの骨という非常に貴重な発見物が得られた。これは、陸上脊椎動物の遺骸として最古のものである。さまざまな発生段階で保存されていた骨から、このような大型恐竜では孵卵期間が短く、外界での生活に備えて骨格を成長させるために、卵の中で筋肉を収縮させていたことが明らかになった。表紙は、孵化前個体の大腿骨の薄切片に着色を施した写真で、内部組織と大きな髄腔が確認できる。

構造生物学：テロメラーゼの構造を解明

Telomerase structure revealed

真核生物の線状の染色体の両端は、テロメラーゼと呼ばれるリボ核タンパク質複合体の働きによって維持されている。J. Feigon らは、長い間解明が待たれていた繊毛虫テトラヒメナのテロメラーゼの構造を、電子顕微鏡法によって決定した。さまざまな成分の結晶構造のモデル化によって、その触媒コアが明らかになり、サブユニット間の相互作用が解明された。また、この酵素の *in vitro* での完全な再構築も行われた。その構造から、リボ核タンパク質触媒コア構造の詳細が新たに解明され、テロメラーゼとテロメアを結びつけ、テロメラーゼの連続反応性の基盤となるホロ酵素サブユニットの配置が明らかになった。

宇宙：土星の環と大気をつなぐ雨

Rain links Saturn's rings to the atmosphere

以前から、土星と土星の環は磁気的に結合しており、それによって、土星の電離圏で観測される予想外の現象（例えば低い電子密度や高温など）が説明できるのではないかと考えられてきた。今回、その「ミッシングリンク」と思われる現象が観測された。W. M. Keck II 望遠鏡がとらえた土星子午面の近赤外スペクトルデータによると、帯電した水が、環から土星の電離圏へと輸送されているようなのだ。その量は、土星の上層大気表面の 3 分の 1 をカバーするほどあるらしい。この環からの「雨」が、環と土星を電磁気的に結合させ、上層大気の全球的な化学反応過程を調節しているようだ。

神経科学：相反する複数の神経入力が不安を生み出す

Competing neural inputs feed anxiety

脳の分界条床核（BNST）は、恐怖や不安に関与する領域で、対照的な役割を持つ複数の脳領域に投射しており、その中には報酬反応へ関与する領域なども含まれる。今回 2 つの論文で、マウスにおいて、BNST の投射に関わるさまざまな小領域の機能特性が明らかにされた。G. Stuber らは、BNST から腹側被蓋野への投射を調べ、そのうちのグルタミン酸作動性投射路と GABA 作動性投射路が、報酬と嫌悪という相反的な作用を担うことを見いだした。K. Deisseroth らは、BNST 内の複数の小領域が不安の増大と減少を担い、不安のうちの異なる特徴を、それぞれ別の投射路が調節することを明らかにした。この研究から、不安は単一の神経回路から生じるのではなく、不安を生み出す回路と減少させる回路との相互作用から生じることが示唆される。

細胞：多能性はどれほど多能なのか？

How multipotent is multipotent?

生物学における根本的な疑問の 1 つは、「どのようにして単一の幹細胞から多様な種類の組織が発生するのか」である。今回、この問題に取り組むために、マウスで「多分化能」を持つと考えられているリンパ球系前駆細胞（lymphoid-primed progenitor ; LMPP）の細胞運命を単一細胞レベルで追跡するという研究が行われた。S. Naik らは高感度の細胞バーコーディング法を用い、数百の LMPP や造血幹細胞について、個々の細胞が生み出す細胞系譜を *in vivo* で追跡した。そして、「多能性」と考えられていた前駆細胞のすべてが、特に多様な細胞を生み出すというわけではなく、多くの LMPP が単一の細胞系譜を生み出していることが明らかとなった。また、ある特定の樹状細胞を生み出す能力を持つ LMPP が予想外に多いこともわかった。このことは、樹状細胞の系譜が骨髄性細胞や B 細胞の系譜分岐とは全く異なることを示唆している。

構造生物学：MATE 薬剤輸送体の構造

MATE drug transporter structures

MATE（multidrug and toxic compound extrusion; 多剤・毒性化合物排出）ファミリーの輸送体は、病原性細菌やがん細胞に多剤耐性を与える。濡木理（東京大学）らは今回、超好熱古細菌（*Pyrococcus furiosus*）由来の、H^+ によって駆動される MATE 輸送体の X 線結晶構造を明らかにした。構造が解かれたのは、2 つのアポ型コンホメーション、抗菌薬ノルフロキサシン誘導体が存在する場合の輸送体、それに新たに発見された 3 つの阻害性大環状ペプチド存在下での輸送体である。これらの一連の構造は、抗菌剤や抗がん剤への耐性に対抗できる MATE 輸送体アンタゴニストの発見を促進するのに役立ちそうだ。

関連したポッドキャスト（英語）を上記 QR コードから無料配信中です（iPhone™のみ対応）。

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

Volume 496
Number 7445
2013 年 4 月 18 日号

シーラカンスのゲノム：ゲノム塩基配列は古代の 1 つの系統からの進化と陸生脊椎動物の出現への道を記録している

THE COELACANTH GENOME: Sequence charts evolution of an ancient lineage and emergence of land vertebrates

シーラカンスは 7000 万年前に絶滅したと考えられていたため、1938 年に南アフリカ沿岸でこの魚が漁網にかかったとき、世界中で大きな話題になった。今回、アフリカシーラカンスのゲノム塩基配列が解読され、「どの肉鰭類魚類の現生種が陸生脊椎動物に最も近縁なのか」という長い間の疑問に答えが得られた。系統ゲノミクス的分析から得られたその答えは、シーラカンスではなくハイギョだった。なお、シーラカンスのタンパク質をコードする遺伝子の進化は緩やかであったことから、現代のシーラカンスが 3 億年前の化石祖先とよく似ていることに説明が付くと思われる。また、遺伝子や調節因子の変化を調べた結果、脳、鰭の発達、免疫や窒素排泄などの要素が、脊椎動物の陸上生活への適応に重要であることが明らかになった。表紙写真は、南アフリカのソドワナ湾で撮影されたアフリカシーラカンスとダイバー。

考古学：魚の調理に使われた最古の土器

Earliest kitchen pot prepared a fish dish

土器の発達は人類の歴史の中でも画期的な出来事の 1 つであり、高度な調理や貯蔵などの多くの技術に道を開いた。知られているかぎりで最古の土器製作民は、農耕や定住的な生活様式が発達するはるか以前の東アジアに居住していた。当時それらの土器が何に使われていたのかは推測の域を出なかったが、今回その化学的分析が行われた。縄文時代草創期（約 1 万 5000 ～ 1 万 1800 年前）の焦げの付いた土器 101 点について、クロマトグラフィーによる安定同位体分析が行われた結果、土器が調理に使われていたことを示す最古の証拠が得られた。また、土器の破片から抽出された脂質は、海産および淡水産の生物に特徴的なものだったので、当時のメニューには魚が含まれていたと考えられる。

TOKAMACHI CITY MUSEUM

宇宙：明らかになり始めた大質量スターバースト銀河

A massive starburst galaxy unveiled

宇宙で最初の大質量スターバースト銀河の物理的性質は、初期宇宙の構造形成のパターンに関して重要な手がかりを与える。しかし、激しい星形成領域は塵に覆い隠されることが多いため、非常に高い赤方偏移にあるこのような系を探索することは大変な難問であった。今回、ビッグバンからちょうど 8 億 8000 万年後、つまり現在の宇宙年齢の 16 分の 1 に対応する赤方偏移 $z=6.34$ に大質量スターバースト銀河が見つかり、太陽質量の 1000 億倍に当たる量のガスの存在が、輝線データから明らかになった。これは銀河のバリオン、つまり目に見える物質の質量の少なくとも 40％に相当する。この銀河では、天の川銀河の 2000 倍以上の速度でガスを星へ転換する強いスターバーストが起こっている。これらの知見は、初期宇宙ではきわめて激しいスターバーストによって大質量銀河が形成されたとする理論と一致している。

物理化学：有機化学的性質を明らかにする超高輝度電子線

Ultrabright electrons shed light on organic chemistry

現在、凝縮相過程の原子運動の直接観測は、超高速回折法を用いれば可能だ。しかし、多くの重要な化学的相互作用や生物学的相互作用が起こる有機物質となると事情が違う。有機物質は弱い散乱中心を持ち、熱的に不安定であり、熱伝導が悪いため、測定で有用なデータが得られる前に試料自体が劣化してしまうことが多い。だが、技術の飛躍的な進歩によって、低繰り返し数で測定可能な超高輝度フェムト秒電子線源が実現した。今回、M. Gao らはこの電子線源を用いて、有機塩中で起こる光誘起電荷非局在化を伴う分子運動をマッピングできるほど十分に質の高い回折パターンを、遅延時間をおいて記録した。この結果は、化学や生物学で見られる不安定系の複雑かつ動的な構造過程の研究に、超高輝度フェムト秒電子線源が有望なことを示している。

発生：胚でのレチノイン酸の分布

Embryo retinoic acid localizaton

モルフォゲンは拡散性のシグナル分子であり、細胞にどういう運命を与えるかは、モルフォゲンの濃度によって異なる。レチノイン酸は特殊なモルフォゲンで、ポリペプチドではなく脂溶性低分子である。ほとんどのモルフォゲンは蛍光標識と融合させることで *in vivo* での観察が可能だが、ペプチドではないレチノイン酸は直接観察がもっと難しく、胚でどのような空間的分布をしているかはいまだ不明である。今回、宮脇敦史（理化学研究所）らは、GEPRA という遺伝学的にコードされたプローブを開発し、*in vivo* でのレチノイン酸濃度の定量的測定が可能になった。ゼブラフィッシュ胚では、レチノイン酸の前後軸に沿った直線的な濃度勾配が示された。これは、1970 年にフランシス・クリックが提唱したモルフォゲン動態のソースシンクモデルを裏付けるデータであると考えられる。

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

Volume 496
Number 7446
2013 年 4 月 25 日号

Podcast

偉大な機能を持つ細胞：病気と健康の際のマクロファージの働き

A CELL FOR ALL SEASONS: The macrophage in sickness and in health

マクロファージは、哺乳類のあらゆる組織に見られる食細胞で、正常な発生や恒常性維持、組織修復、病原体に対する免疫応答などに多様な役割を果たしている。マクロファージの多様性は、この細胞がヒトの病気の大部分に関わっていることを示しており、その機能を促進したり阻害したりすると病気の転帰が変わることから、治療標的として重要である。この号の Review では、マクロファージの生理学的性質を、生理学的適応や病態生理学的適応に関わる際の恒常的機構という観点から論じている。表紙は、細菌を攻撃するマクロファージ。

量子物理学：「量子性」を検証する古典的方法

Classic approach to testing 'quantumness'

実験における量子系との相互作用には必ず限界がある。それでは、そのような系を制御し、意のままに動かすことは可能であろうか。B. Reichardt らは、不完全にモデル化された系、つまり「信頼できない系」が関与する量子計算と量子暗号を取り上げて、量子力学に関するこの基本的な哲学的問題に取り組んだ。彼らは、大きな量子系の特性評価を可能にし、量子コンピューターであると主張しているコンピューターが真に量子的かどうか検証する方法を報告している。今回の結果からすると、古典的な介入を用いて、信頼できない量子系を意のままに動かすことは可能だと考えられる。

システム生物学：ヘルパー T 細胞の分化の制御

Control of T-helper cell differentiation

T_H17 細胞の分化を調節する遺伝子ネットワークの全容が報告された。転写プロファイリングや計算アルゴリズムのほか、シリコンナノワイヤーで初代培養 T 細胞の遺伝子操作を行う新技術を用いることで、T_H17 細胞の分化を制御し、その炎症誘発能を抑制する複雑なネットワークの詳細な全体像が構築された。39 個の調節因子が見つかり、T_H17 細胞の分化を制御するための新たな創薬標的が明らかになった。

免疫：高塩濃度と自己免疫疾患との関連

High-salt link to autoimmune diseases

塩濃度の上昇は、T_H17 細胞の $CD4^+$ T 細胞からの産生を刺激することで自己免疫疾患を促進することがわかった。この予想外の結果は、別々に研究を行った 2 つのグループによって報告された。C. Wu らは、マウスでは塩濃度の上昇が、*in vitro* でも *in vivo* でも T 細胞で SGK1（serum glucocorticoid kinase 1）を誘導し、T_H17 の分化を増強することを明らかにし、M. Kleinewietfeld らは、マウスとヒトで、塩が SGK1 と p38 MAP キナーゼ/NFAT5 経路の活性化に依存する機序によって、T_H17 細胞を誘導することを見いだした。

計測：生細胞内の生体磁気構造体を視覚化する

Bio-magnetic structure visualized in living cells

最近、ダイヤモンドに見られる窒素空孔（NV）色中心が、磁気構造の優れた高精度プローブとして利用でき、単一スピンまで探れることがわかった。また NV 中心なら、日常的な条件下で高分解能の磁気画像が得られるので、生きた生物試料の磁気特性の研究に使える可能性も示唆されていた。今回、普通の実験室条件において、NV 中心を含むダイヤモンドチップを用いて、生きた走磁性細菌の画像を、細胞の大きさ（400nm）以下の空間分解能で得ることに成功した。この方法で、生体内での磁性ナノ粒子の形成過程が観察できるかもしれない。

遺伝：ゼブラフィッシュのゲノム解読

The zebrafish genome

ゼブラフィッシュは、発生やヒト疾患の研究に用いられる重要なモデル生物の 1 つである。今回そのゲノム塩基配列が解読され、詳しい注釈付けを行ったゲノム参照配列が報告された。その結果、ゼブラフィッシュは、これまでゲノムが解読された脊椎動物の中で遺伝子数が最大で、偽遺伝子をほとんど持たないことがわかった。疾患研究で特に重要な発見は、ヒト遺伝子の 70％について、明らかにオルソログであるゼブラフィッシュ遺伝子が少なくとも 1 個存在することだ。もう 1 つの論文は、ゼブラフィッシュのすべてのタンパク質コード遺伝子について破壊的変異を見つけ出して表現型を解析するという、現在進行中のプロジェクトからで、1000 個以上の対立遺伝子の表現型に及ぼす影響が示された。このプロジェクトの長期目標は、ゼブラフィッシュのすべてのタンパク質コード遺伝子について、ノックアウト対立遺伝子を作製することだ。すべての変異対立遺伝子とデータは、go.nature.com/en6mos で無料で入手できる。

ネイチャーからのご案内

nature video

Web: www.youtube.com/NatureVideoChannel
モバイル：
携帯電話で Nature Video チャンネルの科学関連動画を見ることができます。（一部の機種を除く）

nature podcast

Web: www.nature.com/nature/podcast
モバイル：
Nature に掲載された研究成果をポッドキャストでチェックできます。（英語；iPhone™のみ対応）

関連したポッドキャスト（英語）を上記 QR コードから無料配信中です（iPhone™のみ対応）。

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

Natureダイジェスト　創刊10周年記念 新規購読キャンペーン

2013年12月24日までの期間に、Natureダイジェストを**新規購読お申し込み**いただきますと、

抽選で毎月1名様に

Nature 年間購読を

プレゼントいたします！

＋

で、

ますます科学が楽しくなる！

Nature ダイジェスト創刊10周年記念新規購読キャンペーンお申し込み
nature.asia/nd10

nature publishing group npg

EDITOR'S NOTE

子どもを持つ女性の組織的・会社的ポジションは、時間的に多少無理が利く男性に比べて低いことが多いですが、それを「当然」「仕方がない」と無意識のうちに思っていないでしょうか。「輝く女性研究者たち」（本誌10ページ）は、この“常識”が世界中にあることを教えてくれます。登場する女性科学者は子育て開始前にかなりの業績を積み上げていますが、そんな彼女たちにも不安が見え隠れするところに、壁の厚さがうかがい知れます。打開のカギは夫の協力にありますが、男性が外で働くことが前提の社会ですから、女性は夫の立場に気を遣い、育児の主体は女性になることが多いのが実情です。夫婦が同等に家事・育児・介護に取り組めるよう、整えるべき仕組みは山ほどあると思います。（う）

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

nature publishing group npg

ネイチャー・パブリッシング・グループ
〒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

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group.
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：Antoine Bocquet
副発行人：峯村宏
編集：松田栄治、宇津木光代
デザイン／制作：村上武、中村創
広告：米山ケイト、藤原由紀
マーケティング：池田三智世、池田恵子
編集協力：白日社

「Natureダイジェスト」へのご意見やご感想、ご要望をメールでお寄せください。
宛先：naturedigest@natureasia.com
（「Nature ダイジェスト」ご意見係）
掲載内容についてのご意見・ご感想は、掲載号や記事のタイトルを明記してください。今後の編集に活用させていただきます。皆様のメールをお待ちしております。

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

BRITISH AIRWAYS
自分だけの時間

oneworld

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。

ネイチャー・ダイジェスト
6月号

平成25年5月25日発行 第10巻 第6号
編集発行人：Antoine Bocquet

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

発売所：日本出版貿易株式会社
ISSN：1880-0556

定価 680円

本体 648円
Printed in Japan

雑誌 07271-06

4910072710638
00648