日本語で読む世界の最新科学ニュース

nature ダイジェスト

04
2012

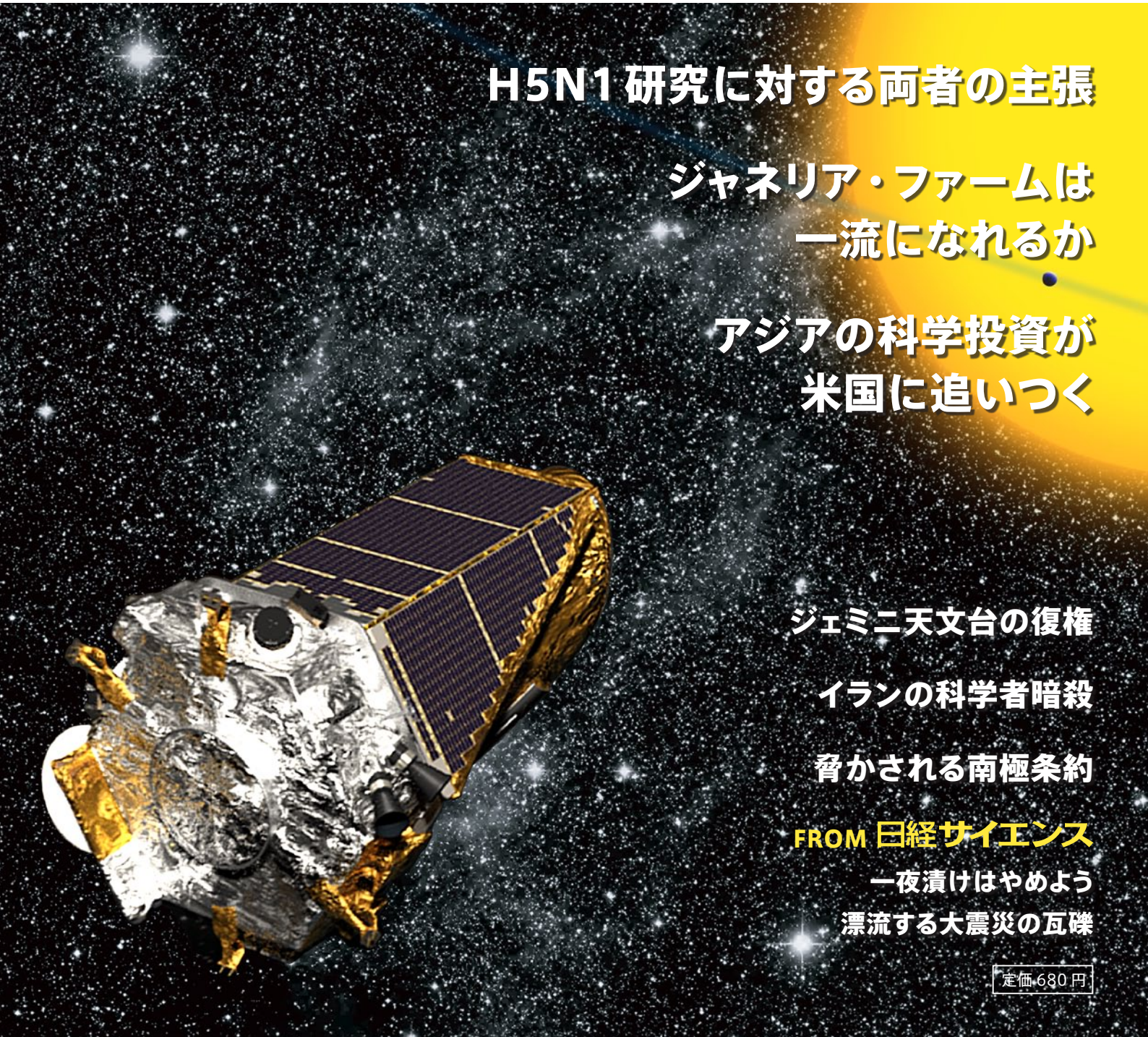
コンブからバイオ燃料

未来の超大陸は北極に

ダークエネルギーを探る

高エネルギー X 線レーザー

恒星が奏でる交響楽



H5N1 研究に対する両者の主張

ジャネリア・ファームは
一流になれるか

アジアの科学投資が
米国に追いつく

ジェミニ天文台の復権

イランの科学者暗殺

脅かされる南極条約

FROM 日経サイエンス

一夜漬けはやめよう

漂流する大震災の瓦礫

定価 680 円

nature ダイジェスト

別冊 震災復興特集号発行のお知らせ

Nature 3 月 8 日号の 震災復興特集を取り上げます

写真提供：読売新聞社

Editorial

過去最大級の地震、津波、そしてそれにより引き起こされた原発事故という三重災害の教訓を、次の大災害への備えに活かさなければならない。

Nature 3/8 号 p.123

News Special

» 衝撃の後に p.137
» 福島の恐怖の遺産 p.138
» 大津波の後に p.141
» 次の大津波に向けて p.144

Comment

» 地震研究を最も効果的に活用するために p.147
» なぜ、巨大地震が続くのか p.149
» 核の風景 p.151

NPG ネイチャー アジア・パシフィックのウェブサイト（www.naturejpn.com/nd-sub）はもちろん、全国の書店*、Amazon、Fujisan でもご購入いただけます。

なお、*Nature*、Nature ダイジェストを定期購読いただいているお客様には無料でお送りいたします。

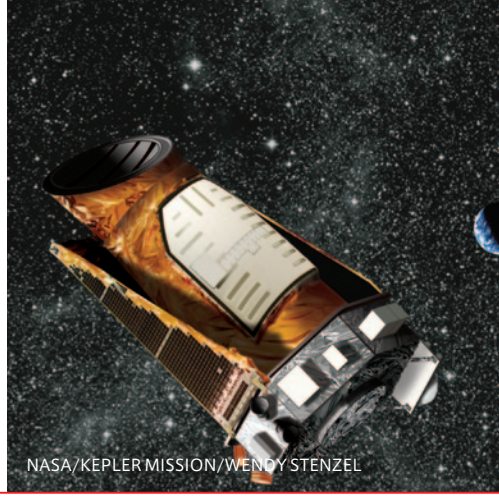
＊詳しくは、www.naturejpn/bookstores をご覧ください。

Amazon は、Amazon.com, Inc. またはその関連会社の商標です。

4 月 13 日（金）発売　525 円（税込）

npg nature asia-pacific

nature ダイジェスト
04
2012
2012 年 3 月 25 日発行
©2012 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。
www.nature.com/naturedigest


NASA/KEPLER MISSION/WENDY STENZEL

星たちが奏でる音色 20

表紙画像：NASA/KEPLER MISSION/WENDY STENZEL

ケプラー宇宙望遠鏡の役割は、系外惑星の探索だけではない。大量の音波データから、恒星の大きさ、質量、内部構造などが明らかになりつつある。

NATURE NEWS
02 未来の超大陸は北極に誕生
03 遺伝子に刻まれた知能
04 赤ワインはなぜ健康によいか
05 海藻で作るバイオ燃料
16 RESEARCH HIGHLIGHT | 光らない雷の放射線バースト
18 ダークエネルギーの大問題
24 暗殺ではイランの核開発を遅らせることはできない

COMMENT
09 なぜ、NSABB は論文の一部削除を勧告したのか

NEWS SCAN
06 一夜漬けはやめよう
06 漂流する大震災の瓦礫

NEWS & VIEWS
28 トカゲの尻尾の役割
30 高エネルギーの原子 X 線レーザーを実現

JAPANESE AUTHOR
26 セントロメアの研究からヒストンと似た新規のタンパク質が見つかった ── 深川 竜郎

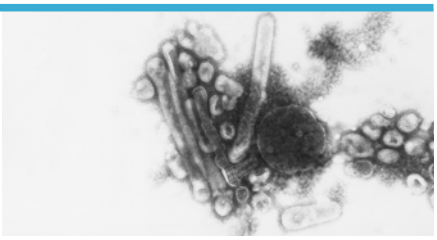
EDITORIAL
32 南極条約に迫りくる脅威
33 フランスが原子力発電所の安全対策を強化

HIGHLIGHTS
34 2012 年 2/2 ～ 2/23 号

英語で Nature
38 地中の葉で線虫を捕らえる食虫植物

07 インフルエンザ伝播の研究は急務である

インフルエンザ研究者河岡義裕は、哺乳類で伝播する H5N1 研究は、パンデミックの防御に必要だと主張する。


DR. GOPAL MURTI/NEWSCOM

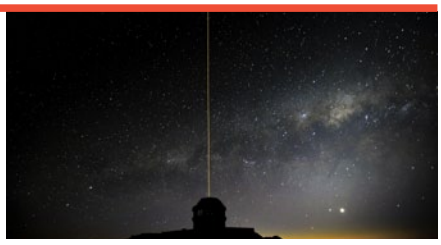
12 「ジャネリア・ファーム」の優雅な生活

ハワード・ヒューズ医学研究所のジャネリア・ファーム。豊富な資金と雑用のない研究生活は、画期的な成果を生み出すか。

M. STALEY/JANELIA FARM

17 ようやく力を発揮し始めたジェミニ天文台

最新の多重共役補償光学システムを備えたジェミニ天文台。その活躍が期待される。


GEMINI OBSERVATORY/AURA

23 米国を超えるアジアの科学技術投資

中国やインドをはじめとするアジアの科学技術費の伸びは著しく、世界一になろうとしている。

ISTOCKPHOTO

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

未来の超大陸は北極に誕生

Supercontinent Amasia to take North Pole position

Kerri Smith 2012年2月8日 オンライン掲載（doi:10.1038/nature.2012.9996）

将来、形成されると予想される超大陸アメイジアは、北極海に誕生する可能性が。

現在、地球上にあるすべての大陸は、5000万～2億年後、互いに衝突して融合し、北極の周りに1つの陸塊を形成する――これは、今後数千万年～数億年間に想定される大陸のゆっくりした運動のモデル作りから導かれた結論だ。この成果は、*Nature* 2012年2月9日号に発表された[1]。

前回、地球上で超大陸が形成されたのは3億年前のことだ。すべての陸塊が赤道に集まって、現在の西アフリカ付近を中心とする超大陸パンゲアを形成した。これまで地質学者たちは、世界中の山脈の地質を調べ、次の超大陸の形成モデルを2つ提案していた。1つは、アコーディオンのじゃばらを閉じるように、大西洋が閉じてパンゲアと同じ位置に超大陸が形成されるモデル、もう1つは、その反対側の太平洋が閉じて真ん中に新大陸が形成されるモデルである。

しかし今回、エール大学（米国コネティカット州ニューヘイヴン）の地質学者Ross Mitchellらは、新しいパターンを提案した。彼らは、古い岩石に記録された過去の地磁気を分析して地球上のどの場所からやってきたのかを特定し、地殻の下のマントルが表面に浮かぶ大陸をどのように動かしているかを測定した。

その結果、アメイジアと呼ばれる次の超大陸は、赤道付近ではなく、パンゲアから90度離れた北極地方に形成されるはずだという結論に達した。

「最初に南北アメリカ大陸が融合し、一緒に北上して、現在の北極のあたりでヨーロッパとアジアに衝突します」とMitchellは言う。「オーストラリアは北上を続けて、インドの隣に寄り添います」。

Mitchellらは、超大陸の形成は1つのパターンに従っていると考えている。すなわち、パンゲアは、その前にあったロディニアという超大陸から約90度離れたところに形成されていて、ロディニアも、約20億年前にあったヌーナという超大陸から約90度離れたところに形成されていたのだ。

次の超大陸がパンゲアと同じ位置に形成されるとするモデルは内転（introversion）モデル、パンゲアの裏側の赤道付近に形成されるとする説は外転（extroversion）モデルと呼ばれている。Mitchellは、自分たちの新しいモデルを垂直回転（orthoversion）モデルと名付けた。

垂直回転モデルは、地質学者を悩ませてきた難問の解決に役立つ。地質学者たちは、かつて超大陸があったことも、これらの陸塊がさまざまな形をとっていたことも認識している。「けれども、ある形から別の形に変わるという、一見、無秩序にも思える大陸の動きに何らかの法則性が存在するのか、確信がなかったのです」と、セントアンドリュース大学（英国）の地質学者Peter Cawoodは言う。

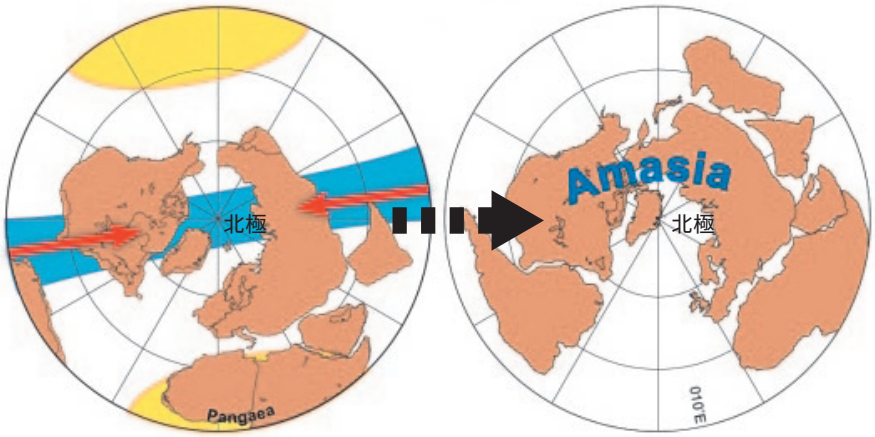
地球上の大陸がどのように動いているかは、生物学にもかかわってくる。例えば、時間の経過とともに生物種がどのくらい容易に混ざり合うのかなどの問題だ。「大陸の陸塊の配置を理解することは、地球の歴史を理解するための基本となります」とCawoodは言う。「岩石は、地球の歴史を理解するための窓なのです」。■

（翻訳：三枝小夜子）

1. Mitchell, R. N., Kilian, T. M. & Evans, D. A. D. *Nature* **482**, 208-211 (2012).

SPL/PPS

現在の西アフリカ付近にあった超大陸パンゲア。



MITCHELL *ET AL*, *NATURE*

現在の大陸は、将来、融合して北極を中心とする超大陸アメイジアになる。

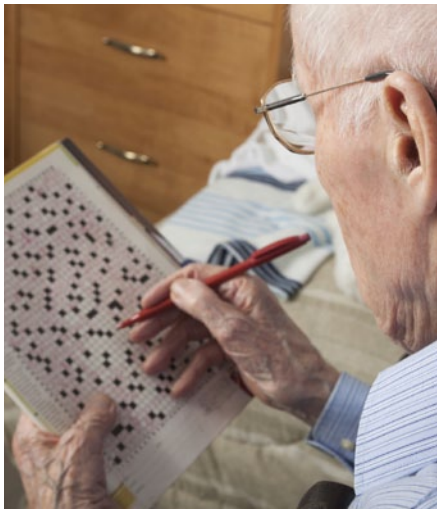
©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

遺伝子に刻まれた知能

Life-long intelligence in the genes

Heidi Ledford 2012年1月18日 オンライン掲載（doi:10.1038/nature.2012.9842）

小児期から老年期までの認知機能の安定性を追跡した研究から、
認知機能に与える遺伝的影響の程度が明らかに。



ISTOCKPHOTO

80年前に行われたスコットランドの知能検査から新しい結果が得られた。当時、11歳だった被験者のうち、現在も生存している人の追跡調査を行い、老年期における知能の維持には遺伝要因が関係していることがわかったのだ[1]。

研究者たちは長い間、加齢に伴って認知機能はどのように変化するのか、また、認知機能が急速に衰える人もいればそうでない人もいるのはなぜか、解明しようとしてきた。しかし、これまでの研究では、多くの場合、すでに老年期の者が被験対象となっていた。

1990年代後半、エディンバラ大学（英国）の心理学研究者Ian Dearyの研究チームは、あるデータセットの存在を知った。スコットランドでは1932年および1947年に、11歳の小児数千人を対象に一般知能検査が行われていたのだが、このデータは何十年も極秘にされていたのだ。Dearyは、これこそ、加齢に伴う認知機能変化の研究をさらに進展させられるものだと思った。

Dearyらは、早速、11歳のときに知能検査に参加した人を捜し始めた。だが、多くの人は11歳のときに検査を受けたことを覚えていなかった。それでも約2000人のDNAサンプルを集め、新たに知能検査を行った。このとき、被験者の年齢は65歳以上になっていた。

これまでの研究チームのデータの解析からは、小児期の知能は老年期の知能とよく相関することが示されていた。「しかし、完全な関連ではありません。小児期よりも老年期に知能が高い人もいれば、その逆の人もいるのです」と、Dearyは言う。そこで、Dearyらは、ほかの人よりも速く知能が「老化する」人がいることに注目した。

安定した遺伝

Dearyらは、集めたDNAサンプルについて、50万個以上のありふれた遺伝的多型（ゲノムのDNA配列が一塩基のみ変化している）の有無を調べた。そして、これらの多型が認知機能の安定性（年を取っても知能がどれほど維持されているか）に関連するかどうかを計算した。

2000人というサンプルサイズは小さすぎるため、認知機能の安定性に関連する個々の遺伝子シグネイチャーを追跡するのに必要な統計的検出力は保証できない。しかし、遺伝要因がどの程度認知機能の老化に寄与するかを見積もるには十分だった。これらの多型により、認識機能の安定性の違いのおよそ4分の1を説明できることがわかったのだ。

次の段階は、この形質の基礎となるDNA配列変化の同定だろう。「ここで示された遺伝的影響が本当に意味するのは何でしょうか？　そして、それは生物学的にどのように作用しているのでしょうか？」こんな問いを投げかけるのは、コロンビア大学医療センター（米国ニューヨーク）の神経心理学者Yaakov Sternだ。彼はこの研究にかかわっていない。

認知機能の老化に、教育、職種および余暇活動などの環境要因が与える影響を研究しているSternは、このスコットランドの「魅力的な」データから、加齢に関連する認知機能の低下に遺伝要因が寄与する程度について、貴重な知見を得ることができたと言う。その一方で、遺伝要因は環境とも相互作用するため、知能は多かれ少なかれ環境の影響を受けていることに注意すべきだとも言い、「まだ、環境の影響を考慮する余地がたくさんあります」と主張する。

デューク大学医療センター（米国ノースカロライナ州ダーラム）の遺伝学者David Goldsteinは、「現在、変性疾患の遺伝的基礎がたくさん研究されており、生涯を通じて維持される知能に影響を与える個々の遺伝的多型のいくつかが明らかになるかもしれません」と語る。また、Sternは、英国のNational Survey of Health and Development（NSHD；全国健康発育調査）のようなほかの大規模で長期間にわたる研究（Natureダイジェスト2011年6月号「揺りかごから墓場まで――英国コホート研究」参照）の参加者が老年期に達することから、Dearyらはまもなくより多くのデータを得られるだろうと言う。

「これらの遺伝的影響を見つけるために、何が必要になるかはわかりません。しかし、確かに存在するとわかっていることが、我々を探求へと駆り立てるのです」とGoldsteinは語っている。 ■

（翻訳：三谷祐貴子）

1. Deary, I. J. *et al. Nature* **482** 212–215 (2012).

 ©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

赤ワインはなぜ健康によいか

Questions hang over red-wine chemical

Ewen Callaway 2012年2月2日 オンライン掲載（doi:10.1038/nature.2012.9970）

赤ワインの成分レスベラトロールの作用機序について、新たな見解が。

ISTOCKPHOTO

赤ワインが体によいというのをしばしば耳にするが、これは赤ブドウの皮に豊富に含まれているレスベラトロールの効果による。レスベラトロールは、ブドウだけでなく多くの植物で作られており、数種の生物において寿命を延ばすと考えられる経路を活性化すること[1]や、レスベラトロールを摂取させたマウスは高脂肪食を食べても体重増加や糖尿病が見られないこと[2,3]が報告されている。

だが、こうしたレスベラトロールの効果の生化学的機構については、議論が続いている。このほど *Cell* に発表された論文は、これまでの研究結果とは異なり、レスベラトロールの類似薬の開発について疑問が浮上している[4]。

2004年、レスベラトロールの有効性を報告した研究者数人により、糖尿病のような加齢に伴う疾患の克服を目的として、Sirtris社が設立された。この社名は、老化に関係するタンパク質サーチュインからきている。設立者たちは、レスベラトロールの作用の一部は、サーチュインの一種、Sirt1の活性化によると主張していたからだ。

それ以来、多くの研究者がレスベラトロールの作用機序に取り組んできた。だが、期待とは裏腹に、これまでの結果はSirt1活性の測定に用いたテストに人為的な影響があったためであり、レスベラトロールは直接Sirt1を活性化しないこと[5]が示され、議論となっている。

ミッシング・リンク

今回の研究を率いた米国立心肺血液研究所（メリーランド州ベセスダ）の内分泌学者Jay Chungは、別の酵素AMPK（AMP活性化プロテインキナーゼ）に注目した。AMPKは、細胞がエネルギー枯渇状態である場合、およびマウスにレスベラトロールを与えた場合の両方で活性化されるが、レスベラトロールはAMPK活性化の直接の引き金にはならない。

研究チームはまず、環状AMP（cAMP）によって制御される一連のタンパク質を同定した。cAMPは、細胞のエネルギー産生が低下すると最初に産生される化学伝達物質の1つである。こうしたcAMPのエフェクタータンパク質を阻害すると、レスベラトロールはAMPKを活性化できないことがわかった。さらに、レスベラトロールが、cAMPを分解するホスホジエステラーゼを阻害することで、cAMPレベルを上昇させることもわかった。また、筋肉細胞に豊富に存在するタイプのホスホジエステラーゼ（cAMP特異的）の阻害剤をマウスに投与すると、まるでレスベラトロールを摂取したかのように反応した。高脂肪食を摂食しても、体重は増加せず、糖尿病も発症しなかったのだ。このとき、マウスの筋肉では、レスベラトロールによって誘導される多くの遺伝子が発現していた。

ペンシルベニア大学（米国フィラデルフィア州）の分子生物学者Joseph Baurは、今回の成果について、「この分野を大きく進展させると思います」と言い、レスベラトロールの生化学的機構について多くのことが明らかになったとも付け加えた。しかし、ワシントン大学（米国シアトル）の生化学者Matt Kaeberleinは、レスベラトロールが効果を発揮するには、もっとさまざまな生物学的経路の活性化が必要だと考えている。

Sirtris社は、副作用のため、2010年にレスベラトロールに基づく薬剤の開発を中止したが、類似化合物の探索は続けている。Chungは、類似化合物も直接Sirt1を活性化するのではなく、ホスホジエステラーゼの阻害により作用しているのかもしれないと言う。しかし、同社の最高経営責任者George Vlasukは、レスベラトロールがホスホジエステラーゼの阻害によって作用することについては懐疑的だ。Vlasukは、Chungらが用いたホスホジエステラーゼ阻害剤はレスベラトロールよりはるかに強力なので、レスベラトロールが同じ機序で糖尿病や肥満を予防していると仮定するのは正確ではないと言う。さらに、同社が、かなり以前に、自社の他の薬剤がホスホジエステラーゼの阻害には作用していないと結論したとも付け加えた。

最近、慢性閉塞（へいそく）性肺疾患の治療を目的として、筋細胞で産生されるホスホジエステラーゼを阻害する薬剤が承認された。Chungは、この薬剤が2型糖尿病発症のリスクがある患者に与える効果を検討する臨床試験を行うことを望んでいる。■

（翻訳：三谷祐貴子）

1. Howitz, K. T. *et al. Nature* **425**, 191–196 (2003).
2. Baur, J. A. *et al. Nature* **444**, 337–342 (2006).
3. Lagouge, M. *et al. Cell* **127**, 1109–1122 (2006).
4. Park, S.-J. *et al. Cell* **148**, 421–433 (2012).
5. Beher, D. *et al. Chem. Biol. Drug Des.* **74**, 619–624 (2009).

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

海藻で作るバイオ燃料

Biofuel from beneath the waves

ZOE CORMIER 2012年1月19日 オンライン掲載（doi:10.1038/nature.2012.9860）

遺伝子組み換え大腸菌により、海藻から直接エタノールを生産することが可能に。

海藻からエタノールを生産する方法が、バイオアーキテクチャーラボ社（米国カリフォルニア州バークレー）の吉国靖雄（よしくにやすお）らにより考案された。大腸菌を遺伝子操作し、褐藻類を分解してエタノールを生産できるようにしたのだ[1]。これは、食用作物を使わないバイオ燃料の実現に向けた一歩である。

吉国らが褐藻類を選んだのは、持続可能性と拡張性という2つの理由からだという。「海藻は、すでに世界中で大量に生産されていますし、生育には真水や土地が必要ありません」と吉国は語る。さらに、褐藻類は、紅藻類や緑藻類と比べて生育も速い。代表例がカリフォルニア沖に生育するジャイアントケルプで、1日に1mも伸びる。

現在、サトウキビやトウモロコシからバイオ燃料が生産されているが、このために食物の供給量が減るばかりか、広大な耕作地も奪われている。トウモロコシの場合、栽培と収穫には、生産されるエタノールから得られる燃料よりも多いエネルギーが必要となる。そこで多くの研究者が、サトウキビやトウモロコシなどの食用作物を使わずにエタノールを生産する方法を研究しており、スイッチグラス（キビの仲間）やジャトロファ（ナンヨウアブラギリ：多肉植物の一種）、シアノバクテリア、緑藻類など、さまざまな原料が対象となっている。

しかしこれまで、海藻からのバイオ燃料生産は難題だった。海藻は、ラミナリン、マンニトール、アルギン酸塩、セルロースという4種類の糖類を生産する。特にアルギン酸塩は、褐藻類が最も多く生産するのだが、複雑な多糖類で、微生物が容易に分解できない。「この炭水化物は、トウモロコシやサトウキビのような従来の陸上起源のものと比べてちょっとやっかいなのです」と吉国は語る。「褐藻類の潜在能力を引き出すには、アルギン酸塩の分解がカギになります」。

海藻の解決法

吉国らは、まず、褐藻類を分解することができる海洋微生物 *Vibrio splendidus* を用いて、アルギン酸塩を分解する生化学的経路を同定した。そして、その経路で働く遺伝子をある種の大腸菌に組み込むと、大腸菌がアルギン酸塩を単糖類に分解できるようになった。次に、その大腸菌の遺伝子をさらに操作して、できた単糖類がエタノールにまで変換されるようにした。こうして、褐藻類からエタノールを直接生産できるようになった。理論的には、この大腸菌は、エタノール以外にも、種々の有用な化合物や燃料を生産するように遺伝子を組み換えることができるはずである。

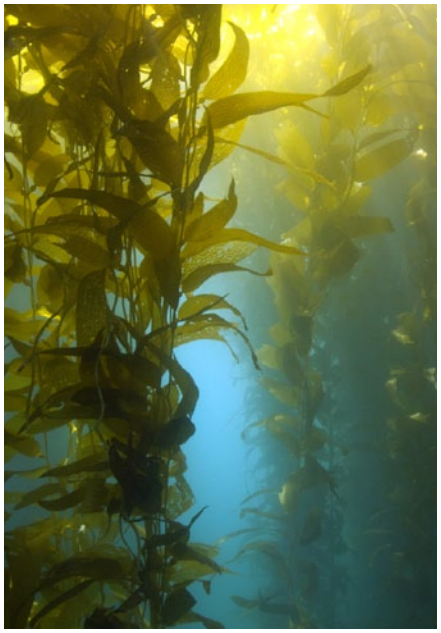
イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校（米国）のゲノム生物学研究所で海藻からのバイオ燃料生産を研究しているYong-Su Jinは、「これはとてもすばらしい研究です。本当に革新的な成果なんですよ」と話す。Jinは紅藻類を扱っているが、紅藻類は褐藻類ほど大量には存在しない。だが、アルギン酸塩の含有量が低いために、「酵母による発酵が比較的容易」なのだとJinは言う。

一方、カリフォルニア大学サンディエゴ校（米国）サンディエゴ藻類バイオテクノロジーセンターの所長Stephen Mayfieldは、吉国の研究について、「非常に巧妙な遺伝子組み換え技術」ではあるが、「これだけではバイオエネルギー生産にはほとんど役立たない」と考えている。「バイオ燃料分野の課題で重要なのは、複雑な炭水化物を単糖類に分解することではなく、バイオマスの栽培と輸送という段階にかかわる残りのステップなのです」とMayfieldは説明する。

大きな問題として残されているのは規模の拡大だ。海藻は何百年にもわたって食用として養殖されてきたが、生産量は年間数千tにとどまっている。だが、バイオ燃料の生産には何十億tもの海藻が必要である。「大規模な養殖に向けては、まだ大きな技術的関門が立ちはだかっているのです」とJinは語る。

吉国も、それを認めている。今年、吉国らは、チリで建設中のパイロットプラントで、このエタノール生産工程の実現の可能性を示そうとしている。■

（翻訳：小林盛方）



ISTOCKPHOTO

海藻は、サトウキビやトウモロコシなどの食用作物よりも、バイオ燃料の原料として持続可能的であると考えられる。

1. Wargacki, A. J. *et al. Science* **335**, 308–313 (2012).
2. Ha, S.-J. *et al. Appl. Environ. Microbiol.* **77**, 5822–5825 (2011).

 ©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

一夜漬けはやめよう

間隔を変えて繰り返すのが最良の学習法らしい

高校や大学の教師はよく、一夜漬けの勉強をしても身につかないと言う。2011年12月に *Nature Neuroscience* 誌電子版に掲載された研究は、この教育学の常識を生物学的に実証したようだ。

テキサス大学医学部ヒューストン校の神経生物学者 John H. Byrne らは、コロンビア大学のノーベル賞学者 Eric R. Kandel の研究室で開発された学習法に、ひとひねり加えた。Kandel の方法はウミウシの一種であるジャンボアメフラシ（*Aplysia californica*）の尾に一定間隔でショックを加え、その後、時間が経ってから軽いショックを与えて、過剰な反応を示すかどうかを見るというもの。過剰に反応した場合、以前の経験をよく覚えていることになる。

Byrne らが狙ったのは、この反応の背景にある化学反応を調整することによって、学習プロセスを強化できるかどうかを見極めることだった。アメフラシの全身ではなく、少数の神経細胞（感覚ニューロンと運動ニューロン）をシャーレに入れて実験した。神経伝達物質セロトニンのパルス（ショックに相当）を20分間隔で5回加えた。すると、セロトニンの刺激によってニューロン内部で酵素が働き始め、一連の生化学反応が起こって、ニューロンの発火が強まった。「この刺激は覚えている。痛いんだ」と言っているようなものだ。

反応には2種類の酵素が協調して働いていた。標準的な等間隔のパルスを加えた場合、細胞内でこれら2つの酵素の活性が同時に最大になることはなかった。この事実は、このやり方が最善の学習法ではないことをうかがわせる。

そこで Byrne らは、コンピューターを使って、パルスの間隔をさまざまに変えた1万通りの方法についてモデル計算した。これらのうち、酵素が両方ともフルに活性化する組み合わせを探したところ、最良の学習法はパルスを等間隔で加えるのではなく、10分間隔を3回、その5分後に1回、さらに30分後に最後の1回を加えるというパターンであることが判明した。このパターンだと2つの酵素の相互作用が50％高まり、学習プロセスがより効率的に進んだのだ。

さて、ではリーマン積分については1日おきに2週間勉強し、次は1か月ほど間をおいてから復習するのがよいのだろうか？　そう結論するのはまだ早い。ただ、Byrne の研究は単純な等間隔で学習するのが最善ではないことを示しており、リハビリの方法など、神経科学者が今後追究すべき新たな研究課題が数多くあることを示している。■

（翻訳協力：粟木瑞穂）

漂流する大震災の瓦礫

ハワイ諸島に流れ着いてサンゴ礁を害する心配がある

2011年3月11日の東日本大震災では、推定2500万トンの瓦礫が生じ、多くが海に流された。大震災の後、海面を埋め尽くす建築材や船、日用品などが海岸から離れて漂流していく様子を人工衛星が撮影・追跡した。そして、ハワイ大学の Nikolai Maximenko と米国海洋大気庁（NOAA）の研究グループが開発したコンピューターモデルから、これらが今年前半にハワイ諸島の北西部に到達することがわかった。

浮遊ごみがもたらす危険性は広く知られており、科学者たちは事態を深刻にとらえている。すでに世界の海面の40％にごみが浮いており、その大きさも船舶用コンテナから遺棄された漁具、小さなプラスチック片までさまざまで、海生哺乳動物に絡まったり有害物質で悪影響を与えたりするおそれがある。新たにハワイに漂着するごみが危険を及ぼすかどうかだけでなく、すでにハワイ沿岸に存在しているものとどう相互作用するか、科学者たちは知りたいと考えている。

津波漂流物は海流と気流によって細かく砕かれているので、すでに NOAA の衛星ではとらえられなくなっている。そこで NOAA は、より高解像度の衛星を使って漂流物の位置を特定できるよう準備を進めている。また、海洋ごみの追跡と解析を専門にしている非営利団体ファイブ・ジャイルズの科学者たちは、今年中に北太平洋で津波ごみを調べる予定だ。

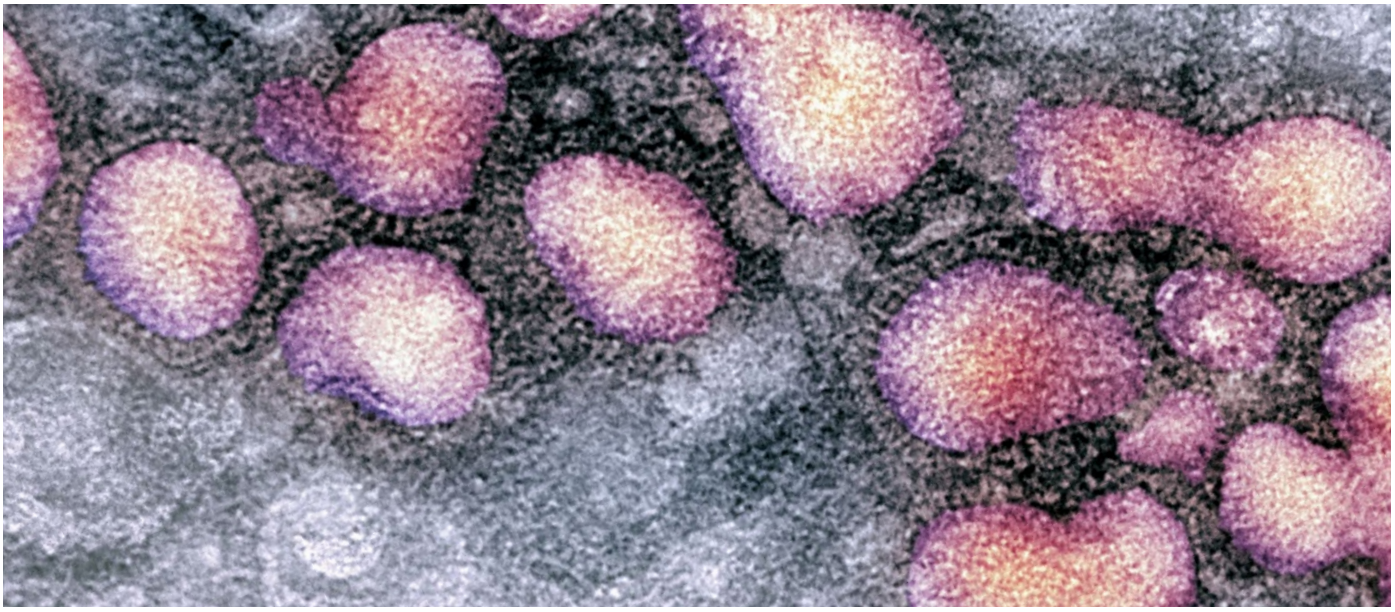
すでに津波ごみに遭遇した研究者もいる。昨年9月、ロシアの船が日本の漁船や冷蔵庫、テレビなどの家電製品がミッドウェイ環礁の西に浮いているのを発見した。12月には、日本の大きな漁業用浮きがワシントン州のニアベイやカナダのバンクーバーの海岸に打ち上げられた。

この種の物体がハワイ北西部の島々を囲むサンゴ礁にぶつかると、壊滅的な結果を招くおそれがある。サンゴ礁が物理的に傷つくだけでなく、アホウドリやハワイモンクアザラシ、アオウミガメなど固有の絶滅危惧種の重要な生息地となっている砂浜を汚染する危険性がある。有害物質も懸念されるが、放射能で汚染された漂流ごみの影響はごくわずかであることが最近の研究でわかっている。

NOAA 海洋ごみプログラムの責任者 Nancy Wallace は、「最悪のシナリオと最良のシナリオ」を想定して準備を進めているという。NOAA などの機関は、汚染ごみも含めあらゆるごみに対応する計画を用意している。しかし漂着量の多少にかかわらず、海のどこかに漂流していることは事実であり、問題は深刻だ。■

（翻訳協力：粟木瑞穂）

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



SPL/PPS

高病原性 H5N1 鳥インフルエンザウイルス粒子の透過型電子顕微鏡写真。感染したヒトから採取したもの。

インフルエンザ伝播の研究は急務である

Flu transmission work is urgent

河岡 義裕　2012 年 2 月 9 日号　Vol. 482 (155)

H5N1 鳥インフルエンザ研究をめぐり、議論が巻き起こっている。
インフルエンザ研究者、河岡義裕（かわおかよしひろ）は、インフルエンザのパンデミック（世界的大流行）を防ごうとするなら、
哺乳類で伝播（でんぱ）する鳥インフルエンザウイルスの研究を継続することが必要だと主張する。

1997 年、香港で、高病原性 H5N1 鳥インフルエンザウイルスによる初めての死者が出た。2003 年以降、578 件の H5N1 ウイルス感染例が確認されており、それによる死者数は累計 340 人に上る。H5N1 ウイルスは現在、東南アジアおよび中東の一部に広がっており、家禽（かきん）などの殺処分も含めると何億羽という鳥が死亡している。

現在までのところ、ヒトの間での H5N1 ウイルスの伝播は見られない。専門家の中には、H5N1 ウイルスはヒトの間で伝播するようにはならないと考える向きもある。しかし、いったんパンデミックが起こった場合に想定される種々の影響を考えると、H5N1 ウイルスがヒトの間で伝播するようになるかどうかを知ることはきわめて重要である。我々のチームによる研究（*Nature* で論文受理）、および、エラスムス医療センター（オランダ・ロッテルダム）の Ron Fouchier のチームによる別の研究（*Science* で論文受理）の成果は、H5N1 ウイルスが哺乳類において伝播する可能性があることを示唆している。現在、この種の研究を行うことやその成果の公表に伴うリスクが議論されているが、私は、高病原性鳥インフルエンザウイルスの伝播に関する研究は緊急の課題として進めるべきだと考えている。

私の研究チームは、ヒトからヒトへ H5N1 ウイルスが伝播する可能性を見極めるため、H5N1 ウイルスの H5 亜型の赤血球凝集素（HA）遺伝子と、2009 年にパンデミックを起こした新型 H1N1 インフルエンザウイルスに由来するそのほかの遺伝子とを組み合わせたウイルスを作製した。鳥の H5N1 ウイルスと、ヒトで大流行した 2009 年のウイルスは、実験条件下で容易にハイブリッドウイルスを作る。また、ヒト由来ウイルスの遺伝子は、ウイルスが哺乳類体内で効率よく

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

増殖するのに重要である。我々は、HAに変異を持つ上述のH5 HA/2009ハイブリッドウイルスが、ウイルスを感染させたフェレットから別のケージに入れた未感染フェレットに、飛沫（ひまつ）を介して伝播することを確認した（フェレットは哺乳類でのインフルエンザウイルスの伝播を調べるためのモデルとして使われる）。つまり、H5 HAタンパク質を持つウイルスは哺乳類の間で伝播しうるのだ。

我々の研究結果からは、哺乳類において伝播するH5 HAを保有するインフルエンザウイルスがすべて致死的ではないことも明らかになった。フェレットでは、我々の調べた変異H5 HA/2009ウイルスの病原性は、2009年のウイルスと同等以下であり、感染させたフェレットは1匹も死ななかった。さらに重要なことに、ワクチンや抗ウイルス薬がこの変異ウイルスにも有効なことがわかった。

Fouchierの研究チームも同様に、哺乳類において伝播するH5 HAを持つウイルスを作製した。つまり、H5 HAを持つウイルスがフェレット間で伝播可能なことを、2つのチームが独立に実証したわけである。ただし、Fouchierたちの変異H5 HAウイルスは、H5N1ウイルスをもとにして作製されており、感染したフェレットは死亡した。

この種の研究は、研究から得られる恩恵よりも、ウイルスの悪用や流出事故などのリスクのほうが大きい、と考えている人もいる。それに対しては、自然界に広まっているH5N1ウイルスがすでに脅威になっていると反論したい。なぜなら、インフルエンザウイルスは絶えず変異しており、パンデミックを起こして大勢の死者を出す可能性があるからである。20世紀には、鳥由来のインフルエンザウイルスによる「スペイン風邪」のために、2000万～5000万人が命を落とした。哺乳類の間で伝播するH5N1ウイルスが自然界で出現する可能性がある以上、その出現のメカニズムを研究しないことのほうが無責任であると私は思う。

今回の研究は、パンデミックに対する備えにも関係してくる。H5ウイルスに対するワクチンの開発・製造・配布を促進させることや、抗ウイルス薬の備蓄を早急に進めることが求められる。2つの研究からは、H5 HAを保有するウイルスがフェレットで伝播するようになるのに必要なHAの変異が明らかになった。これらの変異の一部は、特定の国に広まっているH5N1ウイルスですでに検出されている。したがって、哺乳類において伝播するようになった場合に撲滅活動やワクチン株の選択などの対応策を講じられるよう、こうしたウイルスを厳しく監視することが必須である。

以上のことから私は、今回の2つの研究成果のもたらす恩恵、つまり、H5 HA保有ウイルスに大流行のリスクがあるとわかったこと、そしてそれらの監視や対応策を可能にすることは、研究に伴うリスクを上回ると考える。実験に際して高水準のバイオセーフティーやセキュリティーを確立することは可能である。実際、我々の実験は、封じ込め度の非常に高い施設内で、高度の訓練を受けた少数精鋭のスタッフが、ウイルス流出事故防止のための厳しい手順に従って行った。

しかし、米国のバイオセキュリティーに関する国家科学諮問委員会（NSABB）は、2つの研究について、どちらも詳細な内容（哺乳類間での伝播力を付与する変異など）の公表を限定的な範囲にとどめ、知る必要がある特定の人だけに完全な内容を公表すべきだと勧告した。NSABBの諮問機関としての役割は認めるが、私はこの決定には同意できない。

NSABBがこの勧告を正当化する第一の理由は、データの公表により、「悪事をたくらむ人間が実験を再現できてしまう」からというものだ（go.nature.com/nywkdy）。しかし、たとえ特定の情報を公表しないように我々の論文を編集しても、悪用の可能性は排除できないだろう。なぜなら、哺乳類で伝播できるH5 HA保有ウイルスを作るための情報は、現在すでに公表されており、入手可能だからである。

また、米国政府が論文データの公開のために提案している仕組みも煩雑である。今回の研究内容を知ろうとする何千件もの申請が予想され、申請者の身元確認は管理業務に多大な負担となるだろう。高まるパンデミックの脅威に立ち向かおうとするなら、時間をむだにはできない。たとえ効率のよい仕組みを確立できたとしても、研究者たちに長期にわたり秘密保持を強要することは難しいだろう。

むしろ逆に、データを広く配布すれば、他分野の研究者が参入してインフルエンザ研究に寄与してくれるはずだ。緊急を要するインフルエンザの課題の中には、解決のために新しいアイデアが必要なものもあり、新規参入が必要不可欠である。例えば、我々が見つけたいくつかの変異をみても、ウイルスの伝播は予想以上に複雑で、HAの受容体結合特異性だけでなくほかの生物学的特性や物理学的特性も絡んでいることが明らかだ。

リスクを低減させようと特定の情報を公表しないように論文を編集しても、まともな研究者が情報を得ることが難しくなるだけで、悪用しようとする者に対する防御策にはならないだろう。両刃の剣であるこの問題のよりよい解決策を見いだすためには、世界各国の研究者たちが集まって、いかにリスクを最小限に抑えつつ科学的発見を促すかを議論すべきであろう。私も含めインフルエンザ研究者たちは、現行の議論を鑑み、鳥インフルエンザウイルスの伝播の研究を60日間中断することに合意した（http://nature.asia/avian-flu1）。とはいえ、この研究の緊急性は今も変わらない。ここで中止するわけにはいかないのだ。 ■

（翻訳：船田晶子）

河岡義裕は、東京大学医科学研究所（東京都港区）、およびウィスコンシン大学（米国）所属。

編集部註：インフルエンザウイルスのA型とB型の表面には、赤血球凝集素（Haemagglutinin）とノイラミニダーゼ（Neuraminidase）という糖タンパク質がある。特にA型では、アミノ酸配列や抗原性の違いにより、16種類のHと9種類のNの亜型が確認されており、種々の組み合わせを持つウイルスが存在する。

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

なぜ、NSABBは論文の一部削除を勧告したのか

Reasons for proposed redaction of flu paper

Paul S. Keim for the NSABB　2012年2月9日号　Vol. 482 (156–157)

H5N1インフルエンザウイルスを哺乳類の間で感染できるよう適応させた研究に関する2本の論文に対し、米国のバイオセキュリティーに関する国家科学諮問委員会（NSABB）が、手順などいくつかの詳細な情報を差し控えて公表すべきだとする勧告を出した[1]。1つは、ウィスコンシン大学マディソン校（米国）および東京大学医科学研究所（東京都港区）に所属する河岡義裕（かわおかよしひろ）の研究チームの論文で、赤血球凝集素（HA）の型の1つであるH5と、過去にパンデミックを起こしたヒトH1N1ウイルス由来の遺伝子群とを組み合わせたウイルスを作製したところ、ウイルスが哺乳類であるフェレットの間で飛沫（ひまつ）感染するようになったことを示している[2]。もう1つは、エラスムス医療センター（オランダ・ロッテルダム）のRon Fouchierの研究チームの論文で、高病原性鳥インフルエンザH5N1ウイルスを哺乳類に感染できるようにする適応実験の結果を報告している[3]。*Nature*は、NSABBの厳しい勧告に際して方針を決定するため、NSABBに、河岡チームの論文に関して今回の結論に至った理由の説明を求めた。これに対し、NSABBの委員長代理であるPaul S. Keimが同委員会の意見をまとめ、回答を寄せた。

河岡らの論文は、完全な鳥インフルエンザH5N1ウイルスが哺乳類に感染できることを報告したわけではありません。それにもかかわらずNSABBは、河岡、Fouchier、双方のチームの論文に対して、一部削除した形での発表を勧告しました。なぜでしょうか？

両チームの論文は異なっていますが、NSABBはそれぞれの検討に十分な時間を費やしました。河岡らの論文に関する懸念は、哺乳類に感染できるH5N1再集合体ウイルス（異なるウイルス株由来の遺伝子からなるウイルス）を作り出すための手法が記されていることです。河岡らは、H5という型の赤血球凝集素（略称；H5 HA）と、2009年にパンデミックを起こしたH1N1インフルエンザウイルス（略称：A(H1N1)pdm09）のそのほかの遺伝子とを組み合わせ、フェレット間で感染できる新たなウイルスを作り出せることを示したのです。

さらに懸念すべきなのは、もとになったH1N1株の感染力の高さと、ブタ体内でインフルエンザウイルスの遺伝子の組み合わせが絶えず変わることです。2011年にはヒトでH3N2の新しい再集合体ウイルス株が見つかり、H1N1をもとにした遺伝子再集合にH5 HAを利用することに対して、さらに懸念が高まりました。

我々の見解では、どちらの論文の詳細が公表されても、第三者がこれらの実験を再現できるようになり、ヒトの間で飛沫感染する高病原性の鳥インフルエンザウイルスを作製できる可能性がいちだんと高まると考えています。

時が経てばあるいは、これらのデータを公開しても心配はないと判断されるかもしれません。しかし、今、公開を決定してしまえば、もう後戻りはできません。一方、詳細なデータの公表を遅らせるならば、いずれ、再検討することは容易にできるのです。

NSABBの声明[1]は、高病原性のリスクに重点が置かれています。河岡らのH5 HA/H1N1ウイルスは高病原性ではないのに、公衆衛生上、リスクがあると考えるのはなぜですか？

確かに、今回作製されたウイルスの病原性は、A(H1N1)pdm09ほど高くないと報告されています[2]。しかし、論文に記載されている手法が、H5 HAを持つ別のウイルスの作製に使われて、それがもっと高い病原性を持つかもしれません。

人類には、H5 HAを持つインフルエンザウイルスの感染に対する免疫を獲得した経験がこれまでいっさいないため、2009年のA(H1N1)pdm09の場合よりもずっと広範囲でパンデミックを招く可能性があります。2009年の流行の際には、一部の人々が1957年以前にほかのH1N1ウイルスにさらされていたため、免疫がありました。

もちろん、河岡らが行った研究[2]は、重要な恩恵をもたらすでしょう。しかし、一線を越えるものであり、実験の詳細情報を広く発信することに伴うリスクが利益を上回るときが、いずれ訪れるのではないかという疑問が生まれます。

いったん哺乳類の間で呼吸器感染が確立すれば、おそらくウイルスは呼吸器感染の効率を高めるように自身を適応させていくでしょう。もしそうしたウイルスが悪用されたり、研究室から流出したりすれば、予測できない経過をたどって進化すると思われます。H5N1ウイルスは、少なくとも1996年以降には鳥類で保有されており、ヒトへの感染も600例ほど知られています。しかし、まだ哺乳類において高効率で感染できるようになっていません。この能力が獲得されていないのは、本来備わっている生物学的な制限など、相応の理由があると考えられます。

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

今回の２つの研究チームが行った実験では、哺乳類に適応するようH5N1ウイルスを人為的に進化させており、自然界に存在すると思われる障壁(種の壁)を乗り越えてしまったのです。ただし、研究室でこうした適応が成立したからといって、同様なことが自然界でも起こりうるわけではありません。

我々はまた、ほかの動物種の潜在的役割、およびそれらの動物種に及ぼす影響も考慮する必要があります。ブタは、インフルエンザウイルスの「混合容器」として知られており、ブタでの混ぜ合わせで、抗原を変化させた新型ウイルスが出現すると考えられています。これは、ブタが、気道の上皮細胞表面に、糖鎖とα2,6結合するシアル酸（H1N1ウイルスが受容体として利用）とα2,3結合するシアル酸（H5N1ウイルスが受容体として利用）の両方を持ち、H5N1ウイルスにもA(H1N1)pdm09ウイルスにも感染しやすいためです。しかし、ブタはH5N1ウイルスを伝播(でんぱ)しにくく、また、ブタでのH5N1ウイルスの病原性もそれほど高くありません。ただし、糖鎖とα2,6結合するシアル酸にH5 HAが結合できるようにする操作によって、ブタ間でのH5ウイルスの伝播率が高まる可能性があります。現在、家畜として飼われているブタは、世界全体で20億頭と推定されています。ブタ間を伝播可能で罹患(りかん)率と死亡率の高いインフルエンザウイルスが出現すれば、世界の食糧供給に壊滅的な影響が出るだけでなく、ブタが中間宿主としてウイルスのヒトへの適応を仲介する可能性があります。

また、イヌやネコも、H5N1およびA(H1N1)pdm09に感染します。ヒトは、イヌ、ネコ、ブタのいずれとも緊密に接触するため、変異したH5ウイルスが、ヒトを含めたこれら４種の哺乳類の間で行ったり来たりする可能性があることを念頭に置く必要があります。このことで、疾患対策がかなり複雑になると思われるからです。

河岡らの論文に報告されているH5 HA/H1N1変異だけでは、哺乳類に感染可能な高病原性の完全なH5N1鳥インフルエンザウイルスを構築する「設計図」を得るには不十分であり、さらなる変異が必要だと思われます。それでも公表にはリスクが高いと考えるのは、なぜでしょうか？

河岡らの特殊なウイルスと変異が、パンデミックを起こすほど恐ろしいH5N1株になるかどうかが問題ではないのです。問題は、彼らが研究室で、自然界に存在するとみられる「進化の障壁」を乗り越えるウイルスを作り出してしまったことです。もし、手違いやテロによって、このウイルスが研究室外に出てしまったら、パンデミックの可能性について諮問が必要になるでしょう。

河岡らの研究は、その可能性を確認し、彼らの特殊なウイルスが、哺乳類間で伝播できるウイルス作製の適用候補になることをはっきり示しています。この研究は、壊滅的被害をもたらしかねないH5保有ウイルスの作製の可能性を大きく高めます。この改変H5 HAウイルス遺伝子は、パンデミックに結びつく可能性のあるほかのインフルエンザウイルス遺伝子との組み合わせができうるのです。

パンデミックはおそらく起こらないだろうと単純に信じて、それに賭け、結果的に市民の健康や安全を危険にさらし、なおかつ、それによる経済的損害をこおむる危険を冒そうと思いますか。

***Nature*独自のアドバイザーのうち数人は、H5 HA/H1N1をもとにしたインフルエンザウイルスがバイオテロに使われる見込みは低いと感じています。特定のヒト集団だけを狙うことができず、対処するためのワクチンや薬品もすでにあると考えられるからです。なぜ、NSABBは懸念しているのでしょうか？**

インフルエンザウイルスの悪用法や悪用の動機を関知していなくても、悪用された結果、壊滅的被害を招くかもしれないのです。考えられるシナリオとして、孤独なマッドサイエンティストや追い込まれて自暴自棄になった独裁者、千年紀の世界終末を信じるカルト宗教のメンバーから、敵も味方も巻き込んでの破壊的結末をたくらむ国家やバイオテロリスト、心神喪失・心神耗弱による無差別的な犯罪まで、さまざまなものがあります。こうしたことが起こる確率は低いとはいえ、もし起これば、自然界には存在しない新しいH5N1ウイルスが進化するための「種」が環境内に持ち込まれることになります。新しいウイルスが、すぐさまパンデミックを引き起こすとは思われませんが、パンデミックにつながる進化の新しい道を歩き出す可能性はあります。

H5N1ウイルス用のワクチンや抗ウイルス薬はすでにありますが、世界のどこにでも十分な量があるわけではなく、パンデミックが起こった場合、こうした医薬品でできることは限られていると思われます。ワクチン製造能力にしても製薬業界にしても、70億人に影響が及ぶとみられるパンデミックの進行の速さにはついていけないでしょう。先にも述べたように、人々にはH5保有ウイルス群に対する免疫がないのですから。さらに、2011年10月に発表された研究によると、インフルエンザワクチンはこれまで考えられていたよりも効果が低いようです[4]。また、使える抗ウイルス薬は現在、ノイラミニダーゼ阻害剤だけで、しかも、A/H5N1ウイルスでの耐性がすでに報告されています[5]。

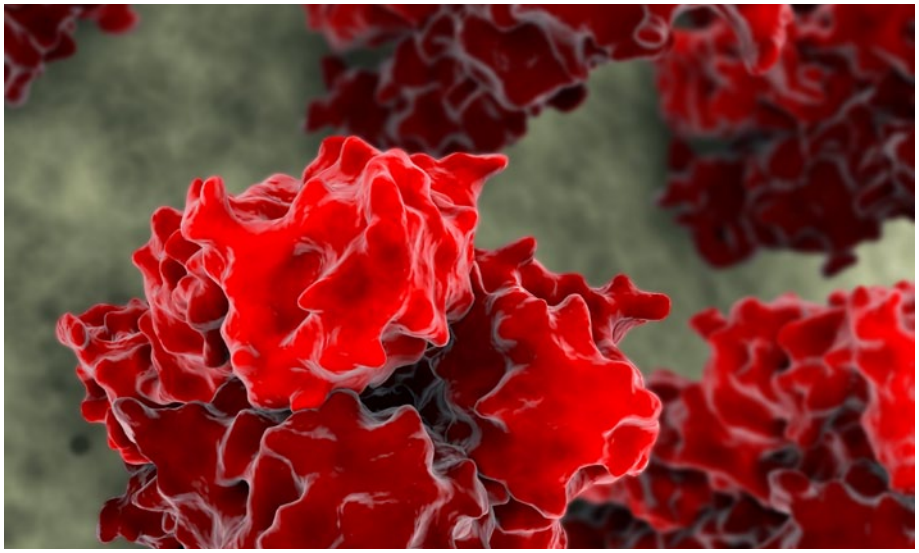
***Nature*独自のアドバイザーのうち何人かはまた、河岡らの論文には、監視と予防の準備のための重要な情報も含まれていると考えています。これには反対ですか？**

この研究の第一の有益性は、H5N1ウイルスがもたらすと思われる脅威に対して人類に警鐘を鳴らしたことです。H5N1のパンデミックに対して、どれほど準備ができていないかを伝えることは重要です。初めはNSABBの一部メンバーも、監視を強めるための情報交換が必要であ

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

ると主張しました。しかし、さらにこの問題を吟味した結果、そうした意見はトーンダウンしました。

今回の研究の実質的な有益性は限定的なものだと思われます。なぜなら、ヒトに感染できる H5N1 が進化する道筋はたくさんあるからです。したがって、この論文で報告されている特異的な変異が、監視や対応策の開発をするうえでどれくらい有用かはわかりません。場合によっては監視法を誤らせる可能性さえあります。さらに、ヒトやほかの動物において単一のウイルスでこうした変異を検出できても、十分な準備時間を確保して、効果的な公衆衛生対策および安全対策で先手を打ち、パンデミックを未然に阻止できる見込みは低いでしょう。



SPL/PPS

インフルエンザウイルスは、自身の表面にある赤血球凝集素（赤色）を利用して宿主の細胞に結合する。

2005 年、1918 年流行の高病原性インフルエンザウイルスを再構築した論文では、情報が完全に公表されました[6]。なぜ、今回の研究を 2005 年の研究よりも危険性が高いと考えるのですか？

1918 年 H1N1 ウイルスを再構築した論文の公表を勧めるべきとする 2005 年の決定は、十分な議論の末に満場一致で下されました。この善にも悪にも利用される可能性のある研究が、情報を制限する必要がありそうな境界すれすれだ、という認識もある中で判断されたものです。当時の NSABB は、1918 年 H1N1 ウイルス研究の論文に対して、情報公開の制限が必要なほどの懸念があるとは考えていなかったのです。その主な理由は次の 2 つです。

1 つは、1918 年のパンデミックによって、1918 年 H1N1 ウイルスが自然界にすでに存在していたことです。このウイルスと派生系統ウイルスは、1957 年まで世界のヒト集団内を循環し続け、その後、1977 年に再び大流行しました。このことから、大流行時に獲得された既存免疫の集団内のレベルには、臨界値があるのではないかと考えられました。2009 年になってこの臨界値説は否定されましたが、ヒト集団が A(H1N1)pdm09 にさらされたことで、1918 年 H1N1 ウイルスに対する防御効果がある程度もたらされ、このウイルスが現在伝播する可能性が大きく低下していると考えられます。

もう 1 つは、1918 年 H1N1 ウイルスの再構築につながった 8 個の変異が、1918 年インフルエンザの死亡患者由来の肺の病理標本やアラスカの永久凍土から掘り起こされた死亡患者の組織を、法医学的にのみ解析した結果、得られたものだったことです。2005 年の時点では、悪意を持った誰かが、1918 年 H1N1 ウイルスを作るために必要な遺伝子群を合理的に集めて組み立てるおそれは、ほぼないだろうとされていました。しかし現在、この考え方は妥当性を失っています。

NSABB は、H5N1 伝播の研究だけを特に心配しているのですか？

我々は、インフルエンザウイルスの毒性を強めたり、異種間もしくは宿主間の伝播を促進させたり、入手可能な薬剤やワクチン誘導性の免疫に対する耐性をウイルスに持たせたりするといった、あらゆる種類の研究を絶えず懸念しています。したがって、現在ほかの動物種に感染しているさまざまなインフルエンザウイルス変異株についても、注意を払っています。というのも、こうした変異ウイルスの一部が、適応して哺乳類へ伝播できるようになったり、適応済みウイルスの毒性を強めるための「素材」の源となったりする可能性が、今回の 2 つの研究[2,3]から示唆されたからです。

鳥その他の高病原性インフルエンザ株の実験は、事前に慎重に吟味すべきです。今のところ、善悪両用の懸念のある研究に関する企画書や論文を選り分けるための公式規準は、論文著者や学術ジャーナル編集者、論文審査員による判定以外には存在しません。NSABB は、米国でそうした研究を幅広く監視する制度を導入するよう提言しています[7]。

我々は、科学、公衆衛生、政策にかかわるすべての人々が、善悪両用が懸念される研究の範疇に入る実験について議論を交わす場を設けるべきだと考えています。■

（翻訳：船田晶子）

1. Berns, K. I. *et al. Nature* **482**, 153–154 (2012).
2. Kawaoka, Y. *et al. Nature* (in the press).
3. Fouchier, R. *et al. Science* (in the press).
4. Osterholm, M. T., Kelley, N. S., Sommer, A. & Belongia, E. A. *Lancet Infect. Dis.* **12**, 36–44 (2012).
5. de Jong, M. D. *et al. N. Engl. J. Med.* **353**, 2667–2672 (2005).
6. Tumpey, T. M. *et al. Science* **310**, 77–80 (2005).
7. National Science Advisory Board for Biosecurity. *Proposed Framework for the Oversight of Dual Use Life Sciences Research: Strategies for Minimizing the Potential Misuse of Research Information* (NSABB, 2007); available at http://go.nature.com/s7cpo7

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

「ジャネリア・ファーム」の優雅な生活

Life on the farm

M. Mitchell Waldrop 2011年11月17日号 Vol. 479 (284–286)

分野の垣根を越えた研究をめざす壮大なプロジェクト、ジャネリア・ファーム。
創設から5年が経過した今、その成果はいかに？

米国バージニア州アシュバーン近郊、ポトマック川渓谷を見渡せる一角に、ひときわ目を引く建物がある。ガラスでできたリボンのような小洒落た建造物、ジャネリア・ファームの研究棟だ。ジャネリア・ファームは、ハワード・ヒューズ医学研究所（HHMI）が、5年前に5億ドル（約400億円）をかけて創設した研究機関である。案内人のジャネリア・ファーム所長Gerald Rubinは、メイン研究棟の食堂エリア近くまで来ると、3台の巨大なコーヒーサーバーを指差してこう言った。「このコーヒーサーバーには年間2万ドル（約160万円）かかっています。しかし我々は、高品質のコーヒーを無料で提供することに費用対効果が十分あると考えました。だって、そうすれば、みんな自分の研究室でコーヒーをいれなくてすみますからね」。そのコーヒーは確かにおいしかった。

こんなところからも、HHMIの潤沢な資金力が十分うかがい知れる。HHMIは、米国メリーランド州チェビーチェイス近郊に本部を置く非営利の研究費提供組織であり、大学などの研究機関に在籍したままで研究員を雇用している。ジャネリア・ファームは、HHMIにとって自前の建物を持った初めての研究所なのだ。

さらに重要なのは、Rubinが「科学文化の実験」と呼ぶものを、この研究所が具現化していることだ[1]。それは、世界一流の研究者たちを、分野の壁を越えてたやすく交流できる環境に置いて研究に専念させるとどうなるかという実験だ。具体的に言えば、研究者たちに、コーヒーサーバー付近で出会うチャンスを作り、そして、少数の大きな科学的難問に取り組ませる。それらは神経科学の最大級の難問のいくつかで、長期の研究を要し、リスクも大きいが成功すれば見返りも大きい。さらに、そこへHHMIの豊富な資金を投入し、研究者を大学などでの従来の研究生活につきものの雑用から解放する。管理業務や学生の指導もなく、テニュア（大学の終身雇用資格）の取得に励む必要も助成金申請書を書く必要もない。「俗世から解放された、まさに『象牙の塔』なのです」とRubinは語る。

ジャネリア・ファーム創設の前提には、この年間1億ドル（約80億円）を費やす試みが、すばらしく偉大な科学的成果を生み出すだろうという考えがある。しかし、Rubinにとっては、単に「優れている」というレベルにとどまらない。「もし20年後にここに戻ってきて、『我々はソーク研究所を再現したんだ』と口にするようなら、この計画は失敗だと思っています」。ソーク研究所は、米国カリフォルニア州ラホヤにある世界屈指の独立した研究機関だ。「要は、ソーク研究所と同じ研究機関を作るために、わざわざジャネリア・ファームを建設する必要はなかったということです」とRubinは言う。

生粋の遺伝学者であるRubinは、ジャネリア・ファームが最終的には、遺伝学でいう「欠失テスト」をパスできると考えている。遺伝学で使われる欠失テストは、1個の遺伝子を欠損させることで、その遺伝子の機能を明らかにする手法である。つまり、将来、ジャネリア・ファームなくして生物学研究はこうまで進展しなかった、という状況になるはずだというのだ。

始まりの日々

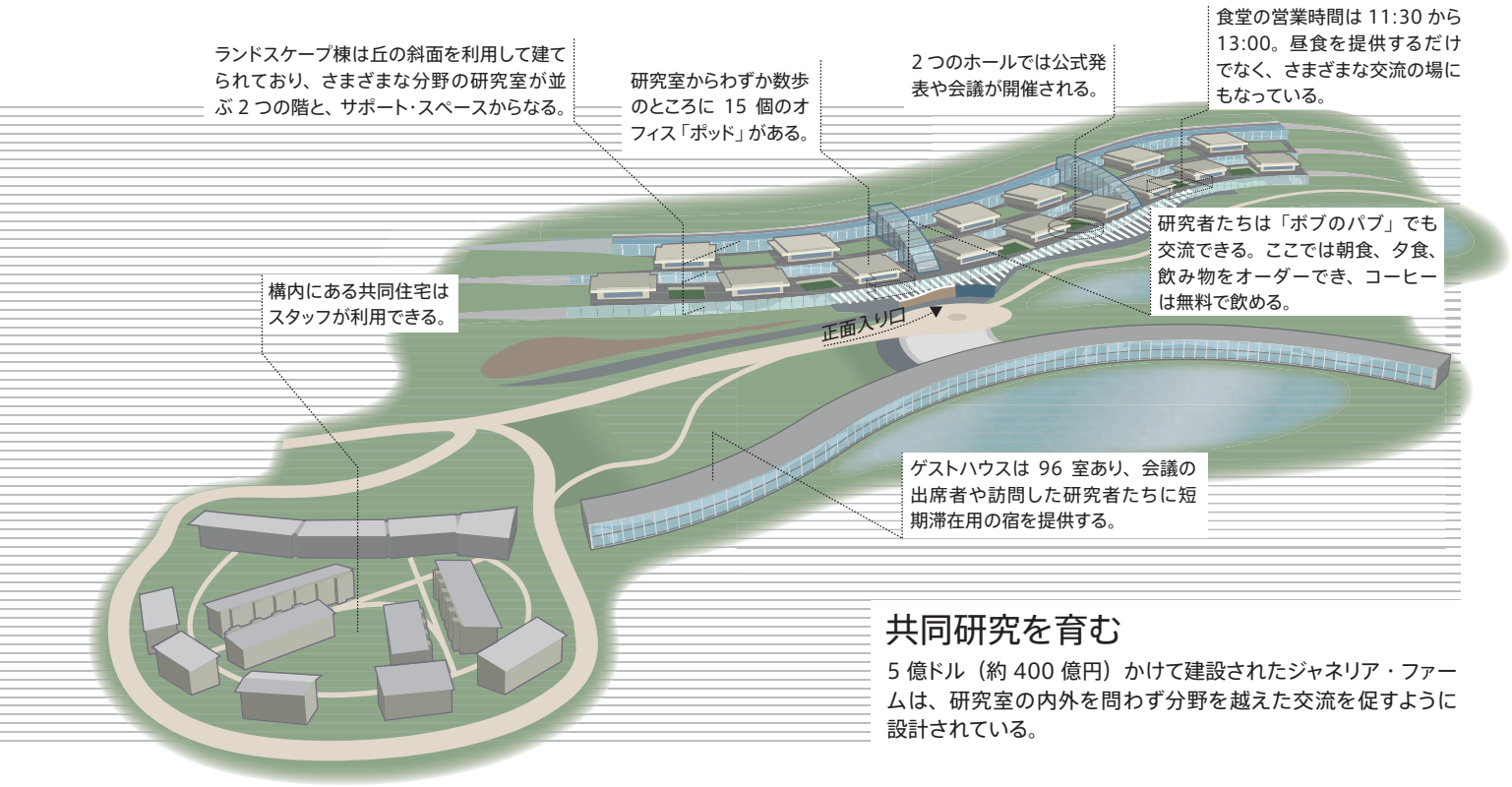
ジャネリア・ファームが始まって5年。この非常に壮大なテストにパスできるという確証はまだ何も得られていない。それはRubinも認めている。ジャネリア・ファームの研究が長期重点化方式であること、そして、農地だった場所に新設の研究所を一から作り上げる難しさを考えると、今後5年、もしくは10年で大発見が出始めるとは思われないとRubinは言う。ジャネリア・ファームでこれまでに実証されたのは、資金が豊かで、拘束されない学問の自由を約束すれば、優れた研究者を新設の研究所に呼び寄せることが可能であるということくらいだ。

ただし、こうした優秀な研究者が集まった意義は、ジャネリア・ファームの研究室が発表した論文数が右肩上がりに増加しているという形で現れている（次ページグラフ参照）。また、研究所の野望に当初は懐疑的だった研究者たちが、ジャネリア・ファームに一目置くようになってきたことも事実だ。

かつてそうした懐疑派の1人だったコロンビア大学（米国ニューヨーク州）の神経科学者Eric Kandelは、それだけでも大きな成果だと話す。「まだホームランはありませんが、いつ出てもおかしくありません」。

ジャネリア・ファームの土台となるアイデアは1999年に生まれた。HHMIの

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.



共同研究を育む

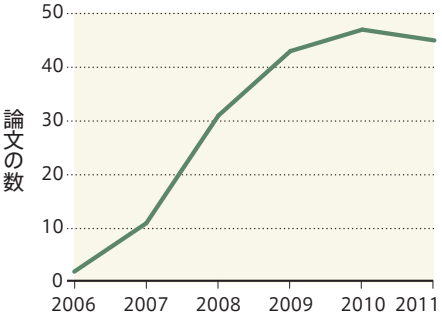
5 億ドル（約 400 億円）かけて建設されたジャネリア・ファームは、研究室の内外を問わず分野を越えた交流を促すように設計されている。

所長になることを承諾したばかりのコロラド大学（米国ボールダー）の生化学者 Thomas Cech は、何か新しいことにトライしたいと考えていた。当時、HHMI はすでに、世界各地の大学に所属する何百人もの研究者に資金提供をしていた。そこで Cech は、さらに数百人に資金を提供するよりも、HHMI が科学にもっと大きな影響力を発揮する道があるはずだと考えた。彼は、これをやり遂げるための助っ人として、当時カリフォルニア大学バークレー校（米国）にいた遺伝学者 Rubin を、HHMI の生物医学研究部門の部長に据えた。

就任した Rubin はまず、自身が体験したさまざまなすばらしい研究生活を思い出すことから始めた。学部生のとき過ごしたコールド・スプリング・ハーバー研究所（米国ニューヨーク州）での夏、博士課程を過ごしたケンブリッジ大学（英国）の医学研究会議・分子生物学研究所（LMB）、そしてスタッフとして研究に従事したカーネギー研究所発生学部門（米国メリーランド州ボルティモア）での 3 年間。Rubin はこんな疑問を持った。「これらの研究所をすばらしいところだと感じさせるのは、いったい何なのだろうか」。

Rubin は、多くの研究者、特にベル研究所（米国ニュージャージー州マレーヒル）といった生物学以外の研究所の経験豊かな研究員にその疑問をぶつけてみた（ベル研究所は、親会社の AT&T が 1984 年に分割されるまで、技術革新の牽引役となった研究所の 1 つだった）。得られた回答は、驚くほど一致していたと Rubin は話す。研究者がすばらしいと感じる研究所では、研究グループは少人数で、そのためコミュニケーションを取りやすく、指導・助言が円滑に行われていた。グループのリーダーは、運営管理や資金収集に追われることなく、自ら実験にかかわる熱心な研究者だった。資金は組織内部から提供され、研究助成金を得ようと四苦八苦する必要がないのだ。また、ポジションは終身ではなく、そのため、研究者が絶えず入れ替わり、アイデアの鮮度を保つことができた。ベル研究所と LMB は、応用物理学と分子生物学という大きく離れた分野にもかかわらず、こうした主義をすべて実現していた。しかし、Rubin が疑問を持った当時、そうした研究所は 1 つもなく、とりわけ、組織内部の資金提供の部分が欠

右肩上がりの論文数



ジャネリア・ファームの研究者が発表した論文の数は 2006 年以来増加しており、*Nature* や *Cell*、*Science* などの一流ジャーナルに掲載されている。

SOURCE: G. RUBIN

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

落していたと彼は言う。「そこにHHMIの勝機があったのです」。

CechやHHMIの理事たちは最初からこのアイデアに乗り気だったが、そうでない人々もいた。「私には、LMBのコピーを作ることがそこまですばらしいとは思えませんでした」と、懐疑派だったKandelは当時を振り返る。「ジャネリア・ファームで、どんな疑問を解明しようというのか、あるいはどんな分野の研究をしようというのか、私にはピンとこなかったのです」と彼は話す。また、HHMIから資金提供を受けていた多くの研究者は、この新しい計画のせいで、自分たちの研究助成金が削減されてしまうのではないかと危惧した。さらに、トップクラスの研究者がHHMIの説得によって、名の通った研究機関での終身職を捨て、ワシントンD.C.から車で1時間もかかる住宅地アシュバーン郊外の研究施設に移ることなどありえない、と多くの人が思っていた。

また、計画で想定されている戦略が、幅広いさまざまな生物医学の問題ではなく、少数の大きな難問を集中的に研究することである点も、議論を呼んだ。2004年、HHMIは取り組むべき課題を決定するため、5回のワークショップを開いた。真っ先に決まったテーマは、生物イメージング技術だった。「これは我々にとって重大な課題の1つでした」とRubinは言う。「生物イメージング技術は、物理学や化学、生物学といった基礎分野だけでなく、さまざまな分野の集約であり、非常に広い範囲で役立つ技術になると思われたからです。DNAシーケンシング技術と同じようにね」と彼は話す。

2つ目の大きなテーマは、神経回路自体の仕組みと神経回路が行動を生じさせる仕組みを解明することだった。この解明によって神経科学の大きな空白部分が埋まることが期待されたと、Kandelは話す。「もちろん当時でも、神経細胞のことはかなりわかってきていましたし、脳の大きな領域がどのように相互連結しているかを知るためのイメージング技術もすでにありました。しかし、両者を結びつける技術が全くなかったのです」と彼は説明する。一方で、新世代の技術が、この要求に応えられそうな段階にさしかかっていた。特に際立っていたのが光遺伝学の技術である。これは、光学を使って特定の神経細胞の活動を追跡したり操作したりできる技術で、神経細胞の機能や結合について解明するのに役立つ。

当時、光遺伝学の神経科学への応用はまだ始まったばかりだった。しかも、ジャネリア・ファームの研究者が、キイロショウジョウバエ（*Drosophila melanogaster*）の神経回路を解明することですら20年かかるかもしれないという可能性や、もし解明できたとしても、キイロショウジョウバエとヒトの脳に何の関連性も見つけられずに終わるおそれもあった。神経回路の基盤にある原理や論理は進化を通じて保存されているだろうと一般に考えられてはいたが、当時としては「かなり思い切った決断だった」とKandelは言う。

研究をつちかう環境

2006年10月、ジャネリア・ファームのメイン研究棟が正式にオープン。巨大なS字カーブを描く丘陵斜面に沿って約300mも続く建物は、「ランドスケープ棟」と名付けられた。上層の2つの階は、ガラス張りの壁に囲まれた広い廊下が長く伸びて光に満ちあふれ、まるで空港のコンコースのようである。だが、必ずしも暖かくて居心地がいいわけではない。外からも廊下からも研究室に並ぶ実験台が丸見えなのだ。また、カーブした廊下は先のようすが見えず、無限の空間に足を踏み入れたような不思議な感覚に襲われる。

しかし、こうしたちょっとした不都合は、Julie Simpsonにとって、別段苦にもならなかった。ウィスコンシン大学マディソン校（米国）で神経科学のポスドクだったJulie Simpsonは、2006年の夏、ジャネリア・ファームにグループリーダーとして赴任した。彼女は、ジャネリア・ファームの哲学を語るCechの話を聞いて以来、何としてもここで研究したいと思っていた。はやる気持ちを抑えられず、とにかくジャネリア・ファームにやってきた彼女は、到着した当時をこう振り返る。「研究室ではヘルメットを着用しないといけなかったの。だって、床がまだ仕上がっていなかったんですもの！」

だが、彼女が失望を感じることはなかった。「特定の1つのテーマに集中して取り組む研究共同体の一員でいることに、本当に満足しています」と彼女は話す。「ここで交わされるすべての会話には関連性があり、さまざまな分野のすべての同僚が、同じ基礎科学のテーマを探求して、数多くの生産的な討論をしているのです」。Simpsonの率いるグループは、キイロショウジョウバエで光遺伝学を使い、例えば、身繕い行動などの特定の生得的反応を生じる神経回路を追跡している。そうしたさまざまな回路の詳細な構造を比較することで、土台にある一般原理を明らかにする足がかりができるはずだ[2]と、彼女は話す。

物理学者Eric Betzigも、Simpson同様、ジャネリア・ファームの開設後まもなくグループリーダーに採用された1人だ。Betzigは1980年代後半にベル研究所で研究生活を始めたが、その頃のベル研究所はまだ、神経科学から反物質まであらゆるものを研究対象にしていた。しかし、ベル研究所の基礎研究分野はしだいに力を失って衰退し、とうとう耐えきれなくなったBetzigは、1994年に父親の工作機械の会社に転職した。だが、研究への情熱を捨てきれず、研究に戻ろうと決心してまもない2006年、ジャネリア・ファームに入る機会を得た。彼は現在、各種のイメージング技術について研究している。

「ジャネリア・ファームが私を惹き付けたものは、ベル研究所が私を惹き付けたものと同じでした。必要なリソースがすべてそろっていて、論文発表のプレッシャーもありません。そうした条件の下で研究できないなら、科学をする気はありません」とBetzigは話す。彼はジャ

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

ジャネリア・ファームのメイン研究棟には、ガラス張りの研究室が並んでいる。

M. STALEY/JANELIA FARM

ネリア・ファームにやってくる前にすでに、光活性化局在性顕微鏡法（PALM）というイメージング技術を開発し、物理学者 Harald Hess と共同で装置を作製していた。Hess も、今はジャネリア・ファームのグループリーダーだ。PALM は、天文学者が開発した画像処理アルゴリズムを使って、単一の蛍光分子の位置をナノメートル単位の高精度で検出する技術である[3]。ジャネリア・ファームで研究を始めてから、Betzig はさらに 3 種類のイメージング技術を開発した。これらは、生きた細胞からなる層を従来よりも深部まで観察できるよう設計されており、解像度もより高く、観察過程で細胞に及ぼす損傷も少ない。

ジャネリア・ファームは万人向けの研究所ではないと、Rubin は言う。「私は、ごく一部の研究者だけが魅力を感じるような研究所にしようと思いました」と彼は言う。つまりターゲットは、終身雇用でなくても十分な自信があり、都会から離れた立地やグループは 6 人までという人数制限を気にせず、自らの手で実験を行いたいと思っている研究者たちである。

この条件にぴったり合いそうな研究者は大勢いそうである。現在、ジャネリア・ファームにはグループリーダーが 20 人おり、彼らは皆、5 年のサイクルで入れ替えのための評価を受ける。1 回目の評価は 2012 年の春に始まるが、Simpson はこの評価過程を「怖い」と言っている。評価法がまだ新しくて、それがどう機能するか、誰もちゃんとわかっていないからだ。それ以外にも、5 年契約で追加更新のない、さまざまな年次の特別研究員（フェロー）が 26 人働いており、客員研究員も 100 人以上いる。ほかのグループメンバーや補助スタッフも入れると、ジャネリア・ファームの非正規雇用者の総数は 424 人にもなる。

創造的であり続けるには

こんなに働いている人間が多いにもかかわらず、研究所内はほとんど空っぽに感じられる。「最初に、みんな気づきますね」と言うのは、Rubin のバークレー時代の同僚で、Cech の後任として 2009 年に HHMI の所長になった生化学者 Robert Tjian である。「おそらくさらに 100 ～ 150 人の研究者を詰め込めば、満員に近くなるでしょう」。

建物内ががらんとしている理由の 1 つは、Rubin の当初の予想よりも、研究者集めに時間がかかっていることにある。今後の採用にあたって頻繁に問題となるのは、研究グループの定員が 6 人までという点だと彼は言う。

都会から遠いことも、心配していたよりはハードルが低かったが、それでも要因の 1 つにはなっている。Rubin は同僚たちと、隔絶された環境による研究の孤立を防ぐために、最善を尽くしてきた。例えば、1 回につき数週間か数か月間、研究者を滞在させる見学プログラムを実施したり、研究所内で年に 10 回ほど、研究者会議を催したりしている。それにもかかわらず、都会からの遠さはいまだに大きな難問の 1 つだと、神経科学者 Carla Shatz は話す。Shatz は、スタンフォード大学（米国カリフォルニア州）で学際的な Bio-X プログラムを指揮しており、ジャネリア・ファームの諮問委員会の一員でもある。「ジャネリア・ファームでは、大学のように医学部や工学部、生物学科や物理学科、化学科といった、さまざまな学科を訪れることも、学部生と触れ合うことも難しいのです。こうした環境下で、どうやれば知的刺激を受け続け、創造性や革新を生み出せるのかを考えねばなりません」と彼女は言う。

これに関連して、もう 1 つ難問がある。研究プログラムを知的な意味で新鮮な状態に保つことだ。イメージングや神経回路解析にテーマを絞り込むことは、最初の段階では有用だったと Tjian は話す。「誰もがジャネリア・ファームがどんなものかを理解できましたから」。しかし、この先の長い道のりの中で、懐をもっと

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

広げ、沸き上がる新しいチャンスを求める自由を研究者に与えることができなければ、ジャネリア・ファームは活気を失ってしまうだろうとも、彼は言う。

ジャネリア・ファームの空きスペースには、もう1つ理由ある。さらに研究分野を拡張しようというのだ。2011年初めに開催された一連の企画ワークショップの結果をもとに、Rubinは、細胞生物学、進化生物学、構造生物学、化学の分野のグループリーダーを採用し始めた。これらの分野はそれぞれ、神経回路解析と一部重なってはいるが、ジャネリア・ファームの研究プログラムを新しい方向へと拡張してくれることだろう。

Rubinは、ジャネリア・ファームの最初の5年間を振り返って、非常に満足していると話す。「我々は、空っぽのビルを、一流の研究者を集め興味深い問題に取り組めるような活動的な研究所へと変貌させたのです。『失敗するに決まっている』と言われたすべてのことを、我々は成し遂げたのです」と彼は言う。

だが、この後は何が起こるのだろうか。ジャネリア・ファームは、次の5年か10年の間に「偉大な科学的成果」を挙げられるのだろうか。また、Rubinの「欠失テスト」をパスし、生物学研究に欠かせない重要な研究所となっているのだろうか。生物学の入門書を書き換えたり（これはCechが好む「偉大な科学的成果」の定義である）、「2つのプログラムを育てて全く新しい1つの道筋を作り出したり」（こちらはTjianが好む定義）できるのだろうか。

これは、なかなか答えの出ない大きな問題である。Simpsonはこう語る。「策を弄しても偉大な科学的成果を得ることはできません。それを可能にする条件をそろえて、何が起こるかを見守るべきでしょう」。■

（翻訳：船田晶子）

M. Mitchell Waldrop は、ワシントン D.C. の *Nature* の News Feature 編集者。

1. Rubin, G. M. *Cell* **125**, 209–212 (2006).
2. Simpson, J. H. *Adv. Genet.* **65**, 79–143 (2009).
3. Betzig, E. *et al. Science* **313**, 1642–1645 (2006).

RESEARCH HIGHLIGHT

P. J. HUDSON/FLICKR/GETTY

光らない雷の放射線バースト

Thunder but no lightning

2011年12月1日号　Vol. 478 (8)

雷活動が引き起こす長時間の放射線バーストは、必ずしも放電を伴わないことが知られている。だが、その理由は完全には解明されていない。日本原子力研究開発機構敦賀本部（福井県）の鳥居建男とその研究グループは、福井県の敦賀半島の先端で、雷雲の下の放射線バーストを追跡した。彼らが観察した放射線発生源は、おそらく雷雲内部の強い電場によってできたもので、移動していた。放射性発生源の形は、半径700 mの下向きの半球状で、最も低いところでは、高度はわずか300 mだった。

雷雲は南に向かって移動しながら数分間にわたって放射線を放出したが、その間、放電はなかった。これはおそらく、放射線発生源の半球が地面に近すぎたからであろうと、研究チームは示唆している。

Geophys. Res.Lett. http://dx.doi.org/10.1029/2011GL049731 (2011)

（翻訳：三枝小夜子）

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

ジェミニ南望遠鏡で多重補償光学システム GeMS などが稼働し始め、最先端の天文台へとよみがえった。

GEMINI OBSERVATORY/AURA

ようやく力を発揮し始めたジェミニ天文台

Gemini's twin telescopes reboot

ERIC HAND　2012年1月19日号　Vol. 481 (251)

最新の補償光学装置を備え、最先端の天文台によみがえった。

ジェミニ天文台は世界最大級の望遠鏡のうちの2基を持ち、ハワイとチリに置かれた天文台から北半球の空と南半球の空の両方を観測することができる。しかし、その本来の力を発揮し始めるまでにはずいぶん時間がかかった。2000年に稼働し始めたものの、科学的成果の面ではライバルに後れを取り、また、あまりに野心的で特殊な装置に数百万ドルの予算を費やし、結局、それらの装置は実現しなかった。天文学者 Frederic Chaffee は、ライバルであるハワイのマウナケア山にあるケック天文台の台長としてジェミニ天文台の苦闘を見てきた。「それはまるで道に迷った子どものようでした」と振り返る。

カリフォルニア大学アーバイン校の天文学者 Virginia Trimble は、「望遠鏡1基当たりで比較すると、ジェミニ天文台の発表論文数と引用数は、ケック天文台やすばる望遠鏡、超大型望遠鏡 VLT などのライバルの天文台に大きく差をつけられていました」と指摘する。

2011年、Chaffee はケック天文台を退職していたが、ジェミニ天文台長の退職に伴い、請われて同天文台の暫定的な台長になった。それから1年も経っていないが、一時は迷走していた天文台はようやく、その期待に恥じない成果を挙げ始めた。Chaffee は、米国テキサス州オースティンで今年1月8日から開かれた米天文学会（AAS）で、いくつかの新装置の成果を報告した。アリゾナ州トゥーソンにある米国立光学天文台（NOAO）の David Silva 台長は「ジェミニ天文台は昨年、大きな成果を見せ、状態を好転させたと思います」と話す。

ジェミニ天文台は、7つの計画参加国（米国、英国、カナダ、チリ、オーストラリア、ブラジル、アルゼンチン）によって運営されている。これらの国の天文学者たちの多くが、ジェミニ南望遠鏡で2011年12月にファーストライトを迎えた新装置、ジェミニ多重共役補償光学システム（GeMS）を利用する計画を進めている。

補償光学は地上の大型望遠鏡で使われる技術で、地球の大気の揺らぎによる画像のぼやけを補正するものだ。具体的には、明るいガイド星、あるいは天文台から発射されるレーザービームの後方散乱を観測して光の波面の乱れを測定し、鏡の形状を即座に変えて補正を行う。しかし、従来は鮮明にできるのは望遠鏡の視野の小さな部分だけだった。もっと大きな領域にわたって補正する方法も10年以上前に提案されている。複数のレーザーを使って空の3次元断層撮影を行うものだ（R. Ragazzoni *et al. Nature* **403**, 54–56; 2000）。しかし、これを実際に行うのは容易ではなかった。

ジェミニ天文台は、5本のビームに分けた50ワットのレーザーを使い、広い領域の補正を初めて実現した。鮮明な画像が得られる領域の大きさは、ほかのシステムの10倍以上ある。日本がハワイに建設した口径8.2mのすばる望遠鏡で補償光学を担当している Olivier Guyon は「これは大きな成果です。どの望遠鏡も同じことをやろうとするでしょう。このシステムを使えば、近くにある銀河などの大きな天体の全体を鮮明にすることができたり、より遠くの天体を1回の撮影で調べることができるようになるなど、観測がさらに効率的になるでしょう」と話す。

ジェミニ南望遠鏡は2011年12月、研究者たちがその完成を待っていた分光写真器も公開した。これを使えば、クエーサー（遠方の銀河の巨大ブラックホールからなる明るい中心核）など、宇宙の最も遠くにある天体の距離を求めることができるはずだ。遠い星の周囲を回っている惑星を見つけるための撮影装置も今年の終わりまでに完成予定だ。

Chaffee の天文台長としての契約は1年で、今年5月に終わる。■

（翻訳：新庄直樹、要約：編集部）

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

ダークエネルギーの大問題

Survey tunes in to dark energy

ERIC HAND 2012年1月5日号 Vol. 481 (10-11)

宇宙の銀河を観測すると、ダークエネルギーがあって
宇宙膨張を加速させているように見えるが、宇宙の長い歴史において、
ダークエネルギーが一定だったかどうかは不明だ。それを探る研究が始まった。

自然界最大の謎の1つがダークエネルギーだ。それを探るためにDavid Schlegelが製作した道具は信じられないくらい単純なもので、マンホールの蓋くらいのアルミニウム製プレートだ。ただし、その枚数は2200枚もあり、それぞれに、空の特定の領域に見える銀河の分布に合わせた孔があけてある。このプレートはアパッチポイント天文台（米国ニューメキシコ州）の2.5m望遠鏡の主焦点に装着するためのもので、一度ずつ、1時間だけ使用される。プレートを装着した望遠鏡を正しい方向に向けると、それぞれの銀河からの光が、対応する孔を通って入射してくる。その光は波長成分に分解され、とどまることのない宇宙の膨張により、個々の銀河がどのくらいの速度で地球から遠ざかっているかを測定するために使われる。

2009年に始まったこの研究は、最終的には150万個の銀河からデータを収集する計画になっている。目標は、宇宙膨張を加速させているとされるダークエネルギーを測定し、その影響が、宇宙の百数十億年の歴史を通じて一定なのか、それともわずかに変化しているのかを見極めることにある。「測定する銀河の数を増やせば、その分、よい答えが得られます」とSchlegelは言う。彼は、米国カリフォルニア州のローレンスバークレー国立研究所（LBNL）の天文学者で、バリオン振動分光サーベイ（Baryon Oscillation Spectroscopic Survey：BOSS）の主任研究員だ。

BOSSと、その基礎にある手法の真価は、すでに認められている。2012年1月11日、Schlegelと同僚は、米国テキサス州オースティンで開催された米天文学会の会合で、47万個の銀河の観測データに基づく最初の知見を発表した。これらのデータは、銀河が密集して巨大な波頭のように見える場所を示し、宇宙の構造を垣間見せてくれた。その構造は、宇宙が今よりはるかに若く、小さかった時代に、まだ恒星や銀河を形成するほど冷えていなかった高温・高密度のプラズマの中を音波が伝播したときの名残である。バリオン音響振動（BAO）と呼ばれるこの音波は、物質を吹き寄せて、高密度の領域と低密度の領域をほぼ等間隔で作り出した。その後、無数の銀河が巨大なシートやフィラメントの形に集まり、このパターンが宇宙で最も大きな構造へと進化していった。

BOSS実験で使用されるアルミニウム製のプレートの1枚。プレートには小さな孔があけてあり、個々の銀河からの光は、この孔を通って入射してくる。その光を分析することで、それぞれの銀河がどのくらいの速度で地球から遠ざかっているかがわかる。

D. LONG, SDSS-III

宇宙の大規模構造が等しい間隔で分布していることが最初に明らかになったのは2005年のことで、この間隔は宇宙における天然の物差しとなった[1]。今日、その間隔は約150メガパーセク（5億光年）まで広がっている。BOSSは、この物差しからのずれを検出することで、ダークエネルギーの影響をこれまでで最も厳密に絞り込もうとしているわけだ（「宇宙のさざ波の大きさを測る」参照）。

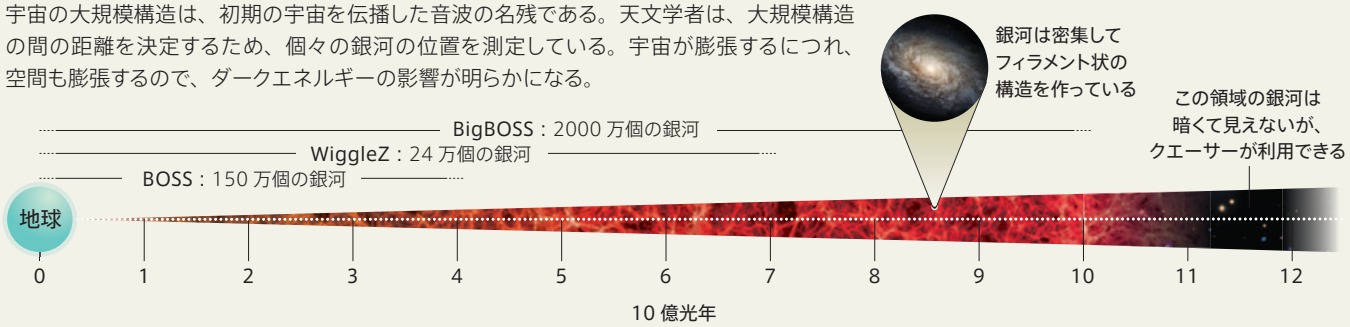
1998年にダークエネルギーに関する最初のてがかりを提供したのは、Ia型超新星の研究だった。Ia型超新星爆発は、ピーク時の明るさがどれもほとんど同じになると考えられており、地球から超新星がある銀河までの距離を決定するための「標準光源」として利用できる。このデータを、超新星の後退速度と組み合わせると、宇宙の膨張は重力の影響で減速するどころか加速していることが明らかになった。1つの説明は、ダークエネルギーが真空に備わっている斥力、すなわち「宇宙定数」であると主張することだ。BOSSの観測は、このモデルの不確実性の範囲を数%まで狭めることができると期待されている。「現時点で得られている値より数倍よい値です」と、Schlegelは言う。

スウィンバーン工科大学（オーストラリア・メルボルン）の天文学者Chris Blakeは、「BOSSが今後5年間、最先端技術であり続けるのは明らかです」と言う。BlakeはWiggleZというバリオン音響振動研究プロジェクトの共同研究者だった。WiggleZでは、オーストラリアのサイディング・スプリング天文台の3.9mアングロ・オーストラリアン望遠鏡を使って、24万個近い銀河の距離を測定した。24万個という数はBOSSの150万個に比べれば少ないが、WiggleZチームが2011年に「この宇宙の銀河が、ダークエネルギーが存在しているかのように振る舞っていることを、超新星の観測とは独立に確認することができた」と発表するには十分だった[2,3]。

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

宇宙のさざ波の大きさを測る

宇宙の大規模構造は、初期の宇宙を伝播した音波の名残である。天文学者は、大規模構造の間の距離を決定するため、個々の銀河の位置を測定している。宇宙が膨張するにつれ、空間も膨張するので、ダークエネルギーの影響が明らかになる。



しかし、どの研究でも、宇宙の歴史を通じてダークエネルギーが一定であったという確証を得ることはできなかった。この重大な問題に取り組むため、BOSS のチームは BigBOSS プロジェクトに着手した。BigBOSS では、BOSS よりはるかに広い宇宙空間を調べて、最大で 31 億パーセク離れた 2000 万個の銀河と、400 万個のクエーサー（さらに遠方にある銀河の明るい中心核）を観測する。これにより、宇宙が誕生してまもない時期から存在していたと考えられるダークエネルギーが宇宙に及ぼしてきた影響をたどり、それが本当に一定だったのかどうかを見極めたいと考えている。

BOSS のアルミニウム製のプレートは、いちいち人間が位置を決めて装着しなければならなかったが、BigBOSS のシステムは自動化されていて、遠方の銀河からの光を集めるのに適した位置まで光ファイバーの先端を正確に動かすことができる。共同実験グループは、米国立光学天文台に 7000 万ドルの計画を提案し、アリゾナのキットピーク国立天文台にある 4m メイヨール望遠鏡を改良して、2018 年から 5 年間の観測を始めたいとしている。

ダークエネルギーを研究するプロジェクトはほかにもあり、NASA も 16 億ドルの広視野赤外線サーベイ望遠鏡を提案している。けれども Schlegel は、BigBOSS がバリオン音響振動を測定する能力は、はるかに多額の費用を投じた宇宙ミッションよりも優れているだろうと言う。「BigBOSS は、宇宙に出なければ手に入らないと思われていた情報を大量に集めることができるでしょう」と、彼は言う。

バリオン音響振動の測定を目的とする BOSS や WiggleZ のような実験が増えてきたのは、宇宙の膨張がどの程度安定しているかが不確実になった結果、超新星による方法の検出力が低下したからである。しかも、バリオン音響振動を測定する方法は、超新星を観測する方法よりも多くの事実を明らかにする。それは、巨大な銀河集団どうしがどのように離れていくかを明らかにし、さらに、この集団の内部で重力が個々の銀河にどのような影響を及ぼすかを明らかにする助けともなる。「個々の銀河が集団に流れ込んでゆく様子を見ることができるのです」と Blake は言う。

この観測により、ダークエネルギーが宇宙定数以外のものである可能性、例えば、巨大なスケールでは一般相対性理論の形が変わる可能性などを排除できるかもしれない。「重力について、奇妙なことが起きているのかもしれません」とフェルミ研究所（米国イリノイ州バタビア）の天文学者 Josh Frieman は言う。

Frieman は、物質の巨大な塊の重力が、より遠方の銀河の形をわずかに歪（ひず）ませる「弱い重力レンズ」という現象を利用して、ダークエネルギーを見つけようとしている。彼が率いるダークエネルギー・サーベイというプロジェクトは、2012 年中に、チリのセロトロロ・インターアメリカン天文台の 4m ブランコ望遠鏡に装着した 570 メガピクセルのカメラを使って、3 億個の銀河の写真撮影を始める予定だ。ただし、地上の望遠鏡を使って弱い重力レンズの地図を作成する試みはこれまでにもあり、大気のゆらぎによるボケのために失敗に終わっている。Frieman らにとっては困難な挑戦となるかもしれない。

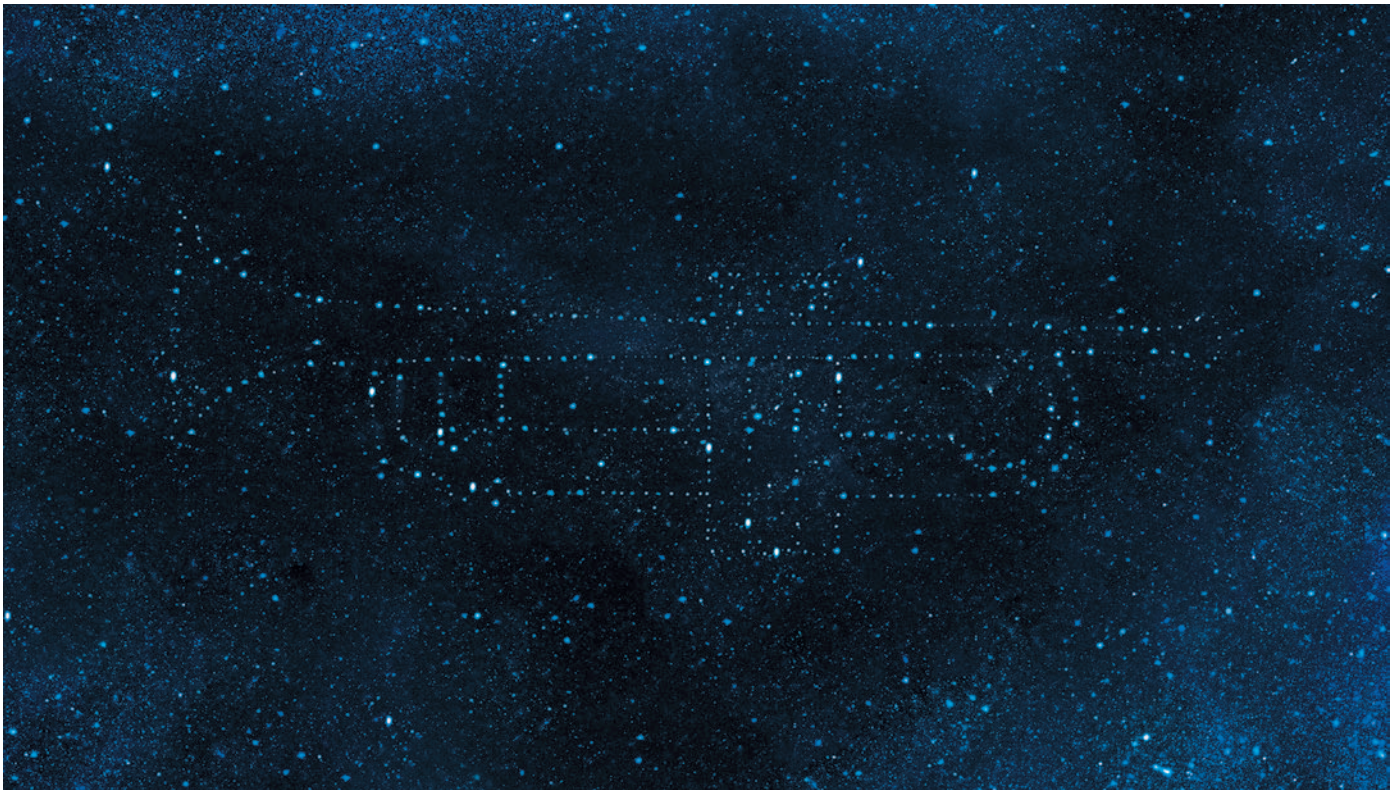
バリオン音響振動の測定に必要なのは銀河のスペクトルだけで、高解像度の画像は必要ないため、大気のゆらぎによるボケは、あまり問題にならない。そして、BigBOSS がバリオン音響振動の影響を特定するために広い範囲から集めたデータは、個々の銀河集団の周りで重力が及ぼす作用を観察するのにも利用できる。

超新星の研究を通じて宇宙の膨張が加速していることを初めて発見し、独立に同じ発見をした研究者らとともに 2011 年にノーベル物理学賞を共同受賞した LBNL の天文学者 Saul Perlmutter は、たとえ BigBOSS がバリオン音響振動の性質を解明できなかったとしても、何か予想外の発見があるに違いないと言う。実際、彼にノーベル賞をもたらした超新星研究は、もともとは、重力による宇宙の減速を測定するためのものだったのだ。「我々はついています。どんどん進めるべきです」と彼は言う。■

（翻訳：三枝小夜子）

1. Eisenstein, D. J. *et al. Astrophys. J.* **633**, 560-574 (2005).
2. Blake, C. *et al.* preprint at http://arxiv.org/abs/1105.2862 (2011).
3. Blake, C. *et al.* preprint at http://arxiv.org/abs/1104.2948 (2011).

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.



SHUTTERSTOCK

星たちが奏でる音色

The sounds of the stars

Ron Cowen 2012年1月5日号 Vol. 481 (18–19)

NASA のケプラー宇宙望遠鏡がもたらすデータは、太陽系外惑星の探索だけでなく、星震学にも革命を起こそうとしている。赤色巨星の進化段階さえ区別できるのだ。

ほとんどの天文学者は、天をあおいで星を見る。しかし、William Chaplin は、天上のオーケストラが奏でるシンフォニーに耳をすませる。小さい星たちはフルート、中ぐらいの星々はトロンボーン、巨大な星たちはチューバの音を鳴り響かせている。

Chaplin はバーミンガム大学（英国）の天体物理学者で、星震学の専門家だ。彼によると、この音の正体は恒星の内部の振動であり、恒星が周期的にわずかに明るくなったり暗くなったりする現象として観測されるという。恒星の振動は、ほかの方法では入手できない貴重な情報を、天文学者に与えてくれる。振動は、恒星表面で高温のガスが激しく上昇したり下降したりすることによって発生し、恒星内部の奥深いところまで伝わって、共鳴する音となる。この音が、恒星の大きさや、組成や、質量を知るためのてがかりとなるのだ（「天上の調べ」参照）。つまり、恒星の明るさに見られる特徴的なゆらぎを観測することで、「文字どおり、恒星の内部の様子を描き出すことができるのです」と Chaplin は言う。

彼によると、星震学者は、これまで常に地球大気の乱れに邪魔されてきたが、ここにきて、大量のデータを手にすることが可能になったという。地球上の望遠鏡で観測を行う場合、大気の乱れのために恒星の明るさの変化を精密に観測することは難しく、星震学の研究対象は、地球から近くて特に明るい約 20 個

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

の恒星に限られていた。研究者たちは、今、新世代の宇宙望遠鏡がもたらす貴重な情報に驚かされている。フランスが中心となって2006年に打ち上げたコロー（Convection, Rotation and Planetary Transits：COROT）宇宙望遠鏡と、米国のNASAが2009年に打ち上げたケプラー宇宙望遠鏡のおかげで、一度に数百個の恒星の音を聞けるようになったのだ。

オルフス大学（デンマーク）の天文学者Hans Kjeldsenは、「我々は今、恒星の構造と進化に関する研究の黄金時代にいます」と言う。

「自然は、我々に親切だったようです」と言うのは、ペンシルベニア州立大学（米国ユニバーシティーパーク）の天文学者Ronald Gilliland だ。「恒星は、たくさんの振動を惜しげもなく見せてくれています。我々はこれを利用して、彼らの最奥の秘密を明らかにすることができるでしょう」。実際、大量のデータは赤色巨星の内部に光を当て、天文学者がこれまで考えていた恒星と銀河の形成過程に疑問を投げかけている。

予想以上の収穫

コロー宇宙望遠鏡もケプラー宇宙望遠鏡も、主要なミッションは星震学ではなく、地球とほぼ同じ大きさで、同じくらいの軌道半径を持つ太陽系外惑星を探すことにある。どちらの宇宙望遠鏡も、太陽系外惑星が母星の前を横切るときに母星がわずかに暗くなる「トランジット」という現象を利用して惑星を探している。この方法で太陽系外惑星を発見するには、恒星の明るさのわずか1/1000の変化を捕らえなければならない。これがたまたま、恒星の音波の影響を検出できる精度だったのだ。

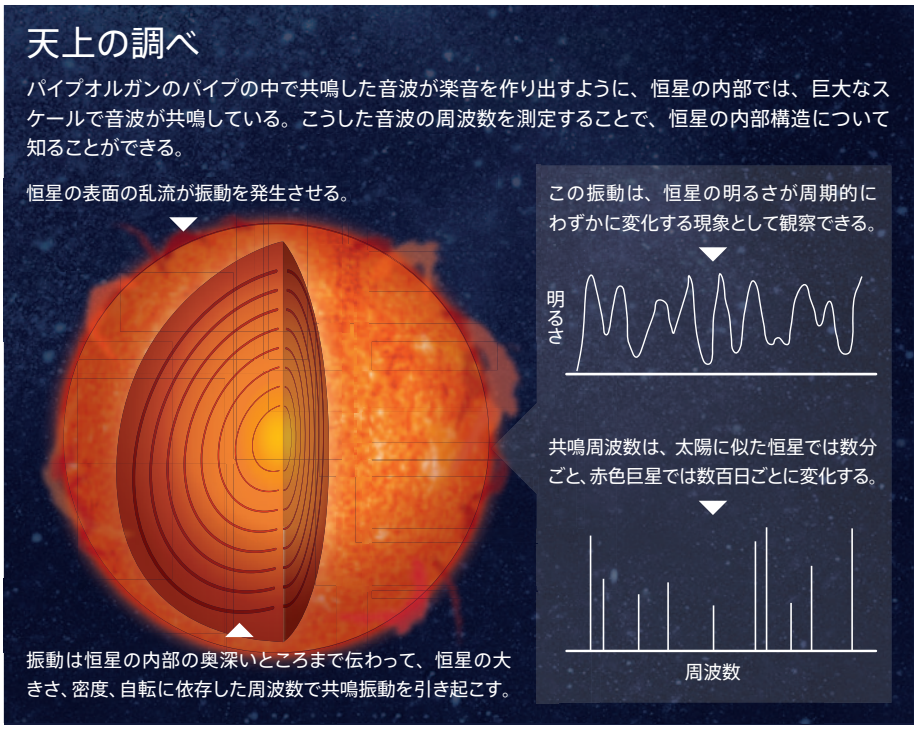
理論的にはそうであっても、宇宙望遠鏡が打ち上げられるまでは、本当にそんな測定ができるのか、誰も確信を持っていなかった。実際、ケプラー宇宙望遠鏡が観測を開始すると、恒星の明るさに予想以上のゆらぎがあって、トランジットの観測を難しくしていることが明らかになった。ただし、このゆらぎは恒星の磁気活動に起因するものであり[1]、音波とは関係なく、音波振動とトランジットが、互いに干渉することはない。音波は太陽に似た恒星の明るさを5～15分のタイムスケールで変化させるのに対して、惑星のトランジットは数時間続く。両ミッションの立案者が、星震学者を喜んでチームに迎え入れたのは、そのためだ。「我々は、惑星ハンターの背中に乗っているのです」と、ケンブリッジ大学（英国）の星震学研究者Dougkas Goughは言う。

いざ蓋（ふた）を開けてみると、大量の音波データが得られた。特に、開口部が0.95mもあってコロー宇宙望遠鏡の9倍の感度があり、より大きな星々の集団を、より長時間にわたって観測できるケプラー宇宙望遠鏡からのデータは非常に多かった。「すべてが、驚異的にうまくいきました」と、Gillilandは言う。

2011年4月、Chaplinらは、ケプラー宇宙望遠鏡で観測した太陽に似た恒星500個の音波振動を分析した結果を発表した[2]。音波振動の周波数と振幅から、これらの恒星の大きさが、天体物理学の通説に基づいて予測された大きさとだいたい同じであることが明らかになったが、その質量は、予想よりかなり低めに分布していることが明らかになった。

Chaplinは、これらの知見をどう考えるべきか、まだ確信を持っていない。しかし、今後も同じ恒星の観測を続けて、その質量が予測を下回りつづけるなら、理論家は、恒星の形成と銀河の集合のモデルを考え直さなければならないかもしれない。「ケプラー宇宙望遠鏡を利用した星震学研究が始まるまで、これらのモデルを検証する方法はありませんでした」とChaplinは言う。恒星の質量を正確に知ることは非常に重要だ。恒星の質量は、銀河形成理論の基礎となるだけでなく、銀河系の歴史の中で、恒星の内部で起こる熱核反応が重元素を作り出してきた過程を理解するためにも欠かせないからだ。この重元素は、後に、地球を含む惑星を形成することになる。

「それが目撃できるのですから、すばらしい！」と、Kjeldsenは言う。最新のデータを手にすることで、「我々は、自分たちの仮定やアイデアや理論やモデルを詳細に検証し、間違いを正すことができるでしょう」。



©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

赤色巨星の秘密

ケプラー宇宙望遠鏡がもたらした知見の中で特に予想外だったのは、赤色巨星に関するものだった。赤色巨星は、太陽に似た恒星が中心核の水素を使い果たして燃料危機に陥り、元の直径の 100 倍以上まで膨れ上がってしまったものである。これから 50 億年も経てば、我々の太陽も赤色巨星となり、太陽系の内側の惑星をのみ込んでしまうことになる。

赤色巨星の進化の初期段階では、中心部に地球の数倍程度の大きさしかない高密度の核が形成されていて、その周りの薄い殻の中で、まだ水素が燃えている。後期の段階では、中心核のヘリウムが燃えはじめている。この 2 つの段階を見分けることは、天文学者の夢だった。その区別がつけば、赤色巨星の年齢や、進化の速さや、各段階で星間空間に放出されるガスや重元素の量を知るのに役立つからだ。

ケプラー宇宙望遠鏡が登場するまで、赤色巨星の進化の段階を知ることは不可能だった。赤色巨星が何を燃やしていても、外からは同じに見えるからだ。しかし、2011 年 3 月に、シドニー大学（オーストラリア）の天文学者 Timothy Bedding らは、ケプラー宇宙望遠鏡が捕らえた振動のデータから、赤色巨星の進化の段階をはっきりと区別できたと報告した [3]。

この研究論文の共著者であるオルフス大学の天文学者 Jorgen Christensen-Dalsgaard は、「赤色巨星の表面の振動から、その小さな中心核の性質がわかるなんて、ワクワクしませんか？」という。

この研究チームは、2011 年 12 月には、赤色巨星の中心領域の自転速度の測定に初めて成功し、表面の 10 倍も速いことがわかったと報告している [4]。

彼らの知見は、赤色巨星の形成に関する標準モデルを支持するものと言える。すなわち、太陽に似た恒星では、表面に近い層は外に広がり、中心核は収縮する。基礎物理学は角運動量が保存されることを要請するため、大きく膨らんだ外層の自転速度は遅くなり、収縮した中心核の自転速度は速くならなければならない。まさに、観測されたとおりなのである。

ミッション延長への期待

ケプラー宇宙望遠鏡のミッションは、現時点では 2012 年 11 月に終了する予定になっているが、多くの天文学者が延長を求めている。NASA がその声に応えられるかどうかは不明である。ミッションの資金に余裕はなく、ほかのミッションも資金を必要としているからだ。しかし、星震学研究者たちによる今回の発見の重要性を考えれば、ミッションは延長するべきだ。例えば、太陽の音波振動の周波数は、太陽の磁気活動が 11 年周期で変化する間に、ほんのわずか（1 万分の 1）だけ変化することが明らかになった。この変化は、太陽の活動周期の長さを測定する方法の 1 つになるだろう。太陽の磁気活動の変化は、黒点やフレアやその他のエネルギーのゆらぎに影響を及ぼし、地球の人工衛星や通信システムを大混乱させるおそれがあるため、その周期の長さを知ることは非常に重要だ。

太陽の磁気活動の周期を、太陽に似た多くの恒星の磁気活動の周期と比較するのも興味深い。ほかの恒星の磁気活動の周期がもっと長い場合、ケプラー宇宙望遠鏡の当初の運用期間では追跡できないと Gilliland は言う。「ケプラー宇宙望遠鏡は、あと 11 年間は問題なく観測を続けられるようです。7 ～ 8 年、あるいはそれ以上にわたって観測を続けることができれば、多くの恒星の活動周期を知ることができるでしょう。その知識は、大いに役に立つはずです」。

ミッションが延長されれば、赤色巨星の中心核の奥深いところから生じる、別の種類の振動についても理解を深め、中心核の構造や密度について多くの情報が得られるかもしれない。恒星の表面でこうした振動の存在が明らかになるときには、その振幅は非常に小さいはずだ。しかし、重い鐘の共鳴時間が長いように、その共鳴は数か月から数年も続くだろう。「まさに今、興味深い天体物理学現象が見えてきたところなのです」と Gilliland は言う。長期間にわたってデータを収集することができれば、もっと多くのことが明らかになるはずだ。

すでに述べたとおり、ケプラー宇宙望遠鏡の主要なミッションは、生命が居住できる領域にある地球サイズの太陽系外惑星を発見することにある。Chaplin によると、星震学は、この探査の役にも立つかもしれないという。ケプラー宇宙望遠鏡は、太陽系外惑星が母星の前を横切るときの母星の明るさの変化を測定するという方法でしか惑星を検出することができず、惑星の大きさは、母星に対する相対的な大きさという形でしか知ることができない。つまり、惑星の半径は、母星の半径と同じ精度でしか知ることができない。ここでもし、母星の音波振動が詳しくわかれば、惑星の大きさを高い精度で決定できることになる [5]。そのような測定ができるのは、ケプラー宇宙望遠鏡の視野にある恒星の中で、特に明るいものだけだが、それでも、自分たちのデータへの自信という点で、強い裏付けが得られるはずだ [6,7]。

ケプラー宇宙望遠鏡は、17 世紀の天文学者 Johannes Kepler にちなんで名付けられた。Kepler は、地球と、その他の既知の惑星のすべてが、それぞれ独自の音を出しているとする理論をつくった。彼はこれを「天球の音楽」と呼んだ。ある種の天球の音楽が、ケプラー宇宙望遠鏡の最も重要な発見のカギとなったとしたら、これほどふさわしいことがあるだろうか !? ■

（翻訳：三枝小夜子）

Ron Cowen は、米国メリーランド州シルバースプリング在住のフリーライター。

1. Cowen, R. *Nature* **477**, 142-143 (2011).
2. Chaplin, W. J. *et al. Science* **332**, 213-216 (2011).
3. Bedding, T. R. *et al. Nature* **471**, 608-611 (2011).
4. Beck, P. G. *et al. Nature* http://dx.doi.org/10.1038/nature10612 (2011).
5. Howell, S. B. *et al.* Preprint at http://arxiv.org/abs/1112.2165 (2011).
6. Hand, E. *Nature* **480**, 302 (2011).
7. Fressin, F. *et al. Nature* http://dx.doi.org/10.1038/nature10780 (2011).

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

米国を超えるアジアの科学技術投資

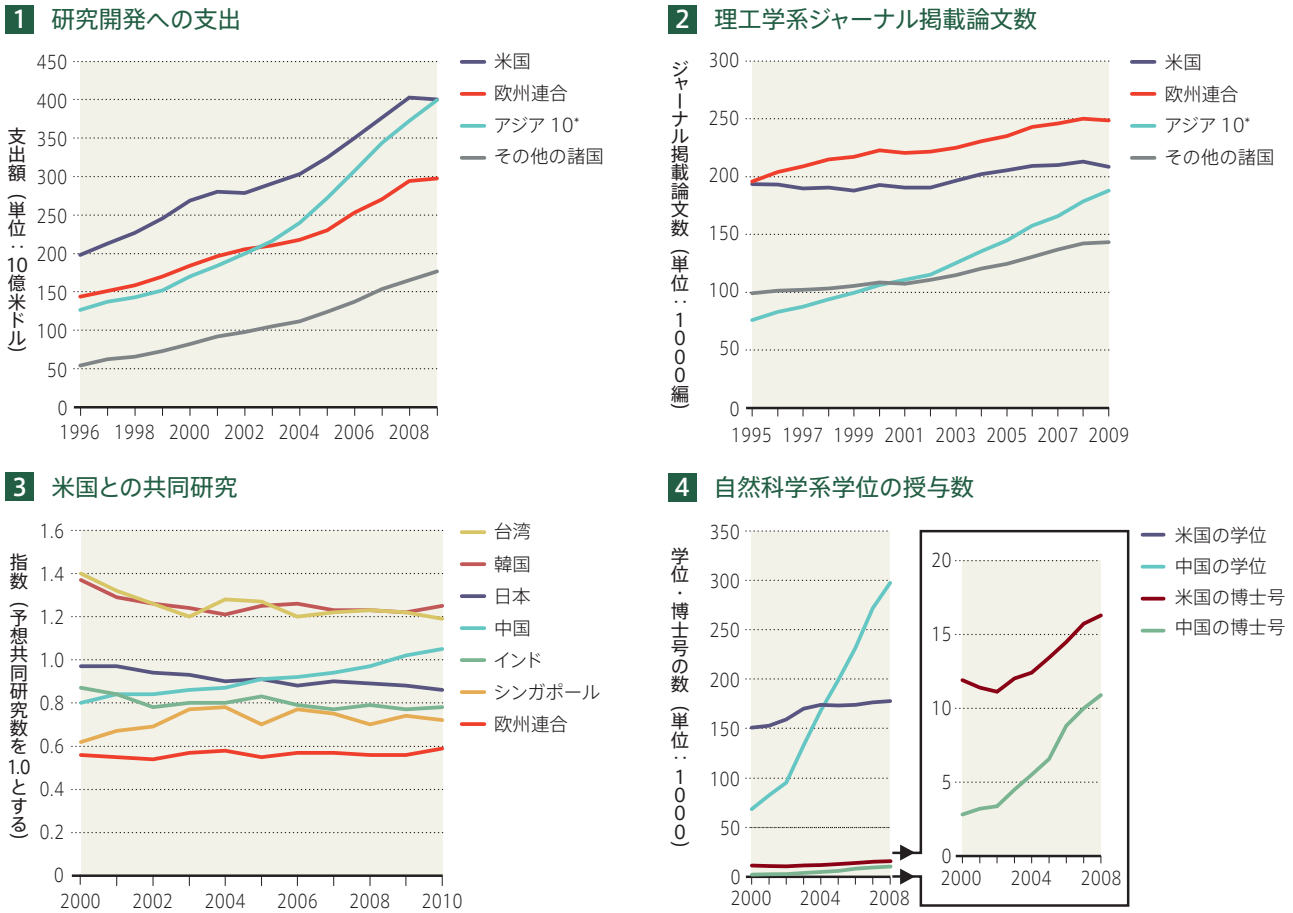
Research in Asia heats up

EUGENIE SAMUEL REICH 2012年1月26日号 Vol. 481 (420)

日本を含むアジアの10の国と地域が、研究開発投資総額において、2009年にすでに米国に追いついていたことが明らかになった。

米国は競争への不安を抱えている。それはズバリ、「中国をリーダーとするアジア圏が、米国に代わって、世界における科学と技術の原動力になろうとしている」という現実だ。それを明確に示したのが、2012年1月17日に発行された約600ページに及ぶ米国立科学審議会(NSB)の『科学工学指標2012年版』だ。そこでは、世界の研究活動の現状が概観され、教育、学術インフラ、知識ベースの労働力、国際市場に関する調査結果が明らかにされている。これについて、一部の政策専門家は、このようなトレンドは米国の利益につながる協力関係を樹立するチャンスだと指摘する。

「相当な規模の科学とイノベーションが国外で進められており、このことを我が国は心しなければなりません。長期的に見た場合、我が国の競争力に悪影響を与えるおそれがあるからです」。こう話すのは、米国立科学審議会のRay Bowen会長だ。NSBは、米国政府の主要な研究助成機関の1つである米国立



SOURCE: NSF

*アジア10:中国、インド、インドネシア、日本、マレーシア、フィリピン、シンガポール、韓国、台湾、タイ

高まる影響力

アジアの10の国と地域での研究開発投資は、過去15年間で3倍に膨れ上がり 1、ジャーナル掲載論文数も増加した 2。米国とアジアの研究者による共同研究の数は2000年以降ほとんど変わっておらず 3、このことは、米国がアジアでの研究を利用するために努力する余地があることを示唆している。中国で科学系学位の授与数が急増していることから 4、この傾向は、今後も続くと考えられる。

 ©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

科学財団（NSF）を監督している。

『科学工学指標 2012 年版』によれば、2009 年に、中国、インドなどアジアの 10 の国と地域における研究開発投資の総額は、米国に追いついてしまった（「高まる影響力」参照）。「この新しいデータをきちんと認識して、『現在の財政難にあっても、研究開発投資を最優先する必要がある』という正しいメッセージが、米国政府（と業界）に伝わるよう期待しています」。こう話すのは、マサチューセッツ工科大学（米国ケンブリッジ）の研究担当副総長の Claude Canizares だ。

これに対して、ロチェスター工科大学（米国ニューヨーク）の工学者で、科学政策の専門家である Ron Hira は、真の問題点は、米国の研究開発投資が少なすぎることではなく、2000 年以降、米国でハイテク製造業に投資を振り向ける力が衰えてきていることだと指摘する。Hira によれば、インドと中国のほうが、ハイテク産業の保護と育成に熱心だったのだ。米国では、「終わりなきポスドク研究に取り組む研究者が多すぎます。その研究成果をいかに経済成長に結びつけるかが大事なのです」。

ジョージア工科大学（米国アトランタ）で科学とイノベーションを研究する Henry Sauermann は、米国は考え方を改める必要があるかもしれないと話す。各種指標によれば、知的財産や訓練を受けた人材がアジアと開発途上国で生まれる可能性は、ますます増大しているという。米国は、失われてしまう可能性のある価値の作り手として行動するのではなく、アジアの発想と専門知識を活用すべきなのだ、と Sauermann は言う。

例えば米国の研究者は、もっと努力して、中国人著者ないしは中国語の論文を読み、中国の研究機関との共同研究を進めるべきなのだ。「中国での研究予算は増えており、研究論文が公開され、誰もが利用できるようになっています。これはチャンスです」。

一方、オハイオ州立大学（米国コロンバス）に所属する科学政策の専門家 Caroline Wagner は、科学工学指標の対象は、トムソン・ロイターズに索引登録されているジャーナルに掲載された研究論文だけであり、全世界の論文数の 10％にも満たない（Wagner の推定による）ことにも留意すべきだという。つまり、開発途上国での科学研究の相当部分は、科学工学指標に反映されておらず、この点をきちんと認識することが重要だと話す。

科学工学指標の対象外となった論文は、英語以外の言語で書かれている可能性が高く、その論文の書かれた国の利益になるものが多い（例えば、ブラジルの果樹に関する研究や中国の菌類に関する研究）。それは、必ずしも米国など世界経済を担うメンバーには役立たないかもしれないが、「とてつもない規模の科学研究が見過ごされていることを、忘れてはいけません」と Wagner は指摘する。■

（翻訳：菊川 要）

暗殺ではイランの核開発を遅らせることはできない

Murders unlikely to slow Iran's nuclear efforts

SHARON WEINBERGER 2012 年 1 月 19 日号 Vol. 481 (249)

専門家は、イランの核開発計画を遅らせるには国際社会による制裁が最善の方法であると指摘する。

それはまるで『007 シリーズ』の映画のようだった。2012 年 1 月 11 日、32 歳の Mostafa Ahmadi Roshan Behdast が車に乗っていたところ、バイクに乗った男が、マグネット式の爆弾を彼の車に取りつけて走り去っていった。その数秒後、爆弾は爆発し、Ahmadi Roshan は死亡した。彼は、イランのウラン濃縮施設の職員だった。

この事件は、映画のようなすっきりした結末を迎えられそうにない。数年前から、イランの核開発計画を標的にしていると思われる暗殺やその他の攻撃が何件も発生しているからである（「狙われたイラン人科学者」参照）。

専門家は、少なくとも一部の事件は、イランによるウラン濃縮を遅延させようとする外国政府が組織的に起こしたものだろうと見ているが、その戦略の有効性については首をかしげる。ハーバード大学ベ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）の上級研究員である Olli Heinonen は、「直接的な効果は、非常に小さいでしょう」と言う。「もしも私が国家安全保障のカギとなるプロジェクトを抱えているとしたら、1 人の人間にすべてを任せるようなことは決してしないからです」と彼は言い、イランの核開発計画を遅延させるには、国際社会による制裁のほうが有効であると示唆する。

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

狙われたイラン人科学者

この 2 年間で、何人ものイラン人科学者が暗殺の標的になっている。なかにはイランの核開発計画への関与が確認できていない人物もいる。

Masoud Alimohammadi
テヘラン大学の素粒子物理学者。核開発計画とは無関係。
2010 年 1 月 12 日殺害

Fereydoun Abbasi-Davani
イラン国防省の上級核科学者。現在は核開発計画を率いている。
2010 年 11 月 29 日負傷

Majid Shahriari
核物理学者。おそらく核開発計画に関与。
2010 年 11 月 29 日殺害

Dariush Rezaei-Nejad
電気工学を専攻する学生。核開発計画とは無関係。
2011 年 7 月 23 日殺害

Mostafa Ahmadi Roshan Behdast
ナタンツのウラン濃縮施設のマーケティング副部長。
2012 年 1 月 11 日殺害

LTOR: ロイター / アフロ ; B. MEHRI/AFP/GETTY; A. KENARE/AFP/GETTY; AP/ アフロ ; FARS NEWS AGENCY/AP/ アフロ

国際原子力機関（IAEA、ウィーン）の前事務次長である Heinonen は、誰が、何のために暗殺を命じたのか、証拠はまだないと指摘する。西側の新聞の多くは Ahmadi Roshan を核科学者と報道したが（彼が学位を取得したのは化学工学だった）、イランのマスコミは、彼はナタンツのウラン濃縮施設のマーケティング副部長だったと報道し、イランの核開発計画のカギを握る人物ではなかったとしている。

ロンドン大学キングズ・カレッジの名誉教授である物理学者 Peter Zimmerman は、状況によっては、幹部を殺害することで核開発計画を遅延させられる場合があると指摘する。例えば、第二次世界大戦中の 1942 年か 1943 年に、マンハッタン計画の責任者だった軍人の Leslie Groves が暗殺されていたら、原爆開発計画は大幅に遅れていただろう。この時期、原爆開発計画はまだ疑問視されていて、Groves の強力な擁護がなかったら、頓挫していた可能性があったからだ。

しかし、「1944 年に J. Robert Oppenheimer が暗殺されても、広島への原爆投下は 1 か月どころか 1 週間も遅らせることはできなかったでしょう」と Zimmerman は言う。彼によると、これまでのイラン人犠牲者のうち、核開発計画に重要な役割を果たしていた人物は 1 人もいないという。

イランの核開発計画の幹部を特定することさえ困難かもしれない。関与が疑われる科学者は、しばしば学術研究機関に所属しているからだ。2007 年、私は Fereydoun Abbasi-Davani にインタビューをしたが、彼は、自分は大学教授であり、核に関する知識の普及を目的とするイラン原子力学会という学術団体の会長であると自己紹介した。しかし彼は、イランが秘密裏に進める軍事計画に関与しているとして、国連の制裁リストにも載っていた。2010 年、Abbasi-Davani は暗殺者に襲撃されたが、命はとりとめ、後に、テヘランにあるイラン原子力庁の長官に任命された。

インタビュー当時、Abbasi-Davani は、イランの核開発計画を妨害しようとする各種の工作は「無益」であり、長期的な影響を及ぼすことはできないだろうと主張した。例えば、米国の主導により、各国は核反応の計算に利用できるソフトウェアをイランに販売することを禁止したが、イランの科学者は、海外の関係筋から得た情報を利用するなどして、独自にソフトウェアを開発したという。「計画は遅れましたが、我々はほかの方法を用いて、必要な知識とノウハウを入手することができたのです」。

プリンストン大学ウッドロー・ウィルソン公共・国際問題スクール（ニュージャージー州）の准研究員 Scott Kemp は、2010 年に Stuxnet というコンピューターウイルスがナタンツのウラン濃縮施設の遠心分離機を破壊した際にも、同様の回復が見られたと指摘する。「彼らは攻撃を受けた施設を改良し、より高速にウランを濃縮できるようになりました。攻撃から 6 週間もしないうちに、彼らは遅れを取り戻してしまったのです」。彼によると、イランはその後さらにウラン濃縮能力を向上させ、核兵器に適した高濃縮ウランの製造に近づいているらしいという。

Kemp は、イランの核兵器開発計画への関与が疑われる科学者の暗殺にも、同様の効果があるかもしれないと言う。すなわち、核戦力を保有しようというイランの決意をくじくどころか、逆に強めてしまうのだ。「こうした工作は、意図したものとは異なる、予想外の結果につながることがあるのです」。■

（翻訳：三枝小夜子）

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

セントロメアの研究からヒストンと似た新規のタンパク質が見つかった

深川 竜郎

長い染色体 DNA 分子の中ほどに「セントロメア」と呼ばれる場所があり、細胞分裂で重要な働きをしている。国立遺伝学研究所の深川竜郎教授は、DNA 上でセントロメアがどのように機能するのか研究している。今回、ヒストンに似たタンパク質が、その機能構築の決定にかかわっていることを発見した。遺伝現象におけるヒストンコードの役割が近年注目されているが、ヒストン以外のタンパク質がかかわる新規のコードが存在しているのかもしれない。

―― Nature ダイジェスト：ヒストンコードとは何ですか？

深川：遺伝というと、一般的には DNA の塩基配列が思い出されるのではないでしょうか。それによって遺伝情報がコードされ、次世代に伝えられるという。しかし最近、塩基配列とは別の情報も次世代に伝達されることがわかってきました。塩基配列は変化していないのに、生物の表現型が変化し、その表現型が伝わることがあるのです。

その情報を伝える実体は何なのか、世界中で探索されています。現在有力視されている 1 つが、ヒストンの修飾です。ヒストンの修飾状態が情報としてコードされていると考えられ、それをヒストンコードと呼んでいます。

――そもそもヒストンとは何でしょう？

ヒストンは、DNA を巻き付ける球状のタンパク質です。DNA は細長いひも状なので、ところどころでヒストンに巻き付いて、絡まないようになっています。DNA は、生体内では、ヒストンと一緒に存在します。そのヒストンに、メチル基やアセチル基が「付く」「付かない」といった修飾状態が、コードになっていると考えられています。

―― 深川先生は、ヒストンコードに異議を唱えている？

いや、そうではありません。ヒストン以外にも情報コードが存在するのではないか、と言っているのです。だから、もっといろいろなコードを探すべきだと。遺伝という現象は複雑で、DNA の塩基配列とヒストンの修飾のみが担うといった単純なものではないだろうと思います。今回のセントロメアの研究で、特にそう考えさせられました。

セントロメアは塩基配列で決まらない

―― セントロメアとは何ですか？

細胞内で DNA は、染色体として存在しています。ヒトでしたら 46 本の染色体があります。セントロメアとは、その染色体の中央付近の領域を指します。

それがどういう働きをしているかというと、細胞が分裂する際、このセントロメアの上に特殊なタンパク質が集まってきて、タンパク質の複合体が形成されます。すると、細胞の両端から繊維が伸びてきてこのタンパク質複合体に接着し、各染色体を運んでくれるのです。

―― セントロメアは重要なのですね。

そうなのです。セントロメアの上にタンパク質複合体がきちんと形成されないと、染色体がうまく分配されません。すると、娘細胞にすべての染色体が伝わらず、がんなどの病気が起きたり、突然変異が起きたりします。

―― その研究が、ヒストンコードとどのようにつながるのでしょうか？

先ほど、セントロメアは染色体の中央付近と言いました。しかし、染色体を DNA のレベルで細かく見ると、どの DNA 領域がセントロメアとして機能するのかがよくわかっていないのです。今回の私たちの研究は、それを明らかにしました。そして、ヒストンと似ているが異なるタンパク質の重要性が見えてきたわけです。

―― セントロメアとして機能する DNA 領域がわからないという意味は？

セントロメア研究の歴史から説明させてください。今から 20 年ほど前、セントロメアは、ほかの場所と何が違うのだろうかと、いろいろな生物のセントロメア領域の DNA 配列が調べられました。その結果わかったことは、セントロメアとして機能する場所は、それを決める特殊な DNA 塩基配列を持つのではなく、どのような塩基配列でもかまわないということでした。いったん、セントロメアとして機能する場所が決定されると、それは次世代に受け継がれていくのです。遺伝情報として塩基配列のみが強調されていた時代なので、皆が驚きました。

それで、セントロメアの場所を決めているのは何なのかが探索され、センプ A（CENP-A）というヒストンタンパク質が決め手らしいとわかってきました。あらゆる生物のセントロメアに、センプ A が伴われていたからです。この分子に皆が注目し、熱心に研究されてきました。

―― やはりヒストンタンパク質がセントロメアを決めていたのですか。

そうなのですが、私自身は、セントロメアの機能構築には、センプ A 以外にも重

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

要なタンパク質がもっとあるはずだと感じていました。センプ A だけでは説明しきれない点がたくさんあったからです。

コードとなる新タンパク質を同定

——今回、セントロメアの機能構築を決めるタンパク質が見つかったのですか。

はい。ここからが私たちの今回の研究の話です。セントロメアの上に多種類のタンパク質が集合しますが、それらの性質を徹底的に調べたのです。すると、その中に、DNA に結合する性質を持ち、ヒストンに似ているタンパク質複合体が 2 つ見つかりました。センプ-T-W（2 量体）とセンプ-S-X（4 量体）です。

そこで構造解析技術を用いて、この 2 つのタンパク質の結晶を作り、性質を詳しく調べました。すると、おもしろい実験結果が次々と出てきたのです。この 2 つが出会うと反応が起こり、センプ-S-X（4 量体）の半分が、センプ-T-W（2 量体）に入れ替わり、1 つの複合体（センプ-T-W-S-X）が形成されるのです。

さらに驚いたことに、この複合体が形成されると、それに DNA が巻き付いて独自の構造が形成されました。このセンプ-T-W-S-X 複合体こそが、セントロメアの機能構築のカギとなるタンパク質だとわかったのです。これで、セントロメアがどのように形成されていくのかという謎が解明できたと思っています。いろいろな生化学的実験や変異導入試験でその重要性を証明することができました（図 1）。

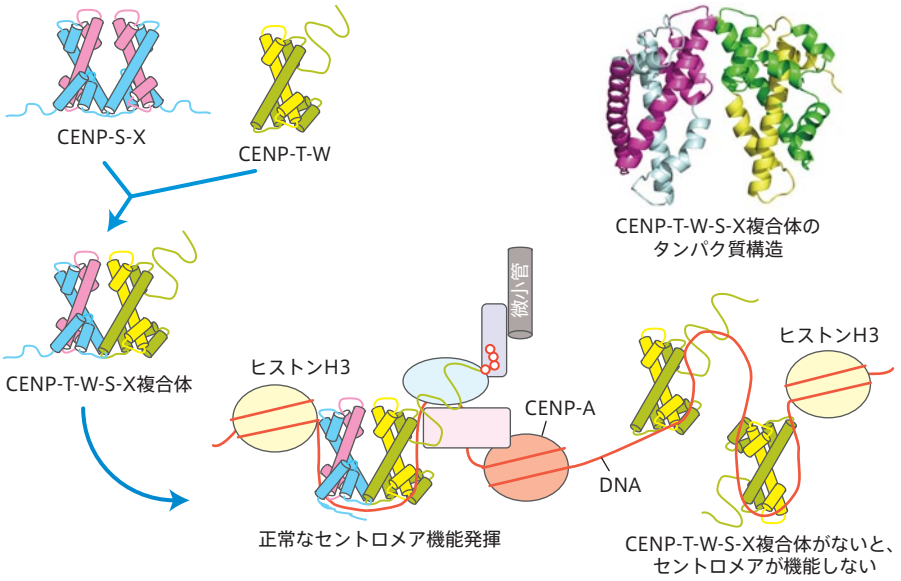


図 1　センプ（CENP）-T-W とセンプ-S-X が一緒になり、センプ-T-W-S-X 複合体が形成される。ヒストンと似たこの複合体の周りを DNA が巻き、セントロメアの機能が発揮される。

——センプ A は重要でないのですか？

いいえ、センプ A は重要です。おそらく、セントロメアが機能するための目印として働くのだろうと想像しています。

——センプ-T-W-S-X 複合体の何がコードなのですか？

実はセンプ-S-X は、セントロメア以外でも働いていることがわかっています。細胞内で DNA が傷つくと、その修復が起こるのですが、DNA の損傷部位にセンプ-S-X がさっと移動するのです。そして、そこでは別なタンパク質と複合体を作って機能するのです。

ここからは推論ですが、ヒストンに似たタンパク質はほかにもたくさんあって、それが、さまざまな DNA 領域で独自の機能を果たすように情報を与えているのではないかと思うのです。センプ-T-W-S-X 複合体は、セントロメアの機能構築でコードとしての役割を持ちますが、ほかには、転写にかかわるヒストンに似たタンパク質が DNA と結合して、転写のオンオフを制御するなどの例が想像されます。ヒストンだけでなく、ヒストンに似たほかのタンパク質も独自のコードを持っているのではないでしょうか。

——センプ-T-W-S-X 複合体の発見という成果は、構造解析を取り入れたから？

はい。今回の研究論文の筆頭著者である西野達哉（にしのたつや）君が、2 年半ほど前に、私たちの研究室に来てくれました。彼は、構造解析の専門家であり、生物学にも興味があります。そのおかげで、例えば突然変異を加えた影響を調べるときでも、すぐに構造にフィードバックして、その図を見ながら検討することができます。研究の視野が広がり、生物学のレベルが違ってきたように思えます。

私は、大学院時代の恩師に、新しい技術を取り入れることに躊躇（ちゅうちょ）してはいけないと教わりました。装置がないことも言い訳にならない。世界の誰かがその技術や装置を利用しているならば、それを前提に自分も研究を進めていかなくてはいけないと。今回の研究でも、その教えが役立ったと思っています。

——ありがとうございました。 ■

聞き手は藤川良子（サイエンスライター）。

1. Nishino T, Takeuchi T M, Gascoigne K M, Suzuki A, Hori T, Oyama T, Morikawa K, CHEESEMAN I M, and Fukawaga T, *Cell* **148**, 487-501 (2012).
2. Hori T, Amano M, Suzuki A, Backer CB, Welburn JP, Dong Y, McEwen BF, Shang WH, Suzuki E, Okawa K, Cheeseman IM, and Fukagawa T, *Cell* **135**, 1039-1052 (2008).

AUTHOR PROFILE

深川竜郎（ふかがわ・たつお）

国立遺伝学研究所教授。1995 年総合研究大学院大学生命科学研究科博士課程修了（理学博士）。同年、英国オックスフォード大学博士研究員。1999 年国立遺伝学研究所助手、2003 年助教授を経て、2005 年より現職。2002 年、日本遺伝学会奨励賞受賞。2005 年、文部科学大臣表彰若手科学者賞受賞。

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

生物力学

トカゲの尻尾の役割

Leaping lizards and dinosaurs

R. McNeill Alexander 2012年1月12日号 Vol. 481 (148–149)

綱渡りでは、バランスをとるために長い棒を使う。
ジャンプするアガマトカゲも、空中で尾をバランス棒と同じように使っているらしい。
それだけではない。恐竜の中にも、同じことをするものがいた可能性があるという。

アガマトカゲはジャンプが得意で、安全に着地する能力がきわめて高い。Thomas Libby ら[1]は、水平な台から垂直な壁に向かってジャンプするアガマトカゲを撮影し、*Nature* 2012年1月12日号にその研究成果を発表した。トカゲは壁に接近するとき、空中で尾を動作させて、壁に取りつくのに適切な角度に体を傾けていたのだ。

その身のこなしは、角運動量保存則、すなわち、外的なトルクが作用しないかぎり系の角運動量は変化しない、という法則に従っている。例えば、長い棒を持って綱渡りをする軽業師は、棒を傾けることで、棒の傾きと反対向きに体を預けることができる。棒の角運動量が少しでも変化したら、体は反対向きの角運動量変化で対応し、全体の角運動量が一定になるようにしているのだ（図1a）。この法則にのっとり、棒を細かく操作することで、軽業師は重心をしかるべく綱の真上に維持することができる。また、棒は太くて短いものよりも細長いもののほうが有利である。というのも、質量が同じならば、細長いほうが慣性モーメントが大きいからだ（物体の角運動量は、角速度と慣性モーメントとの積である）。この単純な説明は、重心の横向きの動きがきわめて小さいために綱の周りの体重のモーメントは無視することができる、と仮定したうえでのものである。

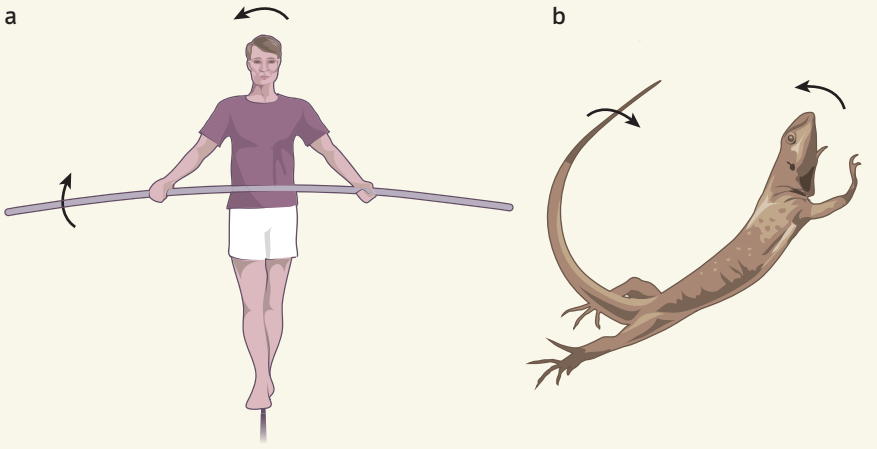
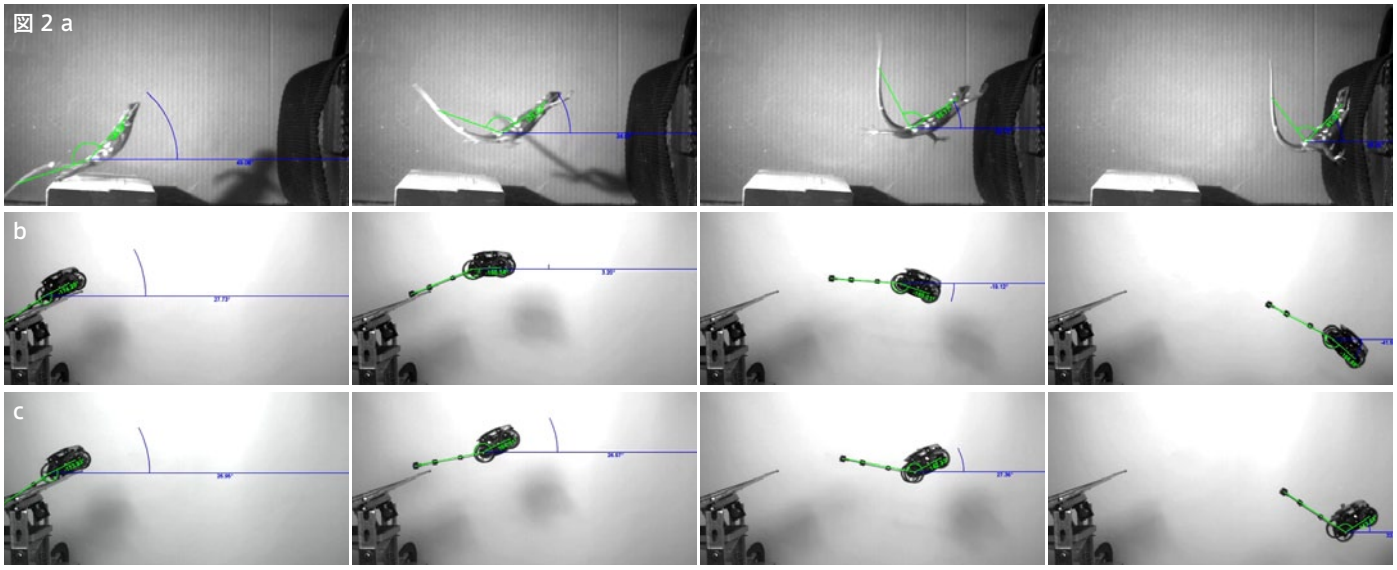


図1　角運動量の保存
a. 綱渡りでバランス棒を時計回りに回転させると、角運動量保存則の原理に従って、体は反時計回りに傾く。b. ジャンプしたアガマトカゲも、空中で同じように尾を時計回りに振り上げて、体を反時計回りにのけぞらせる[1]。

Libby らは、アガマトカゲがジャンプして垂直な壁に的確に取りつくとき、鼻を上げるように体を傾けなければならないような事態になった場合、細長い尾を上に振り上げることを発見した（図1b）。例えば、尾には時計回りの運動量、胴体には同じ大きさの反時計回りの運動量を与えて、保存則に従うように角運動量の合計が変化しないようにしているのだ。Libby らは、踏み切り台の表面を滑りやすくしてトカゲにジャンプの踏み切りを失敗させ、その失敗を補うように尾の動きを調節できるかどうかを調べた。その結果、トカゲの足が滑ると跳び出し時の体の角度が変化するが、適切に尾を動かすことによって踏み切りの失敗を修正することがわかった（http://nature.asia/lizard-nv1；図2a）。

さらに Libby らは、数学的モデルを利用して、尾による制御が定量的に説明されることを確かめた。この結果をより確実なものにしようと、Libby らはおもしろいおもちゃを製作した。それは尾のある車輪付きのロボットで、傾斜台からスキージャンプ選手のように飛び立たせるものだ。ロボットは飛び立つとき、先に前輪が傾斜台から離れて落下しようとす

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.



NATURE 481, 181–184

るが、後輪はまだ傾斜台上にあるため、先端が下に向かって突っ込もうとする（http://nature.asia/lizard-nv2；図 2b）。しかし、ジャイロセンサーによるフィードバックで制御される尾を持ったロボットでは、胴体の角度が着地前に修正された。ロボットは飛び立つときの不完全な体勢を鮮やかに立て直したのだ（http://nature.asia/lizard-nv3；図 2c）。それはトカゲよりも見事だった。

優れた研究にはよくあることだが、Libby らの知見は新たな疑問を提起した。彼らは二次元的課題として尾の利用法を検討したのであり、体のピッチ（鼻先が上向きか下向きか）だけを考慮していた。尾は、ヨー（首振り）やロール（転がり）の角度の調節にも使われるのだろうか。垂直な壁に飛びつくときはピッチが最も重要だが、形が不規則な岩や枝の間を跳び回るには三次元的な調節が必要と考えられる。Libby らは、落下するヤモリの体勢立て直し反応に関する論文[2]で 3 方向すべてを検討の対象としたことがあるが、こうした研究はもっと定量的に行うことができるだろう。

Libby らは、尾の慣性モーメントを利用する動物として、トカゲ以外にも、キツネザル、カンガルーネズミ、ネコなど、いくつかの例を挙げている。さらに、恐竜の中にも、ジャンプ時にアガマトカゲのように尾を使い、体の角度を制御するものがいた可能性があると考えている。しかし、そうした恐竜は大型ではなかったはずだ。なぜなら巨大な動物は、体の構造が小型の近縁動物と幾何学的に類似していると仮定すれば、体重が体長の 3 乗に比例して大きくなるのに対し、骨と筋肉の強度は断面積、つまり体長の 2 乗に比例するにすぎず、遠くまでジャンプすることができないからだ。ウマやエランド（きわめて大型のレイヨウの一種）は、いずれも体重が約 500kg あり、ジャンプが得意な動物として最大級のものだ。恐竜の骨の計測値[3]と筋肉の大きさの推定値[4]に基づく計算からは、大型の恐竜はそれほど敏捷（びんしょう）ではありえなかったことが示されている。

では、大型でない恐竜がジャンプしたことを裏付ける痕跡は残されているのだろうか。肉食恐竜のデイノニクスは、体重が約 70kg だったと推定されている。これはヒョウに近く、ジャンプしていたことが十分に考えられる値だ。化石からは、デイノニクスは群れを作り、自分よりもはるかに大型の恐竜を捕食していた可能性が示唆されている[5]。この考え方には異論もある[6]が、デイノニクスは獲物の背中や脇腹に跳びつき、巨大な爪でしっかりつかみかかっていたと考えるのが定説となっている。ライオンなど大型のネコ科動物も鋭い爪で獲物の皮膚をつかみながら、牙で弱点の喉を攻撃するのと同じようなことだ。

インターネット上には、宙を舞って大きな獲物に襲いかかるデイノニクスのイラストがいくつも掲載されている。まさかと思われるくらい高く舞い上がっている、ありえないようなイラストもあるが、なかには、Libby ら[1]が発表したように、アガマトカゲと同じ要領で尾を高く振り上げている姿に描かれているものも見られる。そんなイラストには、思わず喝采を送りたくなってしまう。■

（翻訳：三谷祐貴子）

R. McNeill Alexander は、リーズ大学統合比較生物学研究所（英国）に所属。

1. Libby, T. *et al. Nature* **481**, 181–184 (2012).
2. Jusufi, A., Goldman, D. I., Revzen, S. & Full, R. J. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **105**, 4215–4219 (2008).
3. Alexander, R. M. *Zool. J. Linn. Soc.* **83**, 1–25 (1985).
4. Hutchinson, J. R. & Garcia, M. *Nature* **415**, 1018–1021 (2002).
5. Maxwell, W. D. & Ostrom, J. H. *J. Vert. Paleontol.* **15**, 707–712 (1995).
6. Roach, B. T. & Brinkman, D. L. *Bull. Peabody Mus. Nat. Hist.* **48**, 103–138 (2007).
7. Manning, P. L., Payne, D., Pennicott, J., Barrett, P. M. & Ennos, R. A. *Biol. Lett.* **2**, 110–112 (2006).

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

レーザー科学

高エネルギーの原子 X 線レーザーを実現

Even harder X-rays

Jon Marangos 2012 年 1 月 26 日号　Vol. 481 (452–453)

レーザーの歴史が半世紀を超えた今、レーザー開発者たちの夢がまた 1 つ実現した。
原子の状態遷移によるレーザーとしては従来よりもずっと高い、キロ電子ボルト領域の光子エネルギーを持つ、X 線レーザーだ。

ローレンスリバモア国立研究所（米国カリフォルニア州リバモア）の Nina Rohringer らは、原子の状態遷移によるレーザー（原子レーザー）としては初めて、光子エネルギーが 849 電子ボルト（eV）と高いレーザーの発振に成功し、*Nature* 2012 年 1 月 26 日号に報告した[1]。今回のレーザーの光子エネルギーは軟 X 線領域にある。軟 X 線領域の原子レーザーはすでにあったが、これほど高い光子エネルギーを持つものは初めてで、今後の目標である硬 X 線領域（光子エネルギーが 5keV 超）の原子レーザーに向けて、重要な第一歩を踏み出したと言える。

今回のレーザーは、一般のレーザーと同じように原子の反転分布を利用している。反転分布とは、ある原子の集まりにおいて、低エネルギー状態にある原子よりも、高エネルギー状態にある原子のほうが多い状態のことだ。Rohringer らは、960eV のエネルギーの光子を出す X 線自由電子レーザー（注・今回のレーザーとは原理が異なり、原子の反転分布を使っていない）という装置を使い、ネオンガスに反転分布を作り出した。

Rohringer らが使った X 線自由電子レーザーは、SLAC 国立加速器研究所（カリフォルニア州メンローパーク）の「線形加速器コヒーレント光源」（LCLS）だ。LCLS は、高品質・高エネルギー（最大 14GeV）の電子ビームを使った、自己増幅自発放射（SASE）による X 線発生装置で、ネオンの反転分布を作るのに不可欠の道具となった。つまり、LCLS は、新しい原子 X 線レーザーの発振に必要なポンピング（原子などをエネルギーの高い状態に引き上げること）に使われた。

今回は、X 線レーザーの発振に X 線自由電子レーザーを使う必要があった。このような事実は、新しいレーザーの意義を低めてしまわないのだろうか。これについては、そうした面と、そうとはいえない面の両方がある。LCLS はすでに、これまでにない輝度のレーザー様 X 線を作り出しており[2]、その光子エネルギーも 500eV ～ 8keV 超の範囲で調整可能だ。パルスは 5 ～ 80 フェムト秒（fs、1 フェムト秒は 10^{-15} 秒）の長さで、1 個のパルスには最大で 10^{13} 個の光子が含まれている。LCLS は、実験室内で keV エネルギーの強い X 線に材料をさらす研究を初めて可能にし[3,4]、さらに、単一ナノ結晶[5]やウイルス[6]の画像撮影にも使われた。

しかし、自己増幅自発放射に基づく X 線自由電子レーザーは、すべて、その放射の品質に関して原理的な限界を抱えている。その放射プロセスは本質的に偶然に支配される面を持っているため、時間的コヒーレンスは低く（つまり X 線場を作る波がよく同調しておらず）、一連のレーザーパルスにおけるスペクトルと時間のジッター（揺らぎ）が大きいのだ。

昔から広く使われてきた方法に、あるタイプの可視光レーザーでエネルギーを与えて反転分布をポンピングし、別の光学的性質を持ったレーザーを実現させるというやり方がある。例えば、フェムト秒可視光レーザーをポンピングするために、ナノ秒可視光レーザーが使われている。Rohringer らは今回の研究で、この考え方をスペクトルの X 線領域へと広げた。

光子エネルギーが 20 ～ 300eV と低い初期の X 線レーザーでは、電気放電あるいは高強度可視光レーザーによって作られたプラズマ媒質の中で、電子衝突、再結合、光イオン化などの物理過程によってポンピングが行われていた[7]。しかし、反転分布をポンピングするために必要なエネルギー密度は、レーザー光子エネルギーの 3 乗に応じて大きくなるので、こうしたシステムには限界があった。

よりエネルギーの高い X 線レーザーを実現するには、非常に高いエネルギー密度が必要だ。実際、1980 年代にローレンスリバモア国立研究所で研究が進められたエクスカリバー国家防衛計画では、熱核爆発で生じる極端に高いエネルギー密度でポンピングして、反転分布硬 X 線レーザーを実現する検討がなされた[8]。しかし、このような X 線源の応用分野は限定されてしまう。

Rohringer らの実験は次のようなものだった。LCLS の X 線パルス（1 個のパルスに 10^{12} 個以上の 960eV 光子を含み、長さは 40fs）を、直径数 μm のビームに集中させ、ネオン原子の高密度の試料

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

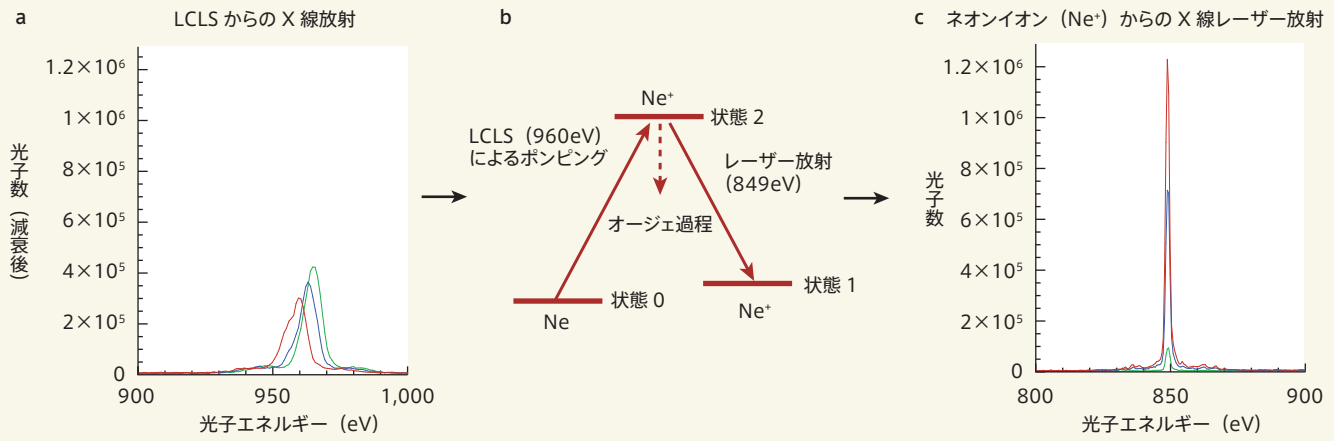


図 1：X 線レーザーの発振の仕組み

Rohringer らは、X 線自由電子レーザーである「線形加速器コヒーレント光源」（LCLS）を使い、ネオンガス試料に原子の反転分布を作ることによって、849 電子ボルト（eV）の光子エネルギーの X 線レーザー発振を実現した[1]。**a**　LCLS が出す X 線レーザーの一連のパルス（パルスごとに異なる色で示した）を測定すると、光子エネルギーには大きな幅があり、平均光子エネルギー（約 960eV）にもかなりの変動がある。光子数はネオン試料を透過した後に測定され、大きく減衰している。**b**　LCLS は、ネオン原子の多くを基底状態（状態 0）から、よりエネルギーの高い電離したネオン（状態 2）へポンピングする。励起状態のイオンの多くはオージェ過程によって崩壊するが、一部は状態 2 よりも低いエネルギーを持つ状態（状態 1）へ遷移する。この遷移の際に、正確な平均光子エネルギー（849eV）を持つレーザー放射が起こる。**c**　このレーザー放射のエネルギー幅は LCLS のレーザー放射よりも小さい。

にぶつけた。この結果、高いエネルギー密度が得られ、ネオン原子の多くが基底状態（状態 0）から、電離した高いエネルギー状態へポンピングされ、反転分布が作られた。励起状態のネオンイオンの大半は、オージェ過程というメカニズムにより、約 2.7fs のタイムスケールで崩壊する。しかし、その一部は状態 2 よりも低いエネルギーを持つ状態（状態 1）へ放射遷移する。LCLS の X 線放射は多数の状態 2 のネオンイオンを突然作り出し、状態 1 のイオンも状態 0 が状態 2 に移るのと同じくらい急速に減少するので、状態 2 と状態 1 の間に一時的な反転分布ができ、それがレーザー発振を引き起こす（図 1b）。

Rohringer らが実現した X 線レーザーの最も重要な性質は、放出される X 線パルスが正確な中心エネルギーを持ち、エネルギーの広がりの幅は 1eV 未満であること、さらに中心エネルギーはネオンイオンの原子としての性質の結果であることだ。ネオンイオンが原子として備えている性質は量子力学の法則の結果であり、パルスごとに変化することはない。一方、ネオンガスに衝突し、ネオンガスを透過する LCLS の X 線パルスのエネルギー幅は、1 個のパルスでも 8eV あり、多数のパルスにわたって平均すると 15eV に近い（図 1）。Rohringer らはこのプロセスをモデル化し、1eV というエネルギー幅は、ネオン試料から放出されたパルスの短い持続時間（約 5fs）によって決まる物理的限界と矛盾しないことを示した。放出された X 線のエネルギー幅が小さいことは、849eV X 線の時間的コヒーレンスは LCLS パルスよりも 10 倍以上高いことを意味している。

Rohringer らの X 線レーザーの出力は、LCLS の放射よりも低いが、コヒーレンスが大きく改善され、エネルギー幅も小さい。これは、正確な X 線のエネルギー値を必要とする新しい研究領域を開く。そうした研究領域には、例えば光イオン化や非弾性 X 線散乱などの物理過程の研究があり、こうした過程は物質中の超高速変化の研究に使われる。さらに、Rohringer らの X 線レーザーパルスと LCLS パルスはぴったりと同調しているので、光子エネルギーの異なる 2 つの X 線場が、試料に同時に相互作用することが必要な実験にも使えるはずだ。

X 線自由電子レーザーでポンピングする Rohringer らの方法は、ほかの反転分布に基づく方法で X 線レーザーを生成した場合よりも、光子エネルギーがずっと高い。それだけでなく、レーザーのパルス繰り返し率（X 線パルスが作られる頻度）は、自由電子レーザーと同じくらい高い。LCLS のパルス繰り返し率は最大で 120 ヘルツであり、それ以前のどの X 線レーザーよりも 100 倍以上高い。今回の新しいレーザーは LCLS よりも取り扱いが難しいが、その光子エネルギーの高さ、安定性、パルス繰り返し率を考えれば、物質の時間分解構造解析にかなり役立つ可能性がある。■

（翻訳：新庄直樹）

Jon Marangos は、英国インペリアル・カレッジ・ロンドンのブラケット研究所に所属。

1. Rohringer, N. *et al. Nature* **481**, 488–491 (2012).
2. Emma, P. *et al. Nature Photon.* **4**, 641–647 (2010).
3. Marangos, J. P. *Contemp. Phys.* **52**, 551–569 (2011).
4. Young, L. *et al. Nature* **466**, 56–61 (2010).
5. Chapman, H. N. *et al. Nature* **470**, 73–77 (2011).
6. Seibert, M. M. *et al. Nature* **470**, 78–81 (2011).
7. Elton, R. C. *X-ray Lasers* (Academic, 1990).
8. Ritson, D. M. *Nature* **328**, 487–490 (1987).

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

南極条約に迫りくる脅威

Antarctic Treaty is cold comfort

2012年1月19日号　Vol. 481 (237)

南極を平和と協調の地として維持したいなら、
研究者は、科学と南極点のつながりをさらに強固なものとする必要がある。

「すべての空想は捨て去らねばならない。つらい帰り路になるだろう」。今からほぼ1世紀前、南極探検中の英国海軍将校ロバート・スコットは、日記にこう記した。これは、南極点一番乗りの勝負がついたことを認めた言葉だとされる。その後、スコットは帰らぬ人となる。ライバルだったノルウェーのロアルド・アムンゼンに先を越され、帰路には、想像を超える結末が待ち受けていた。スコットと残った2人の隊員は、食料補給地点までわずか18kmのところで、1912年3月末までに全員死亡したことがわかっている。

この悲劇の南極探検には科学の側面もあった。スコットのそばで死を迎えた動物学者エドワード・ウィルソンは、南極点に初めて到達した科学者となった。ウィルソンが人生最後の数か月を過ごした厳しい環境の土地は、今では史上最大の科学協力の場となっている。

世界各地で領土紛争が起こり、関係する国や地域が対立している中で、1959年の南極条約は、「全人類の利益のために、南極地域がもっぱら平和的目的のため恒久的に利用され、かつ、国際的不和の舞台又は対象とならない」ようにするという目的を明示して、南極大陸を世界の研究者の手にゆだねた。現在、南極大陸では、約30か国が研究拠点を運営しており、イラン学生通信（ISNA）の1月中旬の報道によれば、イランも3年以内に研究施設を開設する計画になっている。

科学の名の下に世界各国が南極大陸へ殺到していることには、研究以外の利益を求める人々もすでに気づいている。12月31日の日刊紙「オーストラリアン」によれば、キャンベラにあるオーストラリア戦略政策研究所（ASPI）のSam BatemanとAnthony Berginが、中国、インドなどの諸国が、南極大陸に最近開設された研究拠点を利用して、宇宙インフラへの依存を高める軍隊の衛星通信を改善しようとする可能性がある、という刺激的な見通しを示した。BatemanとBerginは、「こうした動きは南極条約に抵触するが、同条約による検査制度があまり実施されていないため、こうした活動が見落とされる可能性がある。もし南極大陸に設置された拠点が軍事的意味を持つと、平和地帯としての南極が不安定化する可能性がある」と述べた。

これほど劇的な事態の展開ではなくとも、南極条約をむしばみ、科学が南極大陸を独占する現在の状態を弱体化させる可能性は考えられる。ジョージタウン大学政治学部（米国ワシントンDC）の故Christopher Joynerは、南極条約の協調の精神が脅かされる3つのシナリオを提示した。エネルギー資源の獲得をめざす国家が南極水域の自国の大陸棚に対する権利を行使するという第1のシナリオ、南極水域での捕鯨をめぐって日本・オーストラリア間の緊張がエスカレートするという第2のシナリオ、そして、広範囲にわたって無秩序に行われる生物資源調査というのが第3のシナリオだ。この生物資源調査については、すでに南極条約の締約国が問題視し、2011年夏にブエノスアイレスで開催された南極条約協議国会議で議題となった。Joynerによれば、南極では、27か国のおよそ200の研究組織が商業目的の研究を進めており、南極の植物と動物を精査して、有益な遺伝資源や生化学資源を発見することが1つの大きな目標となっているのだ。

今のところ、南極条約に差し迫った脅威があるとは思われないが、北極の政治的重要性が高まっていることを考えれば、南極での変化の可能性は理解できるだろう。1月下旬には、北極評議会の加盟国が、中国とインドの公式オブザーバーとしての加盟申請を討議することになっている。南極条約には厳しい条件が定められているにもかかわらず、新たな鉱物資源やエネルギー資源を探索する一部の国々にとって、南極の魅力はその表面に限定されている。

南極条約を維持し、ユニークな科学者の遊び場である南極を守り、研究への期待に応えるために、科学者は役割を果たさねばならない。現在、南北の極点には高い関心が寄せられており、BBC制作の“Frozen Planet（氷の惑星）”シリーズも好評だという。科学者が、南極での研究を宣伝することも重要だ。科学者と南極のつながりがさらに強固なものになっていることを一般市民に印象付けられるからだ。科学者には探検家としての一面もあり、それは、スコット南極探検隊の心意気にも通じている。■

（翻訳：菊川 要）

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

フランスが原子力発電所の安全対策を強化

Get tough on nuclear safety

2012年1月12日号　Vol. 481 (113)

福島原発事故の影響が残る中、フランスの原子力発電所の安全性に関して、すがすがしいほど率直で前向きな報告書が発表された。

スリーマイル島とチェルノブイリの原発事故の際には、それぞれ安全基準の徹底的な見直しが行われた。しかし、事故が過去の出来事になってしまうと、原子力産業、規制当局と政府は、原子力の安全性は回復され、専門家の手にゆだねられている、という安心感を与えるメッセージを出すことに後戻りしてしまった。

2011年3月に発生した福島原発事故の影響について語るのは、時期尚早であろう。しかし、福島第一原子力発電所の防御が崩壊したことで、現代の原子力の安全性に関する基本ドグマが崩れ去ったことは明白だ。そのドグマとは、安全性を確保するための一連のバックアップシステムや冗長システムを装備し、専門家が予測する外的脅威に対抗できる十分に強力な物理的防御を組み合わせれば、壊滅的な炉心溶融や放射性物質の環境中への放出は起こらないとするものだ。

福島での大災害から1年が経とうとしているが、福島原発事故は、原子力事業にとっての転換点となるのだろうか。それとも単に通常営業に戻るだけなのだろうか。フランス原子力安全局（ASN、パリ）のAndré-Claude Lacoste局長は、1月3日に行われた記者会見で、すでに状況は変化したとする見解を示し、「福島前と福島後では異なった対応になる」と約束した。

世界原子力発電事業者協会（WANO）は、その会員である事業者が福島原発事故を受けて適切な対応をする必要性を強調し、WANOによる原子力発電所の検査と監督を強化した。フランスは世界屈指の原子力発電立国であり、世界中で原発が廃止されれば最も大きな損害を受けるが、WANOの新たな方針は、このフランスにも適用された。ASNは1月3日に報告書を公表し、フランス国内のすべての原子炉の安全対策を全面的に強化することを発表した（*Nature* 2012年1月12日号121ページ参照）。

ASNが計画している総額数十億ユーロの安全対策強化は、フランス国内の原子炉について、極端事象に対する耐性と重大事故への対応準備を評価するテストプログラムの一環として実施される。この報告書は、驚くほど率直に書かれており、冷却水か電力の供給停止で、最悪の場合には、数時間以内に原子炉の炉心溶融が起こると明確に記されている。さらに、「ストレステスト」で見つかった多くの問題点も列挙されている。ストレステストでは、複数の原子力発電所における安全面の一部が現行の規格に適合していないことも判明している。

この報告書に対しては、原子力発電所の規制に責任を負うASNが、なぜこうした問題点をこれまで指摘しなかったのか、いぶかる論者がいるだろう。また、ASNがフランス国内の原子炉が基本的に安全だとした声明と、安全性の見地から設備更新が必要だと断言したこととの整合性を保てるのかどうか、疑問視する者もいるはずだ。しかし、国内の原子炉や規制の問題点を表立って論じることに積極的でない国が多い中で、原子力発電の欠点を挙げたフランスを不利な立場に立たせることは間違っている。福島原発事故以降、透明性のある議論よりも一般市民を安心させることを優先させる世界的風潮の中で、今回のASN報告書は「一服の清涼剤」といえる。

ASNは、原子力発電所を自然災害のような外的脅威からどのようにして守るのかという（世界共通の）ジレンマを回避するため、技術的解決法も提示した。今回の報告書では、すべての原子炉について、その脆弱性の程度を問わず、安全システムに「ハードコア」層を新設することが勧告されている。その中核層は、制御室と発電機、ポンプによって構成されており、発電機とポンプは、発電所自体の設計耐久性をはるかに超える物理的脅威にも耐えうるバンカー状の建造物に格納される。

この新政策がフランス政府によって最終的に実施されるかどうか、懐疑の声は当然出るだろう。バンカー状の建造物という構想は技術的に難しいかもしれない。原子力発電所を運営するフランス電力公社が新たな安全システムの費用を負担することになるだろうが、「高価なぜいたく品」と考える者もいるのではなかろうか。

長期的な展開はさておき、このフランスの計画には、直ちに得られるメリットがある。福島原発事故を受けて引き上げられた安全基準を、他国に浸透させることができるのだ。このフランス案に賛成できない政府、規制当局、企業は、その理由を今すぐ説明する必要がある。■

（翻訳：菊川 要）

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

Volume 482
Number 7383
2012 年 2 月 2 日号

Podcast

クモの隠れ技：成功の秘訣はクモの糸の非線形応答性

HIDDEN STRENGTH: Nonlinear failure of spider silk is secret of its success

クモの糸は天然の「スーパー材料」の 1 つである。その注目すべき機械的特性として、高い伸長性や鋼鉄に匹敵する強度などが挙げられる。しかし、特に巣作りとの関係で、クモの糸がそれ以外にも優れた特徴を備えていることが、M. Buehler たちによって明らかになった。それが、クモの糸の応力に対する非線形応答性である。つまり、ひずみが小さい間は線形応答するが、ひずみが増大すると突然軟化し、破断する前に硬化するという重要な性質を持つのである。糸の線形応答は、風が吹いたときのような、小さい荷重が広範囲にかかるような場合に、巣の形状維持を可能にしてくれる。だが、くずが落ちて来たりして局所的に強い変形を受けた場合、糸の幾何学的配置とこの非線形応力応答が組み合わさって、損傷は衝撃を受けた場所付近だけに限定され、巣の機能が維持されるというわけだ。

地球：「超火山」の噴火の前兆

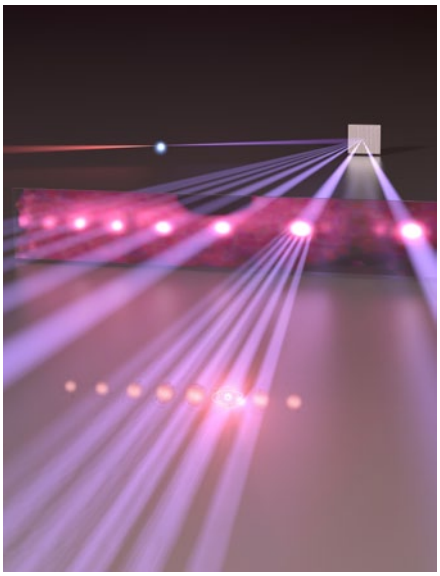
Foreshadowing 'supervolcano' eruptions

ミノア噴火は紀元前 1600 年代後半にギリシャのサントリーニ島で起こり、カルデラを形成した。T. Druitt たちは、このときの化学的に区分された結晶を試料にして、噴火前のマグマ過程とその時間スケールを調べている。噴出マグマは大量で、しかもミノア噴火とそれ以前の主要な噴火との間に 1 万 8000 年もの静穏期があるにもかかわらず、マグマ溜まりの再充填は噴火前 100 年間に起きたらしく、異なるマグマ群の混合は噴火直前の数か月間にもまだ起こっていた。このような観測結果は、カリフォルニア州のロングバレー、ワイオミング州のイエローストーンなど、長期間静穏状態にあるが、活動再開の可能性があるカルデラ系の監視と深く関係する。

光学：極紫外域での精密分光

Precision spectroscopy in the extreme UV

レーザー光周波数コムは、櫛の歯のように等間隔に並んだスペクトル線を放出するため、こうした名称が付けられており、精密分光や、原子時計などの正確な測定が必要な用途に使われている。光周波数コムをもっと短波長の極紫外域まで拡張すれば、基本定数の変化を探るといった新しい応用分野が開かれると考えられるが、これまでの試みではこうした目的に十分な出力が得られていない。J. Ye たちは、光共振器と結合した高出力高パルス繰り返し赤外レーザーを用いて、改良型極紫外コムを生成する新しい方法を示した。初めて行われた精密分光実証実験では、直接周波数コム分光を用いてアルゴンとネオンの原子遷移が超高精度で決定された。



THE YE GROUP AND BRAD BAXLEY, JILA

脳：報酬に対する脳の応答

The brain's response to reward

脳の腹側被蓋野（VTA）は報酬や依存症に関与する部位で、ドーパミン作動性ニューロンと GABA 作動性ニューロンを含んでいるが、それぞれのニューロン種が報酬提示や情報処理に関して担う役割はわかっていない。今回、光遺伝学の手法を用いて、ニューロンがドーパミン作動性か GABA 作動性かを識別し、報酬刺激と嫌悪刺激に対する VTA の応答を解析する研究が行われた。これら 2 種類のニューロンは報酬に対して異なる応答を示し、ドーパミン作動性ニューロンは報酬予測誤差を伝え、GABA 作動性ニューロンは報酬への期待を伝えていることがわかった。

植物：オーキシンは、いつ、どこで機能するのか

Where and when auxins function

オーキシンは、植物の成長や発生の調節に重要な要素だが、その分布やシグナル伝達を分析するのに有効な手段は乏しい。T. Vernoux たちは、組織内でのオーキシンの反応と分布を測定するために、新しいセンサーを開発した。それ自体がオーキシン / インドール酢酸タンパク質の一部である DII-VENUS は、植物の成長時のオーキシンの分布と反応に関する高分解能の時空間的情報をもたらすことが明らかになった。

構造生物学：薬剤標的としてのシトクロム P450 17A1

Cytochrome P450 17A1 as drug target

膜結合型の酵素であるシトクロム P450 17A1（CYP17A1）は、ヒトでアンドロゲンの生合成を触媒し、CYP17A1 阻害剤は去勢抵抗性の前立腺がん治療薬候補として研究されている。この酵素の X 線結晶構造が、今回初めて報告された。構造はステロイド性阻害薬のアビラテロンや TOK-001 の存在下で得られた。阻害剤との結合様式はホモロジーモデルからの予測と大きく異なり、構造生物学や治療薬候補となる改良型阻害薬の開発の面で、関心を集めそうだ。

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）。

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

Volume 482
Number 7384
2012年2月9日号

別の世界：ケプラー探査機が発見した地球サイズの2つの太陽系外惑星

OTHER WORLDS: Kepler probe discovers two Earth-sized extrasolar planets

太陽系外惑星は、最初の発見が1990年代半ばに確認されて以来、数百個が見つかっている。その大部分は大型の「ホットジュピター」だが、観測技術の着実な進歩によって、地球サイズのもっと小さい天体の検出も徐々に可能になってきている。そして今回、惑星探査宇宙望遠鏡Keplerが、太陽に類似した恒星Kepler-20を周回している2つの天体を発見した。惑星Kepler-20 fの半径は地球とほぼ同じで、もう1つの惑星Kepler-20 eの半径は地球の0.87倍とわずかに小さい。これらの惑星の半径と、少なくとも3つの大きな惑星が親星を周回しているという惑星系の構造から、地球サイズのこれら2つの惑星は岩石質で、外側にあるKepler-20 fは水蒸気からなる厚い大気層を発達させた可能性が考えられる。

医学：インフラマソームおよび腸内細菌叢と代謝性疾患との関連性

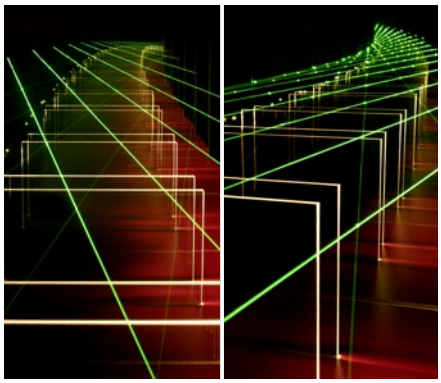
Inflammasome/gut flora link in metabolic disease

R. Flavellたちは、先進国における慢性肝疾患の主因となっている非アルコール性脂肪肝から、さらに重症度が高く、肝硬変や肝細胞がんへ進行することも多い非アルコール性脂肪肝炎への進行に関連する炎症性過程について、マウスモデルを使って調べた。食餌によって非アルコール性脂肪肝症候群を発症させたマウスでは、NLRP6およびNLRP3インフラマソームに関連する腸内細菌叢の変化が、病態を悪化させることがわかった。この知見は、自己炎症性疾患および代謝性疾患の発生に、腸内細菌叢がきわめて重要な役割を果たすことをはっきりと示しており、宿主－微生物叢間相互作用の操作が新規治療法の中心となることを示唆している。

物理：新しい透明な波長帯

A new waveband of transparency

電磁誘導透過（EIT）とは、多準位原子の量子干渉によって、普段ならば不透明な媒質を特定の波長の光に対して透明にする手法である。加速器によって駆動される光源が出現したため、このような光量子制御の手法をX線領域へ拡張することへの関心が高まっている。今回R. Röhlsbergerたちは新しいEIT機構を明らかにし、鉄57原子核の集団を使って硬X線領域におけるEITを実証することに成功した。彼らは、この種のEITとその応用は原子核領域へ拡張できる可能性があり、原子核量子光学の分野が開かれると考えている。



光学：レーザーの小型化

Bringing lasers down to size

ナノスケールの共振器は、光と物質の相互作用を増強するよう設計することができる。1つの目標は、チップ上に占有体積の小さな高効率レーザーを実現することだ。M. Khajavikhanたちは、その実現を妨げてきた主な障害の1つを克服する新種の共振器について報告している。この共振器設計は、レーザー発振に必要な閾値パワーを増やさずにレーザー共振器を小型化でき、さらに閾値を完全になくしてしまうことまで可能である。

認知：加齢と遺伝的要因が認知機能に及ぼす影響

Influence of ageing and genetics on cognitive function

世界人口の高齢化とともに、加齢に伴う知的機能低下の原因究明は、さらに緊急性を増している。1932年および1947年のスコットランド精神機能調査（Scottish Mental Surveys）では、11歳の小児を対象に、有効性が十分に確認された一般知能検査が行われた。被験者のうち約2000人に対しては、その後に知能検査が行われ、それに加えて全ゲノム規模の一塩基多型データが収集されて、認知機能の一生にわたる測定値という他に類のないデータセットが得られた。この大規模集団のデータを詳しく調べた結果、「遺伝的要因が、ヒトの一生にわたって、知能の安定性に個人差をもたらす基盤となっている」ということが示唆された。したがって、ヒトの一生にわたる認知機能の変化について、遺伝的原因を探索することは意味があると考えられる。

発生：遺伝子のスイッチを切る

A turn-off for genes

発生中の胚における遺伝子の活性化は、転写因子がエンハンサー配列に結合し、コアクチベーターやクロマチン調節因子を動員して、転写の開始を促進することによって起こる。しかし、遺伝子がサイレンシングを受ける必要があるときに、エンハンサーの活性化がどうやって解除されるのかについては、よくわかっていなかった。W.A. Whyteたちは、胚性幹細胞で、ヒストンデメチラーゼLSD1がエンハンサーの活性化解除に必須であり、NuRD（nucleosome remodelling and histone deacetylase）複合体のほかの構成因子とともに働いていることを明らかにしている。

DEUTSCHES ELEKTRONEN-SYNCHROTRON (DESY), HAMBURG, GERMANY

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

Volume 482
Number 7385
2012 年 2 月 16 日号

Podcast

明るい見通し：光遺伝学の重要なツールであるチャネルロドプシンの構造決定は、神経科学の進展を後押しする

BRIGHT PROSPECT: Crystal structure of key optogenetics reagent gives neuroscience a boost

チャネルロドプシンは、藻類で見つかった光駆動型イオンチャネルで、光遺伝学研究で使われるために脳科学研究の分野で急速に知名度が上がっている。チャネルロドプシンを発現しているニューロンの活動は、生きている哺乳動物のような非常に複雑な系の場合でも光で制御できる。今回、2 種類のチャネルロドプシンのキメラの X 線結晶構造が 2.3 Å の分解能で決定された。その構造から、レチナール結合ポケットや陽イオン輸送経路などのこのイオンチャネルの分子構造が明らかになった。この研究は、さらに研究に適した性質を持つ新規チャネルロドプシン変異体の設計に向けて道を開くものとなる。

生態：種分化の逆転による絶滅

Extinction through reversed speciation

生物種の絶滅は、大きく異なる 2 通りの方法で生じる。第一は、単純な個体数の減少である。第二は、第一ほどよく知られていないが、かつて別々であった種が、種分化過程の逆転によって 1 つの種になるという仕組みである。この逆転過程では、生物多様性は低下するが、存在する動植物個体の総数は必ずしも減少するわけではない。生物多様性が大きく低下したヨーロッパの 17 の大型湖沼に固有のホワイトフィッシュ類について、過去および現代のデータを解析した結果、種分化の逆転現象が起こっていることが明らかになった。湖沼の富栄養化が生態的な種分化を逆転させて、多くの固有種の絶滅を推進してきたことを示す、強力な証拠が得られたのである。このような絶滅は、保全活動で既存の種を保護するだけでなく、種の形成過程を見つけ出してそれを保護することで初めて防止できる。

遺伝：天然のプリオンは酵母に利益をもたらす

Natural prions give yeasts the edge

プリオンは伝染性のコンホメーション変化を起こすタンパク質で、遺伝因子として働いて、酵母の進化の「推進役」を務めると考えられているが、酵母のプリオンは実験室で見られる珍しい「病的異変」だと見なしている研究者がまだ多い。今回 S. Lindquist たちは、野外で採集した酵母 700 株のスクリーニングを行い、その 3 分の 1 が「天然」のプリオンを持つことを見いだした。また、これらの天然プリオンの多くが宿主である酵母に新しい形質を与え、それらが、特異的な培養条件下で宿主に直接的に利益をもたらしたり、DNA に基づく形質がさらに進化しやすいように土台を整えたりすることも明らかになった。

宇宙：19 世紀に起きた星の爆発の光エコー

Echoes from a nineteenth-century stellar explosion

りゅうこつ座 η 星は、19 世紀半ばに「大爆発」を起こし、その際には全天で 2 番目に明るい星となったが、その後見えないくらいまで暗くなった。意外なことに、この事象から発する光エコーはいまだに地球へ届いており、そのスペクトルの解析からは予想外の特徴が明らかになって、爆発の機構に大きな制限が加えられることになった。スペクトルには輝線が存在せず、青方偏移した吸収線だけが見られる。このスペクトルは、G2 型から G5 型の超巨星に似ている。このような星は有効温度が約 5000 K で、この値は予想よりも大幅に低い。

物理：磁気再結合の速さの謎

Magnetic reconnection gathers speed

磁気再結合は、プラズマ物理学で見られるエネルギー解放現象であり、磁力線の切断と再結合がかかわっている。磁力線の局所的拡散はその過程の一部であるが、観測される再結合速度は一般的に、古典的な電気抵抗を用いて説明できる速度よりはるかに速い。高速再結合の基礎となる磁場拡散は、電気抵抗ではなく、イオンのラーモア半径（一様な磁場中で荷電粒子が行う円運動の半径）やイオンスキン長という「微視的」スケールで重要になる非電磁流体力学的過程の組み合わせに起因すると考えられている。A. Moser と P. Bellan は、明確な巨視的スケールの電磁流体力学的不安定性に始まる一連の不安定性が、高速磁気再結合に伴う明確な「微視的」スケールの不安定性につながる機構について、1 つの可能性を探る実験結果を報告している。自然界では、この機構の必須要素は個別に観測されている。

免疫：免疫エディティングが抗がん作用を持つ可能性

The anticancer potential of immunoediting

がん免疫エディティングは、がん性細胞の除去とその免疫原性の修飾を介して、ヒトをがんから守っている。今回 2 つのグループが、大きく異なる手法を使って研究を行い、がん免疫エディティング過程について、ほぼ同じような結論に達した。松下博和（まつしたひろかず）たちは、発がん性化合物によって誘発されたマウス肉腫において、全エキソン塩基配列を解読し、そこから T 細胞が仲介する免疫選択が免疫エディティングの機構であることを示す証拠を得た。一方、M. DuPage たちは、がん遺伝子によって引き起こされる内因性腫瘍モデルで、宿主にはない強力な新生抗原を腫瘍が持つ場合に、免疫監視および免疫エディティングが起こりうることを実証している。

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）。

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

Volume 482
Number 7386
2012 年 2 月 23 日号

チューリング生誕 100 年：人工知能から自然界でのパターン形成まで、アラン・チューリングが発揮した創造性は存在し続けている

TURING AT 100: From artificial intelligence to natural pattern formation, Alan Turing's creativity lives on

英国の数学者アラン・チューリングは 1912 年 6 月 23 日に生まれ、41 歳という若さで痛ましい死を遂げた。しかし、彼の影響は今もなお多くの分野に残されている。チューリング生誕 100 年にあたる今年、*Nature* は特集を組み、彼が史上最高の科学者の 1 人であったことを再認識させている。コンピューターの専門家にとどまらず、分子遺伝学者の Sydney Brenner や人工脳の研究を行っている Henry Markram など、コンピューター科学を活用している分野の研究者もまた、チューリングの残したすばらしい遺産のいくつかの側面について解説している。さらに詳しい内容は www.nature.com/turing をご覧いただきたい。

工学：液滴の集まりを制御する

Taking control of clumping

C. Duprat たちは、柔軟なファイバー上での液滴の挙動を調べ、液滴サイズやファイバーの機械的特性など、液滴によるファイバーの濡れ方を制御する 6 つのパラメーターを特定している。液滴は、これらのパラメーターに応じて、しっかりと球状を維持して 2 本のファイバー間を橋かけしたり、部分的にファイバーを濡らしたり、ファイバーを完全に濡らしてファイバーどうしをくっつけたりする。Duprat たちは、ガチョウの羽毛という自然の系を使い、液滴体積の調節によってファイバーアレイの絡まりが制御可能であることを示している。技術的な観点からいうと、これらのパラメーターを慎重に制御すれば、機能性微細構造材料における液滴吸着が調節可能になると考えられる。さらに、ヘアスプレーを使うときや、原油流出事故で汚染された鳥の油汚れを落とす際などに、液滴の体積によって濡れを調節できるようになるかもしれない。

地球：氷の融解による海水準の上昇

Sea level increase due to melting ice

陸域を覆う氷の減少が、海水準上昇にどの程度寄与しているかはよくわかっていない。その理由の 1 つは、これまでの全球の見積もりが氷河、氷冠、氷床に対して異なる手法を用いてなされていたことにある。Gravity Recovery and Climate Experiment（GRACE）衛星による全球の重力場測定は、2002 年から毎月行われている。T. Jacob たちは、この GRACE データを用いて 2003 年から 2010 年の間の地域的な氷の減少を評価し、氷に覆われた陸域の氷の減少は毎年約 1.5 mm の海水準上昇を引き起こしていると結論した。アジアの高山地域での氷量減少の見積もりは無視できるほどの大きさしかなく、この結果はほかの報告とは著しく異なっている。

発生：加齢と神経変性

Age and neurodegeneration

ヒトでは、年を取るにつれて神経変性疾患が発症しやすくなるが、この関連性がどのような機構によっているのかはほとんどわかっていない。今回 N. Bonini たちは、高度に保存されたマイクロ RNA である miR-34 が、ショウジョウバエ（*Drosophila*）での老化と神経変性の調節因子であることを突き止めた。*mir-34* が失われると、老化が促進された脳に典型的な遺伝子プロファイルや、遅発性の脳変性、さらには生存率の低下が見られるようになるが、逆に *mir-34* の発現量が増大すると、寿命の中央値は延長し、神経変性は軽減した。miR-34 の加齢に関連した作用のいくつかには、ステロイドホルモン経路に関与する転写因子 *Eip74EF* の成虫期以後の翻訳抑制が必要だった。

構造生物学：ムスカリン受容体の構造を比較する

Muscarinic receptor structures compared

ムスカリン性アセチルコリン受容体（mAChR）は G タンパク質共役受容体ファミリーの 1 つを構成している。これらの膜タンパク質は、アルツハイマー病や統合失調症、慢性閉塞性肺疾患などの多様な病気で治療標的となっている。mAChR の 5 つのサブタイプ（M1–M5）は配列相同性が高いが、G タンパク質と結合する際の選択性や生理機能には著しい相異が見られる。B. Kobilka が率いるグループからの 2 本の論文で、これら 5 つのサブタイプのうちの 2 つの構造が報告された。まず芳賀和子（学習院大学）たちは、心血管機能の生理的制御に必須の M2 受容体の X 線結晶構造を報告している。また Kruse たちは、気管支気道などで活性を示す M3 受容体の構造を決定した。これら 2 つの構造の比較により、サブタイプ間の重要な相異が明らかになり、サブタイプ選択的な薬剤の開発に役立つと考えられる。

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）

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

日本の湿原では、食虫植物のモウセンゴケがよく見られます。食虫植物は、土壌の栄養分が少ないために、それを補おうと進化したと考えられています。今回、地中で補虫する植物が見つかり、既知の植物にも食中性が隠されている可能性があるとのことです。身近な植物も、実は食虫植物だったりするかもしれませんね。

BLICKWINKEL/ALAMY

ナガバノモウセンゴケ。日本では尾瀬と北海道の湿原に自生。絶滅危惧種に指定されている。

nature news

語数：**577 words**　分野：植物生理学・植物分類学

Published online 09 January2012| Nature | doi:10.1038/nature.2012.9757

Hungry plant traps worms underground

Hidden feeding strategy suggests carnivory is more common than was thought.

Katherine Rowland

1. Carnivorous plants catch their prey in pools, glue and snap traps. But researchers have now discovered the first species known to trap and digest worms underground, using adhesive leaves — and it is part of a family not believed to be carnivorous at all.

2. Native to the tropical savannah of the Brazilian Cerrado, the *Philcoxia* genus, part of the family Plantaginaceae, was first formally described in 2000[1]. It consists of three species — *P. bahiensis*, *P. minensis* and *P. goiasensis* — each restricted to a distinct region characterized by sandy soils and lots of sunlight.

3. The first scientists to document *Philcoxia* noted that the plants all have rounded leaves supported by stems and topped with glands that produce a sticky substance. These features are common to many carnivorous plants, but the researchers did not see any evidence of captured prey or remains associated with *Philcoxia*.

4. In 2007, intrigued by the plants' similarities to other carnivorous species and the discovery of nematode worms stuck to *Philcoxia* leaf surfaces, a team of researchers from California and Brazil tested for the possibility of carnivory. Their work was inconclusive[2].

5. A study published today in the *Proceedings of the National Academy of Sciences*[3] not only offers evidence that *Philcoxia* species are indeed carnivorous, but also explains why this trait had gone undocumented. *P. minensis*, researchers found, uses a unique nutrient-acquisition mechanism: its sticky leaves are hidden below the sand.

6. "This leads to the question of whether there are other carnivorous plants out there in families not known for carnivory," says Peter Fritsch, a botanist at the California Academy of Sciences in San Francisco, and co-author of both the latest study and the 2007 investigation.

Slaughter in secret

7. Plant carnivory is known to occur in only 0.2% of flowering plant species. However, Fritsch and his colleagues suggest that this count may be an underestimate. In the words of Mark Chase, a botanist at the Royal Botanic Gardens, Kew, UK, and his colleagues, writing in a 2009 paper on carnivorous lineages, "We may be surrounded by many more murderous plants than we think."[4]

8. Aaron Ellison, who studies the evolution of carnivorous plants at a Harvard University research site in Petersham, Massachusetts, disagrees. "I don't think we're underestimating the number of carnivorous plants," he says, given how rare the trait is. But, he adds, on a certain level, carnivorous activity is nearly ubiquitous. "Almost all plants depend on a nitrogen and phosphorus cycle of decomposing organic matter — dead stuff to eat. We don't call that carnivorous because they're not actively attracting and eating meat. Instead we focus on the incredibly elaborate ways plants have evolved to get at mineral nutrients."

9. Fritsch says, "The cost–benefit model explains the trade-off between the specific environmental conditions and the resources developed by the plant. There is a balance point where if there are not enough nutrients and enough light it can push a plant toward carnivorous syndrome."

10. The Cerrado, which has seasonal moisture and a paucity of nutrients, is conducive to the development of carnivory. "It is the main habitat for carnivorous plants in Brazil," says Fernando Rivadavia, a carnivorous-plant specialist from the International Carnivorous Plant Society.

11. Predatory plants typically grow side by side with non-carnivorous species, suggesting that this dramatic course of evolution is but one of myriad strategies suitable for any particular set of conditions. However, says Ellison, "the fact that multiple genera in different environments have developed carnivorous strategies suggests that this is not a difficult evolutionary step."

Reference

1. Taylor, P., Souza, V. C., Giulietti, A. M. & Harley, R., M. *Kew Bull.* **55**, 155–163 (2000).
2. Fritsch, P. W., Almeda, F., Martins, A. B., Cruz, B. C. & Estes, D. *Proc. Calif. Acad. Sci.* **58**, 447–467 (2007).
3. Pereira, C. G., *et al. Proc. Natl Acad. Sci.* http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1114199109 (2012).
4. Chase, M. W., Christenhusz, M. J. M., Sanders, D. & Fay, M. F. *Bot. J. Linn. Soc.* **161**, 329–356 (2009).

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

TOPICS

食虫植物（Carnivorous plant）

食虫植物は、昆虫や小動物を捕らえ、消化して栄養分とする植物で、肉食植物とも言われる。世界中に分布しているが、一般に、日照条件はよいが、湿った岩場や湿地で、強酸性で窒素やリンが不足した痩せた土地に生息するものが多い。これまで、モウセンゴケ科、タヌキモ科、サラセニア科、ウツボカズラ科、フクロユキノシタ科、ビブリス科、ディオンコフィルム科、ツノゴマ科、パイナップル科、ホシクサ科、ドロソフィルム科、ロリズラ科の食虫植物が見つかっている。捕虫様式は、大きく次の 5 つに分けられる。

1. とりもち式
   モウセンゴケ科モウセンゴケ属、タヌキモ科ムシトリスミレ属など。葉の表面や縁にある腺毛から粘液を分泌して捕虫。
2. はさみわな式
   モウセンゴケ科のハエトリグサ属とムジナモ属。葉で挟んで捕虫。葉の内側にある感覚毛に虫が触れると、1 秒未満の速いスピードで葉が閉じる。
3. 落とし穴式
   ウツボカズラ科、フクロユキノシタ科など。内壁が滑りやすくなっている袋に獲物を誘い込む。
4. 捕虫嚢式
   タヌキモ科タヌキモ属。水中で、内部が陰圧になっている袋の口に虫が触れると、開口し、吸い込まれる水と一緒に捕虫。
5. 迷路誘導式
   タヌキモ科ゲンリセア属。地中に伸ばしたらせん状の Y 字型の細い管状の葉によって、奥の捕虫器官に誘導する。

消化方法は、タンパク質分解酵素などの消化酵素で直接分解して栄養分を吸収するものと、主に微生物の助けを借りて分解し吸収するものがある。

食虫植物は一般に乾燥に弱く、数が減ってきており、絶滅危惧種に指定されているものも多い。

SCIENCE KEY WORDS

リード **carnivory: 肉食性、食虫性（carnivorousness の意）carnivorous は形容詞。**

1. **digest: 消化する**
2. **genus:（生物分類学の）属（複数形は genera）**
   18 世紀にリンネが提唱した生物の分類体系の基本単位の 1 つ。生物は、上位から界（kingdom）、門（phylum）、網（class）、目（order）、科（family）、属（genus）、種（species）に分類される。二命名法の学名では、属、種の順に記載する。
2. **family:（生物分類学の）科**
   上記 genus 参照。
2. **Plantaginaceae: オオバコ科**
   世界中に分布する草本（一部は小低木）。約 90 属、およそ 1700 種からなる。なかでもオオバコ属のオオバコは、日本でも道ばたによく見られ、漢方薬としても用いられている。
3. **gland: 腺**
   分泌機能を持つ腺細胞の集合体を腺という。分泌細胞が囲んだ腔所に分泌物が一時貯留され、そこから導管を通じて体表や体内腔所に放出されるものを外分泌腺、導管がなく分泌物が分泌細胞から血中などに直接放出されるものを内分泌腺という。
4. **nematode: 線形動物、線虫**
   線形動物門に属する、長い円筒形または糸状の動物の総称。体節構造や付属肢を持たない。内部構造は左右相称的で、一部は環輪やトゲのような剛毛を持つ。土壌や海中に棲むもののほか、寄生性のものもいる。
5. **nutrient-acquisition mechanism: 栄養獲得機構**
7. **flowering plant: 顕花植物**
   花を咲かせ、種子をつける植物のこと。厳密な花の区別があいまいなため、現在では、種子植物（seed plant）または被子植物（angiosperm）と呼ばれることが多い（本文では被子植物とした）。
7. **lineage: 系統**
8. **nitrogen cycle: 窒素循環**
   窒素が、動植物や細菌の代謝活動により、分子状窒素から、アンモニアや硝酸、タンパク質や核酸などに形を変えて、大気中から生体内、土壌や海中などを循環している現象。
8. **phosphorus cycle: リン循環**
   核酸の成分であり生体に不可欠なリンが、生物の代謝や岩石の風化・浸食などにより、無機リン酸塩となって土壌中や海中に放出され、堆積物になったり、植物に利用されて生体に戻ったりする現象。
8. **mineral nutrients: 無機栄養素**
   生体に不可欠な元素のうち、有機物に含まれる元素（C、H、O、N）以外の元素。ナトリウムやカリウム、ヨウ素、リン、鉄、亜鉛など。
10. **habitat: 生息地**
11. **predatory: 捕食性の**

WORDS AND PHRASES

1. **prey:「獲物」**
1. **glue:「のり」、「接着剤」。ここでは、「粘着物質」。**
1. **snap trap: 板バネ式ネズミ捕りのようなわなのこと。**
1. **adhesive:「粘着性の」**
3. **sticky:「粘着性のある」、「ねばねばした」**
3. **substance:「物質」**
3. **feature:「特徴」**
3. **common to ～ :「～に共通する」**
4. **intrigued by ～ :「～に興味をそそられる」、「～に関心を抱く」**
4. **stick to:「～に付着する」**
4. **inconclusive:「決着がつかない」、「結論に到達しない」**
5. **trait:「形質」**
8. **ubiquitous:「どこにでも見られる」、「広く存在する」**
8. **decompose:「分解する」**
8. **elaborate:「精巧な」、「手の込んだ」**
9. **trade-off:「トレードオフ」**
   一方を選ぶと他方が犠牲になるという二律背反の状態・関係。
10. **paucity:「不足」、「欠乏」**
10. **conductive to ～ :「～を促進する」、「～しやすくなる」**
11. **myriad:「無数の」、「多種多様な」**

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

参考訳

地中の葉で線虫を捕らえる食虫植物

植物の外から見えない摂食戦略が明るみになったことで、これまで考えられていた以上に、多くの植物が食虫性を持っている可能性が出てきた。

キャサリン・ローランド

ARCO IMAGES GMBH/ALAMY

ムシトリスミレの 1 つ、*Pinguicula vulgaris*。かわいらしい花の下にある葉で虫を捕らえて消化し、栄養分を吸収する。

1. 食虫植物は、液体をためた穴や粘着性のある物質、ぱたんと閉じるわなを使って獲物を捕らえる。研究者らは今回、地中で線虫を捕らえて消化する植物を初めて発見した。これまで食虫性がないと考えられていた分類群に属するこの植物は、地中にある粘着性の葉を使って線虫を捕らえていることがわかった。

2. ブラジルのセラードと呼ばれる熱帯サバンナ地帯を原産とする *Philcoxia* 属は、オオバコ科の植物で、2000 年に初めて正式に記載された [1]。今日までに、*P. bahiensis*、*P. minensis*、*P. goiasensis* の 3 種が知られていて、砂質土壌で日射量の多い、別々の地域に生育している。

3. *Philcoxia* に関する論文を最初に発表した科学者たちは、3 種とも、茎に支えられた丸みを帯びた葉や、葉の上面にある粘着性物質を分泌する腺などの特徴を備えていることに気付いた。これらは多くの食虫植物に共通に見られる特徴だが、*Philcoxia* が捕獲したと思われる獲物やその残骸の証拠は見当たらなかった。

4. 2007 年には、米国カリフォルニア州とブラジルの研究チームが、*Philcoxia* とほかの食虫植物種との類似や、*Philcoxia* の葉の表面に付着した線虫の発見に興味をそそられ、食虫性の可能性を検証したが、結論は得られなかった [2]。

5. 本日、*Proceedings of the National Academy of Sciences* で発表された研究論文 [3] は、*Philcoxia* 属の植物が確かに食虫性であることを証明しただけでなく、この形質がこれまで証明されなかった理由も説明している。*P. minensis* は、ほかの食虫植物にはない栄養獲得機構を用いていたのだ。それは、砂の下に隠れた、粘着性のある葉だった。

6. 「今回の発見から、現在、食虫性はないとされている種類の植物の中に、ほかにも食虫植物が紛れ込んでいるのではないか、という疑問が生まれています」。こう話すのは、この最新論文と 2007 年論文の共同著者であるカリフォルニア科学アカデミー（米国サンフランシスコ）の植物学者 Peter Fritsch だ。

隠れた殺し屋

7. 食虫性のある植物種は、被子植物種のわずか 0.2 %しかないことが知られている。しかし Fritsch らは、これは過小評価かもしれないと考えている。キューガーデン（英国）の植物学者 Mark Chase らは、2009 年に発表した食虫植物系統に関する論文において、「我々の周りには、殺意を秘めた植物が想像以上に多く生息しているのかもしれない」と述べている [4]。

8. マサチューセッツ州ピーターシャムにあるハーバード大学の研究施設で食虫植物の進化を研究している Aaron Ellison は、そうは考えない。食虫性はきわめてまれな形質であり、「食虫植物の数に過小評価はないと思います」と彼は言う。ただし、一定レベルの食虫活動は、至るところに見られるという。「ほとんどすべての植物が、窒素循環とリン循環における有機物の分解に依存しています。つまり、死骸を栄養素として利用しているわけです。しかし、能動的に獲物をおびき寄せて肉を食べているわけではないので、これを食虫性とは呼びません。我々が研究している食虫性は、植物が無機栄養素を獲得するために進化させた、きわめて精巧な方法なのです」。

9. 一方、Fritsch は次のように話している。「特定の環境条件と植物が作り出す資源とのトレードオフは、費用便益モデルで説明できます。栄養素が不足していて、日照が十分あるところに、植物が食虫性を進化させうる均衡点があるのです」。

10. 雨季があり、栄養素が不足しているセラードでは、食虫性が進化しやすい。国際食虫植物協会の食虫植物の専門家である Fernando Rivadavia は、「ブラジルでは、セラードが食虫植物の主たる生息地になっています」と言う。

11. 捕食性植物が生育する場所には、通常、非食虫植物種も生育しており、このことは、食虫性の獲得という劇的な進化の過程が、特定の環境条件に適した無数の戦略の 1 つに過ぎないことを示唆している。そして、「さまざまな環境で、複数の属の植物が食虫戦略を編み出したという事実から、これが難しい進化段階ではないことがわかります」と Ellison は言う。

（翻訳：菊川 要）

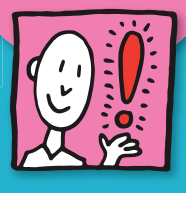
©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

nature ダイジェスト

Nature ダイジ
全国の書店、

NPG ネイチャー アジア・パシフィックのウェブサイトはもちろん

定期購読を始めたいな！



Fujisan.co.jp 雑誌のオンライン書店

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

帰りに買いたい！

全国の書店・生協

全国の書店、生協で
扱っています*。

いつも利用しているAmazonで！

amazon.co.jp

A
最新号の予約

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

弊社のサイトからのお申し込みはこちらから
www.naturejpn.com/nd-sub

npg nature asia-pacific

EDITOR'S NOTE

震災から１年。数多くの報道番組が放送され、震災について再考する機会が増えました。わかってはいたことですが、日本は世界でも有数の火山・地震地帯、台風襲来地帯、そして、国土の７割を山が占め、都市は海岸沿いに広がっています。天災はいつでもやってくるのですよね。そのうえ、改めて認識させられたのは、原発とのかかわりについて。今後どうすべきなのか。ある番組で、南相馬の新成人が語っていました。「先輩は中絶した。私も将来、子どもは産まないよ」。こうした不安は、誤った情報からくるにほかなりません。しっかりした未来に向かうため、正確な知識と情報を伝えるのが私たちマスメディアの義務です。（ふる）

３月号の「数独の重要問題が解けた」で使用しました画像ですが、複数解のある不適切な問題でした。混乱を招きましたことお詫びいたします。なお、記事の内容には訂正はございません。
*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

©2012 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
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、藤原由紀
池田三知世
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。

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. 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
4月号

平成24年3月25日発行 第9巻 第4号
編集発行人：David Swinbanks

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 07271-04

4910072710423
00648