日本語で読む世界の最新科学ニュース

nature ダイジェスト

11
2010

乳がんの原因タンパク質、単離

ふぞろいな重力定数

超新星1987Aの変遷

電子のアト秒スナップショット

犬は最良のパートナー

一般市民が参加する
「新しい科学のかたち」

米国でのES細胞研究助成の
差し止めが世界に波紋

骨は、代謝の調節器官
でもあるらしい

全球凍結と大酸化イベントを
つなぐ証拠

自己幹細胞による治療に
FDAが「待った!」

断層のモニタリングは、
地震予知につながるか

定価 680円

大阪大学微生物病研究所　環境応答研究部門
細胞制御分野教授候補者公募要領

1. 研究領域

分子生物学、細胞生物学などの基礎生命科学分野において優れた業績があり、人の疾患（感染症、免疫疾患、がんなど）に関連した研究を指向している方。

2. 必要書類（A4 判 , 縦長横書き）

(1) 履歴書 1 部（記載要領参照）
(2) 業績目録 1 部（記載要領参照）
(3) 主要論文 10 編以内の別刷又はコピー各 1 部
(4) 業績のまとめ(2,000 字以内) 1 部(記載要領参照)
(5) 過去 5 年間の研究費取得状況 1 部(記載要領参照)
(6) 将来の研究に対する抱負（2,000 字以内）1 部

3. 公募期限

平成 22 年 11 月 30 日（必着）

4. その他

(1) 着任後、准教授（助教でも可）、助教、ポスドク各 1 名が採用可能です。
(2) 選考過程において、セミナーをお願いする場合があります。
(3) 応募内容は、教授会において公表される可能性があることをご了承ください。
(4) 意欲ある若手・女性の積極的な応募を歓迎いたします。

5. 応募書類提出先及び問合せ先

〒565-0871　大阪府吹田市山田丘 3-1
大阪大学微生物病研究所
所長　　菊谷　仁
TEL: 06-6879-8260
E-mail: secretar@biken.osaka-u.ac.jp
※ 封筒に「**細胞制御分野教授応募書類在中**」と朱書きし、郵送の場合は簡易書留で。

提出書類記載要領

(1) 履歴書 :
氏名（ふりがな）、現住所、電話番号、Fax 番号、E-mail アドレス、生年月日（年齢）、学歴（高校卒業以降）、免許、学位、職歴（長期外国出張も記載）、賞罰、所属学会名等を記載すること。

(2) 業績目録 :
英文論文 , 和文論文をそれぞれ別個に原著 , 総説に分類し、各々について年代順に通し番号を付したうえ、主要論文約 10 編に○印を付すこと。

(3) 業績のまとめ :
応募者の寄与した点につき、主要論文のどれに対応するかを明記すること。

(4) 過去 5 年間の研究費取得状況 :
研究費の種類（文部科学省科学研究費補助金、その他）、課題名、年度、金額、代表又は分担の別を記載すること。

nature ダイジェスト

11
2010

2010 年 10 月 25 日発行

© 2010 年　NPG Nature Asia-Pacific
掲載記事の無断転載を禁じます。

www.nature.com/naturedigest

IMAGEBROKER/ALAMY

いつでも犬は最良のパートナー 12

COVER IMAGE: CULTURA/CORBIS/AMANAIMAGES

ヒト神経精神疾患に関与する遺伝子スクリーニングが目的で、イヌに注目が集まっている。

NATURE NEWS

05 最初に食べられたのはガス

06 断層の観察で地震を予測できるかも

07 米国の ES 細胞研究助成
仮差し止め命令、国外にも波及

08 ES 細胞研究助成差し止めに一時猶予

10 自己の幹細胞による治療に
FDA が「待った」

11 ジェット機で大気の秘密を解明

27 アルツハイマー病の成果に異論

33 湖水爆発を回避する闘いは続く

NEWS IN JAPAN

22 細胞内オートファゴソームの
起源を解明

NEWS FEATURE

24 骨が代謝を調節している !?

NEWS & VIEWS

28 サモア沖地震はダブル地震だった

30 電子のアト秒スナップショット

EDITORIAL

35 米国の天文分野の「十年調査」に学べ

36 不正行為による巻き添え被害

JAPANESE AUTHOR

20 全球凍結と大酸化イベントをつなぐ
証拠 —— 田近 英一

HIGHLIGHTS

37 2010 年 9/2 ～ 9/30 号

英語で Nature

42 彗星衝突説を灰燼に

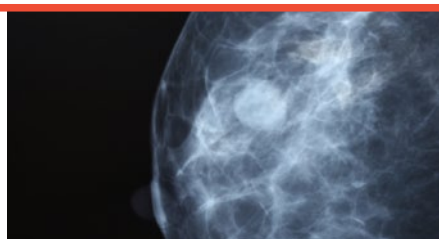
16 一般市民の力を活かす新しい科学

クラウドソーシングを利用した一般市民パワーが、科学研究の新しいツールになろうとしている。

FOLDIT IMAGE: UNIV. WASHINGTON CENTER FOR GAME SCIENCE; ARTWORK BY W. FERNANDES

03 乳がんの原因タンパク質、ついに精製!

DNA 修復にかかわっている BRCA2 タンパク質の単離は、乳がんを含むさまざまながんの解明や抗腫瘍剤の開発に役立つだろう。



ISTOCKPHOTO

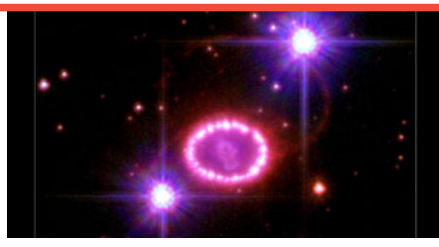
32 重力定数の最新測定値が合わない

最新の重力定数の測定により、定数の推奨値は引き下げられ、不確かさも大きくなる見込みだ

ISTOCKPHOTO

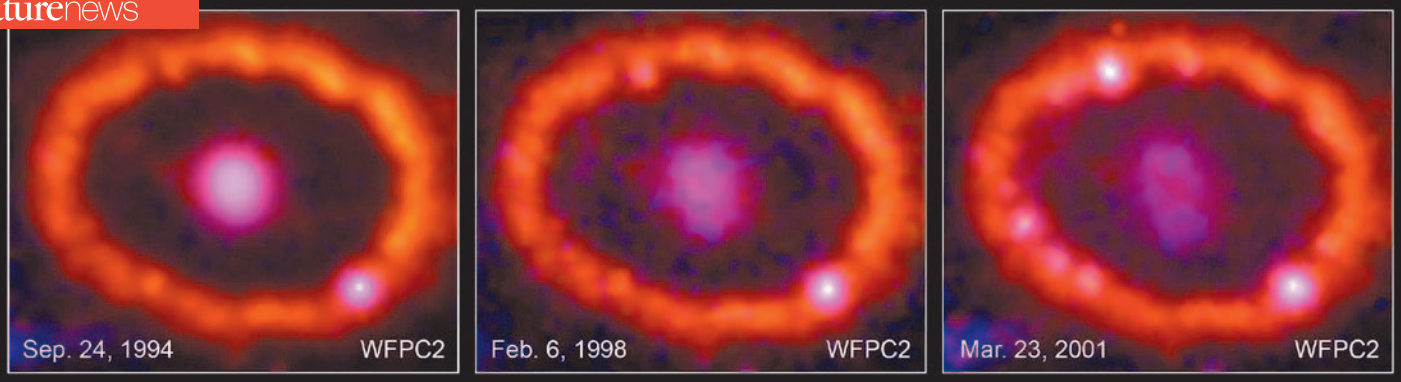
02 超新星 1987A の変化を追う

ハッブル宇宙望遠鏡により、1987 年に爆発した超新星の経過が初めて人間のライフスケールで観察された。



NASA, ESA, AND G. BACON (STSCI)

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved



ハッブル宇宙望遠鏡がとらえた超新星 1987A の経過。周囲のリングがだんだん輝いていくのがわかる。

超新星 1987A の変化を追う

'Lost years' end for backyard supernova

Rhiannon Smith　2010 年 9 月 2 日　オンライン掲載
www.nature.com/news/2010/100902/full/news.2010.446.html

ハッブル宇宙望遠鏡により、1987 年に地球の非常に近くで爆発した超新星の経過がとらえられ、その秘密が明らかに。

超新星は、巨大な星がその一生の終わりに爆発したものだ。地球に近い銀河で超新星が生まれることはまれだが、1987 年に地球に最も近い銀河の 1 つ、大マゼラン雲で超新星 1987A が観測された。幸運な偶然により、それからわずか 3 年後にハッブル宇宙望遠鏡が打ち上げられ、超新星 1987A の残骸（ざんがい）の変化が初期の段階から追跡されている。コロラド大学（米国ボールダー）の宇宙物理学者 Kevin France は、「これは、めったにないエキサイティングなチャンスです。ハッブル宇宙望遠鏡は、観測の 1 日目から超新星 1987A をとらえることに成功し、以来ずっと観測してきました。そして、これまで見ることができなかった鮮明な画像が次々と得られています」と話す。

しかし、2004 年 8 月、ハッブル宇宙望遠鏡による超新星 1987A の観測は中断した。宇宙望遠鏡撮像分光器（STIS）に電力系統の故障が起こったのだ。STIS は、ガスから放射される光の波長を観測し、ガスに含まれる元素が示す「スペクトルの指紋」を得る。修理が完了したのは 2009 年 5 月だった。

France が率いる研究チームは、故障前の 2004 年にハッブル宇宙望遠鏡で超新星 1987A を最後に観測した研究チームの 1 つであり、修理後、最初に観測を行った研究チームの 1 つでもある。彼らは、この観測結果を *Science* 2010 年 9 月 24 日号に発表した [1]。

破片の環

超新星 1987A の周囲には、超新星爆発を起こす 2 万年前に放出された破片のリングがある。研究チームは、超新星の水素からの可視光放射と紫外線放射を観このリング部分の現在の放射が 2004 年よりも強い（明るい）ことを明らかにした。そこで研究チームは、超新星が放出したガスの衝撃波が周囲の破片の環を輝かせているという仮説を提案した（図中 URL 動画参照）。

France らは、衝撃波の一部は破片によって跳ね返されていることも示している。論文の共著者であるコロラド大学の宇宙物理学者 Richard McCray は、「超新星 1987A にこの反転した衝撃波が存在することはわかっていましたが、今回初めて実際に衝撃波を見ることができました」と話す。

研究チームは、ハッブル宇宙望遠鏡の STIS を使って、運動しているガスの速度と化学組成の分布を調べた。超新星は膨張運動しているため、地球に届く光は、光のドップラー効果のために、赤外領域にシフトしたり（赤方偏移）、紫外領域にシフトしたり（青方偏移）している。研究チームは、可視光も紫外線も励起された同じ領域のガス中の水素原子が放ったものなので、可視光でも紫外線でもドップラーシフトは同じだと予想していた。ところが、紫外線放射は予想よりも強く、紫外線のドップラーシフトのほうが大きかった。研究チームは驚いた。「我々は大きな食い違いに直面したのです」と McCray は話す。

そこで研究チームは、新たなメカニズムを提案した。可視光は、超新星から出たガスから発せられているが、紫外線は周辺のリングそのものから発せられているというのだ。したがって、超新星方向に放出された紫外線は、超新星からのガスによって地球方向に散乱されるため、ドップラーシフトが大きくなる。論文の共著者でハーバード・スミソニアン宇宙物理学センター（米国マサチュー

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

NASA/ESA/G. BACON (STSCI)

動画：http://nature.asia/supernova1987A

セッツ州ケンブリッジ）の宇宙物理学者 Robert Kirshner は、「このガスは運動する鏡のようなもので、紫外線を我々に向かって反射しているのです」と説明する。

一方、ヴァージニア大学（米国シャーロッツヴィル）の理論宇宙物理学者 Roger Chevalier は、「今回の研究で、超新星の見方が完全に変わるわけではありません」と話す。しかし、「これは超新星の理解における重要な一歩です。超新星 1987A は、今後何年にもわたって明るくなっていくと予想されます。我々は、今回の研究を土台にして、超新星の完全像を築いていくことになるでしょう」とも話した。

France は、「こうした研究は、より大きな問題、つまり超新星が周辺環境に及ぼす影響を理解するのに不可欠です。超新星は、周囲に莫大（ばくだい）な量のエネルギーをもたらし、鉄など、重い元素のほとんどの生成源となります。そのため、銀河の進化において重要な役割を担っています」と話す。そして、こう付け加えた。「今回の研究は、超新星の化学的、物理的影響を解明するスタートとなります。しかも、超新星爆発を人間のタイムスケールで観察できるのです。なんとすばらしいことでしょうか。天文学の世界では、たいていの現象は恐ろしく長いタイムスケールで起こるのですから」。 ■

（翻訳：新庄直樹、編集：編集部）

1. France, K. *et al. Science* **329**, 1624-1627 (2010).

乳がんの原因タンパク質、ついに精製！

Breast cancer protein is finally purified

Alla Katsnelson　2010 年 8 月 22 日　オンライン掲載
www.nature.com/news/2010/100822/full/news.2010.422.html

BRCA2 の単離は、がんのリスクの解明に役立ち、
薬剤スクリーニングの助けになる。

15 年にわたる努力の末、ヒトの細胞から、腫瘍抑制タンパク質である BRCA2 を高純度で単離精製することに、3 つの研究チームがそれぞれ成功した。これによって BRCA2 タンパク質の腫瘍抑制機構に関して、多くの情報がもたらされるだろう。さらに、*BRCA2* 遺伝子の変異ががんを引き起こす仕組みを調べたり、この破滅的な過程を阻止できる化合物を探索したりする道も開けるだろう。今回の成果は、*Nature* 2010 年 10 月 7 日号 [1] と *Nature Structural & Molecular Biology* 10 月号 [2,3] に掲載された。

BRCA2（乳がん感受性タンパク質 2 型）は、悪い意味で有名である。このタンパク質をコードする遺伝子にある種の変異が生じると、乳がんや卵巣がん、その他のがんが発生する確率が大幅に上昇するのである。

BRCA2 遺伝子は 1994 年に発見された。BRCA2 タンパク質は、近縁タンパク質の BRCA1 など他の腫瘍抑制タンパク質とともに、細胞分裂の際に生じた DNA 損傷を修復する。BRCA2 が存在しないと DNA 鎖の損傷が修復されないままになり、タンパク質を生成するための遺伝子読み取りに誤りが生じる。既に BRCA2 と相互作用する複数のタンパク質は単離精製されているが、BRCA2 そのものの単離精製は成功しておらず、線虫や細菌にある近縁タンパク質か、ヒトの BRCA2 の断片を利用するしか、その機能を研究することはできなかった。

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

単離を難しくしている大きな原因の1つは、タンパク質の大きさにある。BRCA2は3418個ものアミノ酸でできているのだ。「これは実に巨大です」と、カリフォルニア大学デービス校（米国）の生化学者で、*Nature Structural & Molecular Biology* 掲載論文のうちの1つ[2]の著者であるWolf-Dietrich Heyerは話す。「私自身、これまで均質に精製されたタンパク質で、これほど大きいものはほかに知りませんね」。

そのうえ、BRCA2は単体では極めて不安定で、通常はほかのタンパク質と複合体を形成して存在していると、*Nature* 掲載の論文著者で、同じくカリフォルニア大学デービス校の生化学者Stephen Kowalczykowskiは話す。「このタンパク質はある程度までは精製できていたのですが、常に混入の問題が付きまとっていました。極度にクリーンな環境にする必要があり、そのことが大きなネックとなっていたのです」と彼はいう。

「修理屋」タンパク質

Kowalczykowskiの研究チームは、BRCA2タンパク質の一端にマルトース結合タンパク質の標識を付けた。こうすることで、BRCA2の可溶性やタンパク質の適切な折りたたみを促進し、安定化させることができる。さらに標識により、培養ヒト腎上皮細胞からBRCA2を高純度で抽出することも可能になった。Kowalczykowskiの研究室のポスドクで、*Nature* 掲載論文[1]の筆頭著者であるRyan Jensenは、この精製過程の最適化だけに4年を費やしたという。

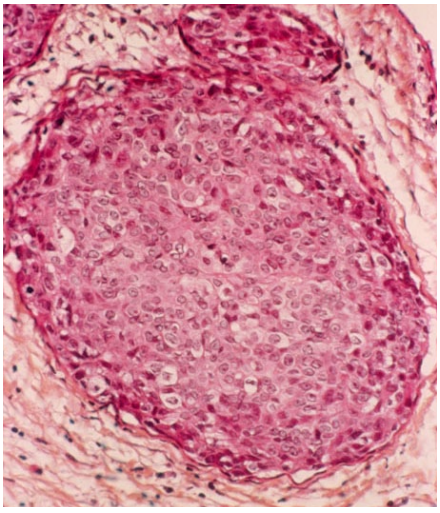
Heyerのチームは、Kowalczykowskiらとはちょっと違う手法を使った。BRCA2タンパク質を酵母で発現させたのである[2]。また、英国ロンドンがん研究所の遺伝学者Stephen Westが率いた第三のチーム[3]は、細菌人工染色体（BAC）に *BRCA2* 遺伝子を組み込んで、培養ヒト上皮がん細胞に導入した。どちらの研究チームも、BRCA2タンパク質を精製できるように標識を付けた。

BRCA2タンパク質が手に入れば、これまで研究者たちがしたくてもできなかった、機能に関するあらゆるたぐいの実験を行えるようになると、エール大学（米国コネティカット州ニューヘイヴン）の生化学者Patrick Sungは話す。彼は今回の研究に参加していないが、「この成果の意義は計り知れません。BRCA2の作用機序の解明だけでなく、相互作用する他のタンパク質がBRCA2と共同で機能する機構の枠組みを知るのにも、大きくかかわってくるのです」と語っている。

3つの研究チームは、完全な長さのBRCA2タンパク質と、他のタンパク質、特にRAD51との相互作用を調べた。RAD51がDNA鎖の切断部の周囲に集まってフィラメントを形成すると、ヌクレオチド（DNAの構成成分）が取り込まれ、DNAの欠損部が修復される。3つの研究チームはいずれも、BRCA2とRAD51の相互作用を調べることで、BRCA2はRAD51のフィラメント形成開始を助けることを明らかにした。

生化学研究の賜物（たまもの）

今回の研究で、BRCA2の機能について推測されてきたことの大部分が実証された。「それだけではありません。我々は、生化学的な研究を行わなければわからなかった、いくつかの機能も明らかにしました」とKowalczykowskiは話す。例えば、BRCA2は特定の型のDNA損傷を修復するのを手伝っているとこれまで考えられてきた。ところがKowalczykowskiらは、DNAとの相互作用を調べることで、BRCA2はもっと広い役割をもっているという結論に達した。「その特性からみて、BRCA2はDNA切断部の修復の総合的な調整役を果たしていると考えられます」と彼はいう。



乳がんの顕微鏡写真。中央にある塊ががん細胞。精製されたBRCA2タンパク質により、変異タンパク質ががんを引き起こす仕組みの解明が進むだろう。

SCIENCE PHOTO LIBRARY/ALAMY

BRCA2の精製が可能になったことで、構造生物学者はこのタンパク質の構造を解明することができるようになり、機能についてもっと多くの情報が得られるだろう。「原理的には、今回の手順は、タンパク質の単離精製をめざす研究者の助けになるでしょう」とKowalczykowskiは話す。ただし彼によれば、3つのチームが用いた技術では、今のところまだタンパク質の収率が少なすぎるという。

今回の成果により、「腫瘍に関連するBRCA2の変異を調べるシステム」がすぐにできるとSungは話す。このシステムを使えば、*BRCA2* 遺伝子の塩基配列に変異を導入して作製した変異タンパク質を精製し、その変異がBRCA2の機能にどんな影響を及ぼすかを解明することができるのだ。

最後にKowalczykowskiはこう語った。「BRCA2以外のタンパク質でも、単離精製して、その振る舞いを知ることができれば、化学生物学のスクリーニングツールを用いて、変異したそのタンパク質が細胞に打撃を与えるのを止められるような化合物、ひいては薬剤を探すことが可能になるでしょう」。■

（翻訳：船田晶子）

1. Jensen, R. B., Carreira, A. & Kowalczykowski, S. C. *Nature* **467**, 678-683 (2010).
2. Liu, J., Doty, T., Gibson, B. & Heyer, W.-D. *Nature Struct. Molec. Biol.* **17**, 1260–1262 (2010).
3. Thorslund, T. *et al. Nature Struct. Molec. Biol.* **17**, 1263–1265 (2010).

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

最初に食べられたのはガス

Oil-spill bacteria gobbled gases first

Amanda Mascarelli 2010年9月16日 オンライン掲載
www.nature.com/news/2010/100916/full/news.2010.475.html

メキシコ湾原油流出事故の際、深海で噴出したエタンやプロパンを細菌がどれくらい「食べた」かが明らかになった。

BP/UPI/NEWSCOM

2010年9月16日に*Science*に発表された論文[1]によると、メキシコ湾に生息する「原油を食べる」細菌は、原油流出事故から数か月後まで、「原油コース料理」の一皿目として、ガスを真っ先に堪能したようだ。これを食べ終わると細菌は、次の料理として、原油中のもっと複雑な炭化水素に手をつけると考えられる。しかし、実際にどのくらいの原油が分解されているのかはわからない。

研究チームは、今年6月11日～21日、原油噴出箇所から1～12.5キロメートル内の深さも方角も異なる4つの炭化水素プルーム（海中に噴煙状に広がる噴出物）を調査した。海中の炭化水素ガスと酸素の濃度を測定し、また、船上と研究室で放射性同位体および安定同位体トレーサーを使って、ガスの生物分解速度を定量化し、プルームがどのように分解されていったのかを分析した。すると、細菌が最も好むエタンやプロパンなどのガスの分解によって、深海炭化水素プルームでみられる酸素減少の最大70パーセントを説明できることがわかった。

原油流出事故の大半は海の表層で起こり、天然ガスはすぐに大気中へ拡散する。しかし今回の事故は深海で起こった。噴出した原油は75万キロリットルと見積もられているが、加えて炭化水素の3割以上がガスの形で噴出したと、論文の第一著者で、カリフォルニア大学サンタバーバラ校（米国）の地球微生物学者David Valentineは推定している。彼によれば、原油の多くは海面へ達したが、ガスは水に溶けやすく、そのほとんどすべては深海にとどまったという。

ウッズホール海洋研究所（米国マサチューセッツ州）の海洋学者Richard Camilliは、「今回の研究結果は、微生物による炭化水素の分解が、天然ガスにほぼ限定されていたことを明示しています」と話す。エタンやプロパンなどのガスが他の炭化水素類に比べて速く生物分解されることは、広く知られている。しかし意外なのは、「これらのガスの影響が不釣り合いなほど大きいこと」だったとCamilliはいう。

今回の知見は、追跡調査・解析が難しいプルーム内の原油の行方に関してさらなる疑問を投げかけるものだ。「ガスは噴出箇所の近くですばやく生物分解されましたが、こうした海中のプルーム中の原油の多くは、まだ残存している可能性があります」と、Camilliは話す。

残り物は粗食

今回の研究により、酸素の減少が特定箇所で大きいことや、プルーム内で酸素低下がみられたりみられなかったりしたことの説明がつく。

エタンやプロパンなどの分解しやすいガスが十分量あるときには、細菌はこれらを消費して急速に増殖するので、周囲の海水中の酸素は減る。しかし、おそらく数週間以内にこれらのガスは消費し尽くされ、その後、こうした細菌だけでなくメタン分解に特化したほかの細菌が、メタンや長鎖の炭化水素といった、分解に手間がかかる「粗食」を食べて生きてきたと考えられる。そのため細菌の代謝が低下し、周囲の海水からプルームに新しい酸素が補給されて、酸素濃度が元に戻ったのだとValentineはいう。「エタンが少なくなり始めると、メタンの代謝がだんだん増していくことがわかりました」と彼は話す。メタンは、メタンモノオキシゲナーゼなどの特異的酵素をもつ特定の微生物しか分解できないので、その分解はゆっくりである。しかし、時間とともにメタンが主な食物源となっていきそうだとValentineはいう。

Valentineは現在、海底坑口装置から約160～240キロメートル地点で試料を採取し、原油や酸素濃度の異常を明確に示すシグナルを拾い上げている。彼は、「どれくらいの原油が分解されているのか、本当にわからないのです」と話す。

また、酸素の減少は深海に酸素欠乏状態を引き起こすほど深刻ではなかったが、海洋生物に及ぼす影響は現段階ではわからないという。Valentineは、深海の生物は安定した不変の環境になじんでいるので、たとえわずかな変化でも影響を受けてしまうおそれがあるという。しかし、こうした深海に棲む生物についての知見は非常に少ない。「生物を採取して研究室へ運び、呼吸について調べることはできても、深海に研究室を設置して呼吸の実験をすることは、現状ではとても無理ですからね」とValentineは話す。 ■

（翻訳：船田晶子）

1. Valentine, D. L. *et al. Science* **330**, 208–211 (2010).

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

断層の観察で地震を予測できるかも

Fault maps could aid earthquake forecasts

RICHARD A. LOVETT　2010年9月8日　オンライン掲載
www.nature.com/news/2010/100908/full/news.2010.456.html

2010年2月のチリ地震では、震源断層の中でひずみが最大になっていた箇所が動いていたことが明らかになった。

100年も前から地震学者たちは、地震は、断層の両側でひずみが徐々に蓄積され、何らかのきっかけで断層が大きくずれてひずみを解放すると発生する、と考えてきた。このほどようやく、この理論が実際に確認された。ドイツ地球科学研究センター（GFZ;ポツダム）の研究チームが、今年2月27日のチリ地震（マグニチュード8.8）での地面の動きを、断層中に蓄積されたひずみの10年分の測定データと比較したところ、最も大きくずれた箇所は、最大のひずみを蓄積していた箇所だったことを確認したのだ。この成果は、*Nature* 2010年9月9日号に発表された[1]。

今回の地震は、「地震空白域」で発生した。この地域では、チャールズ・ダーウィンが報告した1835年の大地震（推定マグニチュードは約8.5）以来、大きな地震が発生していなかった。

蓄積されたひずみの大きさを決定するため、研究チームは、チリの太平洋岸からアンデス山脈までの数百kmにわたって設置されている、232のGPS観測点から得られた高精度のデータを使用した。すると、この地域が1年に数cmずつ東に向かって動いていることが、ミリメートル単位の精度で明らかになった。これは、太平洋の海底のナスカプレートが、大陸側の南米プレートに西から衝突することで生じている。

プレートテクトニクスに基づくこれまでの計算から、2つのプレートの収束速度も、2つのプレートが互いに全くすべっていない場合（固着している場合）に南米プレートがどれだけ東に押されるかもわかっていた。

今回、地震帯の一部の地面が、断層が固着している場合に予想される速度と違わぬ速度で動いていることが確認された。しかしそのほかの場所では、地面が動く速度はもっと遅かった。これは、断層が固着しておらず、互いにゆっくりすべっていることを示している。彼らは、このすべりが、蓄積されたひずみの一部を解放してきたのだろうと推測した。

研究チームは次に、断層がずれて蓄積していた応力を解放したときに、地面が西に向かって跳ね返った量をマッピングし、この動きの大きさを、蓄積されたひずみの大きさと比較した。その結果、ひずみが大きかった地域が10mも跳ね返っていたのに対し、ひずみが小さかった地域の動きは非常に小さかった。

MARCELO HERNANDEZ/PICTURE-ALLIANCE/DPA/NEWSCOM

地震予測への期待

地震の際には、断層の破壊は応力の大きい場所で始まったが、近くのひずみが小さい場所（ゆっくり動いていた場所）に到達しても止まらなかった。論文共著者のMatthias Rosenauによると、断層の破壊は「ギャップに橋をかけて」、数百kmにわたる地域に蓄積されていたひずみを一気に解放したのだという。破壊が止まったのは、断層が固着していると思われる場所であった。こうした場所では、ひずみが急速に蓄積されているが、断層が破壊されるほどの大きさではなかったと考えられる。比較的最近に、大地震が起きていたからだ。断層の一方の側では1960年にマグニチュード9.5、他方の側では1985年にマグニチュード7.8の地震が発生していた。「断層の破壊は、以前の地震で応力が緩和したところで止まったのです」とRosenauはいう。

いずれの知見も概念としては新しくないが、ほかの研究者たちも、その重要性を認めている。なぜなら今回のチリ地震は、マグニチュード8以上の「巨大地震」の前後の現象を厳密に測定する、めったにない機会だったからである。オレゴン州立大学（米国コーバリス）のアクティブテクトニクス・海底マッピング研究室長のChris Goldfingerは、「巨大地震の際に実際に起きたことをこれほど厳密に測定できた例は、多くありません。10年近い高密度のGPS観測データとその後に大地震が起こること、その地震の詳細な記録の3つが必要だからです」という。

この研究により、地震予測が可能になる日が近づいたのかもしれない。「今回、少なくともプレート境界沿いでは、地震過程が完全にはランダムではないことが裏付けられました」とRosenauはいう。彼はまた、同様の高い精度でほかの断層をモニターすることで、断層に沿った応力の高まりを追跡できるかもしれないと指摘する。これにより、たとえ正確な予測は不可能でも、地震の危険度と激しさを、今よりも高い精度で見積もれるようになるだろう。■

（翻訳：三枝小夜子）

1. Moreno, M. *et al. Nature* **467**, 198-202 (2010).

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

米国のES細胞研究助成 仮差し止め命令、国外にも波及

US stem-cell chaos felt abroad

MEREDITH WADMAN 2010年9月9日号 Vol. 467 (138–139)
www.nature.com/news/2010/100907/full/467138a.html

ES細胞研究への連邦政府助成を差し止める米国連邦地裁の仮処分決定で、国際共同研究が危機に。

「裁判所の決定が確定すれば、我々の共同研究は大幅に縮小されるだろう」。これは、8月下旬、カリフォルニア大学サンフランシスコ校グラッドストーン心血管疾患研究所（米国）の発生生物学者Benoit Bruneauが、英国の共同研究者に送った電子メールだ。Bruneauは、米国立衛生研究所（NIH）からの助成金で研究を行っている。

Bruneauは、最近、ケンブリッジ大学（英国）のヒト胚性幹細胞（ES細胞）研究者Roger Pedersenとの間で、心筋細胞の発生に非常に大きな役割を果たす特定の遺伝子ファミリーについての共同研究を立ち上げたばかりだった。こうした遺伝子の変異は、先天性心疾患、不整脈や心不全に関与すると考えられてきており、このプロジェクトに対する熱意が高まりつつあった。

この共同研究では、Pedersenが、遺伝子操作で疾患の原因となる変異を起こさせ、蛍光標識したヒトES細胞をBruneauに提供し、Bruneauが、このES細胞から十分に成熟した心筋細胞に分化する過程で、関連する遺伝子がどのように機能するのかを分析することになっていた。Bruneauは、自分の担当研究の資金として、NIHの大型コンソーシアム助成金を充てる予定にしていた。ところが、8月23日、米国連邦地方裁判所のRoyce Lamberth判事が、ヒトES細胞研究助成の違法性を争う訴訟を審理する間、ヒトES細胞研究を対象とした連邦政府助成金の交付に対する仮差し止め命令を決定し、Bruneauらの共同研究は存続が危うくなっている。もし助成金交付停止が永続し、この共同研究が頓挫（とんざ）すれば、「実に大きなチャンスが失われてしまいます」とBruneauは話す。

さらにPedersenは、こう話す。「Benoitはこの遺伝子ファミリーの世界的権威であるため、この仮差し止め命令が、英国内でのプロジェクト資金の調達、プロジェクト目標の達成と臨床現場への導入の妨げとなるかもしれないのです」。

Pedersenは、Lamberth判事の決定が全世界に及ぼす影響を懸念している。諸外国との共同研究が脅かされ、外国人ポスドクは、米国へやって来た目的である研究プロジェクトが突然終了するかもしれない事態に直面し、海外での米国に対する信頼が揺らいでいるのだ。米国政府は、この決定に対して控訴したが、今後の法廷闘争や議会での論戦を考えると、この研究分野は、最低でも数か月は不確実な状況が続くことになる。「米国政府の方針が、最長4年に一度の頻度で変わりうるということは、ヒトES細胞の研究の発展にとって極めて大きな障害となります。これこそがハリケーンであり、損失の元凶なのです」とPedersonはいう。

モナッシュ大学（オーストラリア・メルボルン）の幹細胞研究者Andrew Elefantyも、米国でのこうした状況が早く解決しないと、自分の研究が影響を受けると話す。Elefantyは、蛍光レポーター遺伝子で標識された幹細胞株作製の専門家で、こうした幹細胞株は、*in vitro*での分化過程で、特定の細胞種の同定に役立つ。同じ研究室の共同主任を務めるElefantyとEd Stanleyが、2008年以

Roger Pedersenは、ヒトES細胞研究を行うためにカリフォルニアを離れたが、今度は米国内の共同研究者を失うかもしれない。

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

降に立ち上げた、あるいは現在計画中の21の国際共同研究のうち、13件に米国の研究グループが参加している。

Elefantyは語る。「心配なのは、米国内の不確実性によって、共同研究が制約を受け、我々の研究成果の質にも波及してくることです。我々の研究は、本当に質の高い科学研究を実践できる共同研究者にかかっているのです」。

今回の連邦政府助成金交付停止命令によって、海外の研究者が直接影響を受ける可能性もある。米国内で同じ内容の研究を行う者がいなければ、海外の研究者がNIHから助成を受ける資格を得るからだ。オーストラリア連邦科学産業研究機構（メルボルン）の幹細胞研究者Andrew Laslettは、ポスドク時代、3年間NIHの大型共同研究助成金から給与をもらって、ヒトES細胞から腎臓前駆細胞を誘導する研究を行った。「私の研究キャリアは、この助成金によって本格的にスタートしました。現在の共同研究者に出会ったのも、自分で最初の助成金を獲得できたのも、NIHの助成金によるポスドク時代のおかげです」とLaslettは話す。だからこそ彼は、米国にいる共同研究者の一部が、助成金を受け取れなくなったというニュースを聞いて、「身が縮む思いをした」といっている。

米国内で働く外国人ポスドクは、さらなる不確実性に悩まされている。米国内で研究を続けるべきかどうかを直ちに判断しなければならないのだ。「今は、すべてが落ち込んでしまっているような感じです」。こう話すAdam Goulburnは、Elefantyの研究室でPhDを取得し、8月からコーネル大学ウェイル医学校（米国ニューヨーク）のStewart Anderson研究室で、ポスドクとして働き始めたところだ。Goulburnは、ヒトES細胞から純粋な介在ニューロン集団を誘導することをめざしている。発生中の脳における介在ニューロンの移動や機能の異常は、自閉症、てんかん、統合失調症といった疾患に関与すると考えられている。このプロジェクトが直ちに危機的状況に陥るわけではない。しかし、今後、現在支援を受けている民間からの新規事業準備資金について、究極的には、これまでのNIHからの助成金に見合う増額が必要となる。Andersonは、もし今回の差し止め命令が確定すれば、長期的には、Goulburnのプロジェクトに資金を獲得できなくなってくる、と語る。

今後、「非常に才能があり、十分な教育を受けた、Adamのような世界の幹細胞研究者が、米国以外で研究経験を積もうとするようになるかもしれません。幹細胞研究は今後も継続し、どんどん発展していくでしょう。ただし、それが米国内では起こらない、ということです」とAndersonは話す。

一部の外国人ポスドクは、あきらめずに米国での研究を続けることを決めている。カリフォルニア大学サンフランシスコ校糖尿病センターに所属するオランダ人ポスドクDennis Van Hoofは、民間の助成金と州の助成金を受けている。自身も1型糖尿病患者であるVan Hoofは、今回の仮差し止め命令で自分の計画が変わることはない、と話す。彼は、オランダ国内では行われていない1型糖尿病に対するヒトES細胞の応用研究を行うために、米国にやって来た。ただし、自らの研究に連邦政府の助成金が得られる見込みは、「非常に不確か」だと認めている。

Pedersenは、米国内で研究を続ける同僚のことを思うと悲しくなる、と話す。彼は、2001年にカリフォルニア大学からケンブリッジ大学に移った。それは、ジョージ・W・ブッシュが米国大統領に選ばれ、PedersenがNIHに、初めてのヒトES細胞研究に関する助成金申請を行い、即座に棚上げされた後のことだった。

当時を振り返って、Pedersenは、次のように語る。「あれが正当だったとは思いません。むしろ、理不尽だったと感じています。米国は私の母国です。今回の件で、米国は痛手を受けたと思います」。■

（翻訳：菊川要）

ES細胞研究助成差し止めに一時猶予

Temporary reprieve for stem cells

Meredith Wadman 2010年9月16日号 Vol. 467 (258-259)
www.nature.com/news/2010/100914/full/467258a.html

米国のES細胞研究助成の差し止め命令に一時猶予が出されたが、研究者は、日々変化する事態に振り回されている。

8月23日、連邦地裁のRoyce Lamberth判事が出した、米国立衛生研究所（NIH）によるヒトES細胞研究助成の違法性を争う訴訟の審理中は助成を差し止める決定により、米国政府のヒトES細胞研究に対する助成金交付が突然中止となった。これに対し、米国司法省は命令取り消しを地裁と控訴裁判所（高裁）に申請。地裁は申請を却下したが、ワシントンD.C.連邦巡回控訴裁判所は9月9日、仮差し止め命令の執行を一時猶予する決定を下した。NIHのFrancis Collins所長は、「我々は、法廷での弁論が行われる数週間、人命を救うための重要なヒトES細胞研究を継続できるようにした今回の控訴裁判所の中間決定に満

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

足しています」と声明を発表した。この決定を受けて、NIHは、助成金交付を加速させている。一方、仮差し止め命令によって影響を受けた研究者は、自らの研究分野の存続を決する激しい法廷闘争の最新情勢に注視している。

ただし、この猶予期間は、早ければ9月20日に終わる。今回の訴訟では、Lamberth判事が本案判決を下すまで政府の助成金を凍結すべきかどうかという争点に関して、控訴裁判所が、両当事者に弁論趣意書の提出を求めており、その期限が9月20日だからだ。

一方、この訴訟の原告であるボストン生物医学研究所（米国マサチューセッツ州ウォータータウン）のJames SherleyとAVMバイオテクノロジー社（米国ワシントン州シアトル）のTheresa Deisherは、9月9日に略式判決の申立てを行い、Lamberth判事は口頭弁論を開かずに迅速に判決を下すことを求めた。SherleyとDeisherは、ヒトES細胞研究に反対する宗教団体の支援を受けており、NIHの助成金交付方針によって自らの成体幹細胞関連研究が脅威にさらされていると主張している。

9月9日の控訴裁判所決定から数時間のうちに、NIHの幹部は、助成金交付を早期に実施し、助成金申請の審査手続を迅速化し、2010会計年度（2009年10月1日～2010年9月30日）の政府予算で未払いとなっている、総額5400万ドル（約46億円）の複数年助成金24件の支払いを勧告された。そして同日午後、NIHの管理官が、NIHキャンパス内外でNIHの助成金を受け取っている研究者は、直ちに実験を再開でき、助成金交付と審査も速やかに開始される旨の電子メールをスタッフに送った。

「NIHが迅速に行動してくれたことに満足しています」。ジョンズホプキンス大学細胞工学研究所（米国メリーランド州ボルティモア）の幹細胞研究者Linzhao Chengは話す。Chengは、ES細胞研究に対する大規模なNIHの助成を申請し、審査でも非常に高い評価を得ていたが、仮差し止め命令により、人材雇用、研究材料購入、計画策定をすべて中止していた。当初、助成金の交付は9月1日のはずだった。しかし彼は、たとえ助成金を今週受け取っても、ゴーサインが出たり取り消されたりするような状況下では研究はできないと話している。

著作権等の理由により画像を掲載することができません。

ワシントンD.C.連邦巡回控訴裁判所は9月28日、ヒトES細胞研究への連邦政府助成金を巡る訴訟に司法判断が出されるまで、政府の助成は継続できるという決定を下した。同裁判所は、同時にその訴訟の審理の迅速化も勧告。今回の決定で当面の間の研究は保証されたが、いずれにしても、米国のヒトES細胞研究の先行きは不透明である。

助成金審査にも影響が出ている、とChengはいう。8月終わり、Chengが10月からの助成金検討部門への参加を準備していたところ、ヒトES細胞を用いるプロジェクトに対する助成金については無視するように、というNIHからの指示があった。9月10日現在、この指示は変更されていない。検討部門の会合は10月12～13日に予定されており、今からヒトES細胞の研究提案書をていねいに読むことは難しい、と彼は話す。

Chengは、メリーランド州からも研究助成金を受け取っているが、ほかの研究者の多くは、そういった助成金を得るチャンスはほとんどない。ミネソタ大学幹細胞研究所（米国ミネアポリス）のMeri Firpo助教は、連邦政府助成金の見通しがもっと確実になるまでは、長期間、研究を休止することにした。現在、彼女は、10月が提出期限となっているNIH助成金申請書からヒトES細胞の部分を削除して、書き直している。また、連邦政府助成金を受け取っている学生のプロジェクトを再構成して、問題となるヒト細胞を切り離している。「問題は解決していないのですが、研究を進めます」とFirpoは話す。

こうした不確実性は、NIHキャンパスで活動する幹細胞研究者の間にも広がっている。残された時間内に貴重な細胞株の増殖を急ぐ研究者がいる一方、胚を用いない人工多能性幹細胞（iPS細胞）に研究対象を切り替える研究者もいる。NIHキャンパスの研究者の1人は、こう話す。「今の時点では、リスクを冒して大型実験を始めたいと思う者はいません。数週間後には、ヒトES細胞を使った実験が長期中断する事態に発展する可能性があるのですから」。

法廷闘争が続く中、ヒトES細胞研究の推進派は、NIHがヒトES細胞研究に助成金を交付することを明確に合法化する法案の可決を議会に強く求めている。Lamberth判事は、自らの仮差し止め命令に対する取り消し申請は却下したが、この却下決定には「議会が、この法律を改正することは全く自由だ」と記されている。■

（翻訳：菊川要）

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

自己の幹細胞による治療にFDAが「待った」

FDA challenges stem-cell clinic

David Cyranoski 2010年8月19日号 Vol. 466 (909)
www.nature.com/news/2010/100817/full/466909a.html

患者自身の幹細胞を利用した治療の規制について、米国で訴訟が起こり、治療を行っている医師たちと安全性を危惧する学術研究機関との論戦も過熱している。

ISTOCKPHOTO

8月6日、米国食品医薬品局（FDA）は、ワシントンD.C.連邦地方裁判所に、幹細胞治療クリニック、リジェネレティブ・サイエンシーズ社（米国コロラド州ブルームフィールド）が行っている治療用幹細胞の調整の差し止めを求めた。FDAは、幹細胞治療の認可は自分たちの管轄だと主張している。リジェネレティブ・サイエンシーズ社（以下、リ社）は、成人患者の骨髄や滑液から幹細胞を分離して培養と調整を行い、医師たちが、その細胞を患者に注射して骨折や腱断裂などの障害を治療する。このクリニックでは、7000～9000ドル（約60万～77万円）の治療費で、毎月約20件の施術を行っている。従来の造血幹細胞の骨髄移植とは異なり、同社の施術では、骨や軟骨、脂肪細胞への分化能力をもつ間葉系幹細胞が使用されている。

2008年7月、リ社に対してFDAは、同社の治療が連邦食品医薬品化粧品法では医薬品、公衆衛生法では生物学的製品であると通知した。しかしリ社は、FDAに承認を申請することなく治療し続けた。この訴訟でFDAは、リ社がGMP（医薬品の製造および品質管理に関する規準）に従っておらず、その治療法の安全性と有効性が未確認だとしている。

これに対し、リ社の医学担当取締役であるChristopher Centenoは、この治療法は患者自身の幹細胞を使うため体外受精に類する医療行為に当たり、FDAからとやかくいわれる筋合いはないと主張する。また、自身の行う治療に関しては、従来の手術よりもはるかに高い安全性が示されており[1]、有効性は動物実験と画像試験[2]で確認されていると説明している。そしてさらに、臨床試験に基づいて科学的証拠を示せというFDAの要求は「もっともな姿勢だが、それが唯一絶対のものではない」と語った。Centenoによれば、医師や患者たち1100人からなる「国際細胞医学会（ICMS；米国オレゴン州セーレム）」の指針に従えば十分なのだという。（彼はその設立にかかわり、医学担当理事も務めている。）

Centenoとその支持者は、FDAによる差し止め命令の請求は、幹細胞治療を行う病院にとって、幹細胞治療を締め付け患者自身の細胞の個人的使用を制限しようとする業界連合という巨大な敵との戦いでも痛手になる、と口をそろえる。7月30日付の公開書簡で、ICMSの代表理事であるDavid Audleyは、国際幹細胞研究学会（ISSCR；米国イリノイ州ディアフィールド）および約3500人の幹細胞研究者たちが、自分たちの病院を閉鎖させようとしていると非難した。この治療法から利益が得られそうにない製薬業界に動かされたISSCRが、「すべての文明国の法律を変えてこうした治療法を非合法化しようとしている」とAudleyは語る。しかし、*Nature*からの質問に対してAudleyは、そうした主張に確固たる証拠があるわけではないことも認めている。

ロックフェラー大学（米国ニューヨーク州）に所属するISSCR会長のElaine Fuchsは、Audleyらの主張を否定する。確かにISSCRは資金の12パーセントを業界から得ているが、目的は基礎科学の発展であり、業界の利益を支持するためではないという。

ISSCRは未検証の幹細胞治療を懸念しているのだ。6月、ISSCRは、治療法や病院の安全性や有効性を求めに応じて判定するサービスを開始した。ISSCRの未検証の幹細胞治療に関する委員会のメンバーで、理化学研究所 発生・再生科学総合研究センター（兵庫県神戸市）に所属するDouglas Sippは、裁判でリ社が勝ったら、「深刻な事態に陥るでしょう」と語る。「企業は、自己由来の医療製品の安全性と有効性の証明に関する要求を無視するようになり、『何でもあり』の風潮が生まれてしまいそうです」。

しかし、Centenoは歴史的勝利を予感している。「我々が勝てば、培養の有無にかかわらず、自己由来の細胞の調整に関する規制の枠組み全体が見直されるでしょう。そうなれば、あらゆる医師が、優れた技術を使い、責任ある態度で、医療行為の一部として幹細胞を使用することができるようになるのです」。■

（翻訳：小林盛方）

1. C. J. Centeno *et al. Curr. Stem Cell Res. Ther.* **5**, 81–93 (2010).
2. C. J. Centeno *et al. Pain Physician* **11**, 343–353 (2008)

 ©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

ジェット機で大気の秘密を解明

Jet reveals atmosphere's secrets

JEFF TOLLEFSON 2010年8月19日号 Vol. 466 (912)
www.nature.com/news/2010/100817/full/466912a.html

南極と北極を結ぶマラソンフライトにより大気中の微量ガスのサンプルを採取し、気候モデルを検証する取り組みが進められている。

このフライトにマイレージがついていたらなあ……。研究者たちは今、北極海と南極大陸の海岸を結ぶ5万キロメートル近いフライト中、さまざまな高度で大気サンプルを繰り返し採取し、大気中の微量ガスの分布をこれまでにない高精度で決定しようとしている。

今年の春、環境調査用に改造されたガルフストリームVジェット機が北に向かって飛び立ち、途中、何度か燃料補給を行いながら、北極のすぐ近くで引き返して、南極を回って戻ってきた。このジェット機は、以前はHIAPER（High-Performance Instrumented Airborne Platform for Environmental Research：環境調査用高性能計測器搭載航空機）とよばれていたもので、全米科学財団が所有し、米国大気研究センター（コロラド州ボールダー）が運用している。今回のフライトは、全部で5回計画されているミッションの3回目に当たり、1万3700メートルの高高度まで上昇したり、海面からわずか150メートルというハラハラするような低高度まで下降したりすることを繰り返しながら、温室効果ガス、エアロゾル、各種の天然化合物や合成化合物など、100種類以上の大気成分のサンプルを採取した。

この3回のミッションで得られた成果は、今年8月9日、アメリカ地球物理学連合とラテンアメリカの複数の学会がブラジルのフォスドイグアスで開催した会議において発表され、微量ガスと大気汚染の分布について驚くべき事実が明らかになった。

ハーバード大学（米国マサチューセッツ州ケンブリッジ）の大気研究者で、400万ドル（約340億円）をかけたHIPPO（HIAPER Pole-to-Pole Observations；HIAPER両極間観測）プロジェクトの主任研究者であるSteve Wofsyによると、一般に、地球大気の全体像を描くには、地上での測定値に基づき、数学モデルを使って上空での値を推定しなければならないという。「これは、海面のようすから、海洋全体を研究するようなものです」と彼はいう。しかし、HIPPOにより、気候モデル作成者は大気を三次元的に再現できるようになるだろう。

HIPPOのデータから明らかになった意外な事実の1つに、高高度になるほど亜酸化窒素の濃度が上昇するようにみえたことが挙げられる。「しかし、どの気候モデルでも、高高度になるほど亜酸化窒素の濃度は低下します」とWofsyはいう。彼によると、このことは、モデルが亜酸化窒素の流れを正しく説明できていないか、温室効果ガスの発生源に見落としがあることを意味するという。

また、アジアなどから発生している黒色炭素粒子の濃度が、太平洋の上空で、予想よりずっと速く減少していることも明らかになった。2009年1月に実施された最初のフライトで測定された黒色炭素粒子の濃度は、14種類の全球エアロゾルモデルから予測される濃度の平均値の約5分の1だった[1]。米国海洋大気局（NOAA；コロラド州ボールダー）のJoshua Schwarzは、モデルは大気中の黒色炭素粒子が雨によって洗い流される量を過小評価していると、指摘している。

日本の海洋研究開発機構（神奈川県横浜市）の気候モデル作成者であるPrabir Patraは、既にWofsyとの共同研究に着手しており、HIPPOによるデータは新しい資源として役立つだろうという。彼は、気候モデル作成者は、データベースにある各種の大気成分をたどってその発生候補地点に到達することにより、大気循環の傾向に関する情報を収集し、ひいては大気モデルを改良することができると考えている。

ドイツでは、HALO（High Altitude and Long Range Research Aircraft：高高度長距離調査航空機）という航空機を開発しており、数年以内に大西洋上で同様のミッションを開始する予定だ。■

（翻訳：三枝小夜子）

環境調査用改造されたガルフストリームVジェット。

HIPPO/NCAR

1. J. P. Schwarz *et al. Geophys. Res. Lett.* **37**, L18812.

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

ボーダー・コリーは不安障害の遺伝学の解明に役立ってくれるだろうか。

IMAGEBROKER/ALAMY

いつでも犬は最良のパートナー

Pet project

David Cyranoski 2010年8月26日号 Vol. 466 (1036-1038)

犬は、旧石器時代から飼われている我々の古くからの友だちである。
最近、ヒト神経精神疾患に関与する遺伝子スクリーニングが目的で、
イヌに注目が集まっている。人間は犬と新しい相互関係を作るのだろうか。

11歳になるボーダー・コリーのSoloは、抗うつ剤のフルオキセチンやアミトリプチリンを年中投与されている。そのうえ、毎年、米国独立記念日のお祭り騒ぎの間、神経をなだめるためにザナックス（アルプラゾラム）をいつもの2倍投与される。雷鳴や発砲音といったたいがいの種類の爆発音で神経が高ぶり、イライラしたり怯えたりしてしまうため、独立記念日のお祝いの花火はかなり危険なのだ。爆発音を聞くと、彼はハアハアと息を荒くしてよだれを垂らし、目を大きく見開いて、必死に隠れ場所を探す。もし近くにほかの犬がいれば、攻撃しかねない。「そうした行動は、不安の置き換えとよばれます」と、Soloの飼い主、オレゴン大学（米国ユージーン）の進化生物学者のMelanie Changは話す。

Changは、カリフォルニア大学サンフランシスコ校（米国）でポスドクだったころ、雑音恐怖症の原因遺伝子を調べるプロジェクトの一環として、ボーダー・コリーのDNAサンプルを数百個集める作業にかかわり、Soloの試料も採取した。Changの推測では、ボーダー・コリーの少なくとも50%が雑音恐怖症であり、うち10%は重症で、場合によっては大きな雑音に反応して自分やほかのイヌを傷つける可能性があるという。カリフォルニア大学サンフランシスコ校の精神科医で、このプロジェクトの主催者Steven Hamiltonは、コリーのパニックとヒトの不安障害の間には類似点がみられ、「容易に類似点が見つかります」と話す。また、同じ薬剤が、ヒトとイヌの症状に対してほぼ同じ比率で効く。現在、このような、精神疾患に悩まされるイヌを助け、なおかつヒトの神経精神疾患の原因を解き明かそうという研究プロジェクトの数は増えつつある。

ヒトで精神医学上の問題を引き起こす遺伝子の探索は、「努力の割には成果が挙がっていません」と、ウェルカムトラスト・ヒト遺伝学センター（英国オックスフォード）のJonathan Flintは話す。その原因の一部は、ヒトゲノムが複雑であることと、この種の疾患に対して常に一貫した診断を下すのが難しいことにある。しかし、200年にわたる選択的な同系交配のせいで、イヌは犬種に特異的な一群の行動を取るようになり、また、イヌのゲノムはそうした行動の原因遺伝子を比較的追跡しやすくなっている。「イヌは、唯一、生まれながらの精神疾患モデルです。遺伝子地図の作製や遺伝子クローニングに関しても、完璧で申し分のない動物です」と、マサチューセッツ工科大学（米国ケンブリッジ）のマウス遺伝学者Guoping Fengは話す。彼は現在、

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

イヌの研究者との共同研究を立ち上げようとしている。

ボーダー・コリーは、放牧した家畜を集めたり、遠くからの主人の呼び声を聞き取ったりできるよう品種改良された。このため聴覚が鋭くなりすぎ、一部は大きな雑音に耐えられず、ヒトの不安障害に似た状態に陥るのではないかという見方もある。「一般的にイヌに不安障害の症状が多いのは、ヒトの社会的指示に応答できるよう、長期にわたる選択がかかったせいでしょう」と Chang はいう。その他の形質の起源はよくわかっていない。例えば、ドーベルマン・ピンシャーは忠実な番犬として品種改良されたが、ヒトの強迫行為に似た病的な固執や奇行を示すことも多い。またダルメシアンは、おそらくウマと並走できるようにスピードと持久力をもつよう品種改良され、攻撃的な傾向がある。

イヌにみられる特定の気質が偶然の産物なのか、それとも特定の性質を求めた選択による不測の結果なのかは、推測の域を出ない。しかし、行動障害は間違いなく高頻度でみられる。動物行動の専門家であるタフツ大学（米国マサチューセッツ州ノースグラフトン）の Nicholas Dodman は、米国で飼われている 7750 万匹のイヌのうち、最低でも 40％は何らかの行動障害をもっていると見積もっている。現在、ペット用の向精神薬などの薬剤は好調な市場の 1 つである。また残念なことに、こうした問題を抱えるイヌの多くは、そうした気質ゆえに安楽死させられている。

研究者たちが、ヒトよりもイヌのほうが遺伝上の謎を明らかにしやすいだろうと考えるのには、ちゃんと理由がある。例えば今年の研究で、イヌの体の大きさにみられる多様性の 80％が、イヌゲノム内の 6 か所にある変異によって説明できることが示された[1]。対照的に、今年発表されたヒトの研究では、身長に関する一般的な変異は、29 万 4831 か所あるが、それでも身長差の 45％しか説明できないという[2]。

しかし、身長の遺伝学がイヌとヒトでそれほど違うなら、果たして、不安障害や強迫行為、攻撃性といった症状の遺伝学的特性が両者で似ていると考えていいものか、という疑問が出てくる。ノースカロライナ大学（米国チャペルヒル）の遺伝学者 Patrick Sullivan は、「ヒトとほかの動物種で興味深い類似性があるようにみえる行動でも、遺伝学的には完全に異なる機構になっている可能性があります」と話す。これは、同じ形質でも、異なる遺伝子や脳の異なる器質に由来することを意味する。しかし、イヌの研究の支持者たちは、イヌの遺伝子がヒト疾患を解明する手がかりになるだろうし、また十分ではないかと考えている。

眠れる犬を起こす

イヌを用いた研究でヒト疾患に関する「答え」が得られることは、少なくとも 1 つの成功例から明らかである。強い眠気の発作を起こすヒトの睡眠障害、ナルコレプシーの原因遺伝子を見つけ出すため、研究者たちは過去数十年にわたって患者の DNA をひたすらふるいにかけてきた。しかし、関与する遺伝子は多いうえに、環境要因に整合性がなく、はっきりした仕組みは何もわからなかった。「ナルコプレシーが自己免疫疾患かどうかという議論はありましたが、どう研究したらよいか誰もわかりませんでした。とにかく難しすぎたのです」と、スタンフォード大学医学系大学院（米国カリフォルニア州レッドウッドシティ）で睡眠を研究し、分子薬理学にも詳しい Emmanuel Mignot は話す。

しかし、ドーベルマン・ピンシャーはナルコプレシーを高頻度で発症しやすく、この研究を進めるカギになった。1989 年、Mignot は古典的な遺伝学技術を用いてナルコプレシーのドーベルマンを作り出し、この疾患の遺伝パターンを追跡することを始めた。現在のような便利な遺伝学やゲノム解析のツール類はなく、1 つの遺伝子にある変異が病因となることを突き止めるまでに 10 年を要した。それは、オレキシンとしても知られる神経伝達物質ヒポクレチンの脳内取り込みを調節する、ヒポクレチン受容体 2 の遺伝子だった[2]。

Mignot は、ヒトの相当遺伝子に同じ変異を見つけ出せなかったが、ヒポクレチン経路の変異を見つけた[4]。「そこで我々は脳脊髄液のヒポクレチン量を測定し始めました。すると、ナルコプレシー患者にはヒポクレチンが認められませんでした。それは特筆すべきことでした」と Mignot は話す。現在、研究の焦点はヒポクレチン減少やナルコプレシーに結びつくヒト遺伝子の変異に移ってきており[5]、製薬企業が不眠症治療薬の探索の足がかりになりそうなヒポクレチンに狙いをつけている。

新しい技術で挑む

Mignot がナルコプレシーに関する研究を発表してからしばらく経って、イヌのゲノムが解読された[6]。そのおかげでやっと、一塩基多型（SNP）を利用して何百匹ものイヌのゲノムを迅速かつ容易に比較できるようになった。SNP は集団内に一定以上の頻度でゲノムにみられ

RICHARD PINCHES/ALAMY

ダルメシアン

品種改良：
1790 年代に確立され、馬車といっしょに走る馬車犬として広く用いられた。

障害：
難聴になりやすく、また、尿路結石につながる高尿酸血症になることもある。攻撃的な傾向がみられる。

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

る塩基1個の変異で、遺伝するDNAブロックごとのマーカーとなる。

こうしたマーカーを使って行われる全ゲノム関連解析（GWAS）は、ヒトよりもイヌのほうがずっと簡単である。大半の犬種は極度に均質で、同じ犬種のイヌどうしが共有するDNAブロックは、ヒト2人が共有するDNAブロックよりもかなり大きい。それはつまり、イヌで疾患と確実に関連するDNAブロックを見つけ出すには、ヒトよりも少ないSNPと少ない個体数を調べればすむということだ[7]。ブロード研究所（米国マサチューセッツ州ケンブリッジ）のKerstin Lindblad-Tohによれば、ヒトのGWASの場合、研究対象の形質とゲノム内の特定領域とに十分な関連性があることを示すには、その形質をもつ人ともたない人（対照）が、それぞれ5000人ずつ必要になるだろうという。しかしイヌの場合はもっと少なく、その形質をもつ100匹と対照個体100匹ですんでしまう。また、ヒトでは数十万か所のSNPを調べることが必要な研究でも、イヌではわずか1万5000か所ですむことがある。

イヌのGWASは、ヒト疾患と関連するいくつかのイヌ形質の遺伝子発見に成功をおさめている。例えば、骨形成不全症はダックスフントのずんぐりした足の原因遺伝子と関連付けられており[8]、自己免疫疾患である全身性エリテマトーデスは、今年発表の研究で、ノヴァ・スコシア・ダック・トーリング・レトリーバーの5種類の遺伝子と関連することが明らかになっている[9]。そして今後も成果は増えていくだろう。リエージュ大学（ベルギー）の獣医Anne-Sophie Lequarréは、イヌ遺伝学研究を先導するヨーロッパのプロジェクト「LUPA」のまとめ役を務めている。2008年に1200万ユーロ（約14億円）の予算で始動したこのプロジェクトは、およそ100人の研究者を結集して、1万匹のイヌの遺伝子型を解析し、単一遺伝子疾患や複合要因疾患（がん、心血管疾患、神経障害など）を調べようとしている。LUPAに参加している研究者たちはまもなく、ヒト疾患に相当するイヌ疾患の原因遺伝子で見つかった2つの変異について発表する予定だと、Lequarréは話す。「最初に得られた結果から、イヌである遺伝子に疾患と関連する変異が見つかった場合には、ヒトでもそれと同じ遺伝子が症例の90％に関連することが実際にわかっています」。

TIERFOTOAGENTUR/ALAMY

ドーベルマン・ピンシャー

品種改良：
1890年ごろにドイツ・チューリンゲンのKarl Friedrich Louis Dobermannにより、番犬として最初に品種改良された。

障害：
ナルコプレシー、イヌ強迫性障害、頸椎（けいつい）不安定症、および凝血障害のフォン・ヴィレブランド病を発症する場合がある。

強迫性障害（OCD）は、イヌの研究によりヒトの行動病態が解明される最初の疾患になるかもしれない。ヒトの強迫性障害に関連するとみられるマウスの遺伝子については、60以上の研究があるが、これまでのところ再現性のある十分な関連性を見いだせていない[10]。しかし、強迫行為がみられるイヌは多数存在する。例えばブル・テリアは、自分の尻尾をしつこく追いかける「尾追い行動」をとるものが多い。ドーベルマンやジャーマン・シェパード、グレート・デーン、ゴールデン・レトリーバーなどの多くの大型犬種は、毛がなくなるまで自分の脇腹をかじったり足をなめたりして皮膚を傷つけてしまい、場合によっては足の機能まで損なうこともある。これは、OCD患者の、異常なまでの手洗い行為、何度も物事を確認する行為、ある特定のやり方でやらないと気がすまない行為などの強迫症状にいくぶん匹敵する習性である。

今年1月にLindblad-TohとDodmanは、イヌの強迫性障害とイヌ第7染色体上の領域の間に関連性があることを報告した[11]。この研究は、強迫的な噛（か）み癖のあるドーベルマン90匹余りと約70匹の対照群のゲノムで、1万4700か所のSNPを解析した結果に基づいたものだ。この強迫行為は、40万塩基の長さのDNA内にある変異と関連付けられた。行動リスクに関与するこの変異と強迫行為の間の結びつきは完全なものではないが、それでも十分である。この変異は、自分の脇腹や毛布、その他噛めるものは何でも噛むドーベルマンの60％に認められたが、もっと軽度な噛み癖のドーベルマンでは43％、強迫行為が全くみられないイヌではわずか22％にしかなかった。

Lindblad-TohとDodmanが狙いをつけた領域内にある1つの遺伝子には、既にほかの研究者も注目している。その遺伝子とは、神経細胞間の接着を形成するタンパク質カドヘリン2をコードする*CDH2*だ。マウント・サイナイ医科大学（米国ニューヨーク州）の神経科学者Deanna Bensonは、ほかの研究者もカドヘリンがOCDに関与している可能性に興味を抱いているだろう、と話す。

OCDのマウスモデルを作っているFengも、OCDとカドヘリンの関連性を探しているところだ。FengとLindblad-Tohは今秋、マウス、イヌ、ヒトに共通の強迫症状に関係する脳内回路を見つけるための共同研究を開始した。Fengは現在、マウスの特異的な脳領域で*Cdh2*をノックアウトして機能を消失させ、OCDに似た行動が生じるかどうかを調べている。

犬のごとく辛抱強く

Lindblad-Tohは現在、ヒトOCDに遺伝学的にもっとぴったり当てはまる例を

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

探しているところだ。イヌの遺伝学研究は2段階で進められる。まず、1つの犬種内で、対象を1つの大きなDNA領域までしぼり込み、次に、同じ障害をもつほかの犬種のDNAで、同じ領域内の重なる箇所を探すのである。Mignotは、彼の居眠りばかりするドーベルマンで発現している変異に狙いを定めるのに、ナルコプレシーのダックスフントを利用した。またLindblad-Tohは、脇腹をしゃぶる癖のあるジャーマン・シェパードや尾追い行動をするブル・テリアでDNAブロックを比較することで、第7染色体上にある40万塩基もある関連領域を、もっと研究しやすい1万塩基までしぼり込みたいと考えている。Hamiltonも、雑音恐怖症の研究対象を、ボーダー・コリーから、同様の不安障害を示すビアデッド・コリーやオーストラリアン・シェパードまで広げようとしている。

しかしイヌの遺伝学研究にも、ヒト疾患研究と同様な問題がいくつかあって、なかなか難しい。まず、神経精神疾患の診断がそもそも当てにならない。例えば統合失調症は、それぞれ異なる遺伝的・環境的な要因で発生するさまざまな疾患の寄せ集めである可能性がある。また、被験者を症状で分類しても、その基盤となる疾患が異なっている場合には、GWASによって混乱をまねくような結果が出る可能性がある。「ほんの数匹のイヌのせいで解析対象集団が役立たなくなることもあります」とLequarréはいう。彼女は、重要な関連性を何も引き出せなかったあるてんかん研究を引き合いに出した。その研究チームは、後に、疾患集団のイヌの一部が実際には、研究対象とは違う型の遅発性てんかんだったことを知った。「表現型の決定は非常に重要です。確実に同じ疾患をもつイヌを集める必要があるのです」と彼女はいう。

LUPAでは今、診断を明確化しようと尽力しており、神経疾患の診断名を首尾一貫させるために、標準的なイヌ気質解析手順に従う獣医を選定した。標準化は正しい解決法だとHamiltonはいう。彼のコリーに関する研究では、24ページにわたる質問表で飼い主から客観的所見を引き出している。「『あなたの犬は攻撃的ですか？』という質問はいけません。『激しい雷雨に出会ったとき、あなたの犬はどうしますか？』と質問するのです」。LUPAの神経疾患部門は、イングリッシュ・コッカー・スパニエルとイングリッシュ・スプリンガー・スパニエルにみられる攻撃性に注目している。両犬種とも、突然激しく怒り出す性質がある。研究チームは、こうした研究によって、ヒトの双極性障害（躁うつ病）や統合失調症、その他の攻撃性を含む精神障害に関連する遺伝子変異を突き止められると期待している。

イヌモデルの人気は広まりつつある。東京大学の獣医動物行動学研究室に所属する武内（たけうち）ゆかりは、200匹の柴犬と200匹のラブラドール・レトリーバーからDNA試料を収集し、柴犬では攻撃性、レトリーバーでは集中力欠如の基盤にある遺伝子を探し出した。この成果は、ある現実的な問題の解決に役立つだろうと、彼女は話す。注意散漫なレトリーバーは、よい盲導犬になれない。ブリーダーは、その原因となる遺伝子変異を知ることで、盲導犬に適さない犬を繁殖させずにすむだろう[12]。

イヌを使った研究が期待どおりにヒトの精神疾患の解明や治療につながっても、あるいはそうでなくても、犬にはきっと恩恵がもたらされることだろう。ブリーダーたちは既に、特定の犬種に障害をもたらすいくつかの遺伝子変異を気に留めるようになっている。犬の性質や体質をよりよくするため（科学研究の面からいえば研究対象がなくなり状況は悪化するのだが）、スクリーニングやさらに選択的な品種改良によって、次世代のボーダー・コリーではおそらく、研究材料になるSoloのような不安障害の個体はほとんど誕生しないだろう。

国立ヒトゲノム研究所（米国メリーランド州ベセスダ）のイヌ遺伝学者Elaine Ostranderは、犬たちは暖かい毛皮や湿った冷たい鼻先で癒してくれるだけでなく、人間の健康にもさまざまな奉仕をしてくれると確信している。「犬は1万年前からずっと、人間の最良の友人です。人間が狩猟採集民となったときも、農耕生活を始めたときも、彼らは人間とともにいました。そしてこのゲノム科学の時代になって、犬は疾患遺伝子の同定を助けることでさらに人間に奉仕し、役立ってくれているのです」と彼女は語った。■

（翻訳：船田晶子）

DATACRAFT-SOZAIJITEN/ALAMY

ゴールデン・レトリーバー

品種改良：
1800年代半ばに、遠く離れた場所から銃で撃った水鳥を探し出して回収するために品種改良された。

障害：
友好的、温和な気質でよく知られているが、なかには、攻撃的で支配的なものもいる。てんかん、およびある種の強迫性障害の傾向がみられる。

David Cyranoski は *Nature* のアジア太平洋地域の特派員。

1. Boyko, A. R. *et al. PLoS Biol.* **8**, e1000451 (2010).
2. Yang, J. *et al. Nature Genet.* **42**, 565–569 (2010).
3. Lin, L. *et al. Cell* **98**, 365–376 (1999).
4. Nishino, S., Ripley, B., Overeem, S., Lammers, G. J. & Mignot, E. *Lancet* **355**, 39–40 (2000).
5. Hallmayer, J. *et al. Nature Genet.* **41**, 708–711 (2009).
6. Lindblad-Toh, K. *et al. Nature* **438**, 803–819 (2005).
7. Karlsson, E.K. & Lindblad-Toh, K. *Nature Rev. Genet.* **9**, 713–725 (2008).
8. Drögemüller, C. *et al. PLoS Genet.* **5**, e1000579 (2009).
9. Wilbe, M. *et al. Nature Genet.* **42**, 250–254 (2010).
10. Wang, L., Simpson, H.B. & Dulawa, S.C. *Behav. Pharmacol.* **20**, 119–133 (2009).
11. Dodman, N. H. *et al. Mol. Psychiatr.* **15**, 8–10 (2010).
12. Takeuchi, Y. *et al. Animal Genet.* **40**, 217–224 (2009).

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

一般市民の力を活かす新しい科学

People power

Eric Hand 2010年8月5日号 Vol. 466 (685-687)

タンパク質、宇宙線、天文学、人類考古学などの領域で、
一般市民の頭脳を活かすネットワークが実際に機能するようになり、
新しい科学の進め方として飛躍のときを迎えている。

タンパク質の折りたたみ問題

ワシントン大学（米国シアトル）の生化学者 David Baker によれば、すべては偶然から始まった。それは 2005 年のことで、彼は同僚と共に Rosetta@home という分散コンピューティングプロジェクトを公開したばかりだった。このプロジェクトでは、ボランティアが小さいソフトウエアをダウンロードし、パソコンの空き時間にプロジェクトの計算を行わせる。Rosetta@home でダウンロードされるプログラムは、タンパク質の折りたたみ（フォールディング）という、難しいことで悪名高い問題を解くためのものである。アミノ酸が連なった長い鎖をさまざまな方法で折りたたみ、内部の応力や変形が最小になるような三次元構造を決定すると、おそらくそれがタンパク質の天然構造となる。ユーザーが希望するなら、コンピューターが定められた規則に従ってタンパク質を引っ張ったりねじったりして好ましい三次元構造を見つけ出そうとするようすを、スクリーンセーバー上で眺めることもできる。

Baker によると、当時 Rosetta@home に参加していたボランティアは数千人であったという。彼はこのことをありがたく思っていたが、意外だとは思っていなかった。この種のデジタル市民科学は、既に珍しいものではなくなっていたからだ。これを初めて広めたのは、カリフォルニア大学バークレー校（UCB；米国）の SETI@home プロジェクトだった。1999 年に公開されたこのプロジェクトは、ボランティアのコンピューターを利用して、電波望遠鏡のデータの中から地球外知的生命体が発した信号を探し出す、というものだった。2002 年には、UCB のエンジニアたちが、このソフトウエアの汎用版である BOINC (Berkeley Open Infrastructure for Network Computing) をリリースした。その結果、2005 年には Rosetta@home をはじめとする数十の BOINC プロジェクトが稼働していて、全世界に数十万人のユーザーがいたのである。

Baker を驚かせたのは、Rosetta@home のスクリーンセーバーを眺めていたボランティアたちが、短期間のうちに、コンピューターが地道に作業を進めるようすをじれったく感じるようになったことだった。「彼らは、『こういうふうに折りたためば、もっとうまくいくじゃないか』と、書き込みを始めたのです」。

今にして思えば、これは自明のことだった。タンパク質は小さいものでも数百個のアミノ酸からできているため、コンピューターが最適なエネルギー状態を見いだすためには、数千種類の自由度をひとつひとつ検討していかなければならない。しかし、空間操作能力が高度に発達している人間は、しばしば直感的に答えを見いだすことができるのだ。

予想外の好機をつかんだことを悟った Baker は、同僚のコンピューター科学者の協力を仰いで、Rosetta@home の新しいインターフェースを製作した。彼らは 2008 年の中ごろまでに、コンピューターによる計算にユーザーが手を貸せるようにするとともに、この作業を「Foldit」というオンラインゲームにして、ユーザーのやる気を刺激できるようにした。Foldit では、タンパク質を折りたたむプレーヤーたちは、互いに競争し、協力し合い、戦略を立て、ゲームポイントを貯めて、次のレベルに進むことができる。

この作戦はうまくいった。Baker らは *Nature* 2010 年 8 月 5 日号で、Foldit のトップクラスのプレーヤーたちが、コンピューターよりもうまくタンパク質を折りたためることを裏付ける証拠を発表した。トップクラスのプレーヤーたちは、互いに協力し合うことで、しばしば全く新しい折りたたみ方法を考え出す。Baker は、「人間の計算能力は途方もない量になります。私たちは、それを利用しようとしているのです」といい、Rosetta のアルゴリズムに人間の巧妙な戦術を取り入れている。

分散思考プロジェクト

Foldit は、問題解決に人間の頭脳を利用することにより、BOINC の分散コンピューティングの概念を全く新しいレベルに引き上げた。そうしたプロジェクトは Foldit のほかにもいくつか登場しており、「分散思考プロジェクト」とよばれることもある。現在、このアプローチに基づく研究発表の件数が増えてきている。

ペンシルベニア大学（米国フィラデルフィア）のコンピューター科学者

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

Michael Kearns は、「人間の計算とコンピューターの計算を組み合わせる、新しい時代が始まろうとしているのです」という。彼は、2008 年に米国国防高等研究計画局（DARPA）の資金提供を受けて行われた未発表の研究の一環として、分散思考の概念の評価を行った。Kearns によると、このアプローチが最も有望視されているのは、視覚、言語、複雑な論理パズルの領域であるという。これらの領域では、今後もしばらくは人間がコンピューターよりも優位に立ち続けるだろうと考えられているからだ。

UCB のコンピューター科学者であり、BOINC の創設者である David Anderson は、このアプローチが主流になるのはまだまだ先のことになるだろうと認めている。彼によると、多くの懐疑的な科学者が、「何らかの理由でこれらが制御できなくなり、重要性が減じるだろうと考えている」という。

しかし、分散思考の主唱者である欧州原子核研究機構（CERN；ジュネーヴ郊外）の物理学者 François Grey らは、その将来性をほとんど疑っていない。2010 年 7 月、Grey の協力により、分散思考プロジェクトの促進を目的とする市民サイバーサイエンスセンターがジュネーブに設立された。センターが特に重視しているのは発展途上国である。Grey は現在、中国で分散コンピューティングプロジェクトの準備に当たっており、9 月にロンドンで開催された、科学者によるこの新しいアプローチの利用を促進するためのワークショップの準備も手伝った。

「分散コンピューティングプロジェクトには往々にして、娯楽目的や宣伝目的といった、怪しげなイメージが付きまといます」と Grey はいう。「私たちは、そうした偏見を打ち破ることから始めなければならないのです」。

宇宙・天文学でも実績

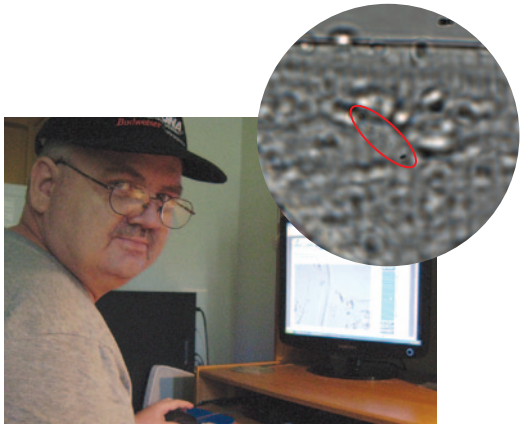
UCB の物理学者である Andrew Westphal の分散思考プロジェクトへの道のりは、20 年近く前に、TREK という宇宙線実験の主任研究者であったときから始まっていたといってよい。

TREK の実験装置は、1991 年にロシアの宇宙ステーション「ミール」の外側に取り付けた特注のガラス板からなっていた。宇宙線粒子がこのガラス板に衝突すると、顕微鏡サイズの飛跡が残る。宇宙空間にさらされたガラス板が 1995 年に地上に持ち帰られると、Westphal らは化学エッチング処理により飛跡が現れるようにした。この飛跡を確認するため、彼らはガラス板を顕微鏡で自動的に走査し、画像を記録していった。しかし、画像認識ソフトには飛跡を識別できるほどの性能はなかったため、人間がすべての画像を見て、飛跡を数えなければならなかった。それは耐えがたい作業だったと Westphal はいう。「どんなにがんばっても、気が散ってしまうのです。今日の昼食はどうしようとか、そんなことを考え始めてしまうのです」。

Westphal が後に NASA の「スターダスト」ミッションに参加したときにも、この作業のつらさが頭にあった。1999 年に打ち上げられたスターダスト探査機は、ヴィルト 2 彗星のサンプルを収集して地球に送り返すことになっていた。探査機は、2004 年に彗星に到達するまでの間に星間塵（せいかんじん）の収集も行うことになっていて、Westphal がかかわったのは、こちらのミッションのほうだった。宇宙空間にさらされるサンプル収集装置は低密度のエアロゲルからできていて、猛スピードでぶつかってくる星間塵を破壊することなく減速して捕獲することができた。Westphal らは、収集装置は 100 個ほどの顕微鏡サイズの星間塵を捕獲できるだろうと確信していた。ここで再び、エアロゲルがとらえた星間塵を見つけるという作業をすることになる。

残念なことに、その作業は非常に困難で、これに比べれば TREK の作業など何でもないと思われるほどだった。探査機のサンプルリターンカプセルが 2006 年 1 月に地球に帰還すると、Westphal は TREK で活躍した自動イメージング顕微鏡を再度使って、エアロゲルの画像を 160 万点作製した。これは、1 人ですべて確認していたら 1 世紀かかるほどの量である。そこで、Westphal とそのチームは 8 月に Stardust@home を立ち上げた。これは、「ダスター」とよばれる数千人のボランティアのパターン認識能力の助けを借りるプロジェクトで、現在も続いている。

このプロジェクトの名称に @home という文字が入っているのは、BOINC ボランティア計算プログラムに敬意を表しているからだが、Stardust@home は先駆的な分散思考プロジェクトの 1 つである。当然、運用を開始した当初は、多



Bruce Hudson は科学者ではないが、NASA の「スターダスト」ミッションでエアロゲルにとらえられた星間塵粒子を最初に発見し、これにオリオン（挿入図）とシリウスと名付けた。

FOLDIT IMAGE: UNIV. WASHINGTON CENTER FOR GAME SCIENCE; ARTWORK BY W. FERNANDES

B. HUDSON; INSET: D. FRANK

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

くの問題を解決しなければならなかった。例えば、もろいエアロゲルのひび割れや元からエアロゲルに混入していた地球上の微粒子を星間塵の飛跡と勘違いしないように、ダスターたちを訓練しなければならなかった。また、熱心に作業をしてくれるのは一部のボランティアだけで、ほかの人々はすぐにやる気を失ってしまった。不正をするボランティアもいた。ボランティアのやる気を起こさせるためにスコアカードを設定したところ、1位になるために多くの画像をいい加減に見る者が現れてしまったのだ。

Westphalは、Andersonとの協力の中で、すべての実験装置と同じく、ボランティアも較正してから利用しなければならないことを理解した。彼らは、ボランティアひとりひとりの技術レベルを決定する方法を見つけ出し、そのレベルが時間とともにどのように変化するかを評価し、1つの画像につき何人のボランティアが同じ結論に達したらその結果を信用してよいかを決めなければならなかった。

参加する市民、進化するソフト

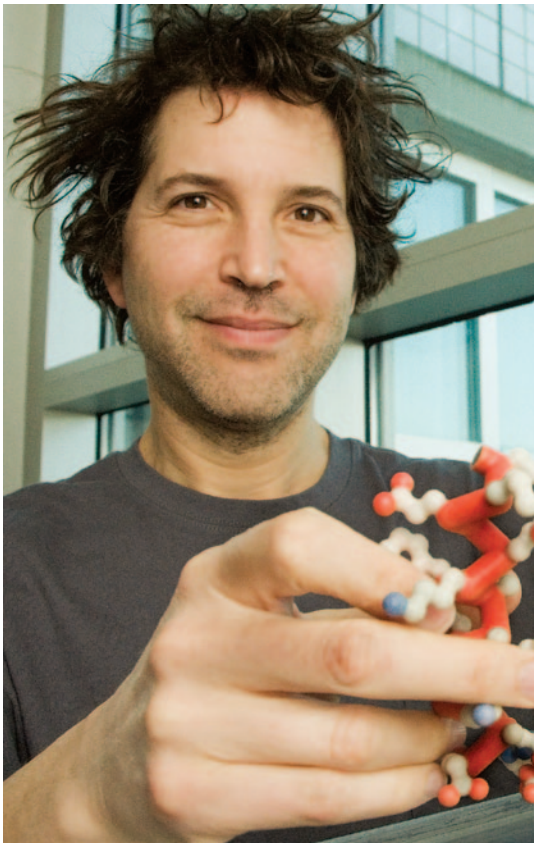
カナダのオンタリオ州ミッドランドに住むBruce Hudsonにとって、Stardust@homeは理想的な暇つぶしだった。彼は、2003年の脳卒中により右半身のほとんどが麻痺(まひ)していた。コンピューターゲームでさえあまりおもしろいと思えなかった彼が、なぜか、延々と続くエアロゲルの顕微鏡写真の観察に夢中になった。以前はカトリックの聖堂の管理人として働いていたHudsonは、「私は昔から、星とか惑星とか、そうしたもの全般が好きだったのです」という。彼は当時、このプロジェクトのために1日15時間も費やしていたという。

Hudsonの勤勉さは確かな実を結んだ。2010年3月に米国テキサス州ヒューストンで開催された月惑星科学会議で、Westphalにより、「最初の星間塵と思われる粒子はHudsonが発見した」と発表されたのだ。実際には、それは1つの飛跡の中にある一対の粒子だった（*Nature* doi:10.1038/news.2010.106;2010 参照）。この粒子にオリオンとシリウスと名付けたHudsonは、「いまだに信じられません」という。Westphalは既に、Stardust@homeの新しい世代のボランティアたちの見込みを較正するために、オリオンとシリウスのユニークな特徴を利用している。

一方、AndersonはBOINCのときと同様に、Stardust@homeソフトウエアの汎用版を製作して、科学者たちがほかの分散思考プロジェクトに利用できるようにしようとしている。彼はその成果をBossaとよんでいるが、これは頭字語でも何でもないという。彼はその理由を、「何でもかんでも頭字語にするのにうんざりしてしまったからです」と説明している。

Andersonは、Bossaをオープンソースのフリーソフトウエアにして、どの科学者でも、自分が頼みたい作業に合わせて利用できるようにしたいと考えている。BOINCについては、現在稼働中のプロジェクトが68もあり、全世界に200万人近いユーザーがいるが、彼はBossaもこれに匹敵する多様な用途があると考えている。

UCBの古生物学者Tim Whiteは、早速Bossaに興味を示した。彼は、アフリカ東部のグレートリフトバレーで初期のヒト科動物の化石を探す研究などを行っている。彼のチームは数十年前から同じスタイルで化石探しをしてきた。すなわち、表面温度が50度にもなる乾燥した砂漠にはいつくばって、精神を集中させて、ゆっくりと探すのだ。しかし、彼らが計画しているBossaを利用したプロジェクトでは（彼らはそれをHominids@homeとよぶことにしている）、作業の多くは、画像の中で白く輝く骨を探すボランティアによって引き継がれる予定である。「モニターの前にいる子どもには、コロブス（オナガザル科の旧世界ザル）の歯とヒヒの歯の違いはわからないでしょう」とWhiteはいう。



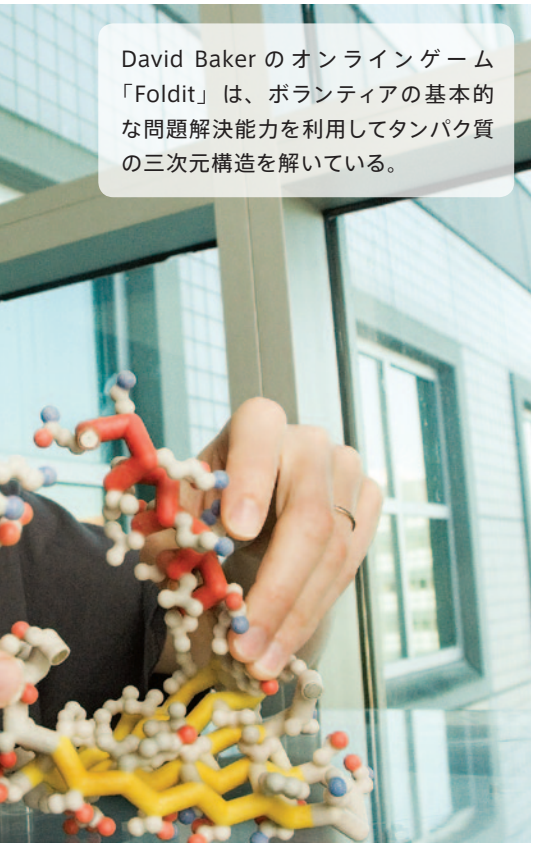
「けれども、それが歯であることはわかるはずです」。

参加者のスキルと関心度を上げる方策

2007年にオックスフォード大学（英国）で始まったオンライン天文学プロジェクト「Galaxy Zoo」は、かなり異質な方針を採用している。共同創設者のChris Lintottによると、このプロジェクトはStardust@homeの影響をじかに受けているという。「星間塵でさえ見てくれる人がいるのだから、私たちの美しい銀河の画像は絶対に見てもらえると思ったのです」。彼らが見てもらいたがっているのは、スローン・デジタル・スカイサーベイ国際コンソーシアムが収集した数百万点の画像である。

彼らがボランティアに求めているのは、画像に写っている銀河の形が渦巻であるか楕円であるかを目で見て決めてもらうことである。コンピューターは、このような作業にはほとんど役に立たないからだ。Galaxy Zooプロジェクトは既に125万の銀河を分類し、17本の論文

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved



David Baker のオンラインゲーム「Foldit」は、ボランティアの基本的な問題解決能力を利用してタンパク質の三次元構造を解いている。

C. MCLEAN/UW MEDICINE

を発表しており、つい最近、ハッブル宇宙望遠鏡からのデータによる銀河の分類という、新しい段階に入った。

Lintott はプロジェクトを拡大して、銀河の分類だけでなく、銀河の融合、超新星、太陽嵐、月のクレーターの特定など複数のプロジェクトからなる「Zooniverse」を創設したが、それと同時に、ボランティアを強く選り好みするようになった。これは、Bossa を開発した Anderson が、誰でも何でも試せるようにしたいと考えているのとは大きく異なる姿勢である。Lintott は、Bossa のプロジェクトの拙速さが、結局、市民科学者の好意を無にしてしまうのではないかと懸念している。「私たちは、誰でもボランティアになれる場所ではなく、参加者が一定のレベルでかかわりをもてる場所を作りたいのです」。

当然ながら、Anderson はそうは考えない。彼は、Galaxy Zoo が分散思考を利用することは歓迎しているが、その「閉鎖的」なアプローチには首をかしげる。「Galaxy Zoo は、個人科学者が柔軟に対応することを許していないのです」と彼はいう。

Baker によると、Foldit も Stardust@home がヒントになっているという。しかし、Stardust@home や Galaxy Zoo との類似点はそれだけだ。第一に、Foldit のプレーヤーが請け負っているのは基本的な画像認識や分類作業ではない。彼らは、非常に難しい最適化問題を、直感的に解いている。Baker によると、このプログラムは人間に特有の 3 つの能力を利用しているという。それは、優れた空間認識能力と、長期的な利益のために短期的な危険を冒す能力と、早い段階で行き詰まりを認識し、やめ時を知る能力である。

Foldit のデザイナーがゲームの要素をより真剣にとらえていることも、重要な違いである。チャットルームがあり、wiki があり、徐々にレベルが上がってプレーが難しくなっていく Foldit には人々を夢中にさせるところがあり、この点で Galaxy Zoo とも Stardust@home とも異なっている。Baker に協力しているワシントン大学のコンピューター科学者の Zoran Popović は、本当の意味でプロジェクトに貢献するために必要なスキルをボランティアに速やかに身に着けさせるには、その興味を引きつけて離さないようにしなければならないと指摘する。「それは刺激的で魅力的な経験でなければならず、常に同じであってはならないのです」と Popović はいう。

ゲームにも限界はある。Kearns がいちばん心配しているのは、人間の能力を利用した計算が至るところで行われるようになるにつれ、「人々がこうしたネットワークに参加することをすばらしい経験とは感じなくなり、自分は搾取されていると感じるようになってしまうこと」であるという。科学者は将来、ボランティアを確保するために、多くの人が忌み嫌っていることをせざるをえなくなるかもしれない。それは、報酬を支払うことだ。「この分野に関して、1 つの経済学が生まれるかもしれません」と Kearns はいう。

高いレベルの貢献も現れた

今のところ、献身的なボランティアがまだ大勢いる。Scott 'Boots' Zaccanelli は、そのうちの 1 人である。テキサス州マッキニー（米国）に住む彼は、本業はバルブ工場の仕入れ係だが、ロデオ大会や農産物共進会やフリーマーケットにマッサージチェアをもって出かけていく、「Good For You Massage Therapy」という個人事業も営んでいる。そのうえ、2008 年からは Foldit に熱中している。「ほとんど毎晩やっています」と彼はいう。生物学の学士である彼は、その知識を活用して Foldit の世界ランキング 6 位に入っている。「間違った折りたたみは、見ただけでわかります」。

Zaccanelli のようなプレーヤーの技術は、Baker に強い印象を与えた。Baker は今、タンパク質の折りたたみから一歩進んで、全く新しいタンパク質を設計する機会を彼らに提供している。具体的には、光合成のための新しい触媒の検索、HIV や H1N1 インフルエンザウイルスなどの病原体と結合できるタンパク質の検索などがそれに当たる。

その一環として、既存のものより安定なフィブロネクチン（抗体様化合物の作製に役立つ足場タンパク質）の変異体を作製せよというクイズが出題されている。2009 年の 10 月、Baker は Zaccanelli が設計したものが有望そうだと考えて、研究室で合成してみた。プレーヤーのレシピが試されたのは、これが最初だった。こうして合成された Zaccanelli のフィブロネクチンは、既存のものと比べて特に安定しているということはなかったが、Baker は、プレーヤーが要望どおりのタンパク質を設計するのは時間の問題だと考えている。

Baker の期待は、Zaccanelli のモチベーションを高めるのに役立っている。「この私が、がんやエイズや風邪の治療法の開発に貢献できるかもしれないのです」。■

（翻訳：三枝小夜子）

Eric Hand はワシントン D.C. 在住の *Nature* の特派員。

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

全球凍結と大酸化イベントをつなぐ証拠

地球はこれまでに少なくとも3度、全球が凍結する事態を経験したことがわかってきた。さらに、その全球凍結直後に大気中の酸素が大量に増える出来事（イベント）が起きたことも明らかになり、両者の因果関係に注目が集まっている。田近英一博士らは、2つのイベントをつなぐ具体的証拠を突き止め、生命進化の謎に迫る成果をもたらした。

全球凍結仮説の登場

―― Nature ダイジェスト：全球凍結について、どのようなことがわかっていたのでしょう？

田近：これまで知られている全球凍結はいずれも原生代（25億年前～5億4200万年前）の出来事で、約22億年前、7億年前、6億年前に生じました。地球で生命がはぐくまれたのは「穏やかな環境が維持されてきたため」とされますが、一方では、このような劇的な現象も起きていたのです。私たちは、こうした地球環境の安定性と不安定性の両方が、生命進化に重要だったと考えており、不安定性の具体的事例として全球凍結について研究してきました。

全球が凍結したとする「スノーボールアース仮説」を初めて提唱したのは、カルフォルニア工科大のジョセフ・カーシュビンク博士です。博士は、オーストラリアに露出する約6億年前の地層に「氷床が存在した証拠となる堆積物（氷河性堆積物）」があることを突き止め、その地域が当時は低緯度にあったことを証明したうえで、1992年に全球凍結仮説を提唱しました。その後、カーシュビンク博士は東大の教授を務めた時期もあり、2002年からは、私が研究代表者を務める「スノーボールアースに関する海外学術調査プロジェクト」に共同研究者として参加していただいています。

今回は、約22億年前の全球凍結がその後の大酸化イベントと密接な関係にあるのではないかとの仮説を立て、それについて調べようということになりました。

―― 一方の大酸化イベントについては、何がわかっていたのでしょう？

「大酸化イベント」とは、約22億年前に大気中の酸素の量が急激に増えた現象のことで、昔から多くの研究がなされてきました。酸素は地表では熱力学的に不安定なため、無機的な反応ではほとんど生成されません。したがって、酸素を発生する要因は「生物による光合成」に限定されると考えられます。光合成では、炭素の2つの安定同位体（^{12}Cと^{13}C）のうち、軽い^{12}Cがより多く使われることが知られています。つまり、光合成が盛んだと^{12}Cが消費され、環境中には^{13}Cの割合が多くなります（炭素同位体比の「正異常」という）。

したがって、過去の堆積物中の炭素同位体比が「正異常」を示せば、その時期に光合成による大量の酸素供給が行われたと推測できます。実際、約22億～21億年前に大規模な「正異常」が起きたことがわかり、大酸化イベントと名付けられたわけです。研究者の多くは、この大酸化イベントによる大気中の酸素濃度の増加が、その後の真核生物の出現につながったと考えています。

一方、前述のカーシュビンク博士は、南アフリカの約22億年前の氷河性堆積物の上に、地球史上初めてとなる二酸化マンガンによる「マンガン鉱床」が形成されていることにも注目していました。そして、マンガンは酸化還元電位が非常に高い物質で、その酸化は分子状の酸素によってのみ可能なことから、大酸化イベントが全球凍結の直後に生じたのではないかと解釈しました。以上のことは、約22億年前の全球凍結の直後に大酸化イベントが起きたことを強力に示唆していますが、両者の因果関係は謎のままでした。

図1. 左の写真は、米国ミシガン州における地質調査風景。足下に露出している地層はクォーツァイト層。右の写真は、カナダ・オンタリオ州でみられる氷河性堆積物。「ドロップストーン」とよばれる数センチメートルの礫岩が含まれている。

五大湖周辺での発掘調査

―― 今回は、どのような調査研究を行ったのでしょう？

まず、約22億年前の地層で、全球凍結と大酸化イベントの両方を記録している可能性があり、かつ連続性が保たれてい

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

る場所として、北米大陸の五大湖周辺に位置する米国ミシガン州とカナダ・オンタリオ州の２地域を調査しました。これらの地域の地層には、氷河性堆積物のすぐ上に、ほぼ純粋な二酸化ケイ素からなる砂岩層（クォーツァイト層）があります。クォーツァイトはこれまで研究者から無視されてきたのですが、私たちはこの地層に注目して詳細な分析を行いました。

クォーツァイトは、雨によって、土壌中の鉱物に含まれる元素がほとんど完全に溶脱され、二酸化ケイ素だけが残されたものと考えられます。このような現象を「化学風化」といい、気温が高いほど反応が進みます。風化はどこでも常に起きていますが、今回のクォーツァイト層ほど完全に風化が進むのはまれでした。

さっそく、クォーツァイトに含まれる極微量の有機物の炭素同位体比を測ってみたところ、大規模な同位体比の低下（「負異常」という）が２段階で生じたことがわかりました。このことは、軽い ^{12}C が２度にわたって供給されたことを意味します。しかも、風化度（風化の程度を表す指標）が２度にわたって急激に増加したこと、つまり、この時期に極めて急激な温暖化が生じたこともわかりました。

もう一方のオンタリオ州の地層でも、ミシガン州と全く同様の特徴がみられることを確認しました。

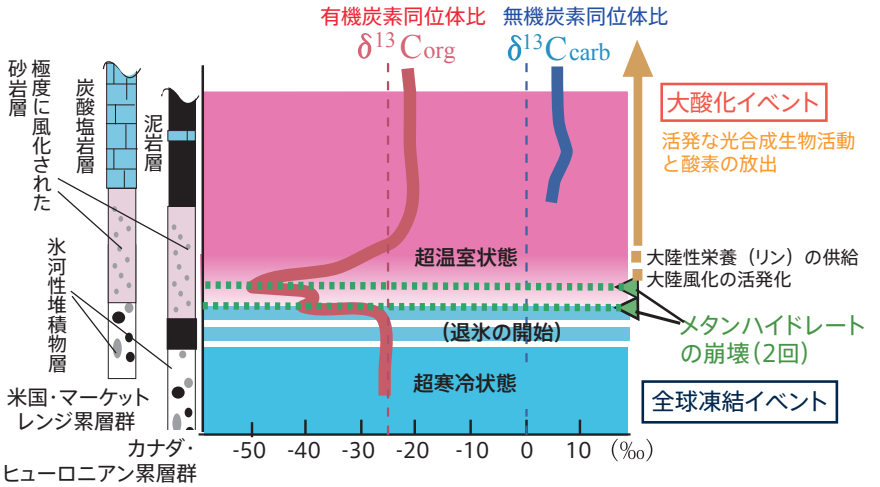


図 2. 約 22 億年前の全球凍結直後の炭素同位体比の変動。米国・カナダの両地域において、有機物の炭素同位体比の大きな負へのシフトが２段階で生じたことを示唆している。その上の地層では、大酸化イベントを示す炭素同位体比の正異常がみられる。

原因はメタンハイドレート？

―― どのようなことが示唆されるのでしょう？

私たちは、このような急激な温暖化と軽い炭素の供給を可能にするのは、メタンハイドレートの分解によるメタンの供給しかないと考えています。メタンハイドレートは「水分子からなるカゴの中にメタン分子が抱え込まれた固体結晶」で、現在でも永久凍土や海底の堆積物中に多く存在します。メタンハイドレートのメタンは、メタン生成菌によって水素と二酸化炭素から作られるのですが、非常に軽い炭素同位体比をもつことが知られています。私たちは、この軽いメタンが大気中に放出されたことで、急激な炭素同位体比の負異常が起きたのではないかと推測しています。

おそらく、全球凍結を終わらせることになった温暖化によってメタンハイドレートの分解が進み、結果として、２度にわたる大量のメタン放出が起き、さらなる温暖化を引き起こしたのでしょう。そして、この超温暖化が、陸の風化を極度に促したのだと思います。

同時に、温暖化による何らかの要因が陸から海中へのリンの供給を増やし、酸素を作り出すシアノバクテリアの大増殖をもたらしたと考えられます。というのは、生物の光合成活動はリンの量によって上限が決められ、海水中のリンの総量は陸からの供給によって決まるからです。なぜリンの供給が増えたかという点を含め、現在、北欧でも調査を行い、岩石試料の分析と検証を行っているところです。

今回の成功のカギは、これまで研究者たちが無視していたクォーツァイト層に注目して詳細に調べた点にあったと考えています。共同研究者である関根康人（せきねやすひと）さん（東京大学）の優れた着眼点と実行力によるものです。また、同じく共同研究者である大河内直彦（おおこうちなおひこ）さん（海洋研究開発研究機構）と同機構の最新装置のおかげで、極微量の有機物の炭素同位体比を正確に分析できたことも幸運でした。私は、こうした研究を通じて「生命進化が可能な惑星環境の条件」を理解したいと考えており、今後も地球史と惑星科学の両方を見据えた研究を続けたいと思っています。

―― ありがとうございました。 ■

聞き手は西村尚子（サイエンスライター）。

1. Sekine, Y., Tajika, E., Ohkouchi, N., Ogawa, N. O., Goto, K., Tada, R., Yamamoto, S. & Kirschvink J. L. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, **11**, Q08019, doi:10.1029/2010GC003210 (2010).

AUTHOR PROFILE

田近　英一

東京大学大学院 新領域創成科学研究科 複雑理工学専攻教授。1992 年、東京大学大学院理学系研究科で博士号（理学）を取得。その後、日本学術振興会特別研究員として東京大学気候システム研究センター（1992 ～ 1993 年）、東京大学大学院理学系研究科助手（1993 ～ 2002 年）、准教授（2002 ～ 2010 年）を経て、2010 年、東京大学大学院新領域創成科学研究科教授。地球や惑星の表層環境の進化・変動・安定性に関する研究を推進している。

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

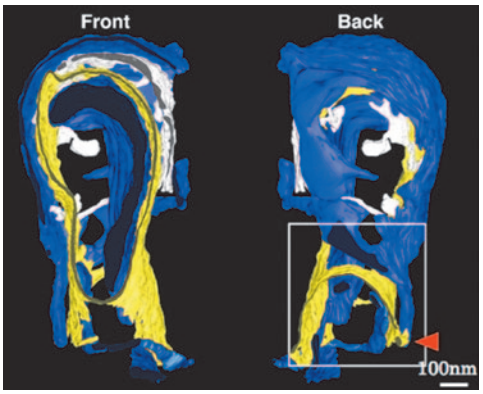
細胞内オートファゴソームの起源を解明

佐藤成美（サイエンスライター）

長浜バイオ大学の山本章嗣（やまもとあきつぐ）教授らの研究グループは、電子線トモグラフィーを使ってマウス細胞の内部構造を三次元で解析し、小胞体が「オートファゴソーム」の起源であることを明らかにした。オートファゴソームとは、細胞の自己分解作用（オートファジー）において、細胞内の不要物を包み込む膜構造のことで、この膜がどこからできるのかは長い間の謎だった。この成果は、2009 年 12 月の *Nature Cell Biology*[1] に掲載された。

生命現象は、外部からさまざまな物質を取り込み、分解・排除する仕組みなくして成り立たない。例えばオートファジー（自食作用）は、細胞自身が内部の不要物を分解する仕組みで、飢餓になると自らの細胞内小器官などを分解し、栄養分にして生き延びる。また、異常なタンパク質の蓄積を防いだり、侵入した細菌を排除したりするときも、この仕組みが関与する。近年では、アルツハイマー病などの神経疾患やがん化を防ぐ機能などとの関係からも注目されてきた。

その仕組みを追うと、動物細胞では、まず細胞質に隔離膜とよばれる小さな膜ができる。それが大きくなりながら細胞内の不要物を包み込み、オートファゴソームになる。さらにそこにリソソームが融合すると、オートリソソームとなり不要物が分解される。この過程において、オートファゴソームの元になる隔離膜がどこから生じ、どのように作られるのかが、長い間わからなかったのだ。



電子線トモグラフィーによる小胞体と隔離膜のコネクション。細管状の膜（赤矢印）で小胞体（青）と隔離膜（黄色）がつながる。

山本教授らは、電子顕微鏡による観察で、隔離膜と小胞体が複合体となり、オートファゴソームを作ることはほぼ突き止めていたが、平面では詳細な関係までわからなかった。そこで、電子線トモグラフィーを活用して小胞体の三次元解析を進めたわけだ。電子線トモグラフィーとは、CT（コンピューター断層法）の原理を応用した技術で、電子顕微鏡内で試料を少しずつ傾けながら何枚もの像を撮影し、得た像をコンピューターで三次元の図にする。

山本教授らはオートファジーを誘導したマウスの細胞の電子顕微鏡観察を行い、1 つの隔離膜について得られた 100 枚以上の像から約半月かけて三次元の画像を作り上げた。その結果、平面ではサンドイッチのように見えた小胞体と隔離膜だったが、三次元では小胞体は二重になっていて、外側から隔離膜を包み込み、さらに内側の小胞体が隔離膜を支えていることがわかった。隔離膜は両側の小胞体を鋳型のようにして大きくなり、オートファゴソームを形成した。「小胞体に抱かれるようにオートファゴソームが作られるので、小胞体は『揺りかご』の働きをしていると考えています」と山本教授。

では、小胞体揺りかごに眠る隔離膜は小胞体の一部なのか、それとも独立したものなのか。山本教授らは、三次元画像上で小胞体と隔離膜の複合体を詳細に解析した。三次元画像をある角度で観察したとき、小胞体の一部と隔離膜が細い管でつながっていることをついに発見した（図参照）。複合体の断層図でも隔離膜の一端が伸び、小胞体とつながるようすがはっきりと見えた。さらに複合体の解析を繰り返し、高い確率で小胞体と隔離膜のつながりを確認できた。

こうして、隔離膜は小胞体からできることが三次元的に明らかになった。小胞体はタンパク質を合成する器官だが、タンパク質を分解するオートファジーにもかかわるという逆の視点も生まれた。山本教授らはさらに、隔離膜が小胞体からどのようにできるかを追跡している。免疫電顕法で、小胞体と隔離膜の複合体を観察したところ、小胞体に特有の酵素が隔離膜にはなかった。そこで、隔離膜は小胞体から直接できるのではなく、小胞体から脂質などの膜の材料が運ばれ、つくられると山本教授らは推定している。

1960 年代に電子顕微鏡の観察でオートファジー現象が見つかったものの、生理機構の解明はなかなか進まなかった。1980 年代に出芽酵母で関連遺伝子が見つかってから分子機構の研究が飛躍的に進み、現在では、オートファゴソームの形成も、多くの種類の Atg タンパク質が次々と複合体を作りながら進むことが知られている。山本教授は初期のころから電子顕微鏡による形態研究を続けてきた先駆者だが、「形態と分子とのつながりが大切」と分子細胞生物学が専門の吉森保（よりもりたもつ）大阪大学教授と共同で研究を進めてきた。分子機構においても隔離膜と小胞体の複合体は深い関係をもつはずだと考えている。

「電子線トモグラフィーで、平面ではわからなかった細胞の中のつながりが見えるようになり、長年の疑問に対する答えが出てきました。電子線トモグラフィーを使った研究がどんどん増えるといいと思います」と山本教授は研究の発展に期待する。 ■

1. Hayashi-Nishino, M *et al. Nature Cell Biol.* **11** (12) 1433-1437 (2009).

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

n·bio
長浜バイオ大学
Nagahama Institute of Bio-Science and Technology
www.nagahama-i-bio.ac.jp

21世紀は生命科学の時代です

化石燃料を燃焼させる20世紀型の産業は、地球環境に重大な影響を与え、環境、エネルギー、食糧に重大な問題を引き起こしました。これに対して、生きものの働きや知見を活用し、持続可能な循環型社会を実現する基盤が、バイオサイエンス、バイオテクノロジーです。

2003年4月

我が国唯一のバイオ系単科大学として1学部1学科（バイオサイエンス学部バイオサイエンス学科）で開学

2007年4月

大学院バイオサイエンス研究科バイオサイエンス専攻博士課程前期・後期課程設置

2009年4月

アニマルバイオサイエンス、コンピュータバイオサイエンスの2学科を新設

長浜バイオ大学
〒526-0829
滋賀県長浜市田村町1266
TEL：0749-64-8100
FAX：0749-64-8140

たとえば特色の1つ・・・産官学の連携
大学を核としたバイオサイエンスパークの実現

滋賀県、長浜市は、長浜バイオ大学の隣接地にバイオ関連産業の集積を図る**「長浜サイエンスパーク」**を整備。長浜バイオ大学はサイエンスパークの中核としての役割を果たしています。

「大学発信型」パークの実現により、本学の教育・研究にとって最適のステージが構築・整備され、バイオによる地域活性化への貢献が期待されています。

また、サイエンスパークの中には、産業化に向けたバイオの研究開発を支援する**「長浜バイオインキュベーションセンター」**があり、本学発のベンチャー企業をはじめ、「医療・創薬・健康」、「アグリバイオ」や「環境」などの分野のバイオベンチャーが入居して、バイオの研究開発を進めています。

長浜バイオ大学は、日本でただ一つのバイオ系単科大学であり
遺伝子レベルから動物（個体）に統合したレベルまで
バイオサイエンスを総合的に学ぶことができるバイオの大学です。

骨が代謝を調節している!?

The bones of contention

Alla Katsnelson 2010年8月19日号 Vol. 466 (914-915)

骨格は、単に体を支える以上の役割を果たしているのかもしれない。
骨が代謝を調節する「器官」として浮上しており、
骨粗鬆症だけでなく糖尿病との関連性もみえてきた。

PHILIPPE PSAILA/SPL/PPS

Patricia Ducy は、1994年に付き合いが始まったそのマウスを、最初はことのほか嫌っていた。これは骨関連タンパク質「オステオカルシン」を作らないように遺伝子を組み換えた初期の1系統で、飼育ケージは尿の悪臭を放っていた。しかも、Ducy がそのマウスを解剖すると、腹からは脂肪があふれ出した。「ひどいわ」と上司に報告したことを思い出す。「おしっこはしたい放題だし、もうイヤ！」

Ducy は当時、テキサス大学MDアンダーソンがんセンター（米国ヒューストン）のポスドクだった。上司であるジュニア・プロフェッサーの Gerard Karsenty は、リン酸カルシウムが骨の細胞に蓄積される経路の調節において、オステオカルシンが一役買っているという仮説の検証に取り組んでいた。悪臭を放つこの太ったマウスは、普通のマウスよりもやや太くて強い骨を作ったが、オステオカルシンが骨の石灰化に何らかの影響を及ぼしているとは思われず、その機能は謎に包まれたままだった。しかし、もともとはパリで内分泌医として訓練を受けていた Karsenty にとって、その不運なマウスの症状は見慣れたものだった。糖尿病に似ていたのだ。

糖尿病では、骨格とエネルギー代謝との直接的な関係に異常が発生する。おそらくオステオカルシンを作れないこのマウスにはそれが表れているのだろう、と Karsenty は考えた。Karsenty にとって、そのつながりは納得のいくものだった。生体内の骨の維持は、2種類の細胞が織りなす極めて動的なプロセスだ。骨の組織を形成するのが骨芽細胞、破壊するのが破骨細胞。このエネルギー集約的な行ったり来たりの骨改変プロセスは、必然的に代謝と結びついているのではないか、と Karsenty は考えた。拒食症などで食事を取れない成人は骨量が減少し、肥満の人は骨も牛のように太い。肥満によって骨粗鬆症を免れている女性もいるようだ。

この考え方は過激だった。骨とかかわりをもった研究者の多くは、骨格の役割は、体の支持と無機物質の交換に

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

限られると見なしており、ほかの臓器系と相互作用する可能性など考えたこともなかったからだ。しかし、現在は夫婦となってコロンビア大学（米国ニューヨーク）で共同研究を進めるKarsentyとDucyは、この15年間で研究の重心を徐々にその仮説の検証へと移してきた。この研究は臨床的な意味をもつ可能性がある。メイヨークリニック（米国ミネソタ州ロチェスター）の内分泌医であるSundeep Khoslaは、「Gerardは長年、本当にクリエイティブな考え方で骨の研究を展開してきました」と話す。しかし、Karsentyに対する反論がないわけではなく、骨と代謝の関係はこじ付けだという批判もあった。また、骨の分野にはその考え方にまともに取り組む研究者がほとんどいなかったため、Khoslaによれば、「別の実験室で確認されていないことが、問題にされたこともあります」という。

その状況が今、変わり始めている。2010年7月に発表された研究[1]で、ジョンズホプキンス大学（米国メリーランド州ボルティモア）で骨を研究するチームが、代謝で骨が果たす役割を支持する知見を偶然に得てしまったからだ。しかし、ばらばらの情報から全体を理解するのには、なお時間がかかっている。

ピースが見つからない

1990年代後半、Karsentyはオステオカルシンをもたないマウスの研究をしばらく中断し、代謝に対する役割がよく知られている「レプチン」というタンパク質を使って自らの新しい仮説に没頭した。脂肪細胞から分泌されて食欲を抑制するレプチンの遺伝子は、既にクローン化されていて、そのころまでには、レプチン遺伝子をもたないマウス（ノックアウトマウス）が市販されていた。さらにKarsentyの好奇心をくすぐったのは、レプチンが硬い骨格をもった動物だけに存在するという事実で、レプチンが骨とともに進化したのではないかと考えられた。レプチンというホルモンには、エネルギー代謝と骨の消長とを結びつける「分子のかけ橋」としての役割もあるはずだ、とKarsentyは考えた。

レプチンをもたないマウスが届いた1998年後半、その骨密度が通常のマウスよりも高いことがX線で明らかになった。Karsentyの研究チームは、そのときにはベイラー医科大学（米国ヒューストン）に移っていて、1999年には新たなポスドクとして内分泌医の竹田秀（たけだしゅう）が加わった。竹田は当初、その考え方が実を結ぶとは考えていなかったというが、その知見はKarsentyの展望を支持していた。ノックアウトマウスは通常のマウスよりも骨量が40～50パーセント多く、レプチンが骨の成長を妨げていると考えられたのだ。しかし、レプチンが骨の細胞に直接シグナルを伝えているとは思われなかった。それでも研究チームは、レプチンを脳に注入するとノックアウトマウスの骨が正常化することを明らかにした[2]。

それからの10年間は、レプチンとオステオカルシン、それに骨をつなぐシグナル伝達経路の詳細を解明し（「骨に迫る」を参照）、さまざまな遺伝子をノックアウトすることによって全体像を組み立てることに費やされた。

恒常性プロセスの多くは脳が調節しており、これもその例に漏れなかった。レプチンは、神経伝達物質セロトニンの脳幹での合成を阻害することによって、骨の成長にブレーキをかける役割を果たす。これは骨の形成を抑制することになるが、それを調節するのは、体の無意識的な機能の多くを制御する神経経路である交感神経系だ[3]。

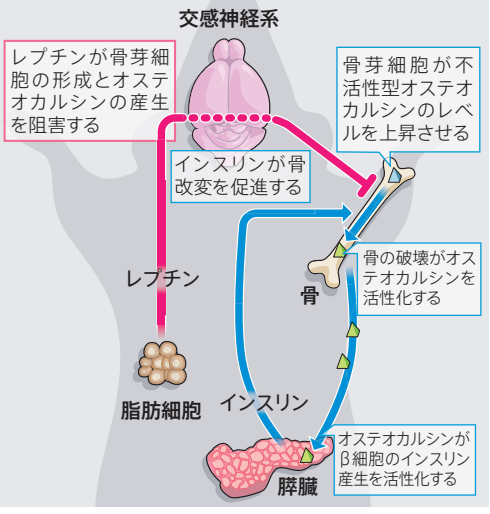
しかし、内分泌系はフィードバックループの形で作用する。そこで、脂肪細胞から放出されるホルモンが骨の代謝に作用するならば、骨もエネルギー代謝を調節しているはずだ、と研究チームは考えた。そして、研究チームはオステオカルシンをもたないマウスに再び目を向け、それがグルコース不耐性とインスリン抵抗性をもち、インスリンを作るβ細胞が通常よりも少ないことを明らかにした。まさに糖尿病だったのだ。こうしてKarsentyは、活性化されたオステオカルシンがエネルギー調節ホルモンとして作用すると結論付けた[4]。

ジョンズホプキンス大学の骨生物学者であるThomas Clemensがこの研究に着手したとき、このような考え方はまだあまり注目されていなかった。2006年、インスリンによるグルコース制御がうまくいかない糖尿病患者が骨粗鬆症にかかりやすいかどうかを巡る医学文献の対立に、彼の大学院生のKeertik Fulzeleが興味をもった。Fulzeleは、骨芽細胞だけインスリン受容体をノックアウトすることを思い付いた。「何とかして思いとどまらせようとしたのですよ」とClemensは振り返る。ろくな結果は出ないと考えていたからだ。しかし、Fulzeleはあきらめようとしなかった。

オステオカルシンやレプチンのノックアウトマウスと同様、インスリン受容体をノックアウトしたマウスも肥満体でインスリン抵抗性をもっていたが、このノックアウトマウスは、骨量が少ないという点が異なっていた。それは不可解だった、とFulzeleは振り返る。「それについて6～8か月も議論して、あらゆる検討を行いました」。ちょうどそのころ、Karsentyの研究チームによる

骨に迫る

骨改変には、骨芽細胞による骨の形成と、破骨細胞による骨の破壊がある。この動的でエネルギー集約的なプロセスは、さまざまな形で代謝と相互作用していると考えられる。



©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

2007 年の論文[4]が発表され、Clemens にも Fulzele にも夜明けが訪れた。骨と代謝がつながったのだ。

偶然にも、Karsenty らもこれと全く同じノックアウトマウスを作っていて、同じような筋書きを描いていた。食べることでインスリンの放出が促進され、骨改変が活性化する。骨芽細胞による骨の形成はオステオカルシンの産生量を増加させ、破骨細胞による骨の吸収（分解）はそのホルモンを活性化させて骨から血流中に放出する。すると、オステオカルシンは膵臓の β 細胞に作用してインスリンの産生を促進し、体内のグルコース取り込み量が増加する。この両者の研究成果[1,5]は、*Cell* の 7 月号で同時に発表された。

Karsenty と Clemens は、よく知られているインスリン経路とは別の時間的枠組みで、この骨の経路がグルコース吸収を促進する可能性を示唆している。インスリン経路では、グルコース値の急上昇がインスリンを短時間で放出させる。この直接的な経路はグルコースの取り込みに関して迅速に応答する仕組みになっていると考えられるが、一方、骨の経路は長期的な平衡を取り仕切っている可能性がある。メイン医学センター研究所（米国スカーバラ）で骨粗鬆症を研究する Clifford Rosen は、骨芽細胞がインスリン受容体をもたないマウスで得られた知見[1,5]について、「まさに骨改変系へのフィードバックの一部としてインスリンを含むループを完結させるものです」と語る。

Karsenty は「Clemens が付いてきてくれたことがカギだったと思います」と話す。「新しいことはことさら細かく検討されるものですが、それに対処するのにいちばん大事なことは、別の人が同じ結果を出すかどうかなのです」。

骨格とグルコース代謝とのつながりの重要性は、理論的な枠組みにとどまらない。Rosen によれば、そのモデルには「臨床的に重大な意味」があるという。短期的に最も待たれるのは、オステオカルシンを使ってインスリン分泌を促進させ、糖尿病を治療することだそうだ。2007 年後半、Karsenty はそれをめざしてエスクブラック社を立ち上げた。本社は米国マサチューセッツ州ケンブリッジに置き、オステオカルシンと骨成長、インスリン感受性、それに体重増加の関係を利用しようとしている。

骨身を惜しまず

治療への期待がかかるなか、まだ解明されていない問題がある。「当事者でなければ、私も疑いの目を向けていたでしょう」と Clemens はいう。Karsenty の研究チームはレプチンのループをまだ完結させておらず、骨がレプチンレベルを調節する仕組みの解明もこれからだ。そしてこれまでのところ、ともにオステオカルシンの受容体を発見できていない。両チームとも、β 細胞によるインスリン産生の活性化をオステオカルシンが促進する仕組みを調べている最中だ。

しかし、最も重要な問題は、マウスを使ったこの研究がどれだけヒトの生理を反映しているのか、という点だ。ハーバード大学歯学大学院（米国マサチューセッツ州ボストン）の骨生物学者である Roland Baron は、「私見として、Karsenty は大筋で正しいと思いますが、ヒトの調節経路では重要な要素でないのかもしれません」と語る。「(Karsenty が) 自分の知見を誇張しすぎることも問題です。それで不快な思いをしている人はたくさんいるのです」。Karsenty は、自分の考え方が批判を集めることは織り込み済みだと語る。「批判する人には何もいいません。実験室に戻って実験を積み重ね、それをくじいてやるだけです」。

彼の研究は有用な知識を増やすものだ、と Rosen は語る。「たとえ半分が誤りだったとしても、この研究領域に対する貢献は決して小さなものではありません」。しかし、Rosen によれば、Karsenty の理論には、ビスホスホネート類や、6 月に欧米で承認された新しい抗体薬プロリア（デノスマブ）など、骨吸収を予防するための骨粗鬆症治療薬を投与された女性でグルコース値に大きな変化が認められていない、という泣きどころもあるという。これについて Rosen は、インスリンとグルコースに対する骨からのいかなる制御もヒトでは重要でないということかもしれない、と話す。Karsenty は、その種の薬剤がオステオカルシンレベルとインスリン分泌を抑制する結果としてグルコース値が上昇するものの、代謝のバランスを大きく動かすほど作用が強力でないために変化の幅が小さいのだ、と主張する。また、ここ数年の研究が、血中オステオカルシンレベルとインスリン感受性との関連をヒトで明らかにしている[6]ことも指摘する。

Khosla によれば、つながりを支持しているとしても、そうした観察結果は概して、もともとインスリン抵抗性があって骨改変が活発でない過体重や肥満の症例で得られたものだという。「では、それには因果関係があるのでしょうか、それとも無関係のものが同時に起こったということなのでしょうか」。

骨粗鬆症薬の試験で臨床データは得られているが、ヒトでオステオカルシンと肥満や糖尿病との関係を調べる前向き研究を進めなければ、確かなことをいえるようにはならない。Karsenty は、そうしたデータを収集するために臨床研究者との共同研究に乗り出している。

Clemens はいう。「この問題はすぐに白黒をつける必要があります。基礎的な文献には多くの観察結果がありますが、臨床現場を左右するためのものではないので、繰り返されていません。しかし、現に存在する患者のことを考えれば、これは重要な問題であり、ほったらかしにはできません」。■

（翻訳：小林盛方）

Alla Katsnelson はニューヨークから *Nature* に寄稿している。

1. Fulzele, K. *et al. Cell* **142**, 309–319 (2010).
2. Ducy, P. *et al. Cell* **100**, 197–207 (2000).
3. Yadav, V. K. *et al. Cell* **138**, 976–989 (2009).
4. Lee, N. K. *et al. Cell* **130**, 456–469 (2007).
5. Ferron, M. *et al. Cell* **142**, 296–308 (2010).
6. Strapazzon, G., De Toni, L. & Foresta, C. *Osteoporos. Int.* doi:10.1007/s00198-010-1322-2 (2010).

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

アルツハイマー病の成果に異論

Key Alzheimer's finding questioned

HEIDI LEDFORD　2010年8月26日号　Vol. 466 (1031)
www.nature.com/news/2010/100824/full/4661031a.html

アルツハイマー病とクロイツフェルト・ヤコブ病（CJD）という2つの深刻な脳変性疾患にそれぞれかかわる2種類の重要なタンパク質の間に、意外な結びつきがあることを、*Nature* 2010年2月26日号でStephen Strittmatterらが報告したとき[1]、この分野の研究者たちは皆、たいへんな成果が得られたという評価で一致した。しかし、それから1年も経たずして、対立する結果が2010年8月の*Nature*の論文[2]などに報告され、それまでの明るい見通しは一転して暗雲に閉ざされてしまった。改めて、アルツハイマー病の進行を食い止める方法を探し出すことの困難さが浮き彫りになっている。

エール大学（米国コネティカット州ニューヘイヴン）の神経学者であるStrittmatterの研究チームは、タンパク質断片のアミロイド-βが、アルツハイマー病患者の脳内で老人斑を形成して障害を起こす仕組みを解明しようと研究を続けてきた。そして、このアミロイド-βに細胞性プリオンタンパク質が容易に結合できることを見つけ、細胞性プリオンが、神経細胞破壊につながる一連の出来事を開始させる受容体として働く可能性を示唆した[1]。細胞性プリオンは、細胞にもともと存在する正常型タンパク質であり、これの感染性をもつ異常型プリオンはクロイツフェルト・ヤコブ病（CJD）に関与していることでよく知られている。

「あの知見には本当に目を見張りました」と、ルーヴァン・カトリック大学（ベルギー）で神経変性疾患を研究するBart De Strooperはいう。これまでのところ、アミロイド-βを直接標的としたアルツハイマー治療法はよい成績をおさめていない。そのため、プリオンを標的にできる可能性が出てきたことで、研究界は大いに盛り上がったわけだ。

とはいえ、実験手法が異なるせいで相反する結論に至ることはよくある。「この分野は、まさにその歴史ともいえるのです」と、カリフォルニア大学サンディエゴ校（米国）の電気生理学者Roberto Malinowはいう。「今回のように華々しい成果が報告されても、6か月から2年ほどでその価値が半減してしまうことはよくあるのです」。

Strittmatterのチームは、神経細胞表面に存在するプリオンタンパク質が、アミロイド-βと結合して活性化すると、細胞を損傷する経路を活性化させるのではないかと考えた。それを検証するため、彼らはアミロイド-βをマウスに注入し、記憶を呼び出している最中の脳で起こる電気的変化を測定した。プリオンタンパク質を欠損したマウスでは、この電気的特徴に影響が出なかったことから、プリオンタンパク質がアミロイド-βによって起こる障害に関与していることが示唆された。

ところが、ほかの研究者たちが、この成果を追いかけ始めたところ、出てくる結果が異なってしまった。マリオ・ネグリ薬理学研究所（イタリア・ミラノ）のGianluigi Forloniの研究チームは、プリオンタンパク質を欠損したマウスにアミロイド-βを注入してみたが、プリオンタンパク質がないにもかかわらずマウスが記憶障害になったのである[3]。

チューリッヒ大学病院（スイス）のAdriano Aguzziの研究チームも、大量のアミロイド-βを産生するよう遺伝子操作したマウスを使って実験したが、Forloniたちと同じ結論に達した[4]。また、Malinowのチームは、Strittmatterたちの脳測定プロセスを綿密に再現したが、結果を再現することはできなかった[2]。

相反する結果が出たのは、研究チームの動物モデルや記憶テスト、アミロイド-βの調整法や投与法の違いで説明できるのではないかと、Strittmatterはいっている。しかし、Forloniの見解はもっと否定的だ。「もし、結果がオリジナルの実験条件にそれほど大きく左右されるとしたら、得られる知見にはもはや関連性を見いだせなくなります」。

一方で、Strittmatterの研究チームは、さらに新しい研究[5]で、Aguzziたちが使ったのとは異なる遺伝子操作を施したマウスを用いて、アミロイド-βの沈着による記憶障害が、プリオンタンパク質の欠損で回避されたことを報告した。また、7月にアムステルダムで開催された欧州神経科学連合学会（FENS）では、ダブリン大学トリニティ・カレッジ（アイルランド）の神経薬理学者Michael Rowanのチームが、プリオンタンパク質との結合を阻害する抗体によって、記憶と関連する脳内の電気的変化にアミロイド-βが及ぼす作用を低減できることを報告し、Strittmatterたちの知見を裏付けた。

相反する結果が出ることはアルツハイマー病研究では珍しくないと、シカゴ大学（米国イリノイ州）の神経生物学者Sangram Sisodiaは話す。特に動物モデルは議論のタネになると彼はいう。この疾患を研究する最良のモデル系が、まだ現実にはないからだ。また、各研究室はそれぞれ独自に、特定のモデル系に時間や労力や能力を注ぎ込んできたため、モデル系を変更することはなかなかできないのが現実だと付け加えた。「実験手法の標準化はまだはるか先の話です。それが実現できるかどうか、正直わからないですね」とSisodiaは語った。■

（翻訳：船田晶子）

1. Laurén, J. *et al. Nature* **457**, 1128–1132 (2009).
2. kessels, H. W., Nguyen, L. N., Nabavi, S. & Malinow, R. *Nature* **466**, E3–E4 (2010).
3. Balducci, C. *et al. Proc. Natl Acad. Sci. USA* **107**, 2295–2300 (2010).
4. Calella, A. M. *et al. EMBO Mol. Med.* **2**, 306–314 (2010).
5. Gimbel, D. A. *et al. J. Neurosci.* **30**, 6367–6374 (2010).

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

地震

サモア沖地震はダブル地震だった

Double trouble at Tonga

佐竹健治　2010 年 8 月 19 日号　Vol. 466 (931–932)

2009 年 9 月に発生したサモア沖地震は、性質を異にする 2 つの大きな地震が、
ほとんど同じ時刻に、非常に近い場所で発生するという不思議な地震だったようだ。
どちらか一方の地震が他方の地震を誘発したと考えられるが、
どちらの地震が、どのような機構で、後続の地震を誘発したのだろうか？

1 つの地震が、ほかの地震を誘発することがある。このようにして誘発される地震のほとんどは、より大きな主震を引き起こした断層面の上、またはその付近でひずみが解消されることにより生じる余震である。しかし、*Nature* 8 月 19 日号で Beavan ら[1]（959 ページ）と Lay ら[2]（964 ページ）が取り上げたサモア沖地震は、発生時刻が重なっていて、場所も近接しているが、その機構が大きく異なる 2 つの地震から構成されている点で興味深い。著者らは、どちらの地震が先に発生したかについても、またその地震がもう 1 つの地震を引き起こした機構についても、対照的な結論に達している。

問題の地震は、南西太平洋のトンガ海溝の付近で 2009 年 9 月 29 日に発生した。この地震に伴う津波は、サモア独立国、アメリカ領サモア、トンガの全域で 200 人近くの命を奪った[1,2]。この地震は、基本的には、太平洋プレートがオーストラリアプレート（詳しくいうと、その中のトンガブロックとよばれる部分）にぶつかり、その下に沈み込んでいくことにより発生した。トンガ海溝付近のプレートの収束速度は 1 年に約 20cm で、世界で最も速いにもかかわらず、1917 年以降、マグニチュード 8 以上の大地震は一度も発生していなかった。だから、2009 年 9 月の 2 つの地震がそれぞれマグニチュード 8 クラスに達していたことは、地球物理学者たちを驚かせた。

地震記録から読み取れる主震は、典型的な沈み込み帯地震ではなかった。大地震と、これに伴う津波は、2 つのプレートの境界が突然すべり、そこに蓄積されていた圧縮応力が解放されることによって発生する。そのようなプレート境界地震の最近の例としては、2010 年 2 月 27 日にチリ中部を揺るがせ、津波を発生させたマグニチュード 8.8 の地震がある。これに対して、サモア沖地震の主震は、沈み込んでいく太平洋プレートが海溝の手前で折れ曲がり始めるアウターライズ（海溝外縁隆起帯）とよばれるプレート内の領域で、伸張応力による断層運動として発生した。

ただし、大きなアウターライズ地震は、地球物理学的には特に珍しいものではなく、過去 100 年間に何度か記録されている。アウターライズ地震は、沈み込んでいくプレートが下向きに引く力により容易に説明できる。この力は、プレートの境界の断層に応力が蓄積されない場合にはアウターライズのほうまで伝わることがあり、大地震によりプレート境界が破壊された場合には突然大きくなることもある。2006 年 11 月に千島海溝に沿って発生したマグニチュード 8.3 のプレート境界地震は、沈み込んでいくプレートをアウターライズから引き離し、わずか 2 か月後に、伸張応力によるマグニチュード 8.1 のアウターライズ地震を引き起こした[3]。一般的には、第二の地震は静的応力の変化により誘発される。地震の際に断層が突然ずれると、付近の一部の断層にかかる負荷が増し、ほかの断層にかかる負荷は減る。このような応力の変化は、前者の場合は第二の地震の発生時期を早め、後者の場合は遅らせる可能性がある[4]。

Beavan ら[1]と Lay ら[2]は、サモア沖地震ではプレート境界地震とアウターライズ地震が関連していたことを発見した（図 1）。この発見を裏付ける最も強力な証拠は衛星測地学データである。Beavan ら[1]は、地震の前後のトンガ北部の GPS の測定値を比較して、横方向に 35cm の変位が起きたと見積もったが、その変位の向きは、この地震がアウターライズ地震であった場合に予想される変位の向きとは反対だった。2010 年のチリ地震のときのように連続的な GPS 測定値があればどちらの地震が先に起きたか特定できたはずであるが、サモア沖地震ではそうしたデータは入手できなかった。

米国海洋大気局（NOAA）が運用する DART という海底圧力センサーに記録された津波の波形も、地震の発生順序を知るための手がかりとなる。プレート境界地震とアウターライズ地震は地震断層の上で対照的な海面変位を引き起こすた

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

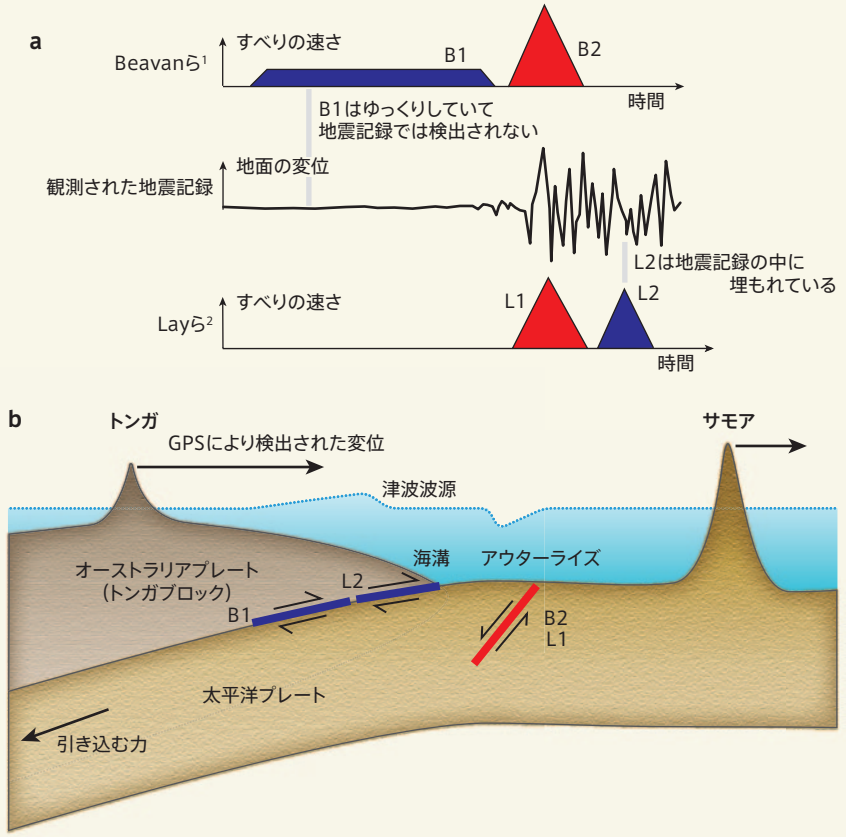


図 1　2009 年 9 月 29 日にトンガ海溝で発生した地震の 2 通りの解釈。 a. 2 つの地震が発生した順序について、Beavan ら[1]と Lay ら[2]は異なる結論に達した。ここでは、それぞれが先に発生したと考える地震を B1 と L1、後に発生したと考える地震を B2 と L2 とする。地震学的には、どちらの解釈も明確ではない。地震（B1）がゆっくりしていて、すべりの速さが遅い場合、その信号は通常の地震記録では検出できない可能性がある。また、第二の地震（L2）が第一の地震のすぐ後に起こる場合、その信号は地震記録の中で埋もれてしまう可能性がある。b. オーストラリアプレートと太平洋プレートがぶつかるトンガ海溝の模式図。2 つの研究グループ[1,2]は、B1/L2 が圧縮応力により 2 つのプレートの境界で起こるプレート間地震であったことと、目に見える主震（B2/L1）が伸張応力によりアウターライズで起こるプレート内地震であったことについては意見が一致している。Beavan ら[1]は、GPS の測定値と津波の波形のモデルからその結論を導き出した。Lay らの解釈は、入手可能な地震データの分析に基づいている。

め、津波の波形は、その原因となった地震の種類に強く影響されるからである。NOAA のモデル製作者は、遠地の津波を予測するためのリアルタイムのデータ同化（内挿や外挿）において、暗黙のうちにプレート境界地震モデルを考えていた[5]。Beavan らも、この地震はプレート境界地震であったと考えるほうが、DART ステーションで記録された津波の波形をうまく説明できることを示し、アウターライズ地震の前にゆっくりしたプレート境界地震が発生したと考えたときに最もよい一致を得た。彼らによると、この順序は、千島列島沖地震の場合と同じく、静的応力の変化によって説明できるという。

2 つの地震がほぼ同時に発生するときには、第二の地震からの信号は、第一の地震からの地震波の中に埋もれてしまう可能性がある。Lay ら[2]は、入手可能な地震データについて、非定型的で、詳細で、包括的な分析を行い、アウターライズ地震の後に発生した地震からの信号を検出することができた。彼らのモデルは、主震であるアウターライズ地震がプレート境界を揺さぶり、これを破壊したことを示唆している。こうした動的誘因は実際にあり、第一の地震から数百 km も離れた所の断層で記録されている[6]。

しかし、プレート境界地震が本当に後で起きたのかどうかを判断することは困難だ。その地震が、地震波の周期に比べてゆっくり発生した場合には、通常の地震記録では検出できないだろう[1]。超長周期地震記録を分析することで[2]、そうした「ゆっくり地震」の存在を示すことはできるが、超長周期記録から地震が発生したタイミングを正確に推定することは難しい。Lay ら[2]は、プレート境界地震は、一対のサブイベントとして海溝の近くで発生したと考えている。すべりが発生した場所がプレート境界の浅いところであるほど、そして、海溝軸に近いほど、地震はゆっくりになることが示されている[7]。ゆえに、プレート境界地震による破壊はゆっくり起きたのかもしれない。

まとめると、2 本の論文[1,2]はいずれも、2 つの地震のうちどちらが先に起きたかについて、不確定性を残している。そして、どちらの地震が原因で、どちらの地震が結果であったのかが明らかになるまでは、第二の地震の誘因が、伸張による断層運動での静的応力の解放であったのか、圧縮による断層運動での動的応力の解放であったのか、特定するのは困難である。■

（翻訳：三枝小夜子）

佐竹健治（さたけけんじ）、東京大学地震研究所。

1. Beavan, J. *et al. Nature* **466**, 959–963 (2010).
2. Lay, T. *et al. Nature* **466**, 964–968 (2010).
3. Ammon, C. J., Kanamori, H. & Lay, T. *Nature* **451**, 561–565 (2008).
4. Stein, R. s., King, g. C. P. & Lin, J. *Science* **265**, 1432–1435 (1994).
5. http://nctr.pmel.noaa.gov/samoa20090929
6. Gomberg, J., Reasenberg, P. a., Bodin, P. & Harris, R. a. *Nature* **411**, 462–466 (2001).
7. Bilek, s. L. & Lay, T. *Nature* **400**, 443–446 (1999).

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

分光法

電子のアト秒スナップショット

Attosecond prints of electrons

Olga Smirnova 2010年8月5日号 Vol. 466 (700–702)

アト秒分光法を利用して、クリプトンイオンの電子の動きがリアルタイムで追跡され、
原子から取り出された電子と残されたイオンとの間のエンタングルメント（量子もつれ）が調べられた。

ミクロの世界で起こる超高速現象を撮影するために、これまで「ポンプ−プローブ」型の装置が用いられてきた。まず「ポンプ」光パルスを照射して化学反応を開始させる。その後に当てる第二の「プローブ」光パルスは高速度カメラであり、動く物体のスナップショットをさまざまな瞬間に撮影し、変化を記録する。原子中で動く電子を撮るには、シャッターは1フェムト秒（1フェムト秒 $=10^{-15}$ 秒）以内に開閉しなければならない。Goulielmakis ら[1]は今回、原子中の電子運動をアト秒（1アト秒 $=10^{-18}$ 秒）パルスで初めて撮影し、*Nature* 2010年8月5日号の739ページで報告した。

彼らはポンプパルスに高強度赤外レーザーを用いて、クリプトン原子の最外（$4p$）殻から電子1個をすばやく取り除いた。するとクリプトンイオン（Kr^+）は、2つの最低エネルギー状態の重ね合わせ状態となった（図1）。この2つの相違点は、生成した正孔（原子から電子1個が取り除かれた状態）のスピンと軌道の運動量を合わせた全角運動量（J）が、1/2と3/2になることである。

このスピン−軌道相互作用の結果、2つの状態のエネルギーは異なるものとなる。2つの音が重なり合うと「うなり音」が生じるように、Kr^+ 中でこの2つの状態が正孔の波動関数にうなりを発生させる。うなりの位相（φ）は状態間のエネルギー差（ΔE）に比例し、時間（τ）とともに変化する。彼らは、150アト秒極紫外（EUV）プローブパルスを用いて Kr^+ イオンの $3d$ 殻から別の電子を励起し、光吸収をモニターしながら、経時的に変化する正孔の「写真」を撮った。

このアト秒「カメラ」の仕組みは、ヤングの干渉計（2つの異なる経路を通る光波が重なり合って、相対位相に応じて強め合ったり弱め合ったりする）によく似ている。2つの Kr^+ 状態を通る2つの励起経路が合わさって、$3d^{-1}$ という励起状態の Kr^+ になる（図1）。2つの経路の位相が合っていれば強め合い、$3d^{-1}$ 状態のイオンが多くなるので、大量のEUV光を吸収する。2つの経路の位相がずれていれば弱め合い、$3d^{-1}$ 状態は少なくなって、吸収は弱くなる。Goulielmakis らの実験では、光の吸収量はポンプ−プローブ遅延 τ とともに変化していることから、位相（$\varphi=\Delta E\tau/\hbar$、$\hbar$ は換算プランク定数）、ひいては正孔ダイナミクスが、時間とともに変化することを表しているわけだ。またすべての光周波数が同時にイオンと相互作用するので、吸収線1本のみをモニターした場合でも、彼らは吸収信号の変化を観測できた。

ここまでの話では、今回の測定方法もまた、典型的なポンプ−プローブ実験に見える。しかし、Kr^+ を作る途中でポンプパルスによって取り出された電子が干渉計から失われたことを思い出すと、別の重要な側面がみえてくる。$3d^{-1}$ 状態に至る両方の経路がこの損失を共有しているのだ。このため、彼らの実験は開放系を扱っており、完全な測定が行われなかったということになる。不完全な測定は、系の測定された部分（ここでは Kr^+ イオン）におけるデコヒーレンス（位相関係の損失）の元となる。では、このことは何を意味するのであろうか？

光学分野では、干渉計が光ビームのコヒーレンス評価にも使えることを思い出してみよう。同様に、彼らの研究における干渉縞（かんしょうじま）の鮮明さは、2つのイオンサブシステム、つまり Kr^+ イオンにおけるスピン−軌道ダイナミクスのコヒーレンスを評価するものとなる。除去された電子の量子状態が両経路に共通であれば、ダイナミクスはコヒーレントである。そうでなければ、コヒーレンスは失われる（図1a）。後者の場合、2つのサブシステムは独立して扱うことができない。除去された電子とイオンがからみ合っているからだ。したがって、除去電子に関する情報の不足は、イオンの2状態間の位相に関する情報の喪失につながる。言い換えると、エンタングルメント度が高いと、正孔運動のコヒーレンスが低くなる。

Goulielmakis ら[1]は、Kr^+ と失われた電子のコヒーレンス、そしてエンタングルメントを評価した。彼らの実験では、イオンサブシステム中の異なる2経路と相関する除去電子の2つの量子状態

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

が、高強度超短ポンプパルスによって大きく重なり合うため（図 1b）、電子－イオンエンタングルメントが低く、正孔波束のコヒーレンスが高く、干渉縞の鮮明度が高くなる。このようにデコヒーレンスを調べられることは、この実験の非常に重要な側面なのである。

この実験は、2 色コヒーレント制御方式[2]を連想させる。この方式では、2 つの中間状態（J = 1/2、3/2）から最終状態へ系を進めるため、2 色の光の相対位相によって最終状態の集団を制御する。したがって、アト秒パルスに頼らずに、位相 φ を制御した 2 つの「位相同期」色で十分だったと考える人もいるだろう。こうした観点からみると、時間遅延アト秒プローブは、単に便利な方法に過ぎないようにみえる。実際、系を $3d^{-1}$ 最終状態に進める両方の色は、彼らが用いた超短プローブパルス中に自然に存在しており、相対位相はポンプ－プローブ遅延とともに変化する。本当に、アト秒プローブパルスは必要なのだろうか？

答えは、開放系を扱うなら、概してイエスである。気相で行われた Goulielmakis らの研究では、デコヒーレンスは正孔波束の生成中にしか生じず、その後、時間とともに変化することはない。しかし、彼らの方法の強みは、凝縮相（液体や固体など）でも利用できることである。このとき、デコヒーレンスは、ポンプとプローブパルスの時間遅延の間にすばやく変化する可能性があるため、今回の実験[1]のような直接的な時間領域測定が不可欠になる。長いパルスで動作する 2 色コヒーレント制御方式では、電子コヒーレンスの超高速変化をとらえられない可能性があるのだ。

以前から、何オングストロームにもわたるサブフェムト秒正孔移動が大分子中で起こると予測されてきた[3,4]。そのような運動は、フェムト秒スケールの原子核ダイナミクスにも重要な影響を及ぼすかもしれない[5]。したがって、正孔の移動先で分子結合が切れる「電荷誘導反応性（change-directed reactivity）」[6]という概念と関係している可能性がある。この考えは、生成時の正孔波束のコヒーレンスを仮定しており、今回のアト秒過渡吸収分光法は、この重要な仮定をチェックするのに適していると考えられる。

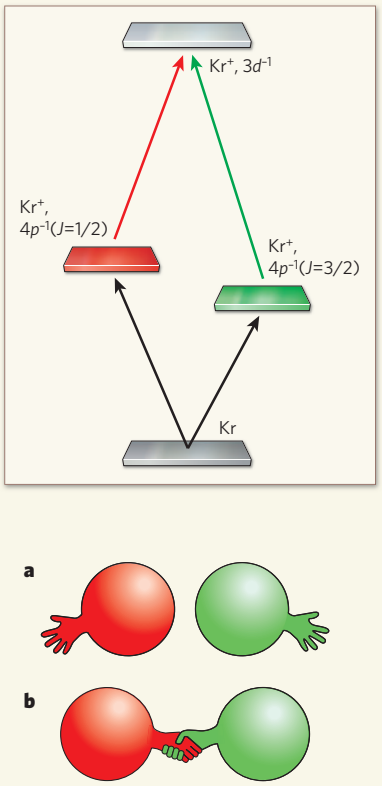


図 1. 初のアト秒プローブ実験。 Goulielmakis ら[1]は、リアルタイムで電子運動を観測する方法を報告した。クリプトン原子 (Kr) に、数秒続く赤外光「ポンプ」パルスを照射して電子を遊離させ、$4p^{-1}$(J = 1/2) と $4p^{-1}$(J = 3/2) (J は全角運動量) の 2 状態の重ね合わせ状態にある Kr^+ イオンを発生させた（黒色矢印は、2 つのイオン化経路を示す）。次に、極紫外光のアト秒「プローブ」パルスをイオンに照射し、よりエネルギーの高い $3d^{-1}$ 状態に励起した（赤色と緑色の矢印は、可能な 2 つの励起経路を示す）。完全系はからみ合った電子－イオン対である。**a.** イオンが異なる励起経路で $3d^{-1}$ 状態に到達すると、遊離電子は直交量子状態を取る可能性がある。球は、同一電子（Kr^+）の 2 つの状態を表している（赤色は J = 1/2、緑色は J = 3/2）。球の「手」が触れ合っていないのは、それらの状態が重なり合っていないことを示している。**b.** 2 つの量子状態の強い重なり合い（球の握手）が、エンタングルメントを低くし、2 つの可能なイオンの励起経路を干渉させる。この干渉を測定することで、Kr^+ の正孔の運動をリアルタイムで追跡し、コヒーレンスと電子－イオンエンタングルメントの程度を評価した。

分子における正孔運動とほかの電子モードや振動モードとの結合は電荷誘導反応性の原因となるが、これは時間とともに変化するデコヒーレンスと見なすことができる。これも、彼らの方法で調べられるだろう。そのような実験では、ポテンシャルエネルギー面が交差する点、すなわち円錐交差における異なるポテンシャルエネルギー面間での電子コヒーレンスの役割が検討されるかもしれない。

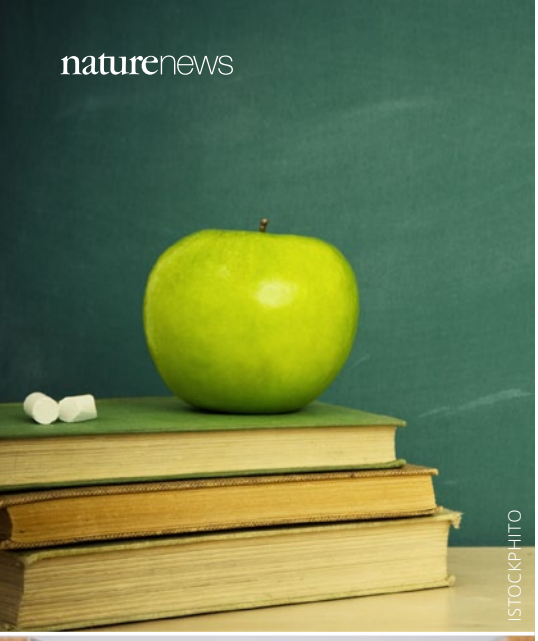
光学系でたとえると、円錐交差はビームスプリッタである。光学では、単一光ビームがビームスプリッタにぶつかると、アウトプットとして明確な位相関係をもつ 2 つのビームを生成する。この逆過程を想像してみると、アウトプットとして単一ビームを得る（分子でいうと特定の化学反応生成物を得る）には、光線の相対位相と振幅の精密制御が必要になる。これと同様に、正孔波束を構成する電子状態の振幅と位相は、波束の円錐交差の通過の仕方や、分子ビームスプリッタのアウトプットで出現するものに影響を及ぼすと予想できるだろう。多くの生物系や化学系では電荷移動が重要な役割を果たしている。アト秒スケールの電子コヒーレンス生成およびそれに続く数十フェムト秒にわたる時間変化を評価できるようになれば、新しい化学反応機構の発見や評価への道が開かれるに違いない。■

（翻訳：藤野正美）

Olga Smirnova、マックス・ボルン非線形光学超短時間分光学研究所（ドイツ）。

1. Goulielmakis, E. *et al. Nature* **466**, 739–743 (2010).
2. Brumer, P. & shapiro, M. *Principles of the Quantum Control of Molecular Processes* (Wiley, 2003).
3. Breidbach, J. & Cederbaum, L. S. *Phys. Rev. Lett.* **94**, 033901 (2005).
4. Hennig, H., Breidbach, J. & Cederbaum, L. S. *J. Phys. Chem. A* **109**, 409–414 (2005).
5. Remacle, F. & Levine, R. D. *Z. Phys. Chem.* **221**, 647–661 (2007).
6. Weinkauf, R. *et al. J. Phys. Chem. A* **101**, 7702–7710 (1997).

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved



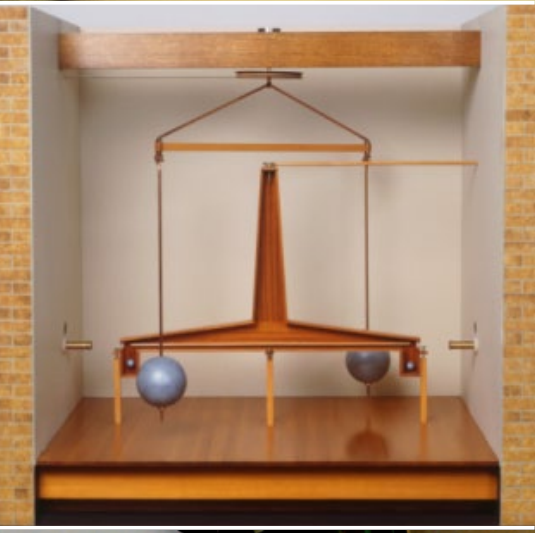
ISTOCKPHITO

重力定数の最新測定値が合わない

G-whizzes disagree over gravity

Eugenie Samuel Reich 2010年8月26日号 Vol. 466 (1030)
www.nature.com/news/2010/100823/full/4661030a.html

最新の重力定数の測定により、定数の推奨値は引き下げられ、
不確かさも大きくなる見込みだ



ヘンリー・キャベンディッシュのねじりばかりの模型（中）と、その最新の後継者であるレーザー干渉計（下）。

CLIVE STREETER/DORLING KINDERSLEY/GETTY IMAGES

H. PARKS/JILA

重力定数（万有引力定数）は英国の科学者アイザック・ニュートンが見いだした万有引力の方程式に登場する定数で、万有引力の強さを定めている。物理学や計測学の分野では大文字の *G* で書かれる。地球の重力を最初に測定したのは英国の科学者ヘンリー・キャベンディッシュで1798年のことだった。キャベンディッシュの測定から得られた *G* の値は約1%の不確かさをもっていたが、現代の精密測定で不確かさは100万分の20ほどにまで小さくなっていた。

しかし、ここにきて *G* の値をどこまでも精密にする努力は壁にぶつかったようだ。最近の2つの実験の測定結果は、それまでの測定結果から大きくずれており、定数の不確かさは増加する見込みだ。

重力定数は重力と量子力学を統合しようという取り組みにも関係している一方、*G* を決定する努力は実験物理学のさまざまな分野の進歩を促してきた。例えば、重力定数を測定するために開発された実験装置は重力波の検出器に使われている。しかし、*G* を測定すること自体が目的である研究者もいる。コロラド大学（米国ボールダー）の物理学者 James Faller もその1人で、「重力定数を求める測定は究極の精度が必要な実験なのです」と話す。

計測学者たちは、これまで *G* をねじりばかり（細いワイヤで棒をつるして微小な力を測る装置）を使って測定してきた。棒の端の近くに質量を置くと微小な重力が棒を *G* に比例した角度だけ回転させる。2000年、ワシントン大学（米国シアトル）の Jens Gundlach と Stephen Merkowitz は、ねじりばかりに新しい工夫を加えた方法を使って、それまでで最も正確な測定を行った[1]。その結果、*G* の値は $6.674215\times10^{-11}\mathrm{m^3kg^{-1}s^{-2}}$ と結論された。測定結果の不確かさは100万分の14だった。

しかし今、2つの別の測定方法が Gundlach と Merkowitz の測定に匹敵する精度を備え、従来の値に挑んでいる。Faller とサンディア国立研究所（米国ニューメキシコ州アルバカーキ）の Harold Parks は、釣り下げた重りの位置がさまざまな位置に置かれた質量によって変化するのをレーザー干渉計を使って測定し、*G* の値を求めた。その論文は *Physical Review Letters* に発表された[2]。Faller らの測定結果は $6.67234\times10^{-11}\mathrm{m^3kg^{-1}s^{-2}}$、不確かさは100万分の21であり、Gundlach と Merkowitz が測定した値よりも標準偏差（データのばらつきの程度を示す量）の10倍も小さい。

また、2009年、中国の湖北省武漢にある華中科技大学の Jun Luo が率いる研究チームは、異なる距離に置かれた質量のそばをねじり振り子が通過するのにかかる時間を比較することによって *G* を測定し、*Physical Review Letters* に発表した[3]。Luo らの結果は、$6.67349\times10^{-11}\mathrm{m^3kg^{-1}s^{-2}}$、不確かさは100万分の26というものだった。これは、Gundlach と Merkowitz の測定値より

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

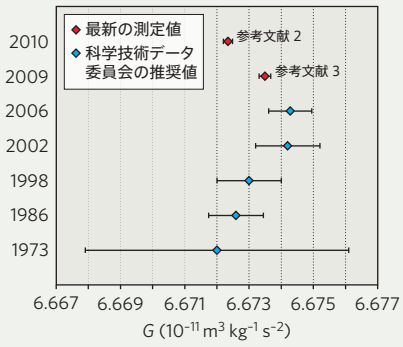
も標準偏差の約3倍小さい。計測学者たちは、ずれはあったとしても標準偏差の2倍ほどだろうと予想していた。

現在、ワシントン大学にいるStephan Schlamminger は、スイスのチューリッヒ大学にいたとき、*G*を測定し、Gundlach と Merkowitz の測定値に極めて近い結果を報告した[4]。Schlamminger は「今回の不一致がなぜ起こったのかはわかりません。系統誤差のためである可能性はあります。だからこそ、*G*をさまざまな方法で測定することが重要なのです」と話す。国立標準技術研究所（NIST、米国メリーランド州ゲイサーズバーグ）の Barry Taylor は「さまざまな効果の影響を見逃し、考慮に入れていないのでしょう」と指摘する。

パリに事務局を置く国際科学会議（ICSU）科学技術データ委員会（CODATA）は、4年ごとに物理定数の推奨値を改訂しており、今回の最新の測定結果は、2011年初めに決定される次の推奨値で*G*の値が改訂されるであろうことを意味する（グラフ「変わる定数」を参照）。委員の1人である Taylor は「今回の新たな測定値によって新しい推奨値は引き下げられるでしょう。最終的な不確かさも、今と同じか、より大きくなるでしょう」と話す。

変わる定数

G（重力定数）の推奨値はこの40年間でわずかに大きくなった。しかし、最新の測定結果を踏まえ、推奨値は引き下げられるだろう。



Faller は「従来の測定と一致しない結果を発表するまでには何年もかかることがあります。自分が間違っているのかもしれないというおそれのためです」と打ち明ける。Faller と Parks は実験を2004年に行ったが、見落としているかもしれない効果を探して発表まで6年を費やした。しかし、彼は今では自分の測定は確かなものだと確信している。「私はすべてをチェックしました。もうこれで十分だと感じています」。■

（翻訳：新庄直樹）

1. Gundlach, J. H. & Merkowitz, S. M. *Phys. Rev. Lett.* **85**, 2869 (2000).
2. Parks, H. V. & Faller, J. E. *Phys. Rev. Lett.* **105**, 110801 (2010).
3. Luo, J. *et al. Phys. Rev. Lett.* **102**, 240801 (2009).
4. Schlamminger, S. *et al. Phys. Rev. D* **74**, 082001 (2006).

湖水爆発を回避する闘いは続く

Battle to degas deadly lakes continues

NICOLA JONES 2010年8月26日号 Vol. 466 (1033)
www.nature.com/news/2010/100823/full/4661033a.html

カメルーンのニオス湖に蓄積する二酸化炭素のガス抜き事業は、10年近い時間を経て最終段階に差しかかっている、とプロジェクトの研究者は口をそろえる。しかしアフリカには、今すぐか将来かは別にして、深刻な危険をはらむ湖がさらに2つある。

1986年、カメルーンの片田舎にあるニオス火口湖の深層から CO_2 が爆発的に放出され、周辺住民1700人が窒息死し、世界の注目を集めた。ガスは数十年、もしくは数百年にわたり、地下のマグマから湖水に溶け込んでいた。ガスが飽和した重い水は湖底付近の層に集まっていて、地すべりや豪雨で湖水が激しく動くと、ガス放出の引き金が引かれる。それが「湖水爆発」だ。多くの住民が窒息死したことで、人命にかかわるこの珍しい自然災害が注目され、科学者による再発リスク低減への検討が進められてきた。

2001年、当時サヴォワ大学（フランス・シャンベリー）で物理学と工学を研究していた Michel Halbwachs を中心とするチームは、ニオス湖の真ん中に長いパイプを設置し、ガスを含む水を深層から汲み上げ始めた。汲み上げた水は、パイプの先端からシャンパンのように

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

噴き出して CO_2 を大気中に放出し、無害な水となって湖面に落下する。これによって、ガスが蓄積された水の層は縮小し、それがはらむリスクも確実に低下してきた。

「障害はあるが基本戦略は機能している」と話す Halbwachs は、現在、ガス抜き事業を行うデータ・エンバイロンメント社（フランス・シャンベリー）の総責任者を務めている。しかし、1 本のパイプで抜くことができるガスの量は限られており、住民はなお危険にさらされている。パイプの数を増やせばよいのだが、資金がなかなか集まらなかったのだ。それでも、Halbwachs によると、10 年を超える活動の結果、パイプ 2 本の増設用として 140 万ユーロ（約 1 億 6000 万円）の寄付が国連開発計画（UNDP）から受けられることになり、2010 年 11 月から 2011 年 2 月のパイプ設置をめざしているという。ただし、「国際的な資金供与では長期の遅れは珍しくない」そうで、新しいパイプによって、5 年以内にニオス湖周辺地域を湖水爆発の危険から解放できればよいと想定している。

ミシガン大学（米国アナーバー）の生物地球化学者であり、数十年にわたってニオス湖を研究している George Kling は、「これは立派なサクセスストーリーです」と語る。一方で、この計画が再び頓挫（とんざ）する危険性も指摘する。「パイプが実際に設置される時期について、さまざまな説を耳にします」と Kling はいう。「地域住民のために、できるだけ早く何とかして欲しいと思います」。

さらに Kling は、ほかの湖ではまだ脅威が取り除かれていない、と指摘する。「問題がすべて解決されたわけではありません。科学者がなお懸念をもっていることを、政府関係者に念押しする必要があります」。

ニオス湖に程近く、同じような湖水爆発で 1984 年に 37 人が死亡したマヌーン湖では、2003 年から Halbwachs が稼働させているパイプが、2006 年に増設された 2 本とともに、深層水のガス抜きに成功している。マヌーン湖に関しては、Halbwachs は安全宣言を出した。しかし Kling は、まだ新しい問題が残されているのではないかと考えている。確かに、湖水に形成されていた層は数年越しの吸い上げで効果的に消失したが、湖底から新たに湧き出してくるガスは、以前よりも大量の水に溶け込んでいくようになった可能性がある。Kling によれば、低濃度で大量のガスは、ガス圧が低いためにパイプを昇っていくことができず、対処が困難だという。

ガスを多く含む水がニオス湖から噴出する。

M. HALBWACHS

東海大学（神奈川県平塚市）の地球化学者である大場武（おおばたけし）は、マヌーン湖に対して永続性の高い解決策を講ずることをめざし、科学技術振興機構（JST）と国際協力機構（JICA）から半分ずつ、合計 400 万ドル（約 3 億 4000 万円）以上を調達しようとしている。大場の研究チームは、2011 年 2 月に現地を訪問し、地元の科学者を訓練してガスを含む湖底の水を汲み出すポンプを開発する計画を立てている。

ルワンダとコンゴ民主共和国の国境となっているキヴ湖では、別の問題が存在している。キヴ湖の深層水は CO_2 とメタンを含んでいる。商業的プロジェクトが複数進行中で、メタンを抽出してエネルギーを取り出しつつある（*Nature* **460**, 321–323; 2009、*Nature* ダイジェスト 2009 年 10 月号を参照）。これまでに 4 メガワットの発電所 1 基が建設されて稼働している。Halbwachs が所長を務める 3.6 メガワットの発電所は、最初の採集プラットフォームが 2008 年に沈んだ後に再建されたものだ。この発電所は 2010 年 6 月、無事に試運転を終えたが、まだ稼働を開始していない。いずれも、将来建設される予定の発電所と比べれば小規模の実験的なプロジェクトだ。現在、数百メガワット規模の発電所が計画されているのだ。

キヴ湖の大部分は比較的安定しており、ガスを多く含む水が存在するのは水深 330 メートル以深だ。しかし Kling によれば、計画されている大きな発電所から出るガス抜き水が、間違いなく深層水をかき乱さない場所に放流されるよう、規制を急ぐ必要があるという。さもないと、湖水爆発の危険性が高まってしまうからだ。地元で重要な食物源となっている魚を、栄養素と酸素の濃度を乱すことによって脅かさないようにする配慮も必要になる。

狭い水路でキヴ湖とつながっているカブノ湾には、はるかに深刻な脅威が潜んでいる。危険な量のガスが、水深わずか 12 メートルのところにたまっているからだ。世界銀行は、この湾のガス抜きに 300 万ドル（約 2 億 6000 万円）の拠出を行うと発表したが、Halbwachs によれば、データ・エンバイロンメント社がその事業を始めるなら、さらに 200 万ドル（約 1 億 7000 万円）が必要になるという。「カブノ湾ではニオス湖の 10 倍の二酸化炭素が含まれていて、周辺には非常にたくさんの住民がいるからです」と Halbwachs は語っている。 ■

（翻訳：小林盛方）

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

米国の天文分野の「十年調査」に学べ

Far-sighted vision

2010年8月19日号　Vol. 466 (903)

米国の天文学研究の重点課題リスト最新版には、
他の科学分野にとっても貴重な教訓が数多く含まれている。

ソ連（当時）が人工衛星「スプートニク」の打ち上げに成功した1957年以降、米国では科学研究に対する資金援助が激増した。そして1964年には、天文学者自らが、天文学への貢献が期待される大型プロジェクトをリストアップすることになった。その結果として十年調査（10か年計画）が発表され、その後の10年間に新設が希望される望遠鏡に関する優先順位リストが示された。このやり方は、政治家と資金提供機関の間ですぐに評判となり、現在では、類似の重点課題リストが、さまざまな研究分野でも作成されている。

ところが、最近、天文学研究の十年調査に問題が生じていた。重点課題リストが過度に野心的で、予算や日程を逸脱したプロジェクトが含まれるようになったからだ。これに対し、8月13日に公表された最新の十年調査（*Nature* 2010年8月19日号910ページ参照）は、前回までの調査にみられた基本的問題のいくつかを解決しようとしており、他の研究分野で希望リストを作成している研究者も、これに注目すべきであろう。

過去数回の十年調査は、天文学の各分野の希望をすべて聞き入れようとする誤りを犯した。最近の希望リストを見ると、例えば、X線天文学や赤外線天文学のような分野の特定用途向けの機器が記載されているが、実際に10年間ですべて建設できるかどうかの評価はなされてこなかった。また、個々のプロジェクトが大型化、複雑化して、進捗（しんちょく）の遅れや費用の高騰をまねいた。こうした問題のために各期間の課題遂行が遅れてしまい、せっかく十年調査によって資金提供機関の支援拡大を狙っているのに、かえって調査に対する信頼が損なわれてしまった。

今回の十年調査は、経済危機の継続という現実を直視しつつ、こうした問題点に正面から取り組むことをめざしている。例えば、多目的に利用可能な大型望遠鏡の新設を承認することで、天文学のいくつかの研究分野の要求に一度に対応している。また、宇宙での観測における最優先課題として、広視野赤外線探査望遠鏡を挙げている。この望遠鏡は、太陽系外惑星の探索、銀河の形成に関する研究、宇宙膨張を加速させる謎の力（ダークエネルギー）の測定に用いられる。

地上では、2基目の広視野望遠鏡を設置し、3日に一度、肉眼で見える空全体を撮像してペタバイト級のデータを生成し、全世界の天文学者に公開する計画になっている。

また、今回の十年調査では、各プロジェクトの予算について独立評価を行い、費用見積の信頼性を高めようとしている。この新しい手法は、2001年の十年調査での最優先課題だったジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡の費用が見積もりの4倍を超えたという厳しい教訓から学んだものだ。

この新手法についても、もちろん批判の余地はある。まず、いくら天文学の数多くの分野で共用できるといっても、そこにはおのずと限度がある。例えばX線望遠鏡は、赤外線望遠鏡とは大きく異なっている。また、どの程度熱心に協力を進められるのかも不透明だ。広視野宇宙望遠鏡は、従来のダークエネルギー調査ミッションの焼き直しであり、この分野以外の研究者は、ダークエネルギー研究の優先順位が当初の目的よりも下がったという疑いを抱いている。また、綿密な予算編成が行われるということは、一部の大胆な研究プロジェクトの優先順位が、より保守的な研究提案よりも低くなることを意味している。

十年調査委員会のメンバーは、このように問題化する可能性のある点については、調査のプロセスに柔軟性をもたせることで対処したいと考えている。すなわち、十年調査書の内容を2020年まで不変なものとして扱うのではなく、常設委員会を設置して各プロジェクトを定期的に評価することや、惑星探索などさまざまな優先分野における進捗状況を精査することを提案している。こうした評価や審査の内容は、現在と将来のプロジェクトの成果に左右される。

今回の十年調査で、このプロセスが活動停止の危機から救われたことは明らかだ。優先課題のリストは妥当な内容となり、予算の範囲内で実現可能なものとなった。この天文学の例は、決して平坦とはいえない今後の10年にとって、堅実な見本となることが期待される。十年調査を計画している他の研究分野も、この例に倣うべきだ。■

（翻訳：菊川要）

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

不正行為による巻き添え被害

Collateral damage

2010年8月26日号　Vol. 466 (1023)

ハーバード大学の進化生物学・心理学の著名教授による科学的不正行為が衝撃を与えている。大学による調査概要は出たが、不正行為に無関係と思われる研究室員などへの影響は深刻だ。

8月20日に科学的不正行為が公表された進化心理学者Marc Hauserの暗澹(あんたん)たる話には、ただ1点、救いがあるかもしれない。それは、Hauser教授のデータ解釈方法に対する懸念を大学側に通告した若手研究者の勇気だ。

Hauser教授はこの分野のスター研究者で、有名知識人だ。同教授のハーバード大学（米国マサチューセッツ州ケンブリッジ）の研究室に所属する研究員が、このような手強い人物を相手に苦情を申し立てることは、自らの職業生命を大きな危険にさらすことを意味している。

大学院生やポスドクは、不正行為を目撃する最適な位置にあることが多い。ところが、彼らのキャリアは、こうした不正行為の巻き添え被害に最も弱く、特に彼らのメンターが不正行為を行った場合はなおさらだ。若手研究者の評判は、その指導教官の成功と失敗に緊密に結びついており、指導教官が不正行為で非難されれば、その弟子にも疑いの目が向けられることがある。

Hauser教授の手を経た数多くの卒業生やポスドクの先行きも不透明なものとなった。別の研究室に移らざるを得なくなった者も出ている。大学教員の応募資格のある者は、現在の地位を採用委員会にどのように説明すべきか悩んでいる。ハーバード大学での3年間の調査を率直に話すべきなのだろうか。また、新任教員となり、研究助成金を申請しようとしている者にも心配の種がある。Hauser教授と共同発表した研究論文については、どのように記載すべきなのだろうか。Hauser教授との共著論文は、いつごろ、論文誌に投稿するのが無難なのだろうか。不正行為事件があると、ほとんどいつでも、こうしたジレンマが、表に出ない形で繰り広げられる。

Hauser教授の調査に関する初めての報告書が8月中旬に発表されて以降、ハーバード大学は、調査結果の公表を拒否しているが、こうした若手研究者に対する圧力は高まる一方だ。大学側は、同教授以外の研究者やほかの研究論文が、この事件に関与しているのかどうかについて何も語っていない。

幸いにも、沈黙は続かなかった。8月20日、ハーバード大学が、内部調査による結論の概要を公表したのだ。Hauser教授は非ヒト霊長類の行動観察結果とヒトの重要特性（例えば道徳性）の進化の結びつきを研究してきたが、内部調査は、データの取り扱いと結果の報告に問題があったと認定した。この大学側の声明では、8件の不正行為についてHauser教授にのみ責任があることが強調されており、発覚した不正行為の関係する論文はわずか3本だった。

ハーバード大学が調査内容を公表しないため、マスメディアで激しく批判されたが、大学側が不正行為の内部調査結果を公表しないのは一般的なことであり、時には必要なこととされる。これは、事件が複雑な場合（不正行為事件は複雑なことが多い）や、調査結果に異議申し立てがあった場合、あるいは他の研究者の関与が認められる場合に、特に当てはまる。確かに米国研究公正局（ORI）は、国立衛生研究所の研究助成を受けた研究者の調査を監視し、研究機関に対して、ORI独自の評価が完了するまで調査結果を公表しないように要請している。これにより、事件に対する判断が、大学による独自調査の終了から数週間あるいは数年遅れることがある。

公表しないことには、実際的な理由もある。ORIが聴聞会を開催する必要がある場合には、証人となる可能性のある人物が、聴聞会以前に調査結果を知ってしまうと、それに影響を受けて証言するおそれがあり、ORIは、それを避けたいのだ。

今回の事件では、研究者と報道機関から2週間にわたって圧力を受けた後、ハーバード大学は、予定を前倒しして、内部調査の要点を発表したが、その判断は正しかった。この大学側の動きは、Hauser研究室の若手研究員の負担を完全に取り除くものではないが、同教授の不正行為の全容が明らかになるまでの間の負担を軽くできるかもしれない。

こうした負担軽減は、若手研究者に対する褒賞として歓迎すべきだ。今やHauser研究室では、動物の行動だけでなく、人間の行動についても疑問符がついてしまったが、この研究室の若手研究者の行動は、真の科学者が取るべき行動に値するものだった。■

（翻訳：菊川要）

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

Volume 467
Number 7311
2010年9月2日号

Podcast

耐性を分かち合う：抗生物質感受性の仲間を守る寛大な耐性菌

RESISTANCE SHARED: Charitable bacteria protect antibiotic-susceptible kin

抗生物質耐性菌株の出現は、臨床的にますます大きな脅威になっているが、その出現過程はよくわかっていない。大腸菌の継代培養を抗生物質の1つに曝露し、しだいにその濃度を高めていく実験によって、自然発生した少数の薬剤耐性変異体が、集団の大多数を抗生物質から守ることが明らかになった。このような高度な耐性をもつ単離株はシグナル分子のインドールを産生し、これが仲間の抗生物質感受性菌がもつ薬物排出ポンプなどの防御機構を活性化する。こういう利他主義によって、集団内のより弱い構成員が生き残ることができ、有利な変異を起こす機会を得る。細菌がどのような細胞内情報交換機構を使っているのかがさらに研究されれば、耐性菌の感染を制御する臨床介入法の合理的設計に重要なヒントが得られる可能性がある。

環境：中国の成長は気候変動にどのくらい影響を受ける？

China's growth factor

数十年後には世界第一位の経済大国となると予想されている中国は、気候的にも生態的にも著しく多様である。中国の経済成長が地球全体の気候に与える影響については詳しく研究されているが、その逆の問題、つまり中国の自然および人為的システムの気候変動に対する感受性についてはほとんどわかっていない。本号ではS Piaoたちが、過去および将来の気候変動が中国の水資源および農業に与える影響を評価している。気候（特に気温）の傾向が明らかであるにもかかわらず、作物の応答および予想される気候（特に降水量）に関しては、自然の変動性や不確定性によって全体的な影響が目立たなくなることがわかった。最良のシナリオでは作物生産量は一定だが、最悪のシナリオでは、2050年までに生産量が約20パーセント低下する可能性が示唆されている。

宇宙：老いた星に見つかった水の特徴

Water features in old stars

2001年、老いた炭素星IRC+10216の周囲に水蒸気が見つかったのは予想外だった。星の進化モデルでは、炭素に富んだ星には水は事実上存在しないと予想されているからである。いくつかの説明が提案されたが、炭素に富んだ進化した星の1個に水の輝線が1本見つかっただけでは、これらの説明の可否を見分けるのは難しかった。今回、欧州宇宙機関のハーシェル衛星を使った観測で、IRC+10216の遠赤外領域とサブミリメートル領域のスペクトルに、数十本の水の輝線が見つかった。これらには、約1000ケルビンの温度に相当するエネルギーをもつ高励起線が含まれている。この結果は、エンベロープ内側の暖かく炭素微粒子に富む領域に水が存在すると考える以外に説明が付かない。

神経：ニューロン細胞危機一髪！

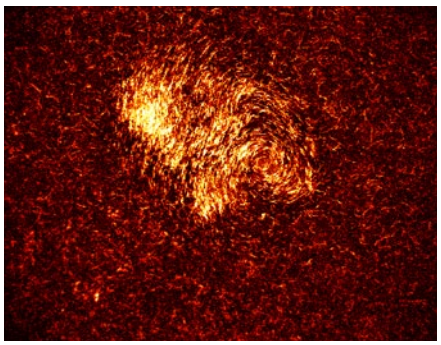
Neuronal cells on knife-edge

末梢神経系のニューロンが生き残るためには、細胞の増殖と成長を維持する天然の増殖因子である栄養因子が必要だ。中枢神経系のほとんどのニューロンはそのような助けがなくても生き残ることができる。なぜ末梢ニューロンは栄養因子がないとだめなのだろうか。Nikoletopoulouたちは、遺伝子操作した胚性幹細胞を用いて、成長中のニューロンでニューロトロフィン受容体TrkAとTrkCが「依存性受容体」として機能し、保護因子がない場合は細胞死を誘導することを明らかにしている。主に中枢神経系に発現する近縁の受容体TrkBには、そのような作用はない。このことから、末梢神経系と中枢神経系の分離に伴う*Trk*遺伝子ファミリーの拡大が、細胞数調節の機構を生み出したのではないかと考えられる。

生物物理：生命のパターン

The patterns of life

自走する多くの構成要素からなる複雑系で起こるパターン形成は、広く存在する現象であり、鳥の群れや微生物のコロニー、生細胞の細胞骨格などさまざまな系でみられる。しかし、十分単純なモデルがないため、その機構の統一的説明はなかなか進展しなかった。しかし、今回、こういう単純モデルの候補が見つかった。この新しい実験系では、表面に固定されたモータータンパク質によって推進されるアクチンタンパク質フィラメントが使われている。フィラメントは、臨界密度を超えると自己集合して、クラスター、渦、相互連結したバンドなどのコヒーレントに運動する構造体が形成され、持続的に密度調節が行われる。実験観察とシミュレーションを組み合わせて、秩序構造の集合・組み立てや解離の基礎となるさまざまな機構が明らかになり、弱く局所的な整列相互作用がパターン形成に不可欠であることがわかった。この系は制御可能であり、より複雑な相互作用に拡張できる余地があるため、微視的相互作用から巨視的秩序が出現するのを調べるのに適していると考えられる。



VOLKER SCHALLER, CHRISTOPH WEBER, CHRISTINE SEMMRICH, ERWIN FREY & ANDREAS R BAUSCH

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）。

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

Volume 467
Number 7312
2010年9月9日号

Podcast

DNA 塩基配列解読法：グラフェンのナノ細孔を通過させる

DNA SEQUENCING: Enter the graphene nanopore

グラフェンとして知られるほぼ原子1個分の薄さのグラファイトは、面内での電子伝導性が非常に高い。今回、ハーバード大学とMITの研究グループが、2つの液体を隔てる膜としてグラフェンを使うと、強いイオン絶縁体となる一方で、その面内電子特性は界面環境に強く依存すると予測されることを示している。グラフェン膜はイオンや水を透過しないが、原子1個分の近さにあるグラフェン両表面にさまざまなイオンや分子を引き付ける。そのため、いろいろな分析応用が考えられそうだ。例えば、これらの「トランス電極（trans-electrode）」グラフェン膜に直径数ナノメートルの孔を開けると、そこに長いDNA分子を通すことができる。このようなDNAは、イオンの流れを妨げるため、DNA分子の大きさとコンホメーションを反映した特徴的な電気信号が生じる。このような系は、DNA塩基配列解読のコストを大幅に低減しうるデバイスの基盤となるかもしれない。

進化：背中に「こぶ」をもつ恐竜

The hunchback of Las Hoyas

スペインのラスオヤスで発見された保存状態の極めてよい中型恐竜のほぼ完全な骨格は、羽毛様構造物の役割および起源に関する議論に重要なかかわりがある。この新種のカルカロドントサウルスは、尺骨に大羽のような「羽毛」をもっていたことから、この特徴をもつ最も原始的な獣脚類となり、したがってこの恐竜分類群の羽毛の起源を説明できる可能性がさらに高まった。しかし、もっと不思議なのは、2つの背椎の神経棘に由来するこぶ様の構造の存在で、それには明白な機能が見当たらない。

RAÚL MARTÍN

気候：ヤンガードリアス期における温暖化と寒冷化

Hot and cold younger Dryas

ヤンガードリアス期は、約1万2900年前に北半球が突然寒冷化した時期で、おそらく最もよく知られている急激な気候変化の例であろう。しかし、ヤンガードリアスの全球的な広がり、特にニュージーランドの氷河の振る舞いに関する記録における広がりは、激しい議論が続いている問題である。ヤンガードリアス期のニュージーランドのサザンアルプス山脈における氷河の成長パターンと後退パターンを新たに復元した結果、北半球の気温の低下が、一連の気候フィードバックを介して南半球の温暖化や氷河の後退を引き起こしたという説が裏付けられた。

地球：地震空白域に注意せよ

Mind the seismic gap

チリで最近起きたマグニチュード8.8のマウレ地震の震源近傍で得られた地震データおよびGPS観測の解析を、アンデス沈み込み帯のモデル化と組み合わせて、この地震の詳細な描像が得られた。この地震は、1835年以来大きな地震が起きていなかった断層上の「地震空白域」で起きたもので、1835年以後この地域に蓄積されていた応力の大部分を解放したと考えられる。今回の結果は、単一アスペリティ規模の地震時すべりの不均質性と、それによる将来の大地震の可能性は、測地学的観測によって予想できるだろうことを明らかにしている。

遺伝：初めての *p53* 遺伝子ノックアウトラット

On target in the rat

ラットは、ヒトの生理機能や疾患の研究で、モデル動物として広く用いられている。しかし遺伝子ターゲッティング手法の使える範囲が限られているため、これまでは機能ゲノミクスや遺伝学的研究が著しく制限されていた。今回Q-L Yingたちは、ラットの胚性幹細胞での相同組み換えによる遺伝子ターゲッティング法を確立し、*p53*遺伝子ノックアウトラットを初めて作製した。このラットは、広くみられる腫瘍抑制因子p53の生理学的、薬理学的研究にぴったりである。

システム生物学：ノイズの功罪

Good and bad sides to noise

均質な環境に存在する遺伝的に同一な細胞でも、互いに全く異なる挙動をすることがあるが、それは各細胞の遺伝子の発現量や活性に、不可避でランダムな揺らぎ、すなわち「ノイズ」が広く存在するからである。ノイズは、信頼性の高い遺伝子回路を作る場合には邪魔者であり、ノイズへ対処するためにさまざまな制御回路が進化してきた。しかし、多数の新たな研究により、「ノイズのない」遺伝子回路では達成するのが困難あるいは不可能だと考えられる重要な機能が、ノイズによって得られる場合もあることが明らかになりつつある。本号ではA EldarとM Elowitzが、ノイズそのもの、ノイズがみられる遺伝子回路の構造、およびノイズによって可能になる生物学的機能の3つをつなぐ、最近明らかになってきた原理について論じている。またJ Paulssonたちは、制御情報理論を用いて、生物学的系のノイズ低減能に存在する根本的限界を測定している。遺伝子ネットワークの精度を2倍に向上させるには、シグナル伝達の段階の数を16倍に増やす必要があることが明らかになった。これによって、生化学的なノイズがなぜこれほど存在するのかが説明できるかもしれない。つまり、その修正はコストが非常に多くかかる場合が多いのである。

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）。

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

Volume 467
Number 7313
2010年9月16日号

Podcast

山脈を動かす：山脈を削ったり高くしたりする氷河

MOVING MOUNTAINS: How glaciers cut them down — and build them up

氷河浸食は、山脈高度の制御に重要な役割を果たすと考えられている。氷河は強力な浸食作用因子で、氷河による削剥として知られる過程により、活動的な山脈が永久氷河の高度を大きく超えて高くなることを妨げていると一般に考えられている。しかし、新生代後期に氷河化していたパタゴニア・アンデス山脈で得られた浸食パターンと気候データの研究から、氷河は山脈をより高くするという逆の効果ももっている可能性があることが示唆されている。このような極域では、氷河は保護層として働いて、隆起する山脈を浸食から保護し、氷河による削剥が起こった場合に予測される高度よりもはるかに高い高度まで到達させていたことがわかった。

医学：βサラセミアの遺伝子治療に成功

Gene therapy success

異常なβグロビンが原因となって発症する血液疾患であるβサラセミアと鎌型赤血球症は、世界的にみて非常に発生数の多い遺伝性疾患であり、患者は生涯にわたって輸血を必要とする場合が多い。そのため今回報告された、重度のβサラセミア患者で、βグロビン遺伝子を発現するレンチウイルスベクターを用いた遺伝子治療が成功したという成果は、ずっと待ち望まれていたものであった。この成人男性患者は遺伝子の導入から2年以上経っているが、21か月間にわたって輸血の必要がなかった。この治療効果は、骨髄細胞に偏った優勢なクローンによってもたらされたものと考えられる。しかしながら、このクローンは良性を維持する可能性がある一方で、白血病に進行するおそれもある。したがって、この遺伝子治療はまだ初期段階にすぎないことに留意すべきだろう。

細胞：過去を引きずる幹細胞

Stem cells with baggage

人工多能性幹（iPS）細胞は、分化した成体細胞を数種類の転写因子により再プログラム化して作製されるが、体細胞核移植（SCNT）で作製された胚性幹（ES）細胞や自然受精した胚に由来するES細胞と、さまざまな特有の性質を共有している。しかし、この3種類の細胞は全く同じというわけではなく、1つの興味深い違いがあることがわかった。iPS細胞は、由来するドナー組織の「エピジェネティックな記憶」を保持しているが、SCNTによる再プログラム化では、成体細胞のDNAメチル化状態が初期化されるため、本来のES細胞により近い状態になる。iPS細胞に残るエピジェネティックな記憶は、疾患モデルや治療のための分化誘導の試みに影響を及ぼす可能性がある。また別の研究でJiらは、特異的なDNAメチル化の痕跡が、特定の細胞系列の分化進行に果たす役割を調べた。造血細胞集団の全ゲノムDNAメチル化解析を行ったところ、著しいエピジェネティックな可塑性が明らかになった。DNAメチル化の変化はおそらく、骨髄系に分化するかリンパ系に分化するかといった細胞運命の選択にかかわる主要因の1つだと考えられる。

工学：グラフェントランジスタ

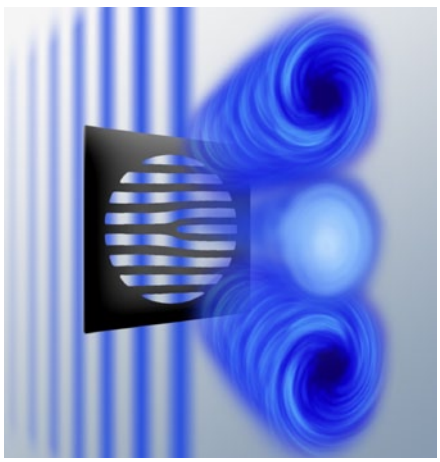
Graphene transistors

グラフェンは、キャリア移動度が高いため、高速エレクトロニクス用として高い関心が寄せられている。しかし、従来のデバイス作製法では、グラフェンを構成する原子レベルの薄さの炭素シートに、デバイス性能が著しく損なわれるほどの大幅な欠陥が生じる。Liaoたちは、そのような劣化を回避する新しい作製方法について報告している。この方法では、金属コアと絶縁体シェルからなるナノワイヤーをグラフェン上にゲート電極として配置した後、「ソース」電極と「ドレイン」電極を自己整合プロセスでグラフェン上に蒸着する。自己整合プロセスは、グラフェン格子に目立った損傷を与えないため、高いキャリア移動度が維持される。この独特なデバイス配置によって、ソース電極、ドレイン電極、ゲート電極のエッジの位置を正確に決めることができ、スピードの点で最も優れた同等サイズの既存デバイスに匹敵するトランジスタ性能が実現できる。

物理：ひねりのきいた電子ビーム

Electron beams with a twist

光子渦ビームつまり波面がらせん状に回る光ビームは、既に生成可能であり、例えば光ピンセットや干渉計、情報伝送など、幅広い用途が見いだされている。これに対して、電子渦ビームの生成は、らせん状に積み重なったグラファイト薄膜に電子を通過させる方法で、先ごろ実証された（go.nature.com/4H2xWR参照）。従来型の電子顕微鏡において電子渦ビームを再現性をもって発生させることができれば、多くの新しい応用が可能になるだろう。今回、J Verbeeckたちは、その目標に向かって一歩前進した。電子渦ビームを発生させる汎用的なホログラフィー法について報告し、材料の磁気特性を調べる手段として利用できる可能性を示したのである。



VIENNA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

Volume 467
Number 7314
2010 年 9 月 23 日号

Podcast

マラリアの起源：ヒトのマラリア原虫の起源は類人猿にまでさかのぼる

MALARIA ORIGINS: Human parasite traced to a fellow primate

ヒトに感染するマラリア原虫の中で罹患率と致死性が最も高い熱帯熱マラリア原虫（*Plasmodium falciparum*）の進化的起源については、盛んな議論が行われている。今回、アフリカの野生類人猿から採取した数千点の糞便試料の遺伝学的分析により、チンパンジーやボノボではなく、ニシゴリラがもつマラリア原虫がヒトのマラリア原虫に最も近縁であることが明らかになった。このデータはまた、ヒトの現生マラリア原虫系統がすべて単回の宿主転移事象から進化してきたことも示唆している。この新たな知見は、類人猿が *Plasmodium* の保持供給源である可能性を示すものとして、現在の抗マラリア対策にもかかわってくる。

IAN NICHOLS AND THE NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY

物理：ナノスケール・コンピューター・トモグラフィー

Nanoscale computed tomography

既に確立されている X 線トモグラフィー技術では、生物体全体や単一の細胞の三次元内部構造に加えて定量的な情報も明らかにでき、これらは通常、X 線減衰データから計算される。新たに誕生した X 線コンピューター･トモグラフィー技術は、「タイコグラフィー（位置の少しずつ異なる多数の回折パターンから画像化する手法）」X 線画像化法に基づくもので、吸収の弱い対象からであっても詳細な位相コントラスト情報の抽出が可能である。このトモグラフィー技術により、定量的 X 線画像化がナノレベルの世界に持ち込まれるようになった。この新規な方法では 1 パーセント未満の密度変化まで感度があり、今回、骨試料の三次元画像でその能力が実証された。得られた画像では、骨細胞小腔や相互連結した細管網などの、100 ナノメートルの長さスケールの構造がはっきり解像されている。このタイプの高分解能定量トモグラフィーは、生物医学や化石の微量分析の分野ばかりでなく、材料科学でも使える可能性がある。

生態：個体群が終末に近づくとき

Extinction: when the end is nigh

環境の悪化で消滅に向かう個体群は、ある時点で臨界点を通過し、それを越えると消滅が不可避となる。そうした重要な「転換点」を前もって予測することができれば明らかに有益であり、「臨界遷移」理論によれば、そうした予測は生態系、金融市場、さらには気象といったさまざまな動態系で可能だと考えられる。今回 J Drake と B Griffen は、オオミジンコの個体群を用いた実験で、消滅する運命にある個体群の基礎的な成長方程式に、「臨界減速（CSD）」とよぶ点を見つけた。今回の実験の結果は、自然界の CSD を非常に高感度で検知するための時期、地点、および方法を示しており、個体群の存続可能性を評価する新たな手法を示唆している。

細胞：幹細胞の状態を制御するメディエーターとコヒーシン

Mediator and cohesin in control of stem-cell state

胚性幹細胞の状態の制御についてはまだ十分にわかっていないが、ヒトの発生過程の理解や再生医療の進歩のためには、その解明が非常に重要である。幹細胞に多能性をもたらす遺伝子発現プログラムは、Oct4、Sox2、Nanog などの転写因子群によって制御されていて、その過程では、エンハンサーに結合した転写因子とコアプロモーターのところにできた転写装置との間で DNA ループが形成されて遺伝子が活性化されると考えられている。今回、胚性幹細胞では活性遺伝子のコアプロモーターとエンハンサーをメディエーターとコヒーシンがつないでいて、各細胞の遺伝子発現プログラムと結びついた、細胞型特異的な DNA ループが形成されていることが明らかになった。これらの結果から、メディエーターとコヒーシンの変異によって生じる病気（Opitz-Kaveggia 症候群、Lujan 症候群、統合失調症、コルネリア・デ・ランゲ症候群など）に、これらのタンパク質複合体によって生じる細胞型特異的クロマチン構造の異常が関係していることが示唆される。

地球：弱い断層と地震の不安定性

Weak faults and earthquake instability

Z Reches と D Lockner は、地震のすべり速度に近い速度で剪断されている断層で動的断層弱化が起きる実験的証拠を明らかにしている。彼らの使った実験的断層は固体の花崗岩の塊でできており、急速に摩滅して断層粘土とよばれる細かい岩石の粉を形成し、これが断層強度を 1/2 から 1/3 に減少させる。すべりが止まった後に断層粘土は急速に「熟成」して、断層の強度は数時間から数日で回復する。したがって、新しく形成された断層粘土のみが実験的断層を弱化させる、と彼らは結論している。

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）。

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

Volume 467
Number 7315
2010年9月30日号

Podcast

危機的状態にある河川：生物多様性と人にとっての水資源確保への二重の脅威をマッピングする

RIVERS IN CRISIS: Mapping dual threats to water security for biodiversity and humans

人のための水資源確保と河川の生物多様性は相いれない目標と考えられることが多いが、本当にそうなのだろうか。淡水資源に関して新たに行われた全球規模の分析で、河川の生物多様性に対する脅威と、インフラストラクチャーおよび給水への投資の収支を明らかにしたうえでの人のための水資源確保に対する脅威を同時に考察することにより、この分野に新たな展開がもたらされた。このような問題の持続可能な解決策を講じるためには、人のための水資源確保と生物多様性の両方に統合的に取り組む戦略が必要である。それは根本的な原因を解消して問題発生を防止することを第一とする、単なる対症療法以上のものでなければならないだろうと、著者たちは述べている。

地球：氷河中の水の発見

Glacial water revealed

氷河や氷床内にある水は、氷の移動速度、ひいては海水準の上昇速度にかなりの影響を及ぼす可能性がある。ただし、氷河内に蓄えられた水の量や特徴に関する直接観測は難しい。今回 J Harper たちは、アラスカの Bench 氷河の内部に、相互連結した氷底クレバスの大規模なネットワークを発見したことを報告している。これは、ボアホール（坑井）の直接観測とレーダー画像、地震探査画像を組み合わせて明らかになった。これらのクレバスには、10 センチメートルの層に相当する水があり、今後の氷床モデリングに対して重要な要素となるのに十分である。

JOEL HARPER

地球：余震の静的な誘発

Static triggering of aftershocks

予測の可能性が最も高い地震は余震であり、必ず本震の後に起きる。では、余震の引き金となるものは何か。最近、余震密度が本震からの距離とともに減衰することは、動的な引き金によってのみ説明できるという説が出されたが、これには異論がある。今回、K Richards-Dinger たちはこの仮説を検証し、観測された余震密度の減衰は静的な引き金を考えたほうがよりうまく説明できる、と結論している。

医学：黒色腫の治療薬として期待される標的型抗がん剤

Targeted anticancer drug hope for melanoma

プレキシコン社とロシュ社が開発した低分子阻害剤 PLX4032 は、複数のヒトがんに共通している変異型 B-RAF プロテインキナーゼ（B-RAFV600E）を選択的に標的とする。G Bollag たちは、この B-Raf 変異をもつ黒色腫患者を対象とした早期臨床試験で、PLX4032 が有望な成果を挙げたことを報告している。また彼らは、PLX4032 の構造と機能についても明らかにし、第 I 相臨床試験のトランスレーショナル研究データから、臨床で効果を発揮するには、B-Raf 下流の ERK 経路を相当度阻害するのに十分な薬剤濃度が必要であることも示している。この研究は、腫瘍形成の原因となる生物学的機序に基づく早期臨床試験の設計が、抗がん剤が臨床で使えるようになるまでの過程を迅速化する大きな力をもっていることを実証している。

量子情報科学：3 キュービットの固体エンタングルメントの実現

Three-qubit solid-state entanglement realized

量子エンタングルメント（もつれ合い）では 2 個以上の粒子の状態が分離できないように連結しており、これは量子計算の重要な要件である。超伝導素子では、2 個のキュービットがエンタングルした状態が、簡単な量子アルゴリズムを実装するのに使われている。3 個のキュービットからなる状態は、2 つの根本的に異なるやり方（いわゆる GHZ 状態と W 状態）でエンタングルさせることができ、これが使えれば、誤り訂正や、量子情報処理を行う実用的な素子に必要なさらに多数のキュービットへの拡張性の推測が可能になり、大きな進展となるだろう。今回 2 つの研究グループが、3 個のキュービットのエンタングルメントを生成したことを報告している。M Neeley たちは、GHZ 型と W 型の状態両方を生成し測定した。L DiCarlo たちは、GHZ 状態を生成し、さらに反復符号を使って論理キュービットを GHZ 型状態の多様体へと符号化することにより、基本的な量子誤り訂正の第一歩を実証した。

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）

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

氷河時代とは地球上に氷床がある時期のことで、北極や南極に氷床をもつ現代も氷河時代だということをご存じですか。氷河時代は、寒冷な氷期と温暖な間氷期が繰り返され、現在は間氷期なのです。ところが、現在の間氷期に入ったごく初期、突然氷期に戻ったように気温が低下した時期があります。この時期、マンモスなどの大型哺乳類が多数絶滅しました。いったい、何が起こったのでしょう。この現象の原因が解明されれば、今後の温暖化シミュレーションの参考になるかもしれません。

PANORAMIC IMAGES/GETTY IMAGES

彗星の衝突により地球上の広い範囲で寒冷化が起きたとする学説は、さらに窮地に。

nature news

語数：**441 words**　分野：古地球環境・古気候学

Published online 31 August 2010 | Nature | doi:10.1038/news.2010.441

http://www.nature.com/news/2010/100831/full/news.2010.441.html

Comet theory carbonized

Sediment studies rule out impact as cause of ancient cold spell.

Rex Dalton

1. The controversial theory that a comet impact sent Earth into a sudden climate chill nearly 13,000 years ago has been dealt a serious blow, according to scientists who have analysed sediments from the time.

2. The cool period, known as the Younger Dryas, coincided with the disappearance of the Clovis culture of North American humans and the large mammals they hunted. Most scientists think that the cold snap was triggered by a flood of fresh water from a breaching lake that disrupted the northern Atlantic ocean circulation.

3. But an alternative theory claims that sediments from that time contain a host of evidence — including carbon spherules and iridium — implicating a massive comet impact as the culprit (see *Nature* **447**, 256–257; 2007). The proposition was attractive, as it claimed to explain both the rapid climate change, and the sudden die-off of humans and animals at the time.

4. A series of publications has since challenged each piece of cometary evidence, save one — nanodiamonds, supposedly created by the comet's impact shock.

Stony silence

5. Materials scientist Tyrone Daulton of Washington University in St Louis, Missouri, and his colleagues now say that these nanodiamonds are actually aggregates of the carbon materials graphene, graphane and their oxides. "I believe the earlier reports are in error," says Daulton. "If you don't pay close attention, you can fool yourself to think something is a diamond when it is not."

6. The study, published in *Proceedings of the National Academy of Sciences* (*PNAS*), "is a very convincing analysis by a world expert", says Peter Heaney, a mineralogist at Pennsylvania State University in University Park, who was not involved in the research.

7. But the lead author of two earlier comet-impact papers, Douglas Kennett, an archaeologist at the University of Oregon in Eugene, calls the study "fundamentally flawed science". "The claim we misidentified diamonds is false, misleading and incorrect," he adds, although he declined to specify his objections.

8. Daulton's paper comes hot on the heels of work by Nicholas Pinter, a geoarchaeologist at Southern Illinois University in Carbondale and a co-author on the PNAS study.

9. Pinter and his colleague Andrew Scott of the Royal Holloway, University of London in Egham went to three of the sites where Kennett's team had found nanodiamonds. As well as providing samples for Daulton's study, they also looked for carbon spherules.

10. What they found instead was hardened fungal material and faecal matter from arthropods that looked similar to carbon spherules[2].

11. Kennett and his team also dispute this finding, and he says that they will be writing to *PNAS* to "expose the major flaws in the Daulton paper".

Reference

1. Daulton, T. L., Pinter, N. & Scott, A. C. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **107**, 16043–16047 (2010).
2. Scott, A. C. *et al. Geophys. Res. Lett.* **37**, L14302 (2010).

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

TOPICS

ヤンガードリアス（ヤンガードライアス）期（Younger Dryas）

ヤンガードリアス期は、更新世（約 180 万～ 1 万年前）の終わりに約 1300 年続いた寒冷期のことをいう。このころは最終氷期が終わり、地表が暖まりつつあった。しかし突然、急激に気温が下がってしまった。英国では数十年で 5 度も下がったことが化石から示されている。その原因として、次のような説が提唱されている。

・海洋の熱塩循環（下記参照）が弱まったという説

気温上昇により、北米のローレンタイド氷床が融解し、アガシー湖が形成された。アガシー湖はやがて決壊し、まず現在のミシシッピ川ルートでメキシコ湾に流れ、その後、セントローレンス川ルートで北大西洋に流れ出した。さらに、マッケンジー川ルートで北へ流れ込んだ痕跡も見つかっている。北大西洋は、本来、表層海水が冷やされて沈み込む場所なのだが、こうして流れ込んだ比重の小さい大量の冷たい淡水が表層に広がり、熱塩循環が弱まったために、寒冷化が起こったとされる。

アガシー湖の名残のマニトバ湖（カナダ・マニトバ州）。

ALL CANADA PHOTOS/ALAMY

・彗星衝突説

彗星衝突により、大火災が起こり、氷床は一気に溶け出し、また大量の塵が大気中に巻き上がって、寒冷化と北米大陸に生息していた生物の大量死が起こったとされる。

今回、彗星衝突説の最終的な根拠であるナノダイヤモンドや炭素小球体が、グラフェンや生物の痕跡だったという論文が出され、彗星衝突説は大きく揺らぐことになった。

SCIENCE KEY WORDS

タイトル **comet: 彗星**
岩石と氷でできた太陽系の小天体の 1 つ。太陽に近づくとその熱によってガスや塵が放出されて、「コマ」とよばれる大気を作り出し、尾を引くようになる。4 段落目の cometary は形容詞。

タイトル **carbonize: 炭化する**
有機化合物が、低酸素条件下で加熱されたり、脱水反応を受けたり、微生物に分解されたりして、炭素が大部分を占めるようになったもの。彗星衝突で物質が炭化することに掛けている。

リード **sediment: 堆積物**
岩石の破片や生物の遺骸、鉱物などが積み重なったもの。

2. **Clovis culture: クローヴィス文化**
約 1 万 2000 ～ 1 万 1000 年前に北米で栄えた文化。独特の形状をした尖頭器が特徴の石器文化。マンモスなどの大型哺乳動物を狩猟していたと考えられている。

2. **ocean circulation: 海洋循環**
海面から数百 m までの表層で主に風によって水平に移動する風成循環と、それより下部の深層で海水密度の海域による違いが原因で鉛直方向に移動している熱塩循環を合わせて、海洋循環という。風成循環が秒速 1 mを超えるのに対し、熱塩循環が全海洋を巡るには 1000 年かかるといわれている。

3. **iridium: イリジウム**
原子番号 77、原子量 192.2 の白金族元素。銀白色の金属で、酸、アルカリに不溶。触媒に使用される。

4. **nanodiamond: ナノダイヤモンド**
ダイヤモンド超微粒子。超精密研磨用に使用されるほか、デバイスへの応用も期待されている。

5. **graphene: グラフェン**
六角形構造の炭素原子が 1 層に平らに並んだシート。2010 年ノーベル物理学賞のゲイム氏とノボセロフ氏が、グラファイトからセロテープを使って取り出したのが最初。コンピュータチップやタッチパネル、太陽電池などへの応用が期待されている。

5. **graphane: グラフェイン**
グラフェンの炭素原子に水素原子を結合させて絶縁化したもの。

5. **oxide: 酸化物**
酸素とほかの元素の化合物で、酸素の酸化数が－2 のもの。

6. **mineralogist: 鉱物学者**
鉱物学（mineralogy）とは、鉱物の成因や分布、産状を調べ、物理学・化学的性質を解析する学問。

8. **geoarchaeologist: 地考古学者**
地考古学とは、地球科学の概念と方法を考古学へ応用した、新しい学問。自然・環境との相互作用から遺物を解析する。

10. **fungal: 菌類の、真菌の**
真菌とは、キノコ、カビ、酵母の仲間のこと。

10. **faecal: 糞の（名詞は feces）**

10. **arthropod: 節足動物（の）**
体節の繰り返し構造とクチクラの外骨格をもつ動物。昆虫類を筆頭に、甲殻類、クモ類、多足類など、種類が非常に多く、また地球上のあらゆる場所に生息している。

WORDS AND PHRASES

リード **rule out:（～を）「排除する」、「否定する」**

リード **cold spell:「寒波」、「寒冷化」**
1 段落目の climate chill、2 段落目の cold snap も同様。

2. **coincide with:（～と）「一致する」、「同時期に起こる」**

2. **breach:（壁、堤防などを）「破壊する」**

3. **claim:「主張する」**

3. **a host of:「多数の」、「数多くの」**

3. **implicate:「（～を）巻き込む」、「（～が）関係していると見なす」**

3. **proposition:「提案」、「意見」**

3. **die-off:「絶滅」**

5. **in error:「誤っている」、「間違っている」**

5. **pay attention:「注意を払う」**

7. **archaeologist:「考古学者」**

7. **flawed:「不備のある」、「欠陥のある」**

7. **declined to:（～することを）「差し控える」、「拒否する」**

7. **objection:「異議」、「反論」**

8. **hot on the heels of:「～の直後に」**

11. **dispute:「～に異議を唱える」**

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

参考訳

彗星衝突説を灰燼(かいじん)に

堆積物の研究から、かつて地球が一時的に寒冷化した原因が彗星の衝突にあるとする学説が否定された。

レックス・ダルトン

SCRIPPS HOWARD PHOTO SERVICE/NEWSCOM

クローヴィス文化の尖頭器。クローヴィス人は、これでマンモスなどを狩猟していた。

1. 今から約 1 万 3000 年前の地球を突然襲った寒冷化の原因が彗星の衝突にあるとする学説は、これまでも議論の的になってきた。今回、当時の堆積層の解析を行った科学者によると、この学説に深刻な打撃が与えられたという。

2. この寒冷期はヤンガードリアス期とよばれ、北米のクローヴィス文化が消滅し、彼らの狩猟対象だった大型哺乳類が絶滅した時期と重なっている。ほとんどの研究者は、湖の決壊により北大西洋に大量の淡水が流れ込み、その海洋循環を阻害したことが寒冷化のきっかけとなったと考えている。

3. その一方で、当時の堆積層に含まれる炭素小球体やイリジウムなどの多数の証拠から、大規模な彗星の衝突が寒冷化のきっかけとなったと考えられると主張する学説もある（*Nature* **447**, 256-257; 2007 参照）。この学説は、当時の急速な気候変化と、人類や動物の突然の大量死の両方を説明できると主張したため、関心を集めた。

4. しかし、その後に発表された一連の研究論文により、彗星衝突説の証拠のひとつひとつに異議が申し立てられていった。証拠の中で最後まで残っていたのが、彗星が衝突したときの衝撃により生成したと考えられるナノダイヤモンドだった。

詳細については黙して語らず

5. 今回、ワシントン大学（米国ミズーリ州セントルイス）の材料科学者 Tyrone Daulton らが、これまでナノダイヤモンドだと思われていたものが、実際には、炭素材料（グラフェン、グラフェイン、およびこれらの酸化物）の集合体であったことを明らかにした [1]。「これまでの研究報告は誤りだったと思います」と Daulton はいう。「細心の注意を払わないと、ダイヤモンドではないものをダイヤモンドと思い込んでしまうことがあるのです」。

6. *Proceedings of the National Academy of Sciences*（*PNAS*）に発表された今回の研究を、ペンシルベニア州立大学（米国ユニバーシティ・パーク）の鉱物学者 Peter Heaney は、「世界的な専門家による、非常に説得力のある解析」と評している。ちなみに Heaney は、この研究には関与していない。

7. これに対して、彗星衝突説を主張する 2 編の研究論文の主著者であるオレゴン大学（米国オレゴン州ユージーン）の考古学者 Douglas Kennett は、Daulton らの研究は「科学的に完全に間違っている」と主張する。「我々がダイヤモンドでないものをダイヤモンドと誤認したという彼らの主張は間違っており、誤解をまねくおそれがあり、不正確です」と話しているが、具体的に反論することは拒んだ。

8. ところで、今回の論文の共同著者で、南イリノイ大学カーボンデール校（米国）に所属する地考古学者 Nicholas Pinter は、この発表の直前に別の論文を発表している。

9. Pinter は、同僚であるロンドン大学ロイヤルホロウェイ校（英国エガム）の Andrew Scott とともに、Kennett の研究チームがナノダイヤモンドを発見した現場のうちの 3 か所を訪れた。彼らはそこで Daulton が研究に用いた試料を採取し、Kennett らが彗星衝突説の証拠と主張する炭素小球体も探した。

10. けれどもそこで見つかったのは、炭素小球体によく似た、硬化した真菌由来物質と節足動物の糞便物質だった [2]。

11. Kennett とその研究チームは、この知見に対しても異議を唱えており、Kennett は、「Daulton の論文に含まれる大きな欠陥を暴露する」論文を *PNAS* に提出すると語った。

（翻訳：菊川要）

©2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

nature video & nature podcast で

Natureダイジェストを 2倍楽しむ！

Natureでは、最新研究の音声ファイルや動画も提供しており、Natureダイジェスト掲載の記事に関連したコンテンツもお楽しみいただけます。（どちらも英語のみです。）

nature video

関連映像を楽しむ！

Nature Videoは、さまざまな分野の研究成果を動画でご紹介。5～10分程度にまとめられ、分かりやすく、楽しい映像です。

QRコードを読みこむ。

画面にURLが表示されるので、接続してください。

※ 通信にかかる費用は、お客様のご負担となり、携帯会社により異なります。

ハイライトページの Podcast または Video の QRコードの場合、表示されたURLに接続すると、すぐに音声または動画が再生されます。

nature podcast

最新研究について英語で聞いてみる！

Nature Podcastでは、Natureのハイライトや研究者のインタビュー、世界各国の記者による鋭い解説などを配信しています。

登録の必要はありません。ぜひ、アクセスしてみてください。

（※ Nature Podcastは、現在のところ、iPhoneのみに対応しています。 ※ Nature Videoは、一部対応していない機種もあります。 ※ iPhoneでQRコード読み取りアプリを事前にダウンロードしてください。）
iPhoneはApple Inc.の商標です。

EDITOR'S NOTE

私の今月のイチオシは、なんといっても「わんこ」です。犬は品種改良で近親交配を続けた結果、犬種によって特異的に疾患原因遺伝子をもっていて、特に人間の精神疾患を研究するうえで、役立つかもしれないとのこと。うちは、ビーグルを飼っていますが、強風に怯え、いつもクンクン何かを嗅いでいて特に食べ物には敏感なんですよ。これって、不安障害や嗅覚受容体がセンシティブなSNPがあるってことかなあ。ちょっとお間抜けで、犬には珍しく医者が大好き。ネコチックで気ままな犬ですが、「散歩に行こうよぅ」とあの目に見つめられると、もうだめです……。（ふる）

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

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

© 2010年 NPG Nature Asia-Pacific
掲載記事の無断転載を禁じます。

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

編集発行人：David Swinbanks
副発行人：中村康一
編集：田中明美、中野美香、宇津木光代
デザイン／制作：村上武、中村創
広告／マーケティング：米山ケイト、池田恵子
藤原由紀
編集協力：白日社

「Natureダイジェスト」へのご意見やご感想、ご要望をメールでお寄せください。
宛先：naturedigest@natureasia.com
（「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。

©2010 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
11月号

平成22年10月25日発行 第7巻 第11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 07271-11
4910072711109
00648