

日本語で読む世界の最新科学ニュース

卵の幹細胞をめぐる攻防

# nature ダイジェスト

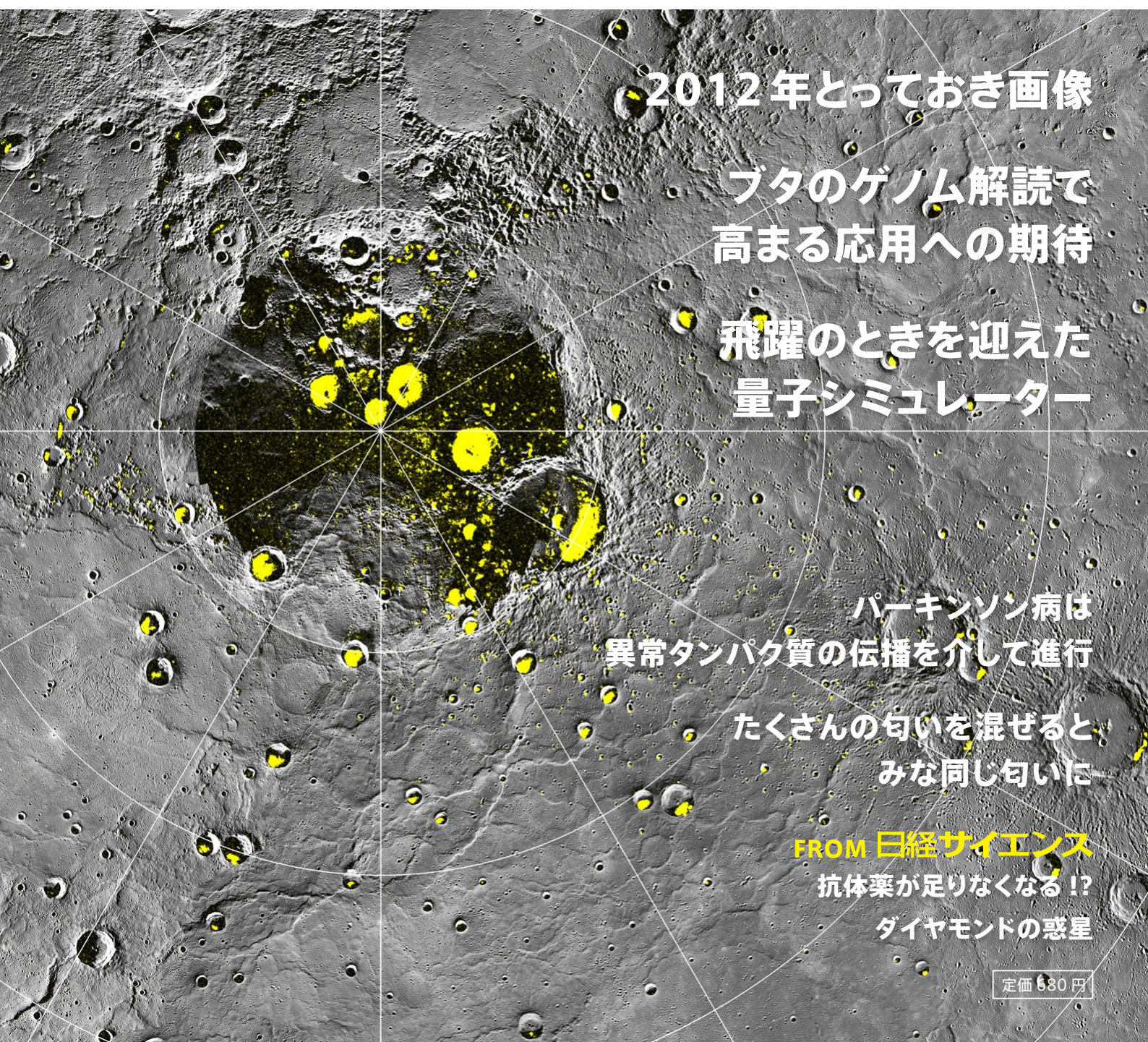
約120億年前の超光度超新星

都会の鳥は吸い殻で巣を守る

自発的流動により動き回る液滴

02  
2013

## 水星で大量の氷を確認



2012年にとっておき画像

ブタのゲノム解読で  
高まる応用への期待

飛躍のときを迎えた  
量子シミュレーター

パーキンソン病は  
異常タンパク質の伝播を介して進行

たくさんの匂いを混ぜると  
みな同じ匂いに

FROM 日経サイエンス

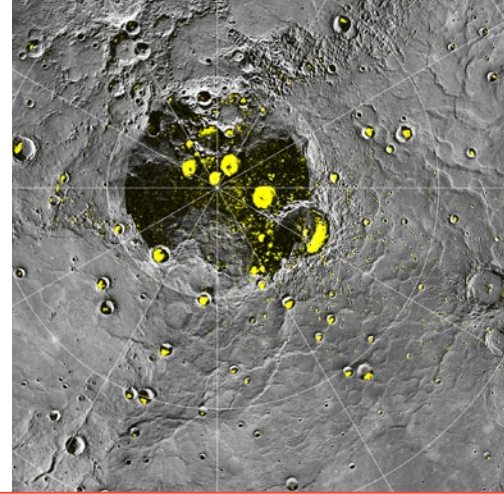
抗体薬が足りなくなる!?

ダイヤモンドの惑星

定価 680円



Nature Publishing Group では幅広い分野をカバーする様々な専門誌を刊行しています



## 灼熱の水星で、大量の氷を確認 02

表紙画像：NASA/JOHNS HOPKINS UNIVERSITY APPLIED PHYSICS LABORATORY/CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON

水星探査機の赤外レーザー計測などにより、極付近のクレーター中に、約1兆tもの氷が存在することがわかった。

### NATURE NEWS

- 03 都会の鳥は吸い殻で巣を守る
- 04 パーキンソン病は、異常タンパク質の伝播を介して進行する
- 05 たくさんの匂いを混ぜると、みな同じ匂いになる
- 12 ハリケーン「サンディー」と闘った研究者たち
- 13 フェルミγ線宇宙望遠鏡のソフトウェアを修正
- 16 降雪量を正確に測定する
- 23 RESEARCH HIGHLIGHT | 火山噴火の明確な前兆現象
- 28 米国の医学生物学研究機関の倒産
- 29 RESEARCH HIGHLIGHT | “肉食系”パルサーの発見

### GALLERY

- 06 とっておき年間画像特集 2012

### NEWS SCAN

- 15 抗体薬が足りなくなる!?
- 15 ダイヤモンドの惑星

### NEWS & VIEWS

- 32 自発的流動によって動き回る液滴

### JAPANESE AUTHOR

- 30 軸索にできる「小さな突起」に、シナプスの形成と成熟のカギ！  
— 岡部 繁男

### EDITORIAL

- 36 科学遺産の保全に、目を向けよう
- 37 新たな気候変動条約まで、省エネでしのげ

### HIGHLIGHTS

- 38 2012年12/6～12/20・27号

都合により、「英語でNature」は休載致します。

©2013 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

## 22 ブタのレシピを広げる 極上ゲノム情報

今回の成果は、品種改良、ヒト疾患のモデル作りだけでなく、遺伝子操作によるヒトに移植可能な臓器作りを促すだろう。



## 34 約120億年前の 最も遠い超新星を発見

既存の超新星よりずっと明るい「超光度超新星」で、ビッグバンから15億年後の爆発が見つかったが、その正体は未解明だ。



ADRIAN MALEC AND MARIE MARTIG  
(SWINBURNE UNIVERSITY)

## 18 卵の幹細胞をめぐる 攻防

哺乳類の雌は、生まれた時点で一生作り出す卵の数が決まっているのか？ 定説に異を唱えた研究者が、批判にあっている。

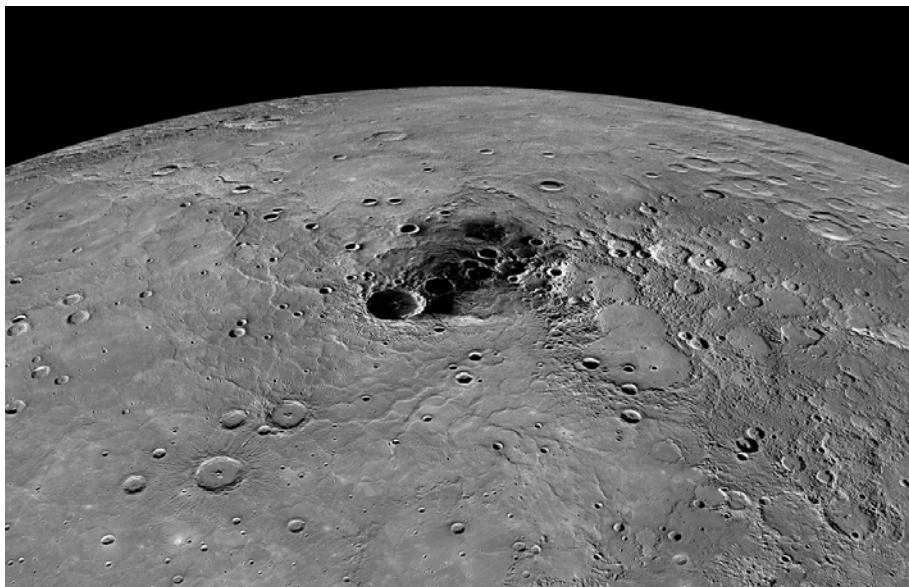


SAM OGDEN

## 24 飛躍のときを迎えた 量子シミュレーター

量子コンピューターの登場は先の話だが、前段階の量子系をシミュレートするマシンは、実現の見通しもあり関心が高い。





水星の極地域にある、太陽光の差し込まないクレーターには、水の氷が大量に存在する。

## 灼熱の水星で、大量の氷を確認

### Stores of ice confirmed on Sun-scorched Mercury

MAGGIE MCKEE 2012年11月29日 オンライン掲載 (doi:10.1038/nature.2012.11922)

水星探査機メッセンジャーにより、  
水星の北極付近に純粋な水の氷が存在することが確かめられた。

灼熱の水星に、氷の世界が存在していることがわかった。水星の表面は、場所によっては鉛が溶けるほどの高温だが、極は極寒の世界であり、クレーターの内部には1兆tの水の氷が存在するという（これは、例えば1000km四方を厚さ1mの水が覆っている量に相当する）。

以前から、水星には氷が存在するのではないかとみられてきたが<sup>1</sup>、今回、米航空宇宙局（NASA）が2004年に打ち上げ、現在、水星を周回している探査機メッセンジャーによって確認された。地球の月にも類似のクレーターがあって、その内部に氷が存在するが、水星の氷はそれよりずっと純度が高いとみられる。氷は彗星や小惑星によって太陽系中心部に持ち込まれるが、その捕捉は、月より

も、太陽に最も近い惑星である水星のほうが効率的であるとみられる。今回の発見を報告した3本の論文は、*Science* オンライン版に2012年11月29日に掲載された<sup>2,3,4</sup>。

水星表面は、赤道付近では400°Cほどの高温になる一方、極地域にある多くのクレーターの底には、太陽の光が永久に差し込まない。水星の自転軸は公転面に垂直で、極を太陽に向けることはないからだ。約20年前、地球から水星に向けてレーダー電波を発射する観測が行われ、その極に近い所に、電波の反射率の高い場所があることがわかった。この観測結果は、そこに数mの厚さの純粋な水の氷の板があってもおかしくないことを示していた。

しかし、ジョンズホプキンス大学応用物理学研究所（米国メリーランド州ローレル）の惑星科学者David Lawrenceは、「レーダーでは、水の氷であることを確認することはできません」と話す。例えば、それが硫黄でも同様のレーダー信号が得られる可能性があるからだ。

今回の観測では、3つの異なる観測方法で得られたデータによって、水の氷が存在するという解釈が正しいことが実証された。まず、メッセンジャーの「水星レーザー高度計」の赤外レーザーパルス水星表面に向けて発射すると、北極に近い太陽光の差し込まない9つのクレーターの内部で、赤外レーザーの反射率の高い場所が見つかった<sup>2</sup>。これらの反射率の高い場所は水の氷だと考えられる。さらに、別のチームが水星の地形を考慮に入れた熱モデルにより、常に-170°C以下とみられる超低温領域の分布を調べた。その結果、これらの反射率の高い場所と完全に一致した<sup>3</sup>。

3番目の研究チームは、メッセンジャーの中性子分光計を使い、レーザー反射率の高い場所に水素が存在するというデータを得た<sup>4</sup>。これは水の氷に閉じ込められた水素だと考えられる。分光計を使った論文の筆頭著者であるLawrenceは、「すべてのデータを合わせると、水以外の物質は考えられません」と話す。

では、この水はどこから来たのか。メッセンジャーの赤外レーザーで見つかった、氷とみられる反射率の高い場所の周囲には、反射率の低い場所があり、この場所は、太陽からの光と熱を少しだけ多く受ける。中性子の測定から、この反射率の低い場所には、約10cmの厚さの物質の層があり、その層は、それ以上に厚い氷を覆っているらしいことがわかった。

#### 5000 万年前のもの？

カリフォルニア大学ロサンゼルス校（米国）の惑星科学者で、熱モデル論文の筆頭著者であるDavid Paigeは、「反射率の高い場所の周りにはある反射率の低い物質は、彗星や小惑星衝突で放出された複

雑な炭化水素でできている可能性があります」と言う<sup>3</sup>。

氷でできた天体が水星にぶつかると、その成分は気化と凝結を繰り返しながら、時間とともにより温度の低い極へと移動し、そこで極寒の極のクレーター内に付着したのではないかとPaigeらは推定する。

しかし、極であっても、クレーターの内部の一部には太陽光が差し込むことも

ある。太陽光は水の氷を蒸発させ、後には、氷を覆う炭化水素の堆積物が残るだろう。堆積物は、徐々に厚くなり、太陽光によって化学変化して黒っぽくなる。

では、氷の生成時期はいつなのか。もしも10億年前にできたとするなら、小規模の天体衝突によって、氷は地表下に埋まってしまっているはずだ。だから、氷はもっと最近できたもので、5000万年前ぐらいのものかもしれない、とメッセン

ジャー計画の研究者たちは考えている。「現在ある氷は、大昔にできたものではありません」とPaigeは話している。 ■

(翻訳：新庄直樹)

1. Slade, M. A., Butler, B. J. & Muhleman, D. O. *Science* **258**, 635-640 (1992).
2. Neumann, G. A. *et al. Science* <http://dx.doi.org/10.1126/science.1229764> (2012).
3. Paige, D. A. *et al. Science* <http://dx.doi.org/10.1126/science.1231106> (2012).
4. Lawrence, D. J. *et al. Science* <http://dx.doi.org/10.1126/science.1229953> (2012).

## 都会の鳥は吸い殻で巣を守る

### City birds use cigarette butts to smoke out parasites

MATT KAPLAN 2012年12月5日 オンライン掲載 (doi:10.1038/nature.2012.11952)

ポイ捨てされたタバコの吸い殻を巣の内張りに利用することで、  
都会に住む鳥は、ダニの寄生を防いでいるらしい。

「巣の内張りにタバコの吸い殻が使われている」などと聞くと、何とも不健康な話だと思ってしまう。しかし、2012年12月に *Biology Letters* に報告された論文<sup>1</sup>によると、都会の鳥がタバコの吸い殻を利用することは、不健康な話でも何でもなく、大昔からの「適応」の現在版と考えられるようだ。

寄生生物を駆除する物質を多く含んだ植物を使って、鳥類が巣の内張りをしていくことはよく知られている。またタバコの葉に含まれる化学物質は、寄生ダニなどの節足動物を寄せつけない。このことから、メキシコ国立自治大学(メキシコシティ)の生態学者 Monserrat Suárez-Rodríguez たちの研究チームは、都会の鳥も同じような目的でタバコの吸い殻を使っているのではないかと考えた。

研究チームは、北米大陸で一般的な2種の鳥類の巣について、タバコの吸い殻に含まれる酢酸セルロースがどのくらい存在するのか、測定した。そして、その

量が多い巣ほど、寄生ダニが少ないことが明らかになった。

研究チームはさらに、熱で寄生生物をおびき寄せるトラップを利用して、吸い殻のニコチン含有量が寄生生物を遠ざける効果と関連するかどうか、また、吸い殻の形などの特徴は無関係なのかどうか調べた。トラップには、セルロース繊維、タバコ(喫煙済みまたは新品のもの)、さらにダニを捕獲するための接着テープを取り付け、これを大学構内のイエスズメ (*Passer domesticus*) の巣27個とメキシコマシコ (*Carpodacus mexicanus*) の巣28個に設置した。

すると20分後、新品タバコのトラップには、喫煙済みタバコのトラップよりもたくさんのダニが捕らえられていた。つまり、タバコの吸い殻のほうが新品タバコよりも強い忌避効果を示したのだ。これは、煙が内部を通った吸い殻のほうで、ニコチン含有量が多いからであろう。実際、抱卵中の鳥の巣では、新品タ



都会の鳥は、寄生生物が巣の中に入ってくるのを防ぐため、忌避植物の代わりにタバコや吸い殻まで利用することがある。

タバコのトラップのダニの捕獲数は、平均で2倍以上になっていた。

「都会の鳥はニコチンの多いタバコを選んでいくようです。これが本当だとすると、この行動は、寄生生物からの攻撃に対する適応応答として、進化したものではないかと考えられます」。サウスカロライナ大学(米国コロンビア)の生態学者 Timothy Mousseau はこう指摘する。

ただ、タバコの吸い殻は、寄生生物を遠ざけるだけでなく、鳥自身にも悪影響を及ぼす可能性がある、と Suárez-Rodríguez は懸念する。発がん性を持つとされる物質や農薬として使われている物質が含まれているからだ。 ■

(翻訳：小林盛方)

1. Suárez-Rodríguez, M., López-Rull, I. & García, C. M. *Biol. Lett.* <http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2012.0931> (2012).

# パーキンソン病は、 異常タンパク質の伝播を介して進行する

## Misfolded protein transmits Parkinson's from cell to cell

VIRGINIA HUGHES 2012年11月15日 オンライン掲載 (doi:10.1038/nature.2012.11838)

神経細胞の死と、パーキンソン病特有のタンパク質凝集塊との間の関連を示す  
研究結果が報告された。治療法の開発につながることを期待される。

パーキンソン病については、異常タンパク質が原因となって神経細胞の大量死が引き起こされることが明らかになったばかりだ。今回、その異常タンパク質が細胞間を移動することで脳全体へと広がって神経細胞の死滅を引き起こし、その結果、パーキンソン病の症状が現れる可能性が示唆された。この成果をもとに、異常タンパク質を標的とした古い治療戦略を見直すことで、パーキンソン病の進行を食い止めることができるかもしれない。

ペンシルバニア大学(米国フィラデルフィア)の神経生物学者Virginia Leeは、マウス組み換え $\alpha$ -シヌクレインタンパク質から、異常な形に折りたたまれる $\alpha$ -シヌクレイン繊維( $\alpha$ -Syn preformed fibrils; 以下、PFF $\alpha$ -シヌクレイン)を作製し、正常マウスの脳に注入した。すると、パーキンソン病の主要な症状が出現し、しだいに悪化することが観察された。この結果は*Science*にオンライン掲載され<sup>1</sup>、この疾患でみられる神経細胞の死滅は、各々の細胞で自発的に起こるというよりも、異常な形に折りたたまれたタンパク質が神経細胞間を移動することで広がることを示唆された。

今回の結果は、「PFF $\alpha$ -シヌクレイン」に結合する抗体によって、この異常タンパク質の神経細胞間の移動を阻止できる可能性を示している。「抗体を脳内に入れることはもちろん、細胞内に入れることは非常に難しいです。それでもパーキンソン病の進行を遅らせることができる

可能性があるのです」と、Leeは言う。

パーキンソン病で観察される異常タンパク質が、神経細胞から神経細胞へと広がる可能性については、2008年に示唆されていた。パーキンソン病の患者に胎児の神経組織を移植したところ、移植神経細胞内に、この疾患で特徴的なタンパク質凝集塊、「レヴィ小体」が形成されたためだ<sup>2,3</sup>。これは、移植組織に対し、近傍に存在する異常細胞が何らかの形で影響を与えたことを示していた。その後の研究から、PFF $\alpha$ -シヌクレインが近傍の細胞に移動できること<sup>4</sup>、また、細胞死を引き起こしうること<sup>5</sup>が示された。

しかし、PFF $\alpha$ -シヌクレインがパーキンソン病にみられる数々の障害を引き起こす原因なのかについては、不明であった。「我々は以前から、PFF $\alpha$ -シヌクレインが細胞間を移動できることをつかんでいました。でも、これがパーキンソン病に重要かどうかまでは、わかりませんでした」と、ピッツバーグ神経変性疾患研究所(米国ペンシルバニア)の所長で、今回の研究にはかかわっていなかったTim Greenamyreは言う。

Leeは、今回の研究で、この疾患における「脳を移動する $\alpha$ -シヌクレイン」の重要性を完全にとらえた、と言う。

### 潜行性の伝播

パーキンソン病には、2つの明確な特徴がある。レヴィ小体と呼ばれるタンパク質凝集塊の出現と、化学伝達物質ドーパ

ミンを産生する神経細胞の激減だ。Leeの研究チームが、PFF $\alpha$ -シヌクレインをマウス脳の線条体(ドーパミンが豊富な領域)に注入すると、レヴィ小体が形成され、続いて、ドーパミンを産生する神経細胞の死滅が観察された。また、注入部位近傍の神経細胞に接続している神経細胞にもレヴィ小体が出現した。これは、細胞間伝達が行われている証拠である、と研究チームは言う。

しかし、Greenamyreは、この結果は、細胞間伝達が可能であることを示しただけでなく、その証明にはなっていないと言う。「今回の彼らの実験では、影響を受けた細胞はすべて、注入部位に直接接触しているのです」と、Greenamyre。

とはいえ、注入を受けたマウスでは、6か月以内に、運動機能、筋力およびバランス感覚のすべてにおいて、パーキンソン病患者にみられる障害が現れた。

今回の研究成果は、パーキンソン病に対する $\alpha$ -シヌクレイン抗体の臨床試験の理論的裏付けになる、とカリフォルニア大学サンディエゴ校(米国)の神経科学者Eliezer Masliahは言う。「この結果には非常に驚きました。私たちは長い間その種の実験を試みてきましたが、これほど劇的なのは初めてです」。また、今後の研究課題は、 $\alpha$ -シヌクレインがどのような方法で細胞から出入りするのかを明らかにすることだ、と彼は付け加えた。

しかし、まだ、大きな謎が残っている。なぜ最初にレヴィ小体が出現するのだろうか? 「パーキンソン病は、脳にシヌクレインを注入されることで発症する病気ではありません」と、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チモア)の所長Ted Dawsonは強調する。「何がこの病を発症させるのかは、わかっていないのです」。

(翻訳: 三谷祐貴子)

- Luk, K. C. et al. *Science* **338**, 949-953 (2012).
- Li, J.-Y. et al. *Nature Med.* **14**, 501-503 (2008).
- Kordower, J. H. et al. *Nature Med.* **14**, 504-506 (2008).
- Desplats, P. et al. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **106**, 13010-13015 (2009).
- Volpicelli-Daley, L. A. et al. *Neuron* **72**, 57-71 (2011).

# たくさんの匂いを混ぜると、 みな同じ匂いになる

## The whiff of white could hide strong odours

Zoë Corbyn 2012年11月19日 オンライン掲載 (doi:10.1038/nature.2012.11846)

さまざまな匂いをたくさん混ぜ合わせると、  
結局は、みな似たような匂いになることが明らかになった。  
多色光を混ぜると白色光になるのとよく似ている。

波長の異なる可視光を混ぜ合わせると「白色光」になる。このことから、さまざまな周波数が混ざり合った雑音は、「白色雑音(ホワイトノイズ)」と呼ばれている。今回、匂いの世界でも、これによく似た「白色臭」、つまり研究者が「嗅覚的な白」と呼ぶ匂いが発見された。それは、よい香りでも、嫌な臭いでも、鼻を突くような匂いでもない。

この匂いは、さまざまな香気分子、つまり異なる嗅覚スペクトルを持つ分子を混ぜ合わせる実験から見つかった。興味深いことに、2つの調合物の間に共通の成分がなくても、調合物の香気成分が多くなると、2つの匂いはますます似たものになった。そして、香気成分が30種類くらいになると、ほとんどすべての匂いは同じになった<sup>1</sup>。ということは、ほかの特徴的な匂いが、すべて隠されてしまうことも示している。

人間の鼻には何百種類もの匂い受容体がある。したがって、2012年12月4日付の *Proceedings of the National Academy of Sciences* に掲載された今回の成果は、明らかに直感に反している。研究を主導したワイツマン科学研究所(イスラエル・レホヴォト)の神経科学者Noam Sobelは、「新たに匂い物質が加わるほど、匂いはより特殊なものになっていくと誰もが思うでしょう。ところが、そうではないことがわかったのです」と言う。

### 組み合わせの妙

Sobelらは、既知の86種類の純粋な匂い分子を選び(これらが個々の嗅覚スペクトルを代表する)、それぞれが同じ強さに感じられる濃度に希釈した。それをもとに、異なる匂い分子を最大43種類まで混ぜ合わせ、191種類の香気調合物を作った。そして、それらの調合物の2つがどれだけ似ているか、56人の被験者に評価してもらった。

その結果、2つの調合物に含まれる成分が多いほど、匂いが似てくることがわかった。被験者は、調合物の成分が20種類以上になると、匂いが似ていると感じ始め、30種類になると「とても似ている」と感じるようになった。この傾向は、知覚的収斂の終点、すなわち「嗅覚的な白」の存在を予想させた。

この現象は、続きの実験でも確認された。研究チームは、40成分の香気を混ぜた調合物を新たに4つ作成し、すべてに「ローラックス」というラベルを付けた。被験者には、まず4つのうちの1つの調合物を嗅いでもらって匂いを覚えてもらい、次に、別の調合物を嗅いでもらった。すると、その香気成分が20種類以上の場合、その匂いを「ローラックス」と答えるケースがかなり見られた。別の40成分の香気調合物を嗅いだときは、実に58%の被験者が「ローラックス」だと答えた。

白色はどんな陰にあっても白と識別されるが、Sobelによれば、それは嗅覚

的な白でも同じことだという。ただし限界もある。光や音とは異なり、嗅覚空間の全容、つまり人間が感知できるすべての分子はまだ明らかにされていないのだ。Sobelは、そのことが「嗅覚的な白」という概念を否定することにはならないと言う。ただし、本当の白の匂いが、今回の実験で明らかになった白の匂いと、少し異なる可能性はある。

### 総合的にとらえる

ニューヨーク大学ランゴン医療センター(米国)で嗅覚を研究するDonald Wilsonは、今回の成果を「混ぜた匂いを嗅覚系が処理する仕組みについて、非常に基本的なことを教えてくれています」と評価する。

また、デューク大学(米国ノースカロライナ州ダーラム)で嗅覚を研究している松波宏明まつなみひろあきによれば、今回の結果から、嗅覚系は個々の分子ではなく匂いを総合的に検知している可能性が強まった、と言う。

ところで、今回の研究は何かに応用できるのだろうか。Sobelらの別の実験では、バラの香りの主要な4種類の分子を、嗅覚的な白の調合物と組み合わせると、バラの香りはほとんどわからなくなってしまった。つまり、「嗅覚的な白」を使えば、さまざまな匂いを隠すことができる可能性が示された。

異なる調合物の匂いが、なぜ似通って感じられるようになるのだろうか。その生理学的な仕組みは、まだ明らかにされていない。では、「嗅覚的な白」に、嗅覚受容体は関与しているのだろうか。Sobelは否定的だ。嗅覚受容体は特異性が高いことが知られており、30種類の匂いならば、それだけ多くの受容体が活性化されなければならないからだ。「いつたい、脳の中で何が起きているのでしょうか」とSobelは問いかける。 ■

(翻訳: 小林盛方、要約: 編集部)

1. Weiss, T. et al. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1208110109> (2012).

ARCTIC ICE: ANNA HENLY, WINNER, THE WORLD IN OUR HANDS AWARD / VEOLIA ENVIRONNEMENT WILDLIFE PHOTOGRAPHER OF THE YEAR 2012 / BBC WORLDWIDE / NATURAL HISTORY MUSEUM



### 減りゆく海氷

北極圏の海水面積は 2012 年に最小記録を更新し、米国雪氷データセンター（コロラド州 ボールダー）によれば 9 月 16 日には 341 万 km<sup>2</sup> まで減った。この値は、1979 ~ 2000 年の平均海水面積より 329 万 km<sup>2</sup> も少ない。





## とっておき年間画像特集 2012

### Images of the year

DANIEL CRESSEY & MARK PELOW 2012年12月20/27日号 Vol. 492 (328-333)

写真共有機能のある Instagram や Facebook、twitpic などが普及して、私たちは日常的に多くの写真を目にするようになりました。それに伴い、写真の持つ力が相対的に弱くなってきた、という見方も現れています。しかしそんなことはありません。カメラは今なお、自然界のすばらしさや、自然界を探求するワクワク感を写し取ってくれています。音速を超えるスピードで地球に向かって落下する男性から、悪夢に出てきそうな海の生き物、脳を守る関門の繊細な網目構造まで、*Nature* が選んだ2012年のとっておき画像を紹介します。

BATS: DORIT HOCKMAN/UNIV. CAMBRIDGE/2012 PHOTOMICROGRAPHY COMPETITION/NIKON SMALL WORLD; NEBULA: B. BAILLEUL/ESO; BAUMGARTNER: JAY NEMETH/RED BULL CONTENT POOL  
CAFFEINE: ANNIE CAVANAGH/DAVID MCCARTHY/WELLCOME IMAGES AWARDS 2012; WELLCOME IMAGES; CHAMELEON: FRANK GLAW



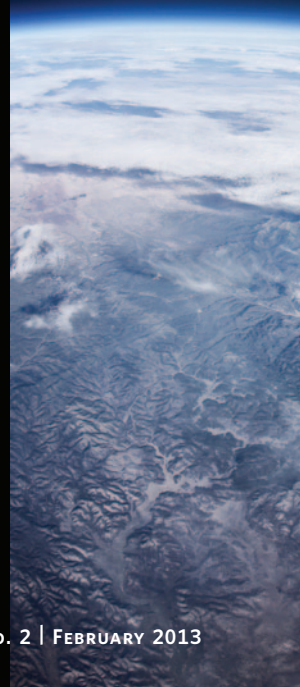
### コウモリの胎児たち

スイスのシュールレアリスムの画家H・R・ギーガーが作り出した「亡霊」のようにも見えるが、これらはコウモリの一種 *Molossus rufus* の胎児である。ケンブリッジ大学（英国）の生物学者 Biologist Dorit が、胚発生を記録するシステムに標準的な解剖顕微鏡を組み込んで撮影した。



### 宇宙の雷神

チリのパラナル山にある超大型望遠鏡（VLT）がとらえた、トールのかぶと星雲（NGC 2359）。VLTを擁するヨーロッパ南天天文台は2012年に50周年を迎えた。同天文台の次なる大型プロジェクト「アタカマ大型ミリ波干渉計」は2013年に完成する予定だ。



### コーヒーの成分が作り出す芸術

毎日見ているものだが、めったに見ることのない姿。実はこれらの正体はカフェインの結晶である。ロンドン大学ユニバーシティカレッジ（英国）の Annie Cavanagh と David McCarthy が電子顕微鏡で撮影して疑似色を着けた。結晶は集まって、長さがわずか数十  $\mu\text{m}$  の束になっている。

### 歴史的なスカイダイビング

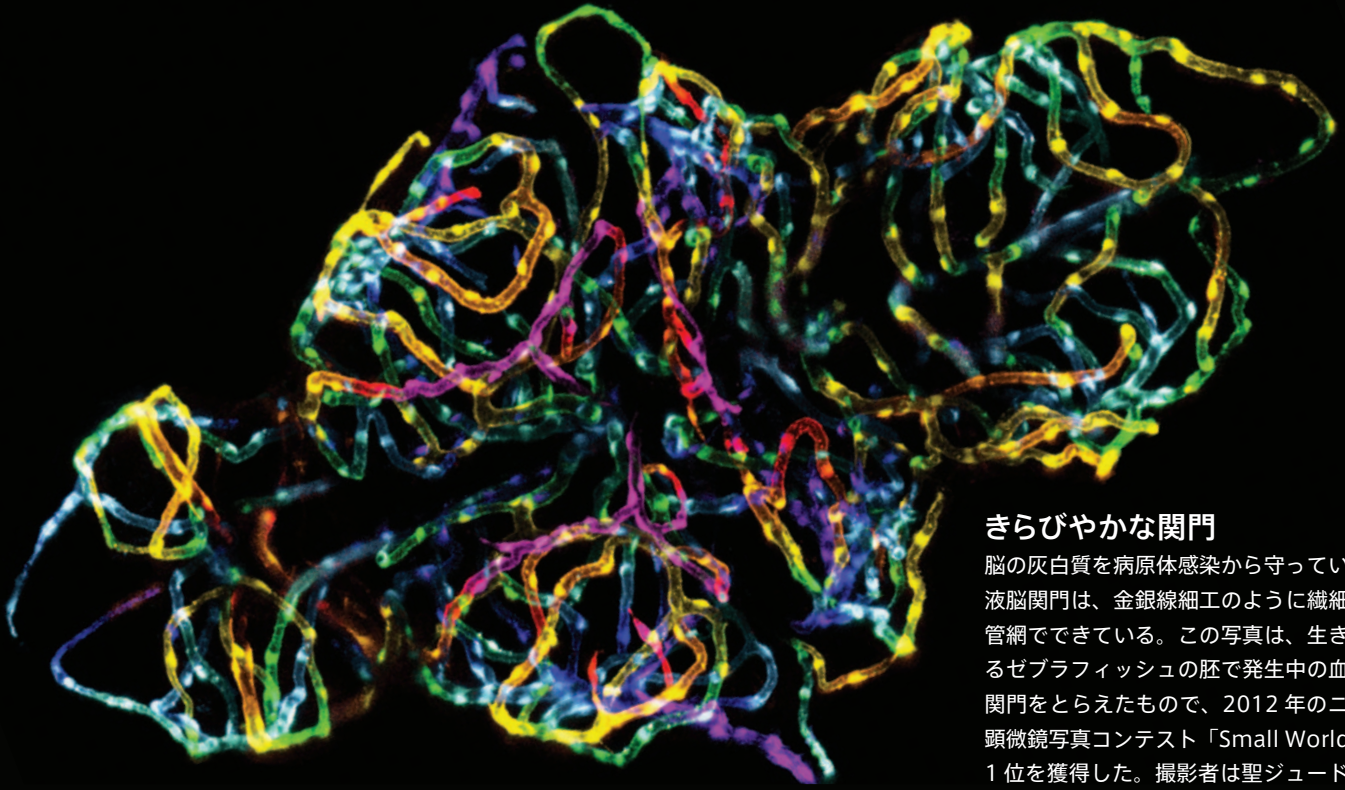
2012年10月14日、オーストラリア人のスカイダイバー Felix Baumgartner が、米国ニューメキシコ州の上空約 39km の高度まで上昇した気球カプセルから飛び降り、そのようすを世界中が見守った。Baumgartner（写真はテストジャンプの際のもの）の落下速度は音速を超え、スカイダイビングの最高高度記録を大きく塗り替えた。



### マッチのサイズにマッチしてるね

マダガスカルで見つかったこの超小型カメレオン (*Brookesia micra*) は、2012年2月に新種として正式に認められた。写真はもちろん子どもだが、成体もさほど大きくはない。雄の体長はわずか 16mm、雌は 30mm で、世界最小のトカゲ種である。





### きらびやかな関門

脳の灰白質を病原体感染から守っている血液脳関門は、金銀線細工のように繊細な血管網でできている。この写真は、生きているゼブラフィッシュの胚で発生中の血液脳関門をとらえたもので、2012年のニコン顕微鏡写真コンテスト「Small World」で1位を獲得した。撮影者は聖ジュード小児研究病院（米国テネシー州メンフィス）のJennifer PetersとMichael Taylor。



### もう、いつもの気象じゃないのね

「オズの魔法使い」で主人公が竜巻に吹き飛ばされたのはカンザス州だったが、写真の竜巻は北隣のネブラスカ州で発生したもの。2012年の米国は、過去半世紀で最も深刻な広範囲の干ばつから、猛威をふるった超大型ハリケーン「サンディー」まで、次々と異常気象に見舞われた。6月にこの竜巻を生み出したメソサイクロンは、ガーリー村の農舎群のある区域を通過したが、幸いにも農舎を「オズの国」まで飛ばすことはなかった。

## プラズマのバースト

2012年8月31日に太陽表面から噴出した太陽フィラメント。長さは約35万kmにもなる。これは、NASAの太陽観測衛星「ソーラー・ダイナミクス・オブザーバトリー」が極紫外線でとらえた画像で、コロナ質量が秒速約1400kmで噴出した。その際に飛び出た粒子は、数日後、地球の磁気圏をかすめてオーロラを発生させた。



## 火星に立つ勇姿

2012年8月6日、NASAの火星探査ローバー「キュリオシティ」は、大気圏突入後の「恐怖の7分間」を乗り越えて無事に火星に着陸した。以来、この赤い惑星からデータや画像を次々と送ってきて研究者を喜ばせている。



## ゴカイのおぼけ

ロシア沿岸の白海で見つかったゴカイの一種 *Nereis pelagica*。撮影した写真家 Alexander Semenov によれば、この肉食性のゴカイは体長が約25cmもあり、太さは大人の指ほどあったという。彼が今もこのゴカイの夢にうなされているかどうかは不明だ。

# ハリケーン「サンディー」と闘った研究者たち

## Researchers battle storm's wrath

BRENDAN BORRELL 2012年11月8日号 Vol. 491 (169)

ニューヨーク大学ランゴン医療センターでも実験室に大きな被害が出たが、学生と研究者は率先して、非常電源の停止した病院からの患者救出活動に参加した。

それは、2012年10月29日の午後7時30分頃のことだった。実験室の全部の窓が一気に開いてフロア中に書類が散乱し、Benjamin Bartelle は、「サンディー」がただのハリケーンではないことを悟った。彼は、マンハッタンのニューヨーク大学ランゴン医療センター（米国）にあるスカーボール生体分子医学研究所の5階にいた。ニューヨークの街はすでに風速45mもの突風が吹いていた。

タンパク質工学実験の最後のステップを終えようとしていた新米博士のBartelleは、20lの水のタンクで窓を押

さえつけた。その直後、廊下の先にある魚の飼育施設でアラームが鳴ったため、ゼブラフィッシュを用いて血管形成を研究しているJesus Torres-Vasquezがようすを見に行った。建物内が真っ暗になったのはそのときだった。南に16ブロックの所で、記録的な大波によってイーストリバーの堤防が決壊し、変電所が浸水したため、ダウンタウン全域が停電したのだ。同じイーストリバー沿いに建つランゴン医療センターには、さらなる直接的な脅威が迫っていた。

その夜、サンディーが米国東海岸を

襲ったことで、通り道に当たった多くの大学、実験室、研究施設は、停電や猛烈な風、浸水の影響を受けた。中でも、ランゴン医療センターは最悪だった。

ランゴン医療センターは、サンディー上陸前日に避難区域に指定されていた。しかし、患者の移送というリスクのため、施設内にある病院および老人ホームは、避難対象から除外されていた。大学によれば、ランゴンの705床のティッシュ病院および関連する3つの研究棟には非常用発電機が備えられ、すべての安全基準が満たされていたという。建物の周りには土嚢が積み上げられ、保守スタッフが待機していた。地下のマウス施設のスタッフは、がんから神経生物学までの研究プロジェクトで使われる数万匹のマウスを監視するため、夜通し作業することになっていた。

スカーボール生体分子医学研究所では数分後に非常電源が作動したものの、災禍に見舞われていた。神経生物学者Wenbiao Ganとその実験室スタッフがエレベーターで地下に降りると、足首の上まで水が来ていたのだ。Ganらはレーザーなどの機器を運び出すために奥へ進んだ。ズボンの裾を濡らして戻ってきたGanらの姿を見たBartelleは、窓の外に目をやった。ランゴン医療センター内の施設で川に最も近く、ガラスとレンガで作られた13階建てのジョン・アンド・ジョエル・スミロー研究センターを含め、医療センター内のほかの建物はすべて真っ暗だった。

スカーボール生体分子医学研究所が浸水しているということは、スミロー研究センターの被害はさらに大きいことになる。なぜなら、約1万匹のマウスとラットがいるその地下室は、水面より約10mも低いからだ。実際、スミロー研究センターでは、氾濫した水がとてつもない勢いで建物内に流れ込んだため、動物飼育スタッフは、避難を余儀なくされていた。地下室で隔離されていた変異マウスや遺伝子組み換えマウスは、見捨てられた。



非常電源が停止してしまい、ニューヨークのランゴン医療センターからは、学生や研究者の手によって患者たちが救出された。

Bartelleは学生寮に向かおうとしたが、押しとどめられた。病院のスタッフが入ってきてこう叫んだのだ。「ティッシュ病院から患者を避難させるぞ。みんな手伝ってくれ」。午後9時までには、数百人の医学生や大学院生が病院のロビーに集まった。ニューヨーク市消防局の指示のもと、学生たちは病院内の16階分の階段を上り、215人の患者をプラスチックのそりで1階まで下ろした。その後患者たちはストレッチャーや救急車に乗せられ、ほかの病院に運ばれていった。昏睡状態の患者もいれば、手術後の回復途上の患者もいた。その作業は翌朝の9時、つまり12時間が経っても終わることはなかった。

朝9時の時点までには、ランゴン医療センターの大部分が浸水し、冷凍機の停止と浸水で30～50の実験室が被害を受けていることが明らかになった。被害が最も深刻だったのがスミロー研究センターで、屋上の非常用発電機に燃料を供給するポンプが、地下の大浸水で動かな

くなっていた。さらに、動物施設内ではディーゼル燃料が流れ出てしまい、水でおぼれたり、ディーゼル燃料の蒸気を吸い込んだりして、マウスはすべて死んでしまった。神経生物学者のGordon Fishellは、40種類の遺伝的変異に関係する約2500匹のマウスを失った。それは、前脳の発達を研究するために、10年以上をかけて自分で作り上げたものだった。

大学当局者が損害額を算定するとき、今回の災害を回避ないし最小化することができなかったのかどうか、厳しく検討せざるを得ないだろう。スミロー研究センターで飼育していたマウスをすべて失った免疫学者Alan Freyは、*Nature*に宛てたEメールで、「潮の干満の影響を受ける河川の近くで、地下室に動物（や電気機器）を置くのは考えものです」と記している。2001年には、熱帯低気圧「アリソン」によって、ヒューストンのテキサス医療センター（米国）で数百万ドル相当の機器が使用不能となり、マウ

スやサルなど数千匹の実験動物の命が奪われた。それを契機に、水門が建設されるとともに、動物施設と電源設備の重要部分は地上に移設された。

大学によれば、2006年に竣工したスミロー研究センターは、約3.7mの洪水に耐えられる設計だったという。その高さは、100年に一度発生する大洪水で予想される水位より、20%も高い設定だった。しかし、その防衛策ですらサンディーの前では無力だった。当局者は今後、別の対応策を考えなければならないだろう。

幸いBartelleは、自身の研究への直接的な被害は受けなかった。彼は今も、あの夜、とりわけスミロー研究センターの学生や研究者たちが、自身の研究に大きな被害が出ているにもかかわらず、患者たちを救い出すために奮闘したことを忘れない。「自分にいつ悲劇がふりかかってもおかしくない中で、行動を起こすのは簡単ではありません」。

（翻訳：小林盛方）

## フェルミ $\gamma$ 線宇宙望遠鏡のソフトウェアを修正

### Space telescope to get software fix

RON COWEN 2012年11月8日号 Vol. 491 (172)

フェルミ  $\gamma$  線宇宙望遠鏡のソフトウェアがアップグレードされ、  
ダークマターの発見に向かって一歩前進する。

2008年に打ち上げられたNASAのフェルミ  $\gamma$  線宇宙望遠鏡は、宇宙の中でも特に激しい活動領域に検出器を向けてきた。そして、これまで観測された中で最高レベルのエネルギーを持つ光子、つまり可視光の数十億倍のエネルギーを持つ  $\gamma$  線光子を、いくつか記録してきた。し

かし、それら  $\gamma$  線の特に興味深い対象が、時々観測の網の目をすり抜けてしまい、天文学者を残念がらせていた。

世界最高の  $\gamma$  線望遠鏡の目を曇らせて、特に高いエネルギーを持つ  $\gamma$  線を観測できなくさせていたのは、ソフトウェアの欠陥と1台の検出器のメモリー

不足だった。フェルミ衛星にこうした欠陥があることは以前からわかっていたが、ほとんど公表されていなかった。これらの欠陥は、低エネルギー  $\gamma$  線の観測には特に影響を及ぼさない。けれども、カリフォルニア大学サンタクルーズ校（米国）の素粒子物理学者で、フェルミ宇宙望遠鏡チームのメンバーとして観測装置の設計に協力したBill Atwoodによると、ダークマターや  $\gamma$  線バースト（恒星が起こす非常に激しい爆発）の正体を解明するための手がかりとなる100億電子ボルト（10GeV）以上の高エネルギー  $\gamma$  線を観測する際に、大きな妨げになっているという。

研究チームは現在、この問題を解決しつつある。2012年10月下旬から11月上旬にかけて米国カリフォルニア州モンテレーで開催された第4回国際フェルミシンポジウムでは、メモリー不足問題

を回避する新しいソフトウェアのアップロードをおえ、テストを行っているところだと報告された。「Pass 8」と呼ばれるこのプログラムは、2013年末までに通常運用に入ることになっていて、10GeV以上の $\gamma$ 線のデータ量を約60%増やすと期待されている。これによって、「フェルミ衛星は生まれ変わり、新しい科学が展開されることになるでしょう」とAtwoodは言う。

粒子加速器で実験している物理学者は、多くの場合、データから何が見えるかを確認すると、数か月以内にソフトウェアを改訂・改良していく。しかし、フェルミ衛星の研究チームが $\gamma$ 線データの解析用アルゴリズムの変更に着手したのは、打ち上げから4年も経ってからだった。ソフトウェアの修正にはたいへんな労力が必要になること、ミッションがそれなりに順調に進んでいたことから、本当に修正する必要があると確信するまで時間がかかってしまった、とフェルミチームの研究者でSLAC米国国立加速器研究所(カリフォルニア州メンローパーク)のElliott Bloomは打ち明ける。

フェルミ宇宙望遠鏡に到来した $\gamma$ 線は、まずはトラッカーに飛び込む。トラッカーは $\gamma$ 線の飛来方向を決定する装置で、数層のシリコンストリップ検出器と、その間に挟まれたタングステン箔<sup>はく</sup>からなる。飛来した光子はタングステン箔によって電子・陽電子対に変換され、その飛跡がシリコンストリップに記録される。しかし、元のソフトウェアでは、高エネルギー $\gamma$ 線から生成する荷電粒子の複雑なシャワーを適切に扱うことができなかつた。また、トラッカーを通り抜けてきた粒子のエネルギーをカロリメーターで測定することで、入射 $\gamma$ 線のエネルギーがわかる仕組みになっていたが、このプロセスにも問題があった。元のアルゴリズムでは、入射してきたものが本当に $\gamma$ 線であったのか、それ以外の粒子(宇宙線など)であったのかを、確実に区別することができなかつたのだ。

フェルミ衛星から地球に送られてきた



フェルミ $\gamma$ 線宇宙望遠鏡は、ソフトウェアの修正を経て、より高エネルギーの $\gamma$ 線を検出できるようになった。

生データの中には、これらの見落とされた信号が埋もれている。そのため、研究者らは、4年間の運用で得られていた過去のデータにPass 8を適用することで、見落とされた光子の一部を発見することができた。しかし、メモリーの欠陥があるため、そのデータは完全ではない。実は、トラッカーのシリコンストリップ検出器が収集する情報量が、メモリーに貯蔵できる情報量よりはるかに多いことは、衛星の打ち上げの2年前に行われたテストで明らかになっていた。「お粗末で間抜けなミスでした」とAtwoodは言う。

けれども当時は、ハードウェアを手直ししていたらミッションに遅れが生じるか、最悪の場合は中止になるおそれがあった。そこで、個々のシリコンストリップ検出器が収集したデータの一部を切り捨て、メモリーのオーバーロードを予防するようにしたのだった。今回の

新しい手法では、すべてのシリコンストリップ検出器が収集したデータをまとめた後で、その一部を切り捨てるようにした。これにより、限られたメモリーを、より効率よく利用できることになった。

修理ソフトウェアのテストからは、きわめて有望な結果が出ている。シンポジウムでは、イタリア国立原子核物理学研究所(ピサ)のMelissa Pesce-Rollinsが、フェルミ衛星が検出した10回の $\gamma$ 線バーストをPass 8を使って再分析した結果を報告した。彼女の研究チームは、エネルギーが10GeV以上の光子を新たに4個発見した。そのうちの1個は、地球から37億パーセク(122億光年)も離れたところで起きた $\gamma$ 線バーストに由来するもので、エネルギーは27.5GeVもあった。これだけ遠い距離から飛来した光子のエネルギー観測値としては最大である。こうした光子は、背景放射のもやの中を通過しており、宇宙がまだ進化の途上にあつた時代の恒星に関する情報を提供してくれる。そもそも光子が通り抜けてこれたという事実自体が興味深く、宇宙の初期の恒星が一般的に推定されているほど大きくなく、数もそれほど多くなかつたことを示唆している。「物理学者は常に完璧をめざして努力しています。今回のPass 8についても同じです」とPesce-Rollinsは言う。

今回の修理により、フェルミ衛星はダークマター粒子の手がかりの検出に一步近づいたと言う研究者もいる。ダークマター粒子どうしが対消滅すると、高エネルギー $\gamma$ 線が生じると考えられているからだ。シンポジウムでは、マックス・プランク物理学研究所(ドイツ・ミュンヘン)のChristoph Wenigerが、銀河系の中心部からダークマターの対消滅を示唆する信号が検出されたと報告した。ここは、理論家によりダークマターが潜んでいると推測されている場所である。Pass 8は、これらの不確かな観測結果を、本物の発見へと導く力を持っているはずだ。

(翻訳：三枝小夜子)



## 抗体薬が足りなくなる !?

免疫との関連性が判明し、精神疾患向けに需要が急増

強迫性障害からアルツハイマー病まで、さまざまな病気で免疫系が演じている役割が明らかになるにつれて、一度は忘れられた治療法が新たな注目を集め始めた。献血の血漿から作られる静注用免疫グロブリン (IVIG) にアルツハイマー病の進行を遅らせる効果があることが臨床試験で確認されたら、この薬が足りなくなると心配する声が上がっている。

IVIGには免疫グロブリン G (IgG) という抗体が含まれている。IVIGがどんなメカニズムで作用するのか完全にはわかっていないが、免疫グロブリン Gは感染症を撃退し、免疫系を調節し、炎症を抑える働きをする。IVIGが1980年代初めに認可されたときは、原発性免疫不全症 (PID) 患者の抗体を交換するために処方され、その後、多発性硬化症など自己免疫疾患の免疫系を調節する目的で使われるようになった。現在では100を超す適応外使用 (オフラベル処方) があり、これらが市場としても急拡大している。

### アルツハイマー病の抑制にも?

その中でも新しいのが精神疾患の分野で、あるタイプの統合失調症や強迫性障害など、自己免疫が一因と考えられる疾患に使われ始めた。IVIGは現在、自己免疫性脳炎の患者に処方されることが多い。これは抗体が脳を攻撃するまれな疾患で、精神病や緊張病 (カトニー) などの症状を引き起こす。また、突発性強迫性障害の小児患者を対象にIVIGの効果を調べる臨床試験が2016年の終了予定で進んでいる。この病気は、連鎖球菌 (Streptococcus) に対する抗体が血液脳関門を通過して脳に入ること、発症するのではないかと考えられている。

また、IVIGによってアルツハイマー病の進行を遅らせる可能性も期待されている。コーネル大学医学部で行われた最近の研究は、IVIGが脳内に蓄積される異常なタンパク質を減らし、炎症を引き起こすダメージを抑える可能性を示唆している。IVIGのアルツハイマー病への適用はまだ後期臨床試験の段階だが、もし認可されたら需要が年率7~12%で急増するだろうと関係者は身構える。

「これは実に頭の痛い問題だ。IVIGは簡単に作れる錠剤とは訳が違い、供給量が限られているのだから」と、ペイラー医科大学の小児科学・病理学・免疫学教授のJordan Orangeは言う。医師たちはIVIGの処方について見直し、有効性があまりはっきりしない場合には代替法を探るよう、互いに呼びかけ合っている。

(翻訳協力: 栗木瑞穂)

## ダイヤモンドの惑星

地球とは化学組成があべこべの系外惑星が見つかった

太陽以外の星の周りを回る系外惑星の研究は、まだ日が浅い。しかし、太陽系の惑星とはまるで異なる惑星がすでに数百は発見されている。木星を圧倒する大きさの巨大惑星、親星のすぐ近くを回る超高温の小さな岩石惑星、水苔ほどの密度しかないフワフワの変わり者などだ。

さらに、一見すると普通の惑星が、よく調べたら“あべこべ”の天体だった、ということもありそうだ。太陽系では希少な物質がその惑星ではたくさん存在し、太陽系でありふれた物質は少ししか存在しない惑星だ。

炭素を例にとろう。有機物に不可欠なこの元素は、ダイヤモンドから石油まで、人類にとって非常に貴重な物質を構成する物質でもある。にもかかわらず、炭素はありふれた元素ではなく、地球での存在比は0.1%に満たない。

しかし別の惑星では、炭素は泥のようなどこにでもある存在かもしれない。それどころか、泥が炭素でできているかもしれない。最近、太陽系から40光年離れたある系外惑星が、まさにそんな惑星の有力候補であることがわかった。主に炭素でできていて、惑星内部では圧力によって大量の炭素がダイヤモンドになっている可能性がある。

### 黒鉛の地殻の下に

「かに座55番星e」というこの惑星は、厚さ数百kmのグラファイト (黒鉛) の地殻を持っていると考えられる。「その地殻の下にはダイヤモンドでできた厚い層があるだろう」と、エール大学のポスドク研究員Nikku Madhusudhanは言う。この結晶ダイヤモンド層の厚みは惑星の半径の1/3にまで及ぶとみられる。

こうした炭素惑星の独特の構成は、地球ができたのとは全く異なる形成過程によると考えられる。太陽の元素組成から考えると、太陽系の惑星のもととなった塵やガスの雲は、炭素の約2倍の量の酸素を含んでいた。実際、地球の岩石は酸素を豊富に含むケイ酸塩を主成分としている。

これに対し、かに座55番星eの親星は炭素のほうが酸素を少し上回っており、惑星が形成された環境も非常に異なっていたと思われる。Madhusudhanらがこの惑星の特性を計算したところ、密度は水よりも大きい、鉱物でできた地球のような惑星よりは小さく、炭素惑星に予測される値と一致した。この研究結果は*Astrophysical Journal Letters*誌2012年11月10日号に掲載された。

(翻訳協力: 栗木瑞穂)



ポーランドのハラ・ゴンシェンニツォバに近いカスプロビ・ビエルフ山の山頂には、降雪量を測定するための新しい降水量計が設置される予定である。

## 降雪量を正確に測定する

### Snow survey hopes for avalanche of data

JANE QIU 2012年11月15日号 Vol. 491 (312-313)

降水量の中には、雪や雹などの固体降水量も含まれる。

特に、降水量計が雪をキャッチできる割合は、気象条件によって大きく変わり、著しい観測誤差が生じている。

山は気候変動のバロメーターと言われるが、実は、最も基本的な問いにさえ、きちんとした答えが得られていない。例えば、山頂や山腹を覆っている雪の量は、いったいどのくらいあるのだろうか？山の積雪量は、毎年、どのように変化しているのだろうか？2012年11月から、こうした答えの手がかりを求めて、国際的なプログラムが始まった。

それが、世界気象機関(WMO)が中心になって進める固体降水測定法比較計画(Solid Precipitation Intercomparison Experiment; SPICE)だ。2年がかりの

プロジェクトで、地理的にも気候的にも異なる世界の15の観測地点に、最新式の降水量計を設置する。最も高地の観測地点はタパド(チリ)の海拔4318mだ(「SPICEプロジェクトの観測地点」参照)。

雪や雹などの固体も、雨と同じ降水量計で、液体に溶かして測定される(単位はmm)。しかし、特に雪は、簡単に風に吹き飛ばされてしまい、そのまま降水量計に入ることがないため、降雪量を正確に測定することができない。雪が降水量計の上面を覆って、蓋をしてしまうケースもある。今回のプロジェクトの目

標は、世界各地における降雪量(降水量)と積雪量を正確に測定し、それぞれの地での最適な観測・測定方法を明らかにすることにある。このプロジェクトから得られる成果は、気候モデルの改良のほか、永久凍土層の安定性、生態系の変化、利用可能な水資源量などの推定に役立つはずだ。

WMOの観測装置・観測法プログラム(スイス・ジュネーブ)の臨時プログラム長であるRoger Atkinsonは、「降雪は、地球上の水循環の重要な一部です。その降雪量が正確に測定できなければ、現在の降水量はもちろん、今後それがどう変わっていくかもわからないのです」と言う。

中国科学院チベット高原研究所(北京)の気候学者Zhang Yinshengは、SPICEプロジェクトには関与していないが、降雪量は「氷河が成長する後退するかを決める要因の1つ」であると言う。「我々は長い間ヒマラヤの氷河の運命について論争してきましたが、実際には、基本的なデータさえ把握できていないのです」。

気温、気圧、風速、湿度などの気候パラメータは正確に評価できるようになったが、降雪量については、現在もお評価が困難だ。このプロジェクトのリーダーで、カナダ環境省(トロント)の気象観測装置の専門家であるRodica Nituによると、雪片は軽く、風に流されやすいため、金属製の円筒型をした降水量計の上に降ってきても、実際にどれくらい捕捉されるかは、気象条件に大きく左右されるという。また、気温が氷点前後の場合、湿った雪が容器の縁に付着しやすく、付着した雪が大きくなって蓋をしてしまうため、それ以上、降水量計で雪を捕捉できなくなってしまう。

米国立大気研究センター(コロラド州ボルダー)の気候学者Roy Rasmussenは、「降ってくる雪をきちんと捕捉できないことが問題なのです」と言う。この問題は自動観測装置で特に深刻で、現状では、実際の降雪量の20%程度しか捕捉できていないという。降水

# Add **editage** as a **solution** into your research tube.

論文投稿・出版のプロがあなたの論文を国際ジャーナルに掲載するソリューションを提供します。



英文校閲・論文投稿支援・学術翻訳・教育

**editage**<sup>TM</sup>

Helping you get published

[www.editage.jp](http://www.editage.jp)

03-6868-3348

[submissions@editage.com](mailto:submissions@editage.com)

## SPICE プロジェクトの観測地点

プロジェクトの目標は、世界各地の観測地点で、降雪量を測定する最新の手法をテストすることにある。



量計による観測値の信頼性の低さは、気候モデルの大きな不確定要素となっており、水資源の将来的な変化や雪氷災害を予測する能力を低下させている、と Rasmussen は言う。

地球温暖化に伴い、降雪量を含む降水量は増加すると予想されている。より正確な降雪データがあれば、降雪量の予想モデルの改良や、増加する降雪量が氷河の融解を補うのに十分かどうかを推定する際にも役立つはずだ。

降雪量を測定する国際的な大規模プロジェクトが前回実施されたのは、20年以上前のこと。「その後、多くの進歩がありました」と Rasmussen は言う。今回のプロジェクトの主要な目的の1つは、最近開発された各種のセンサーや降水量計や風よけをテストすることにある。例えば風よけは、野外観測の結果、降水量計の真上の水平方向の風を減速させることがわかっている。「降雪量の正確な測定にとって、これが最も重要な因子なのです」と Rasmussen は言う。

降水量計を加熱する新しい方法も開発されている。これにより、縁に積もった雪が容器に蓋をするのを防ぐことができる。近年、降水量計は手動から自動へと切り替わりつつあり、人間が立ち入りにくい場所であっても、連続測定することが可能になってきた。手動と自動の2つの方法で得られたデータ群をきちんと対

応させることができれば、降雪量を長時間にわたって連続的に記録できるようになる、と Nitu は言う。

Zhang は、SPICE は時宜を得た重要なプロジェクトであるが、重要な地域に試験観測地点が置かれていないと指摘する。その1つがヒマラヤだ。Zhang らは、2013年の初頭に、チベット高原と周囲の山脈の全域に観測網を設置する予定である。最も高い観測地点の高度は6000mになる。この観測網は、ヒマラヤ全域で降雪量を正確に測定し、SPICEの成果をより信頼性の高いものにしてくれるだろう。

しかし、スイス連邦雪・雪崩研究所(ダボス・ドルフ)の気候科学者で、このプロジェクトに参加している Michael Lehning は、「長い目で見ると、地上観測で山全体をカバーするのは不可能でしょう」と言う。現在、航空機や人工衛星にセンサーを搭載し、マイクロ波、レーダー、レーザーなどを利用してはるかに広い地域を観測するシステムが、すでに実用化されている。SPICEの結果は、こうした観測結果を補正・補強するために利用できるのだ。

「目標は、リモートセンシング技術の精度を高めて、山岳地帯の降雪の観測にも適用できるようにすることです」と Lehning は言う。「まだまだ遠い道のりですが、SPICEはその出発点です」。

(翻訳：三枝小夜子)



## 卵の幹細胞をめぐる攻防

### Fertile mind

TRISHA GURA 2012年11月15日号 Vol. 491 (318-320)

Jonathan Tilly は、ヒトをはじめとする哺乳類の卵の幹細胞の存在を示し、「生まれた時点で一生分の卵の数は決まっている」という定説に異を唱え、猛烈な批判にあった。その後、別の研究者からも報告があり理解者は増えたが、疑念の声を鎮めるにはデータはまだ不十分だ。

マサチューセッツ総合病院(米国ボストン)の再生生物学者Jonathan Tillyは、重要な研究の話を始めると鳥肌が立ってくるという。8月半ばの昼下がり、彼は腕を突き出してそれを私に見せた。その時、彼は不妊症の女性の卵巣から幹細胞を取り出す実験手順について説明していた。Tillyは以前、「卵巣には卵を無期限で作る能力がある」という見解を発表し、激しい批判を受けていた。彼が話し始めた実験は、そうした批判を鎮めるのに役立つくれるはずのものであった。

これまでの定説は、「ヒト女性を含む哺乳類の雌は、卵巣にすべての卵母細胞(卵になる手前の前駆細胞)を備えた状態で生まれるため、その時点で一生のうちに作り出せる卵の数が決まっており、その後は年齢とともに減少して閉経時には枯渇している」というものであった。しかし、Tillyの研究はこれを否定したのである。この研究結果は、大きな議論を巻き起こしている。

Tillyは2004年に*Nature*に発表した論文<sup>1</sup>で、マウスの卵巣にある卵母細胞が幹細胞によって補充されることを示唆し、定説に異を唱えた。そうした幹細胞についてさらに詳しく解明できれば、不妊症に悩む女性が新たに卵を作り出すのに役立つかもしれないし、また、閉経を遅らせたり食い止めたりするという、Tillyの25年来の目標を達成することもできるかもしれない。

その後も、彼はニュースになる論文を次々と発表した。その極めつけが2012年の論文<sup>2</sup>だった。ヒトの卵巣から、見つけるのが難しい幹細胞を単離し、それを本物の卵母細胞へと発生・分化させたことを報告したのだ。しかし、彼の成果に対する疑念の声は今もなお止まない。彼の手法や論拠に疑問を抱く研究者もいれば、彼の実験の再現を試みて不成功に終わった研究者もいるからだ。「Tillyは話を誇張し、発表するプレスリリースも大げさで、数年経って、みんなこう思うのです。『なんだ、間違っていたじゃないか』ってね」と話すのは、イ

エーボリ大学(スウェーデン)の分子生物学者Kui Liuだ。

一方Tillyは、これまでたくさんの批判に耐えてきたと話す。「私がこのテーマを追求しようと決心したのは、この研究分野に改革をもたらすような何かを発見した、という純粋な高揚感からでした。それがまさか、こんな不快な状況に追い込まれるとは、思いもしませんでした。本当にひどい話です」。

批判者たちは、Tillyに対して疑念を表明し、時にはあからさまに蔑視する態度をとった。しかし、今はこの対立状態に少し変化が生じている。Tillyを最も強く批判していた研究者のうちの2人が、彼の協力者に転じたからだ。1人は現在、Tillyが設立にかかわったOvaScience社(米国マサチューセッツ州ケンブリッジ)の科学諮問委員会で委員を務めており、もう1人のEvelyn Telferは、Tillyが単離した幹細胞を使って研究している。「この細胞が試験管内でやっていることは、科学上の諸問題に迫る真のきっかけとなりうるものです」と、エディンバラ大学(英国)の再生生物学者で、かつてTillyの研究に懐疑的だった彼女は話す。「幹細胞の研究にとって、これはすばらしいツールなのです」。

### 数が合わない

「出生後に新しい卵母細胞は作られない」という定説の歴史は古い。1951年、当時影響力のあった英国バーミンガム大学の解剖学者Solly Zuckermanは、その時代に入手できた証拠を徹底的に分析した。そして、1870年代からある「哺乳類の雌は生後、卵母細胞を作らなくなる」という説に対して事実上反論できるものが、何一つないという結論に達した<sup>3</sup>。

Tillyは、研究者になって15年間は、主にアポトーシスの解明に取り組んでいた。女性の卵巣内にある卵の数は、年を取るにつれて、排卵や卵母細胞の自然な死によって減少するが、彼は、女性の卵を定量的に調べた研究が1つもないことを知って驚いた。そこでTillyは、1999

年からこの研究を始め、顕微鏡とマウスの卵巣組織を相手に格闘しながら、さまざまな年齢のマウスで「卵胞」の数を数えた。卵胞は、細胞でできた袋状の構造で、その中で卵母細胞が形成される。こうして調べた結果は、予想とは合わないものだった。変性した卵胞は、最初の蓄積状態から予測された数の3倍もあったのだ。もし、マウスがこの速度で卵母細胞を失っているとすれば、もっと早い時期に卵が枯渇しているはずだ。何か卵を補充しているに違いない。その可能性が最も高いのが幹細胞だ、と彼は考えた。

しかし、この説を受け入れようとする研究者は皆無だった。投稿した論文原稿は何度も突き返され、また何度も修正を要求された。そのため、2004年に*Nature*に掲載されるまで、実に2年もかかった。反論は、彼の出した結論に対してだけでなく、研究の手法に対しても投げかけられた。例えば、Tillyは1つのマウス系統における卵胞の減少速度を使って別の系統の卵胞減少を計算していたが、そんなことにも難癖をつけられた<sup>4</sup>。

Tillyは、アポトーシス研究の大部分を中断し、卵の幹細胞の存在と機能を調べる方向へと研究室全体の舵を切った。「断崖の上に立って飛び降りるべきかを迷っているような状態でした。私にとって、2004年の論文発表がその飛び降りる行為でした。論文が出たことで、もう引き返さなくなったのです」と彼は話す。

その1年後、Tillyは、幹細胞と思われ細胞の供給源が、骨髄にあることを突き止めたと報告した<sup>5</sup>。健康なマウスの骨髄もしくは血液を不妊マウスに移植すると、不妊マウスで卵母細胞に似た細胞が観察されたのだ。しかし、生じた卵を受精させて胚まで発生させるという「卵の幹細胞であることの実証試験」には、今もなお成功していない。

「卵の幹細胞」の供給源が骨髄だとするTillyの結果に、少なくとも6つの研究グループが反論した。Telferのグループもその1つで、Tillyの実験のうち、うまく再現できたものは1つもなく、彼の結

果には別の解釈が可能だと報告した<sup>6</sup>。

また、マスメディアのインタビューでTillyがオーバーに言い過ぎていることも槍玉にあがった。例えば、2005年の「ボストン・グローブ」紙にはTillyのこんな言葉が掲載されている。「この細胞はあなた自身のものであり、他人の同意を得る必要はありません。この細胞を輸血用血液に入れれば、卵巣まで行きます。この細胞は、そこで成熟して卵になるのです」。カンザス大学医療センター（米国カンザスシティ）の生殖生物学者David Albertiniは、「彼は話をおもしろくするために真実をねじ曲げるのです。多くの生殖生物学者は、彼の発言によって大勢の女性が間違った期待を抱いてしまったと思っています」と話す。

Tillyは意見を変えず、同じ分野の研究者たちに、それぞれの研究室で彼の実験を再現してくれないかと求めたところ、幾人かがそれに応えた。2006年、ハーバード大学（米国マサチューセッツ州ケンブリッジ）の幹細胞生物学者Amy Wagersが、2匹のマウスの循環系を縫い合わせる実験を行った<sup>7</sup>。ドナー側のマウスは、細胞に緑色蛍光タンパク質（GFP）を発現し、もう一方のレシピエントは発現していない。この実験で、緑色に光る細胞は、レシピエントマウスの卵巣に入り込むことができ、血液細胞のように振る舞った。しかし、卵母細胞のような振る舞いは見せなかった。

Wagersの結果を受けて、TillyはドナーにGFPマウスを用いて実験を行い、化学療法で不妊にしたマウスに骨髄移植をすると、妊娠して出産できることを示した<sup>8</sup>。しかし、この仔マウスたちはGFPを発現していなかったため、卵はレシピエント由来であると考えられた。この結果についてTillyは、移植された骨髄細胞によって、既存の卵母細胞が保護されたか、もしくは卵母細胞形成が復活したのだと主張した。一方、批判派は、最初の化学療法でレシピエントの卵母細胞をすべて死滅させることができなかつただけだろうと反論した。

## 上海からの意外なニュース

Tillyの研究結果を独自に再現した例がほとんど出てこなかったため、彼は論争期間の大半を孤立無援で過ごした。やがて2009年になって、上海交通大学（中国）のJi Wuによって、マウスの骨髄ではなく卵巣組織から、「雌性生殖系列幹細胞」が単離された<sup>9</sup>。化学療法で不妊にした雌マウスにこの細胞を移植すると、成熟した卵母細胞へと分化し、受精能のある卵になって、健康な仔マウスが生まれたというのだ。仔マウス誕生は、移植された細胞が卵の幹細胞であることを示す決定的な証拠となる。

それまでTelferは卵の幹細胞の存在を疑っていたが、2009年のWuの論文を読んで思い直し、「これは何かあるに違いない」と考えた。その年の研究者会議の時、彼女はバーでTillyに会い、お互いの考えの違いについて話した。その後2人は、停戦協定に似た内容の論評を共著で発表した<sup>10</sup>。「これらの知見はまだ、『雌成体の通常の生理的条件下で卵形成が起こることを立証する』ところまで到達していませんが、成体マウスの卵巣に生殖系列幹細胞が存在することを強く裏付けるものです。もし、ヒトの卵巣でもこれに相当する細胞が見つければ、卵が尽きそうな卵巣に卵母細胞を増やして若返らせることができる可能性があります」。

Tillyも含めて多くの研究者が、Wuの研究結果の再現を試みた。そして2012年2月にTillyは、ヒトの卵巣から、「卵原幹細胞（oogonial stem cell）」と彼が呼ぶ細胞を単離したことを報告した<sup>2</sup>。この細胞をヒト卵巣組織に注入し、その組織をマウスに移植したところ、卵胞も、成熟した卵母細胞とみられる細胞も生じさせることができた（*Nature* 2012年3月1日号16ページおよび*Nature* ダイジェスト 2012年6月号7～8ページ参照）。

「そこで我々は、それぞれの研究室で同じコンセプトの実験手順で研究を行い、どちらも確認となるデータを得まし

た。もうこれ以上議論しなくてもよい段階に来たと感じました」とTillyは話す。

ところが議論は収まらなかった。批判派はすぐに、両グループのやり方に共通する1つの問題点を指摘した。研究グループはそれぞれ、細胞表面のタンパク質に結合するよう作られた抗体を使って、別個に幹細胞を突き止めている。細胞生物学ではよく使われる手法だが、研究グループが抗体の標的としたvasaというタンパク質は、通常は生殖細胞の表面ではなく内部にあるものなのだ。「この抗体がどうやって機能できるのか（細胞内部のタンパク質に結合できるのか）、この分野の研究者の多くが不思議に思っています」と、ワシントン州立大学（米国プルマン）の生殖生物学者Patricia Huntは話す。

Tillyの説明によると、成熟した卵母細胞は表面にvasaを発現しないが、彼が見つけた細胞は、胎児期の前駆細胞と成熟した卵母細胞との中間状態なので、表面にvasaを発現するのだという。また彼は、この幹細胞が卵へと成熟するにつれて細胞表面でvasaが検出されなくなるのだと言いつつも、「その証拠はまだ何もつかんでいません」と断っている。

スウェーデンにいるLiuは、Wuの論文が出た当初はその結果を信じたという。しかし彼のグループは、Wuの実験を再現することができなかつた。vasa使用に伴う「細胞表面」問題を回避するため、Liuは、細胞内部にあるタンパク質を追跡するという方法を用いた<sup>11</sup>。そうして彼は、卵巣のvasa発現細胞を抽出することはできたが、幹細胞の重要な特性である「分裂をする細胞」をその中に見つけることはできなかつた。

Wuは、自分の細胞単離技術が簡単なものではないことを強調し、自分の研究室に来て手法を習得するよう、ほかの研究者に勧めている。そして、「Liuのグループの細胞単離の手順は、我々のものとは違います。それでは比較できないでしょう」とも言っている。

実際、Tillyの研究室でも、Wuの実験

をうまく再現できなかったという。最終的に何とか細胞を取り出せたものの、「恒常的に卵母細胞が混入していました」とTillyは話す。そのため彼は、マウスとヒトの卵原幹細胞を取り出す実験手順を改訂しなければならなかった。また、Tillyが単離した細胞は、Wuが単離したものとはサイズが異なっていた。Wuによれば、彼女の細胞とTillyの細胞は少し種類の異なる「サブタイプ」であり、両者の細胞の関係をしっかり解明するために必要な「成すべきたくさん研究」が、まだあるのだという。

一方Telferは、Tillyとの共同研究を始めている。2011年にボストンを訪れて、Tillyのヒト幹細胞を目にした彼女は強い衝撃を受け、試料をスコットランドに持ち帰った。彼女はすでに、マウス組織とウシ組織を使って、卵前駆細胞を受精可能な卵へと体外で分化させる培養系の樹立に成功していたので、彼女はこの手法をTillyが単離したヒト細胞での使用に適応させようと実験を行った。「最初の実験で、私は本当に感動しました」と彼女は言う。Tillyの細胞は速やかに卵母細胞に似たものへと分化したのだ。「私は一晩中、新しい卵胞が形成されたこと以外の説明を見つけようとしていました。でも、それ以外の説明は思いつきませんでした」と彼女は振り返る。

Telferは、この細胞を受精させようと考え、英国のヒト受精・胚機構 (HFEA) に許可を申請した (米国では、この種の実験に連邦政府の補助金を使うことが禁じられている)。もし成功すれば、受精可能なヒトの卵を体外で作出すこの手法が、いずれは世界中の不妊治療を扱う病院に普及することだろう。

## 限界と反発

Tillyの細胞は現在、OvaScience社でも使われている。同社は2011年4月に設立され、ベンチャーキャピタルから4800万ドル (約40億円) を確保済みである。OvaScience社ではTillyの細胞を何通りかの目的に活用しようとしている。そ

の1つは、高齢女性から採取した卵細胞に新鮮な細胞質とミトコンドリアを加えて、卵細胞を若返らせることだ。この研究の土台にある生殖技術は、卵細胞に別の女性の卵から取った細胞質を注入するという実験的なもので、議論も多い。OvaScience社では、ドナーのミトコンドリアを使うことで巻き起こる倫理や安全性の問題の一部を回避するのに、母親自身の卵原幹細胞から抽出したミトコンドリアを使おうとしている。また、その臨床試験には、ボストンにある2つの不妊治療医院の協力を得て、できれば2012年内に取りかかりたいと考えている。

Tillyが見つけた卵原幹細胞は、卵形成を阻害したり促進したりできる新薬をスクリーニングすることにも使えるだろう。そうした薬ができれば、不妊症の改善に役立つだけでなく、閉経を遅らせたリ食い止めたりすることが実現するかもしれない。Albertiniはいまだに、そうした宣伝文句がいたずらに期待をあおるのではないかと心配するが、彼もTelferと同様に、先入観を持たないように心がけている。不妊治療薬をスクリーニングするための新しいモデルに展望が開けたことで、Albertiniは納得のうえでOvaScience社の科学諮問委員会に入った。「私の知識や経験の中には、彼らの役に立ちそうなものがたくさんあります」と彼は話す。

OvaScience社は猛スピードで突き進んでおり、その舵は、「Sirtris社」の水先案内役となったチームが取っている。Sirtris社は、米国マサチューセッツ州ケンブリッジに本社を置く、アンチエイジング療法を専門とするバイオテック企業だ。その創業者でハーバード大学医学系大学院 (米国マサチューセッツ州ボストン) のDavid SinclairとTillyとの共同研究が、OvaScience社創立のきっかけとなったのだ。

Sinclairは「自分とTillyは互いを応援し合う仲だ」と話し、2009年には共同で、加齢に伴って卵が劣化するの、年を取った卵ほど、受精を支えるのに十分

なエネルギーがなくなっていくからだという説を検討した。その際Sinclairは、アンチエイジングの専門知識や議論した体験を提供したのだ。ただし、Sirtris社創立の基盤となった最初の研究結果の一部は、今も再現できず、この分野の論争点の1つとなっている (*Nature* 2010年3月25日号 480~481ページ参照)。

「Jonと私はいいコンビです」とSinclairは話す。「我々2人で科学の限界を押し広げていますから。でもそれで、2人とも反発を食らっていますが……」。

Tillyは、積極性と情熱を備えているが、それでも、絶え間ない衝突を重荷に感じているようだ。彼は時間の多くを卵巣内の卵原幹細胞の研究にシフトさせたものの、いまだに、骨髄幹細胞も新しい卵を形成しているのではないかと考えている。しかし批判者たちは、たとえ卵原幹細胞の存在は認めたとしても、骨髄幹細胞が新しい卵を作り出す可能性については疑問視しており、否定的だ。

「これまでに得られたデータでは、骨髄幹細胞による卵形成という説を裏付けることはできません」とAlbertiniは言う。しかしTillyは、これらの幹細胞が体内で何かしているはずだと今も思っている。ただ、彼は憤慨しつつも、骨髄幹細胞が不妊治療には重要でないことを、認めようとしている。「もし、こうした細胞を体外に取り出して、機能を果たせる卵へと分化させられて、正常で健康な赤ちゃんまで発育させることができれば、生理的な特性や仕組みなんか、どうでもよくなるんですけどね」。

(翻訳：船田晶子)

Trisha Gura は、米国マサチューセッツ州ボストン在住のフリーランスライター。

1. Johnson, J. *et al. Nature* **428**, 145-150 (2004).
2. White, Y.A.R. *et al. Nature Med.* **18**, 413-421 (2012).
3. Zuckerman, S. *Recent Prog. Horm. Res.* **6**, 63-109 (1951).
4. Gosden, R. G. *Hum. Reprod. Update* **10**, 193-195 (2004).
5. Johnson, J. *et al. Cell* **122**, 303-315 (2005).
6. Telfer, E. E. *et al. Cell* **122**, 821-822 (2005).
7. Eggan, K. *et al. Nature* **441**, 1109-1114 (2006).
8. Lee, H. J. *et al. J. Clin. Oncol.* **25**, 3198-3204 (2007).
9. Zou, K. *et al. Nature Cell Biol.* **11**, 631-636 (2009).
10. Tilly, J. L. & Telfer, E. E. *Mol. Hum. Reprod.* **15**, 393-398 (2009).
11. Zhang, H. *et al. Proc. Natl Acad. Sci. USA* **109**, 12580-12585 (2012).

# ブタのレシピを広げる極上ゲノム情報

## Pig geneticists go the whole hog

ALISON ABBOTT 2012年11月15日号 Vol. 491 (315)

ブタの高品質ゲノム情報が得られたことで、  
養豚業や医学へのさまざまな応用に向けて期待が高まる。



ブタの「基準」となった T. J. Tabasco。

イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校(米国)の遺伝学者Lawrence Schookの研究室の壁には、赤みがかった顔の「女神」が祭られている。「T. J. Tabasco」という名の雌ブタの剥製だ。彼女はNature<sup>1</sup>11月15日号で不朽の地位を得た。ただし、そこに刻まれたのは彼女の名前ではなく、ゲノムのDNA塩基配列である。

研究者たちは今、このゲノム情報をどう料理するか、レシピを思い巡らせて舌なめずりをしている。過去20年の間に我々は、ブタのゲノムから情報をじわりじわりと引き出し、より健康で、より肉付きのよいブタ品種を生み出したり、ヒト疾患をより忠実に再現するモデルを作り出したりすることに利用してきた。今回、T. J.の概要ゲノム塩基配列およびその詳細な注釈付けが解析され、その結果が報告された。研究の基準となる「参照用ゲノム」として利用できる情報が得られたことで、ブタの育種やモデル動物作製といった研究が加速するに違いない。さらには、ヒトへ移植するための臓器を、遺伝子を操作したブタから得ることも可能になるかもしれない。「特に農業分野では、すぐに役立つでしょう。養豚業界は、新しい技術や知識を取り入れるスピードが並外れて速いですから」と、論文の代表著者の1人であるロスリン研究所(英国エディンバラ)のAlan Archibaldは話す。

T. J.は、家畜ブタのデュロック種(*Sus scrofa domestica*)という品種で、2001年に米国イリノイ州で生まれた。翌年、

Schookらが、T. J.の耳の皮膚片から線維芽細胞株を樹立し、さらにその細胞株を使ってクローン個体を作り出した。これで、同一のゲノムを持つクローンを使ってブタの研究ができるようになった。そうして、米国立衛生研究所(NIH、メリーランド州ベセスダ)が資金を提供している「米国立ブタ資源研究センター(NSRRC、ミズーリ州コロンビア)」では、何頭かのクローンブタが作製され、またそれと並行して、ヒト疾患を模倣するために遺伝子を加えたり欠失させたりした「遺伝子組み換えブタ」も作り出された。「こうしたブタを作ることは、ゲノムの解明につれてますます容易になっています」と、NSRRCの理事である生理学者のRandall Pratherは語る。

NIHは、ヒト疾患のブタモデル研究に力を入れるため、2003年にNSRRCを設立した。ブタの飼育には、げっ歯類よりも費用がかかり、また繁殖にも時間がかかる。しかし、そうした欠点を補って余りあるのは、臓器の大きさをはじめとする解剖学的構造や生理特性がブタとヒトでは似ているところだ。例えば、ブタの目はヒトと同じくらいの大きさで、網膜内の視細胞の分布も似ているので、失明の一因となる網膜色素変性症の最初のモデル動物として採用された。また、4年前に作られた<sup>のうぼう</sup>嚢胞性繊維症のブタモデル<sup>2</sup>は、マウスモデルと違ってヒトの病態によく似た症状になる。

また、ブタの消化器系や代謝も、ヒトと似ている。それを利用して、ルードヴィヒ・マクシミリアン大学(ドイツ・

ミュンヘン)の遺伝学者で獣医でもあるEckhard Wolfは、糖尿病のモデルを開発した。ブタは、ヒトと同じく雑食動物であるため、糖尿病にもなるのだ。ブタモデルの1つには、正常なインスリン分泌に必要な「インクレチン」というホルモンが十分に作用できないように変異遺伝子を導入してある<sup>3</sup>。この変異遺伝子をマウスに導入すると、想定以上に重症の糖尿病を発症するが、ブタではもっと軽度の「前糖尿病」と呼ばれる状態になるので、ヒトの糖尿病のモデルとしてはブタのほうが優れている。「これは、ヒトと似た生理特性を持つ動物をモデルとして使うことの重要性をよく表しています」とWolfは話す。

現在、アルツハイマー病やがん、筋ジストロフィーなど、よく見られる病気のブタモデルも、開発されようとしている。今回、ヒト疾患に関係すると思われる112個の遺伝子変異が発見されたことによって、こうしたモデル作製研究はさらに充実するだろう。また高品質ブタゲノムの解明は、ヒトに心臓や肝臓などの臓器を供給できる遺伝子組み換えブタの作製に取り組むためにも役立つ。移植先の個体の免疫系を欺くことができる遺伝子をブタに組み込み、移植片が拒絶されないようにしようという構想もある。ブタゲノムが解明され始めた初期に得



られた情報は、実際に、畜産の分野で役立つ、1991年の「ブタのストレス症候群」(過熱暖房、移動、交配などによるストレスでブタが突然死する)に関係する遺伝子の発見につながった<sup>4</sup>。この発見によって、現在では、原因となる変異の有無を検査してブタ個体を選別できるようになった。

今回のブタの全ゲノム解読で得られた情報は、「ブタ繁殖・呼吸障害症候群(PRRS)」にかかりにくい系統を作り出すことにも役立つに違いない。PRRSはウイルス性疾患の一種で、この疾患によって、米国の養豚業界は年間6億ドル(約510億円)もの損失を被っている。

米国の研究グループ・ネットワークであるPRRS宿主遺伝学コンソーシアムは、1本の染色体上に、PRRSに感染したときに血中のウイルス量に影響を与える領域があることを突き止めた<sup>5</sup>。PRRSの研究をしているArchibaldは、これに関与する遺伝子を特定するのに、今回報告された高品質のゲノム塩基配列が役立つだろうと話す。

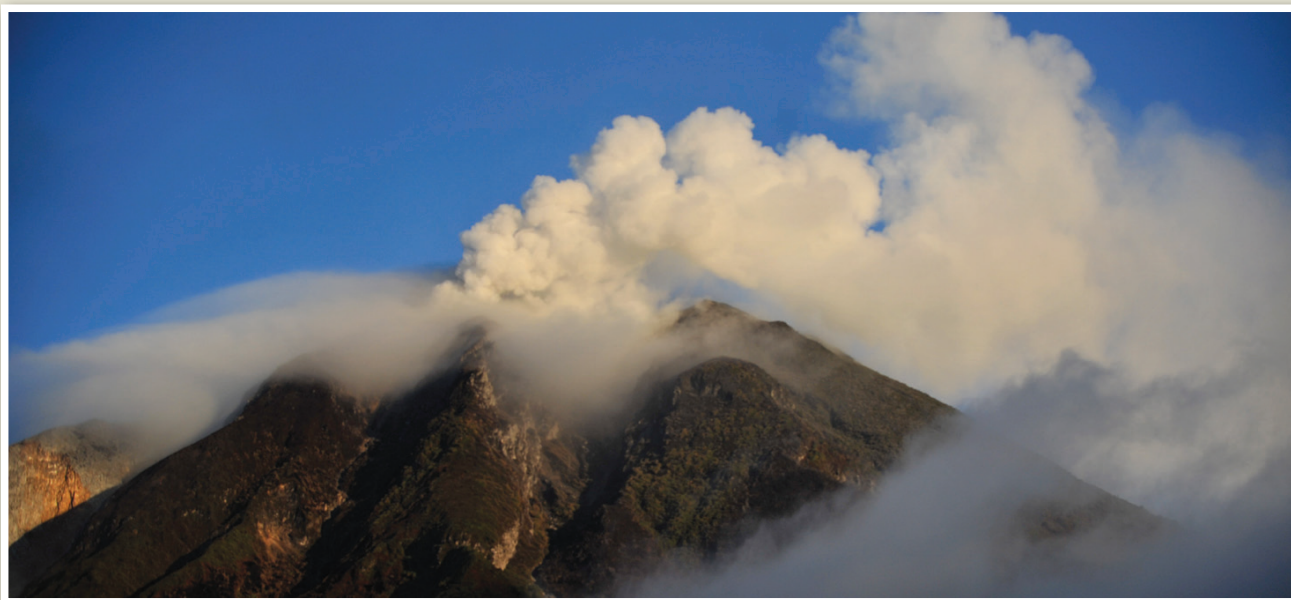
ところで、ブタゲノム情報の価値は応用面だけにとどまらない。論文の筆頭共著者であるワーヘニンゲン大学(オランダ)のゲノム研究者Martien Groenenは、野生ブタと家畜ブタのさまざまな系統についてゲノムを再解析したところ、

ブタはアジアとヨーロッパでそれぞれ独立して家畜化されたことが明らかになった。また彼は、脊柱がより長くてベーコンがたくさん作れるなどの「望ましい形質」が選択される際に、どこの大陸でどの遺伝子がかかわったかを解明する研究にも、すでに取りかかっている。「この研究は知的好奇心に駆られて始めたのですが、将来的には動物育種にも役立つと思いますよ」と彼は語っている。 ■

(翻訳: 船田晶子)

1. Groenen, M. A. M. et al. *Nature* **491**, 393-398 (2012).
2. Rogers, C. S. et al. *Science* **321**, 1837-1841 (2008).
3. Renner, S. et al. *Diabetes* **59**, 1228-1238 (2010).
4. Fujii J. et al. *Science* **253**, 448-451 (1991).
5. Boddicker, N. et al. *J. Anim. Sci.* **90**, 1733-1746 (2012).

## RESEARCH HIGHLIGHT



BAY ISMOYO/AFP/GETTY

## 火山噴火の明確な前兆現象

### Volcanoes swell before blasting

2012年11月22日号 Vol. 491 (498)

インドネシアの西スダ弧は、地球上で最も活動が盛んな火山地域の1つである。この島弧に沿った複数の火山で、中心部に顕著な隆起が見られ、それが噴火の前兆現象となっているようだ。

マイアミ大学(米国フロリダ州)のEstelle ChaussardとFalk Amelungは、2006年から2009年まで、スマトラ島、

ジャワ島、バリ島にある76の活火山について、レーダーを使って山体の膨張の遠隔探査を実施した。調査期間中に明瞭な隆起信号が見られた6つの火山のうち、シナブン山(写真)、クリンチ山、スラムット山の3つで、その後まもなく噴火が発生した。

著者らは、インドネシアのように、マグマだまりが比較的浅い所にある地域では、山体の測定可能な膨張が、噴火の前兆となっている場合が多いと結論付けている。この知見は、火山活動の予測を大幅に向上させるかもしれない。

*Geophys. Res. Lett.* <http://dx.doi.org/10.1029/2012GL053817> (2012)

(翻訳: 三枝小夜子)

# 飛躍のときを迎えた量子シミュレーター

Quantum leaps

GEOFF BRUMFIEL 2012年11月15日号 Vol. 491 (322-324)

本格的な量子コンピューターが登場するのは、まだまだ先の話だ。その前段階として、量子系（量子システム）をシミュレーションできる機械があり、最近、それに対する関心がますます高まっている。

2012年7月、高エネルギー物理学者は、長らく探し求めていたヒッグスボソンをついに発見したと宣言した。ヒッグス粒子の発見は、この数十年間の科学的発見の中でも最大級の成果であり、実験に関与した数千人の研究者が得意になるのは当然だった。しかし、彼らより先に、別の形でヒッグス粒子を発見したチームがあった。

その数か月前、9人の物理学者からなる研究チームは、ルビジウム87原子の希薄な蒸気を絶対零度に非常に近い温度まで冷却し、レーザーを利用して、その原子を小さな格子状に整列させた。そして、温度を微調整して、原子を「相転移点」に近づけていった（相転移とは、例えば液体の水が固体の氷になるように、物質相が別のものに変わること）。相転移点は、そのときの条件のこと）。相転移点に至る格子の中間状態をモニターしていた研究者たちは、異常なエネルギーの波がわずかな間だけ現れて、そして消えていくようすを観察した<sup>1</sup>。これは、数学的には、粒子衝突型加速器の中でヒッグス粒子が出現し、崩壊する様子をシミュレーションしたことに相当するのだ。

研究チームを率いたマックス・プランク量子光学研究所（ドイツ・ガルヒンク）の研究者Immanuel Blochは、「もちろん、これ自体は、ヒッグス粒子とは全然違うものです」と言う。少なくとも、ヒッグス粒子が3次元で動きまわるのに対して、この粒子は2次元でしか動きまわる

ことができない。それでも彼は、この実験は素粒子物理学者の研究の役に立つと主張する。ヒッグス粒子の基礎にある複雑な場の量子論について、謎を見つけたり検証したりする新しい手段となるからだ。

このような実験は、「量子シミュレーション」という急速に発展しつつある分野に属している。この成果でBlochのチームは一気に分野の先頭に躍り出たといえる。量子シミュレーションを大雑把に説明すると、整然とした系（原子を整列させた格子など）を用いて、はるかに複雑な対象（新しい素粒子や高温超伝導体など）のモデルを作ることだといえる。こうした系の振る舞いをモデル化することは、手計算はもちろん、世界最速のスーパーコンピューターを使っても簡単ではない。

「量子コンピューター」は、複雑なモデルの作成から暗号解読まで、あらゆる問題を解決する画期的な方法として、30年以上も前から大々的に喧伝されてきた。その弟分とも呼ぶべき物理学上の概念が、「量子シミュレーター」なのだ。いずれも、量子力学の法則に従って動作する能力については同じであるが、違いは計算能力にある。量子コンピューターが、あらゆるアルゴリズムを実行できる汎用マシンであるのに対して、量子シミュレーターは、解こうとする問題に合わせて製作しなければならない。また、今ある量子シミュレーターは制御が困難で、どんな問題でも扱える訳ではない。

しかし、量子シミュレーターは量子コンピューターに比べて製作がはるかに容易であり、近い将来、ほかの方法では歯が立たない量子システム（量子系）の問題でも、いくつか解決できるようになるだろうと期待されている。

## 量子シミュレーターの基礎

量子物理学の世界には数多くの法則があるが、暗黙の了解事項もある。それは「注目してもらいたいと思ったら、そのアイデアがファインマン（Richard Feynman）に由来していると言えばよい」というものだ。

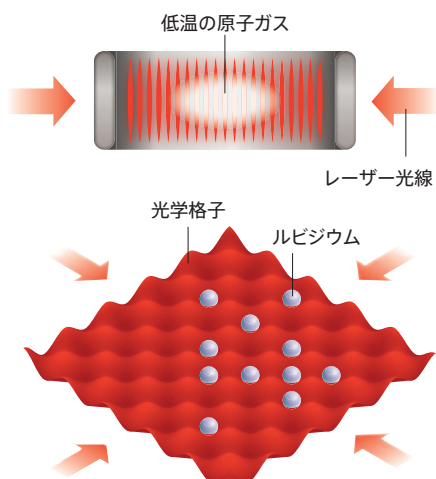
20世紀中期の最も偉大な理論物理学者ファインマンが、量子シミュレーションのアイデアを思いついたのは、1981年にマサチューセッツ工科大学（MIT、米国ケンブリッジ）で開催された学会の基調講演を依頼されたときのことだった<sup>2</sup>。彼は、コンピューターで物理学のシミュレーションを行う方法について話そうと決めると、ためらうことなく問題の核心に切り込んでいった。コンピューターは必然に従って動作するが、自然は根源的なレベルでは確率的に振る舞う。量子力学の法則によれば、粒子が1つの状態にあることはきわめてまれで、2つの状態の「重ね合わせ」として存在することがわかっている。そして、ひとたび観測が行われると、このパラドックスは統計法則に従って解消する。例えば1個の電子の「スピン」を観測すると、一方を向いている確率と、その逆を向いてい

## 量子のボードゲーム

量子シミュレーターの作り方にはいろいろあるが、基本的な概念は同じである。まずは原子かイオンか電子を用意し、極低温まで冷却して、格子状に整列させる。それから格子上の相互作用を微調整して、より複雑な材料に似た振る舞いをさせるのだ。

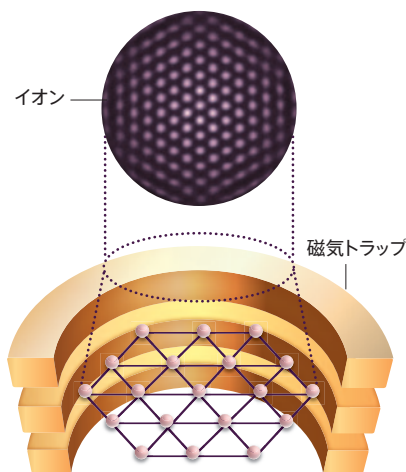
### 低温の原子

交差するレーザー光線を利用してルビジウム原子の位置を固定する。レーザー光線は、個々の粒子の微調整にも利用できる。1対のレーザー光線を使えば原子を1次元のコラム内で保持することができるし（上）、2対のレーザー光線を使えば原子を格子中に保持することができる（下）。格子系で励起した原子の中には、ヒッグス粒子のような振る舞いを見せるものもある。



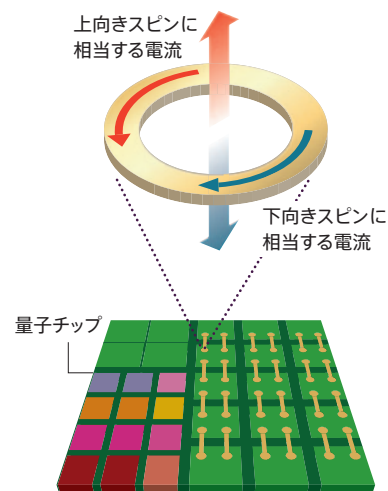
### トラップされたイオン

電場と磁場の組み合わせにより、イオン化して電荷を持つ原子を、整然とした格子の中にトラップすることができる。量子磁性は古典的なシステムではシミュレーションできない現象だが、トラップされたイオンは、量子磁性の相互作用に似たやり方で、振動したり回転したりする。



### 超伝導ループ

量子化された電流のループでは、超伝導回路の中を、時計回りか、反時計回りか、その両方の重ね合わせの向きに、電流が流れる（上）。そのようなループを整然と並べたもの（下）を操作すると、さまざまな量子システム（量子系）だけでなく、おそらくは光合成のような生物学的な過程もシミュレーションできるはずだ。



る確率は半々になる。

通常のコンピューターでプログラミングして、1個の電子の確率的な振る舞いに関するモデルを作るのは難しくない、とファインマンは言った。しかし、粒子は単独で存在するものではなく、量子系では、その確率はリンクすなわち「相関」している。このような相関がある場合、粒子の状態のあらゆる組み合わせを別々に計算する必要があるため、複雑性（計算量）は、指数関数的に増大する。3個の電子からなる系には8通り（2の3乗）の並べ方が考えられ、計算する必要がある確率は8種類である。しかし、300個の電子からなる系では、並べ方は2の

300乗、つまり宇宙の全原子の数になってしまうのだ！

ファインマンは、基調講演の時間のほとんどを使ってこの難問の解決策を検討し、通常のコンピューターを使ってこの問題を解くのは容易ではない、という結論に達した。そして、1つの可能性を提案した。それは、確率を使って“思考”するコンピューターを製作することだった。ファインマンが「量子イミテーター」と呼んだそのマシンは、モデルを作ろうとする系に、非常によく似たものとなる。量子イミテーターは、すべての結果を計算する必要はなく、単に、確率の範囲を再現する。それは、1つの解の代わ

りに多くの解を与え、それぞれの解が実現する可能性から、複雑な系の振る舞いの確率的な描像を与えるようなマシンである。ファインマンは具体的な計算こそしなかったが、「ほとんどすべての量子系は、スピンなどを並べた小さな格子を使って、何から何まで全部シミュレーションできる」と結論付けた。

ファインマンが講演した時点では、彼が説明したような小さな格子は存在していなかった。量子系はきわめて壊れやすく、外界との相互作用は、ほとんどの場合、デリケートな相関を破壊してしまう。「シミュレーションを無事に終わらせるだけの粒子間距離を保ちつつ、物理

学者が解を取り出せるだけの相互作用ができる状態を作り出すこと」がポイントであり、その技術を開発するのに30年もの時間がかかったのだ。おかげで今では、複数の選択肢がある。Blochのグループは中性の原子を使っているが、第2の手法として、電場や磁場をレーザーと組み合わせて、ベリリウムなどの軽い原子のイオンをトラップしているチームもある。第3の手法は、超伝導超小型回路内の渦電流の制御を利用するもので、第4の手法は、顕微鏡サイズの導波管の中を動く光の量子（すなわち光子）を利用するものだ（「量子のボードゲーム」参照）。

いずれのタイプの量子シミュレーターも、その性能はめざましく向上している。2012年4月には、米国立標準技術研究所（コロラド州ボルダー）のJohn Bollingerが率いるグループが、トラップされたイオンを数百個も2次元的に整列させたシステムで、ある種の量子磁性をシミュレーションできることを実証した<sup>3</sup>。Bollingerによれば、彼らの量子シミュレーターは、弱い磁場についてはうまく機能しているようだ。けれども、弱い磁場なら、すでに古典的なコンピューターでモデル化できている。そこで彼は今、このシミュレーターを改良して、現時点で最も強力なスーパーコンピューターでも不可能な、強い磁場のシミュレーションができるようにしたいと考えている。

一方Blochは、中性原子を使ったシミュレーターで、ヒッグス粒子以外のシミュレーションもやってみたいと考えている。例えば、格子状に整列したルビジウム原子は、高温超伝導体のモデル作りに利用できるかもしれない。これらの材料は複雑で、電気抵抗なしの超伝導電流は、金属超伝導体よりはるかに高い温度で流れるが、そのメカニズムは四半世紀以上も不明のままである。理論家たちはさまざまなモデルを考案してきたが、それらを検証できずにいる。超伝導体中の電子を単離して調べることが、非常に難しいからだ。そこでBlochは、電子の代

わりに原子を使って、これを検証したいと考えている。交差するレーザー光線の強度を変えることによって、格子中の一点にある原子を別の点までトンネルさせるのだ。このようすは、高温超伝導体の原子が作る格子の中を、電子が動き回るようすによく似ている。したがって、少なくとも高温超伝導理論のいくつかは、Blochのセットアップで検証できるはずである。

量子シミュレーターは、量子系というジャンルを超えて、膨大な計算が必要になる問題、例えばタンパク質の折りたたみ問題などのモデル化にも、広く利用されるかもしれない。最近それを実現したのが、D-Wave Systems社（カナダ・バーナビー）とハーバード大学（米国マサチューセッツ州ケンブリッジ）の研究チームだ<sup>4</sup>。彼らは、1個の超伝導チップ上にある128個の電流ループからなる量子系に、タンパク質の折りたたみ問題を数学的にマッピングした。個々の電流ループは、時計回りか、反時計回りか、その両方の重ね合わせの向きに回っている。

このシステムの性能は低く、実験で決定した正解を導き出せたのは、試行1万回のうちのわずか13回だけだった。それでも、ハーバード大学の理論化学者で、この論文の共著者であるAlan Aspuru-Guzikは、「それができたこと自体が、驚くべきことなのです」と強調する。

### 目標の変更

技術は進歩したが、現在ある量子シミュレーターは、ファインマンの「汎用」量子コンピューターすなわち、どんな量子アルゴリズムでも実行でき、考えうるかぎりの量子系をシミュレーションできる本格的な量子コンピューターと比較すれば、へたな真似事レベルにすぎない。ファインマンの講演以来、研究者たちは量子コンピューターの応用可能性を模索してきた。

おそらく、最も重要な研究は1994年に行われたもので、現在はMITに所属する数学者のPeter Shorが、量子コン

ピューターを強力な暗号解読機として機能させるためのアルゴリズムを発表したことだった<sup>5</sup>。この研究がきっかけとなり、ほかの種類の量子アルゴリズムが発表され、また、多くの科学者（と複数の情報機関）が量子コンピューティングの探究に加わり、量子コンピューターの開発が盛んに行われるようになった。

しかし、強力な汎用量子コンピューターを製作するのは容易ではないことも判明している。ファインマンが考えたコンピューターは、数千個、ひいては数百万個の原子を同時に制御できるものであったが、現在のシステムの大半は、規模と制御の間にトレードオフ関係がある。例えば、Blochのシステムでは、レーザー格子に数十万個の原子を保持できるが、こうした原子の量子状態を個別に設定することはできない。これに対して、トラップしたベリリウムイオンを使ったシステムは、個々の原子をもっとよく制御することができるが、高い精度で管理できる原子は、ほんの数個なのである。そのうえ、デリケートな量子状態を破壊する外界からの擾乱じょうらんの問題がどこにでも出てきて、ごく小さな衝突が計算ミスを生み出してしまふのだ。

このように、現在のシステムは理想からあまりにもかけ離れている。それもあって、かつては目標のための足がかりと見られていた量子シミュレーターが、今では立派な1つの目標となっているわけだ。量子シミュレーターは、量子コンピューターほど大規模である必要がない。何より重要なのは、シミュレーションの答えがすべての原子の平均としてコード化されるため、外界からの擾乱に強いと考えられることである。

マックス・プランク量子光学研究所の理論家Ignacio Ciracは次のように言う。「量子コンピューターでは、どの粒子にも間違いが起きないようにしなければなりません。しかし、量子シミュレーションでは、100個の粒子があつて1個が間違っていたとしても、99個はまだ正しいのです」。

この現状を、20世紀半ばになぞらえる人もいる。その当時、Vannevar Bushのような科学者たちは、抵抗やコンデンサーから作ったアナログコンピューターの実験を進めていた。マシンは、特定の問題、あるいは特定のタイプの問題に合わせて製作され、入力信号に対して一連の単純な演算を実行した。中には数学の計算ができるマシンさえあった。

プログラムできるようにトランジスタを組み合わせ、事実上、どんなプログラムでも実行できるデジタルコンピューターに慣れ親しんだ現代人には、こうしたアナログマシンは取るに足りないものと見えるであろう。しかし、MITの理論物理学者で、エンジニアでもある Seth Lloyd は、アナログコンピューターは、そのアーキテクチャーに合った応用に限れば、高速で安定していて非常に有益なマシンだったと指摘する。例えば、機械を制御するのが非常に得意だった。「アポロ計画で使われたサターン月ロケットの制御回路は、すべてアナログだったのですよ」と Lloyd は言う。

量子シミュレーターは、アナログコンピューターと同様、その構成部品と密接に関連しているため、本当の量子コンピューターほどの柔軟性はない。けれども、量子シミュレーターの可能性を信じる Lloyd は、複雑な量子系の問題の中から、アナログコンピューターにとっての月ロケットのような得意分野がまだ見つかっていないだけだ、と考えている。

例えば、マイクロプロセッサがさらに小型化され、新しい材料が分子レベルで設計されるようになると、量子効果はますます重要になってくる。そうになると、設計者が材料の振る舞いを理解し、予測できるようにする量子モデルに対して、ニーズは劇的に高まるはずだ。量子シミュレーターは、そうした要求の一部に応えることになるだろうと Lloyd は予想する。「実際、量子シミュレーターを利用して、各種の特殊な事例が検討されているようです。そうした事例はどんどん増えているようです」と彼は言う。

Aspuru-Guzik は、その1つとして光合成を思い描いている。植物の葉に当たった光は、正負の電荷の対を作る。これらの電荷は長距離を移動して反応中心に到達し、そこでエネルギーを作るために使われる。ここで、正負の電荷の対は、量子力学の法則に従って移動している可能性がある。一部の研究者は、電荷の対の集合的な波動関数が葉の内側の光を吸収する発色団分子に広がることで、電子の対が古典的な方法よりも効率よく移動できるようにしているのではないかと考えている (*Nature* 474, 272-274; 2011 参照)。

Aspuru-Guzik やほかの研究者らは、量子シミュレーターは、この反応がどのように起こるかを正確に解き明かすのに役立つだろうと考えている。光合成には量子的要素と古典的要素の両方があるため、Aspuru-Guzik はこれを「汚れた量子システム」と呼んでいる。そして、超伝導電流ループを並べたものが、そのモデルを作るのに最適かもしれないと彼は言う。こうしたループも外界からの雑音の影響を受けやすいからだ。しかし、それさえも容易ではなさそうだ。Aspuru-Guzik は、光合成のような反応のシミュレーションには量子ビットが数百個は必要であり、そのようなシステムが実現するのは、早くても10年後だろうと予想する。

実際に量子シミュレーターの開発に取り組んでいる科学者たちは、もっと控えめだ。彼らの多くは、自分の量子シミュレーターが信頼度の高い結果を出せることを証明するため、まずは、従来のスーパーコンピューターで計算できるような問題のモデル化から始めている。そこから徐々に、原子や電流のループやその他の小さなユニットへと発展させて、最終的に、スーパーコンピューターでは扱うことのできないところまで行きたいと計画している。

メリーランド大学カレッジパーク校(米国)の物理学者 Chris Monroe は、「我々が提供するモデルは、実際の材料には対

応していないかもしれません。けれどもある意味、そんなのはどうでもいいことなのです」と言う。新しいシステムは、超伝導体やヒッグス粒子のような振る舞いを示さなかったとしても、従来のコンピューターではわからなかったことを1つか2つ教えてくれる可能性がある。

Monroe らは、今後、さまざまなものをモデル化する量子シミュレーターが製作されるようになる、と信じている。例えば低温の原子では、超伝導体のシミュレーションしかできないかもしれないが、イオンなら磁性を扱うことができる。それでも、どんなに工夫してもシミュレーションできない量子システムは残ってしまうだろう。

量子シミュレーターの応用可能性は、ファインマンの汎用量子マシンに比べると、かなり見劣りするかもしれない。それでも、量子シミュレーターへの関心はますます高まっている。「特に10年ほど前に量子コンピューティングのアイデアをばかにしていた物理学者の多くが、今や、それを受け入れつつあるのです」と Monroe は言う。さほど大胆でないぶん、実現の可能性が高いと見られているのではないか。

「人生からレモンをもらったら、レモネードを作ればよい」という英語表現がある。レモンはすっぱいが、砂糖を加えて作ったレモネードは甘い、つまり逆境は工夫次第で乗り切れる、という意味だ。これをもじって Lloyd は、「量子のレモンをもらったら、量子のレモネードを作ればよいのです」と言う。つまり、量子コンピューターほど優れていなくても、「レモネードがおいしくて気分を爽快にしてくれるなら、すばらしいことではありませんか」というのだ。■

(翻訳：三枝小夜子)

Geoff Brumfiel は、*Nature* の上級記者である。

1. Endres, M. et al. *Nature* **487**, 454-458 (2012).
2. Feynman, R. P. *Int. J. Theor. Phys.* **21**, 467-488 (1982).
3. Britton, J. W. et al. *Nature* **484**, 489-492 (2012).
4. Perdomo-Ortiz, A., Dickson, N., Drew-Brook, M., Rose, R. & Aspuru-Guzik, A. *Sci. Rep.* **2**, 571 (2012).
5. Shor, P. W. *SIAM J. Comput.* **26**, 1484-1509 (1997).

# 米国の医学生物学研究機関の倒産

## Private labs caught in budget crunch

HEIDI LEDFORD 2012年11月22日号 Vol. 491 (510)

連邦政府、直接的には米国立衛生研究所 (NIH) の予算削減によって、ボストン生物医学研究所 (BBRI) といった著名な独立系研究所が倒産し始めた。

Charles Emersonが所長を務めるボストン生物医学研究所 (BBRI) で、解散の是非を問う投票が行われることになった。その前夜、どちらに投票するのかEmersonに尋ねたところ、彼は押し黙ってしまった。連邦政府の助成金が減額され、それに輪をかけた景気低迷の結果、BBRIは赤字経営に陥った。慈善団体に対する要請、学術機関とのパートナーシップの模索、果てはBBRIビル (マサチューセッツ州ウォータータウン) の部分的な賃貸まで、資金調達のために必死の努力が重ねられたが、焼け石に水だった。Emersonが、ようやく口を開いた。「解散に賛成の投票をするつもりです。これ以外に方法はありませんから」。

2012年11月15日、BBRIの理事会メンバーは、61対15の投票結果により、44年間の生物医学研究の歴史に終止符

を打つことに合意した。BBRIは、アルツハイマー病ワクチンの研究などのほか、米国立衛生研究所 (NIH) からの助成金によって、成人筋ジストロフィー症の一種を重点的に研究する付属機関の設立なども進めてきた。米国には、ここと似た運命をたどることが懸念される独立系研究所が、ほかにもいくつか存在している。「BBRIは、こうした倒産の最初の犠牲者なのかもしれません。同じことが、ほかの研究機関に起こる可能性があり、BBRIより大型の研究機関でさえ、起こりうる話なのです」。こう話すのは、フォックス・チェイスがんセンター (米国ペンシルベニア州フィラデルフィア) の最高科学責任者Jonathan Chernoffだ。

独立系研究機関では、研究者は、大学や病院の研究者の義務である学生や実習生の指導研修のほか、煩わしい事務手続

きからも解放されていることが多い。しかし、それゆえに授業料収入はなく、大学のような資金調達を組織的に進める経営インフラストラクチャーや熱心な同窓会組織も存在しない。「我々の研究所は、大学にない機敏さを備えています。しかし我々のような小さな船には、常に沈没の危険性が背中合わせにあるのです」とChernoffは言う。

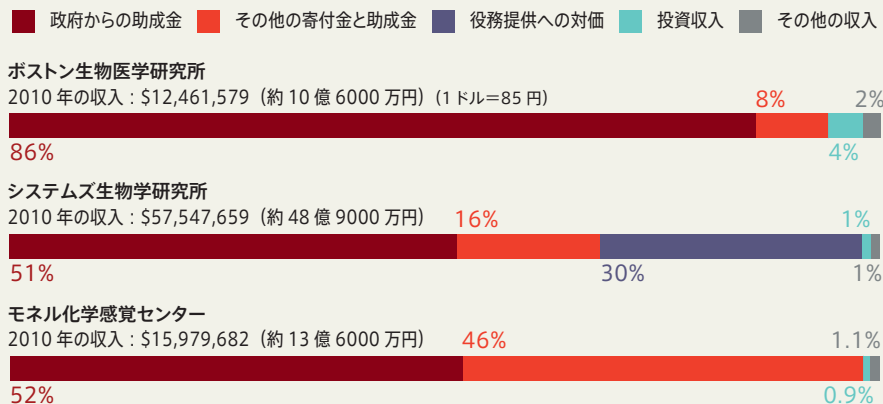
フォックス・チェイスがんセンターは、最終的にはその沈没を回避するために、独立性を犠牲にした。同センターは2008年の金融危機からの回復に苦しんだ末に、2012年7月、テンプル大学ヘルスシステム (フィラデルフィア) に8380万ドル (約71億円) で売却された。「この売却による影響に対応するため、私たちは今も努力を続けています。今後、我々の研究組織の風土がどのように変わっていくのか、よくわかりません」とChernoffは話す。

多くの生物医学研究機関の収入は、個々の研究者に対するNIHの助成金に大きく依存している。しかし、NIHの予算は、2010年以降、継続的に削減されており、この傾向がすぐに反転する気配は見られない。これが、BBRIの命取りになった。研究所に属する多くの研究者が、NIH助成金の更新に難航し始めたとき、まさにそれと歩みを共にするように、重要な多額の助成金受給者が退職したり、あるいは別の研究機関に移籍してしまっただけだ。

数字を挙げよう。2010年にBBRIに交付されたNIH助成金は、1000万ドル (約8億5000万円) で、その年のBBRI予算の80%以上を占めていた (「バランスのとれたポートフォリオの重要性」参照)。しかし2012年には、NIH助成金は650万ドル (約5億5000万円) まで削減された。そして、2012年7月、Emersonは、2013年のNIH助成金による収入が、なんと約300万ドル (約2億6000万円) にすぎないとする見積りを入手したのだ。そのとき、BBRIには打つ手がなくなるとEmersonは打ち明けた。

### バランスのとれたポートフォリオの重要性

閉鎖されるボストン生物医学研究所 (BBRI) の2010年度予算には、NIHからの資金に過剰に依存することのリスクが示されている。これに対して、別の同規模の2つの研究機関は、多様な資金調達モデルを採用している。



ラホヤ・アレルギー免疫研究所(カリフォルニア州)も、BBRIと同様に、予算の中でNIH助成金の占める割合が約80%となっている。NIHの財政危機が差し迫っていることを同研究所がはっきりと認識したのは、今から5年前のことだったと最高技術責任者Stephen Wilsonは話す。それ以降、研究所内では、基幹スタッフ以外の人員削減を進めてきた。現在、ラボマネージャーに予算管理ソフトウェアの研修を受けさせ、研究所員に対しては、紙コップを使うのではなく、マグカップを持参するよう推奨している。また、多くの研究機関と同様に、同研究所も慈善団体への寄付の働きかけを積極的に進めている。

ところが、慈善団体による寄付には欠点がある。多くの慈善団体は、研究の間接経費、すなわち、電気・ガス・水道や管理職員といった地味な運営費用の負担を求められることを嫌うのだ。したがって、一般諸経費に十分に対応してくれない高額の寄付金を受け取ると、逆に、研究機関の金銭的持ち出しが増えてしまう

ことがあるのだ。「慈善団体が『100万ドルを寄付しますが、間接費には対応しません』と言った場合、我々自身がかなりの額の資金を用意して対応しなければならないのです」とグラッドストーン研究所(カリフォルニア州サンフランシスコ)のSanders Williams所長は話す。

もう1つの資金調達ルートが、製薬会社やバイオテクノロジー会社との提携だ。例えばモネル化学感覚センター(フィラデルフィア)は、全世界の企業約50社との関係を構築することで、体制強化を図った。システムズ生物学研究所(ワシントン州シアトル)は、立ち上げに助力した新興会社の株式を保有している。また、バック加齢研究所(カリフォルニア州ノバト)は、自分たちの研究成果をもとに、スピンアウト会社を2社立ち上げている。

しかし、産業界から資金を調達することも決して容易な解決法ではない、とモネル化学感覚センターのGary Beauchamp所長は言う。「産業界そのものも予算削減に苦しんでいるところが

多いのです」と彼は続けた。Williamsも同じ考え方で、「こうした連携を維持するためには、日々の努力が必要なのです。今、我々は最悪の状況に直面しています。我々のすべての収入源が、さまざまな課題を背負い込んでいるからです」と話している。

EmersonとBBRIの場合は、もう手遅れだ。Emersonは、2012年の初めにBBRI理事会に新たな資金調達方法の最終リストを提示したが、結局、BBRIの850万ドル(約7億2000万円)の基金では、この事態を乗り切ることができず、また、組織を再編成するための時間的余裕もなくなった、と結論付けられた。

現在、Emersonは、ほかの研究機関への研究員の移籍を世話しながら、自らはマサチューセッツ大学医学系大学院(マサチューセッツ州ウースター)への移籍準備に力を注いでいる。「こうした結末にはなってほしくなかったです。今は、研究所の科学者が研究を続けられることを望むばかりです」と彼は話している。■

(翻訳: 菊川要)

## RESEARCH HIGHLIGHT

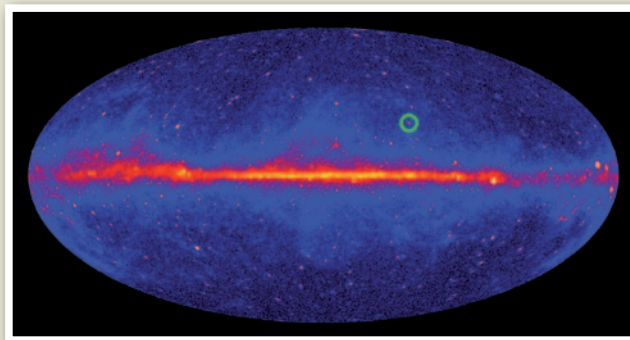
### “肉食系”パルサーの発見

#### Picking out a predatory pulsar

2012年11月1日号 Vol. 491 (10)

コンピューターの力を借りることで、「ブラック・ウィドー」と呼ばれるタイプのパルサーが見つかった。これは、強烈な放射によって伴星を蒸発させてしまうパルサーだ(ブラック・ウィドーは、雌が交尾後の雄を食べてしまうクロコケゴのこと)。

パルサーは超新星爆発を起こした星の残骸であり、灯台のように規則正しい間隔で各種の電磁波を放射している。γ線を放射しているものが多いが、普通は、γ線よりも検出が容易な電波と一緒に放射している場合に限って、検出できる。けれども今回、マックス・プランク重力物理学研究所(ドイツ・ハノーバー)のHolger Pletschらは、電波観測の結果に頼ることなく、フェルミγ線宇宙望遠鏡が収集した大量の生データ



を盲目的に探索することによって、新たなパルサー(図中円内)を発見した。

研究チームがコンピューターを駆使して探し出したこのパルサーは、93分で伴星の周りを軌道運動している。93分という公転周期は、これまでに見つかっているこの種の連星パルサーの中では最も短い。

Science <http://dx.doi.org/10.1126/science.1229054> (2012)

(翻訳: 三枝小夜子)

# 軸索にできる「小さな突起」に、シナプスの形成と成熟のカギ！

脳にある膨大な数のニューロンは、シナプスでつながれることで回路を構築し、記憶、学習、運動などの機能を果たす。しかしこれまで、シナプスができるようす自体をリアルタイムで詳細にとらえた研究はなく、その分子メカニズムにも、多くの謎が残されていた。このたび、東京大学大学院医学系研究科の岡部繁男教授らは、イメージングの手法により、シナプスの形成過程を鮮明にとらえることに成功した。



岡部 繁男

## シナプス形成で解明されたこと

——Nature ダイジェスト：一貫して、シナプスを対象に研究をされていますね。

岡部：はい。医学部時代より神経科学や精神科学に興味がありました。卒業後に解剖学教室に入り、ニューロンの形や、ニューロンどうしのつなぎ目であるシナプスに興味を持ちました。大学院時代に、シナプスの形作りをテーマに研究を始めました。最近ではイメージングの手法を取り入れ、「シナプスはいったん大量に作られるが、その後でかなりの数が除去されること」「ある割合のシナプスは常に形成と除去を繰り返しており、形成はごく短時間に進む現象であること」などを明らかにしてきました。

——シナプスの形成と除去について、これまでどのようなことがわかっていたのでしょうか？

シナプスはニューロンが回路を作るための重要な「つなぎ目」となります。サルでは、誕生後の3か月でシナプスが大量に作られ、その後はゆっくり減っていくことがわかっており、ヒトでも同様だと考えられています。まず十分な数のシナプスが作られた後で、回路に組み込まれなかった不必要分が除去されるのだと思いますが、どのような分子メカニズムで制御されているのか、除去されるシナプスがどのように決められているのかといったことは明らかにされていません。

また、回路に組み込まれたシナプスの多くは、非常に安定した構造として維持されますが、一部のみ、除去と形成が繰り返されます。日々の経験や外界刺激の変化に応じて回路を作り替える必要が生じるためだと考えられますが、こちらも、どのような因子が増減を制御しているのか、わかっていません。

ただし、シナプスの形成について、次のようなことがわかってきています。ニューロンの樹状突起と軸索が出会う際に、樹状突起側に「フィロポディア」という構造物ができます。このフィロポディアは軸索に接触することで形を変え「スパイン」という小さな突起物になります。このようなスパインは、シナプスとしての安定化に寄与すると報告されています。

## 軸索側の小突起がシナプス形成を促す

——今回、軸索側にも小さな突起ができることを突き止められました。

はい。軸索側にも突起のような構造物が観察されることは報告されていたのですが、機能が未解明でした。私たちは、マウスの小脳において、プルキンエ細胞の樹状突起と顆粒細胞の軸索の間でシナプスが作られる際に、軸索に「小さな突起」ができることを突き止めました<sup>1</sup>。この「小さな突起」の大きさや形は、スパインとよく似ていました。

——実験では遺伝子改変マウスを使われましたが、なぜでしょう？

共同研究者である慶應義塾大学医学部生理学教室の柚崎通介教授<sup>ゆずきみちすけ</sup>らが、小脳に特に多く発現するCbln1というタンパク質の機能解析をしており、共同でイメージング実験をしたいとおっしゃってくださったことがきっかけです。Cbln1タンパク質は4種が知られておりCbln1もその1つですが、機能についてはよくわかっていませんでした。

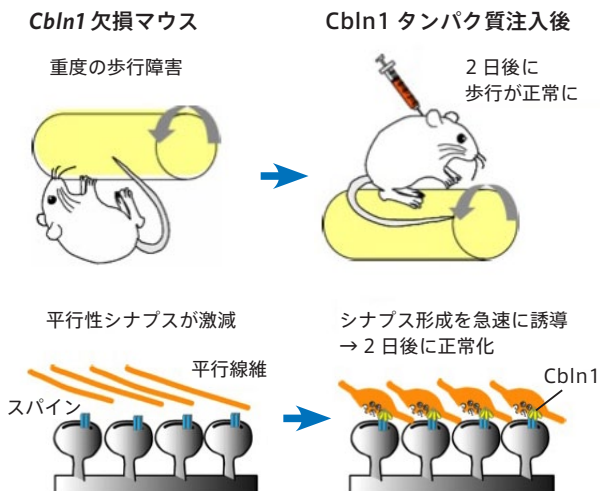


図1 Cbln1の投与がシナプス形成を誘導

Cbln1 欠損マウスは、プルキンエ細胞のシナプス数がきわめて少なく、重度の歩行障害を持つ。ところが、小脳にCbln1を注入すると、シナプス形成が急激に促され、2日後にはシナプスの数が正常化し、歩行機能が著しく改善した。



*Cbln1* 遺伝子を欠損させた遺伝子改変マウスはうまく歩けず、小脳失調状態を示していました<sup>2</sup>。これまでに柚崎教授らは、*Cbln1* タンパク質を小脳に注入すると、病態が著しく改善することを発見していました<sup>3</sup>。大人のマウスであっても、*Cbln1* タンパク質を注入すると1~2日で症状が劇的に改善するというのです。ただし、1回の注入での効果はそれほど持続しませんでした。

このことは、*Cbln1* タンパク質があると、小脳におけるシナプス形成が急速に進み、結果として歩行機能も回復することを強く示唆しています。この過程でシナプス部位がどう変化しているのかを、リアルタイムで見てみたいということになったのです。

#### ——具体的に、どのような実験をされたのでしょうか？

*Cbln1* 遺伝子欠損マウスの小脳を厚さ数百μmの切片にして培養しました。哺乳類のシナプスの数はニューロンの種類によってさまざまですが、小脳のプルキンエ細胞は、特に樹状突起が複雑でシナプスの数が多いことで有名です。スライスした神経組織は、数週間は生きたまま維持することができ、生体に近い分化や成長を再現することができます。私たちは、遺伝子工学的な手法を用いて、樹状突起に局在する分子が赤色の蛍光を、軸索に局在する分子が緑色の蛍光を発するように操作を加えました。そのうえで *Cbln1* 遺伝子を欠損させたマウス由来の切片を培養液中で維持し、プルキンエ細胞が成長していく様子をリアルタイムでイメージしたところ、軸索側の「小さな突起」も、樹状突起側のスパインも形成されませんでした<sup>1</sup>。軸索と樹状突起が接着しても、*Cbln1* によるシグナル伝達がないためにシナプスが形成されないことが、容易に想像できました。

次に、この培養切片に *Cbln1* タンパク質を加え、同じようにリアルタイムでイメージしました<sup>1</sup>。すると、軸索に「小さな突起」ができ始めました。さ

らに、シナプスの形成と成熟が促され、樹状突起側でのスパインの成熟も促進されました。「小さな突起」は約8時間後には「丸い数珠のような構造(シナプスの一部)」へと姿を変え、正常なシナプスができあがりました。

#### ——*Cbln1* に別の大きな機能があったのですか。

そのとおりです。私たちは、*Cbln1* が細胞膜受容体の間をつなぐタンパク質として機能しているだけでなく、小脳においては軸索に「小さな突起」の形成を促し、この「小さな突起」が機能することでシナプスが作られることを世界で初めて突き止めたといえます。また、一度の *Cbln1* 投与では、一時的にしか *Cbln1* 遺伝子欠損マウスの病態を改善できないことから、*Cbln1* にはシナプスを安定的に維持する機能もあることが示せたといえます。

#### 自閉症などとの関係も？

##### ——成功のカギは何だったのでしょうか？

*Cbln1* 遺伝子欠損マウスを使うことで、シナプス形成のステージをうまくそろえられることだと思えます。というのは、これまではシナプス形成の瞬間をうまくイメージする手だてがありませんでした。正常なマウスでは、シナプスはある瞬間に同期してできるのではなく、時間差をもってポツポツとできていきます。ある現象をイメージでとらえるには、現象が起きるステージをそろえる必要がありますが、それができなかったのです。今回は、プルキンエ細胞の培養切片に *Cbln1* を加えることで、ほとんどのプルキンエ細胞で、ほぼ同時にシナプスを作らせることができ、それが成功のカギとなりました。

##### ——医療への応用は可能でしょうか？

すぐには応用の出口はみえないと思いますが、自閉症などでシナプスの形成や数の異常が報告されていますので、最初にお話した「シナプスが出生直後に大量に作られて、その後で減るときの制御の

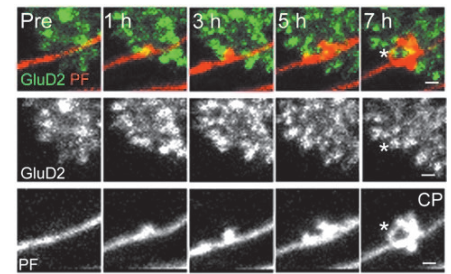


図2 軸索からの小さな突起の形成過程  
*Cbln1* 欠損マウスから作成した小脳スライスの軸索側 (PF) に赤色の蛍光タンパク質を、樹状突起側に緑色に標識したデルタ 2 受容体 (GluD2) を発現させてイメージを行った。*Cbln1* を投与後 3~7 時間に小さな突起が形成され、スパイン (\*印) を取り囲む形態へと変化した (CP)。

仕組み」などがわかると、病態解明の糸口になるかもしれません。

##### ——今後の展開はいかがですか。

イメージングによって、シナプスの形成と除去の仕組みを解き明かしていきたいと思います<sup>4,5</sup>。さらに神経回路の成熟後、シナプスがどのように安定に維持されているのかについて知るために、個体レベルでのイメージング技術の開発にも力を入れていく予定です。

##### ——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. Ito-Ishida A., et al., *Neuron* **76**, 549-564, (2012).
2. Hirai H., et al., *Nat Neurosci.* **8**, 1534-1541, (2005).
3. Ito-Ishida A., et al., *J Neurosci.* **28**, 5920-5930, (2008).
4. Kawabata, I., et al., *Nat Commun.* **3**, 722, (2012).
5. Shin, E., et al., *Nat Commun.* in press.

#### AUTHOR PROFILE

##### 岡部繁男 (おかべしげお)

東京大学大学院医学系研究科 神経細胞生物学 教授。昭和 61 年 東京大学医学部医学科卒業、昭和 63 年 東京大学医学部解剖学教室助手、平成 4 年 医学博士号取得。その後、米国 NIH 客員研究員、工業技術院生命工学工業技術研究所主任研究官を経て、平成 11 年に東京医科歯科大学医学部解剖学教室教授。平成 19 年より現職。

## アクティブマター

## 自発的流動によって動き回る液滴

## Spontaneous flows and self-propelled drops

M. CRISTINA MARCHETTI 2012年11月15日号 Vol. 491 (340-341)

生体の特性を示す生体物質の集合体が生体外で構築された。

これにより、細胞内で起こる動的な再組織化の物理的側面が明らかになるかもしれない。

液体やゲルは界面に外力をかけると流れが生じるが、生命体のように外力がなくても自発的な流れが生じるゲル（「アクティブ」ゲル）が作製され、*Nature* 11月15日号で報告された<sup>1</sup>。このアクティブゲルを水-油エマルジョンの水滴に閉じ込めると、細胞の流体内容物の循環流動に似た流れが生じる。さらに意外なことに、アクティブゲルで満たされた液滴が硬い表面と接触すると、閉じ込められたゲル内に生じた自発的な流れが駆動力となり、表面に沿って液滴が動き回った。

Tim Sanchezらは、細胞から抽出した成分を順次集合させてゲルを作製した（図1）。ゲルの主要構成要素は微小管である。微小管は、力の伝達と運動を仲介する細胞骨格の成分の1つで、堅い管状の線維である。細胞内での微小管のダイナミクスはさまざまなタンパク質によって調節されているが、その1つにキネシンというモータータンパク質がある。キネシンは、燃料分子であるATPから得た化学エネルギーを機械的な動力に変換し、微小管の表面を「歩く」ことができ

る。Sanchezらは、ゲルのアクティブユニットを構築するために、ストレプトアビジンというタンパク質を足場として用いてキネシンを集合させ、キネシンクラスターを形成した。キネシンクラスターは複数の微小管と同時に結合できるため、微小管の束を作製できる。

そしてSanchezらは、微小管、キネシン、ストレプトアビジンの混合物溶液に、ナノメートルサイズの高分子コイルを加えた。微小管は、ATPの存在下では架橋モータータンパク質の働きによって構造が絶えず作り直されてしまう。これを防いで微小管の束の形成を促進するためには高分子コイルの添加が不可欠である。高分子コイルは、枯渇相互作用というメカニズムを通して、微小管どうしの間に引力を発生させる。つまり、線維どうしが互いに近づき繊維間の隙間が狭くなると、高分子コイルはその隙間に入り込めなくなり、生じた浸透圧差が線維間の引力として効果的に働くのである<sup>2</sup>。最近、Sanchezらの別の研究で、この階層的集合体形成過程が利用され、周期的に波打つ人工繊毛が作製された。基板上の高密度人工繊毛は、自発的に波打ちパターンを同期して、進行波を生み出した<sup>3</sup>。

微小管束が適度な密度で存在する場合、キネシンの働きによって内部で駆動する高分子ネットワークが形成される。この高分子ネットワークは、自発的に流れ、混ざり合い、高い輸送能力を示す。アクティブでないネットワーク（つまり

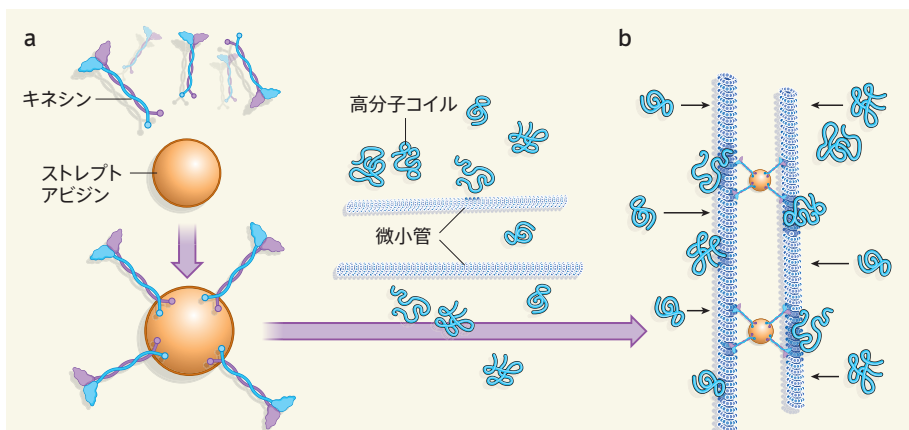


図1 微小管を集合させて束を作る

a. Sanchezら<sup>1</sup>は、タンパク質ストレプトアビジンとモータータンパク質キネシンを組み合わせて利用した。キネシンはストレプトアビジンと結合するよう修飾されている（修飾部の詳細は示していない）。それらのタンパク質は、自己集合により、ストレプトアビジンにキネシン数分子が結合したクラスターを形成する。b. 次に、Sanchezらは、微小管線維と高分子コイルを加えた。高分子コイルは、微小管どうしをくっつける「枯渇」力を発生させ、キネシンクラスターによって仲介される微小管束の形成を促進する。微小管束を用いて作製した「アクティブ」ゲルは、外力をかけなくても自発的に内部流を発生させる。

ATP燃料が切れたネットワーク)と比較すると、アクティブなネットワークは非常に高い輸送能力を示すことが、ゲル中に懸濁させた小粒子を追跡することによって実証されている。

典型的な束の長さ(数十 $\mu\text{m}$ )よりもはるかに大きなスケールで見ると、この系のダイナミクスは、外部から印加される場によって駆動される複雑流体(液晶など)のダイナミクスとよく似ている。しかし、それらの複雑流体と決定的に異なるのは、内部駆動で自発的に起こるという点であり、これがアクティブ材料の主要な特性である。遊泳バクテリアの懸濁液に見られるように、アクティブ材料は、界面に力をかけるのではなく各ユニットへエネルギーを投入することで、平衡状態を離れ、駆動される。微小スケールでのエネルギーの取り込みは、さまざまな系の創発現象(多くの単純な要素が集まって相互作用したときに全体として新たな特徴や構造が生まれること)や自己組織化の駆動に不可欠である<sup>4</sup>。そうした例としては、バクテリアの懸濁液や鳥の群れといった天然の系から、自己推進型ヤヌスコロイド(特性の異なる2つの表面を持つ微小粒子)などの化学的・機械的な系まで、いろいろある。

Sanchezらが微小管ネットワークを水-油界面に閉じ込めて得た高密度2次元膜も、自発的流動を示した。束の破碎と回復を伴うように見える複雑なダイナミクスが観察され、トポロジカル欠陥(平衡状態の液晶の場合、閉じ込めや外部駆動によって発生しうる)と似たパターンが得られた。

最後に、Sanchezらはアクティブゲルを直径30 $\mu\text{m}$ 以上の液滴に閉じ込めた。すると、ゲルが液滴の内表面に自発的に吸着して、2次元アクティブ膜が得られた。意外なのは、閉じ込められたゲルの自発的アクティブ流によって、基板上で液滴が自発的に動き出したことである。液滴は、直線的ではなく円軌跡で動き回り、33分で約250 $\mu\text{m}$ 移動した。こうした動く液滴は、流体中のアクティブ

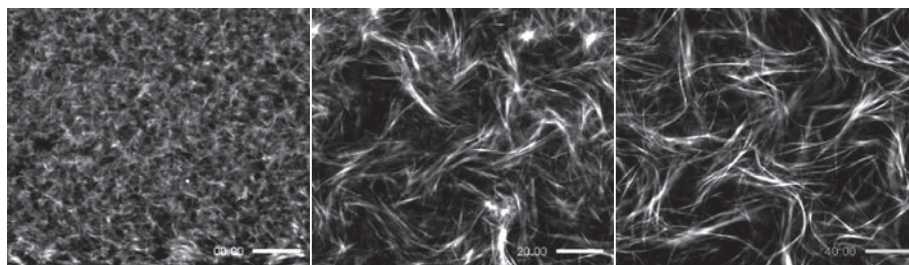


図2 自発的な流れが生じる生体物質

ATPを燃料として、モータータンパク質であるキネシンによって微小管が動き回り、集合し、束を形成する。スケールバーは50 $\mu\text{m}$ 。

液滴が自発的に方向性運動を示す最近の理論的研究<sup>5</sup>を想起させる。その研究では、大きなドメインを形成するアクティブ成分(Sanchezらの研究では微小管)が、同じ方向を向いて集まっているのに特定の優先方向を示さない場合、アクティブ成分を含んだ液滴は回転運動することが理論によって予測されている。

再構成微小管-キネシン系が研究されたのは、今回が初めてではない。アクティブ自己集合のモデルとして、特に現在のアクティブ系におけるパターン形成の研究に道を開いた注目すべき実験<sup>6,7</sup>が過去に行われている。それらの実験では、ATPで駆動するキネシン複合体を用いて、微小管がらせん状や星状に組織化されている。得られた星状体は、細胞の有糸分裂紡錘体(細胞分裂を仲介する星状の微小管集合体)によく似ていた。しかし、重要な違いがある。それらの構造体は本質的に動かない<sup>6,7</sup>のに対し、Sanchezらの微小管ゲルは絶えず変化する自発的な流れを発生させることである。この流れはATPが存在する限り存続し、生細胞中で起こる流れとよく似ている。さらにSanchezらは、アクティブゲル中の内部発生流がATP濃度を変えることによって調節可能であることを報告しており、ダイナミクスの自発的非平衡性を裏付ける結果を得ている。

なお、自発的運動を生み出すためには、微小管が集合し、束を形成することが不可欠のようである(図2および論文1のSupplementary InformationのMovie S2参照)が、その理由は不明で

ある。また、なぜアクティブ微小管ネットワークの挙動が、アクチンフィラメントとミオシンモータータンパク質からなるゲルの挙動(活動により自発的収縮が起こる<sup>8</sup>)と大きく異なるのかについては、説明がなされていない。

最近、生命体の特徴を示す系の構築を目的として、生体を模倣した集合体を作製する研究が増えている。Sanchezらの研究はその成功例である。では、アクティブ液滴の運動を制御して方向付けを行うことは可能だろうか。細胞に見られるように、流動誘起構造を利用して流体中の粒子輸送を誘導することは可能だろうか。これらは今後の課題である。一方、このタイプの実験によって、細胞内で起こる複雑な動的再組織化の物理的側面が明らかになり始めている。そうした再組織化を駆動する生化学的機構やシグナル伝達の研究と組み合わせれば、最終的には、生命体の仕組みを定量的に理解できるようになるかもしれない。

(翻訳: 藤野正美)

M. Cristina Marchetti は、シラキユース大学(米国ニューヨーク州)物理学科に所属。

- Sanchez, T., Chen, D. T. N., DeCamp, S. J., Heymann, M. & Dogic, Z. *Nature* **491**, 431-434 (2012).
- Lekkerkerker, H. N. W., Poon, W. C.-K., Pusey, P. N., Stroobants, A. & Warren, P. B. *Europhys. Lett.* **20**, 559-564 (1992).
- Sanchez, T., Welch, D., Nicastro, D. & Dogic, Z. *Science* **333**, 456-459 (2012).
- Marchetti, M. C. et al. Preprint at <http://arxiv.org/abs/1207.2929> (2012).
- Tjhung, E., Marenduzzo, D. & Cates, M. E. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **109**, 12381-12386 (2012).
- Nédélec, F. J., Surrey, T., Maggs, A. C. & Leibler, S. *Nature* **389**, 305-308 (1997).
- Surrey, T., Nédélec, F., Leibler, S. & Karsenti, E. *Science* **292**, 1167-1171 (2001).
- Kasza, K. E. & Zallen, J. A. *Curr. Opin. Cell Biol.* **23**, 30-38 (2011).

## 宇宙物理学

## 約120億年前の最も遠い超新星を発見

## Cosmic explosions in the young Universe

STEPHEN J. SMARTT 2012年11月8日号 Vol. 491 (205-206)

地球から非常に遠い距離にある2つの「超光度超新星」が発見された。

この超新星は、ビッグバンからわずか15億年後に誕生したものだ。

約120億年前の幼年期の宇宙には、こうした「超光度超新星」はありふれた存在だったのかもしれない。

天文学者たちの研究対象は未知の領域で、それは、私たちの銀河の宇宙塵雲の奥深い場所だったり、ブラックホールのすぐそばの環境であったり、宇宙の最も遠い場所であったりする。ここ数十年、天文学者たちは地上と宇宙の最大規模の望遠鏡を使い、宇宙の最も遠い光源を見つけようとしてきた。遠くの天体ほど光が地球に届くまで時間がかかり、そのぶん私たちは過去の世界をさかのぼって見ることになる。例えば最も遠い銀河は、ビッグバンからわずか5億年後の宇宙がどんなようだったかを教えてくれる<sup>1,2</sup>。

当然のことだが、明るい天体ほど遠い距離でも見つけやすくなる。今回、「超光度超新星」と呼ぶ新しいタイプの星の爆発現象で、非常に遠くにあるものが2つ発見され、遠い宇宙への新しい扉が開かれた。発見したのはオーストラリアのビクトリア州ホーソンにあるスウィンバーン工科大学宇宙物理学・スーパーコンピューティングセンターのJeff Cookeらで、論文は*Nature* 2012年11月8日号228ページに発表された<sup>3</sup>（論文とこの解説記事は、2012年10月31日に*Nature* オンライン速報版に掲載）。

超新星は星の爆発現象であり、最近まで、Ia型超新星とコア（中心核）崩壊型超新星の2種類に分類できると考えられていた。Ia型超新星になるのは連星系を作っている白色矮星で、白色矮星が伴星から質量を得て臨界質量に達して、超新

星爆発が起こる。一方、コア崩壊型超新星になるのは大質量星だ。大質量星は、核融合により中心核内でどんどん重い元素を作り出し、水素とヘリウムから出発してついには鉄ができる。鉄でできた中心核はやがて、重力に対して自身を支えきれなくなつてつぶれ、約 $10^{46}$ ジュールのエネルギーを放出する。このエネルギーの大半はニュートリノの形で放出され、このニュートリノが星の外層部にぶつかって衝撃波を生み、それが目に見える超新星爆発を作り出す。こうしてできた超新星は、数か月にわたって太陽の10億倍の強さでエネルギーを放射する。

遠い宇宙のIa型超新星はよく調べられており、Ia型超新星を標準光源として使い、ダークエネルギーの存在を発見した研究は、2011年のノーベル物理学賞を受賞した。ダークエネルギーの存在を発見できたのは、遠く、赤方偏移が約0.7に達するIa型超新星を見つけることができたためだった。この超新星爆発が起こったのは、宇宙が70億歳で現在の半分の年齢だったときに相当する。Ia型超新星の最も最近の調査はハッブル宇宙望遠鏡で行われ、赤方偏移1.55のものが見つかっている<sup>4</sup>。一方、コア崩壊型超新星は、ガンマ線バーストを伴ったものが赤方偏移約1で見つかっている<sup>5</sup>。

Cookeらは、赤方偏移が高く、Ia型とコア崩壊型よりもずっと明るい超新星を見つけるため、ハワイのカナダ・フラ

ンス・ハワイ望遠鏡（CFHT）における観測プロジェクト「レガシーサーベイ」のデータを新しいやり方で使った。この数年の間に、広い視野をカバーする地球に近い宇宙の調査から、新しいタイプの超新星グループが見つかり、「超光度超新星」と命名されていた（図1）<sup>6-8</sup>。

「超光度超新星」は一般的に、Ia型超新星よりも10倍明るく、通常のコア崩壊型超新星よりも100倍明るい。この異常な現象を理解するため、天文学者たちは、観測された特徴をもとに、少なくとも3つのグループに分類した<sup>9</sup>。Cookeらはこうした結果をふまえ、巧妙なテクニック<sup>10</sup>を応用して最も遠い超新星の探索を行った。CFHTレガシーサーベイの画像を一定期間分ずつ足し合わせて信号対雑音比を改善し、高赤方偏移の宇宙の広くて深い範囲を探索したのだ。そして、この結果、彼らは、低赤方偏移で見ついていた「超光度超新星」の一部とよく似た、2つの過渡的な事象を発見したのだ。

「超光度超新星」の起源に関する仮説の1つは、対不安定性仮説と呼ばれている。それによると、「超光度超新星」の前駆天体は、太陽の約100～300倍の質量を持つ非常に重い星だ。1960年代の理論研究者たちは、もしもそれほど大きな星が初期の質量の大部分を維持できたとしたら、その中心核は、電子・陽電子（陽電子は電子の反粒子）対を作るほど、大きく熱くなる可能性があるとして<sup>11</sup>。

このプロセスは星の内圧を減らし、中心核は収縮して $10^9\text{C}$ を超える温度に達する。これは太陽の中心核の約250倍という高温だ。この中心核収縮の結果、太陽質量の60倍の炭素と酸素が作り出される可能性があり、それはすぐに巨大な熱核爆発を起こして核融合し、鉄族元素に至るさらに重い元素が作られる。そして、不安定で放射性的のニッケル56ができるが、これは安定な鉄56に崩壊し、その際に、ガンマ線が放出されて超新星を加熱し、非常に強い放射が生じるようになる。

理論モデルは、太陽質量の4～10倍のニッケル56が生成されるかもしれないと予測している。このプロセスはIa型超新星で起こるプロセスと似ているが、Ia型超新星の場合は、小さな白色矮星から太陽質量のわずか0.7倍のニッケル56が作られるにすぎない。Cookeらは、今回発見した2つの「超光度超新星」は、対不安定型超新星だと提案している。

今回見つかった超新星は、赤方偏移が2.05と3.9であり、爆発したのはそれぞれビッグバンの30億年後と15億年後だ。赤方偏移3.9のものは、今までに見つかった中で最も遠い超新星だ。ただし、超新星に伴っているものかもしれないガンマ線バーストは、もっと高い赤方偏移のものが見つかった<sup>2,5</sup>。今回見つかった超新星は、明らかに過渡的な事象であり、非常に興味深い。この超新星を擁する銀河のスペクトルはハワイのケック望遠鏡で得られ、赤方偏移がはっきりと測定された。しかし、超新星そのもののスペクトルは得られていない。

一方、地球近くにある対不安定型の超新星候補で、よく調べられたケースはSN2007biだけしかない<sup>12,13</sup>。しかし、Cookeらよりもっと地球に近い領域の広視野サーベイで、この1年間にほかに数例が見つかった。ただ、まれであることには変わらない<sup>9</sup>。SN2007biの物理的正体についても議論が続いている。一部の研究者は、対不安定型超新星ではなく、非常に質量の大きな星で通常のコア崩壊が起きたのか<sup>13</sup>、マグネター（強い磁場を

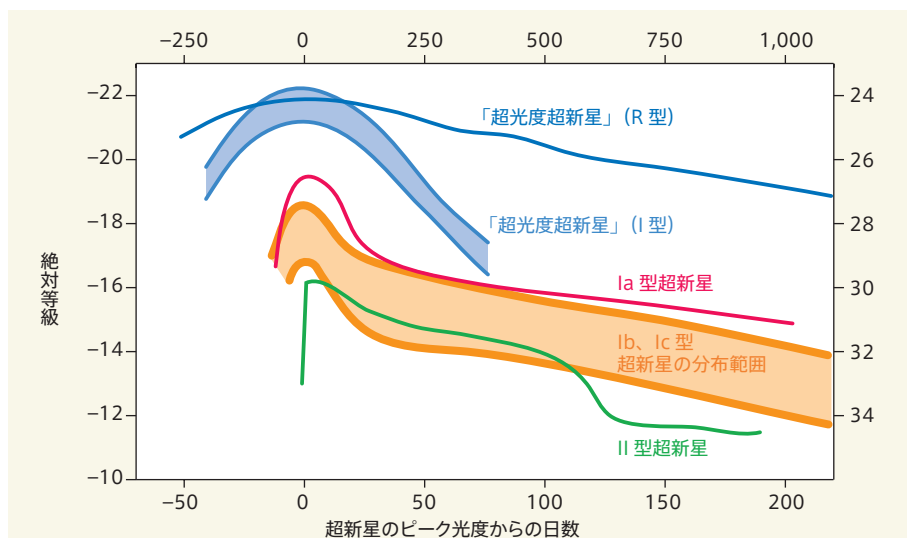


図1 「超光度超新星」と宇宙論的時間の遅れ

このグラフは、2つのタイプの「超光度超新星」(R型とI型)と<sup>9</sup>、従来のタイプの超新星(Ia型とコア崩壊型超新星の亜類型であるIb、Ic、II型)について、光度の時間的変化を示している。等級は天体の光度を対数目盛りで示す量で、1等級の差は光度の2.5倍の差に相当する。左の縦軸が絶対等級で、右の縦軸は赤方偏移(z)4にある超新星を地球で観測した等級。時間は超新星のピーク光度からの日数で示され、下の横軸は超新星の場所での時間で、上の横軸は赤方偏移4の超新星を地球で観測した時間。Cookeらは、CFHTレガシーサーベイの画像を一定期間(例えば6か月)分ずつ足し合わせて信号対雑音比を改善することにより、赤方偏移2.05と3.9にある2つの「超光度超新星」を発見した<sup>3</sup>。この方法は、過去の高赤方偏移の天体を調べるときには、時間分解能の低下にはならない。宇宙論的時間の遅れにより、観測者には、天体の場所にいる場合よりも宇宙がゆっくり(1+z倍の時間をかけて)発展するように見えるからだ。Cookeらは、赤方偏移3.9の超新星の光度変化について、実際に地球で観測した時間間隔の5分の1の時間間隔ごとのデータを得た。

持つ中性子星)によって規模が大きくなった超新星ではないかと提案している<sup>14</sup>。

天文学者たちは長年、赤方偏移が10を超えるところにある、宇宙で最初の超新星と出会う夢を見続けてきた。一方、理論研究は、そのような高赤方偏移では、質量の非常に大きい星や対不安定型超新星はありふれた存在かもしれないと予測していた。Cookeらは今回、赤方偏移4の超新星を見つけることが現在の技術で可能であることを示し、私たちの水平線を一気に拡大した。ただ、これらの非常に明るい爆発の正体については、高赤方偏移の場合も低赤方偏移の場合も不確かさが残っている。それでもCookeらの研究は、「超光度超新星」の一部のタイプが幼年期の宇宙に存在し、その発生頻度は、地球に近い宇宙での発生頻度よりもずっと高いかもしれないことを示している。

次の課題は、「超光度超新星」がピーク光度に達したときに発見し、スペクトルを得て、その正体が何であるかを解明すること、そして、それらを高赤方偏移宇宙のセンサーとして使うことだ<sup>15</sup>。■

(翻訳：新庄直樹)

Stephen J. Smartt は、英国クイーンズ大学ベルファスト校の数学・物理学部宇宙物理学研究センターに所属。

- Zheng, W. et al. *Nature* **489**, 406–408 (2012).
- Tanvir, N. R. et al. *Nature* **461**, 1254–1257 (2009).
- Cooke, J. et al. *Nature* **491**, 228–231 (2012).
- Rodney, S. A. et al. *Astrophys. J.* **746**, 5 (2012).
- Hjorth, J. & Bloom, J. S. in *Gamma-Ray Bursts* (eds Kouveliotou, C., Wijers, R. A. M. J. & Woosley, S. E.) Ch. 9 (Cambridge Univ. Press, 2011).
- Quimby, R. M. et al. *Nature* **474**, 487–489 (2011).
- Pastorello, A. et al. *Astrophys. J. Lett.* **724**, L16 (2010).
- Chomiuk, L. et al. *Astrophys. J.* **743**, 114 (2011).
- Gal-Yam, A. *Science* **337**, 927–932 (2012).
- Cooke, J. et al. *Nature* **460**, 237–239 (2009).
- Rakavy, G. & Shaviv, G. *Astrophys. J.* **148**, 803 (1967).
- Gal-Yam, A. et al. *Nature* **462**, 624–627 (2009).
- Young, D. R. et al. *Astron. Astrophys.* **512**, A70 (2010).
- Dessart, L. et al. *Mon. Not. R. Astron. Soc. Lett.* **426**, L76–L80 (2012).
- Berger, E. et al. *Astrophys. J. Lett.* **755**, L29 (2012).

# 科学遺産の保全に、目を向けよう

## Save scientific sites

2012年11月15日号 Vol. 491 (302)

登録されている世界遺産のリストの中で、科学遺産の数は非常に少ない。  
文化遺産の保全を推進するうえで、科学の関心領域が見落とされてはならない。

ウズベキスタンの古都サマルカンドには、15世紀に天文学者ウルグ・ベクが建設した天文台の遺構があり、現在は、観光客が訪問し、見学できるようになっている。これが可能になった背景には、国連教育科学文化機関 (UNESCO) 世界遺産条約の存在がある。この条約が、1972年11月16日の採択から40周年を迎えた (*Nature* 2012年11月15日号328ページ参照)。サマルカンドが世界遺産リストに登録されたのは2001年で、ソ連の崩壊から現在までの政治的混乱からサマルカンドを守るうえで、重要な役割を果たしてきた。

この天文台が存在していたのは約20年間だったが、さぞかし美しいものであったに違いない。最新の研究報告には、天文台の壮麗な建築、絶妙なタイル張りともザイクについての記述がある。天文台の内壁を飾るフレスコ壁画には、さまざまな惑星の軌道と星の正確な位置が描かれていたという。天文台は1449年に狂信的な群衆によって破壊されたが、天文台に所属する科学者の革新的な研究成果は生き残り、その後の欧米の天文学と代数学に影響を与えた。

天文学者たちは、半径40mの六分儀を使って、約1000個の星の位置を再計算し、その結果を『ウルグ・ベク天文表 (スルタンのジージュ)』(1437年)にまとめた。この星のカタログは、さまざまな言語に翻訳された。彼らは、子午面上の丘に幅2mの溝を掘り、そこに六分儀を固定した。こうして、それまでにない高い精度の測定結果が得られ、天文学者

は、この結果を用いて、三角関数表を計算し直し、恒星年(地球が太陽を1公転するために要する時間)を計算した。その値と現在認められている測定値の差は、わずか1分以内である。この天文台の遺構が考古学者によって発見されたのは1908年のことである。

世界遺産リストに登録されると、国際標準に従った保全方法で遺産を維持管理しなければならず、不適切な開発によって台無しにすることは許されない。この点については、国際的な検査チームが現地調査を行うことで遵守が担保されている。サマルカンドの検査は2000年代中頃に行われ、保全レベルが標準以下で、都市計画担当者と地元の政治家が遺産の維持を怠っており、懸念が生じているという判定が下った。UNESCOは、サマルカンドの監視強化を命じ、「危機にさらされている世界遺産リストに登録する」と警告した。

一方、過去数十年間にわたって、数多くの分野の科学者が、芸術品や記念物の保存や修復のための技術をいろいろと開発してきた。例えば、ヘラス研究技術財団(ギリシャ・イラクリオン)は、紫外域のビームと赤外域のビームを組み合わせたレーザーを発明して、世界遺産の一部であるパルテノン神殿のフリーズ浮彫の表面を損傷せずに洗浄することに成功した。この洗浄作業は広く報道され、作業は2005年に完了した。こうした技術を手直しするために科学者が研究予算の増額を望むのは自然だが、それを一般論として正当化するのには難しい。遺跡や記

念物には、それぞれ独自の問題があり、技術的な解決策には、個別の取り組みが必要になるからだ。

サマルカンドの例は、重要な記念物の保全にとって、政治とその結果としての世界遺産リストが、少なくとも科学と同程度に重要であることを明確に示している。文化遺産関連技術に対する予算は、文化遺産をより幅広くとらえる包括的アプローチの一環として、維持されなければならない。例えば、各都市や地域における気候変動に対処するための計画において、文化遺産に対する影響も、考慮に入れるよう義務付けるべきだ。そうしたことに支持を表明しているのが欧州委員会である。

世界遺産リストには962件の遺産が登録されているが、科学遺産の数は非常に少ない。科学が文化の一部であることが、きちんと認知されていないからであろう。これに対して、天文学者が行動を起こし始めた。世界天文年だった2009年にUNESCOの諮問グループの1つである国際記念物遺跡会議との共同作業で、サマルカンド天文台のように保存の価値があると考えられる天文学的遺跡のリストを作成したのだ。その1つが、19世紀に設立された王立天文台(南アフリカ・ケープタウン)だ。もし世界遺産に指定されれば、この天文台をめぐる関心の高まりで、南アフリカで求められている科学振興が前進する可能性がある。他分野の科学者も、天文学者を手本とすべきである。 ■

(翻訳: 菊川要)

# 新たな気候変動条約まで、省エネでしのげ

## A way to buy time

2012年11月29日号 Vol. 491 (637-638)

気候変動をめぐる話し合いは遅々として進まないが、  
二酸化炭素排出量の増加傾向を押しとどめるために、今にも増して省エネを進める必要がある。

2012年11月26日から12月8日まで、カタールのドーハで地球温暖化に関する国連の会議(COP18)が開かれた。京都議定書は2012年で失効することになっており、ドーハ会議では、2015年の調印、2020年の発効をめざした新しい地球気候条約が重要目標の1つだった(編集部注:結局、今回の会議で京都議定書を2020年まで継続することになった)。地球の平均気温は、21世紀末までに最大4℃上昇する勢いだが、国連はそれを2℃に抑えたいと考えている。

残念ながら、地球温暖化という現実とその対応策を作るための外交は、別のスケジュールで動いている。地球温暖化阻止に向けた行動が始まるのが8年先であるため、国連の気温上昇目標の達成は不可能なことが確実視されている。しかし、国際外交が進展するまでの時間稼ぎは、いくつもある。中でも最も有望なのが、エネルギー効率の向上、つまり省エネだ。

国際エネルギー機関(IEA)の報告書「世界エネルギー展望2012年版」によれば、世界のインフラがこのままの状態であれば、炭素排出が増加し続けて、2℃の気温上昇目標は2017年までに破綻するという。それを防ぐには、発電所、工場、ビルのような施設を多額の資金をかけて改造するか、あるいは早期に廃棄する必要がある。その一方で、IEAは、省エネによって5年の時間的猶予が生まれ、再生可能エネルギーや他の低炭素

エネルギーへの移行に向けて、方針転換できる機会が生まれるとの見解を示している。

全世界のエネルギー消費量は、日本、中国、欧米諸国がエネルギー需要を抑えると約束しているにもかかわらず、2035年までに現在の3分の1以上増えると予想されている。「効率的な世界」を内容とするシナリオでは、もっと高い省エネ目標値を設定する国が増え、エネルギー需要が半減する可能性もある、と予想している。IEAの推定では、1980年から2010年までに全世界で達成された省エネにより、世界のエネルギー需要は35%も削減された。これは、中国と米国における現在のエネルギー消費量の合計にほぼ匹敵する。

IEAは、例えば効率のよい電気器具、自動車、住居、工場などを、これまで以上に積極的に広範に普及させる措置をとれば、今から2035年までに、追加支出は11.8兆ドル(約1000兆円)必要になるが、かなりの見返りも見込まれると試算する。直接的な燃料費が17.5兆ドル(約1490兆円)減少し、エネルギー・インフラへの投資額が約5.9兆ドル(約500兆円)減少すると考えられるのだ。こうして節約された分は、別の投資先に振り向けられ、世界経済の生産高を約18兆ドル(約1500兆円)引き上げるのに貢献する。ただ、こうした潜在利益も、目先の利益のみを追いかける複雑な市場に任せれば、食い散らかされてしまう。

各国政府は、次の国際条約まで待たずに、あらゆるレベルで解決法を模索しなければならない。例えば、化石燃料に対する補助金を減らしたり消費税を上げたりすれば、エネルギー消費量は減らせるだろう。日本と欧州が省エネ先進国となった一因は、高率のエネルギー税にあった。同様に、石油市場の価格上昇によって、米国人の石油消費も減少しつつある。

しかし、どんなに価格を操作しても、しかるべき人々にメッセージが届かないと、それは何の役にも立たない。現在、ビルの省エネ技術投資に対して、インセンティブが働いていない。この状況を変えるために、各国政府は建築基準法を強化し、省エネ改造コストに税の優遇策を与える必要がある。また、不動産を売却するときにエネルギー監査を義務付ければ、売り主にも買い主にも長期運用コストを意識させることができるはずだ。

気候変動に関する今後の会議では、各国の交渉担当者は、今よりも野心的な目標に世界が合意できるよう、模索し続けなければならない。同時に、各国政府は、気候変動に関連する約束を最後まで守り、国内での二酸化炭素排出量を減らし、将来的な行動のための土台を築くために最大限の努力を払う必要がある。各国政府は、温室効果ガスの排出抑制策に投資すれば、将来、それが利益となって戻ってくることを認識すべきだ。その最も明白な具体策が、省エネなのだ。 ■

(翻訳:菊川要)



Volume 492  
Number 7427  
2012年12月6日号



## 頭の出現：ホヤの Twist タンパク質は脊椎動物神経堤起源の名残

**HEADS UP: An echo of vertebrate neural crest origins in the humble sea squirt's Twist protein**

脊椎動物は、明瞭な頭蓋と特殊化した目と耳を備えた頭部を持ち、その頭部に関連した特徴はほかの動物とは大きく異なる。頭部の形態の大部分は、神経堤細胞によって指定される。この神経堤細胞は、中枢神経系を形成する胚領域である神経板から生じ、また、体の中を移動して、ほかのさまざまな組織にも影響を与える。だが、神経堤の起源はまだわかっていない。今回、脊椎動物とは遠い関係にある単生ホヤのカタユレイボヤ (*Ciona intestinalis*) に、神経板の周縁部に由来する細胞系列が見つかった。この細胞群は、神経堤の指定遺伝子を複数発現するものの、「長距離移動」などの神経堤の特徴のいくつかは持っていない。しかし、この細胞群を標的として調節にかかわる遺伝子 *Twist* を異所的発現させただけで、そうした特徴の一部を誘導できたことから、神経堤遺伝子ネットワークの大部分の起源が、被囊動物と脊椎動物の分岐以前であることと、*Twist* などの間充織決定因子の神経板外胚葉への取り込みが、脊椎動物の「新規な頭部」の出現に重要だったことを示唆している。表紙は、東ティモール沖に生息する単生のツツボヤ属の被囊動物 *Clavelina moluccensis* の一群。

が考えられているが、この効果は微弱なものとなされ、あまり研究されていない。しかし今回、J. Carlson たちは、ショウジョウバエの嗅覚受容器ニューロン (ORN) が、大きなエファプス信号によって相互に交信し合っていることを明らかにした。1 個の ORN の持続的活動が、隣接する細胞の一過的活性化によって遮断されたのだ。また、マラリアを媒介するハマダラカの CO<sub>2</sub> 感受性 ORN が、隣接する ORN の興奮によって遮断されることや、ショウジョウバエの CO<sub>2</sub> ニューロンの側方抑制が CO<sub>2</sub> に対する応答行動を減弱することもわかり、昆虫防除の新たな方法に活用できる可能性がある。この結果は、エファプス効果が考えられていたよりも広く存在する可能性を示唆しており、末梢の感覚器が狭い区画の中に格納されている味蕾のようなニューロンで見られる可能性が高い。

## 材料：特性を自在に変えられるナノワイヤの合成

**Tunable nanowires synthesized**

ナノワイヤは、さまざまな応用が期待されているが、高品質ナノワイヤの大量生産が大きな壁となっている。今回 L. Samuelson たちは、エアロゾルを利用して、安価かつ従来法よりもかなり高いスループットでガリウムヒ素 (GaAs) ナノワイヤを合成する方法を開発した。この方法を用いれば、大きさの調節が可能で光学特性が良好かつスペクトルが均一な高品質ナノワイヤを合成できる。

## 生化学：実現がみえてきた合成イリドイド

**Synthetic iridoids in prospect**

今回、イリドイド生合成に重要な酵素「イリドイドシンターゼ」が発見された。イリドイドは、抗がん、抗炎症、抗真菌、抗細菌などの活性を持つ二環式天然物の大きな分子ファミリーである。イリドイドシンターゼは、NAD(P)H 依存性の新しいカスケード反応によって二環系の構造を作り出す。その構造と機能に関する情報は、農業や製薬での利用に向けた、植物および微生物によるイリドイドの大規模生産を可能にすると考えられる。

## 宇宙：太陽系誕生が間近に見える絶好の場所

**A ringside seat at the birth of a solar system**

今回、サブミリ波干渉計を使って、星が誕生して間もないクラス 0 段階にある原始星を取り巻く、大きなケプラー円盤が初めて検出された。エンベロープに対する原始星の質量比について、これまで観測されている最小値は約 2.1 であったが、新しく発見された原始星 L1527 IRS は、質量が太陽質量の約 0.2 倍で、質量比が 0.2 であった。この原始星が有する円盤は、少なくとも木星質量の 7 倍あり、この値は、惑星形成円盤の予想値に近い。つまり、この星には、形成途中にある太陽系のあらゆる構成要素がそろっている可能性がある訳だ。

## 遺伝：進化の面で複雑な藻類ゲノムの解読

**Evolutionarily complex algal genomes revealed**

遺伝的にも細胞としても著しく複雑な 2

種類の真核微生物 (クリプト藻類とクララクニオン藻類) について、核ゲノムの塩基配列が解読された。これらの藻類は、真核藻類を取り込んで内部共生により光合成能を獲得するという中途段階にあり、ミトコンドリアゲノム、色素体 (葉緑体) ゲノム、宿主由来の核ゲノム、細胞内共生藻由来の縮小した「ヌクレオモルフ (Nm)」ゲノムという 4 種類のゲノムを持つ。分析の結果、単細胞生物としては前例のない選択的スプライシングの存在と、広範な遺伝的、生化学的モザイク性が明らかになった。どちらの藻類でもミトコンドリアから核への遺伝子の移行は続いているが、色素体から核へ、また Nm から核への移行は止まっており、Nm が残っている理由に説明が付く。

## 生理：隣り合うニューロン間のクロストーク

**Cross-talk between adjacent neurons**

1 個のニューロンの電氣的活動は、シナプス結合していない近くの細胞の活動に影響を及ぼす (エファプス効果) 可能性





Volume 492  
Number 7428  
2012年12月13日号



## 分割と統治：セントラルスピンドリンは細胞分裂におけるミッシングリンク

**DIVIDE AND RULE: Centralspindlin provides missing link in cell division**

動物細胞での細胞分裂の最後には、細胞質分裂と呼ばれる過程で母細胞が2つの娘細胞に分かれ、分離した染色体が分配される。紡錘体は細胞膜で細胞質分裂事象を制御するが、これら2つのマクロ構造を結びつける仕組みは解明されていなかった。今回、M. Petronczki たちは、構造解析と機能解析を行い、紡錘体と細胞膜の間をつなぎ止める「ミッシングリンク」が、紡錘体の中央帯と中央体にあるタンパク質複合体のセントラルスピンドリンであることを明らかにした。これがあることによって、細胞質分裂の最終場面に当たる切断が確実に起こる。そして、セントラルスピンドリンの MgcRacGAP サブユニット中の1つのドメインが、細胞膜内のホスホイノシチド脂質へ紡錘体を結合するつなぎ役であることが明らかになった。表紙は有糸分裂中期にある細胞の蛍光顕微鏡写真。

## 薬学：多機能を持つ薬剤の設計



### Designing multifunctional drugs

複数の標的と相互作用する薬剤を設計するという難題に対して、新しい戦略が報告された。薬剤の標的に対する選択性をより高めたり、あるいは多重薬理作用プロファイルを薬剤に持たせたりするのに役立つ。L. Hopkims たちは、適応的な自動設計法を開発して類似体を作製し、各類似体の標的に対する優先順位付けを行った。事前に設計されたりリガンドについて、800 のリガンド-標的予測を実験により検討したところ、そのうちの75%が妥当なものであること、また、予測された標的と *in vivo* で会合することが確認された。

## 細胞：SIRT2 は細胞死の調節因子である

### SIRT2 a cell death regulator

デス受容体リガンドである腫瘍壊死因子 (TNF)- $\alpha$  は、2種類のタンパク質、すなわち RIP1 と RIP3 を含む複合体の形成を促進することにより、壊死を開始させる。今回 T. Finkel たちは、マウスを使った研究で、NAD 依存性デアセチラーゼである SIRT2 が構成的に RIP3 に結合することを明らかにした。SIRT2 がないと、TNF- $\alpha$  刺激の後に RIP1-RIP3 複合体が

形成されず、壊死が防止される。RIP1 は SIRT2 依存性脱アセチル化の標的であり、RIP1 のアセチル化が、RIP1-RIP3 複合体の形成および TNF- $\alpha$  刺激による壊死を調節する。壊死がよくみられる虚血再灌流傷害の過程では、RIP1 が SIRT2 依存的に脱アセチル化される。さらに、Sirt2 遺伝子を欠損する心臓、あるいは SIRT2 の薬理的阻害剤で処理された心臓では、虚血性傷害がほぼ防がれることも明らかになった。したがって、SIRT2 はプログラムされた壊死の重要な調節因子であり、壊死性傷害の防止のための薬理的標的として有望だ。

## 材料科学：高効率蛍光 OLED

### Efficient fluorescence-based OLEDs

有機発光ダイオード (OLED) の効率を向上させる方策の1つとして、通常は発光に寄与しない「三重項」励起子 (注入された電荷から生成される励起子の75%を占める) により発光するりん光性有機金属分子の導入が挙げられる。今回、魚山大樹 (九州大学) たちは、有機ホスト材料の電子物性を分子設計により調節して、りん光性物質を加えなくても最終的に同程度の効率を実現できる別の手法について報告した。この方法では、

レアメタルを含まない有機エレクトロルミネッセンス分子を使い、分子設計によって一重項励起状態と三重項励起状態のエネルギーギャップを小さくすることにより、三重項励起子が発光に有効に寄与できる状態へと効率的に変換される。著者らのデバイスの効率は19%を超えるレベルに達しており、りん光 OLED の値に匹敵する。

## 地球：溶けた鉄がマントルへ移動する方法

### How molten iron moves to the mantle

いくつかの観測結果によって、地球マントル底部で鉄の濃縮が起きていることが示唆されているが、そのような濃縮を起こす物理機構として有望なものはまだ見つかっていない。大塚和彦と唐戸俊一郎 (エール大学) は今回、固体の (Mg,Fe)O と鉄に富んだ液体との接触が、化学ポテンシャル勾配により生じる形態不安定性をもたらす、鉄に富んだ液体の小塊が酸化物に効率的に貫入できるようになることを示した。そのような鉄に富んだメルトは、核マントル境界から最大で100km 輸送される可能性があると思われており、マントル最下部の鉄に富んだ領域の存在を説明できる。

## 細胞：酸性度の低下はミトコンドリアの老化の兆候

### Acid drop a sign of mitochondrial ageing

液胞内の pH 上昇によるミトコンドリアの機能不全が、出芽酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*) の寿命の決定因子であることが明らかになった。液胞の酸性度は時間とともに低下することが示されているが、これから十分長く生きる可能性のある新生細胞では、pH が初期状態にリセットされる。カロリー制限は、保存された栄養感知経路を介して液胞の酸性度を上昇させ、寿命を伸ばし、ミトコンドリアが機能不全に陥るのを妨げる。酸性度の変化によってミトコンドリアの機能が損なわれるのは、液胞内腔のアミノ酸貯蔵量が低下するためらしい。これらの知見は、アミノ酸とグルコースが一緒になって寿命を調節するという機構を示しているのかもしれない。



Volume 492  
Number 7429  
2012年12月20/27日号

## 特集：2012年を振り返る：2012年の話題を作った人たち

### ONE YEAR, TEN STORIES.: The newsmakers of the year

年を終えるに当たり、本誌編集部では2012年に科学に大きな影響を及ぼした男女10人を恒例の「Nature's 10」として紹介する。その10人とは、がん幹細胞の存在を証明した幹細胞研究者 Cédric Blanpain、イタリアのラクイラ地震に対するリスク評価をめぐる裁判で有罪判決を受けた Bernardo De Bernardinis、空気感染する変異型 H5N1 インフルエンザウイルスを作出したエラスムス医療センター（オランダ）の Ron Fouchier、数学者たちのエルゼビア・ボイコット運動が始まるきっかけを作った数学者 Tim Gowers、科学教育に関する著書で知られる分子生物学者 Jo Handelsman、ヒッグス粒子を発見したと発表した CERN の所長である Rolf-Dieter Heuer、科学実験をアウトソーシングするためのプラットフォームといえるオンラインサイト「Science Exchange」を立ち上げた Elizabeth Iorns、ハリケーン「サンディ」に襲われる前から地球温暖化に注目していたニューヨーク市の気候変動パネル共同議長である NASA ゴダード宇宙科学研究所の Cynthia Rosenzweig、火星探査機「キュリオシティ」の着陸を指揮した NASA のエンジニア Adam Steltzner、今や世界最大のゲノム塩基配列解読組織となり、ゲノム科学と臨床を結ぶトランスレーショナル研究にも参入しつつある BGI（中国）の Jun Wang である。

## 再生医学：マイクロ RNA が心臓再生を促進

### MicroRNA boosts heart regeneration

哺乳類の心臓は再生能力に乏しく、心筋細胞の増殖能は生後まもなく消失する。今回 M. Giacca たちは、心筋細胞の増殖を誘導できるマイクロ RNA (miRNA) を探し出してヒトの治療に使えるような候補を見つけようと、ヒト由来の合成 miRNA ライブラリーをスクリーニングした。その結果、40 種の miRNA が、ラットあるいはマウスの心筋細胞で DNA 合成と細胞質分裂を増強することが明らかになった。また、そのうち最も強力な hsa-miR-590 と hsa-miR-199a の 2 つについては、さらなる検討が行われ、マウスで心筋梗塞後の心臓再生を誘導することが示された。これらの miRNA の *in vivo* 投与により、ほぼ完全に安定的な心機能回復がもたらされた。

## 宇宙：年齢を通して見た星団

### Star clusters through the ages

同じ宇宙時間に形成された星団でも、力学的進化の道筋が異なる可能性がある。そのため、星団の力学的年齢を決定する信頼性の高い方法があれば、将来の研究にとって価値のある手段となる。「青色はぐれ星」として知られている星は、老いた星団の中で最も大質量で明るい。今回、青色はぐれ星の動径分布に基づいて、球状星団を数種類の異なる族にはっきりと分類できることが示された。このような分類は、純粋に観測により得られた性質から星団の力学的年齢を計る際の、直接的な尺度となりうる。

## 脳：行動選択の神経回路

### The neural circuitry of choice

ヒト脳で前頭前皮質 (PFC) に傷害があると、突発行動または動機付け低下のど

ちらかが生じる。今回、強制水泳試験という、行動負荷がかかった状況下で、マウス PFC ニューロンの特定の集団が果たす役割が検討され、通常の体移動中にはなく、強制水泳中に応答するニューロンが見つかった。光遺伝学的な操作によって、脳幹の背側縫線核（うつ病に関連する）に投射する特定の PFC ニューロン集団だけが、強制水泳中の行動に変化を引き起こすことが示されたのだ。この結果は、行動上の選択や動機付けでの正常あるいは病的なパターンの基盤となる神経回路の理解に役立つものである。

## 発生：Tet 酵素の雌性生殖細胞での役割

### Tet enzyme role in female germ cells

シトシンの DNA メチル化は重要なエピジェネティック修飾の 1 つであり、5-メチル化シトシン (5mC) の動態制御機構は、活発に研究されている領域である。ジオキシゲナーゼの Tet ファミリーは、5mC の酸化を触媒し、5-ヒドロキシメチル化シトシン (5hmC) などの誘導体を産生することがあるが、Tet タンパク質の生物学的機能についてはよくわかっていない。今回、マウスでの機能喪失実験により、雌の生殖細胞で、Tet1 が減数分裂と減数分裂関連遺伝子の活性化に重要な役割を担っていることが示された。Tet1 の欠失は、ゲノム規模の脱メチル化には大きな影響を及ぼさないが、一部の減数分裂関連遺伝子の発現により特異的な影響を及ぼす。

## ||||||| ネイチャーからのご案内 |||||

### nature video

Web: [www.youtube.com/NatureVideoChannel](http://www.youtube.com/NatureVideoChannel)

モバイル:



携帯電話で Nature Video チャンネルの科学関連動画を見ることができます。(一部の機種を除く)

### nature podcast

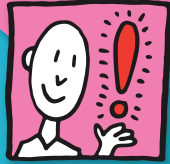
Web: [www.nature.com/nature/podcast](http://www.nature.com/nature/podcast)

モバイル:



Nature に掲載された研究成果をポッドキャストでチェックできます。(英語; iPhone™のみ対応)

定期購読を  
始めたいな!



Fujisan.co.jp  
雑誌のオンライン書店

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

帰りに  
買いたい!



全国の書店・生協

全国の書店、生協で  
扱っています。

いつも  
利用している  
Amazonで!



amazon.co.jp

Amazonで最新号の予約購読も  
可能です。

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

弊社のサイトからのお申し込みはこちらから

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

npg nature asia-pacific

EDITOR'S NOTE

サンディーによる被害を受けたニューヨーク大学ランゴン医療センター（12 ページ）。電源装置を地下ないし低い場所に置いていたために、電源は水浸しとなり、停電になってしまった。福島第一原発と全く同じ状況だ。福島第一原発も、ゼネラル・エレクトリック（GE）社の設計を採用し、非常電源は地下に置く「米国方式」だった。この方式は、もともと竜巻・ハリケーン対策によるもので、風でなぎ倒された大木から非常電源を守るためだという。しかし、少なくとも水害の可能性のある地域で、「地下が安全だ」という米国式エンジニアリングの基本思想が破綻する可能性を、なぜ想像・検討できないのだろうか。（EM）

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



npg nature asia-pacific

NPG ネイチャー アジア・パシフィック  
〒162-0843  
東京都新宿区市谷田町 2-37 千代田ビル  
Tel. 03-3267-8751 (代表)  
Fax. 03-3267-8754  
www.naturejpn.com

©2013 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific.  
All rights reserved. 掲載記事の無断転載を禁じます。

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

編集発行人 : Antoine Bocquet  
副発行人 : 峯村宏  
編集 : 松田栄治、宇津木光代  
デザイン/制作 : 村上武、中村創  
広告/マーケティング : 米山ケイト、藤原由紀  
池田三知世  
編集協力 : 白日社

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

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。



平成25年1月25日発行 第10巻 第2号  
編集発行人: Antoine Bocquet

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

発売所: 日本出版貿易株式会社  
ISSN: 1880-0556

