

nature DIGEST

日本語編集版
AUGUST 2006
VOL. 03, NO. 8

8

[http:// www.nature.com/naturedigest](http://www.nature.com/naturedigest)

遺伝子を編み出す ウイルス



「第3期科学技術基本計画」世代へ



英文校閲

この広告コピー
添付で!

50%OFF

期限: 2006年8月31日迄に受注し、2006年9月30日迄に納品

お問い合わせいただいた方へもれなく

研究支援サポート クーポン券

差し上げます!



条件

適用: 英文校閲を50%OFFで行います。
対象は、初回の英文校閲代です。
次回以降は弊社の通常料金です。
確認: 他社見積書(コピー要)金額より50%引きです。
または、弊社の通常料金より50%引きです。

研究成果発信を第一に考えたサポート

実績が示す信頼性

2005年nature論文投稿セミナー開催

●最近の主なお取引先

産業技術総合研究所、防災科学技術研究所
物質・材料研究機構、高エネルギー加速器研究機構
つくばサイエンスアカデミー、国立環境研究所
土木研究所、国土地理院、中央農業総合研究センター
農業環境技術研究所、農業生物資源研究所
食品総合研究所、森林総合研究所、筑波大学
東北大学、九州大学、筑波技術大学、など

◆学術スタッフが、ロンドンで、ワシントンで校閲します。
熟練スタッフが、つくばで、東京で校閲します。
次回からは、特定スタッフご指名もOKです。

適任の専属校閲者を選定し、研究者の抱える問題点などを意識した校閲を行っております。

校閲者プロフィール差し上げます

お見積り・お問い合わせはこちらへ

✉ trans@icube-t.co.jp

つくば初のプライバシーマーク認定企業

R&D 研究支援サポート企業

株式会社 アイキューブつくば

サイエンス・コミュニケーション
研究開発
支援
www.science-japan.com

日本金属学会オフィシャルエージェント

www.icube-t.co.jp



Miscultural
Interactive
Information

プリオンの謎、謎、謎

表紙：月本佳代美

HIGHLIGHTS

02 vol. 441 no. 7096, 7097, vol. 442 no. 7098, 7099

EDITORIAL

04 新たな査読制度の試み

NEWS@NATURE.COM

05 ゴッホの描いた完璧な乱流

06 獲物の感知

07 フルーティーなプラスチック

08 1つの幹細胞から生まれた卵と精子

NEWS

09 成人の細胞に胚性幹細胞のパワーを授ける

Erika Check

NEWS FEATURE

10 科学する惑星——夏至の日

14 遺伝子を編み出すウイルス

Garry Hamilton

JAPAN NEWS FEATURE

18 プリオンの謎、謎、謎

西村尚子

BUSINESS NEWS

22 前途多難な携帯用燃料電池

Kurt Kleiner

NEWS & VIEWS

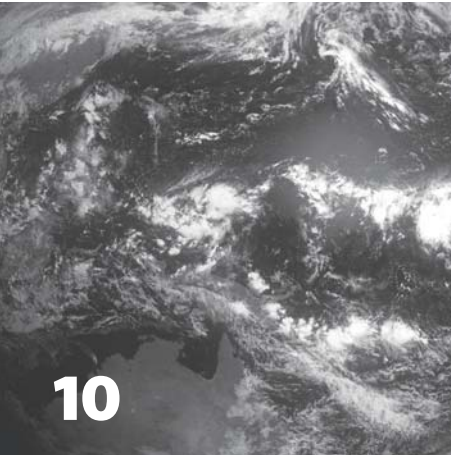
24 不要な物を片づけて細胞内をすっきりと

Daniel J. Klionsky

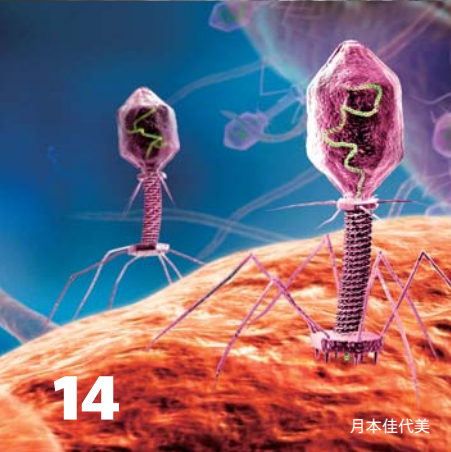
英語でNATURE

26 Online methods share insider tricks

身内のみが知り得る秘訣をオンラインでシェアする方法

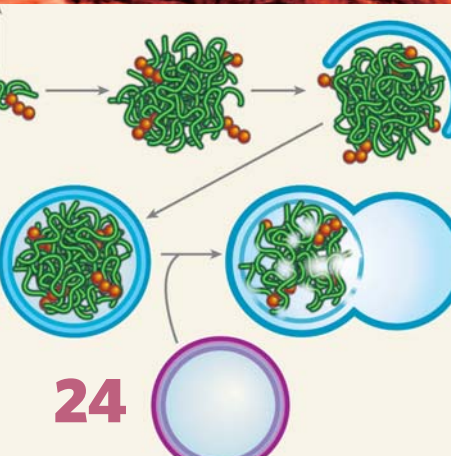


10



14

月本佳代美



24

nature
DIGEST

08 volume 3 no.08
August
www.nature.com/naturedigest

© 2006 年 NPG Nature Asia-Pacific
掲載記事の無断転載を禁じます。

発行人：デービッド・スウィンバンク
編集：北原逸美
デザイン／制作：村上武
広告：浅見りの子
マーケティング：吉原聖豪

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 Fax.03-3267-8754

©2006 NPG Nature Asia-Pacific

シリコンフォトニクスに向けて

Towards silicon photonics

幅広い波長チャネルの増幅と処理を同時に行う、シリコンと互換性のある光学部品の開発は、フォトニックチップを使ったこれからのデータ通信技術において極めて重要になる。現在まで、こうしたデバイスは単一波長チャネルしか増幅できなかった。だが今回 Foster たちは、この目的のため設計したナノスケールのシリコン導波路を使って、広帯域の増幅を実現した。成功の鍵となったのは、「4 波混合」として知られている非線形光学効果を用いたことである。またこの過程は、これまでより長い光ファイバーでのみ可能であったほかの全光学的機能にも使うことができる。

22 June 2006 Vol. 441/Issue 7096

Letter p.960 参照

T 細胞を作る 2 種類の区画の起源

Immune responses: two for T

胸腺はウイルスやがん細胞に対する免疫防御の重要な柱となる T 細胞の主な供給源である。胸腺は皮質および髄質という 2 種類の上皮細胞から構成されており、それぞれが T 細胞の選択において異なった役割を果たしている。この 2 つの区画を生じる前駆細胞は別々なのか、それとも共通なのかについては異論が多い。今回、この 2 種類の組織を生み出す共通の前駆細胞が存在することを 2 つのグループがそれぞれ明らかにした。幹細胞に似た性質をもつ 1 つの前駆細胞が両方の組織を生み出せるとわかったことで、胸腺の疾患に対して細胞を用いる治療法の実現が期待できそう。

22 June 2006 Vol. 441/Issue 7096

Letters pp.988, 992, N&V p.942 参照

内耳有毛細胞の再生：成体マウスの耳の支持細胞は感覚細胞になる能力を保持している

HAIR-CELL REGENERATION: Support cells in mature mouse ear retain sensory-cell potential

ヒトの難聴は、コルチ器官の有毛細胞が失われることから起こる。哺乳類では有毛細胞は再生しないが、鳥類など哺乳類以外の脊椎動物では、有毛細胞に隣接する支持細胞が分化転換する能力を持っており、失われた有毛細胞が再生する。このことから、哺乳類ではこの分化転換能力が完全に失われているのか、それとも潜在能力として残っているのかということが問題となる。White たちは、新しい手法を使ってマウスの有糸分裂終了後の支持細胞を単離精製



して、この支持細胞が *in vitro* で成熟有毛細胞へと発生する能力を保持していることを明らかにした。*in vivo* では、再生を促すシグナルが存在しないか、阻害されているらしい。加齢に伴う支持細胞の増殖能力の衰えにはサイクリン依存性キナーゼ阻害因子 p27^{Kip1} のレベルが関係しており、この知見から損傷を受けた有毛細胞の再生治療への道が開けそう。表紙はトランスジェニックマウスのコルチ器官で、有毛細胞は紫色、支持細胞は蛍光標識により緑色となっている。

22 June 2006 Vol. 441/Issue 7096

Letter p.984, www.nature.com/podcast 参照

二次元系に確かに存在した相転移

The plane truth

二次元環境の物理学的性質は三次元の世界でみられるものとは大きく異なっている。次元数が小さくなると、熱ゆらぎによって系の空間秩序が壊れ、例えば強磁性を生じる原因となる相転移などを含めて、たいていの相転移は起こらなくなってしまう。しかし、渦がペアを組んで起こる特殊な相転移は二次元で実際に起こる。30 年前に Berezinskii, Kosterlitz, および Thouless によって最初に予測されたこの「BKT 転移」が、極低温ルビジウム原子の二次元気体で今回初めて直接観察された。

29 June 2006 Vol.441/Issue 7097

Letter p.1118, N&V p.1053

ショウジョウバエのパーキンソン病遺伝子 Parkin penalty

PINK1 遺伝子が常染色体劣性若年性パーキンソン病に関連することが最近明らかになったが、今回 2 つのグループが PINK1 に対応するショウジョウバエの遺伝子について研究し、この遺伝子が *in vivo* ではミトコンドリアに局在し、ミトコンドリアの機能に必須であることを示した。またこの遺伝子は、家族性パーキンソン病に関連するもう 1 つの遺伝子で、パーキンという E3 ユビキチンリガーゼをコードしている parkin 遺伝子とも遺伝的な相互作用がある。ショウジョウバエの pink1-parkin 経路は、神経変性の分子的機序に関する研究や、治療に役立つと思われる薬物のスクリーニングのための有力な手段となるだろう。

29 June 2006 Vol.441/Issue 7097

Letters pp.1157, 1162, N&V p.1058 参照

夏至の日をめぐる世界の科学技術の現場：科学的惑星での長い一日

SCIENCE AT THE SOLSTICE: A day in the life of a scientific planet

今週号の表紙は、2006 年 6 月 21 日、つまり北半球での夏至の日に撮影した地球である。

この画像は、静止気象衛星 Meteosat-8 が 11 時 UT (世界協定時) に赤道から撮影したものだ。太陽に対する地球の位置関係を別にすれば、いつもと変わるところは別段見受けられない。しかし、この日は、世界の科学者たちが何をしているかを次々に見ていくことにより、「科学世界」のポートレイトを作ろうという試みのために我々が選んだ日でもある。この日の取材はまず、00:12UT のチリにおける超星団 Westerlund 1 の恒星観測から始まった。それから野外調査隊に会い、博物館、科学フェア、博士論文の試問、記者会見、宇宙ステーション、ワールドカップで空っぽになった研究室、それにマウスの胚で一杯の冷凍庫を経て、最後にアルゼンチンにたどり着き、南半球の最も長い冬の夜に宇宙線のかすかな軌跡を探る天文学者たちの姿に終わる。典型的な一日、そしてそれゆえに注目に値する一日でもあった。

29 June 2006 Vol. 441/Issue 7097

Editorial p.1027, News Feature p.1040,

www.nature.com/podcast 参照



ナイジェリアの鳥インフルエンザ Flying in

ナイジェリアは、アフリカで初めて H5N1 亜型鳥インフルエンザの発生が報告された国である。発生は 2006 年 2 月だが、危険生物に対する厳重な防護策をとらずに世界中からニワトリが輸入されており、また、ナイジェリアとロシア南部やアジア西部を結ぶ渡りのルートに沿って鳥類保護区が多数あるため、この国はとりわけ危険視されている。今回、ラゴス州の感染した家禽で採取された H5N1 亜型ウイルスの DNA 塩基配列解析から、野生鳥類が感染源らしいことが示された。どうやら渡り鳥によって 3 種の H5N1 亜型株がそれぞれ別の経路で持ち込まれたとみられるが、輸入によってこの 3 種が個々に持ち込まれた可能性も捨てきれない。

6 July 2006 Vol. 442/Issue 7098

Brief Communication p.37 参照

ヒストンコードの解読

Histones decoded

今週号には、クロマチンリモデリングというホットな問題に取り組んだ論文が 4 本掲載されている。これは、クロマチン上のメチル化の「目印」がタンパク質によってどのように読み取られるかという問題だ。そのうち 2 本は、ヌクレオソームリモデリング因子である

※「今週号」とは当該号を示します。

NURF (nucleosome remodelling factor) のサブユニット BPTF (bromodomain and PHD domain transcription factor) に関するものだ。BPTF には PHD フィンガーとよばれるドメインが含まれ、これがヒストン 3 のトリメチル化されたリジン 4 (トリメチル化 H3K4) に結合して、発生に重要な役割を果たす HOX 遺伝子の活性を維持することが明らかになった。また、付随する複合体の構造研究から、H3K4 がどのように特異的に認識されているかがわかった。ほかの 2 本の論文は、がん抑制因子 ING2 の PHD ドメインもトリメチル化 H3K4 を認識することを明らかにしており、このヒストン上の「目印」と転写抑制との関連を示している。この 4 つの研究から、PHD フィンガーは、これまで知られていなかったクロマチン結合モジュールであることが示された。News and Views では P B Becker が、メチル基に結合するタンパク質がこのような目印を読み取る機構についてこれらの論文が明らかにしたことを論じている。

6 July 2006 Vol.442/Issue 7098

Letters pp.86, 91, 96, 100, N&V p.31 参照

地球の仲間を探る：別の太陽系探索のための望遠鏡の設計

THE SEARCH FOR A SISTER EARTH: Designing a telescope to find our next Solar System

地球に似た太陽系外惑星を観測しようという試みは、非常にむずかしい。なぜなら、そうした惑星は中心にある恒星からほんの数分の 1 秒角しか離れておらず、その明るさも中心星の 100 億分の 1 以下しかないからだ。だが研究者たちはあきらめることなく、そのような惑星を探査し観測する検出装置の設計に取り組んでいる。今週号で紹介されている「New Worlds Observer」は、2 つの宇宙探査機を使う。1 機目は通常の大型光学望遠鏡であり、2 機目は観測対象と望遠鏡を結ぶ光路の途中にあって、星からの光をさえぎる役割を果たす花のような遮蔽体である。表紙は、太陽系に似た惑星系を New Worlds Observer から見た場合をシミュレーションした想像図である。最も目立っているのは、天王星に似た惑星との軌道共鳴によってトラップされたダストの輪で、輪の中には木星や土星に似た惑星が見える。遮蔽されて見えない中心星の近くには、惑星間のダストによって散乱された黄道光のように、地球や火星に似た惑星が見える。我々の太陽系を描いた図も比較のため



に挿入してある。この検出装置は既存の技術を使って、ほどほどの予算で構築できそうだ。

6 July 2006 Vol. 442/Issue 7098

News p.6, Letter p.51, www.nature.com/podcast 参照

藻類の「マット」を破壊する軟体動物 Mollusc of mats' destruction

オドントグリフス (*Odontogriphus omalus*) は、カナダのカンブリア紀中期のバージェス頁岩で見つかった不思議な化石動物群の中でも人気のあるものの 1 つで、まるでエアーマットにコーヒーマルの歯がくっついたような姿をしている。そのうえ、この動物は「分類に問題あり」という点でも興味もたれている。当初見つかった 1 個の化石は、既知のいかなる動物分類群にも当てはめることができなかったからだ。今回 189 個の新しい化石標本が調べられ、この動物が、大昔の海底で藻類の「マット」を削り取って食べていた、殻をもたない軟体動物らしいことがわかってきた。この新たな解釈の鍵となったのは、軟体動物に特徴的な歯舌という摂食器官の初期形態がこの化石で見つかったことである。歯舌はヤスリのような固い器官で、岩肌が付いた藻類を削り取って食べるのに使われる。この研究によって、非常に重要な動物分類群の 1 つがたどったごく初期の進化史について知る新たな機会が得られ、さらにはカンブリア紀の「爆発」以前の多細胞動物の起源にかかわるほかのいくつかの不可解な化石についても、再評価が可能になりそうである。

13 July 2006 Vol. 442/Issue 7099

Article p.159, N&V p.146 参照

大気中のヒドロキシルラジカル Radical thinking

大気の酸化力は、主にヒドロキシルラジカル (OH) によって決まる。OH は、人間の健康、気候変化、作物の収穫量に影響を及ぼす汚染物質を除去するために重要な物質である。大気の酸化効率、長期的には大気汚染の拡大によって損なわれるかもしれないと広く考えられているものの、OH 濃度の変動傾向についてのデータは不足している。そこで、1999 ~ 2003 年にドイツ南部のホーエンパイセンベルク気象観測所で得られた長期間の観測データは極めて歓迎すべきものと言える。このデータからは、OH 濃度の変動傾向は見つからなかった。このラジカルが関与しうる可能性のある多くの化学反応を考慮したところ、意外なことに、OH の変動は太陽の紫外線放射と密接な線形関係を示すことがわかった。

13 July 2006 Vol. 442/Issue 7099

Letter p.184, N&V p.145 参照

震えるプレート

Tremor on a plate

非火山性微動は火山の下でマグマが動くことで起きる地震活動と似ているが、火山活動からはかなり離れたところで起きており、西南日本の南海トラフ沈み込み帯で約 6 年前に最初に発見され、その後カスケディア沈み込み帯とサンアンドレアス断層直下でも発見された。この「新しい」形態の地震活動を起こす機構はまだよくわかっていない。今回、西南日本の地震活動の監視データ結果を用いて、非火山性微動の伴う低周波地震の震源を決定することができた。このような地震がプレート境界で起きていることから、この地震とそれに付随する微動は流体の流れによって直接生成されたのではなく、流体によって可能となったプレート境界の剪断滑りにより生成されたことが示唆されている。

13 July 2006 Vol. 442/Issue 7099

Letter p.188 参照

考えを行動に移す：四肢麻痺患者でのロボット工学的デバイスの神経制御

TURNING THOUGHTS INTO ACTIONS: Neuronal control of robotic devices in a tetraplegia patient

表紙は BrainGate の予備的臨床試験への最初の参加者である Matt Nagle 氏で、彼は頸髄損傷のため腕も脚も動かすことができない。ブラウン大学神経科学科の研究者らは、バイオテクノロジー企業のサイバネティックス社およびほかの 3 つの機関との共同研究で、脳に埋め込んだ BrainGate チップ経由で脳の運動関連信号をリレーし、コンピューター画面上のカーソルを動かしたり簡単なロボット機械を動かしたりできることを実証した。このような神経運動プロテーゼは、麻痺患者の失われた運動機能を代替、あるいは復元するシステムの開発に道を開くと期待される。こうした進歩に至るまで、この種の研究は主としてサルを用いて行われてきた。最新の研究では、現行の機器よりも処理速度が大幅に高まるという成果が得られており、実際に臨床に適用できる脳-機械インターフェースへの期待が高まってきた。

13 July 2006 Vol. 442/Issue 7099

News Feature p.125, Article p.164, Letter p.195, N&V p.141, www.nature.com/podcast 参照



新たな査読制度の試み

Peer review on trial

Nature vol. 441(668) / 8 June 2006



Nature が手がける新たな2つのオンライン手法について

Nature という雑誌を作るにあたって私たちは、自らが主体的に取材した記事や執筆を依頼した原稿の編集を、責任をもって行うことの大切さを常に意識している。と同時に、新しい方法の模索にも常に積極的でありたいとの思いから、今回はオンラインのもつ双方向性を最大限に活用するべく、原則ぎりぎりのところで可能性を探ろうと考えた。

その1つとして最近、news@nature.com のサイトで更新を行っている日々の科学ニュース記事にブログをつける試みを始めた。成果例としてはすでに、生物進化における「ミッシングリンク」を埋めるとされる *Tiktaalik roseae* をめぐって起きた議論などが挙げられる (http://blogs.nature.com/news/blog/2006/04/the_fish_that_crawled_out_of_t.html 参照)。

ブログがジャーナリズムにとって代わる可能性は低いが、ブログは今後もおそらくジャーナリズムを補完する形で貴重な役割を果たしていくだろう。そしてこれよりもさらに成り行きの読めないのが、Nature でスタートさせた一種の公開査読制度の試験運用がもたらす結果である。この試験運用に伴って、査読に関する一般参加のオンライン討論も行われる (www.nature.com/nature/peerreview/index.html 参照)。

数か月を予定している試験運用の期間中、Nature では従来どおりの査読方法、つまり全投稿論文のうち編集部が選んだ論文を通常2人か3人の専門家に送って行う匿名査読も継続していく。私たちは、現行のこの査読方法はうまくいっていると考えている。だが一方で、6月上旬から数週間にわたって行うウェブ上での議論では、そのほかの査読方法の可能性を探り、また従来の科学誌がもつさまざまな機能をオンラインで展開できるような技術の可能性、それに査読の倫理性などについても問いたいと思う。

オンラインで公開査読を行うという今回の試験運用により、投稿論文の著者は希望に応じて、現行の査読方法と共に両方の査読を並行して受けることができるようになる。査読に廻されることが決まった投稿論文には今後もすべて、まずは従来のプロセスが適用される。そのうえで著者は、投稿論文の原稿を公開のウェブサイト上に掲載することにも同意できる。その論文原稿に対してはその後、氏名を明らかにすることを

条件に、誰でもオンライン上でコメントを寄せることが可能となる。そして、Nature の編集者があらかじめ依頼しておいた匿名査読者のコメントをすべて受け取った時点で、公開ウェブサイトにおけるコメントの受け付けを締め切り、提出されたすべての意見に対し、編集者と著者で検討していく。

この公開手順は、投稿論文の初稿にのみ適用される。論文原稿の受理・不受理がいったん決まった後は、公開ウェブサイトに寄せられたコメントを編集者が閉鎖的プロセスで評価していく。

試験運用は数か月にわたって行われる。該当する論文原稿に関する最終決定がすべて完了した時点で、Nature は受け取ったコメントを全体的に評価し、同時にそれらのコメントを正当に扱うために必要となる作業について検討を行う予定だ。その結果は Nature 誌上で報告し、現在の査読手順を適切に変更すべきかどうかを考えたい。現時点では、その変更はおそらく Nature の既存のプロセスを補完するものにとどまり、代替するものにまではならないと予想している。

今回は熟慮のうえ、「実験」ではなく「試験運用」という言葉を使うことにした。実験となれば、公開査読に取り組む根本的なメリットとデメリットを明らかにする必要があるが、私たちはそこまでの大それた野望をもっているわけではない。ただ、新しい方法がどうなるのかを探りたい。論文著者を対象に行った最近の調査でも、この新しい考え方には十分な関心が得られ、試験運用をするだけの価値のあることが示されている。

Nature の公開ウェブサイトに掲載してコメントを受けつける論文は当然、一般にアクセスする人々やジャーナリストによる格好の批判対象となるだろう。メディアによる先行報道は論文の受理に際して不利にはならない。しかし、査読を受けていない論文にはそれなりのリスクがある点は、ジャーナリストもおおい理解していくことになるはずだ。

Nature および発行元出版社では今回も、これまでと同様、オンラインのもつ可能性を探り、それを拡大しようとしている。しかし、私たちが核として掲げる目標に変わりはない。すなわち、自分たちの編集技能によって提供できかぎりにおいて、今後も最も刺激的なコンテンツを読者に届けていくことである。

ゴッホの描いた完璧な乱流

Van Gogh painted perfect turbulence

精神を病んでいた画家ゴッホは流体流動の形態を正確に直観していた。

doi:10.1038/news060703-17/7 July 2006
Philip Ball

フィンセント・ファン・ゴッホは、混沌とした絵画、そしてそれと同じように混沌とした精神状態で知られている。このほど彼の作品の数理解析が行われ、その絵画の多くにみられる荒々しいパターンが、水の渦巻きやジェットエンジンの排気流にみられる現実の乱流に不気味なほど似ていることが判明した。

メキシコ国立自治大学（ケレタロ）で物理学を研究する Jose Luis Aragón たちは、ゴッホの作品にみられる明暗のパターンが、乱流の数理的な深層構造に正確に従っていることを発見した¹。

ゴッホが37歳で拳銃自殺する直前の作品である、渦巻く空が描かれた「星月夜」（1889年）や「糸杉と星の見える道」（1890年）、「カラスのいる麦畑」（1890年）には、乱流に特有の統計学的特徴がみられる、と Aragón たちという。

これらの作品は、ゴッホが精神的に不安定だった時期に描かれている。彼には幻覚症状や軽い発作、意識喪失といった、てんかんの発症を示すような精神障害の症状があったことが知られている。

「ゴッホは、精神障害によって不安定な状態が長く続いた時期に、乱流を描くというユニークな能力を備えていたと考えられる」と Aragón は話す。

これに対して「包帯をしてパイプをくわえた自画像」（1888年）には乱流の特徴がみられない。この自画像を描いたのは有名な自傷行為があった後のことで、臭化カリウム薬の処方を受けて「極めて平静な状態」にあったとゴッホは語っていた。

定量化された混沌

乱流を記述するための研究は何世紀にもわたって行われており、これを量子力学よりもむずかしいと考える研究者もいたようだ。この問題はいまだに解明され



ゴッホが自殺を図る前に描かれた「カラスのいる麦畑」（1890年）

ていないが、1940年代には当時のソビエトの科学者 Andrei Kolmogorov によって、現在の乱流理論の基礎となる理論の1つが発表されている。

Kolmogorov の仮説は、乱流速度変動と摩擦による乱流エネルギー散逸率の変動との間に特有の数学的関係があるというものだった。彼の研究からは、液体中の2地点で特定の数値差がみられる確率を記述する方程式が導き出され、この関係式は、コルモゴロフ・スケールリングとよばれている。

Aragón たちはゴッホの絵を調べ、Kolmogorov が発見した乱流の特徴が認められるか見極めようとした。「『乱流』とは、ゴッホの作品を説明する際に用いられる主な形容詞だが、私たちはそれを定量化しようとしたのだ」と Aragón は話す。

光と影

Aragón たちは、ゴッホの絵のデジタル画像をとり、ある一定の間隔にある2つのピクセルが同じ明るさ（輝度）となる確率を計算した。「目は色の違いよりも輝度の違いにより敏感なので、1つの風景に含まれる情報のほとんどはその輝度に含まれている」と Aragón たちという。

ゴッホの作品のうち数点については、輝度確率分布にコルモゴロフ・スケールリングがみられた。このパターンは、大きなものから小さなものまで、ゴッホの絵筆から生み出されたさまざまなサイズの渦として人間の目には映る。

このような数学的正確さで乱流を描いた画家はゴッホだけのような。「このほかにも乱流らしきものを描いた数人の画家について調べてみたが、コルモゴロフ・スケールリングを示す証拠は見つからなかった」と Aragón はいう。

例えばエドヴァルド・ムンクの「叫び」（1893年）にはゴッホ風の渦が大量に描かれており、ムンクにも精神障害があったが、その輝度確率分布はコルモゴロフ理論と一致しなかった。

ほかの画家についても、その独特のスタイルを数式で記述することができる。例えば、ジャクソン・ポロックのドリッピング・ペインティングには独特のフラクタルパターンがみられる。 ■

1. Aragón J.L., et al. Preprint <http://www.arxiv.org/abs/physics/0606246> (2006).

獲物の感知

Sensing their prey

吸血コウモリは獲物の呼吸音を覚えている。

doi:10.1038/news060612-11/15 June 2006

Narelle Towie

「ゾウは決して忘れない」ということわざがある。しかし、吸血コウモリはその名にふさわしくぞっとするような方法で、ゾウの上を行くらしい。コウモリは個々の獲物の呼吸音を記憶しているだけでなく、その記憶を頼りに同じ動物個体を探し出して、また血を吸おうとするらしいのである。

南米に生息するナミチスイコウモリ (*Desmodus rotundus*) は動物の血液のみを餌にしており、ヒトが声で互いを認識するのと同じように音を聞き分けるのだという。

ルートヴィッヒ・マクシミリアン大学 (ドイツ、ミュンヘン) の研究者たちは、畜牛の血を餌にコウモリの成体3匹を調教し、録音再生した10秒間のヒトの呼吸音を聞かせて、3つの血液ディスプレイの中から関連のある1つを選ぶよう教え込んだ。

コウモリは録音再生された呼吸音を認識し、呼吸音とそれに対応する血液ディスプレイとを100%に近い確率で関連づけた。その成績は、タッチスクリーン・コンピューターを使った代替テストにおけるヒト被験者の成績を上回っていた。ヒト被験者は、吸血コウモリと違って、身体的ストレスを受けている状態で記録された呼吸音を区別することができなかったのだ。

「吸血コウモリは信じられないほど知能が高くすばやい」とコーネル大学 (米国ニューヨーク州イサカ) の生物医科学科教授、Daniel Riskin はいう。彼は吸血コウモリとその行動についての専門家だ。「ヒトはコミュニケーション能力が非常に優れているので、音の識別



吸血コウモリは、獲物となる動物の呼吸音を聞いて個体を識別できる。

もかなりよくできるはずだと考えられているかもしれない。しかし、吸血コウモリのほうが上手だったわけだ。」

吸血コウモリの吸血方法は、血を吸われる動物にとってよりも、むしろコウモリ自身にとってかなりの危険を伴うものだ。吸血するのは夜間で、自分の1,000倍もある大型動物のかかと部分に咬み傷を付けるからである。前の晩に付けて傷口のまだ開いている咬み傷を見つけることができれば、危険の軽減に役立つだろう。また、吸血コウモリは高齢のウシよりも子ウシを好むので、記憶を頼りに特にみずみずしい血のありかへ戻ってくるのかもしれない。

コウモリの中には、自分の餌を得るために、ほかのコウモリの発する音波を傍受したり、ほかのコウモリ自体を

追跡したりするものがある。だが、獲物を探す道具として聴覚記憶を使うことが知られている動物は吸血コウモリのほかにはないと、研究者たちはいう。

大部分のコウモリは地上でうまく歩いたり走ったりできない。しかし吸血コウモリは体長がヒトの親指ほどだが、嗅覚や反響定位、鼻にある赤外線センサーなどの器官を使って、暗闇の中でもその大きな目では見えないものを感知し、獲物の間をぬってすばやく走ることができる。

野生では、吸血コウモリは毎晩、自分の体重の最大1.4倍もの血液を摂取する。「彼らは実に特殊化した摂食様態をもっている。今回の結果は、吸血コウモリが音を聞き分ける能力をもつことを明確に示した好例だ」と Riskin は語っている。 ■

フルーティーなプラスチック

Plastics gets fruity

果糖がポリエステル原料になる。

doi:10.1038/news060626-8/ 29 June 2006

Philip Ball

将来、石油の代わりにリンゴジュースやトモロコシがプラスチックや薬の原料になるかもしれない。ウィスコンシン大学マディソン校（米国）の研究者によって新しい化学プロセスが開発されたのだ。

化学工学者の James Dumesic たちは、果物やコーンシロップ、蜂蜜に含まれる果糖（フルクトース）を、化学製品の製造に重要な原料に変える方法を見いだした。

この原料は 5-ヒドロキシメチルフルフラール（HMF）といい、ポリエステルの基本構成要素の 1 つに変えることができる。これはつまり理論的には、ポリエステルを石油化学物質からではなく、完全に植物から作ることができるということだ。また、HMF からはディーゼル燃料を作ることもできる。

英国王立化学協会（英国ロンドン）の環境・持続可能性・エネルギーフォーラムの責任者であり、環境にやさしい化学の専門家である Jeff Hardy は「HMF からできるものはたくさんある」と話す。「こうした基本要素を再生可能な資源から作ることができる化学プロセスは、歓迎すべきものだ」。

牛乳と蜂蜜

HMF は糖が熱によって分解されるときにできる。フルーツジュースや牛乳、蜂蜜のほか、多くの熱加工食品に含まれ、低濃度では無害だと考えられている。

しかし、単に糖を煮るだけではほかにさまざまな種類の化合物が生じてしまい、HMF の作出に効率的ではない。「普通この種の天然物から始めると、得体の知れない混合物しか得られない」と Hardy は話す。



糖をプラスチックに変えることは簡単ではない。…まだ現在では。

果糖を HMF に変えるだけなら、もっと効率的な方法がある。しかし、そうした方法は多量のエネルギーや高価な触媒、有機溶剤を必要とする。Dumesic たちの研究チームは、果糖のほとんどを HMF へと分解しそれを抽出する、化学産業でも使えそうな経済的な方法を探っていた。

糖を分解するには酸が必要だ。Dumesic たちは塩酸や固体酸性樹脂（陽イオン交換樹脂）を使ったが、そのいずれを使った場合でも副産物はほとんどできなかった。今回の方法では、分解された果糖の 5 分の 4 が HMF に変わった、と彼らは *Science* 誌に報告している¹。

サラダドレッシング

問題は、反応が起こった水の中から HMF を抽出することだった。そこで Dumesic たちは、サラダドレッシングの酢と油の層のように、糖の溶液の上に油の層を作った。

果糖が HMF に分解すると、HMF は水層から油層へと移動する。これによって HMF が集まり、精製されるだけでなく、水中で分解されることもなくなるのだ。

さらに Dumesic たちは水層と油層の両方に添加剤を加えることで、果糖のほとんどが HMF に分解され、その HMF が油層へ確実に移るようにした。油層に含まれる HMF は、真空中で溶媒を蒸発させて抽出する。

「課題は、反応の選択性と分離だ。今回の反応プロセスは正しい方向への一歩だ」と Hardy は語る。一方で彼は、化学産業で糖から HMF への変換を実用化するには、副産物ができず、より簡単に分離できる、さらに優れた方法が必要かもしれないとも考えている。 ■

1. Román-Leshko Y, et al. *Science*, **312**.1933-1937 (2006).

1つの幹細胞から生まれた卵と精子

Mature sperm and eggs grown from same stem cells

技術の進歩によって、不妊で悩む人にも子どもができるようになるかもしれない。

doi:10.1038/news060619-13/23 June 2006

Jo Marchant

マウスの胚に由来する幹細胞を基に、1枚の皿の中で卵と精子が同時に作られた。その卵と精子は実験室で実現されたものの中では最も成熟したものであり、この成果によって究極の目標の実現に一步近づいた。それは、成人の体細胞から人間の卵と精子を作り、不妊の男女が自分の子どもをもてるようにすることである。

この技術を人間に応用することが議論的となるのは、特に男性から卵を作ったり女性から精子を作ったりすることも可能になりかねないためである。しかし、この技術が人間に応用されるとしても数十年先の話であり、それまでに倫理的な議論はできるはずだと研究者は指摘する。その間、実験室で作られる卵や精子によって、これらの生殖細胞が体内でどのように作られるのかといった、生殖能障害や胚発生の理解に不可欠な知識が得られることを研究者たちは期待している。

この研究成果は、マウス胚性幹細胞から卵と精子を作製した研究に基づいたものだ。2003年、ペンシルベニア大学（米国フィラデルフィア）のHans Schölerたちによって、胚性幹細胞を40日程度培養すると、その一部が自然に卵を生じたことが発表されたのだ¹。

翌年、ホワイトヘッド生物医学研究所（米国マサチューセッツ州ケンブリッジ）のGeorge Daleyたちは、レチノイン酸という伝達物質を添加することにより精子の基となる細胞を作り出した²。生じた精子は成熟したものでなかったが、卵に注入するとこれを受精することができた。

Roger Abdelmassih 病院（ブラジル、サンパウロ）のIrina Kerkisたちは、さらに効率的な卵の作り方を見だしたいと考えた。そこで、レチノイン酸

が精子と同様に卵の生成も引き起こすのかどうかを確かめようとした。

Kerkisたちは雄マウスの胚から培養した細胞を基にして、胚様体をとよばれる初期胚に似た中空の球体を作った。そしてこれをレチノイン酸の存在下で4日間培養した。

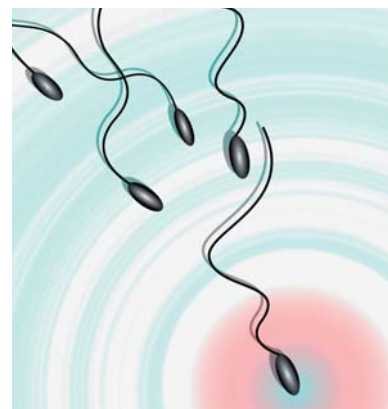
2週間後、驚いたことにこの胚様体から卵と精子が生じていた。胚様体の外側の細胞は長く伸びた成熟精子となり、内側の細胞は卵を放出する卵胞となっていたのだ。この卵は胚盤胞とよばれる胚様の構造体となり、その後、卵を覆う透明帯の外に出た。ハッチングとよばれるこの現象は通常、子宮壁に胚が着床する直前にみられるものである。

さらに先に

この胚は単為生殖として知られるプロセスで生じた可能性が高い、とKerkisは語る。単為生殖とは、未受精卵から胚様の構造体を生ずる生殖法である。哺乳類では、このような「単為生殖生物」の発生が着床から先に進むことはない。しかし、成熟精子が同じ皿の中にあるため、Kerkisはそれが卵を授精させた可能性もあると主張する。そうでない可能性が高いことはKerkisも認めているが、現在それを確認する試験を進めているところである。

Kerkisはこの研究成果を、プラハで開かれたヨーロッパ生殖医学会（ESHRE）の定例大会で6月21日に発表した。この研究では従来よりも迅速、かつ効率的に卵が生成され、生じた胚様構造体はこれまでになく発生が進んだという。

モナッシュ大学（オーストラリア、メルボルン）で幹細胞を研究するAlan Trounsonは、生成された卵と精子に感激した。「これほど成熟した精子が実験室で作られたためにはない」という。



不妊の成人の細胞から成熟した卵と精子を得られるようにすることを研究者は目指している。

Trounsonは、この研究は始まったばかりであると釘を刺し、この知見を人間の治療に利用するには、プロセス全体をもっと細かく制御できるようにする必要があると指摘する。「さらに管理可能なものにする必要があるだろう」と語った。

将来の生殖

不妊の男女から体細胞クローンで胚を作り、それを基に胚性幹細胞を取り出し、生きた卵や精子を作り出すというのが究極的な筋書きである。そのような「循環経路」の完成は大変なものとなるが、20～30年以内には実現する可能性がある、とTrounsonは述べている。

それまでの間、実験室で作られる卵は、胚性幹細胞系統の作出などの用途で研究に利用されることになるだろう。女性からの卵の採取には苦痛とリスクを伴うため、卵の調達が多くの研究における障害となっているのである。「どこかからもっと卵が手に入らないだろうか、と誰もが考えている」とKerkisは話した。 ■

1. Habner K., et al. *Science*, **300**, 1251-1256 (2003).
2. Geijsen N., et al. *Nature*, **427**, 148-154 (2004).

成人の細胞に胚性幹細胞のパワーを授ける

Simple recipe gives adult cells embryonic powers

Nature Vol. 442(11)/6 July 2006

Erika Check

成人の細胞を初期化し、損傷を受けた組織や臓器の修復に用いる。もしかしたら、これは考えられているほどむずかしいことではないのかもしれない。このほど考案された化合物混合液を用いると、成体マウス細胞が胚性幹細胞(ES細胞)のようになり、しかもその作り方は驚くほど簡単だという。

ヒト胚性幹細胞は生体内のあらゆる種類の細胞となることができ(「多能性」とよばれる)、研究用にも医療用にも極めて価値あるものと考えられている。しかし、これをヒトの胚から取り出すことについては、多くの国で議論の決着がついていない。この倫理的な問題を回避するため、研究者たちはこのような細胞を別の材料から得るための研究に取り組んでいる(Nature 441, 1038; 2006を参照)。そうしたなかで、胚とは無関係に成人の細胞を胚のような状態に初期化できる化合物配合法の可能性ほど、この領域を大きく活気づける話はない。

そしてこのほど、京都大学の山中伸弥たちは、少なくともマウスで有効とみられるこうした配合法の、初めての有力なたたき台を編み出した。山中たちによれば、必要な化合物はわずか4種類。実験に用いた線維芽細胞は分裂周期の短い成体細胞で、本来ほかの数種類の細胞を生ずる能力をもつ。そしてこの線維芽細胞に先の4因子を加えると、細胞の外見と挙動がマウス胚性幹細胞と極めて類似したものになったという。「可能性としては、この4因子をヒト細胞に与えることで、倫理的問題を回避しながら多能性細胞が得られると考えられる」と山中は話す。

初期化した細胞は、「幹細胞性」に関する数々の厳しい試験をクリアすること

がわかった。胚性幹細胞が発現する重要遺伝子のいくつかを発現しているとともに、生体の主要な3細胞系統を生じさせることができ、自身と同様の細胞にも分裂できた。山中は初期化されたこの細胞を、「胚性幹細胞様細胞」とよぶ。

幸運と熟練

山中は今回の成果について、6月30日の国際幹細胞研究学会(カナダ、トロント)で発表し、成功には忍耐と工夫と幸運が必要だったと明かした。幹細胞の多能性を保つための因子として、山中らは5年をかけて24種類の候補物質を選び出した。さらに幹細胞でのみ活動する遺伝子が働かない場合には薬剤によって死んでしまうよう、成体マウス細胞の遺伝子操作を行った。そうしたうえで、遺伝子操作したこのマウス細胞に候補因子24種類の遺伝子を導入し、薬剤を投与した。その結果、死滅しなかったのは幹細胞様細胞だけであった。

山中らは1回に1個ないし数個の遺伝子を除去してこの実験を繰り返し、最終的に不可欠な化合物を4種類に絞り込んだ。このうち3因子(Oct4, Sox2, c-Myc)は、幹細胞性に重要であることがすでに知られていた。しかし、4個目の因子は意外なものだったという。しかし、幹細胞研究の競争は極めて激しいため、科学誌に正式に発表できるまでこの物質の名前を明かすのは控えたいと山中は話す。

山中の成果は、どの因子が初期化に重要であるかを確かめようとしてきた先行研究に連なるものだ。例えばプリンストン大学(米国、ニュージャージー州)のIhor Lemischkaたちは、マウス胚性幹細胞で遺伝子70個を検討している(J. Silva

et al. Nature doi:10.1038/nature04914; 2006)。また、エディンバラ大学(英国)のAustin Smithたちは、Nanogとよばれるタンパク質を研究している(N. Ivanova et al. Nature doi:10.1038/nature04915; 2006)。「初期化に必要な因子を示した研究はこれまでにいくつかありましたが、十分な因子を明らかにした研究はありませんでした」と山中はいう。

山中の成果が感嘆と驚きをもって迎えられたのは、重要な因子の候補物質24種類に山中がすべてをかけたことによる部分大きい。「山中はホームランを打ったようなものだ」とLemischkaは話す。

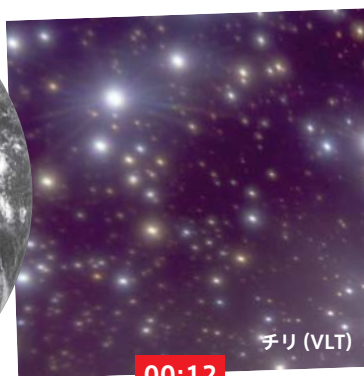
しかし研究者たちは、山中の論文は胚性幹細胞研究の必要性を否定するものではないと指摘する。なによりもこの4因子に関しては、ヒト細胞での検討が必要である。また、初期化された細胞が幹細胞と同じすべての働きをもっているのか確認がすんだわけではない。実際のところ、発現する遺伝子に同じものは多いが、異なるものもまた多い。

山中の報告は、米国会が今年後半の胚性幹細胞研究の規制緩和に関して採決を行うと発表した翌日に行われた。初期化の進展によって胚性幹細胞研究は不要になったという主張もあり、山中の論文はそうした主張を支持するために利用される可能性もある。しかしトロントの学会の参加者は、それは違うと語る。

Lemischkaも、「そのようにいう人はいるだろうが、それは間違いだ」と話す。「この細胞を理解するためにはさらに研究を重ねる必要がある。山中の研究に信頼性はあるが、だからといって初期化の問題が解決されたとする見方は決して正しくない」 ■



00:00
MTSAT 140°E



00:12

チリ (VLT)



00:23

マレーシア



低地球軌道
(ハッブル宇宙望遠鏡)

00:26

Science on the solstice

科学する惑星——夏至の日

Nature Vol.441(1040-1045)/29 June 2006

科学者たちは日々、地球上のあらゆる場所で、あるいはその外側で、私たちが住むこの世界を理解しようと努力を続けている。ここに紹介するのは、そんなある1日の群像だ。2006年6月21日、北半球でいうところの夏至の日——。

チリ・セロパラル

世界時 00:12

欧州南天天文台にある望遠鏡群「VLT」の4番目の望遠鏡「イエブン」の制御卓についているのは Morten Andersen。銀河系内に見つかった、若い星がひしめく巨大な超星団「ウェスターlund 1」の最小の星々を一斉調査している。

現地時間 20:12 (6月20日)
南緯 24度 38分、西経 70度 24分

マレーシア・ピントゥル

世界時 00:23

ボルネオ島にあるプトラマレーシア大学ピントゥル校で「人工林計画」の実行役員を務めている Diana James Junau が、イノシシの頭がい骨から取り出した大臼歯を測定していた。これらの頭がい骨は、ヒゲイノシシ (*Sus barbatus*)

の集団生物学研究に関する5か年計画の一環として収集されたもので、森林のあちこちが開墾された場合にイノシシの従来の食料源が持続可能であるか、今後調査される予定。

現地時間 08:23 北緯 3度 10分、東経 113度 02分

低地球軌道

世界時 00:26

ハッブル宇宙望遠鏡が1344秒間の近赤外線露光を開始。宇宙望遠鏡科学研究所(米国メリーランド州)の Anton Koekemoer は、このデータを、これから終日かけて撮影される同領域のデータと組み合わせる予定。これは「ハッブル超深宇宙」画像撮影計画の1つで、原始宇宙で最初の光源だった遠方銀河の探索がプロジェクトのねらいだ。

ベトナム・ハノイ

世界時 01:30

博士課程の大学院生 Nguyen Van Hanh が、22時間にわたり体外で成熟させた数個の卵子を Bui Xuan Nguyen に見せていた。Nguyen は、ラオスとベトナムの国境だけに住む、世界で最も希少な哺乳類の1つのサオラ(ベトナムレイヨウ、*Pseudoryx nghetinhensis*) というウシのクローン作製を計画しており、そのためにこの卵子が必要なのだ。湿地にすむこの水牛の卵母細胞の一部は状態がよく、明瞭な極体のみられた。Nguyen がこれらの卵子から核を取り除き始めるかたわらで、同僚たちがいくつかのサオラ細胞を準備。両者の融合は正午ごろになる予定だ。

現地時間 08:30 北緯 21度 01分、東経 105度 30分

インド・バンガロール

世界時 02:55

この体重3140グラムの女の赤ちゃんは、マニパル病院で現地時間午前8時に生まれた。誇らしげな母と父、Rhadhika Sinha と Rajesh Sinha の最初の赤ちゃんで、この写真が撮影されたとき、2人は彼女の名前を思案しているところだった。この子と同じ2006年6月21日に世界中で生まれた新しい命の数は推定35万8522。これは、この日に死んだ人(約15万5000)の倍以上だ。そして、この日世界の





人口（推定）は65億2364万2761人となった。インドで生まれた赤ちゃんは、これから63.3年生きる見込みで、これは世界の平均寿命である67年よりも少し短い。

現地時間 07:55 北緯12度58分、東経77度34分

シンガポール・ジョホール海峡 世界時 03:45

シンガポール国立大学のJuan WalfordとB. Sivaloganathanが、生後約6か月のタツノオトシゴの健康状態を調べている。2人はこのタツノオトシゴを、シンガポール東岸沖の海上に浮かんだ養魚場で育てている。研究のねらいは、タツノオトシゴを海洋環境の生きた指標にすること。この日の朝、彼らはたくさんの「妊娠」したオスを見つけた。若いオスたちは育児のうちに胚をもっており、うまく生殖年齢に達したことを示していた。この分なら、この海域に稚魚を放流することも可能だろう。

現地時間 11:45 北緯1度24分、東経103度58分

アメリカ・ニュージャージー州 フローハムパーク 世界時 03:47

多国籍医療機器メーカーの販売部長Dan Silverは、中国の新聞記事を自ら翻訳し、「ProMED-mail」宛てに電子メールで送信

した。このインターネットサイト (<http://www.promedmail.org>) は感染症の突発情報を知らせるもので、世界中の医師、研究者、医療従事者などから寄せられる情報に支えられている。今回Silverが送った記事では、中国の陝西省で6月12日以降、60人の学生と教師が診断のつかない熱病にかかったことを伝えていた。

現地時間 23:47 (6月20日)
北緯40度47分、西経74度28分

日本・東京 世界時 04:00

東京大学の古澤明の量子計算研究室には、数百個の小さな鏡やビームスプリッター、レンズなどが一見したところ乱雑に並んでいる。しかし、実際にはこれらの装置は極めて注意深く準備されているのだという。学生の1人が、光子間の量子相関に関する世界記録を破ろうと試みていた。

現地時間 13:00 北緯35度43分、東経139度46分

低地球軌道 世界時 06:46

国際宇宙ステーションに搭乗しているJeffrey Williamsが、オーストラリア奥地にある5億1500万年以上前にできたと思われる直径19Kmの隕石孔を撮影。この写真はWilliamsが今日撮影予定の3枚のうちの1枚

目で、国際宇宙ステーションは、さまざまな科学プロジェクトに向けた一連の地球観測の一環として、この撮影を行っている。

日本・茨城県 世界時 07:24

高エネルギー加速器研究機構(KEK)のBファクトリーでは、どんよりした天気にもかかわらず鳥たちがさえずっている。加速器中を走る電子と陽電子のビーム強度は、世界のほかのどの加速器よりも高い。Bファクトリーで行われているBelle実験では、これまでに5億対のB中間子を記録した。Jasna Dragicは、KEKにいるほかの多くの研究者と同じく大量のデータを分析。モスクワで開かれる高エネルギー物理学国際会議で発表予定の最新の実験結果に関する講演に向けた準備をしているところだ。一方、彼女の同僚Ruslan Chistovは、*Physical Review Letters*誌へ2つの新粒子発見を発表することに関し、Belle実験代表者の最終的許可が下りるのをイライラしながら待っている。

現地時間 16:24 北緯36度09分、東経140度04分

中国・昆明 世界時 08:35

昆明霊長類研究センター。Weizhi Jiは、アカゲザルの胚のいくつかと体外受精によ

て得られたクローン胚盤胞を、共焦点顕微鏡で見るための準備している。彼が関心を持っているのは、胚そのものを形成することになる細胞と、胎盤および羊膜を形成する細胞でみられるそれぞれの遺伝子活性の指標を比較することだ。

現地時間 16:35 北緯25度04分、東経102度42分

スリランカ・ペラデニヤ 世界時 08:40

ペラデニヤ大学の地質学者Kapila Dahanayakeは、2004年12月の大津波に関する海水や堆積物の試料を分析している。浸水した家から見つかった空のアラック（蒸留酒の1種）の瓶に残っていた試料は、深海に典型的な小型プランクトンを含み、粒の大きさも特別な分布をしている。近くの井戸の深さ1.5m付近から採取した堆積物も、この瓶の堆積物とよく似ていることから、津波によって運ばれてきたものと推定される。

現地時間 14:10 北緯7度15分、東経80度34分

南アフリカ・ベルビル 世界時 08:45

南アフリカの国立バイオインフォマティクス研究所では、Winston Hideが抗レトロウイルス薬「ネビパリン」を使った治療で起きたHIVの突然変異

11:00
Meteosat 0°

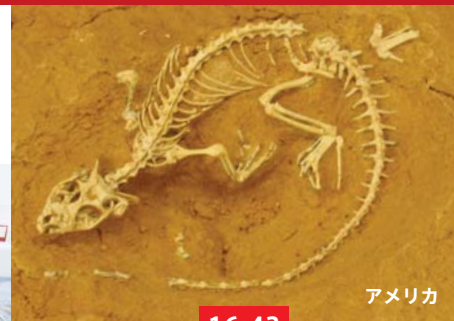
カナダ

15:22



15:30

南大西洋



アメリカ

16:43

群を分析している。この薬剤は、母親から子どもへのウイルス感染を防ぐために使われたものだ。それから彼は、協力者の鈴木治和（理化学研究所ゲノム科学総合研究センター）を出迎えるため、空港へ出発。鈴木は、日本から21時間かけて南アフリカへやってくる。空港へ向かう途中のHideの運転は、ホームレスや避難民の住む仮設小屋やHIVに対する意識を高めるための古びたポスターなどを横目にしながら、馬が引く荷車の間にスペースを見つけて割り込むという、なんとも巧みなものだった。

現地時間 10:45 南緯 33 度 56 分、東経 18 度 38 分

スイス・ジュネーブ近郊

世界時 10:05

欧州原子核共同研究機関（CERN）では、Mike Lamont が翌週エディンバラで開催される欧州粒子加速器会議用の論文を仕上げるため、午前中のほとんどを費やしたが、その後、大型ハドロン衝突型加速器（LHC）の全長 27km のトンネルへ降りるエレベーターに乗り込んだ。エレベーターの壁には、サッカーW杯の試合予定表が張られている。落書きによれば、優勝チームの予想はなんとモロッコだ。

現地時間 12:05 北緯 46 度 14 分、東経 6 度 03 分

南極大陸・アムンゼン-スコット基地

世界時 10:54

Denis Barkats は、高架式の新しい南極点基地からダークセクター実験室へ、凍った南極高原を横切っていつものように 20 分間歩いた。そして、BICEP（銀河系外背景放射偏光撮影）望遠鏡に液体ヘリウム（90 l）と液体窒素（40 l）を移した。この望遠鏡は、宇宙の最初期に生まれた光子をできるだけ多く集めるため、南極の長く、冷たい夜を利用している。液体ヘリウムと液体窒素は、望遠鏡の中心部にある偏光感知ポロメーターの 98 個のアレイを、250 mK という極低温に保つため使用されている。外の世界はそれほど寒くはない。せいぜい -65℃。一方、基地の中はお祭り気分だ。64 人の越冬隊員は夏至の夜を祝う。今は白夜だが、3 か月後には再び太陽が昇るようになる。

現地時間 22:54 南緯 90 度、0 度

スバルバル諸島（ノルウェー領）・ニーオルスン

世界時 11:05

仏独共同北極研究基地「AWIPEV」の Ruth Müller たちが、水中の光の強さを測定するためにボートで海へ向かった。彼らは環境問題のあらゆる分野に取り組んでいて、成層圏のオ

ゾン濃度を測定するために気球を上げたり、堆積物の試料を採取するために海中に潜ったりしている。光の強度測定は、北極海の藻類に対する紫外線の影響を評価するプロジェクトの一部だ。

現地時間 13:05 北緯 77 度 34 分、東経 23 度 42 分

世界で

世界時 12:26

夏至の瞬間。太陽は地球赤道面から最も速くに離れた。

アメリカ・ハワイ

世界時 12:35

Geard Fryer はポケットベルが鳴り始めたとき、太平洋津波警報センター裏手のトレーラーでぐっすりと眠っていた。12000 km 離れたところで、地震計が地震を感知した。彼は着替えて管制棟へ走り、当直の科学者 Dailin Wang を見つけた。Wang はすでに地震の場所を突き止め、測定していた。地震があったのはニコバル諸島で、マグニチュードは 5.9 だった。津波が起きるほどではない。彼らは、それを伝えるメッセージを送った。

現地時間 02:35 北緯 21 度 19 分、西経 158 度 01 分

世界で

世界時 14:00

「国際問題に関するアカデミー

間パネル」(IAP) は、世界の科学アカデミーを代表して、進化教育に関する共同声明を発表した。この声明では、地球上の生命の起源と進化について、子どもたちに事実を教えるよう両親や教師に促している。

カナダ・ピカキャンブ

世界時 15:22

ユーコン川沿いの山頂の雲が晴れたので、Sarah Trefry は、クビワナキウサギ (*Ochotona collaris*) の鳴き声を記録するため、近くの岩場へと出発した。彼女、高山生態系のダイナミクスに急速な地球温暖化が及ぼす影響を調べている。

現地時間 08:22 北緯 61 度 08 分、西経 138 度 10 分

南大西洋

世界時 15:30

ドイツの砕氷船ポーラーシュテルン号は、オキアミなどの生物が冬を越す仕組みの研究を行うため、南極海へ向かって南下している。乗組員と科学者たちは、短い昼間の時間を使ってプランクトン・ネットを準備しているが、風力 8.0、波高 6 m の中での作業は簡単ではない。

船時間 15:30 南緯 46 度 29 分、東経 07 度 31 分



17:45
GOES EAST 75°W



アメリカ

16:59



仏領ポリネシア

18:29



オランダ

19:00



チェコ共和国

20:45

スウェーデン・ストックホルム 世界時 15:45

カロリンスカ研究所構造ゲノミクスコンソーシアム (SGC) 参加研究室の Tomas Nyman は、研究所の外の日の当たるバルコニーで午後のコーヒーを飲み、新鮮なイチゴとクリームを食べている。ストックホルムでの勤務時間はまもなく終わるが、太陽は、これからたっぷり 5 時間は輝き続ける。オックスフォード (英国) とトロント (カナダ) にある SGC の残り 2 つの研究室は、スウェーデンでの夜にも働き続ける。カナダ人が 1 日の仕事を終わるときまでには、SGC は 10 個のヒトタンパク質の構造をタンパク質データバンクに登録するだろう。現地時間 17:45 北緯 59 度 17 分、東経 18 度 04 分

アメリカ・ニューヨーク 世界時 16:43

アメリカ自然史博物館は、ヘビとトカゲの展示会内覧に報道関係者を招待した。ポストクの Jack Conrad は、ゴビ砂漠で見つかった赤茶色の砂岩平板を見せている。そこには、最近発見されたトカゲの種の、8400 万年前の繊細な骨格が入っていた。その間に、灰色縞模様キングスネークが、学芸員 Darrel Frost のそでを上って見えなくなった。ちなみにこのへ

ビは、展示でも研究対象でもなく、ただのペットである。

現地時間 12:43 北緯 40 度 47 分、西経 73 度 58 分

アメリカ・ワイオミング州 世界時 16:59

イエローストーン国立公園内のアンフィシアター・スプリングス水源地で、Tim McDermott と大学院生の Dana Skorupa は、水温が 72°C に達することもある水から、藻類のサンプルを採取していた。彼らはモンタナ州立大学熱生物学研究所の研究者で、マイクロアレイ用に藻類からメッセンジャー RNA を抽出することにしている。可視光と紫外線量がピークに達し、藻類が大規模に枯れる 6 月に、どの遺伝子がオンになり、どの遺伝子がオフになるのかを研究している。

現地時間 10:59 北緯 44 度 48 分、西経 110 度 44 分

仏領ポリネシア・モーレア島 世界時 18:29

夜明け直後、ガンブ南太平洋研究所の Gustav Paulay と Sally Holbrook は、サンゴ礁でサンゴの共生生物を採集している。Paulay は、この火山島のすべての植物相と動物相のカatalog作成を目標にする「モーレアバイオコード計画」に加わって

る。Holbrook は、この島を取り囲むサンゴ礁と礁湖の複雑な生態系を研究している。早朝に捕獲された動物たちは、サンゴ礁の食物連鎖と個体群の研究に使うため、同定・撮影され、DNA の一部を「バーコード」として調べられる。

現地時間 08:29 南緯 17 度 30 分、西経 149 度 50 分

オランダ・フローニンゲン 世界時 19:00

フローニンゲン大学の Ben Feringa の合成有機化学研究室のスタッフたちが、Feringa の家での年 1 回のバーベキューを楽しんだ後、サッカー W 杯のオランダ対アルゼンチン戦を見ようと、室内の大型モニターの前に集まっている。どちらの国出身でもない者でさえ、かなり興奮している。

現地時間 21:00 北緯 53 度 13 分、東経 6 度 34 分

アメリカ・コロラド州デンバー 世界時 19:12

ニュージャージー州の中学校教師 Bruce Williams は、デンバーで開かれる「全国中等学校科学ボウル」に参加するため、チームの登録手続きをしている。彼の 3 人の生徒が水素燃料電池モデルカーレースに出場するのだ。競技は、10 m の距離を最

も速く走ったモデルカーが勝負、というものだ。

現地時間 13:12 北緯 39 度 41 分、西経 104 度 58 分

チェコ共和国・オンドジェヨフ 世界時 20:45

チェコ共和国の自動化天文台にとって、今夜は大流星を求めて空を走査するにはいい夜ではなかった。もやと雲が視界をじゃましている。観察されたのは、飛行機と国際宇宙ステーションの軌跡だけだった。その代わりに Pavel Sporny は、遠く離れたオーストラリアのナラボー平原上空で 3 月 8 日に見つかった流星の軌跡を分析して、この夜を過ごした。

現地時間 22:45 北緯 49 度 54 分、東経 14 度 46 分

アルゼンチン・マラルゲ 世界時 23:04

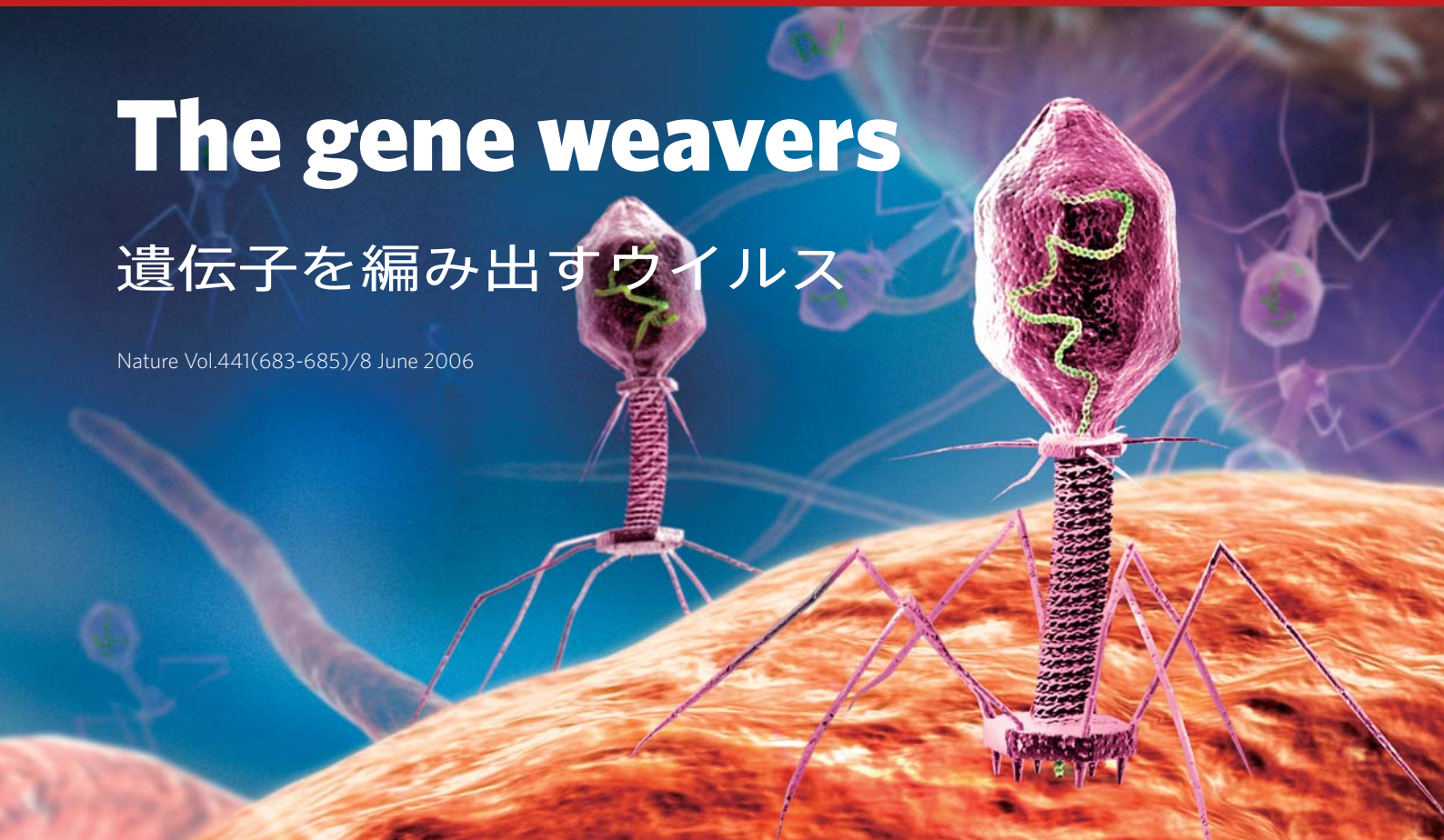
ピエールオージェ天文台。研究者たちは数時間かけて注意深く校正した後、データをとり始めた。アルゼンチン西部のアマリーリャパンバのあちこちに設置された 18 基の望遠鏡が、銀河系外のはるか彼方から届く宇宙線を探し始めた。風はやや強いが、視界は澄んでいる。そして、今夜は 1 年で最も長い夜なのだ。

現地時間 20:04 南緯 35 度 28 分、西経 69 度 35 分

The gene weavers

遺伝子を編み出すウイルス

Nature Vol.441(683-685)/8 June 2006



ウイルスは単純な生き物とみなされがちだ。しかし、その遺伝子は驚くほど多様で、また、遺伝情報の交換が極めて容易に起こることから、進化上すぐれた創造力に富む存在であるともいえる。Garry Hamilton が報告する。

高校生の Joe Gross と Jake Falbo が米国ピッツバーグ大学の Graham Hatfull 研究室の戸をくぐったのは 5 年前のことだった。そのときの 2 人には、その後の展開がどうなるかなんて知る由もなかった。科学のちょっとした実体験を期待していた 2 人は、リンネやダーウィンといった偉人たちが存命であれば魅了されたであろうプロジェクトへの参加をもちかけられた。Hatfull は当時を振り返ってこう話す。「2 人にいったよ。『君たちもプロジェクトに参加できる。一緒に新しいウイルスを見つけてみないか』とね」。

提案は冗談ではなかった。Gross と Falbo はその後、細菌に感染するファージ（正式名称はバクテリオファージ）とよばれる 2 種類のウイルスの未知株を発見したことを報告する論文に名を連

ねた¹。Cell 誌に掲載されたこの論文は、いまでは被引用度の高い論文だ。リンネやダーウィンとは異なり、Hatfull のチームは新種の生き物の採集・分類のために遠くまで出かける必要はない。ほかのウイルス学者と同じように、とにかく足を運ぶ先々で新しいウイルスに出会うことができるからだ。「ちょっと外に出て、バラの木の下をのぞいてみるだけでいい。そうすれば、過去に誰も見たことのないファージを見つけることができる」と Hatfull は話す。

Hatfull の「ファージ・ハンター」チームは、これまでに 40 種以上のファージを単離し、その塩基配列を決定している。ファージは、インドの結核クリニックの床やニューヨークにあるブロンクス動物園のサル舎など、さまざまな場所で見つかった。もちろん、ピッツバー

グ大学から 55 キロメートル南東のラトローブにあるバラの木の下も忘れてはならない。そして研究チームは、こうして採取したファージの塩基配列が互いにまったくといっていいほどに異なっていることに気がついた。こうした発見を受けて、生物学者がウイルスを見つめるまなざしは大きく変わることになった。相次ぐ新発見により、地球上の生命の進化においてウイルスが大きな役割を果たしてきたとする説がにわかに関心を寄っているのだ。

出自はさまざま

ウイルスは長年、自然界の異端者とみなされてきた。生きるために宿主細胞に依存する寄生者であるウイルスは、「生」物の名には値しないとさえ考えられた。しかし実際には、ウイルスの量

は考えられていたよりもはるかに多く、また多様性に富んでいて複雑だ。最近の計算によれば、ウイルス界でまだ発見されていない遺伝子の数（そのほとんどはファージの遺伝子だと考えられる）は、ほかの生命体すべての未発見遺伝子を合わせた数よりも多いだろうとされている。また、ウイルスの偏在性と多様性は、ほかの生命に大きな影響を及ぼしている。宿主との間で遺伝子のやりとりを行うウイルスは、高等生物の進化の有力な原動力ではないかと考えられているのだ。ヒトのゲノム上でも、ウイルス由来の遺伝子が日夜忙しく働いている。つまり、自然界全体の基礎をなす生態学的、生化学的、進化学的な過程において、ウイルスが大きな役割を果たしている可能性がある。ウイルスは異端者であるどころか、生物界のいたる所に顔を出すプレイヤーとして認識されつつある。

「どのような系について考える場合でも、ウイルスを計算式から除くことはできない」とウォリック大学（英国）の微生物学者 Nicholas Mann は語る。

ウイルスの世界は広大であり、調査が不十分なのではないかという考えが聞かれるようになったのは、1980年代が最初だった。ベルゲン大学（ノルウェー）の研究者たちは、電子顕微鏡を用いた新開発の方法を利用して、ある水生環境のウイルス濃度が、最大でそれまでの推定値の1000万倍であることを明らかにした²。1 ml 中に含まれるウイルス粒子を、バレンツ海の深部で約6万個、ドイツのプラーシー湖の表面水にいたっては実に2億5400万個と推定したのだ。

この報告以降、地下2,000メートルの地層やサハラ砂漠の砂、酸性度の高い温泉、南極の湖など、目が向けられたあらゆる場所で莫大な数のウイルスが相次いで発見された。合計すると今日では、地球上にはおよそ 10^{31} 個ものウイルス粒子が存在すると考えられている。最近、ある研究者がこれらの全ウイルス遺伝子をつなぎ合わせると2億

5000万光年の距離に匹敵すると表現したが、まさに天文学的な数字だ。

そして1990年代の中ごろ、ウイルス世界の広大な多様性を把握しようという研究がスタートした。生物学者たちは、すでに知られている培養可能なウイルスは、個々のウイルス群のほんの一部を代表しているにすぎないことを見いだした。ある1立方メートル中の海水と、それと隣り合う別の1立方メートル中の海水との間でみられるウイルスの遺伝子差異の多様性は、同じ場所にすむほかのどんな生物群の遺伝的多様性よりも大きい。

常に更新中

最近になり、サンディエゴ州立大学の微生物学者 Forest Rohwer のグループが、未知のウイルス DNA をひとまとめに抽出して塩基配列を決定する手法を開発した。そして、海水、海底堆積物、人糞の試料を調べた一連の研究で、大半のウイルス群はこれまで一度も検出されたことのないものであることが明らかになった³。たとえば、1キログラムの海底の泥は、最大100万種類の異なるウイルスの遺伝子型を含むことが判明した。ヒトの腸だけでも、1200種ものウイルスが存在する可能性がある。「ウイルスの多様性は、ほかの生物でみられる多様性とは次元がちがう。塩基配列を決定するたび、その大半は未知の配列であることがわかる」と Rohwer は話す。

Hatfull と共同研究者の Roger Hendrix もまた、高校生や大学生たちの力を借りた研究から、同じような見解を得ている。彼らが見つけた約40種類のファージのうち、各ゲノムの約半数は、過去に見つかったことのない遺伝子、つまり塩基配列解読済みのどの細胞生物にもみられない、ほかのどのウイルスにも見つかったことのない遺伝子を含んでいた¹。さらに、塩基配列決定済みのほかのウイルスゲノムにも、同じように高い割合で固有の遺伝子群が含まれていた。最大のウイルスであ

るミミウイルスにいたっては、固有の遺伝子は約450個にもものぼる（コラム「秘めた能力」を参照）。このため、自然界の遺伝情報の大半はウイルスゲノム上に存在するという結論が導かれた。「ウイルスは、自然界における最大の遺伝的実験だ」と Hatfull はいう。

一方でウイルスは、優秀な実験家でもあるらしい。ファージについては、自らの遺伝子を切り出して起源の異なる遺伝子と連結できることが以前から知られていたが、Hatfull と Hendrix は、こうしたシャッフリングがかなり一般的な現象であることを明らかにした。2人は14種類の異なるファージを比較することで、長さを考えると1つの遺伝子とはいえないような、つぎはぎされたい塩基配列を見出した。2つの遺伝子に挟まれた状態のDNA断片も見つかり、それはあたかも1つのウイルスから任意に切り取られて別のウイルスに挿入されたかのようにだった。つまり、ファージは細胞とは異なり、自らのDNA断片を塩基配列の類似性がないDNAとでも連結させられることを示している。

Hatfull と Hendrix、またほかの多くの研究者たちは現在、ウイルスは細胞感染時に遭遇するあらゆるDNAとの間で（それがファージのDNAであれ、宿主のDNAであれ）、連続的でランダムな組み換えを起こすと考えている。例えていえば、細胞はシチュー鍋で、その中でウイルスは、詳しいことはわからないけれどもとても創造的なプロセスでもって、遺伝子の新たな組み合わせを編み出すばかりでなく、おそらく過去には自然界に存在したことのない新規な遺伝子をも生み出すのだ。そしてこの創造の成功は、1秒あたり約 10^{24} 個とも推定される、地球上で新たに作り出される莫大な数のウイルスにかかっている。「ほとんどは意味のないがらくただ。しかし、母集団が大きいので、鍵となるウイルスが生き残る確率も十分にある。これは、大規模なダーウィン進化といえると思う」と Hendrix は話す。

ばらまかれる DNA

大半のファージは、DNA が詰まったカプセル本体に細胞へ DNA を注入するために用いられる中空の尾部がついた、共通の構造をとる。そして、ウイルスの頭部カプセル部分はその形状を維持するために過剰な DNA を必要とするこの構造こそが、創造的な過程を促す理想形なのだとして Hendrix は指摘する。こうした非本質的な DNA が選択圧から解放された場合に、何らかの有用な機能をもつように進化するチャンスが増えると考えられるからだ。

次々に明らかになってきた事実は、ウイルス DNA が広範囲に、しかも迅速に拡散できることを示唆している。Rohwer のグループは 2 年前、66 のさまざまな生息域のうちの 49 か所から、同じ塩基配列をもつウイルス DNA を見つけ出した⁴。対象となった場所には、アイダホのウシの反芻胃や、カリフォルニアの温泉、さらには南極の海や、カリブ海に生息するサンゴの粘液性物質などが含まれる。そのうち 18 の

試料の解析では、533 塩基対の配列のうち最大 3 ヌクレオチドしか違ってないことが判明した。既知のファージの変異率を元に計算すると、このウイルス DNA 断片は、過去 2000 年間のどこかで分散したものと考えられる⁵。

こうした場合の可能性として考えられるのは、対象生息域に同じ宿主が存在したか、あるいは 1 種類のウイルスが広範囲の宿主に感染したかである。しかし、複数の塩基配列で同じような結果を見いだした Rohwer をはじめとする研究者たちは、ウイルス DNA の断片は同じ宿主を共有するウイルス間で伝達されていった可能性が高いと考えている。

「藻類に感染するウイルスなどを調べてみると、保存されたコアとなる遺伝子群は極めて短いことがわかる。残りにはまさに超有機体とでもいうべきもので、さまざまなウイルスのすべてが共有する巨大な遺伝情報プールだ」とブリティッシュ・コロンビア大学（カナダ、バンクーバー）の微生物学者 Curtis Suttle は語る。

次にくる大きな疑問は、この超有機体ははたしてその触手を宿主ゲノムに対してどの程度まで伸ばすのかということだ。「プロファージ」（ファージ DNA が一時的または永久的に宿主の DNA に挿入された状態）から獲得した遺伝子を細菌が利用し、競争力を得て新しい環境で生きていくことは以前から知られていた。実際、数十年ほどの間に行われてきた研究では、細菌に担われたプロファージの遺伝子が、ジフテリア、猩紅熱、食中毒、ボツリヌス中毒、コレラなどの疾患につながる主要毒素の産生に関与していることが明らかになっている。

細菌の陰で

さらに最近になって、全ゲノム配列の解読により、ほとんどの細菌は平均 2～3 個のプロファージを備えていることが明らかになった。また、ファージの遺伝子こそが、近縁の細菌株間でみられる主な差であると報告した研究もある。たとえば日本では、大腸菌の無害な実験室株と、ここ数十年間に世界的な健康問題となってきた大腸菌 O157:H7 株との全ゲノム比較が行われた。その結果、病原性株と無害な近縁株との差の大半（約 100 万塩基対の DNA に相当）は、24 個の異なるプロファージまたはプロファージ様の遺伝子断片に帰せられることがわかった⁶。

さらに、髄膜炎を引き起こすこともあるが通常は無害である、鼻の中に生息する髄膜炎菌の病原性株と非病原性株のゲノムを比較したところ、2 つの株間で注目すべき唯一の差は、一連のプロファージ遺伝子であることが判明した。具体的にいうと、疾患誘発性の 29 株で認められたプロファージ遺伝子が、良性細菌では 20 株中 2 株にしか認められなかった⁷。そのほかにも、猩紅熱やリウマチ熱、トキシックショック症候群などのさまざまな疾患の原因となる、皮膚や口の中に常在する化膿レンサ球菌を対象とした同様の研究もある。この研究では、前述の 3 つの異

著作権等の理由により画像を掲載できません。

遺伝子のゆりかご：バクテリオファージの DNA（黄色）は、新たな遺伝子の製造工場なのかもしれない。

なる疾患過程のそれぞれに関連する株が、ファージにコードされた毒素をそれぞれどんな組み合わせで含むかが報告されている⁸。

しかし、病原性は細菌の進化に影響を及ぼす1つの形質にすぎない。そこで研究者たちは、生命の進化におけるウイルスの影響がより一般的な現象であることを示す証拠を探し始めている。たとえば緑膿菌は、その産出に2つの修飾型ファージ遺伝子が関与している化合物を用いて、競合菌を死滅させる⁹。

実は研究者は、新しいウイルスを求めて有毒な細菌を探したり、さらにいえば近くのバラの木さえ見に行ったりする必要はない。人体そのものがウイルスの宝庫なのだ。レトロウイルスは、動物細胞の攻撃に特化したRNAベースのウイルスであり、ヒトゲノムに組み込まれたレトロウイルスのDNA版のコピーは、ヒトゲノムの約8%を占めている。一例を挙げれば、ウイルスが感染初期に宿主細胞に結合する際に利用するタンパク質がそうだ。最近、このようなタンパク質が、胎盤の発達中に細胞どうしの結合を促すのに積極的な役割を果たしていることが明らかにされた¹⁰。

進化的思考

ファージDNAの標的生物は細菌であるにもかかわらず、それはヒトゲノムの一部にもなっている。ファージDNAはおそらく、ミトコンドリアのゲノムを通じてヒトゲノムの一部になったと考えられる。ミトコンドリアはヒトの細胞内に存在するエネルギー生産器官で、大昔は自由生活型の細菌だったとされている。進化の過程で、ミトコンドリアゲノム上のファージ遺伝子は、ヒト細胞の核内にあるメインゲノムへと移動してきた。そしてこのようなファージ遺伝子は、核の中で、ミトコンドリアゲノム上に残る少数の細菌由来遺伝子の複製および発現を促しているのだ。最近では、ミトコンドリアの祖先であると考えられる群に属する多様な細菌でも、同じファージDNAが見つかった¹¹。この事実は、遺伝子がウイルスから細菌を経て細胞の核内へと勢力を拡大してきたこと、そして現在ではあらゆる多細胞生物の生存に必要な分子回路に組み込まれて重要な役割を果たしているという考えを支持するものだ。

また、「細菌・古細菌・真核生物」という現存生命の3つの分類群でみられる細胞の種類を決める多様な分子構

成成分を集合させる際、ウイルスが重要な役割を果たしてきたと考える研究者もいる。カリフォルニア大学アーバイン校のウイルス研究センターの所長 Luis Villarreal にいたっては、ヒトとチンパンジーを隔てるDNAの大部分はウイルスDNAにあると論じている。

Villarreal はいう。「ウイルスがあらゆる側面に関与していることが次々と明らかになりつつあります。ウイルスは我々が知る限り、最も創造的な遺伝因子だといえるのではないのでしょうか」 ■

Garry Hamilton は、ワシントン州シアトルを拠点とするサイエンスライター。

1. Pedulla, M. L. *et al.* *Cell* **118**, 171-182 (2003).
2. Bergh, Ø. *et al.* *Nature* **340**, 467-468 (1989).
3. Breitbart, M. *et al.* *Proc. Biol. Sci.* **271**, 565-574 (2004).
4. Breitbart, M. *et al.* *FEMS Microbiol. Lett.* **236**, 249-256 (2004).
5. Breitbart, M. & Rohwer, F. *Trends Microbiol.* **13**, 278-284 (2005).
6. Hayashi, T. *et al.* *DNA Res.* **8**, 11-22 (2001).
7. Bille, E. *et al.* *J. Exp. Med.* **201**, 1905-1913 (2005).
8. Beres, S. B. *et al.* *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **99**, 10078-10083 (2002).
9. Nakayama, K. *et al.* *Mol. Microbiol.* **38**, 213-231 (2000).
10. Mallet, F. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **101**, 1731-1736 (2004).
11. Filee, J. & Forterre, P. *Trends Microbiol.* **13**, 510-513 (2005).
12. Fuhrman, J. A. *Nature* **399**, 541-548 (1999).
13. De Angelis, P. L., Jing, W., Graves, M. V., Burbank, D. E. & Van Etten, J. L. *Science* **278**, 1800-1803 (1997).
14. Raoult, D. *et al.* *Science* **306**, 1344-1350 (2004).

秘めた能力

人間は地球上で数え切れないウイルスと共存している。そんな発見を契機に、ウイルスの不思議な能力を探索しようという研究が進められてきた。

例えば、ウイルスの世界がその勢力を増やせばどうなるか。一般に細菌を死に追いやるウイルスは、微生物個体群のコントロールだけでなく、炭素循環といった地球全体の地球化学的反応過程にも重要な役割を果たすと考えられる。海藻を餌とするウイルスの場合、放出される大量の硫化ジメチルが雲

の生成に大きく影響することも報告されている¹²。

ウイルスにはほかに、謎めいた能力があるようだ。多くのウイルスは、光合成に必要な遺伝子など、細胞内でのみ有用だと考えられてきた多様な遺伝子群を備え、それを利用して。このような遺伝子群はおそらく、ウイルスが細胞に感染する際に進化的に有利な力を提供しているのではないかとされているが、そのしくみはまだ必ずしも明らかではない。

ネブラスカ大学リンカーン校では、植物ウイルス学者の James Van Etten が、ヒアルロン酸（脊椎動物で関節の潤滑液として利用される分子）をコードする遺伝子をもった藻類感染ウイルスや、昆虫の外骨格の構成タンパク質キチンを作るウイルスを培養している¹³。「ウイルスがこれらの遺伝子を使っているのは明らかですが、そこにどのような利点があるのかは不明です」と Van Etten は語る。

一方、すべてのウイルスはスリムで単純だとする考えを

覆すような研究が最近現れた。その好例が、塩基配列決定が終了したばかりのミミウイルスである。アメーバに感染するこのウイルスのゲノムは120万塩基対で、900個以上の遺伝子をもつ¹⁴。ミミウイルスのDNA量は、知られているなかでは最小の細菌ゲノムと比べて2倍以上である。そして、DNA修復やタンパク質製造に関与する遺伝子など、細胞に特有の特徴であると長く考えられてきた数多くの遺伝子を含んでいることもわかった。



プリオンの謎、謎、謎

西村尚子（サイエンスライター）

Robert Dall / Photographer Showcase / NEWS.COM

いまだに謎の多い感染性タンパク質様病原体、プリオン。BSE 由来の変異型クロイツフェルトヤコブ病をはじめとする、プリオン病解明への糸口と感染阻止の手だてを探る。

BSE（牛海綿状脳症）の危険部位とされる背骨の混入発覚以後、揺れに揺れたアメリカ産牛肉の輸入再停止問題。この6月、日米両政府が輸入を再開することで合意し、一応の決着をみた。問題がなければ早々に輸入が解禁される運びだ。一方で、研究者たちは別の角度からプリオン病の動向を探っている。

発端はイギリスの BSE

プリオン病問題の発端は、1985年のイギリスにさかのぼる。立てない、ふるえが止まらないといった神経症状を示す畜産牛が相次いで発生し、その奇病（狂牛病：現在の BSE）の原因因子が、異常化したプリオン（異常型プリオン）であることがわかったのだ（コラム「BSE とプリオン病」参照）。約 10 年後、同じイギリス国内で、狂牛病と同様の異常を示

す患者が続発した。いずれも、20 歳前後のハンバーガーなどのジャンクフードを好んで食べる若者だった。イギリス政府は BSE との関連を否定しつづけたが、1996 年、感染牛肉を食べたことでヒトにも感染したことを公式に発表した。

「感染性がある」といっても、プリオンはウイルスや細菌のような病原微生物ではない。哺乳類に広くみられる、ありふれたタンパク質の 1 つである。ただし、際だって特異な性質をもつ。その立体構造が異常になると感染性を獲得し、近接する正常プリオンを次々に異常化させてしまうのである。

実は、BSE が問題になるずっと以前から、「クロイツフェルトヤコブ病 (CJD)」というヒトのプリオン病が知られていた。CJD には、遺伝性のもので、自然に発症する孤発性のもので、患者の

硬膜等を移植されたことで感染するものなどがある。いずれも、高齢になってから発症し、痴呆症状や異常な行動がみられる。一方、イギリスで発生した BSE 由来のプリオン病の場合は、発症年齢が約 30 歳と若く、痴呆症状よりも精神異常が強い、感覚の異常があるなどの特徴がみられた。このため、従来の CJD と区別して「変異型クロイツフェルトヤコブ病 (vCJD)」とよばれるようになった。

今後危ないのは牛肉よりも輸血？

「牛肉の安全性の確保も重要だが、輸血や血液製剤、手術、歯の治療といった医療行為によって、プリオン病がヒトからヒトへと感染していくことも問題視すべきだ」。東北大学大学院医学研究科の北本哲之教授はそう指摘する。BSE

は、プリオン病におかされたヒツジの肉骨粉を、餌としてウシに与えたことでまん延したとされるが、肉骨粉の使用はすでに世界のほとんどの地域で禁止されている。日本産の食肉牛については、全頭でBSE感染の有無が調べられているほか、脳や脊髄、眼、回腸などの危険部位は完全に取り除かれるシステムがとられている。アメリカ産牛肉に対しては、日本に輸入できるのはBSE感染の可能性が低いとされる生後20か月以下のウシのみとし、危険部位を取り除いていることを条件としている。つまり、今後、感染の拡大が深刻化するとしたら、ウシからヒトへの感染ではなく、ヒトからヒトへの感染だと考えられるのである。

北本教授は、異常型プリオンが末梢のリンパ組織（ろ胞樹状細胞）内にも蓄積することを突き止め¹、感染しているが症状が出ない潜在感染者（キャリア）の血液を介した感染の拡大を危惧している。日本は「イギリスでの滞在歴が1日でもある人は献血できない」という厳しいルールを設けているが、これもvCJDキャリアからの感染拡大を懸念してのことである。

2006年6月、イギリスのランセット誌に以下のような内容の論文が掲載された。「イギリス国内で、異常型プリオンが蓄積するとされる扁桃や盲腸の組織を摘出した1万2500人の患者を無作為に調べたところ、3人のvCJDキャリアがみつかった。この比率で単純計算すると、イギリスには約3,800人のキャリアがいることになり、輸血などの医療行為を勘案すると約1万4000人のキャリアがいても不思議ではない」。従来のCJDの潜伏期間の長さを考えると、vCJDキャリアが発症するのは、ずっと先のことになる。本当のvCJD問題は、これから起きるかもしれないのだ。

プリオンをめぐる6つの謎

日本の対応は、いささか神経質すぎるのではないかと思うほど徹底されている。

その背景には、プリオンがあまりにも多くの謎を抱えており、研究も思うように進んでいないという状況がある。謎とされる現象は、少なくとも6つあげられる。

第1は「正常型プリオンがどのような機能をもつのかという謎」である。プリオン遺伝子そのものは、ゲノム解読によって同定されている。そのため、各国でプリオン遺伝子を欠損したノックアウトマウスが作られた。遺伝子を破壊した場合に、明らかな異常がみられれば、その異常から遺伝子の機能が推定できるからである。ところがプリオン欠損マウスは、見た目にはまったく正常に育ってしまった。老齢期に達すると、学習や記憶に関与した機能（長期増強機能）や睡眠に障害が現れるとする報告もあるが^{2,3}、「そんなことはない、長期増強機能は正常だ」とする報告もある⁴。銅代謝に関わるとする説などもあるが、こちらも確証は得られていない。

研究者の多くは、「ノックアウトしても異常が現れないのは、何らかの代償機構が働いたためだ」とし、哺乳類に広く保存されている以上、何らかの機能を担っているはずだと考えている。つい最近、神経細胞内でのプリオンの挙動を高解像度でイメージングすること（図1参照）

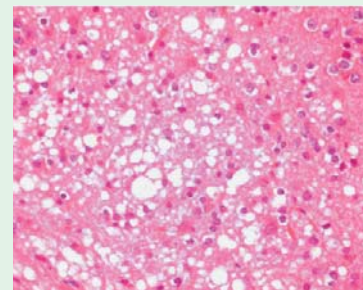
に世界で初めて成功した東京医科大学神経生理学講座の金子清俊教授は、「神経細胞の突起が伸びていくとき、その先端にプリオンが集まることがわかった。詳細な解析が必要だが、プリオンは、何らかの細胞間の情報伝達に関与しているのかもしれない」とコメントする。

第2は、「正常型プリオンが異常型に変化する謎」である。タンパク質の機能の大半は、その立体構造に由来すると考えられているが、正常型プリオンがもつ α ヘリックス構造の多くが、異常型では β シート構造に変化していると考えられている（図2参照）。プリオンの発見者、スタンリー・プルシナー博士は「正常型プリオンの立体構造が、何らかの因子によって解きほぐされて不安定な状態になり、そのときに異常型プリオンが存在すると、正常型に巻き戻るべきところが異常型の立体構造をとるようになってしまう」と説明した。プルシナー博士のもとで研究したこともある金子教授は「正常型プリオンは、解きほぐされたときに、ある特定部位で切り離されるが、うまく分離しない事態が生じると異常型になるのではないかと考えている。解きほぐし因子によって立体構造がほぐされて

BSEとプリオン病

プリオンは「proteinaceous infections agents(感染性タンパク質様病原体)」に由来する造語で、1982年にアメリカのスタンリー・プルシナー博士(1997年、プリオン研究によりノーベル生理学・医学賞を授与された)によって命名されたものである。

プルシナー博士は早い段階で、BSEの原因因子が異常型プリオンにあるとする説(プリオン説)を唱え、汚染肉からヒトに感染した可能性が高いことを指摘していた。プリオンは生体のさまざまな部位で見られるが、脳や神経系の細胞とくに多く存在する。異常型プリオンにおかされやすい脳では、異常型が凝集して繊維状になったものが大量に蓄積し、神経細胞のアポトーシスが引き起こされる。そのような脳には海綿でみられるような穴が多数でき、患者はやがて死に至る。



プリオン病に感染したマウス脳の顕微鏡写真。多数の穴があき、脳がスカスカになるのがプリオン病の特徴である。

いるときに、タンパク質分解酵素が働けば正しく切り離されて本来のプリオンの機能を発揮するが、ほぐされた時点で異常型プリオンが存在すると、分解酵素の活性が妨げられ、切り離されずにαヘリックスがβシートへと構造変化してしまうというのである。

金子教授は遺伝子操作によって、プリオンが分離する前は黄、分離した後は各断片が赤と緑に発色するよう細工することに成功している。今後は、プリオンが神経細胞のどこで切り離されるのか、分離を抑制するにはどのような阻害剤が有効かといった検討を行い、解きほぐし因子や分解酵素の特定を急ぎたいとしている。

凝集・分断・感染性獲得・細胞死の謎

第3は「異常型がなぜ凝集したり分断したりするか」、第4は「異常型がなぜ感染性を獲得するのか」、第5は「異常型がなぜ神経細胞の細胞死（アポトーシス）を引き起こすのか」という謎なのだが、これらについては未解明な部分が多く、わずかながらの糸口が見いだされてきたところである。

そのようななかで、哺乳類のプリオンではなく、酵母のプリオンを使って、凝集や感染性のメカニズム解明に挑む研究者がいる。シャペロン（タンパク質の立体構造を変えるために機能するタンパク質の総称）研究を専門とする、東京大学新領域創成科学研究科メディカルゲノム専攻の田口英樹助教授である。酵母プリオンは、一応「プリオン」とよばれているものの、その起源や遺伝子配列は哺乳類のプリオンとはまったく異なる。「単細胞生物の酵母にも、哺乳類のプリオンと類似の現象をみせるタンパク質があることがわかり、酵母プリオンとよばれるようになった」。田口助教授は、そう話す。

現在までに、酵母中でプリオンのように振る舞うタンパク質は4種以上見つかっており、候補としては10種以上挙げられているという。そのうち、田口助教授が用いるのはSup35とよばれるもの。正常型のSup35は、合成されたタンパク質をリボソームから解離させる因子（翻訳終結因子）として働くが、異常型になると凝集・線維化してその機能を失い、細胞質内に蓄積されると

いう。「線維化したSup35はそれだけでは感染性をもたないようだが、シャペロンの1種であるHsp104というタンパク質が働いた場合には線維が分断され、感染性を獲得することがわかりつつあります⁵」と田口助教授。

哺乳類の異常型プリオンでは、分断に必要な因子は特定されていないが、超音波で分断することで感染性が増し、他の個体に感染させることができるとの報告が、アメリカの研究グループによってなされている⁶。さらに2006年7月には、科学技術振興機構とカルフォルニア大学のチームが、酵母プリオンが作る3種の凝集体を比較し、異常型プリオンの増量には凝集体の分割が深く関与していると発表した⁷。同機構の田中元雅博士は新聞社の取材に対し、「凝集体の分割を制御できれば、ヒトのプリオン病の治療に役立つ可能性がある」とコメントしている。

どうやら感染性は、過度に凝集した異常型プリオンでは弱く、適度に凝集したもののほうが強いようである。田口助教授は「プリオンの現象は、酵母でかなりいろいろなことが明らかになってきており、その成果は哺乳類プリオンの解明にヒントを与えるだろう」としている。

第5の「細胞死の謎」については金子教授が研究を進めているが、なかなかの難問である。現在までに、単に細胞質内に異常型プリオンが蓄積するだけでは神経細胞は死なないことや、細胞死の誘導には正常型プリオンの存在も不可欠であることを明らかにしているが、肝心のアポトーシスに至るメカニズムは未解明である。金子博士は「正常型プリオンを分解処理するプロテオソーム活性が関与している可能性がでてきたので、さらに解析を進めたい」とコメントする。

輸送の謎と抗プリオン病薬の探索

第6は「タンパク質がそのまま細胞内に入ることはまずないのに、なぜプリオン

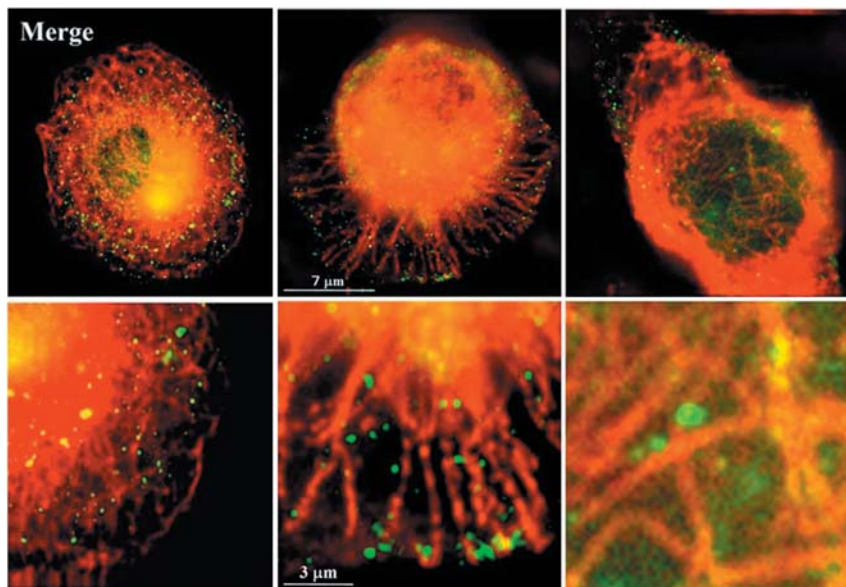


図1 神経細胞内の正常型プリオンの分布を示す電子顕微鏡写真。緑色に染まった部分がプリオン、赤い糸状に見えるのはプリオンを輸送するチュープリンである。プリオンの挙動をとらえることで解析が進む、と期待されている。

東京医科大学金子清俊

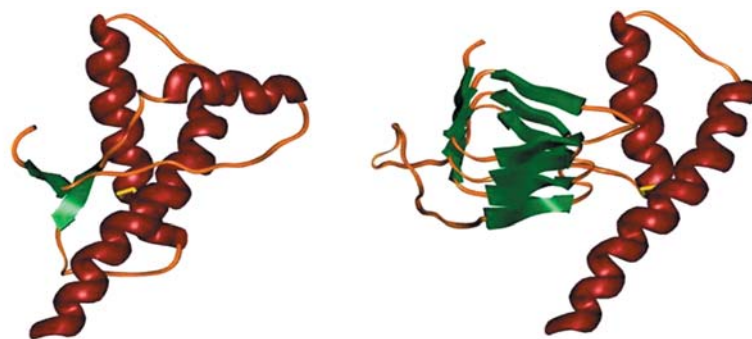
は侵入できるのかという謎」である。これについては、理化学研究所ゲノム科学総合研究センターのタンパク質構造・機能研究グループの松本武久博士らが研究を進めている。日本では、ヒトで重要だと思われる約 10 万種のタンパク質のうち約 3000 種を、核磁気共鳴装置 (NMR) や大型放射光施設 (Spring8) を用いて解析する「タンパク 3000」プロジェクトが進められている (理研は 2500 種を担当) が、プリオンもその 1 つに位置づけられているのである。

松本博士は「他の基礎研究とは異なり、プリオン病の治療薬候補化合物を探すことが最大の任務。具体的な成果はまだないが、2 年後までにはリード化合物候補を見つけ出したい」と話す。プリオンは、神経細胞膜上のある受容体と結合することで、細胞内に取り込まれることがわかっている。もし、プリオンよりも強力にその受容体と結びつく物質が見つければ、プリオンと受容体との結合を阻害する薬として使えるかもしれないのだ。

ワクチン開発と複合療法の可能性

実は、vCJD の感染拡大を完全に防げたとしても、1 年あたり、100 万人に 1 人の割合で孤発型 CJD の患者が発生することがわかっている。日本では、毎年新たに約 150 人の孤発型 CJD 患者が発生する計算になる。

すべてのプリオン病に対して有効な治療法も予防法もないなかで、徳島大学分子酵素学研究室分子細胞学部門の坂口末廣教授は、ワクチンの開発に挑んでいる。「例えば、ヒトやウシなどの異種の正常型プリオンを大腸菌に作らせ、マウスに投与すると、マウス体内でプリオンに対する抗体が効率よく作られることがわかってきた」と坂口教授。この成果をヒントにし、構造がプリオンに似ているが少しだけ異なるという擬態分子を用いれば、ヒトのプリオンワクチン開発につながるかもしれないと考えている。



正常型プリオン

異常型プリオン

図2 正常型プリオンと異常型プリオンの立体構造。正常型プリオンは NMR や X 線による構造解析などにより、かなり正確な立体構造がわかっている。正常型ではアミノ酸がらせんを描く α ヘリックス構造が多くみられるが、異常型ではそのいくつかが β シート構造に変化していると考えられている。ただし、異常型プリオンは水に溶けず、結晶化しないことなどから、NMR や X 線による構造解析が極めてむずかしく、現在の構造は想像の域を出ない。今後は、いかにして異常型プリオンの構造解析を進めるかが課題となる。

さらに坂口教授は、RNAi (RNA 干渉) を利用し、神経細胞内でプリオン遺伝子の発現を抑制する方法についても検討している。理論上、正常型プリオンがなくなれば、異常型が侵入してきても感染のしようがなくなり、神経細胞が細胞死を免れると考えられるからだ。ただし、RNA 断片をいかに効率よく脳内に運ぶか、運べたとしても正常型プリオンを抑制することによる副作用はないのか、といった問題があり、応用までの道は果てしない。

金子教授は、「抗プリオン病薬やワクチンが開発されたとしても、単一の方法で治療するのは極めてむずかしい。解きほぐし因子を薬として使う、RNAi を利用する、ワクチンを投与する、抗体療法を行う、といった考える治療を複数組み合わせる必要が出てくるのではないかと」している。

プリオンは未知の生命現象なのか？

今回、取材を進めるうちに、プリオンには 2 つの顔があることに思い至った。1 つはもちろん、プリオン病の病原因子としての側面である。vCJD の問題に加えて、北米大陸でシカのプリオン病 (CWD) がまん延していることもあり、リスク管

理の徹底と、一刻も早い診断・予防・治療法の確立が必要とされている。異常型プリオンは白血球の B リンパ球中にも存在することがわかってきたため、輸血用の血液から白血球を除去することを検討すべきだとの声もあがっている。

もう 1 つは、プリオンがみせる不思議な動態が、もしかしたら普遍的な生命現象の 1 つであるかもしれないという点である。「酵母のように、ヒトでも第 2、第 3 のプリオンが存在しているのかもしれない」。そう思い始めた研究者が少なからずいる。立体構造を変え、凝集・線維化し、ときに分断して感染性を獲得するということが、生体にどのような影響をもたらすのか。まったく未知の機構が存在するということ、プリオン病が気づかせてくれているとは考えられないだろうか？ 基礎生物学としてのプリオン研究からも目が離せない状態が続きそうだ。 ■

1. Kitamoto, T. *et al*, *J Virol* **65**(11) 6292-5(1991)
2. Collinge, J. *et al*, *Nature* **370**, 295-297(1994)
3. Tobler, I. *et al*, *Nature* **380**, 639-642(1996)
4. Lledo, P-M *et al*, *PNAS* **93**, 2403-7(1996)
5. Kushnir, V. V., Ter-Avanesyan M. D. *Cell* **10**; **94**(1): 13-6(1998).
6. Castilla, J. *et al*, *Cell*, **22**; **121**(2), 195-206(2005)
7. Tanaka, M. *et al*, *Nature* Published online 28 June (2006)

Assault on batteries

前途多難な携帯用燃料電池

Nature Vol.441(1046-1047)/29 June 2006

携帯機器用の新たな電源として小型燃料電池の開発が進んでいるが、まだその実用段階にはない。Kurt Kleiner が報告する。

もう何年もの間、電子機器メーカーは燃料電池を使って携帯用電子機器を駆動するというアイデアをもてあそんできた。メーカーのエンジニアたちは、わずか数立方センチの燃料でノート型パソコンを1日中使用したり、充電しなくても1週間もつような携帯電話の電源といったものを思い描く。

この分野における最新の進展といえば、この5月にサムスン社が発表したMTI Micro社（米国ニューヨーク州オールバニー）への資本参加だろう。サムスン側がMTIに求めているのは、携帯電話用の燃料電池に関する開発協力だ。そのほかのメーカーも考えていることは同じで、東芝、三洋、松下を始めとする各社は、かねてから燃料電池の研究に取り組んでいる。しかし、そのような燃料電池が市場に投入される時期、またそれが本当にインパクトのある製品となるかについてはまだはっきりしていない。

「あまりにも大々的に宣伝されている話のため、誰もが波に乗り遅れまいと考えています。でも、大手の電子機器メーカーが本気で取り組んでいるようには思えないのです」。Darnell Group（米国カリフォルニア州）の上席リサーチアナリストであるJeremiah Bryantはそう話す。

燃料電池の推進派は、小型燃料電池は既存の最高級電池と比べて3～10

倍のパワーをもち、ノート型パソコンを充電せずに終日使ったり、携帯電話で1つの映画を最後まで見たりすることができるようになる」と主張する。しかし、70億ドル（約7700億円）といわれる携帯電池市場で燃料電池が相当な割合を確保できるとの見通しを得るために超えなければならない技術的・経済的ハードルは、まだいくつも残っているのが現状だ。

すでに性能は限界か

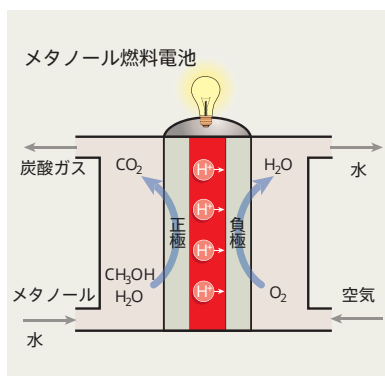
「電池はすごいです。技術的にあなどれません」。こう認めるのは、カナダの燃料電池メーカーAngstrom社（ブリティッシュコロンビア州ノースバンクーバー）の社長Ged McLeanだ。だが、その技術はもはや達成しうる性能限界にまで達してしまった感があるとMcLeanや業界アナリストはいう。毎年、電池の性能は前年比5%

増をкаろうじて達成している。しかし、Frost and Sullivan（米国テキサス州ダラス）の電池産業アナリストSara Bradfordによると、近い将来に性能を大きく引き上げるような技術が登場する見込みはないという。

燃料電池は理論上、電池の「壁」を突き破る可能性を秘めている。従来の電池と同様に、燃料電池も化学反応を利用して電流を作り出す。しかし、従来の電池は反応し尽くしてしまうと、廃棄するか充電する必要があるのに対し、燃料電池の場合には消費した分の燃料を補充するだけですむ。

また、燃料電池にはいくつかの潜在的な長所がある。例えば充電を待つ必要がないこと。充電式電池のように繰り返し使っても時間の経過による性能の低下がないこと。そして最大のメリットは、燃料電池に使用される化学物質のエネルギー密度が従来の電池と比べてかなり高いことだ。このため、一定量の化学物質から得られる電気量は燃料電池のほうが相当に多い。

たとえばSmart Fuel Cell社（ドイツ、ブルントール）によると、リチウムイオン電池では1キログラム当たり150ワット時の電気が得られるのに対し、燃料電池では1キログラム当たり1200ワット時もの電気が得られるという。



ほとんどの燃料電池は水素を消費して水を作り出すが、爆発の可能性がある水素ガスの貯蔵にはさまざまな問題があり、携帯機器での使用が否定される可能性がある。Angstrom社は、表面上で水素と結合する金属結晶である水素吸蔵合金を使うことで、この問題に対応しようとしている。燃料電池の残りが少なくなると、水素吸蔵合金を使って外部から水素を補充するしくみだ。

その他のほとんどの会社はもっと単純に、別の燃料を使おうとしている。メタノールだ。メタノールは安価だし、また室温では液体であることから貯蔵しやすいというメリットがある。消費者は特製のメタノールカートリッジを購入し、必要に応じて燃料電池に差し込むことになる。理論上このカートリッジは、使い捨てライターのように安全、安価で、どこでも広く入手できるようにする。

メタノール燃料電池業界には、昨年終わりにかけて朗報が届いた。国際民間航空機関（ICAO）が、2007年1月より旅客機の乗客がメタノール燃料電池を機内に持ち込むのを認める決定をしたのだ。メタノールはこれまで、危険物として機内持ち込みが禁止されていた。

だが、メタノール燃料電池には潜在的な問題がある。その化学的性質が、水素燃料電池ほど単純明快ではないのだ。ダイレクトメタノール型燃料電池は、化学反応の前半で水を消費し、後半で水を生成する（図参照）。そのため燃料電池の設計においては、水を正極から負極に戻るよう循環させる必要がある。

業界全体の動向

Smart Fuel Cell社は、メタノールですでにある程度の成功を収めている。同社では、RV車向けの標準型12キ

ログラム・メタノール燃料電池を製造している。Jens Müller代表取締役は、現時点における最重要課題は、大型電池並みの信頼性と効率をもつ小型電池を製造することだと話している。

水と燃料を移動させるための内部ポンプや、新鮮な空気を運び入れるためのファンとフィルターが必要となるため、これは決して簡単な課題ではない。こうした部品により、燃料電池は重く、複雑なものになる。だが、それらは解決可能な工学的問題だとMüllerはいう。

「思ったほど複雑な技術ではありません。私たちが使っている部品は燃料電池専用ではなく、ほかの業界でも用いられているもので、長期使用に耐えられるようになっています」とMüllerはいう。

サムスンから当初100万ドル（約1億1000万円）という少額の出資を受けるMTIは、別の方針でこの問題に取り組んでいる。同社は、「パッシブ」なメタノール燃料電池を作り出したいと考えており、おそらくは吸収と拡散による水と燃料の循環を目指すことになる。一部には可動部品が使われることになるだろうが、MTIは全体として動きの少ない部品を使ったほうが、安価で容易に燃料電池を実用化できると考えている。

MTI、Angstrom、Smart Fuel Cellの各社やそのほかの企業はひとまず、使用可能時間の長さに重きをおき、そのためには金に糸目をつけないような工業用および軍用製品市場を開拓しようとしている。Smart Fuel Cell社はこの5月、米国空軍に対し重さ約1キログラムの燃料電池の試作品を50万ドル（約5500万円）で供給する契約を締結したと発表した。この燃料電池では13キログラム相当の電池以上のエネルギーが十分に得られる、とMüllerは話す。



盛り上がる話：燃料電池の開発担当者は、差し込み式の超小型メタノール燃料電池で携帯電話を駆動させることを目指している。

Angstrom社は工業用市場に照準を合わせ、警備員向けに24時間使用可能な水素電池の懐中電灯を供給している。またMTI社は、既存の高周波識別（RFID）タグのリーダーに燃料電池を組み込み、8時間交代のシフトが組まれる倉庫内勤務でフル稼働できるようにした。

燃料電池の小型化・低価格化に伴い、燃料電池技術はやがて電話やノート型パソコンといった大量消費製品にも搭載されるはずである。しかし、一部の論者は懐疑的な見方を示している。Frost and SullivanのBradfordは、壁のコンセントからの充電はほとんどタダだと思っている消費者がはたして燃料電池の補充品を買おうとするか、疑問を感じているという。

またBryantは、燃料電池の開発は今後、工業用、軍用、そしてコンセントの近くで機器の操作ができないような場合などのニッチな用途に進むと予想している。電子機器のエネルギー効率が向上し、既存の電池も徐々にではあるが着実に性能を高めていることから、ほとんどの消費者にとっては既存の電池で十分なのではないか、というのがBryantの見立てだ。 ■

Good riddance to bad rubbish

不要な物を片づけて細胞内をすっきりと

Daniel J. Klionsky

細胞の自食作用であるオートファジーは、ストレスによって引き起こされることがあるが、定常的にも起こっていて、不要なタンパク質を処分する「ハウスキーパー作業」を行っている。この過程が神経変性疾患を防止している可能性はあるのだろうか？

Nature Vol. 441(819)/15 June 2006

アルツハイマー病やパーキンソン病、ハンチントン病といった病名を耳にすると、恐れや無縁ではいられない。悲惨な病態をたどるこれらの疾患は一般に加齢に伴ってみられ、ニューロン（神経細胞）の死によって起こる。この細胞死の原因はわかっていないが、発症の段階で、アルツハイマー病であればアミロイドβ (Aβ)、パーキンソン病であればα-シヌクレイン、ハンチントン病であればハンチンチンといった、特定タンパク質からなる大きな凝集体が出現することが多い¹。これらは正常なタンパク質であって、だれでも持っているものだが、それらの機能については必ずしも明らかになっていない。ここ数年の主流となっている説では、このタンパク質凝集体が直接的に細胞死を引き起こすのだと考えられている。だがひょっとして、これらのタンパク質を除去すべき細胞内ハウスキーパー機能に異常がある可能性も考えられないだろうか。神経変性疾患を起こしやすい変異をもつヒト細胞株や動物の研究から、オートファジーが神経変性の防止に一役買っている可能性はすでに示唆されている¹。Nature 6月15日号で、小松雅明たち²と原太一たち³は、健康な動物体では神経変性疾患を防止するためにオートファジーのハウスキーパー機能が不可欠であることを、初めて遺伝学的に実証している。

疾患発症の年齢とタンパク質凝集体の出現時期との間には線形の相関がみられるため、神経変性疾患の主犯はタンパク質凝集体だと考えられてきた。しかも、原因とされるタンパク質変異型のうち特定のものは、凝集をより起こしやすかったり分解されにくかったりする傾向があり、また、こうした変異があると神経症状が早く出現する。それゆえ、神経変性を扱う多くの研究者が、細胞内におけるこれらの変異タンパク質とそれに伴う大きな凝集体または「封入体」に重点的に取り組んできた。

細胞には、タンパク質が異常な折りたたみ構造になったり、損傷したり、もう必要でなくなったりしたときに、そ

のタンパク質を廃棄処分するための仕組みがいくつか備わっている。そうした主要な分解機構の1つがプロテアソームで、これはユビキチンで標識づけをした（「ユビキチン化した」という）タンパク質を分解するマルチサブユニット酵素、すなわち多数のサブユニットからなる巨大な分子複合体である。しかし、プロテアソームは変性した単量体タンパク質を分解するだけであり、そのため、タンパク質凝集体を処理することはできない。そのうえ、変異したニューロンタンパク質の中には、プロテアソームの適正な基質とならないものもある。

もう1つの主要なタンパク質分解機構が、マクロオートファジー（ここでは単にオートファジーとよぶことにする）である。この過程の大きな特徴は、二重膜で包まれた泡状の「小胞」が作られることだ。この小胞が細胞質の一部を包んで隔離し、それらをリソソームとよばれる細胞小器官へと受け渡して、そこで分解する（図1）。オートファジーは、飢餓状態やさまざまなホルモン刺激によって引き起こされる⁴。オートファジー過程でできる「オートファゴソーム」とよばれる小胞は、異常な折り畳みのニューロンタンパク質が集まった大型凝集体だけでなく、細胞小器官でさえもまるごと飲み込むことができる。そのため、オートファジーを制御できれば一部の疾患を予防したり改善したりできるかもしれない。しかし最近のデータによれば、これらの疾患においては大型のタンパク質凝集体が毒性をもたないことが示唆されている^{5,6}。むしろ、水溶性もしくは小型の凝集体が細胞死を引き起こしているのかもしれない。では、神経変性の防止におけるオートファジーの役割、そして細胞内の大型構造を隔離する能力とはどんなものなのだろうか。

小松たち²と原たち³は、遺伝子操作によって、オートファジー遺伝子であるAtg7およびAtg5を欠損したマウスをそれぞれ作り出した。どちらの研究グループも、問題の遺伝

子の産物が構成的に（定常的にすべての細胞で発生中ずっと）排除されてしまうことで、発生異常が生じるのを回避するため、巧みな遺伝学技術を使って、問題の遺伝子を神経細胞のみ、なおかつ胚発生の後期だけに欠損するようにした。どちらの場合も、オートファジー遺伝子を欠損したマウスはニューロンの細胞死などの神経変性の症状をきたした。

この2つの研究が重要視される理由の1つは、神経変性疾患の遺伝的素因をもたないマウスを調べた点にある。これらのマウスでは、さまざまなニューロンタンパク質をコードする遺伝子に、症状の早期発現と関連づけられる変異がない。これらのマウスは健康であり、こうした場合、異常なタンパク質に対する細胞防御応答としてオートファジーが働くことはありえない。これは、オートファジーのもつ定常的なハウスキープ機能が神経変性の防止に関与していることを意味する。

大型のタンパク質凝集体の除去にオートファジーの果たす役割がこれまで重要視されてきたのは、神経変性になりやすい遺伝的変異をもつ患者や動物モデルの研究に重点が置かれてきたことに、一部起因している。こうした場合にオートファジーが引き起こされる可能性はあるものの、これらの大型凝集体は毒性がないか、もしくは最初から毒性のある形態ではないので、オートファジーの細胞保護作用は限られている可能性がある。変異タンパク質の研究で注目されてきた大型凝集体は、実際には、疾患発症に直結し、治療的介入の最も効果的な標的となる重要な中間体ではなく、神経変性のかなり終末的な状態の1つなのかもしれない。

小松たち²と原たち³が遺伝子操作したマウスでは、オートファジーの消失によって最終的に、神経変性にみられる封入体に似た封入体が形成される。しかし *Atg* 遺伝子の欠損では、最初に神経細胞の細胞質内にユビキチン化したタンパク質が広範に蓄積し、あとになってから大型の封入体がみられた²。このことから、たとえ大型タンパク質凝集体の形成を促す遺伝的変異をもっていなくても、誰もが神経変性疾患にかかる素因を潜在的にもっており、オートファジーは、その他の点で健康な個体であれば重要な細胞保護機構の1つになっているとみられる。

原たち³の言葉を借りると、「正常条件下では、低レベルの定常的なオートファジーが細胞内の清掃浄化に重要であるに違いない」。この意見には議論の余地がないと思われるが、これを裏づけるデータはまだほとんど得られていない。ニューロンは増殖せず、細胞分裂によってタンパク質凝集体などの「ゴミ屑」を廃棄処分することができないので、定常的なオートファジーが特に必要とされるのかもしれない。しかも、脳は栄養分の欠乏に陥ることがまずないため、飢餓応答の一環として脳でオートファジーが引き起こされることは一般的でない⁷。したがって今回の最新の研究は、細胞質ゾルの定常的な浄化機能を果たす定常的なオートファジー

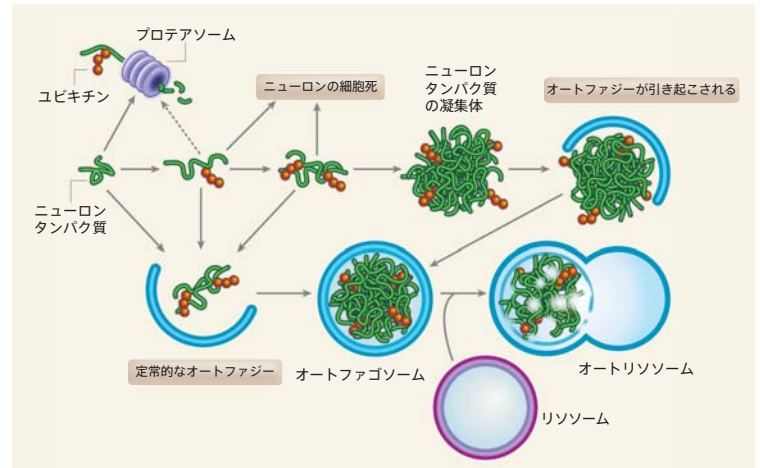


図1 ニューロンの細胞死を防ぐオートファジーの役割。特定の重要なニューロンタンパク質の折り畳みが異常になったとしよう。折り畳みの異常なこれらのタンパク質は、ユビキチン（赤い丸）の標識をつけられて、プロテアソームで分解される。しかし、これらのタンパク質はプロテアソームの基質に適さない可能性もあり、そうなる細胞質内に蓄積して小さい凝集体を作り、細胞死を招く可能性が高くなる。定常的なオートファジーによって、オートファゴソームの中に凝集体を隔離してリソソームに送り込み分解させることで、こうした異常タンパク質の量を、毒性作用を防止するのに十分な程度に少なく維持することができる。折り畳み異常のあるタンパク質は、オートファジー応答を引き起こすような大型タンパク質凝集体や封入体も形成する可能性がある。こうした大型凝集体は、有害な側面よりも細胞保護に役立つ側面のほうが大きいのかもしれない。

が実際に、細胞を健康に維持するために不可欠なことを示唆している。これらの研究論文によって、オートファジーと神経変性の研究の重点は、大型タンパク質凝集体や誘導型オートファジーから離れたところにシフトすることになる。

最後に、小松たち²は今回の実験で作り出したマウスではプロテアーゼが正常に機能していることを示している。ところが、オートファジーがない場合には明らかに、細胞はあらゆる廃棄処理をこなすことができない。ではなぜオートファジーは、神経変性を防止するために普段からもっと高レベルで作動しないのだろうか。残念ながら、オートファジーが高レベルで働きすぎると、自食による細胞死といった他の問題を引き起こす可能性が出てくる。定常的だが限定されたオートファジーを誘導できれば、特に一部の神経変性疾患の素因をもつ人々に有用な効果をもたらせるかもしれない。しかし、その実効性を見極めるには今後さらなる研究が必要である。 ■

Daniel J. Klionsky, ミシガン大学 (米)

1. Rubinsztein, D. C. *et al.* *Autophagy* **1**, 11-22 (2005).
2. Komatsu, M. *et al.* *Nature* **441**, 880-884 (2006).
3. Hara, T. *et al.* *Nature* **441**, 885-889 (2006).
4. Levine, B. & Klionsky, D. J. *Dev. Cell* **6**, 463-477 (2004).
5. Arrasate, M., Mitra, S., Schweitzer, E. S., Segal, M. R. & Finkbeiner, S. *Nature* **431**, 805-810 (2004).
6. Tanaka, M. *et al.* *J. Biol. Chem.* **279**, 4625-4631 (2004).
7. Mizushima, N., Yamamoto, A., Matsui, M., Yoshimori, T. & Ohsumi, Y. *Mol. Biol. Cell* **15**, 1101-1111 (2004).

NEWS

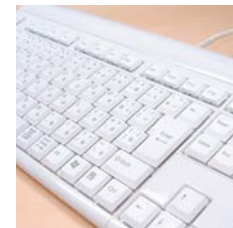
Nature 441, 678 (8 June 2006) | doi: 10.1038/441678a; Published online 7 June 2006

Online methods share insider tricks

<http://www.nature.com/nature/journal/v441/n7094/full/441678a.html>

Helen Pearson

Wiki-style website allows tinkering with lab protocols.



1. Replicating controversial lab results or tricky methods could become easier, thanks to a new breed of websites where scientists share and edit each other's laboratory techniques.
2. Laboratory protocols in biology and chemistry — the step-by-step guide to, say, separating proteins or splicing DNA fragments — are conventionally published in research papers or books of standard protocols. The instructions should allow another researcher to copy and confirm an experiment.
3. But scientists know that these recipes are seldom enough. Journals are cutting their methods sections to save money. And printed protocols lag behind rapidly evolving and increasingly sophisticated techniques, such as the nuclear transfer used in cloning.
4. Perhaps more importantly, it is the subtle variations — the deftness of touch, the type of mixing tube, and a dash of hocus-pocus — that distinguish a successful experiment from a flop. But such details often exist only as scrawled footnotes or collective laboratory wisdom. "The art of the science really is not present in many of these protocols," says geneticist Garry Nolan of Stanford University, California, who has put his protocols online. "They don't tell people what the voodoo is."
5. The websites could help share the voodoo. They are loosely based on the online encyclopaedia Wikipedia, which lets users edit each other's entries. Unlike the protocols already available online, the idea is to create a repository of experiments and the tricks needed to do them, and allow users to add their own.
6. One burgeoning site, OpenWetWare, was set up just over a year ago by students at the Massachusetts Institute of Technology. The Wikipedia-style site, featuring methods and other scientific resources, had around 30,000 users last month. One of the most popular protocols, used to measure the level of protein production in cells, now includes experimental data posted by users to let others know what to expect.
7. "You can't find this information anywhere else," says one of OpenWetWare's founders, Sriram Kosuri, a graduate student in synthetic biology. The site is particularly popular among researchers in synthetic biology, who want to create standard tools for engineering biological systems.
8. Two other competing sites are starting up. One, from the Cold Spring Harbor Laboratory Press, launched last week, and one, from the Nature Publishing Group, publisher of Nature, is due to launch in June. Both will feature commissioned protocols, which users will be able to comment on and add to. Unlike Wikipedia, comments will be screened before they are published and some of the material will be available only to subscribers.
9. Advocates say the sites have several advantages. They help busy lab heads deal with enquiries about their protocols. By removing some of the mystery from methods, they could help researchers iron out flaws, and perhaps verify controversial results. They might also raise the profile of methods, often glossed over as the means to the more exciting results.

10. **On the flip side**, a laboratory worker could **end up drowning** in information. And the sites will be successful only if enough scientists **embrace** them. Researchers in competitive fields might **hold back** methods that they think **give them an edge**. "A lot of molecular biologists are not very comfortable on the Internet **to begin with**," says **systems biologist** Pamela Silver of Harvard Medical School, who uses OpenWetWare.

11. And even the sites' supporters admit that a written protocol still cannot compare to learning **on the job** from a lab veteran. "The very best way," says John Inglis, executive director of the Cold Spring Harbor Laboratory Press, "is to sit beside someone who's doing it."

Science key words

- リード **Wiki-style** : Wiki 形式の
Wiki とは、ウェブブラウザからページの作成・編集が誰にでもできるコンテンツサーバーのこと。Wikipedia は、この Wiki というツールを利用した百科事典。
- リード **lab protocols** : 実験プロトコル
実験の手順および条件などについて明記した、実験のレシピ。
- splicing DNA fragments** : DNA 断片のスプライシング
DNA の断片を切り貼りし、遺伝情報を組み込むこと。遺伝工学などでよく使われる技術。スプライシングとは、直鎖状ポリマーから一部分を取り除き、残りの部分を結合すること。
 - nuclear transfer** : 核移植
ここでは nuclear transplantation と同義で、核を取り除い

た細胞に別の（特に体細胞からの）核を導入すること。核の中に含まれる遺伝情報が細胞のふるまいや運命を決定することから、クローン技術における重要なプロセスとなっている。

- cloning** : クローン化（クローニング）
ここでは、同一の遺伝情報をもつ細胞や個体を作ること。細胞分子生物学では、特定の DNA 配列を増幅することもある。
- synthetic biology** : 合成生物学
生物学とその他の科学技術を結びつけることにより、まったく新しい生物的機能やシステムを生み出そうとする生物学の新分野。
- systems biologist** : システム生物学者
分子・細胞レベルの生命現象をシステムとして解析・記述しようとする、システム生物学の研究者。

Words and phrases

- リード **tinker with** : 「細かく手を加える」「いじくり回す」
- a new breed of ...** : 「新しいタイプの…」「新種の…」
 - lag behind** : 「…に遅れをとる」「…についていけない」
例 : Sometimes the laws lag behind the times. (出典 : 『最新ビジネス・技術実用英語辞典』日外アソシエーツ、1996 年)
 - deftness of touch** : 「手先の器用さ」
 - a dash of ...** : 「少量の～」
 - hocus-pocus** : もともと「呪文」「まじない」のことだが、ここでは科学研究の話だから、「こつ」「秘訣」。
 - flop** : 「大失敗」「失敗作」
 - voodoo** : もともとブドゥー教（魔術的宗教の一種）のことで、そこで使われる「まじない」「呪術」という意味合いが一般化したもの。ここでは hocus-pocus の言いかえて、「こつ」「秘訣」の意味。
 - the idea is to ...** : 「その目的／意図／ねらいは…である」
 - burgeoning** : 「急成長している」「急速に発展している」。名詞 burgeon は「新芽」のこと。
 - due to ...** : 「…する予定になっている」「…することになっている」。このほかにも「～という理由で」という意味の due to も頻りに用いられるが、その違いに注意。
 - commissioned** : 「執筆依頼や委託、委嘱に基づいた」
例 : Most articles are commissioned, but proposals can be made to the Editor in advance of publication of the paper or well before the meeting is held. (出典 : *Nature Physics*, Guide To Authors)
 - iron out** : もともとアイロンをかけて、しわなどをとるこ

と。転じて「(不要なもの)を取り除く」「(問題点を)解決する」という意味になった。

- verify** : 科学に関する文章では、調査・研究・実験などによって、仮説・計算結果・実験結果などが正しいこと（現実起こることを）を「検証する」「確認する」という意味
例 : Experimentally verifying this prediction would be an interesting application of synthetic gene networks. (出典 : *Nature Insight - Computational Biology* 2003 - Engineered gene circuits)
- raise the profile** : 「知名度／認知度／注目度を高める」。profile は「プロフィール」「輪郭」「形状」という意味もあるが、ここでは世間での「注目度」「目立ち具合」。
- glossed over** : 「うわべを飾る」「いい逃れる」「ごまかす」などの意味。ここでは、注目を集める実験結果の陰で「目立たない存在にさせられている」ということ。
- On the flip side** : 「その一方で」「その反面」「別の見方をすると」。flip side とは「(コインなどの)裏面」のことで、ある事柄のもう一つの側面を意味する。
- end up ...ing** : 「最後には…になる」「…という状態になってしまう」
- embrace** : 原意は「抱きしめる」だが、思想・学説・技術が目的語になると、「採用する」などと訳す。
- hold back** : ここでは「秘密にする」。
- give ... an edge** : ここでの edge とは「強み」「優位性」なので、「…に強みや優位性を与える」。
- to begin with** : 「何よりもまず」「第一に」
- on the job** : 「実際の仕事を通じて」「職務中に」

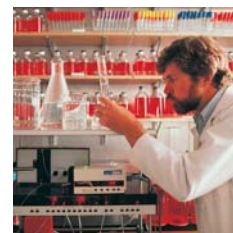
Nature 441, 678 (8 June 2006) | doi: 10.1038/441678a; Published online 7 June 2006

身内のみが知り得る秘訣をオンラインでシェアする方法

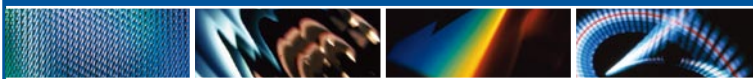
<http://www.nature.com/nature/journal/v441/n7094/full/441678a.html>

ヘレン・ピアソン

ウィキ方式のウェブサイトで、他人の実験プロトコルにあれこれと手を加えられるようになった。



1. 科学者がほかの科学者と実験手法をシェアし、それに手を加えることのできる新種のウェブサイトのおかげで、論争が起こっている実験結果やうまく使いこなすのがむずかしい実験方法の再現が楽になるかもしれない。
2. 生物学や化学の実験プロトコル（例えばタンパク質の分離や DNA 断片のスプライシングなどのやり方を順序立てて記した手順書）は、これまで研究論文や標準プロトコル集といった書物で発表されていた。このような実験プロトコルに従えば、研究者本人でなくても、特定の実験をまねて実験結果を確認できるようになる。
3. しかしほとんどの場合、レシピだけでは不十分なことを科学者は知っている。専門誌は、実験方法の欄を削って経費を節減しようとしている。そして印刷版のプロトコル集では、クローニングで用いられる核移植のように急激に進歩し、ますます高度化する技術についていけない。
4. おそらくそれよりも重要なのが、手先の器用さや試験管のタイプ、ちょっとした秘訣といった微妙な違いが実験の成否を分けてしまうということだ。ところが、そのような細かい点は、殴り書きの補足説明だけに記されているか、その研究室だけの「常識」となっていることが多い。「多くの場合、プロトコルに科学実験の技は書かれていません。他人に秘訣は教えないのです。」こう語るのは、スタンフォード大学（米国カリフォルニア州）で遺伝学を研究する Garry Nolan だ。彼は、自分のプロトコルをオンラインで公開している。
5. このようなウェブサイトは、秘訣をほかの研究者に伝えるうえで役立つかもしれない。このウェブサイトは、ユーザーどうしが互いの投稿内容を編集できるようになっているオンライン版百科事典のウィキペディアにほぼ基づいている。既にオンラインで入手できるプロトコルの場合と異なり、このウェブサイトは、実験とその実験を実施する際に必要な秘訣を集めて保管するデータベースを構築し、各ユーザーが自分自身の秘訣を書き加えていけるようにすることを意図している。
6. このようなウェブサイトの中でも急成長している OpenWetWare は、マサチューセッツ工科大学の学生によって創設されてから 1 年余りしか経っていない。このウィキペディア方式のサイトには、実験方法やその他の科学的情報資源が寄せられており、5 月現在のユーザー数は約 3 万人となった。最も人気の高いプロトコルの 1 つは細胞内でのタンパク質産生量を測定する際に用いられるもので、今ではユーザーが投稿した実験データがついており、このプロトコルを使用した場合に予想される展開がわかるようになっている。
7. 「この情報はここにしかありません」と OpenWetWare の創設者の 1 人で合成生物学を専攻する大学院生 Sriram Kosuri はいう。このサイトは、生物系のエンジニアリング用途の標準ツールを作成しようとする合成生物学の研究者の間で特に人気が高い。
8. これと競合する 2 つのサイトが立ち上げられようとしている。1 つは、コールド・スプリング・ハーバー研究所出版局が 5 月下旬に始動させたサイトで、もう 1 つは *Nature* の出版元ネイチャー・パブリッシング・グループが 6 月に立ち上げる予定のサイトだ。いずれも執筆依頼に基づくプロトコルが公開され、ユーザーはそれにコメントをつけたり、書き加えたりすることができる。ウィキペディアとは異なり、コメントについては掲載前に審査され、一部の資料は購読者のみが利用できる。
9. この方式を支持する人々は、このようなサイトにいくつかのメリットがあるという。すなわち多忙な研究室の責任者が、そのプロトコルに関する問い合わせに対応する際に手間が省けるのだ。また、実験方法に関するいくつかの疑問点を解消することで方法上の欠陥をなくし、場合によっては論争を引き起こしている実験結果を検証できるようになるかもしれない。さらに、関心が集中する実験結果を引き出す手段として、目立たない存在にさせられていることの多い実験方法の注目度を高めるうえでも役立つかもしれない。
10. その反面、実験室の研究者が情報の海で溺れる結果となる恐れもある。そしてこのようなサイトは、十分な数の科学者が利用しなければ成功しない。競争の激しい研究分野では、科学者は自分たちに優位性をもたらすと考えられる実験方法は公表しないかもしれないのだ。「まず第一に数多くの分子生物学者が、インターネットに居心地の悪さを感じているのです」。こう話すのは、OpenWetWare のユーザーで、ハーバード大学医学系大学院でシステム生物学を研究する Pamela Silver だ。
11. さらに、文書化されたプロトコルと実験室のベテラン研究者から仕事を学ぶことに雲泥の差があることは、このようなサイトの支持者ですら認めている。「最もよい方法は、実験を行っている研究員のそばに座っていることなのです」。コールド・スプリング・ハーバー研究所出版局の執行役員 John Inglis は、このように語った。



Call for papers

2007年1月創刊 Nature Photonicsでは 投稿論文を募集しています

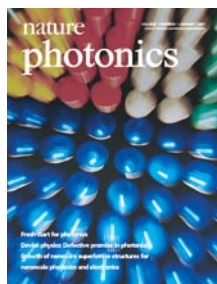
Nature Photonicsは、フォトニクスすべての研究分野を対象として、最高品質の査読研究論文を掲載していきます。

Nature Photonicsは、他のNPG系論文誌とは異なり、基礎研究から新たな応用例や技術の商品化までフォトニクスの全ての領域を対象としていきます。本誌では、選りすぐった一次研究論文のみを掲載し、詳細なニュース記事や分析記事がこれらの論文を補完します。これにより、学術研究機関と企業のいずれの研究者にとっても貴重な情報源となるユニークなジャーナルとなることでしょう。

下記のようなトピックスをお届けします

- レーザー、発光ダイオード、その他の光源
- 画像形成、検出体、センサー
- オプトエレクトロニックデバイスとコンポーネント
- 新規材料と工学的に作製された構造体
- 光の伝搬、相互作用、挙動の物理的性質
- 量子光学と暗号化技術
- 超高速フォトニクス
- バイオフィotonics
- 光データ記憶
- 分光学
- 光ファイバーと光通信
- 太陽エネルギーと光起電
- ディスプレイ
- テラヘルツ技術

Volume 1, Issue 1 January 2007



Nature Photonics
創刊を記念いたしまして **30% OFF**にて
定期購読をお申込みいただけます!

2007年
1月31日
まで

例えば、1年購読(個人)の場合 28,350円 → **19,840円**

購読特典:

- ジャーナルを毎月お手元にお届け
- オンラインアクセス
- Nature Digest (日本語編集版月刊科学誌)

Nature Photonics 創刊記念価格購読お申込み、
投稿論文についてはこちらから

www.naturejpn.com/photo-f

nature asia-pacific

Call for papers nature nanotechnology



New in
October 2006

2006年10月創刊の Nature Nanotechnologyでは、 投稿論文を募集しています

Nature Nanotechnologyでは、ナノサイエンスとナノテクノロジーのすべての領域における最高品質の研究論文を掲載。本誌では、原子、分子、高分子スケールでの材料や現象の操作や制御に関与する構造体、デバイス、システムの設計、特性解明、作製に関する研究を対象とします。

本誌で取り扱われる研究分野には、物理学、化学、生物学の基礎研究(計算論的研究やシミュレーションを含む)から幅広い工業分野(例えば情報技術、触媒作用、医用)での応用を期待される新たな材料、デバイスや技術までが含まれます。

本誌の対象範囲:

- ナノ材料、ナノ粒子
- ナノチューブ、ナノワイヤー、量子ドットやその他のナノ構造体
- ナノエレクトロニクス、分子エレクトロニクス
- ナノ磁気工学、スピントロニクス
- ナノフォトニック構造体・デバイス
- 分子の自己集合と自己組織化
- 分子装置、ナノ電気機械システム (NEMS)
- 表面の改質、パターン形成、画像形成
- ナノチップ、ナノセンサー、ナノ流体
- ナノバイオテクノロジー、ナノ医学
- 計算ナノテクノロジー
- ナノ測定学、器具

論文発表形式:

- Article
- Correspondence
- Book Reviews
- Letter
- News and Views
- Progress
- Commentary

Nature Nanotechnology、論文投稿に関する情報

www.naturejpn.com/nano-f

nature asia-pacific

日本語で読む nature

Nature Digest は、Nature に掲載された社説、ニュース、最新研究の論説を日本語で編集した月刊誌です。さらに、世界的にインパクトを与えた発表の特集記事や日本人科学者へのインタビュー、科学英語に親しむためのコーナーなど日本オリジナルの企画編集記事も充実しており、「仕事や勉強に役立つ。」と多くの方から支持を受けています。

Nature Digest Online誕生! ※ 2006年7月号、8月号 **コンテンツ無料公開中!**

Nature Digest のコンテンツが、nature.com に新しく加わりました。すべてのコンテンツが PDF でダウンロードできます。



■ Nature Digest対象分野

数学、物理、天体・宇宙・天文学、化学、地球科学、環境、医学、生命科学、バイオテクノロジー、コンピューター、工学 など。

■ Nature Digest目次

- Highlight ————— [論文ハイライト抜粋]
- Editorial ————— [社説]
- news@nature.com — [Natureオンラインニュース]
- News ————— [科学ニュース]
- Special Report ——— [特集]
- News Feature ——— [科学ニュース読み物]
- Japan News Feature — [日本の科学ニュース]*
- News and Views ——— [科学論説]
- Business News ——— [ビジネスニュース]
- Japanese Author ——— [日本人科学者へのインタビュー]*
- 英語でNature ——— [科学英語トレーニング]*
- Nature Gallery ——— [自然の写真]*

*は日本オリジナルの企画編集記事です。

2006年7月 ※ Nature Digest Online 誕生!

■ Nature Digest (プリント版+オンライン) 購読価格

口座引落 670円【月々】
郵便振込/クレジットカード 7,980円【1年】

■ Nature Digest Online購読価格

クレジットカード 550円【月々】、6,000円【1年】、10,800円【2年】

ご購入はこちらから

www.naturejpn.com/digest-f2

2006年7月 nature.comサイトに nature DIGEST Online 誕生!

Nature Digestがオンラインでもお楽しみいただけるようになりました。

Nature Digestは、
Natureに掲載された社説、
ニュース、最新研究の論説を
日本語で編集した月刊誌です。
さらに、世界的にインパクトを
与えた発表の特集記事や
日本人科学者へのインタビュー、
科学英語に親しむための
コーナーなど日本オリジナルの
企画編集記事も充実しており、
「仕事や勉強に役立つ」と
多くの方から支持を受けています。



Nature Digest Onlineの特長

- すべてのコンテンツがPDFでダウンロードできます
- 購読期間中は、アーカイブにもアクセス可能
- お求めやすい価格
年間購読 1年間 6,000円、2年間 10,800円
月払い 550円でお求めいただけます
- 気になる記事や号のみの購入も可能

Nature Digest (プリント+オンライン) 購読価格

口座引落	670円 (月々)
郵便振込/ クレジットカード	7,980円 (1年)

Nature Digest Online 購読価格

クレジットカード	550円 (月々)
クレジットカード	6,000円 (1年) 10,800円 (2年)

※月払いでは、毎月自動的にクレジットカードにチャージされます。
※年払いの中途解約は出来ません。

Nature Digestプリント版ご購読には、
Nature Digest Onlineのアクセス権も含まれます。

Nature Digest、Nature Digest Online購読お申込みはこちらから

www.naturejpn.com/digest-ad

 nature asia-pacific