



## 変動するヒマラヤの氷河を追う

ヒトと大きく違うチンパンジーの Y 染色体ゲノム

アストロサイトも記憶に関与する

2020 年 科学の旅 (前編)

nature  
photonics

New for 2010

TECHNOLOGY FOCUS digital edition

### 購読無料！

11問のアンケートにお答えいただくだけで手続きが完了します。  
購読料金は一切いただいておりません。

### Nature Photonics 本誌に掲載された記事が読める！

掲載記事はいずれも Nature Photonics 本誌から厳選されたものです。  
Nature Photonics 購読の検討をされている方にも役立つ誌面構成です。

### 更に内容充実！

タイトルと概要を日本語で掲載しています。(本文は英語です)  
日本、アジア、欧米諸国のフォトニクス関連の最新情報がキャッチできます。

Solar Cells

Photovoltaics

Spectroscopy

Organic Photonics

Ultrafast Photonics

Imaging

Biophotonics

Lithography

Optical-fibre sensors

[www.naturejpn.com/tf](http://www.naturejpn.com/tf)

 nature asia-pacific

※ご登録内容により、正式登録いただけない場合がございますので予めご了承ください。

## 変動するヒマラヤの氷河を追う

COVER IMAGE: CRYOSPHERE RES. LAB., GRADUATE SCHOOL ENVIRON. STUD., NAGOYA UNIV.

### HIGHLIGHTS

02 vol. 463 no.7279, 7280, 7281, 7282

### EDITORIAL

- 06 米国エネルギー省長官  
スティーブン・チュー博士
- 07 科学へのさまざまな貢献に対して  
正当な評価を!

### NATURE NEWS

- 08 正常型プリオンは神経を保護する
- 09 ゴキブリロボットはカオスから秩序を作り出す

### NEWS

- 10 大きく違った、ヒトとチンパンジーのY染色体  
Lizzie Buchen

### GALLERY

- 11 とっておき年間画像特集  
Katharine Sanderson

### OPINION

- 16 2020年 科学の旅 (前編)

### NEWS

- 21 戦争は予測可能か  
Natasha Gilbert

### JAPANESE AUTHOR

- 22 変動するヒマラヤの氷河・氷河湖を追う  
— 藤田 耕史  
松尾 義之

### NEWS FEATURE

- 24 電力エネルギーの貯蔵問題  
David Lindley

### NEWS

- 28 汚い環境で育った子ブタは病気に強い  
Natasha Gilbert

### NEWS & VIEWS

- 29 地球より少し大きな「水の惑星」の発見  
Geoffrey Marcy

- 31 記憶形成を補助するアストロサイト  
Mirko Santello & Andrea Volterra

- 33 二日酔いをめぐる俗信の検証  
Andrew Mitchinson

### 英語で NATURE

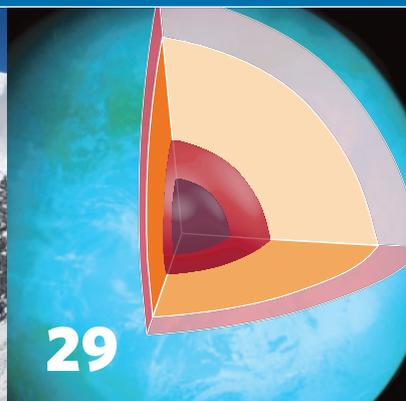
- 34 Virus spreads by bouncing off infected cells  
感染細胞に跳ね返されることで  
広がっていくウイルス

### 発売日変更のお知らせ

次号より Nature Digest の発売日は毎月 25 日となります。  
それに伴い、4 月、5 月号は合併号として 4 月 25 日に発売いたします。

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

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





Vol. 463 No. 7279  
21 January 2010

## ジャイアントパンダのゲノム解読：次世代シーケンシング技術で明らかになった雌パンダ「ジンジン」のDNA配列

**GIANT PANDA GENOME: 'Next generation' technologies crack Jingjing's DNA sequence**

北京五輪のマスコットとなった雌のパンダ「<sup>ジンジン</sup>晶晶」のゲノム配列が、このような複雑なゲノムとしては初めて、ショートリード・シーケンシング技術により決定された。ゲノムは約 24 億個の DNA 塩基対からなり（ヒトゲノムは 30 億塩基対）、タンパク質をコードする遺伝子はヒトとほぼ等しい約 2 万 1000 個が含まれている。この塩基配列は高いゲノム多様性を表しており、個体数は約 2500 頭と少ないものの、保全の努力によりこの種の絶滅は回避できると期待される。おもしろいのは、パンダでは肉食動物の消化器系に必要な遺伝子がすべてそろっているように見えるのに、消化に用いるセルラーゼの遺伝子を欠いていることである。パンダがほとんどササだけを食べることはよく知られているが、その消化は腸内微生物叢に依存していると考えられる。こうした偏食は、味覚が要因となっているのかもしれない。TIR1 遺伝子の機能喪失は、パンダが高タンパク質食の「うま味」を味わったことがない可能性を示している。技術的にみると、この研究は、大規模な真核生物ゲノムを対象とする、高速の *de novo* 組み立てに次世代シーケンシング技術を使いやすくなるものとなりそうだ。

Article p.311, N&V p.303 参照

## 心理：思い込みで促される行動

### Perception-fuelled behaviour

ホルモンは動物間の社会的相互作用を変化させることが知られており、テストステロンは攻撃行動を誘発するとこれまで考えられてきた。こうした分類はヒトにも当てはめられていて、「テストステロンが刺激した」行動という考え方はなじみ深いものになっている。しかし、テストステロンが本当に反社会的行動を促進するかどうかはわかっていない。交渉ゲームで、テストステロンを 1 回投与すると公正な行動が増え、対立が減り、社会的相互作用が強まることを見いだされた。しかし、被験者にテストステロンを投与されたことと信じさせると、実際に投与されたかどうかにかかわらず、プラセボ（偽薬）を投与されたことと信じさせた被験者（同じく、実際に投与されている場合もない場合もある）に比べて、不公正な行動が多くなることわかった。つまり、テストステロンが増えているという反社会的なマイナスの暗示は、実際の生物学的結果が逆の場合でも、悪い社会的行動を引き起こすのに十分な強さをもつものであるらしい。

Letter p.356 参照

## 細胞：腫瘍発生のマスター因子

### Mastering tumorigenicity

侵襲性の高いヒト神経膠芽腫の中には、間葉系の表現型の特徴である遺伝子群を発現するものがあり、この特性は予後の不良と

関連することがわかっている。今回バイオインフォマティクス的手法を用いて、転写因子 STAT3 および C/EBPβ が、この間葉系表現型のマスター調節因子であることが同定された。これらの調節因子は協同して腫瘍の発生や浸潤を促進する。またこの 2 つの因子を排除すると、間葉系遺伝子の発現が抑制されて、腫瘍の侵襲性は低下する。悪性度を高めるマスター調節因子をシステム生物学的に同定するこの手法は、臨床結果の予測に役立つと考えられ、新規な治療戦略につながる可能性がある。

Article p.318 参照

## 合成生物学：合成系による同調

### Synthetic biology clocks on

合成生物学での遺伝子回路を使う取り組みでは、コンピューターモデリングにより生細胞中で機能する小型遺伝子ネットワークを設計する。こうした手法の最初の成功例は、人工振動子とトグルスイッチである。それからまだ 10 年も経っていないが、J Hasty たちは今回、天然の「クオラムセンシング」遺伝子系を操作することで、同調した大腸菌細胞からなる集団を作り出した。彼らは、マイクロ流体工学の手法と経時的蛍光顕微鏡法を使って、同調的振動や波動の伝播を制御する因子に関する一般則を導き出している。この研究は、もっと複雑な自然界の振動の研究に役立つと考えられる。今回のモデル系では遺伝子時計によって同調した発光が

得られたが、似たような遺伝子スイッチを用いれば、例えばインスリン分泌や概日リズムに関係する事象を発動させることも可能かもしれない。

Article p.326, N&V p.301 参照

## 材料：微小スケールでの結晶変形

### Crystal deformation to scale

結晶が変形するとき働く主な機構は、通常の転位塑性と変形双晶形成の 2 つである。転位塑性は結晶のサイズに依存することが知られており、そのため、ナノスケールで試料強度に影響を与える。一方、変形双晶形成のサイズ依存性は、これまで調べられていない。J Li たちは、マイクロ圧縮およびナノインデンテーション（押し込み）実験により、マイクロメートルサイズより小さい結晶では、変形双晶形成が完全に抑制されて通常の転位塑性に移行し、これが唯一の変形モードとなることを示している。この原因は、変形双晶形成が小さな結晶サイズでは機能しない集団現象であるからかもしれない。この発見は、マイクロスケールで材料の機械的特性を操作する新しい方法への道を開くと考えられる。

Letter p.335 参照

## 材料：ヒドロゲルの手堅い進歩

### Solid progress for hydrogels

ヒドロゲルは、ほとんど水からなる成型可能な高分子材料であり、例えば細胞組織培養や骨の再生代替材料に用いられる。非共有結合性の相互作用で結合したヒドロゲルは、機械的特性が劣っていることが多い。ところが、いくぶん強い共有結合性ヒドロゲルは、切れても自己修復できず、もろくなりがちである。一部の用途で従来の石油系プラスチックに代わる環境にやさしい代替物として、今までにない新しい特性をもつ水性ヒドロゲルを開発するというアイデアが実現にちょっと近づいたようだ。今回、少量の非水リガンド（3 パーセントの粘土と微量の有機結合剤）が存在するためにしっかりした固体となる、超分子（非共有結合性）ヒドロゲルが開発されたのである。この新しいゲルは、自己修復可能で、非常に弾力性があり、成型して自立形状体を作製できる。さらに、それらを融合させて、もっと複雑な構造を形成することも可能である。

Letter p.339 参照





Vol. 463 No. 7280  
28 January 2010

### 柔らかく足を運ぶ：靴が発明される以前の快適な走り方

**TREAD SOFTLY: How we ran in comfort before the invention of shoes**

緩衝材の入った現代的なランニングシューズが登場した 1970 年代以前、つまり人類進化の歴史の大部分で、人間は裸足か、あるいはごく薄い靴を履くだけで走っていた。D Lieberman たちは今回、靴を常用しているランナーといつも裸足のランナーの生体力学的な比較を行い、裸足で走ることは、衝撃に関連した反復的ストレス傷害の一部から、ランナーの足部や下肢を保護している可能性を示している。運動学および動力学的分析により、現代的な靴によってランナーは、歩く際と同じように「踵から着地」するようになることがわかった。靴を履かないランナーは、母指球または足裏全体で着地することが多い。このことは、裸足のランナーは接地時に足首を動かしており、それによって着地の衝撃が、靴を履いていて後足部で接地する場合よりも小さくなることを意味している。試しにジャンプして、踵から着地したときと、つま先から着地したときの衝撃を比較してみたい。 [Letter p.531, N&V p.433 参照](#)

タミナ K サイクルで重要なビタミン K ヒドロキノンの生成過程を触媒する。VKOR の細菌ホモログの X 線結晶構造が、今回決定された。この構造では、VKOR は、その酸化還元パートナーのチオレドキシン様ドメインと複合体を作っており、電子伝達の休止状態に対応している。これは、VKOR が新たに合成されたタンパク質からの電子を使ってキノンを還元する際の機構と考えられることを示している。この研究は、広く使われる抗凝固剤で VKOR 阻害作用をもつワルファリンに対する耐性が、VKOR の変異によって生じる仕組みを説明するのに役立ちそうだ。

[Article p.507 参照](#)

### 進化：Y 染色体を比べてみれば

**The Y factor**

チンパンジーの Y 染色体にある雄特有の領域の塩基配列が解読され、それとヒト Y 染色体とを比較して、ヒト Y 染色体の最近の進化について詳しい解明を進めることが可能になった。これら 2 つの染色体では、構造や遺伝子含量に著しい違いがあり、過去 600 万年の間に急激な進化があったことを示している。この発見は、Y 染色体は遺伝子喪失によって極めてゆっくりと進化するだけで、構造は本質的に変化しないと一般的な見方とは食い違っている。ヒトとチンパンジーの Y 染色体の進化では、むしろ改変や再構成が主流だったらしい。このような並外れた分岐の説明としては、遺伝子のヒッチハイキング効果、種特異的な配偶行動、精子生産における Y 染色体の役割などが考えられる。

[Letter p.536 参照](#)

### 化学：鎖を断ち切る

**Breaking the chain**

石油由来の原料を有用な化学物質に変換するには、炭素-水素 (C-H) 結合や炭素-炭素 (C-C) 結合の開裂制御が必要ことが多い。金属中心への C-H 結合の酸化的付加によってこのような開裂を実現した例は数多くある。しかし、C-C 結合について同様の変換が行われた例はほとんどない。A Sattler と G Parkin は、タングステン中心を用い、珍しい配位子の形成を利用して、強い C-C 結合を開裂できることを示している。今回の研究成果によって、適切な配位子をもつその他の多くの金属中心も、同様な目的のために開発できる見込みが出てきた。これにより、原料を価値の高い化学物質に変換する新しい方法が得られそうだ。

[Letter p.523, N&V p.435 参照](#)

### 免疫：ナチュラルヘルパー細胞

**Natural-born helpers**

ナチュラルキラー (NK) 細胞は、種々のサイトカインを産生することでウイルスや細菌の感染に対抗する自然免疫系の細胞である。茂呂和世 (慶應義塾大学) たちは、腸間膜のリンパ小節に、T<sub>H</sub>2 サイトカインを産生し、B1 細胞に対してヘルパー細胞として作用する、今まで知られていなかった自然免疫系リンパ球の一群が存在することを報告している。このナチュラルヘルパー細胞は、杯細胞による粘液産生の活性化を介して、蠕虫に対する防御に役立っている可能性がある。

[Letter p.540, N&V p.434 参照](#)

ンジンがあると結論している。Paragi たちは、Ic 型超新星の大部分かあるいは全部が、やや相対論的なジェットを生成するが、それらは全エネルギーのほんの一部に過ぎず、検出は非常に難しいと結論付けている。

[Letters pp.513, 516 参照](#)

### 細胞：老いた体へ新しい血を

**New blood for old**

老化に伴う造血幹・前駆細胞の機能低下は、微小環境つまり幹細胞ニッチからのシグナルに影響を受けることを示唆する間接的な証拠があるが、この仮説を裏付ける実験的な証拠はこれまでなかった。今回マウスでの研究から、幹細胞を支持するニッチ細胞の老化に伴う変化が、造血幹細胞の機能不全を実際に引き起こすことが確認された。ニッチ細胞の老化依存的な異常は全身的に調節されており、またこれは、若齢マウス循環系への曝露、あるいは、進化の過程で保存されてきた長寿調節因子であるインスリン様増殖因子 1 (IGF-1) の骨髄微小環境での中和によって回復する。したがって、老齢個体で血液によって運ばれる因子が、局所のニッチ細胞を介して、幹細胞機能の老化依存的障害を引き起こすように機能する。このことから、循環環境を標的としてニッチ細胞や幹細胞の機能を維持することで、老いた血液系の機能を若返らせることも可能かもしれない。

[Article p.495 参照](#)

### 生化学：ワルファリンの標的の構造

**Structure of a warfarin target**

哺乳類のビタミン K エポキド還元酵素 (VKOR) は、血液凝固の維持に必要なビ

### 宇宙：一風変わった超新星

**Supernovae with a difference**

2 つの研究グループが独立に、外見上は普通の Ibc 型と Ic 型の超新星から放出されている、やや相対論的なアウトフローを観測したことを報告している。Soderberg たちは、Ibc 型超新星 SN 2009bb からの明るい電波放射を検出した。これは膨張速度が光速の 0.85 倍で、最低エネルギーは、近傍のガンマ線バーストの電波残光に匹敵することを示している。Paragi たちは、Ic 型超新星である SN 2007gr からの放出物のごく一部が、やや相対論的な膨張 (光速の 0.6 倍かそれ以上) をしていることを観測した。これらの発見は、超新星爆発放出物質のごく一部を相対論的な速度で放出させ、大質量星の爆発に特有なガンマ線バーストを生成させるのは何なのかという長年の疑問に関連するものだ。Soderberg たちは、Ibc 型超新星のうちほぼ 1 パーセントだけに中心エ



Vol. 463 No. 7281  
4 February 2010

### 水をとらえるクモの網：クモの捕獲糸は周期的構造変化により水を集める

**CAUGHT IN THE WEB: The structural flip that allows spiders' silk to collect water**

霧のかかった朝にクモの巣がキラキラ光るのは、クモの糸が湿った空気から著しく高い効率で水滴を集められることを示している。タイリクウズグモ (*Uloborus walckenaerius*) の捕獲糸の研究によって、この能力は糸が湿ると起こる構造変化に依存することが明らかになった。この「湿ると再構成される糸」は、ランダムな方向を向いているナノ繊維からなるいくつもの紡錘状のこぶが、整列したナノ繊維からなる接合部で隔てられているという特徴をもつ。この構造が、紡錘状のこぶと接合部の間に表面エネルギー勾配を生じさせ、紡錘状のこぶまたは結合部に接触している水滴にかかる圧力に違いをもたらす。これによって、水は接合部の周りで連続的に凝結した後、紡錘状のこぶに送られ、そこで蓄えられて大きな水滴となる。ぬれたクモ糸の構造を模倣した人工糸も、薄い霧から水滴を集めることができる。この研究から、霧から真水を集めたり、工業工程で液体エアロゾルをろ過したりできる機能性表面の設計に関する知識が得られそうだ。 [Letter p.640, N&V p.618 参照](#)

### 細胞：細胞の運命を決めるバランス関係

#### Cell fate in the balance

胚性幹細胞 (ESC) の分化には、自己複製の抑制と特異的な分化経路の活性化の両方が必要である。細胞運命の重要な調整役として最近浮上してきたのが、マイクロRNA (miRNA) とよばれる小型の非コードRNAである。今回、let-7 とよばれる大型の miRNA ファミリーが、ESC での自己複製プログラムの抑制に関与していることが明らかになった。この自己複製の抑制は、ESC の細胞周期を調節する ESC 調節 (ESCC) miRNA によって逆転できることから、let-7 miRNA と ESCC miRNA の相互作用が、細胞の運命を決定付ける機構として働いていると考えられる。 [Article p.621, N&V p.616 参照](#)

### 古生態：マダガスカルへの海の旅

#### Madagascar ahoy

マダガスカルはアフリカの哺乳類とは遠い類縁関係にあるが、数千万年にわたって隔離され、明らかな進化を遂げている。しかし、彼らの祖先はどのようにしてこの島にたどり着いたのだろうか。古生物学者ジョージ・ゲイロード・シンプソンは 1940 年に、動物がアフリカから漂流物に乗って海を渡るといふ、運任せの賭けをしたとどりに着いたのだとする「一か八か仮説」を提唱した。この仮説は、マダガスカル固有動物相がもつさまざまな奇妙さを、海流の問題を除いてうまく説明できる。しかし、現在の海流はこれに当てはまらず、アフリカに向かう方

向に流れているのだ。これに対して、陸地が直接つながっていたところを移動したとする「陸橋」仮説もあるが、マダガスカルは哺乳類が独自の進化のコースを歩み始めたころには、ここは既に島になって孤立していたため、この仮説も除外される。J Ali と M Huber は今回、この問題への 1 つの答えを出した。5000 万年以上前の始新世の海流を再構築し、海流はその時期には西から東へ流れており、動物が漂流物に乗って海を渡りマダガスカルへ移住することが可能だったことを明らかにしたのである。

[Letter p.653, N&V p.613 参照](#)

### 遺伝：肥満に導く遺伝子

#### Genetic link to obesity

肥満は非常に遺伝性の高い疾患だが、これまで報告されてきた遺伝的相関からは、ボディマス指数の遺伝的変動のごく一部分しか説明できない。今回 2 つの研究グループが、染色体 16p11.2 上の欠失は、まれではあるが存在すれば重度の肥満を伴うことが極めて多い、遺伝的浸透度の高い変異であり、この欠失によって、「明らかにされていない遺伝性」を部分的に説明できる可能性がある」と報告している。これは、臨床症状との関連性が低い、ありふれた遺伝子欠失とは対照的である。Bochukova たちは、早期発症の重度肥満患者 300 人について調べ、レプチンおよびインスリンシグナル伝達への関与が知られている、*SH2B1* を含む遺伝子の欠失によって生じたコピー数多型が存在するこ

とを見いだした。これらの患者の多くは、神経発達障害も併発していた。また Walters たちは、これまで知られていなかったタイプの重度肥満患者 31 人で、少なくとも 593 キロベースの欠失が存在するを見いだした。変異の同定に彼らが用いた戦略は、極端な表現型をもつ小規模コホートでの詳しい表現型解析と、全ゲノム関連研究並びに集団コホートでの標的を定めた追跡調査を組み合わせた方法である。これは、複雑な代謝疾患の「明らかにされていない遺伝性」をもっと広く探し出す方法として期待される。

[Letters pp.666, 671 参照](#)

### 細胞：抗マラリア薬の標的となるプロテアーゼ Protease antimalarial target

マラリア原虫 (*Plasmodium*) の生活環の重要な段階は宿主赤血球内での発育期であり、これを経ることで、蚊を介して宿主に感染できるようになる。この期間に、マラリア原虫の細胞からは数百種のタンパク質が宿主血球に送り出され、それによって、細胞内環境が原虫の増殖に適するように再構築される。送り出されるタンパク質は PEXEL とよばれる進化的に保存されたモチーフを含んでおり、これが小胞体で切断されると、タンパク質が宿主細胞に移行できるようになる。今回、別々に行われた 2 つの研究によって、PEXEL モチーフを切断する酵素がアスパルチルプロテアーゼのプラスメプシン V であることが明らかになった。この知見は直接、プラスメプシン V が抗マラリア薬の標的となる可能性を示唆している。 [Articles pp.627, 632 参照](#)

### 宇宙：太陽系外惑星の大気

#### Exoplanet atmospheres

宇宙空間に打ち上げられた赤外線望遠鏡により、「ホットジュピター」型の太陽系外惑星の大気中に、 $H_2O$ 、 $CH_4$ 、 $CO_2$ 、 $CO$  といったさまざまな分子が見つかった。今回 Swain たちは、ホットジュピター HD 189733b の昼側の、宇宙望遠鏡では得られない波長域の放射スペクトルを、地上から観測した結果を報告している。この観測により、波長約 3.25 マイクロメートルの明るい輝線が見つかったが、これは予想外であり、局所的な熱力学平衡条件を仮定する現在のモデルでは説明が難しい。メタンからの蛍光放射は、太陽系惑星の大気でみられるものと似ており、これが説明になりそうだ。今回の成果は、太陽系外惑星の大気化学的性質が予想以上に複雑なことを示唆しており、地上の望遠鏡を使った太陽系外惑星分光学という新分野が開かれそうだ。

[Letter p.637, N&V p.617 参照](#)



Vol. 463 No. 7282  
11 February 2010

### 古代人のゲノム：4000年前の髪の毛から過去を再構築する THE ANCIENT HUMAN GENOME: Reconstructing the past from a 4,000-year-old lock of hair

古代人の組織由来のほぼ完全な核ゲノムの塩基配列が、初めて解読された。この組織は、永久凍土層で保存された約4000年前の毛髪で、グリーンランドに定着したことが知られている最古の文化であるサカク文化に属した古エスキモー男性のものである。機能的一塩基多型（SNP）分析により、この男性についてありうる表現型の特徴が割り当てられた。この分析結果は、現代のアメリカ先住民およびイヌイットを生み出すことになった移住とは別に起こった、約5500年前のシベリアから新世界への移住の証拠となる。表紙は、塩基配列が解読された男性の想像図で、SNP分析および最も近縁の現代人集団の姿に基づいて描かれたもの。また今週号には、この論文の著者 E Willerslev 氏を紹介した記事も掲載されている。

Article p.757, N&V p.739, News Feature p.724 参照

る。そのような化石は、解釈が難しい。今回、体が軟らかい初期の脊索動物に最も近縁な現生のナメクジウオおよびアンモナイト（ヤツメウナギの幼生）の標本を腐敗させる研究が行われ、さらに解釈が難しくなった。その結果から、脊索動物の典型的な特徴の腐敗による喪失はランダムではなく、最も失われやすいのは、系統的に重要度の高い情報をもつ特徴であることが示唆されたのだ。そうした予測のつかない変化が化石記録に固定され、化石は脊索動物の系統樹の根元のほうに誤って位置付けられやすくなると考えられる。この腐敗傾向が一般的なものであるとすると、例外的に保存された軟らかい組織の化石記録から知られている進化上重要な出来事の多くは、慎重に評価をし直す必要があるだろう。

Letter p.797, N&V p.741 参照

### 気候：気候変動のシナリオを作る

#### Setting the climate scenes

気候学者は、人間の活動が気候に及ぼす影響についての不確実性を評価する際、モデルに基づく「シナリオ」を使って、将来の展開について最も起こりそうな事態を記述する。こうしたシナリオを確立するための従来の方法は時間がかかる逐次的な過程で、各々の分野でのデータが順番に加えられて複雑性を増していた。今回、R Moss たちが概説しているように、気候変動の研究において、シナリオを策定する作業を統合し、予測を行ってその影響を評価する、新しい統合した並列過程が確立された。これらの「次世代」シナリオは、気候の緩和と適応に関する提案を、より速やか、かつより厳密に評価するのに役立つだろう。

Perspective p.747 参照

### 薬学：ベンゾジアゼピン依存性が生じる仕組み

#### Benzodiazepine addiction

向精神薬のベンゾジアゼピン類は、臨床や快楽追求目的で広く使われている。この薬は短期的には安全で効果的と考えられているが、一部の人には依存症をもたらすことがある。これまで調べられている依存性薬物はすべて、中脳辺縁系でドーパミン濃度を上げることで作用し、腹側被蓋野で適応的なシナプス可塑性を誘発する。今回新しい研究が行われ、GABA<sub>A</sub> 受容体への結合により作用するベンゾジアゼピン類も同様に、ドーパミンニューロンの近傍の介在ニューロン上にある、 $\alpha 1$  サブユニットを含む GABA<sub>A</sub> 受容体の正の調節を介して、腹側被蓋野のドーパミンニューロンの発火を増すことが明らかになった。これにより、ドーパミンニューロ

ンで薬物誘発性のシナプス可塑性が生じる。この知見はまた、 $\alpha 1$  サブユニットをもつ受容体を活性化しない、サブユニット選択的なベンゾジアゼピン類ならば、依存症を生じない可能性を示唆している。

Article p.769, N&V p.743 参照

### 物性：有機分子にもあった強誘電性

#### Ferroelectricity goes organic

強誘電性化合物は、実用的なさまざまな特性を備えている。例えば、電場での極性反転、温度に対する感受性、機械的応力の電気への変換能などである。強誘電性は、概して有機化合物では珍しく、ほとんどが弱いと考えられている。しかし今回、堀内佐智雄（産業技術総合研究所）たちは、黒色染料の成分であるクロコン酸の有機結晶で、室温を超える温度で比較的高い分極を示す強誘電性を発見したことを報告している。このような特性は、この単純な分子の結晶で容易にみられるわけではないが、適度の電場を印加して分子トポロジ的なクト・エノール変換を誘発すると出現する。この発見によって、有機強誘電体がこれまで考えられていたよりもずっと多く存在するかもしれないという期待が高まりそうだ。

Letter p.789 参照

### 古生物：軟らかい体の動物化石は要見直し

#### A hard look at soft fossils

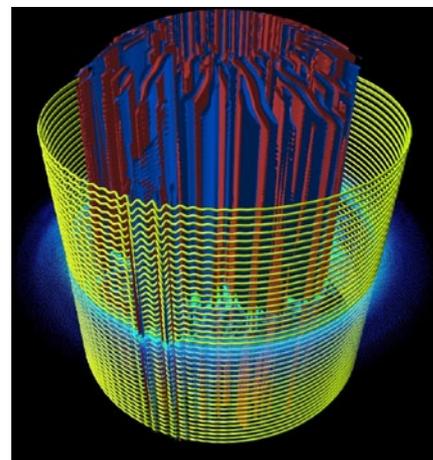
脊椎動物の進化の初期段階に関する我々の知識は、初期の脊索動物が残した化石から集められた情報に限られている。これらの動物は体が軟らかく、骨や殻をもっていないため、化石記録はごくわずかで、例外的に保存状態のよいごく少数の標本が主体であ

### 地球：地球の核内の帯状流

#### Zonal flow in Earth's core

帯状流は巨大惑星の大気や地球の海洋などの乱流対流領域でよくみられるため、乱流状態にあると考えられる地球の外核内にも存在している可能性がある。宮腰剛広（海洋研究開発機構）たちは、これまでのほとんどのシミュレーションで使われたよりも低い粘性領域で地球ダイナモの数値シミュレーションを行った。その結果、内側部分の放射形のシート状ブルームが円筒形の西向き帯状流に囲まれているという二重構造を示す、核内の流れの新しい対流形態を特定した。したがって、地球の外核内の対流は、惑星大気や海洋中でみられるものと予想以上に似ているかもしれない。

Letter p.793 参照



地球の外核内の対流は、放射形のシート状ブルーム対流（赤色と青色）を、円筒形の帯状流（黄色）が取り囲む二重構造になっている。

## 社説

# A clean slate

## 米国エネルギー省長官スティーブン・チュー博士

Nature Vol. 462(957)/24/31 December 2009

ノーベル賞物理学者で米国エネルギー省 (DOE) 長官の Steven Chu 博士が、*Nature* の「2009年 話題の人」に選ばれた。彼は今、問題が山積する米国のエネルギー技術の再構築に向けて強いリーダーシップを発揮しており、マンハッタン計画などを例に出して米国の科学者と技術者を鼓舞している。隠された標的の1つはエネルギー技術先進国日本と思われ、DOE および Chu 長官の動向には目が離せない。(ND 編集部)

Steven Chu 氏は、レーザーで原子を捕捉する巧妙な「光ピンセット」技術の開発者で、1997年にノーベル物理学賞を受賞した。彼は卓越した実験科学者であり、実験室で難問に取り組むことが大好きだ。しかし5年前、ローレンスバークレー国立研究所 (米国カリフォルニア州) の所長に就任し、同研究所をクリーンエネルギー研究に特化させるという、かなり大きな課題に立ち向かうことになった。その後、2009年1月に米国エネルギー省長官に就任し、現在、世界最大の経済大国のエネルギー供給を変革する責務を負っている。*Nature* は、こうした理由で、Chu 氏を「2009年 話題の人」に選んだ (*Nature* 2009年12月24/31日号978ページ参照)。

Chu 氏は既に大きな影響力を発揮している。彼の地位はオバマ政権のトップに近く、米国が温室効果ガスの排出量削減を約束するうえで力を尽くしている。それは、地球を守るためだけでなく、芽生えつつあるグリーン経済において、中国、インドやヨーロッパ諸国と確実に競争していけるよう米国を変えるため、でもある。

Chu 氏の下、エネルギー省は、より高いリスクを伴うクリーンエネルギー研究を重点的に進める方向へと踏み出した。短期的利益に照準を合わせざるを得ない産業界の支援を得るには、現在の商業性は薄くとも将来有望な技術の開発については、政府の研究プログラムによって進めるのが正しい姿である。もはや地球温暖化問題は、単純な各国の規制で切り抜けることが難しくなっており、温室効果ガス排出量の削減を実現するには、科学者と技術者が、より低コストで、環境汚染が少なく、高効率でエネルギーを生産・供給する方法を開発しなければならない。

このため Chu 氏は、クリーンエネルギー研究を応援する公的部門のチアリーダー役を自らに課した。彼は米国各地を訪れ、現代の最高の知性は、社会が直面する最大課題と思われるクリーンエネルギー研究に取り組む必要があることを、高らかに訴えた。趣旨に賛同する数人の

トップクラスの科学者が、既に自らの専門分野を離れ、Chu 氏と同じくエネルギー問題に傾注している。

こうした公的な役職に就くことは、科学者の間では、長年の名誉ある伝統となっている。したがって、Chu 氏が *Nature* の「2009年 話題の人」に選ばれたことは、一時的にせよ永続的にせよ、研究生活から離れて社会のより大きな問題に取り組んでいる世界中の数多くの科学者に対する賛辞、応援歌である。

Chu 氏は、長官就任後の1年間、苦労を重ねてきた。政府で主導的役割を果たす科学者は、Chu 氏のように傑出した研究者ゆえに選ばれることが多い。しかし、公共政策や政治の場で確実に成功するには、コンセンサス作りや当事者が受け入れられる妥協策を考え出すことがカギになる。実験室で最重要とされる技能だけでは十分でないのだ。Chu 氏も既に学びつつあるように、政府の要職に就く研究者は、適応能力を身につけ、政治指導者から学ぶ必要がある。

一方で、科学者は、政治家がより科学的な思考ができるよう手助けすることができる。また、政治家がイデオロギーに従ったり、政治的な方便に頼ったりするだけでなく、研究結果を注意深く調べるよう働きかけることができる。Chu 氏は、立法府の議員、特に地球温暖化を問題視していない議員との会合を意欲的に重ね、気候変動の科学、気候変動を無視することの影響について、各議員に説明している。そして、こうした活動を通して、米国のエネルギー部門の環境汚染削減をめざした気候関連法案を、議会通過させたいと考えている。

1人の科学者が、長年にわたって気候関連法案に反対してきた数多くの政治家を動かせるというのは、甘い考えかもしれない。しかし、Chu 氏の活動は、法案通過へと流れを変え、究極的には気候に関する国際条約の批准に結びつく可能性を秘めている。論理とデータを尊重する議員は、Chu 氏の活動を精力的に支援すべきである。(菊川要 訳) ■

# Credit where credit is due

## 科学へのさまざまな貢献に対して正当な評価を!

Nature Vol. 462(825)/17 December 2009

現在提案されている「著者識別システム」は、発表論文数や被引用回数という縛りから解放された、新しい学術評価制度の基盤となる可能性がある。日本でも、論文の数を優先する評価システムがさまざまな弊害をもたらしており、この新しい試みは検討に値すると思われる。(ND 編集部)

英国の心理学者メレディス・ベルビンは、その古典的著書『Management Teams』の中で、広範な実証的証拠を用いて、実効性のあるチームには9つの重要な役割を担当するメンバーが必要だと主張した。斬新なアイデアを生み出す創造的なプラント (plant)、計画を実行に移す訓練された実行者 (implementer)、大局の見地に立ってメンバー全員が常に協働できる環境を整備するコーディネーター (coordinator) などである。

科学においても、これとほぼ同じ数の役割・貢献が不可欠なのだが、現在の学術システムでは、不幸にもその一部だけが偏重されている。発表論文数や被引用回数といった測定が容易な指標だけが幅を利かし、昇進や終身在職権の審査で大きな比重を占めている。

Nature 2009年12月17日号843ページで取り上げられた研究グループは、ベルビンの分類によれば、補完的完成者 (completer finisher) に当たる人々だ。彼らは、完全なヒトゲノム配列決定 (参照配列) の完了に向けて努力しているが、その理由は、最初のヒトゲノム概要配列が発表された2000年からほぼ10年を経た今日でも、配列にはなおたくさんの誤りが残されているからだ。もちろん、それを正すことは非常に重要な作業である。最新のシーケンシング技術でも、新たな解読データの位置を決める際には、依然として、誤っているかもしれない配列が用いられているからだ。ところが、こうした作業が学術的に顕彰されることはほとんどない。そこから認知度の高い論文が生まれる見込みもない。

こうしたたたえられることのない科学に対する貢献が、今よりも容易に評価、定量化できる日がまもなく到来するかもしれない。2009年12月初めに提案され、トムソン・ロイターズ、ネイチャー・パブリッシング・グループ、大英図書館など23組織によって支持されている「著者識別システム」が、その手段となる。このシステムは、オープン・リサーチャー・アンド・コントリビューター ID (ORCID) という英数字列を用いて、個々の科学者を一意的に識別する (詳細情報と全参加組織のリストは [www.orcid.org](http://www.orcid.org) で

近日発表予定)。このシステムでは、世界中に山ほどいるスミス博士やワン教授をひとりひとり区別できる。改名、氏名表記順の文化的な違い、ファーストネームの略し方の不一致、あるいは使用アルファベットの違いにも左右されない。ORCID は発表論文に付記されることになっているが、生成にかかわったデータセット、同僚研究者のブログ投稿に対するコメント、あるいは未発表の論文草稿、ウィキペディア記事の追記などにも付記することが可能だ。

この種の科学者 ID を用いると、究極的には、個々の研究者の「デジタル履歴書」を常に最新の状態に保ち、単なる発表論文リストを超えて、科学に対する貢献の全体像を明らかにすることが可能となる。

ORCID は、初めて提案された著者識別システムではない。既にいくつかの出版社が、このような構想の実現を模索し、国際標準化機構 ISO (スイス・ジュネーブ) は、書籍、テレビ番組、新聞記事などのメディアコンテンツに寄与した者を把握するための国際標準の氏名識別子の開発に取り組んでいる。ただし、こうした開発作業に携わる組織のほとんどは、既に ORCID グループに参加し、あるいは同グループと密接に連携しており、誰もが自由に ORCID を利用できるようにして、既存の識別システムとも相互運用できるようにすることをめざしている。

ただし、その実現までには数多くの課題が横たわっている。特に重要なのは、付与された ORCID の確認と立証に関する厳格なプロトコルの制定である。このシステムが、自らの学術的証明書の水増しをしたいと考える者によって悪用されることは誰も望んでいないからだ。

しかし、最大の課題は、文化的な問題だと思われる。いづれにせよ、新しい評価指標は、研究資金提供機関、大学の管理部門、昇進や終身在職権の審査委員会など、学術評価制度にかかわるすべての人々に受け入れられる必要がある。科学における役割はいろいろあり、それぞれが評価を受け、顕彰されるべきであり、認知度の高い論文のみに限定されてはならない。(菊川要 訳) ■

# Healthy prions protect nerves

## 正常型プリオンは神経を保護する

Alison Abbott    doi:10.1038/news.2010.29/24 January 2010

クロイツフェルト・ヤコブ病に関与するタンパク質「プリオン」が、神経系で重要な役割を果たしていることがわかった。

20年にわたる研究を経て、ようやく、正常型のプリオンの機能が解明されたようだ。プリオンは、誤った折りたたまれ方をすると、クロイツフェルト・ヤコブ病 (CJD) などの死に至る疾患の原因になると考えられている。

このほど、プリオンが、哺乳類の末梢神経を保護する髄鞘 (ミエリン鞘) という構造の維持に機能していることが報告された<sup>1</sup>。「この研究成果によって、四肢の感覚の低下や喪失を引き起こす多くのありふれた神経障害のうち、一部の原因不明の障害の研究に、新たな道が開かれるでしょう」と、プリオン専門家であるロンドン大学ユニバーシティカレッジ神経学研究所 (英国) の Simon Mead は話す。

研究チームは、今回の知見は脳 (中枢神経系) のニューロンにもかかわってくるのではないかと考えている。もしそうなら、CJD などの伝達性海綿状脳症の治療だけでなく、脳や脊髄の神経の脱髄 (髄鞘の損傷や脱落) が原因の不治の病である多発性硬化症について、新たな視点から研究できるチャンスとなるだろう。

### 長年の探索

この20年の間に、プリオンの機能についていくつかの提案がなされてきたが、いずれもその正当性が実証されるに至らなかった。

「プリオン遺伝子をノックアウトした最初のマウスが作られたのは1991年のことでした」と、今回の研究を率いたスイスのチューリッヒ大学病院の Adriano Aguzzi は振り返る。「我々はさっそくその成果に飛びつき、考えつくかぎり、あらゆる方法で調べました。ところが、プリオンの欠損がノックアウトマウスに有害な作用を引き起こすという明らかな証拠は、何も見つ

け出せなかったのです」。むしろ実際には、プリオンの欠損によってプリオン感染に対する免疫がマウスにできたため、一見すると欠損はよいことのように思えた。

4年前、Aguzzi たちは、1999年に日本の研究者たちが発表したある論文<sup>2</sup>に、改めて目をとめた。それは、プリオンの欠損によって、脳以外の場所にある神経の変性や脱髄が引き起こされることを示唆していた。大方の研究者は、この論文を見過ごしていた。

Aguzzi たちは、正常型プリオン PrP<sup>C</sup> の遺伝子を欠損した4種類のマウス系統を徹底的に調べた。その結果、系統に関係なくどのマウスでも、ちょうど生後6週間後で髄鞘損傷の早期兆候がみられ、生後2か月までに神経は著しく脱髄し、マウスの痛みに対する感受性がより強まった。

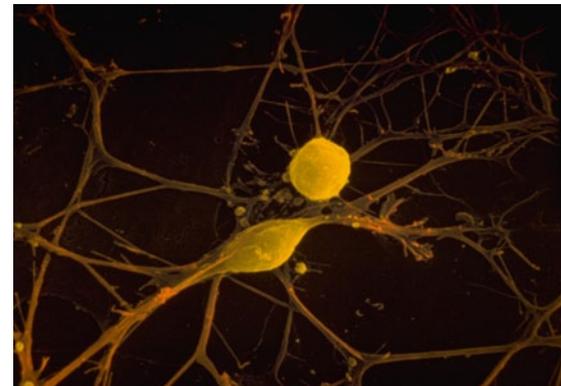
「出生時には髄鞘の損傷はみられず、おそらくプリオンは、一生を通じて減少していく髄鞘の質の維持に必要なのだと考えられます」と Aguzzi は話す。そこでプリオンを神経に特異的に再導入したところ、脱髄は起こらなかった。ただし、効果を示したのは、酵素による切断を受けやすい、改変したプリオンのみだった。

シュワン細胞へ特異的に導入した場合、どの改変型のプリオンも脱髄を防ぐことはできなかった。「この結果には驚きました。なぜなら、シュワン細胞は新たな髄鞘を作る役目をしているからです」。

Aguzzi は、髄鞘を消耗しつつある神経が酵素によってプリオンを切断し、できた断片がシュワン細胞へ運ばれると、それが髄鞘修復を活性化させる合図になると結論付けた。

### 脳での影響

Aguzzi は、予備実験から、プリオンが脳



プリオンはニューロンの絶縁状態を良好に維持するのに役立っている。

での髄鞘形成の支援にも何らかの役割を果たしていることが判明するだろうと予想している。「ですから、脳に端を発する脱髄疾患にプリオンが関与しているかどうかを調べる研究は、興味深いものになるでしょうね」と彼はいう。

一方 Mead は、「CJD の治療法として考えられるものの中に、正常型プリオンを標的にするものが挙げられます」と話す。「しかし、正常型プリオンが機能しないことで重度の有害な影響が出たなら、この治療法は再考せねばならないかもしれません」。

ピエール・マリー・キュリー大学 (パリ第6大学; フランス) の INSERM 研究部門でプリオンを研究する免疫学者 Claude Carnaud は、当初は炎症だと考えられていた一部の脳疾患が、少なくともマウスでは、炎症ではなく、脳内のプリオン欠如に関係していると考えている。「プリオン欠如が多発性硬化症に関係しているどうかはわかりません。しかし、非常に興味深いですね」と彼は語っている。 (船田晶子 訳) ■

1. Bremer, J. et al. *Nature Neurosci.* doi:10.1038/nn.2483 (2010).  
2. Nishida, N. et al. *Lab. Invest.* **79**, 689-697 (1999).

# Robotic roach creates order from chaos

## ゴキブリロボットはカオスから秩序を作り出す

Zeeya Merali    doi:10.1038/news.2010.15/17 January 2010

カオス理論を応用して、複雑な地形変化に素早く対応する自律歩行ロボットができた。

「カオスのゴキブリ」といえば、悪夢のように聞こえるかもしれない。しかし、このゴキブリロボットは順応性の高いロボットを開発するカギとなる可能性がある。カオス理論を使った技術が、動物の運動の解明に役立ったり、医療へ応用できるようになったりするかもしれないのだ。

岩だらけの惑星や交戦地帯などは、人間が容易に立ち入ることができない場所だ。こうした危険な環境に挑む自律性のロボットは、状況に合わせた運動が要求される。しかし、ベルンシュタイン・コンピューテーショナル・ニューロサイエンス・センター（ドイツ・ゲッティンゲン）の物理学者 Marc Timme によると、ロボットの運動のレパートリーに歩行時の脚の運び方などの新しい行動パターンをつけ加えるのは、とてもやっかいなことだという。そのためには、制御装置など新たなハードウェアの追加が必要なうえに、あらゆる意思決定過程で、すべての制御装置が互いに情報を調整する必要があるからだ。このため、ロボットは非効率的になり用途が限定されてしまう。

「ところが自然界では、ゴキブリのような原始的な生物でさえ、比較的少数の神経細胞しかもたないのに、複雑な運動を素早くかつ容易に制御できます」と Timme は話す。彼らは、ゴキブリの能力をヒントに、6本脚の「AMOS (Advanced MObility Sensor driven walking device 06; 高度移動センサー駆動歩行装置 06)」というロボットを作った。AMOS は脚の動きを制御する 18 個のモーターと、光や熱、地面との接触を感知する 18 個のセンサーをもっている。彼らは、今回、1 個の制御プロセッサだけで、AMOS の歩行パターンを環境の変化に合わせて素早くかつ自動的に調節することに成功した<sup>1</sup>。

### カオスで制御

Timme らが応用したカオス理論は、システムへの入力の小さな変化が、どのようにして著しく異なったさまざまな出力を作り出すのかを記述する理論だ。彼らで作った新しいプロセッサは、わずか 2 個の「神経細胞」からなる回路でできていて、カオスアルゴリズムを使って AMOS のセンサー入力データから可能な出力パターンを生成し、えり分ける。不安定な選択肢を素早く捨てて安定した歩行パターンを選ぶのだ。

このカオス制御技術のおかげで、AMOS は起伏の多い地形を乗り越え、捕食動物から走って逃げ、坂を上るときはエネルギーを節約する歩き方を選ぶ。また、脚のうち 1 本が地面から離れるとカオスの振る舞いが優勢になり、その状況を脱するまで、気でも狂ったようにランダムに歩き方の組み合わせを試す。

Timme は、「単一の中枢パターン発生器とそれによる制御というこの仕組みは、ほかのロボットにもすぐに適用できます」と話す。

### 脳とカオス

ベルリン工科大学（ドイツ）のカオス制御の専門家である Eckehard Schöll は、「Timme らは、多数のセンサーからの複数の入力をうまく処理し、非常に複雑ながら安定した昆虫ロボットの動きを作り出しました」と話す。この単純な神経回路で自律性ロボットを制御できる技術は、てんかんやパーキンソン病、偏頭痛に苦しむ患者の有害な神経活動を安定化させるなど、分野を越えた応用が可能かもしれないと Schöll は指摘する。彼らは現在、偏頭痛が起こる前に脳内に生じる興奮波を研究している<sup>2</sup>。健康な人には、興奮波を抑えるフィードバックループが脳内に



カオスはロボットが歩き回るのに役立つかもしれない。

あると考えているのだ。もしそうなら、特定のやり方で光の強度を変化させて患者に当てるなどの方法でカオス制御を利用して、興奮波を抑制できるかもしれない。

ケルン大学（ドイツ）の動物学者 Ansgar Büschges は、実際の動物の歩行時にもカオス制御が使われるかどうかを研究している<sup>3</sup>。「神経科学の難題の 1 つは、どのようにして動物は一度に複数のことを行うのかということです。例えば人間は、歩き、話し、ものを運ぶことを同時に行えます。神経を画像化すれば、動物でもゴキブリロボットと同様の神経活動パターンをもつかどうかを調べられるかもしれませんが」と Büschges は語っている。（新庄直樹 訳）

1. Steingrube, S., Timme, M., Wörgötter, F. & Manoonpong, P. *Nature Phys.* doi:10.1038/NPHYS1508 (2010).
2. Dahlem, M. A., Schneider, F. M. & Schöll, E. *Chaos* **18**, 026110 (2008).
3. Von Uckermann, G. & Büschges, A. *J. Neurophysiol.* **102**, 1956-1975 (2009).

#### 参考動画

<http://www.youtube.com/watch?v=leSlejzONQ>  
<http://www.nature.com/nature/newsvideo/nphys1508-s4.mov>  
<http://www.nature.com/nature/newsvideo/nphys1508-s5.mov>  
<http://www.nature.com/nature/newsvideo/nphys1508-s6.mov>

# The fickle Y chromosome

## 大きく違った、ヒトとチンパンジーのY染色体

Lizzie Buchen

Nature Vol. 463(149)/ 14 January 2010

Y染色体は長年、ゲノムの中のできそこないとして振り向きもされない存在だった。しかし、チンパンジーのY染色体の全塩基配列が解読され、ヒトのY染色体（唯一、同程度の精度・完成度で配列が明らかにされている）との比較により変化（進化）の速度が明らかになった。

研究チームの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David Pageによれば、チンパンジーとヒトのY染色体は「互いにすさまじく異なっている」という。「チンパンジー系統とヒト系統のY染色体には、劇的な改変か再構成があったのだと考えられます」。

性染色体が進化したのは約2億～3億年前のことだが、チンパンジーとヒトが分岐したのは、たかだか600万～700万年前のことだ。チンパンジーとヒトのゲノムを比較した結果から、両種の間では分岐以降に大きな変化はなかったと考えられている<sup>1</sup>。

しかし、その分析ではY染色体が考慮

されていない。Y染色体の遺伝子配列は、パリンδροーム構造（回文配列）を多く含むが、それらは、全ゲノムの概要配列を解析するシーケンシング技術では網羅できない。チンパンジーのY染色体は、一部の配列が数年前に既に明らかにされていたが<sup>2,3</sup>、Pageらは、もっと大きなDNA断片の配列をより正確に解読し、それらをつなぎ合わせ、初めてY染色体の全配列の詳細を明らかにした<sup>4</sup>。

これまでの研究から、チンパンジーとヒトのY染色体の明確な差は、主にチンパンジーの遺伝子喪失とヒトの遺伝子獲得によって生じたと考えられている。今回Pageらは、チンパンジーのY染色体には、明確な遺伝子または遺伝子ファミリーとわかるものがヒトのY染色体の3分の2程度しかなく、タンパク質をコードするものはヒトの47%しかないことを明らかにした。一方、ゲノムのほかの部分における比較では、両種の遺伝子数の差は1%未満と考えられている。

遺伝子の喪失以上に衝撃的だったのは、染色体の大規模な再構成だ。チンパンジーのY染色体の30%以上は、ヒトのY染色体には相当する部分が存在せず、その逆もまた同じことがわかった。ゲノムのほかの部分では、対応が認められないものは2%未満しかない。

対応が認められた部分にも、不規則な再構成がみられた。Y染色体以外で唯一、ヒトとチンパンジーで同じくらいの精度での塩基配列がわかっている21番染色体を比較すると、再構成ははるかに少なかった。「ヒトの21番染色体を解析すれば、チン

パンジーの21番染色体も同じようにわかるでしょう。しかし、ヒトのY染色体とチンパンジーのY染色体の関連は、全くばらばらです」とPageはいう。

しかしながらY染色体の急速な進化は、想定外のものではない。通常、染色体は細胞分裂時に対合する互いに相同な染色体をもつ。この相同染色体間で起こるDNAの交換により、遺伝子の変化を抑制することができる。ところが、Y染色体にはパートナーとなる相同染色体が存在しない。ワシントン大学（米国シアトル）の遺伝学者Christine Distecheは、「Y染色体は、驚異的なスピードで、ほかのゲノムの部分とはどんどんかけ離れたものになっていくでしょう」と語る。

Y染色体が変化しやすいのは、Y染色体上の遺伝子の多くが精子の生産に関与しているためでもある。それは、特にチンパンジーにとって、繁殖適応の前線となっている。チンパンジーの雌は、1回の繁殖期に何頭もの雄と交尾することが多く、最も強い精子をもつ雄が子孫を残す可能性が高いのだ。

「Y染色体は驚きに満ちあふれています」とPageはいう。「チンパンジーのゲノム配列が明らかになったとき、一般の人は、なぜ人間が言葉を取得し、文章を書くようになったのかわかるだろうと考えました。でも、最も劇的な違いの1つは、精子の生産だったのです」。（小林盛方 訳） ■

1. The Chimpanzee Sequencing and Analysis Consortium. *Nature* **437**, 69–87 (2005).
2. Hughes, J. F. et al. *Nature* **437**, 100–103 (2005).
3. Kuroki, Y. et al. *Nature Genet.* **38**, 158–167 (2006).
4. Hughes, J. F. et al. *Nature* **463**, 536–539 (2010).



チンパンジーの性染色体は、進化のホットスポットだ。

### 「太陽の当たる場所」

スペースシャトル「エンデバー号」とドッキングした国際宇宙ステーション、太陽の前を通過中。国際宇宙ステーションへ交代要員や物資を運び続けたスペースシャトル。2010年の退役が予定され、この任務も終了する。



## IMAGES OF THE YEAR 2009

### とっておき年間画像特集

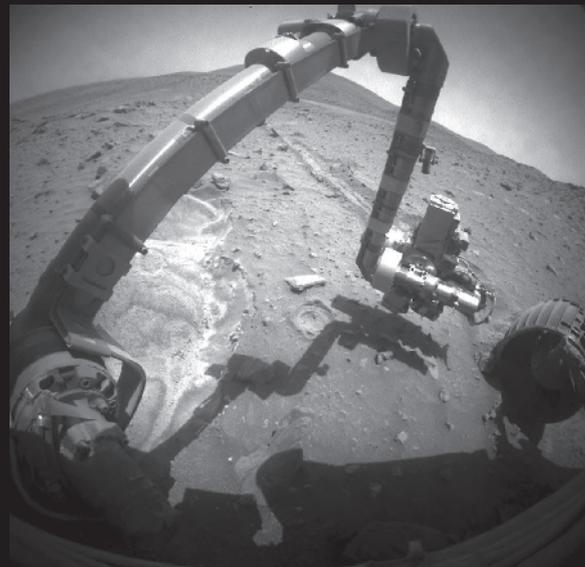
Katharine Sanderson

Nature Vol. 462(972-977)/ 24/31 December 2009

*Nature* を1年分振り返ってみると、いろいろな科学ニュース、研究発表があったことに改めて気づかされます。そんな中から、ちょっとおもしろい画像をえりすぐってみました。宇宙ステーションから運よく撮影された火山噴火、地球上から永遠に姿を消してしまうかもしれない最小サイズのカエル、太陽の前を通過する人類の「宇宙前哨基地」などなど…。どれもなかなかの秀逸作品です。さあ、真っ暗な深海から、数千光年離れた銀河系の中心まで、ちょっとした旅を楽しみませんか。

## スピッツァー-チャンドラー-ハッブル連合

今年、稼働から 20 年を迎えるハッブル宇宙望遠鏡。昨年、NASA のスペースシャトル「アトランティス号」の宇宙飛行士によって 2 つの新機器が設置され、また 2 つの古い機器が修理され寿命が延びた。我々の銀河系の中心をとらえたこの画像は、リニューアルしたハッブル宇宙望遠鏡からの近赤外線データ（黄色）と、スピッツァー宇宙望遠鏡からの赤外線シグナル（赤色）およびチャンドラ X 線観測衛星からの X 線データ（青色と紫色）を組み合わせたもの。



## 「スピリット」はくじけたけど、まだまだいくぞ

NASA の火星表面を探索中の「スピリット」は、約 6 年の活動（当初は 90 日の予定だった）を経た 2009 年、とうとう柔らかい土に車輪をとられ身動きが取れなくなってしまった。なんとか脱出しようとしたが、2010 年 1 月 26 日、NASA はスピリットの脱出を断念、静止観測点にすると発表。



## 分子を見る

これはペンタセン分子 1 個の画像。5 個の炭素環が見える。スイス・チューリッヒにある IBM 研究所の Gerhard Meyer たちが開発した特別設計の原子間力顕微鏡のおかげで、こんな撮影ができるようになった。

## サリチェフ火山噴火

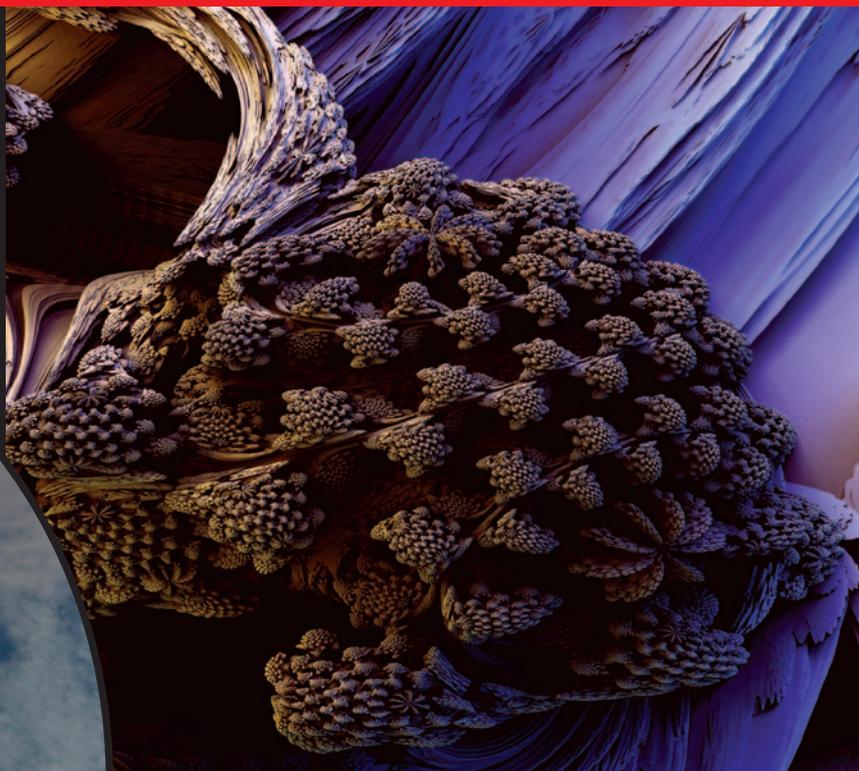
2009 年 6 月、国際宇宙ステーションが千島列島にあるサリチェフ火山上空を通りかかったとき、偶然にも噴火が始まった。その噴煙は 16 キロメートル上空までもくもくと立ち上り、半径数百キロメートルの範囲に灰が降り注いだ。

## 土星の巨大な環

土星で見つかった巨大な環のイメージ図。赤外線スペクトルでのみ見られるこの環は、スピッツァー宇宙望遠鏡によって発見された。環は散在するちり粒子からできており、直径は少なくとも 2500 万キロメートルある。土星の衛星の 1 つ「イアペトゥス」の片面が暗い色をしているのは、この環のせいかもしれない。

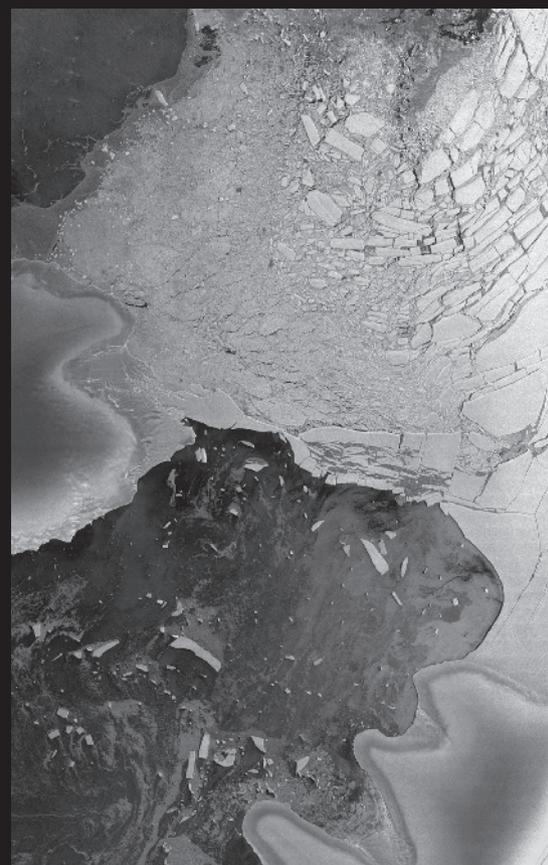
### 壮麗なマンデルブロ

マンデルブロ集合が初めて三次元で忠実に表現され、数学のもつ美しさが改めて示された。英国ベッドフォード在住のコンピュータープログラマーである Daniel White が作成したこの「マンデルバルブ (Mandelbulb)」は、不気味な美しさをたたえている。



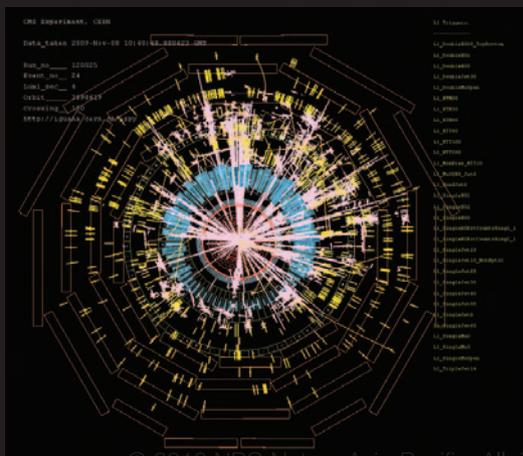
### 記録破りの大成功

2008年は漏出事故を起こし散々な年だった大型ハドロン衝突型加速器だが、2009年は名誉挽回の年となった。同加速器は2009年11月20日から年末まで試験運用し、過去最高エネルギーで陽子どうしの衝突に成功。素粒子を打ち砕き、記録も打ち破った。



### 南極の氷溶解

この幅150キロメートルのレーダー画像は、南極圏にあるウィルキンス棚氷から2009年4月に崩れて流れ出した「氷の橋」を撮影したもの。氷の橋の消失で、ウィルキンス棚氷の崩壊が加速し、南極大陸の氷河から海洋へさらに氷が流出してしまうおそれがある。





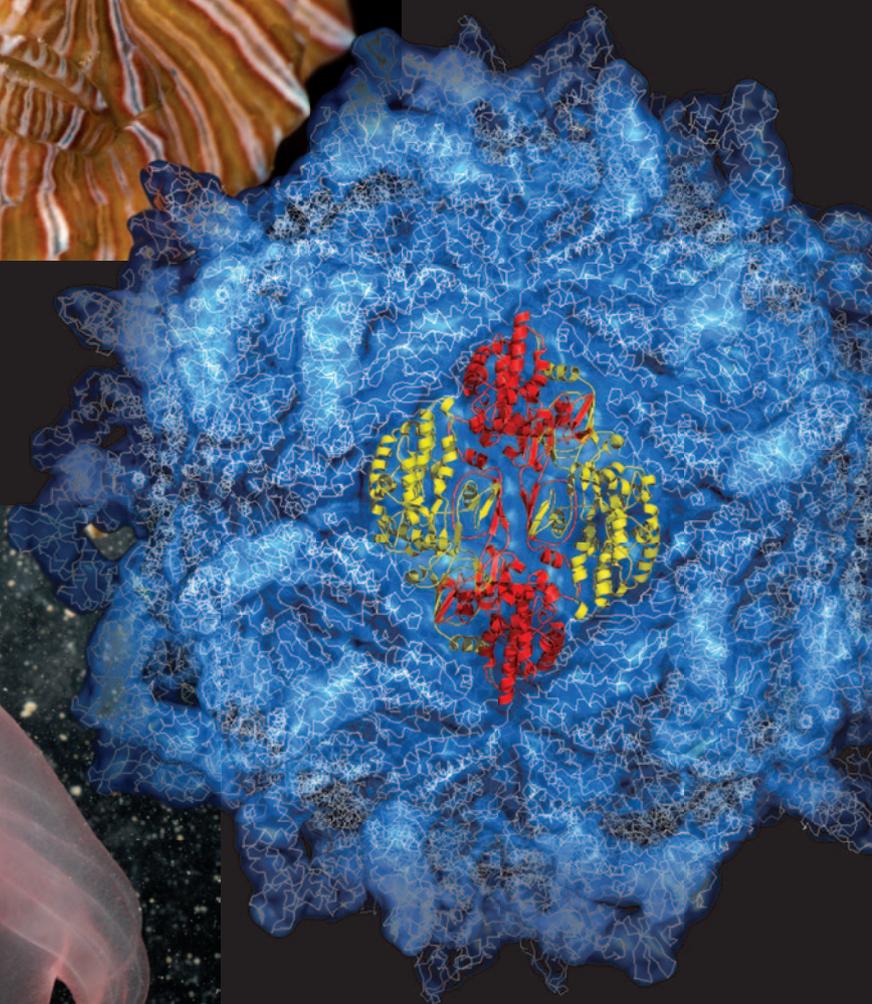
### いかしたメイク

この見た目も名前もサイケデリックな魚 (*Histiophryne psychedelica*) は、カエルアンコウの仲間である。ワシントン大学 (米国シアトル) の Theodor Pietsch たちがインドネシア沖の海域で、海底をピョンピョンと跳ねるように歩き回っているところを発見した。



### 深海のミステリー

すけすけの体をしたこの生物は、*Enypniastes* 属のナマコ。昨年、「海洋生物 COMARGE プロジェクト」の調査により、メキシコ湾北部の深度 2750 メートルの深海で見つかった。プロジェクトでは数多くの生物を発見しており、このナマコも予想外の海洋生物多様性を示す一例にすぎない。



### 目を奪うカプシドの姿

このカプシド像にある 500 万個の原子の画像化には、3 年もかかった。カプシドは、多くのウイルス粒子が自身の DNA を保護するために用いているタンパク質製の殻である。当時ライス大学 (米国テキサス州ヒューストン) にいた Junhua Pan は、アオカビ類に感染する *Penicillium stoloniferum* ウイルス F 型というウイルスの X 線回折像を、数百枚組み合わせることでこれを作り上げた。

FROGFISH: D. HALL/SEAPHOTOS.COM; SEA CUCUMBER: L. MADIN, WOODS HOLE OCEANOGRAPHIC INST.; CAPSID: J. PAN & Y. J. TAO; MARMOSSET: E. SASAKI; IDA: FRANZEN ET AL. PLOS ONE 4, E5723 (2009); WORMS: K. J. OSBORN; TOAD: J. LARSEN MAHER/WCS

### 緑色の遺伝子

この緑色に発光する、小さなマーマセットの手に世間は注目した。これらのマーマセットは世界初の遺伝子組み換え霊長類であり、緑色蛍光タンパク質を発現する改変遺伝子をもつ親から生まれた。この成果は、ヒト疾患の霊長類モデルの作製に役立つと期待される。

### 緑色爆弾で撃退

スクリプス海洋研究所（米国カリフォルニア州ラホヤ）の Karen Osborn たちは、珍しい防御戦略をもつ数種の深海動物を発見した。そのうちの1つ、写真の環形動物は、緑色に光る「小型爆弾」を発射して、捕食者をびっくりさせる。

### 縁の薄い間柄

チャールズ・ダーウィン生誕200周年にあたる2009年、人類進化の「ミッシングリンク」と思われる化石を発見したという報告で、メディアは騒然となった。霊長類に似たこの4700万年前の化石は「アイダ」と名付けられた（学名 *Darwinius masillae*；ダーウィン生誕記念にあやかった）。しかし、これをミッシングリンクだとする仮説は、まもなく急速に勢いを失った。生命系統樹の上では、「彼女」はヒトよりもキツネザルに近縁なのである。

### 瀬戸際のカエル

この子どものカエルの種族は今、極めて危険な状況に置かれている。成体になっても体長2、3センチメートルのキハンシヒキガエル (*Nectophrynooides asperginis*) は、2009年、野生絶滅種になってしまった。本来の生息地は、タンザニア東部のウズングワ山塊にあるキハンシ渓谷である。国際自然保護連合 (IUCN) が毎年作成しているレッドリストによれば、評価対象とする4万7677種のうち1万7291種が絶滅の危機にあるという。



# 2020 visions

## 2020年 科学の旅 (前編)

Nature Vol. 463(26-32)/7 January 2010

これから10年間、科学はどう展開していくのだろうか。今月号と来月号の2回に分けて、最先端の研究者と政策立案者からの展望を紹介する。go.nature.com/htW8uM にアクセスし、読者諸氏の反応や見方をお寄せいただきたい。

### 検索

Peter Norvig\*

グーグル社

(米国カリフォルニア州マウンテンビュー)

研究担当役員

インターネット検索は10年ほど前から使われ始めたが、2020年までには、さまざまな垣根を越えて進化を遂げているだろう。コンテンツとしては、テキスト、音声、静止画、動画のほか、同僚や友人、情報源、それに自動プロキシ（代理役のソフトウェア）との通信の記録、さらには、身の回りにあるGPS装置や医療機器、その他の埋め込み型センサーが感知した記録のデータなどが、渾然一体となっているだろう。

検索キーワードの入力法は、大部分がテキストではなく音声になっていて、脳の信号の直接モニタリングによる検索も、実験が始まっていると思われる。生活の中でどれだけの時間をどうやって検索エンジンと付き合うかは、ユーザーが決めるだろう。

検索結果は、単なるリストではなく、合成されたものになるだろう。例えば、現在私が「核融合方式の比較」と検索すると、主要な検索エンジンは皆、核融合発電に関する一般的な百科事典の記事を先頭に表示し、その下に似たような記事を並べる。しかし、10年後の検索結果では、主だった方式について要約してそれぞれの違いを浮き彫りにし、あらゆる外国語文書が自国語に自動翻訳され、さらに、結果が有



ILLUSTRATIONS BY JESSE LEFKOWITZ

効性の順に並べられるか、表やチャートで適宜順位付けられているだろう。

さらに「核融合理論の背景となる数学」を検索すると、必要となる複雑な分析に焦点を合わせた概要が即座に表示され、核融合の中の特定の用途や私自身の数学的な理解力に応じて、カスタマイズされる。もしまごついていたら、もう一度私のニーズに合うように再調整表示されるか、さもなければ、検索エンジンは、それについてよく知っている人、あるいは同じ検索で困っている学生とかに、私をつないでくれるだろう。検索エンジンとの対話は流れゆく会話であり、その会話は、生活の中で進行するその他の作業と統合されているだろう。

検索エンジンには、数のみによるのではなく、「質を測る物差し」を組み込むという大きな課題がある。検索エンジンは、2つの課題を同時に判断しなければなら

ない。1つは関連性、つまり、そのアイテムがユーザーの要求項目（クエリー）に当てはまるかどうか、の判断である。そしてもう1つが、質、つまり要求項目とは別に、そもそもそのアイテムが正確なのか、有用なのか、理解可能なものかどうかを判断しなければならない。

現在のところ、関連性の物差しについては、かなりよいレベルに達している。しかし、質の物差しに関しては、文書で表現された概念と関連性について、またそれが世界の現実とどう関連しているかについて、優れたモデルが必要となっている。もちろん、著者の信頼性に関するモデルも必要だ。それにより、月着陸が捏造だったと首尾一貫した論理で主張しているサイトは、捏造の主張の前提が現実と食い違っているため、まともな天文関連サイトよりも質が劣る、と判断されることになる。こ

うしたモデルを理解して改善することが、この先 10 年の重要な課題だ。

## 微生物群集

David A. Relman

退役軍人局パロアルト健康管理システム

(米国カリフォルニア州パロアルト)

感染症主任

これからの 10 年、人体そのものが、最も重要な生態学研究の場となるだろう。人類は、体内に生息する微生物群集に依存して生きている。彼らは我々にさまざまな利益をもたらしており、食物からエネルギーを取り出すこと、免疫系を教育すること、病原体から保護することなど、枚挙にいとまがない。こうした人体固有の微生物相に、近年注目が集まっている。しかし、「広い意味での自分の体」が、何によって構成され、それらがどのように機能しているかについては、まだあまり知られていない。

人体は、さまざまな微生物の生息場所によって構成されている。これまでは、皮膚や口、腸、膈など、大まかな解剖学的仕分けに基づいて研究・規定されてきた。しかし、明らかになっている生息場所、あるいは生息場所の境界部分は、ごく一部にすぎない。特に重要な生体現象は、多くの場合、そうした境界部分で生じている。これからの 10 年、分子微生物学的研究を通じて、希少な微生物種を捕らえ、また、さまざまな空間的スケールで多様性を分析する必要がある。

人体の微生物相は、ランダムに構成されているわけではないが、それを支配している規則はほとんどわかっていない。微生物群集との早期の接触、それらの分散、種間相互作用などは、いったいどんな役割を果たしているのだろうか。微生物群集の中で、選択過程は起こっているのだろうか。もしそうなら、どのようになされているのか。最も重要な問いは、人体はどうやって微生物群集の構成を制御している

のか、だ。こうした疑問に答えることができれば、歯の表面とか腸の粘膜などの微生物群集の構成を、健康な状態にもっていくことができるはずである。

これと同じように重要なのは、微生物群集の安定性や強さ・しづとさについての疑問だ。人体の微生物群集は、抗生物質などによる攪乱<sup>かくらん</sup>に対して、どれだけ抵抗することができるのだろうか。また、どの程度、原状に戻ることができるのだろうか。いったい、健康な状態とはいくつあるのだろうか。微生物群集の回復力が、人間の健康を決定したり予測したりするのだろうか。回復力の基礎にはどんなメカニズムがあり、それを測定したり増強したりするにはどうすればよいのだろうか。

こうした疑問に答えを出すには、微生物相の「機能的特性」を理解しなければならない。そのために必要なのは、微生物の DNA 配列を、RNA、タンパク質産物、機能アッセイ、環境変数などと直接結び付けることだ。人間が持つ微生物群集を、国内あるいは世界的規模で明らかにしようというプロジェクトが始まっており、これはまさによい端緒である。そのほか、この分野に必要なものを挙げると、適切に管理された長期的な臨床試験、非破壊的で侵襲性が最小限ですむサンプリング法、複雑で多次元的なデータの管理・分析法、そして、微生物学者、環境学者、臨床医、生理学者、技術者間の新たな協力関係だ。

## 個別化医療

David B. Goldstein\*

デューク大学

(米国ノースカロライナ州ダーラム)

この 10 年間、強力な遺伝子型判定ツールにより、ヒトゲノム全体にわたって一般的な変異を調べ、多くの病気の背後にあるリスク因子を特定できるようになった。今後の 10 年においては、2 つの際立つ

た発見が、病気の研究の行方を決定付けると思われる。第一は、広く存在する遺伝的変異が、多くの一般的な病気に対する個々人のかかりやすさを決定付けるうえで、限定的な役割しかもっていないらしい、ということだ。第二は、全体の中でごくわずかしか存在しない遺伝子変異が、病気のかかりやすさを極めて強力に左右する場面がある、ということだ。

例えば、ゲノムから大きな塊が削除される原因となる希少な変異は、統合失調症やてんかん、自閉症などの病気のリスクを、20 倍にも高める場合がある。こうした大きなリスク因子を例外的なものとする研究者もいる。しかし私は、今後さらに多くのゲノムの配列が明らかにされるにつれて、影響力の大きなほかのリスク因子が数多く発見されるだろうと考えている。

それが正しいとすると、2020 年の個別化ゲノミクスがどのようなものになるかについて、確信的で忌まわしい予想が成り立つ。病気の主要なリスク因子の発見は、胚などの選別プログラムに対する関心を相当高めるはずだ。社会は既に、間違いなく重度の健康問題につながる変異については、この排除原理を大筋で受け入れている。しかし、例えば、重度だが不特定の神経精神病のリスクが 20 倍高い胚を排除したいと考える人に、社会は配慮できるのだろうか。

遺伝的な差に基づく特製の無害な治療薬の開発など、進歩の中には比較的異論の少ないテーマもある。一方で、統合失調症やてんかん、がんなど、治療が困難な場合が多い病気に対して、新たな薬物標的となりうる決定的な遺伝的リスク因子のように、見方が分かれるものもある。これからの 10 年で、何百万人ものゲノム配列が解読されるかもしれない。そして多くの人は、自分もつリスクについて知らされるだろう。そのような予測力が及ぼす実際の・倫理的問題に対して、どう対処すべきなのか、今、真剣に考え始めるべきだ。

## エネルギー

Daniel M. Kammen

カリフォルニア大学バークレー校

再生可能・適正エネルギー研究所 (米国)  
所長

2020年までに、人類は、しっかりと低炭素社会のレールに乗っている必要がある。それは、効率的でクリーンなエネルギー技術が普及した社会だ。正しく管理されたキャップ・アンド・トレード方式または炭素税によって、炭素の放出を有料とすることが不可欠となる。家庭や企業が、事前に支払いをすることなく、エネルギー効率や再生可能エネルギーのサービスに出資できるよう、創造的な金融も必要になるだろう。私の研究所がデザインとプロモーションに参画している「資産評価クリーンエネルギー」金融メカニズムは、その一例だ (<http://rael.berkeley.edu/financing>)。

政府が研究に資金を出すことは不可欠だ。再生可能技術の中には、爆発的に成長しようとしているものがいくつかある。エネルギー効率の目標値は、消費量を上回るエネルギーを生み出す建築物や電気自動車などの技術革新を促進することによって、需要を減少させるのに役立つと考えられる。太陽エネルギーの研究、特にその保存と配送を効率的に行う方法は、社会の貧富を問わず、ニーズに対応する

ことができる。これらが広く展開されれば、スマートグリッドの開発なども含めて、世界は、2020年までに、太陽光、風力、原子力、地熱、水力による電力供給が80パーセント以上を占めるエネルギーシステムへと、向かっていることになるだろう。

## 精神衛生

Daniel R. Weinberger

米国立精神衛生研究所

(米国メリーランド州ベセスダ)

上級研究員

精神病の背後にある遺伝子がこの10年間に探索され、精神障害は、特定の原因による不連続的な状態ではない、と認識されるようになった。それどころか、精神障害は、発達に影響するリスク因子どうしの相互作用の結果であって、精神症状は、多くの原因によって生ずることがあり、現在の疾患モデルが許容する以上に相互関係をもっている。定着に時間がかかったこの洞察は、2020年までに、精神状態に対する医師の理解と治療法を変化させているだろう。

現在、精神病に特有の遺伝子を発見しようとするのは、非現実的な考え方だと思われる。これからの10年に進めべき現実的な努力とは、細胞や脳の基本的機能をコードする遺伝子を探索することであり、その中でも特に、環境に対す

る反応を調節しているもので、かつ個人のリスクが増大した時に、ある特別な方法で一緒に働くようなものを探し出すことだ。脆弱性の増大には何百万もの遺伝子が寄与していると考えられ、そうした弱点は、特定の精神医学的診断とは無関係に、脳の発達と機能を左右しているかもしれない。精神病にあるのは、一本道ではなく、発達という経路が高度に分岐したネットワークだ。

この取り組み方では、症状を解釈することではなく、根底にある生体の仕組みを適切に把握することにより、診断と治療法が決定される。精神医学的研究は、生物学的心理学というフロイトの夢を実現すべく漂っているが、古い考え方の新しい応用が必要となるだろう (*Nature* 2010年1月7日号9ページを参照)。

## 古人類学

Leslie C. Aiello

ウェンナー・グレン財団

(米国ニューヨーク州)

会長

最近の古人類学研究の多くは、アフリカとヨーロッパに集中している。しかし、インドネシアの小さな人類 *Homo floresiensis* に関する2004年の発表は、我々が人類の進化の歴史の基本的概略を十二分に知っていると考えたことの愚かさを警告するものとなった。*H. floresiensis* が本当に200万年前にアフリカを離れた初期の人類の末裔なのだとすれば、我々は、*Homo erectus* がアフリカを最初に離れた人類だとする昔からの考え方を改めなければならない。また、比較的大きな脳や大きな体、人間らしい手足のプロポーションなど、このアフリカ脱出の前提に関する仮説の多くも捨て去らなければならない。重要なのは、ヨーロッパとアフリカ以外の場所で起こった人類の進化について、我々があまりよく知らずにいることを直視することだ。





これからの10年の大きな課題として、アジアでの人類の進化に関する我々の知識の大きなギャップを埋め始めることが挙げられる。研究機関や政府による財政的支援を受けて、強力で創造的な国際共同研究を行い、必要な研究と分析を実行する必要がある。東アフリカでの研究に対しては、大規模で集中的な支援がなされた。それを担ったのは、トゥルカナ盆地研究所（米国ニューヨーク州ストーンブルック）、マックス・プランク進化人類学研究所（ドイツ・ライプツィヒ）、それに、ハイデルベルク自然科学人文科学アカデミー（ドイツ）のプログラム「人類の初期の拡大で文化が果たした役割」であった。

これと同じような支援が、アジアでの研究にも必要だ。化石の探索はリスクの高い冒険であり、掘りに行けば必ず思うような成果が得られるとは限らない。しかし、近年アフリカとヨーロッパで発見されている新種の人類の数を見ると、アジアで同様の努力をすれば、多くの成果が得られる可能性は高い。

600万年ほどの間に、人類はなぜ、どうやって進化して世界中に分散していったのか。願わくは、この人類進化に関する大きなパズルのピースを、2020年までにもっとたくさん手にしたい。遺伝学、同位体分析、古気候研究などの分野には、化石の発見と同じく進展が期待される。しかし、化石記録の地理的な完成をめざした取り組みなくして、人類の進化に関する重要な問題の答えは得られない。

## 合成生物学

George Church

ハーバード大学医学系大学院

(米国マサチューセッツ州)

遺伝学教授

DNAを読み書きするためのコストは、この10年間で100万分の1に下がった。そのスピードは、集積回路上のトランジスタ数が、時間経過とともに指数関数的に向上するという「ムーアの法則」を超えている。これから10年の課題は、分子工学と計算機とを統合して複雑なシステムを作ることだろう。DNA部品がどう組み合わせかなど、生物学的部品の作製が標準化できれば、原子レベルから集団のレベルまで、CAD（コンピュータ支援設計）技術が使えるようになる。生物学者は、例えば、触媒を最適化するように原子を配置するツールや、協力して物質を作り出すように生物集団を配置するツールを利用できるようになるだろう。

わかりやすいのは、薬物の製造・送達効率を向上させる用途だ。しかし、そのような治療法も、経口ワクチンや「プログラム可能な」個人の幹細胞のような、もっとスマートな治療法に取って代わられるかもしれない。さらに、例えば、近くにある腫瘍を感知して攻撃の準備を整え、がん細胞に穴をあけて毒素を注入するような細菌治療法も登場するかもしれない（この細菌は、天然および実験室の進化で得られたセンサー、論理機能、作動装置を備えている）。

別の用途としては、物質、バイオ燃料、食糧の生産がある。寄生生物への抵抗性をもつ作物や、たった3時間でバイオマスが2倍になる光合成生物の開発がその例だ。コストが下がるにつれ、そうした技術は、開発途上国が、肥料を浪費しながら化石燃料を大量に使う病害の多い農法を飛び越えて、クリーンで効率の高いシステムを作り上げるのに役立つだろう。それは、彼らが、高コストの地上電話網を作らずに、一気に携帯電話ネットワークを構築したのとよく似ている。

合成生物学は、既に生物学の領域を超えた影響力を示しており、2020年までにはそれがますます大きくなっているだろう。ある種の細菌が磁性ナノ粒子を利用して地球の弱い磁場を感知し、それに基づいて動き回る能力を利用したナノ記憶装置など、無数の技術が可能になるだろう。電子チップは旧来のモノづくりの限界を打ち破ったが、その電子チップも、原子レベルで正確な故障のない生物学的回路に、やがては取って代わられるだろう。三次元の「バイオプリンター」は、ほぼすべての製品の価格を劇的に下げる可能性がある。大きな課題は、合成生物学革命によるさまざまな意図せぬ結果、すなわち、環境、経済、社会への影響を予想し、その対策を打つことだ。

## 大学

John L. Hennessy

スタンフォード大学（米国カリフォルニア州）

学長

90億～100億の人口を支えながら地球生態系を維持すること、貧困の緩和、平和と安全の強化、開発途上国と先進国の双方における人類の健康の増進など、世界はますます複雑な課題に直面している。大学は、こうした諸問題を解決する方法を探求し、それに取り組む次代のリーダーを教育する、という2つの役割を果たさなければならない。

研究を中心に進める我々のような大学にとって、今後10年間における最大の脅威は、政府が直面する財政的な問題だろう。例えば米国では、予算不足で多くの州が公立大学への資金供給を圧縮しており、連邦レベルでは、研究プログラムへの資金拠出が、ゼロ成長または予算削減となる見通しだ。

こうした財政的、知的な難題を解決するために、大学は、研究と教育という使命のとらえ方について、自ら変えていこうとしなければならない。今日の地球的問題の規模と複雑さは、より協同的で学際的なアプローチを要求している。

従来、大学は、分野や学科を中心として成り立ってきた。研究資金を提供する機関も、プロジェクトを経済的に支援するとき、そうした大学の構造を反映させることが多かった。しかし、その硬直性は技術革新を妨げることがあり、時として、広い共同研究の環境を作ろうとする学生教育に対しても、障壁となる。

したがって、大学も資金拠出機関も、分野の枠を越えた研究を奨励する必要がある。狭い領域ではなく、幅広いテーマに基づく学術研究機関群が参加した研究、といったものだ。めざす挑戦課題は、それぞれがもつ伝統的な基本原則や、優秀性を保証している役割を葬らずに、新しい試みを実行することだ。

経済的な圧力が強まるにつれ、研究機関は難しい判断を迫られると考えられる。十分な強みを発揮して学生の関心を集めている領域には高い優先順位を付け、他の領域では、大きな力をもつ研究機関と提携することもありうるだろう。難しい経済状況下で学際的研究を育むための継続的な支援には、監視が必要だろう。

大学には車の両輪のような責任がある。それは、知識の境界を押し広げること、学生を教育することだ。この二重の役割により、我々は未来を形作るために貢献できるのだ。この先10年の課題は、その可能性に恥じない成果を上げることだ。

## グローバルガバナンス

Jeffrey Sachs

コロンビア大学地球研究所

(米国ニューヨーク州)

所長

2020年までに、世界では、持続可能な発展を管理するための効果的なグローバルガバナンス・システムが必要とされる。それには、4つの領域で体系的な改善が求められるだろう。

第一に、政治は専門技術を考慮しなければならない。コペンハーゲンの気候変動会議のような多国間交渉では、多大な時間を使って合意の正当性が議論されるが、科学技術に関するオプションについて議論される時間はほとんどない。技術戦略抜きに目標が発表される傾向があり、その目標は的外れになりがちだ。国連は、専門家グループを立ち上げて気候変動の緩和と適応に関わる実務を支援させ、コペンハーゲン会議をフォローアップすべきだ。数年以内に、地球環境に関する新たな体制を構築し、主要な取り決めに関係する科学技術支援について、調査・実行させなければならない。

第二に、官民による新技術への投資を、統合的システムの一環として管理すべきだ。温室効果ガスの排出から地下水資源の枯渇まで、環境関連課題のほぼすべてが技術の変化を必要としている。その実現には、官民の事業の組み合わせが必要だろう。公的部門は、監視、規制、社会

的安全性や社会認識などの問題を担当し、民間部門は、特に研究開発で利益指向の投資を先導する。両者は活動を調和させ、効果的なパートナーシップを追求しなければならない。

第三に、企業のロビー活動の制限が必要だ。これは、持続可能な発展にとって極めて危険なもの1つだ。米国では、ロビー活動、選挙運動資金、誤解をよぶ意見広告による企業の影響力が、経済と環境の効果的規制に対する大きな障害となってきた。例えば、ウォール街による強力なロビー活動は、金融の規制緩和をもたらして最近の危機を発生させ、エネルギー業界からの圧力は気候変動への対応を遅らせた。一部の国では、選挙への公的資金供給などの手段により、そうした影響力の抑制に成功した。米国も見習うべきだ。

最後に、気候、土地利用、生物多様性に関する国際合意を成立させようとするならば、貧困国向けの国際金融を改善しなければならない。貧困国に対する支援の実績はお寒いものだ。富裕国はいつも支援を約束するが、それが実施されることはない。事態を改善させようとする提案が2つ出されている。それは、外国との金融取引への減税と、炭素放出に対する地球規模の課税だ。この2つを既存の援助方式とともに実施し、開発金融の確実な源を作り出すべきだ。(小林盛方 訳)

\* 筆者は経済的利害関係を明らかにしている。詳細は、[go.nature.com/rSQXyc](http://go.nature.com/rSQXyc)のオンライン記事を参照。



# Modellers claim wars are predictable

## 戦争は予測可能か

Natasha Gilbert

Nature Vol. 462(836)/ 17 December 2009

反政府勢力による攻撃のタイミングとその犠牲者には普遍的なパターンがある、という研究成果が発表された。

ランダムと思える攻撃や謎に包まれた不可解な敵というのは、アフガニスタンやイラクでみられる反政府テロ行為の特徴だ。こうした紛争は、従来の内戦と同じように、地理的状況や政治といった地域的要因を考慮しないと理解できない、と多くの社会科学者や軍関係者は考えている。ところが、Nature 2009年12月17日号に掲載された数理モデルによれば、反政府闘争の根底には共通のパターンがあり、それによって攻撃のタイミングや死傷者数を予測できるかもしれないという。

「反政府闘争の進め方、すなわち死傷者数やさまざまな事件のタイミングは、普遍的であるとわかったのです」。こう話すのは、研究チームのリーダーであるマイアミ大学（米国フロリダ州）の物理学者 Neil Johnson だ。こうしたパターンが生じるのは、反政府闘争に一貫した命令系統がなく、下部組織が危険の察知をもとに離合集散し、その後規模や構成を変えて再結成する「寄せ集め集団」として展開されるからであり、攻撃のタイミングは、個々の反政府勢力がメディアの注目を浴びようと競い合うことで決まる、と Johnson はいう。

Johnson は、研究成果の速報を米軍関係者に提示しており、現在、アフガニスタンへの軍の派遣に対する反政府闘争を予測する研究を行っている。

### べき乗則

Johnson らは、1994～2003年のシエラレオネ内戦、2003～2008年のイラク紛争など、9つの反政府闘争における5

万4000以上の事件の攻撃のタイミングと死傷者数のデータを集め、度数分布と事象サイズをグラフ化した。そして、反政府闘争がべき乗則にほぼ従い、攻撃頻度が攻撃サイズの2.5乗に反比例することを見いだした。すなわち、1つの反政府闘争において、10人の死傷者を伴う攻撃が起こる頻度は、100人の死傷者を伴う攻撃の316(=10<sup>2.5</sup>)倍ということだ。「今回の研究で、反政府闘争がさまざまな地域や状況下で展開されているにもかかわらず、すべてに共通する何かがあることがわかりました」と Johnson は話す。

Johnson らは、この共通のパターンを説明するため、反政府グループが、危険の察知で離合集散し、メディアの注目を最大限得るためにタイミングよく複数の攻撃を加えることを前提とした数理モデルを作成し、実際の攻撃のべき乗分布に似た結果を得た。

「彼らのモデルは、データとよく一致しています。これは重要な第一歩です」。こう話すのは、サンタフェ研究所（米国ニューメキシコ州）で紛争の数学的側面を研究する Aaron Clauset だ。ただし、反政府勢力の人数が常にほぼ変わらない等の前提条件に対しては、Clauset も他の研究者も疑問を呈している。また、Johnson らの数理モデルは、反政府勢力が自由に解散、再結成されることを前提としているが、オランダ防衛研究所（ブレダ）でテロリストのネットワークを研究している Roy Lindelauf は、イラクの反政府勢力の一部は、他のグループや多国籍軍とも戦闘す



アフガニスタン紛争のような場合に、犠牲者数を予測するうえでモデルは役立つのだろうか。

ることがあり、反政府勢力が1グループにまとまることはない指摘している。

さらに、スイス連邦工科大学（チューリッヒ）で国際紛争を研究する Lars-Erik Cederman は、このモデルで「戦争に関する知識は深まる可能性がある」が、9つの紛争しか調べていないため、「普遍的な基本パターンが見つかったと主張するのは行き過ぎだ」という。すべての反政府活動が同じ動機によるものかどうかについては、ほとんど解明されていない、と話す。

「人間の社会システムでは、観察される行動パターンの背後にあるメカニズムを突き止めることが難しく、ほとんどの場合、同程度の説得力があり、検討を要する説明がいくつか存在しています」と Clauset は話す。

Johnson も、このパターンについては、別の解釈もありうると考えている。しかし、「これまでの長年にわたる研究の中で、今回発表したモデルだけが唯一、データを説明できるのです」と語っている。（菊川要 訳）

## 変動するヒマラヤの氷河・氷河湖を追う

藤田 耕史

地球温暖化の影響で、ヒマラヤの氷河も後退を続けている。氷河変動の観測では衛星画像や衛星データが有力な手段だが、地上でのフィールド調査もまた、必要不可欠な観測手法だ。地上を歩くことでしかみえてこない科学的真実がある。

**Nature Digest** — ここはかつて「水圏科学研究所」とよばれた伝統ある世界的な研究機関ですね。

**藤田** — ええ、英語名も昔とは変わってしまいましたが、フィールドワークの伝統と精神は残っていると思っています。

**ND** — 科学の歴史をみると、冒険と背中合わせの部分があります。リアルなものへの飽くなき遡及、そのために肉体と精神と頭脳の究極を追い求める科学者。観測機器や技術は進歩しても、なお、人間個人にゆだねられている制限条件は多く、その点でも、羨望と尊敬の対象となる研究分野ですね。

**藤田** — 昔は大学山岳部出身者ばかりでしたが、山岳部の衰退とともに山の未経験者が増え、いまでは、院生を1人でフィールドに送るなど、怖くてできない。でも、せっかくこの分野に入ってきた学生ですから、一人前のフィールドワーカーに育つよう、いろいろな経験を積んでもらえたらと思っています。

### ヒマラヤの氷河・氷河湖

**ND** — 今回調べられたヒマラヤの地域は、どんな所なのですか。

**藤田** — 2004年のこととなりますが、ブータンのルナナとよばれる地方で、高精度のGPSを背負って、観測をしてきました。ここは、*Nature* 2009年10月22日号<sup>1</sup>でも紹介された氷河および氷河湖のある場所です。東側から順に、ルゲ氷河、トロトミ氷河、ラフストレーン氷河などが並んで下り降りていて、それぞれの下流部に大きな氷河湖があります。

ご存じかもしれませんが、このルゲ氷河湖の南側のモレーン（氷河土砂が堆積した土手）が1994年10月7日に決壊しました。ポ川に大規模な洪水が発生し、下流の旧首都プナカにある地方政府の役所兼寺院が破壊され、死者が21人も出ました。

**ND** — 広域のようすを調べるとなると、衛星写真を利用すればすむと思いますが……。

**藤田** — もちろん衛星データは有力な観測手段ですし、私たちも利用しています。ところが、衛星観測といっても万能ではなく、当然のことに、衛星や搭載された観測装置によって誤

差も違います。衛星データが、地上の氷河の何をどの程度反映したもののかは、やっぱり、実際に現地に行って調べなければわからないのですね。

逆にいえば、現地調査でわかった事実と衛星データとをきちんと関係付けることができれば、そうしたリモートセンシングの技術やデータを、現実に役立つものとして有効に活用できるわけです。その点でも、いまなおフィールドワークの重要性は変わらないのです。

### ブータンでの詳細な地形調査

**ND** — 地上調査と衛星観測を結び付けることで、例えばどんなことがわかりましたか。

**藤田** — ルナナ地域での研究成果<sup>2</sup>ですが、まず、衛星による標高データと実際の標高との差が明らかになりました。私たちが使っている衛星などによる標高データは、ASTERとSRTMというものですが、高度に関しては、いずれも約11メートルの誤差をもっていることがわかりました。このことは、これまでに他の研究者も出していました。ヒマラヤという起伏の激しい地域で検証されたのは初めてでした。

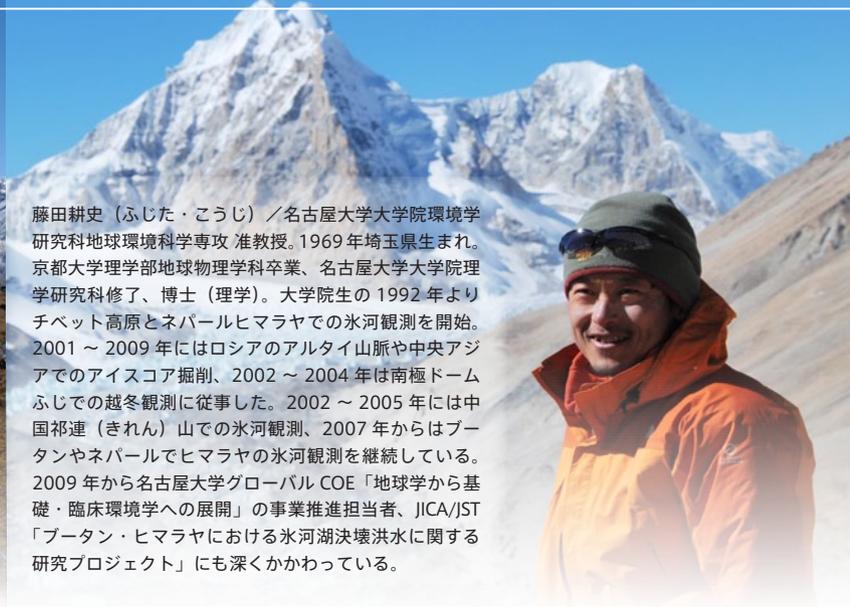
二番目の成果として、私たちは、地形を5つに分類して、それぞれの標高を比較しました。①池や氷河湖、②氷河そのもの、③川床、④モレーンの山の背部分、⑤丘の傾斜面の5つです。表面が比較的平らな①と②と③は、高い精度で標高のデータが得られます。これに対して、モレーンの頂部や急斜面の標高データは、誤差が大きくなります。

したがって、衛星データを利用する際、これら5つに分類すれば、それぞれのデータの確かさも含め、正しい現状把握につながるわけですね。

三番目の成果として、1994年に決壊した際の流出量を推定することができました。これも過去に他の研究者が発表していますが、元の文献をあたると根拠となる数字がきちんと計測されたようすがなかったりするなど、確たる値を提示する必要を感じました。私たちはより確かな数字を示せたと考えています。



ヒマラヤ・ブータンのルナナ地方。東側（写真の右側）から順に、トロロミ氷河、ラフストレーン氷河、ベチュン氷河が並んで下り降りている。それぞれの下流部には大きな氷河湖があり、これらの決壊が下流域に洪水を起こす危険性ははらんでいる。衛星データを正確に利用するには、いままお、現地での調査・測定は必須の条件だ。



藤田耕史（ふじた・こうじ）／名古屋大学大学院環境学  
研究科地球環境科学専攻 准教授。1969年埼玉県生まれ。  
京都大学理学部地球物理学科卒業、名古屋大学大学院理  
学研究科修了、博士（理学）。大学院生の1992年より  
チベット高原とネパールヒマラヤでの氷河観測を開始。  
2001～2009年にはロシアのアルタイ山脈や中央アジ  
アでのアイスコア掘削、2002～2004年は南極ドーム  
ふじでの越冬観測に従事した。2002～2005年には中  
国祁連（きれん）山での氷河観測、2007年からはブ  
ータンやネパールでヒマラヤの氷河観測を継続している。  
2009年から名古屋大学グローバルCOE「地球学から基  
礎・臨床環境学への展開」の事業推進担当者、JICA/JST  
「ブータン・ヒマラヤにおける氷河湖決壊洪水に関する  
研究プロジェクト」にも深くかかわっている。

四番目として、これまでは、1994の決壊の理由として、上流部の池があふれてルゲ氷河湖に流れ込んだという説が提案されていましたが、私たちは、決壊前後の衛星画像を詳細に調べ、また現地調査の際にも詳しく調べた結果、ルゲ氷河から氷河湖に向かってU字型に湾曲している部分の所で、北側のモレーンが崩れて開いたことを突き止めました。

五番目の成果は、実際面で有効と思われる成果です。氷河湖の崩壊というのは地震と同じで、「いつ起こるのか」を予測することは簡単ではありません。もちろん、網羅的に現地調査をすればよいのですが、ヒマラヤの氷河湖というのは何千もあるのです。それをいちいち全部調べ続けるのはほとんど不可能です。しかし、「どの部分で起こりそうか」ということは、ほぼわかるのでは？という提案をしました。

**ND** — 氷河湖をせき止めているモレーンが薄く細くなっている部分が危ない、というわけですね。

**藤田** — いいえ、そう単純ではありません。実際、これまでも、衛星画像からそうしたモレーン部分を抽出し、危険個所がいくつある、とかいった話が公表されてきました。ところが私たちが詳しく調べてみると、例えば薄く細くなっている部分でも、湖面に対してモレーンの外側にある河床が高い場所とか、モレーンの傾斜が緩やかだとか、決壊する危険性が少ないところもあることがわかったのです。また、流れ出る水位の標高と下る先の標高との差が小さければ、危険性は低くなるわけです。

つまり、決壊の危険性というのは、湖水が流出する可能性のある場所で、傾斜が急で標高差が大きいことだといえるわけです。このような視点で、ルナナ地方で4つの個所について、それぞれの場所の傾斜を提示しました。現在実施中のJICA/JSTプロジェクトの中では、このアイデアをより広域に適用すべく解析を進めています。

### きつー一言

**ND** — 雪氷学、氷河変動という基礎科学そのものと思

えない学問の研究者が、災害という現実的なテーマに結び付いたのには、何かきっかけがあったのですか。

**藤田** — 私の研究テーマは「氷河変動」でして、1990年代から、途中、南極での越冬観測を挟んで、チベットやネパールで氷河の調査を進めてきました。ヒマラヤにおける氷河変動の観測<sup>3</sup>とモデリング<sup>4</sup>が、本当の専門分野です。

私たちの研究室には10年ほど前に<sup>あけた</sup>上田豊先生（名古屋大学名誉教授、2007年に退職）を中心とする「ブータン好き」のグループがあって、1998年からブータンでの氷河観測を継続していました。ただ、観測の担い手であった若手が就職などで長い期間のフィールド調査に集まりにくくなり、2004年の一区切りとなる調査の時に私が手を挙げたというわけです。でも、最初は氷河の変化を調べるのが中心でして、氷河湖には直接タッチしませんでした。ところが、観測を終えて戻ったティンブー（ブータンの首都）で、ブータン側の責任者であるドルジ・ワンダさんから、きつー一言をもらいました。「君らはデータが取れてハッピーかもしれないが、結局君らの調査の何がブータンの役に立つんだ？」って。

ブータンの人々が基礎科学に対する理解が少ないといえれば、それはそうだと思います。でも、氷河湖の問題に対しては「そのうち役に立つかも」などと悠長なことをいってられない。今回のように決壊の危険場所を詳細に指定できたことは、ワンダさんへ1つの回答になったかな、とも思いますし、現在進めているプロジェクトで、より発展させていきたいと考えています。

**ND** — 科学の最も大事な原点の1つである山岳フィールド研究の伝統を、今後もつないでいてください。どうもありがとうございました。 ■

聞き手は、松尾義之（サイエンスライター）。

- 1 Nayar, A. *Nature* **461**1042-1046 (2009)
- 2 Fujita, K. et al. *Journal of Glaciology* **54**220-228 (2008)
- 3 Fujita, K. et al. *Journal of Glaciology* **43**583-588 (1997)
- 4 Fujita, K. *Earth and Planetary Science Letters* **276**14-19 (2008)

# The Energy Storage Problem

## 電力エネルギーの貯蔵問題

David Lindley

Nature Vol. 463(18-20)/7 January 2010

再生可能エネルギーの普及は、大規模な電力エネルギー貯蔵が可能にならないかぎり、期待できない。そこで、カギを握る5つのエネルギー貯蔵技術について検証してみた。

2008年2月、突然の寒気が西テキサスを襲い、いつも吹いている風がやんでしまった。当然のことに、この地域に点在する数千基の風力タービンが回転スピードをゆるめ、やがて動きを止めた。地元の電力会社は、電力系統に接続されているほかの発電所から不足分の電力を調達することができなかったため、1時間半後に再び風が吹き出すまで、一部の利用者への電力供給を停止せざるをえなかった。

電力会社が数十万キロワット時 (kWh) のエネルギーを貯蔵し、非常時にそれを利用できるようなシステムをもっていたら、この程度の無風状態は、何の問題にもならなかったはずだ。けれども現実とは違っていた。電気エネルギーはたちまち失われてしまい、これを大量に貯蔵するのは困難で、コストも高い。

電気エネルギーを貯蔵する適当な方法がないことは、数十年にわたって電力会社を悩ませてきた。電力会社は電力の安定供給を義務付けられているが、電力需要はたえず変動している。そのため彼らは、石炭火力発電所の出力を調節したり、電力需要がピークに達する時間帯だけガスタービン発電を行ったりしてきたが、こうした方法はコストが高く、効率も悪かった。

けれども近年、電力需要に応じていく形の電力供給戦略が、通用しなくなってきている。これは、発電量を予測できない再生

可能エネルギー源の利用、特に太陽光発電と風力発電が増えてきたためである。テキサスの例が示すように、これらの技術による発電量は、人間の需要ではなく自然の気まぐれによって決まってしまう。米国オハイオ州コロンバスの American Electric Power (AEP) 社のエネルギー貯蔵技術部長であり、ワシントン DC の電力貯蔵協会の会長でもある Ali Nourai は、「私たちが使用するエネルギーのかなりの部分を再生可能エネルギー源から賄おうとするなら、エネルギー貯蔵の技術が絶対に必要になります」という。

エネルギー貯蔵の技術は既に何種類も開発されていて、なかには数十年の歴史をもつものもある。問題は、それぞれのエネルギー源や場所に最もよく合った技術を用いつつ、その技術を、耐久性があり、信頼が置け、経済的に競争力のあるものにしていくことにある。

オランダのアレンヘムにあるエネルギーコンサルティング会社 KEMA の Jillis Raadschelders は、「どの技術にも、それぞれほかにはない特徴があるのです」という。したがって、「どれか1つの技術が勝ち残るということにはならないでしょう」。最適な技術を選択するためには、個々の技術をもう少し詳しくみていく必要がある。

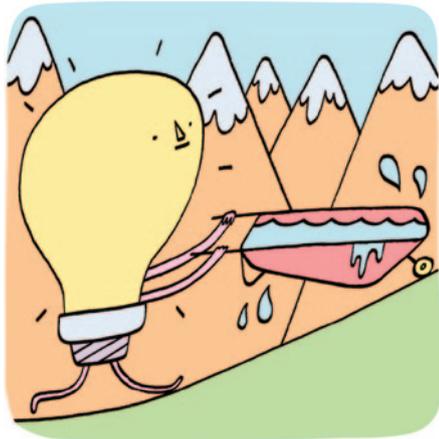
### 水を汲み上げる揚水発電技術

北ヨーロッパの人口密度が高い地域では、エネルギー貯蔵の必要性が特に高い。ここでは、沖合に風力タービンを建造して、北海から吹いてくる風を利用している。デンマークは既に陸上および海上の風力による発電量が全体の20パーセントを占めており、2025年までにこの数字を50パーセントに引き上げることを予定している。しかし、北海の風は数日間にわたって弱ま

ることがあるため、デンマークやオランダなどの電力系統は、ノルウェーの電力系統との接続を増やしている。ノルウェーは、電力の大半を水力発電によって賄っているからだ。

ノルウェーの山岳地帯の貯水池は、普通の水力発電所として予備的に利用されるだけでなく、揚水発電所としてかなりの量の電力を供給することができる。揚水発電所とは、余剰電力があるときに高

所の貯水池に水を汲み上げておき、電力が足りなくなったときには、この水を下に落とすことで発電機を回す施設である。揚水発電のエネルギー貯蔵効率は70～85パーセントで、現時点の大規模な電力貯蔵技術の中では、最も成熟し、最も普及したものになっている。例えば、中国、日本、米国には、数万～数百万キロワット (kW) の発電能力をもつ揚水発電所が多数建設されている。揚水発電はとりわ



け風力発電と相性がよい。上部貯水池に汲み上げられた水は長期にわたってそこにあるため、風力発電所の発電量が大きく変動するときにも、安定して電力を供給できるからだ。

とはいえ、従来型の揚水発電所は山がなければ建設できず、地理的条件に恵まれた地域でしかこの方法は利用できなかった。また、揚水発電用の貯水池の建設には多額の費用がかかり、環境破壊を引き起こす傾向もみられる。さらに、遠隔地の揚水発電所を送電網に接続するための高圧送電線の設置は、環境保護の観点から反対されることも多い。

揚水発電所の発電量を大幅に増やしたいなら、山を離れる必要がある。KEMAは、北海の浅瀬に「エネルギー島」を建設し、ここに風力タービンと上部貯水池の両方を設置するという革新的なシステムを提案している。このシステムでは60平方キロメートルほどの海域を堤防で囲い込み、人工湖をつくる。堤防の上には風力タービンを設置し、余剰電力があるときには、それを使って湖の水を海に汲み出す。電力が不足したときには、水を汲み出した湖に海水を流れ込ませて発電すれば、貯蔵しておいた余剰電力を使ったことになる。KEMAの見積もりによると、このエネルギー島は、風がなくなったときに、平均150万kWの電力を12時間にわたって供給できるという。

### 空気を地中に押し込める CAES 技術

ドイツのハンブルク南西100キロメートルほどのところにフントルフという町がある。このフントルフの近郊の農地に、一見、何の変哲もない産業施設がある。けれども実は、この施設は非常に変わった仕事をしている。地域の電力需要が少ないときに、余剰電力を使って空気を圧縮し、地中の岩塩層にあって2つの空洞に送り込んでいるのだ。2つの空洞を合わせると、その容積は30万立方メートル以上になる。電力需要が多くなってきたら、ここに貯蔵されている圧縮空気を解放し、膨張する空気地表のガスタービンを回して発電するという仕組みだ。

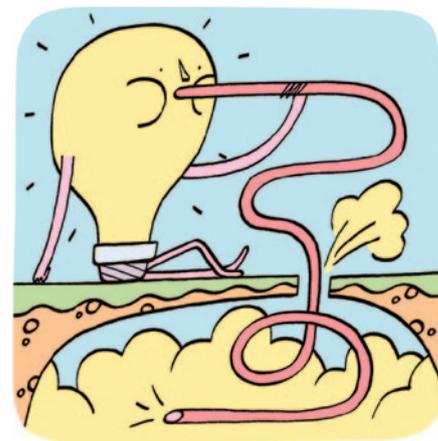
フントルフの施設は1978年から稼動しており、約30万kWの貯蔵電力を3時間近く供給することができる。稼動頻度は1年間に約100回だ。けれども、世界的にみても、これに類する施設は少ない。米国アラバマ州マッキントッシュには、同様の、より小規模な施設があり、1991年から稼動している。2002年にはアイオワ州に同じような施設を建設するプロジェクトが始まったが、現時点ではまだ試掘用の土地を取得するところまでしか来ていない。

このような圧縮空気貯蔵(CAES)施設は、原理は単純だが、実際に運用するとなるとはるかに複雑だ。まず、空気を圧縮すると温度が上昇するため、地中に安全に貯蔵できる空気の量には限界がある。また、空気を圧縮するために投入されるエネルギーのかなりの部分が温度上昇に使われているが、高温になった空気を長時間貯蔵していると、その熱は空洞の壁に逃げていってしまう。さらに、圧縮空気が解放される際には、膨張して温度が下がる。そのため、フントルフやマッキントッシュの施設では、解放された空気は普通の天然ガスタービンに導かれており、その効率を上げるのに利用されている。つまり、CAESの役割は、どちらかといえば従来型の天然ガス発電所の効率を上げることにあるのだ。

米国カリフォルニア州パロアルトにあ

る電力研究所(EPRI)の研究者Haresh Kamathは、再生可能エネルギー源を利用して夜間により多くの電力を貯蔵できるようになってきた今、こうしたハイブリッド(混成)施設は、短期的には「極めて理にかなったもの」であるという。けれども彼らは、将来的には化石燃料を必要としない真のエネルギー貯蔵システムにすることをめざして、CAESの改良に取り組んでいる。こうした「先進の断熱システム」は、圧縮空気の熱を逃がさずに貯蔵し、この熱を使って解放された空気を再加熱することで、燃料を追加することなくタービンを直接回せるようになるはずだ。ドイツのオーベルハウゼンにあるMAN Turbo社の研究者Christoph Jakielは、昔から鋳物工場や高炉では耐火レンガなどに廃熱を捕らえてきたのだから、この技術を圧縮空気の貯蔵に応用するのは容易なはずだと指摘する。

Jakielは、そうしたシステムの効率は80パーセントをやや下回る程度で、揚水発電所の効率に匹敵すると見積もっている。建設と操業全般に関するコストも同程度であろう。世界中どこでも、建設に適した土地を見つけるのは困難ではないはずだとJakielはいう。空洞のある岩塩層は珍しくないし、アイオワ州貯蔵エネルギーパークが提案どおりに建設されるなら、圧縮空気は帯水層(地下水を含む地層)に送り込まれることになる。



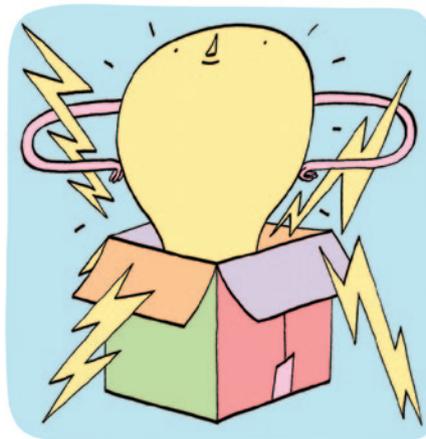
## 電気を容器に入れる蓄電池技術

1世紀近く前から自動車のバッテリーに用いられているのが鉛蓄電池で、このどこにもある技術を電力会社が利用していたら、大規模な電力貯蔵の問題は解決していたはずだ。ところが鉛蓄電池には、エネルギー密度が低いという欠点がある。つまり、貯蔵できるエネルギーの量に比べて、鉛蓄電池は大きすぎ、重すぎるのだ。そのうえ、あまり何度も充電と放電を繰り返すことができない。

電力の貯蔵に使うならナトリウム硫黄電池 (NaS 電池) のほうが優れている。NaS 電池は、多硫化ナトリウムをナトリウムと硫黄に化学分解することによってエネルギーを蓄え、2つの元素を再び反応させることによってエネルギーを放出する。NaS 電池のエネルギー密度は高く、充電と放電を数千回も繰り返すことができる。主な短所は、約 300℃の溶融したナトリウムと硫黄を別々に貯蔵しなければならないことである。また、この電池は、完全に放電して冷えてしまうと、回復不能なダメージを受けてしまう。

このように、NaS 電池にはさまざまな技術的要請のほかに頑丈な容器が必要とされるため、その発電コストは 1 kW 当たり約 3000 ドル (約 27 万円; 1 ドル = 90 円で換算、以下同様) にもなる。標準的なガス発電プラントの発電コストが 1 kW 当たり約 1000 ドル (約 9 万円) であることを考えると、コスト面では劣っている。それにもかかわらず、名古屋に本社を置く日本ガイシは市販用の NaS 電池を開発した。日本には現在、電力が不足したときに送電網に約 30 万 kW の電力を 6 時間にわたって供給できる施設がある。ほかの国々も開発を急いでいる。例えば、米国では、AEP や Xcel Energy 社 (ミネソタ州ミネアポリス) などの企業が先頭に立って約 1 万 kW の NaS 電池を設置したほか、同規模の施設の設置を進めている。

将来的には、リチウムイオン電池が、NaS 電池を利用した大規模な電力貯蔵技術のライバルになるかもしれない。リチウ



ムイオン電池は、既に携帯電話用やノートパソコン用のものが普及しており、電気自動車用のものも開発が進んでいる。そのエネルギー密度は高く、効率は 90 パーセント以上にもなる。大きな欠点はコストだが、これは安全性への配慮と関係している。リチウムイオン電池では有機溶媒中のリチウム塩が使われているが、これは可燃性であるため、構造を頑丈にして火災を防ぐ必要があるのだ。現段階では、家電用リチウムイオン電池の蓄電のコストは 1 kWh 当たり数百ドルである。しかし、自動車用の蓄電池を普及させるためには、このコストを 1 kWh 当たり 100 ドル (約 9000 円) 程度まで下げる必要があるし、送電網に電力を供給するためにはさらに下げる必要がある。

とはいえ、Nourai は依然として楽観的である。彼はその根拠として、厳重に格納され、固定された蓄電池施設は、携帯用蓄電池よりも容易かつ安価に安全を確保できることを挙げている。また、リチウムイオン技術はアジアでは特に手厚く支援されており、メーカー間の競争も激しいため、大幅なコスト削減が期待できるとも指摘する。最近、中国で貨物輸送用コンテナ大のリチウムイオン施設を見てきた彼は、数年後には 1000 kW 以上の出力を達成できるようになるだろうとみている。

米国マサチューセッツ州ケンブリッジのマサチューセッツ工科大学 (MIT) では、材料化学者 Donald Sadoway が、コス

ト削減に向けた、より急進的なアプローチに取り組んでいる。「私がめざしているのは格安の蓄電池です」と彼はいう。「そのためには、土を原料にすればよいのです」。つまり、地殻に豊富に含まれているケイ素、鉄、アルミニウムなどの元素を電池の原料にするのである。これらの元素の電気化学的性質について新たな発見がなされる余地はほとんどないが、電池を作るためには、2つの電極で1つずつ、合わせて2つの化学反応と、イオンがうまく移動できるようにするための電解質の組み合わせを決める必要がある。考えられる化合物と化学反応の組み合わせは膨大で、そのほとんどが検証されていない。Sadoway は、その中から最適な組み合わせを選び出すことは可能であると考えている。スーパーコンピューターを使って蓄電池の化学的性質を短時間で評価するにすれば、研究者がいちいち材料を合成し、検証を行う必要はなくなるというのだ。おそらく今後 10 年間で、「発見のペースは加速するでしょう」と彼はいう。

## フライホイール技術

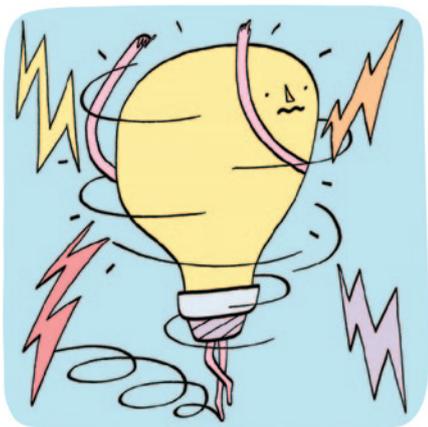
回転するフライホイール (はずみ車) にエネルギーを蓄えることは、少なくとも概念的には、最も単純なエネルギー貯蔵法の 1 つである。電力が余っているときには、モーターに電気を通してフライホイールを回転させ、電気エネルギーを運動エネルギーへと変換する。電力が不足したときには、回転しているフライホイールを発電機につなぐと、フライホイールが減速して運動エネルギーが取り出され、電気エネルギーが発生する。

この方法も、実際にはそう簡単にはいかない。フライホイールは非常に速く回転しなければならないが、飛び散ってしまうだけの強度も必要だ。フライホイールを使った電力貯蔵システムは、そこそこの量の電力を数秒間から数分間だけ供給できる無停電電源装置として市販されているが、電力会社が必要とするような長時間

にわたる電力貯蔵については、ほかの方法に比べて劣っている。

フライホイールの大きな長所の1つは、数秒あるいは数分以内にエネルギーを吸い上げ、同じくらい速やかにそれを戻せることにある。送電網の周波数の制御には、まさにこの性質が必要とされる。送電網の周波数は国ごとに決まっていますが、常に毎秒50サイクルか60サイクルに維持しなければならないが、瞬間的に大きな負荷がかかってタービンが減速すると、周波数が低下する傾向がある。どこの電力会社も、これを安定に保つのに苦労している。

この点に注目した米国マサチューセッツ州ティンズボロの Beacon Power 社は、10年前から周波数制御に最適化したハイテクフライホイールの開発に取り組んできた。このフライホイールの高さは約2メートル、直径は1メートルで、モーター兼発電機を格納する筒状のアルミニウムコアと、炭素繊維複合材のリムからできている。フライホイールは、磁気軸受を利用して真空密閉容器の中に浮かせてあり、最大で毎分1万6000回転することができる。Beacon社の最高技術責任者である Matthew Lazarewicz によると、この装置は20年以上メンテナンスなしで稼働するよう設計されているという。また、この装置は85パーセントの効率でエネルギーを蓄えることができ、耐用年数の間に、おそらく数百万回も加速と減速を繰り返すことができ、蓄電池よりはるかに長持ちするという。

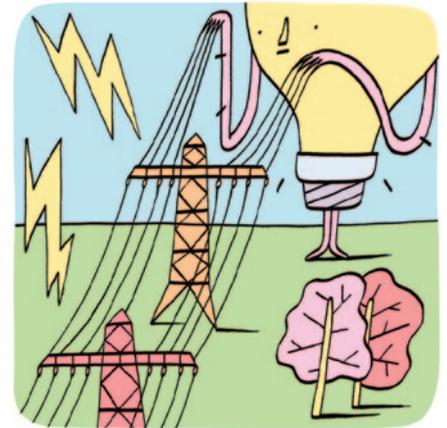


現在の課題はコストを下げることにある。Beacon社は、米国エネルギー省(DOE)による債務保証付きのプロジェクトを請け負ったおかげで、この課題を克服できそうである。同社がニューヨーク州ステューヴンタウンで建設に着手したフライホイール蓄電施設は、200個のフライホイールから構成されていて、出力は2万kW、建設費は7000万ドル(約63億円)である。この施設は、地域の送電網の周波数の制御を手伝うことになる。予算には、連邦債務保証を受ける資格の取得に関連した多くの一時的費用が含まれている。同社は、この規模の施設の建設費は、将来的には5000万ドル(約45億円)以下になると見積もっており、できれば3000万ドル(約27億円)程度にまで下げたいと考えている。2009年11月には、米国エネルギー省がBeacon社に、イリノイ州シカゴの郊外に新たに建設されることになった2万kW規模の蓄電施設の建設費の半額に当たる2400万ドル(約22億円)を提供した。

### スマートグリッドとの組み合わせ

大規模なエネルギー貯蔵法の候補になりうる技術には、もっと風変わりなものもある。ただし、そのためには研究者の努力によりコストを引き下げ、競争力を付ける必要がある。こうした技術の例としては、電極のすぐ近くの原子数個分の厚みの層に膨大な量の電荷を貯蔵する「ウルトラキャパシター」や、永久に循環する電流を大量に貯蔵する超伝導コイルがある。

しかし、電気エネルギーの大規模貯蔵に関するアプローチの中で最も費用対効果に優れているのは、貯蔵の必要性を最小限に抑えることである。これは米国の景気刺激策が掲げる目標の1つであり、再生可能エネルギー源の利用、エネルギー効率、および「スマートグリッド」の研究開発のために43億ドル(約3兆9000万円)が割り当てられている。スマートグリッドは、電力需要の予測不能な変動に合わせて電力供給を調節するだけでなく、需要そのものも



調節するシステムである。例えば、電力需要がピークに達したときには、家庭用冷蔵庫やオフィスの空調システムやその他の急を要しないものの電力の使用量を減らすのだ。調節が行われるのは一瞬で、誰も気がつかないうちに元に戻るが、全体の負荷の変動を緩和するにはそれで十分である。

このようなシステムでは、エネルギー貯蔵技術とスマートグリッドの技術が協働するため、それぞれの技術を単独で用いる場合に比べて、送電網への負荷の変動の幅をさらに小さくすることができる。Nouraiはいう。「変動をなくすことは不可能ですが、エネルギーを貯蔵することで、変動の幅を小さくすることができるのです」。彼は、将来的にはかなり小さなコミュニティでも「ネットゼロ」、つまり、平均すると需要に見合った量の電力を作り出し、少量の電力を近隣のコミュニティと融通し合うことにより、電力の安定供給を実現できるようになるとみる。そうなれば、狭い地域を相互に連結する送電線の電圧を低くし、遠隔地の太陽光発電所や風力発電所と人口密集地域を結ぶ長距離送電線だけを高圧にすればよくなるだろう。その変化は、エネルギー貯蔵に関する「我々の考え方や実際の運営方法や将来の計画を変えるでしょう」とNouraiはいう。(三枝小夜子 訳) ■

David Lindley は、米国ヴァージニア州アレキサンダリア在住のフリーランスのライター。

# Dirty pigs beat disease

## 汚い環境で育った子ブタは病気に強い

Natasha Gilbert

Nature Vol. 462(558)/3 December 2009

汚れた子ブタは、のちのち強力な免疫系を作り上げていくのに役立つ「有益な」細菌を取り込んでいる、とする研究成果が得られた。きれいなブタのような生活は、健康によいものかもしれない。

この成果は、衛生に関するある仮説を支持する。それは「出生からしばらくの間に微生物との接触がないと、免疫系の発達に悪影響が及び、アレルギーや炎症性腸疾患のような病気にかかりやすくなることがある」というものだ。

研究を進めているアバディーン大学（英国）の消化管免疫学者 Denise Kelly によれば、この結果は、幼年期の微生物との接触と、免疫の健康や遺伝子発現との間の直接的な関係を初めて明らかにしたものだ<sup>1</sup>。これまで、こうした関係は二次的なものとされていた、と Kelly はいう。「腸の微生物叢、およびそれが免疫機能と病気やアレルギーへのかかりやすさに

どのように影響しているのかを巡っては、さまざまなことがいわれてきました」。

デカルト大学（フランス・パリ）の免疫学者 Jean-Francois Bach によれば、この「衛生仮説」は今や多くの研究者に受け入れられているが、その仕組み、すなわち、微生物叢が腸内でどんな役割を果たしているのか、病気から体を守るうえで感染がどう役立つのかなどに関しては、まだ謎が残されている。Bach は「生まれた直後の日々がとても重要だということを、この論文は示しています」ともいう。

研究チームは子ブタを 54 頭用い、それを屋外の環境、屋内の環境、それに毎日抗生物質を投与する隔離条件の 3 集団に等分して飼育した。子ブタは、5 日目（新生児期）、28 日目（離乳期）、56 日目（ほぼ成熟期）にサンプリングし、腸組織と糞を分析した。

その結果、屋外飼育の子ブタの腸にみられた細菌の 90 パーセントが、ファーミキューテス門のものであることがわかった。その多くは「乳酸桿菌科」の細菌で、これらは大腸菌やサルモネラ菌などの腸内病原菌を抑える能力をもつことで知られている。一方、屋内飼育の子ブタでは、腸内微生物叢に占めるファーミキューテス細菌は 7 割に届かず、隔離条件の子ブタでは、かろうじて 5 割を超えるにとどまった。こうした清潔な環境で育った子ブタでは、乳酸桿菌科の細菌の割合も大幅に低かった。

Kelly らは、腸内微生物の違いが子ブタの免疫系と関連する遺伝子の発現に影響

していることも発見した。隔離環境で育った子ブタが炎症性免疫応答やコレステロール合成に関与する遺伝子を多く発現していたのに対して、屋外育ちの子ブタは、感染と戦う T 細胞に関係する遺伝子を発現していた。

レディング大学（英国）の食物微生物学者である Glenn Gibson によれば、これまでの研究からは、免疫応答が腸内の生物と関係していることが示唆されているという。「今回は、遺伝子発現の応答を免疫応答と結び付けることによって、研究が一步前進しました」と Gibson は語る。しかし、この研究で使ったのは子ブタであり、結果が人間に当てはまるかどうかはよくわからない、ともいう。

王立リバプール大学病院（英国）の胃腸病専門医である Jonathan Rhodes は、「クローン病」という消化管の慢性炎症の患者にも、清潔な子ブタと同じようにファーミキューテス細菌が少ないことを指摘している。しかし、クローン病患者では、屋外飼育の子ブタと同様、細菌の多様性も全体的に低くなっており、今回の研究成果から人間の病気を直接推測することはできないのではないか、と付け加えている。

しかし、Kelly は、人間とブタは臓器のサイズが同程度であり、腸内にみられる微生物も似ているので、こうした研究ではブタがモデル動物として優れていると主張している。（小林盛方 訳）

1. I. E. Mulder et al. *BMC Biol.* 7, 79; 2009



屋外飼育の子ブタには、屋内で飼育された子ブタよりも「有益な」腸内細菌が多かった。

## 太陽系外惑星

# Water world larger than Earth

## 地球より少し大きな「水の惑星」の発見

Geoffrey Marcy

Nature Vol. 462(853-854)/17 December 2009

地球のわずか2.7倍の大きさの惑星が発見され、地球に似た世界の探索が大きく前進した。この惑星の質量と大きさは、「水の惑星」ともよばれる「水を大量に含んだ仮説上のスーパーアース（巨大地球型惑星）」の理論的な予測値とほぼ一致している。

科学における重大な発見は、数十年間にわたる忍耐を続けていく中で、思いがけなく、偶然に起こることが多い。それまでの測定限界を間違いなく超える次世代装置を開発し、それによって限界をちょうど超えたとき、長く探し求めてきた科学のフロンティアが見つかるかといえば、実はそういうケースはまれなのだ。ハーバード・スミソニアン宇宙物理学センター（米国マサチューセッツ州ケンブリッジ）のDavid Charbonneauらは、このまれなケースの発見例を*Nature* 2009年12月17日号891ページに発表した<sup>1</sup>。彼らは、これまでで最も反論の余地のない証拠を携えて、我々の地球によく似た太陽系外惑星を発見した。

Charbonneauらは、シンプルで斬新な惑星探索方法を開発した。彼らは、アマチュア天文家が使うような直径40センチメートルの反射望遠鏡を8基使った。各望遠鏡には、星の近赤外域での明るさを測定する電荷結合素子（CCD）光検出器を備えつけた。例えば、明るさが約1時間にわたって低下し、その現象が数日、数週間にわたって時計のように繰り返す星が見つかったとしよう。すると、その星はおそらく、軌道を回る惑星がその前を通過し、その星の光の一部を一時的にさげざるために暗くなったと考えられる。このとき、明るさの減少量は、そのまま、星の大きさに対する惑星の相対的な大きさを示すことになる。彼らが求めたのは、地球に近い大きさの惑星の検出だ。この目的のために、Charbonneauらは、地球に近い大きさの惑星でも親星の光の少なくとも1パーセントをさげることができると考えられる「半径の小さな星」を、地球近傍の星のリスト<sup>2</sup>から2000個選び出した。

Charbonneauらのチームは、小さく、かすかな恒星GJ 1214が、1.6日ごとに52分にわたって明るさが1.3パーセント減少し、それを繰り返すことを発見した。この唯一の納

得できる解釈は、惑星がこの恒星の周りを公転周期1.6日でも回り、その惑星の半径はこの恒星の半径の約12パーセントであるということだ。恒星の半径の信頼できる見積もり（太陽半径の21パーセント）から、惑星の半径は地球の半径のわずか2.7倍と見積もられた。太陽以外の星の周りを回るこれほど小さな惑星が見つかったことは驚くべきことだ。ちなみに、地球に近い大きさの太陽系外惑星は、現在利用できる観測装置では、このほかに1個だけ報告されている。それはCoRoT-7bという惑星で、半径は地球の1.7倍だ。今回の新しい惑星は地球から約13パーセク離れており、GJ 1214bと名付けられた。重要なのは、今回の惑星は親星を重力で引っ張っていて、最大で12 m/秒の速さで動かしており、Charbonneauらの研究チームがそれを星の光の波長のずれ（ドップラー効果）の測定で検出したことだ。推測された惑星の質量は地球のわずか6.6倍で、その半径から密度を計算すると1.9 g/cm<sup>3</sup>になる。地球の平均密度はずっと高く5.5 g/cm<sup>3</sup>だ。水の密度は約1 g/cm<sup>3</sup>と低いので、新しい惑星の化学的な構成は、おそらく岩と水の混合物であり、水素とヘリウムからなる少量の大気をもっている可能性もある。

この惑星に、有機物に富んだ池や湖をもつのに適した固い表面が存在する可能性はあるのだろうか。天文学的事実から信頼性の高い推測が可能だ。惑星が形成される場所は、若い星の周りを回転する、塵とガスでできた原始惑星系円盤である。原始惑星系円盤は、水素とヘリウムガス、炭素、窒素、酸素の化合物、金属の鉄とニッケルの混合物で、これらの成分の比率はどの原始惑星系円盤でもおおむね同じである。このことは、太陽を含む私たちの銀河系のほとんどすべての星についていえる。鉄、ニッケル、ケイ酸塩、水で構成される固体の塵粒子は、互にくっつき合っ

きな微惑星に成長し、すべての惑星の基礎となるコア（中心核）を形成する。

固体成分の相対的な比率は、どの原始惑星系円盤でもあまり変わらない。これには2つの理由がある。第一に、星の固体物質を作っているのはおもに炭素、窒素、酸素、ケイ素、マグネシウム、鉄だが、どの星でもこれらの元素の存在度はほとんど同じであり、違っても2倍以内だからだ。第二に、一酸化炭素とケイ酸塩のギブズ自由エネルギーは負でその絶対値が大きいので、反応物（炭素とケイ素）の量が許すかぎり多くの酸素を封じ込める。それでも大量の酸素が残り、ギブズ自由エネルギーがもっと高い水の氷も形成される。こうして、ケイ酸塩と水は、鉄とニッケルの塵粒子とともに、原子惑星系円盤の低温領域における固体物質質量の大部分を占めるわけだ。

これらの固体物質は、土星や海王星などの大きな惑星の基本構成要素になるし、今回の惑星のようなもっと小さな惑星においても基本構成要素かもしれない<sup>1</sup>。しかし、今回の惑星の密度は  $1.9 \text{ g/cm}^3$  であり、各成分の相対量に制限を課す。惑星の密度をこれほど低く保つには大量の水を含んでいる必要がある。もしも新しい惑星が鉄とケイ酸塩のみでできていたら、その密度は地球の密度と同じくらいだっただろう。しかし、新惑星はその質量の約50%におよぶ大量の水を含んでいるに違いない。

一方、大気中の水素とヘリウムガスの量については予測がつかない。低密度である水素とヘリウムを惑星が含んでいれば、全体の密度は低くなる。それをコアの中の鉄の量を増やすことによって相殺し、全体の密度を測定値の  $1.9 \text{ g/cm}^3$  にすることは可能だ。しかし、惑星ができる環境を考えれば、ほとんどが鉄と水素やヘリウムでできていて水がほとんどない、という惑星は生まれそうにない。鉄、岩、水素、ヘリウムを含むいかなる惑星も、同様に大量の水を含んでいるはずだ。だから、今回の新しい惑星は鉄やニッケルでできたコアとケイ酸塩のマンテルをもち、惑星質量の50パーセント近くを占める水がそれを取り囲んでいると考えられるのだ（図1）。こうした惑星はおそらく、異常に深い海をもっており、親星からの加熱によって平衡表面温度は  $190^\circ\text{C}$  程度と考えると、海は液体になっているだろう。サウナのような水蒸気でできた大気をもっている可能性はあり、この大気は紫外線照射によるゆっくりとした光分解と流出で失われていく。水素あるいはヘリウムでできた薄い上層大気が存在する可能性も考えられる。

そうすると、人間中心的な見方からは重大な疑問が生じる。質量の50パーセントが水である惑星を、本当に私たち地球の親類とよべるのだろうか。土星や海王星と同じように、岩でできたコアが、大量の水とガスを重力によって捕まえてこ

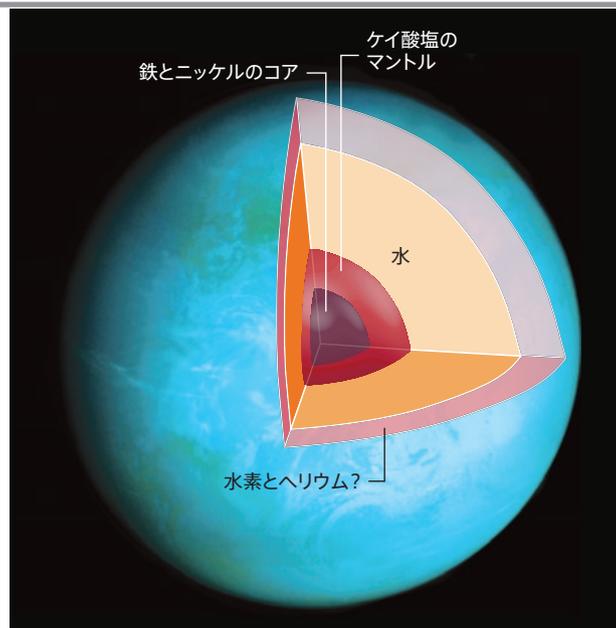


図1 水を大量に含んだスーパーアース？ 新しく見つかった太陽系外惑星 GJ 1214b は、おそらく、鉄とニッケルでできたコア、ケイ酸塩の岩でできたマンテルの周囲に、莫大な量の水を含んでいるだろう。また、水素とヘリウムの薄い大気をもっているかもしれない。このスーパーアースの半径は地球の2.7倍しかなく、距離も地球から13パーセク（1パーセクは3.26光年）しか離れていない。地球によく似た惑星の発見がさらに近づいた。

の惑星はできたのではないのか。地球が含んでいる水は、その質量のわずか0.06パーセントにすぎない。水素とヘリウムガスはほとんどなく、地球は乾燥した環境の中で生まれたのだ。今回の新しい惑星は、その大きさという点では地球に近いが、近親者ではないかもしれない。

とはいえ、Charbonneau のチームは、地球に似た惑星の発見が、将来、十分に可能であることを印象づけた<sup>1</sup>。彼らの取り組みは始まったばかりであり、もっと小さく、岩の多い惑星が今後見つかるだろう。一方、地球に似た惑星が、親星に近い軌道を回るために親星が重力によって揺れる現象が、精密なドップラー測定によって検出されるかもしれない。最も有望なのは、米航空宇宙局（NASA）の宇宙望遠鏡「ケプラー」だ。ケプラーは2009年に打ち上げられ、10万個の星を監視している。ケプラーは星の明るさの1万分の1の変化を検出でき、本当に地球程度の大きさの惑星を容易に発見できる。そしていつの日か、NASAの宇宙干渉計計画（SIM）のような大きな宇宙干渉計と巨大なカメラが打ち上げられ、地球から近い、岩でできた惑星の地形、海洋、大気を見だし、撮影し、分光器で分析できるだろう。約2400年前、古代ギリシアの哲学者、アリストテレス、エピクロス、デモクリトスらは「この宇宙に地球のような場所はほかにはない」と考えた。この説が正しいかどうか、答えはこうした新技術によって得られるはずだ。（新庄直樹 訳）

Geoffrey Marcy, カリフォルニア大学バークレー校天文学科（米国）。

1. Charbonneau, D. *Nature* **462**, 891–894 (2009).

2. Lépine, S. *Astron. J.* **130**, 1680–1692 (2005).

## 神経科学

## Astrocytes as aide-mémoires

## 記憶形成を補助するアストロサイト

Mirko Santello &amp; Andrea Volterra

Nature Vol. 463(169-170)/14 January 2010

記憶形成は、ニューロン間の接合部位であるシナプスで起こることが知られている。今回、ニューロンとは別種の脳細胞であるアストロサイトも記憶の確立にかかわっていることがわかった。これは驚くべき成果だ。

記憶は、シナプスの活動が長期にわたって持続的な変化を起こすことで形成され、これには通常、興奮性神経伝達物質であるグルタミン酸の受容体の一種である NMDA 受容体 (NMDAR) の活性化がかかわっている。記憶形成はニューロン (神経細胞) だけで起こる事象に依存しているというのが、従来の一般的な考え方である。しかし、脳にはグリア細胞とよばれる別種の細胞群があり、その中に、著しく分枝した星状のアストロサイト (アストログリアともいう) という細胞がある。この細胞は数が多く、例えばヒトでは脳細胞全体の 90 パーセントを占めるが、電気的興奮性がみられず、ニューロンのように相互連絡することもないので、記憶形成の仕組みの研究では比較的見過ごされてきた。ところが実際には、アストロサイトは何もしていないわけではなく、細胞内のカルシウムイオン ( $\text{Ca}^{2+}$ ) 濃度の変化にかかわる、別の型の興奮性を示すことがわかった。このほど、Henneberger たちにより、アストロサイトの  $\text{Ca}^{2+}$  増加により、シナプス記憶を確立するのに必要な分子の放出が引き起こされることが、*Nature* 2010 年 1 月 14 日号に報告された<sup>1</sup>。

これまでの研究<sup>2</sup>で、異なるアストロサイトから伸びる突起は重なり合わないことが観察されている。つまり、個々のアストロサイトは脳内にそれぞれの「占有領域」をもっていることになる。この観察結果を元に、各々のアストロサイトの占有領域は多数のシナプス (例えば脳の海馬領域では約 14 万か所) からなる 1 つの「島」であり、これらのシナプスの活動は占有するアストロサイトによって制御されているとする考え方が出てきた<sup>2,3</sup>。今回、Henneberger たち<sup>1</sup>により、この考え方が初めて明確に証明された。研究チームは、シナプス前神経繊維に繰り返し電気刺激を与える高頻度刺激法を使って、海馬の興奮性シナプスの長期増強 (LTP) を引き起こした。LTP は、シナプス伝達強度が持続的に増加す

る現象で、記憶形成と関係付けられている。Henneberger たちはこのシナプス増強現象を、個々のアストロサイトの占有領域にほぼ相当する範囲で局所的に観察した。具体的には、占有領域内のシナプス群が発した電気的信号を、細胞外電極を用いるか、もしくはアストロサイトに電極を直接通して記録した。

Henneberger たちは、シナプス活性を記録すると同時に、個々のアストロサイトの細胞質の状態を操作した。ピペットを巧みに使って  $\text{Ca}^{2+}$  緩衝剤を注入し、細胞内  $\text{Ca}^{2+}$  の増加を止めて濃度を固定したのである。すると意外なことに、この操作で近傍シナプスの LTP 誘導は起こらなくなった。そのうえ、隣接する 2 個のアストロサイトの片方のみ細胞内  $\text{Ca}^{2+}$  の上昇を阻害して濃度固定すると、このアストロサイトの占有領域にあるシナプスでだけ、LTP 誘導が阻害された。両細胞の距離は 200 マイクロメートル以上あり、濃度固定をしていないほうのアストロサイトの占有領域にあるシナプスでは LTP が引き起こされる (図 1)。

濃度固定したアストロサイト占有領域の LTP は、アミノ酸の一種である D-セリンを加えることで回復できる。D-セリンは、NMDAR のグリシン結合部位と相互作用し、グルタミン酸が結合した際の膜貫通型チャネルの開口を可能にする。これまでの培養アストロサイトや視床下部切片での研究からは、アストロサイトは  $\text{Ca}^{2+}$  依存性のエキソサイトーシス (小胞内に蓄積された物質の細胞外放出) を介して D-セリンを放出できることが示唆されている<sup>4</sup>。これは、アストロサイトがシナプスの NMDAR で働く D-セリンの供給源である可能性が高いことを意味する<sup>5</sup>。

D-セリンが海馬でも同様の作用をするのかどうかを調べるため、Henneberger たち<sup>1</sup>はまず、海馬の 1 個のアストロサイトで  $\text{Ca}^{2+}$  濃度を固定した。すると、周辺海馬シナプ

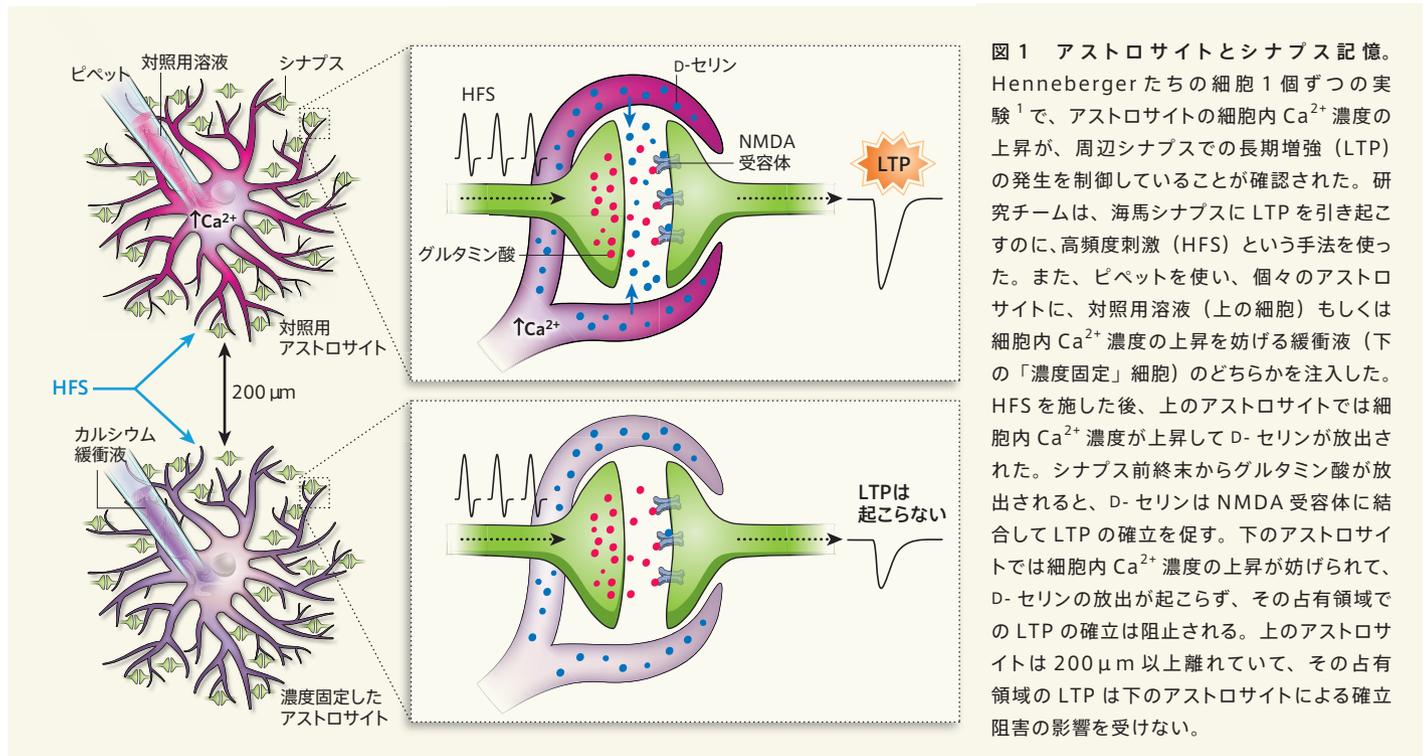


図1 アストロサイトとシナプス記憶。Henneberger たちの細胞 1 個ずつの実験<sup>1</sup>で、アストロサイトの細胞内  $\text{Ca}^{2+}$  濃度の上昇が、周辺シナプスでの長期増強 (LTP) の発生を制御していることが確認された。研究チームは、海馬シナプスに LTP を引き起こすのに、高頻度刺激 (HFS) という手法を使った。また、ピペットを使い、個々のアストロサイトに、対照用溶液 (上の細胞) もしくは細胞内  $\text{Ca}^{2+}$  濃度の上昇を妨げる緩衝液 (下の「濃度固定」細胞) のどちらかを注入した。HFS を施した後、上のアストロサイトでは細胞内  $\text{Ca}^{2+}$  濃度が上昇して D-セリンが放出された。シナプス前終末からグルタミン酸が放出されると、D-セリンは NMDA 受容体に結合して LTP の確立を促す。下のアストロサイトでは細胞内  $\text{Ca}^{2+}$  濃度の上昇が妨げられて、D-セリンの放出が起こらず、その占有領域での LTP の確立は阻止される。上のアストロサイトは 200  $\mu\text{m}$  以上離れていて、その占有領域の LTP は下のアストロサイトによる確立阻害の影響を受けない。

スの NMDAR 関連興奮性シナプス後電流が 25 パーセント減少することがわかった。この減少は、D-セリンの投与によって回復することから、アストロサイトの  $\text{Ca}^{2+}$  濃度上昇と NMDAR グリシン結合部位の占有率との間に因果関係があることが確認された。

おもしろいことに、アストロサイトの  $\text{Ca}^{2+}$  濃度を固定しないで D-セリンを加えると NMDAR 関連興奮性シナプス後電流は増えるが、同様の条件で LTP を誘導すると D-セリンを加えてもシナプスの増強は亢進されない。これらの結果は、両者のアストロサイト活性化の程度の差で説明できると研究チームは考えている。実際、LTP を誘導する高頻度刺激は強いシナプス刺激であり、アストロサイトの  $\text{Ca}^{2+}$  濃度上昇を盛んに促して、大量の D-セリン放出と NMDAR グリシン結合部位の一時的飽和をまねく。対照的に、NMDAR 関連興奮性シナプス後電流を調べるのに使ったシナプス刺激はもっと穏やかであり、この場合、アストロサイトは細胞内  $\text{Ca}^{2+}$  濃度の振動をまれにしか起こさない。こうした濃度振動はおそらく、D-セリンの放出量が少なくて NMDAR のグリシン結合部位を部分的にしか飽和できないことと関係するのだろう。

ここで、2つの疑問が生じる。第一に、アストロサイトは D-セリンを直接放出しているのだろうか、それともニューロンからの D-セリン放出を引き起こす別の物質を分泌しているのだろうか<sup>6</sup>。第二に、物質はどんな仕組みにより放出されるのだろうか。Henneberger たち<sup>1</sup>は第一の疑問を解く

ために、D-セリンの生合成を担う酵素であるセリンラセマーゼの阻害剤をアストロサイトに注入した。すると、LTP が阻害された。つまり、アストロサイトの D-セリン生合成と局所の LTP 誘導の間には因果関係があると考えられる。しかし、セリンラセマーゼ阻害剤はピルビン酸生成にも影響を与えており、アストロサイト内のグルタミン酸量を乱している可能性もある。このため、アストロサイトからのグルタミン酸放出 (これは  $\text{Ca}^{2+}$  濃度上昇に呼応して起こりうる<sup>7</sup>) も、シナプスの LTP のために必要である可能性も捨てきれない。

次に、第二の疑問への取り組みとして、破傷風神経毒素をアストロサイトへ注入し、小胞エキソサイトーシスを特異的に阻害した。この場合も、処置をしたアストロサイトの占有領域周辺で選択的に LTP が阻害された。これらの結果から、小胞エキソサイトーシスは、D-セリン<sup>4,8</sup>、あるいは別のアストロサイト性神経伝達物質、あるいは両方を放出する基盤メカニズムであると考えられる。

Henneberger たちのみごとな単一細胞操作<sup>1</sup>によって、アストロサイトを 1 個ずつ機能的ユニットとして研究することが可能になった。しかし、1 個のアストロサイトのシナプスの影響下に入る領域の大きさは、今のところはっきりしていない。実際には、アストロサイトはギャップ結合チャネルによって互いに連結しており、1 個のアストロサイトに注入された  $\text{Ca}^{2+}$  緩衝剤はこうした細胞間結合を通過して、隣り合うアストロサイトの  $\text{Ca}^{2+}$  濃度に影響を与える可能性がある。これに対し、破傷風神経毒素は、注入されたアストロ

サイトにとどまる。この場合、緩衝剤を使用したときより広い領域でLTPが阻害された。これは、D-セリンが放出元のアストロサイトの占有領域を越えて拡散するか、もしくは、Ca<sup>2+</sup>依存性エキソサイトーシスを介して放出される別の伝達物質が、アストロサイト1個の影響の及ぶ空間を拡大させることを意味する。

Henneberger たちの研究から、シナプス伝達に果たすアストロサイトの役割について、新たな疑問がいろいろ出てくる。アストロサイトは、D-セリン以外にも、グルタミン酸やその他の伝達物質を放出している<sup>9</sup>。これらのさまざまな分子は、同時に放出されて一緒に働くのだろうか。それとも、それぞれが異なる機能的役割をもっていて、異なる刺激に応じて、異なる細胞内の場所で個別に分泌されるのだろうか。少なくとも、アストロサイトの放出するグルタミン酸は、樹状細胞かシナプス前終末のどちらかで、シナプス外のNMDARを活性化することがわかっている<sup>10</sup>。D-セリン放出は、このシナプス外活性化に関与しているのだろうか。それとも、その作用はシナプスのNMDARに限定されているのだろうか。D-セ

リンの放出や取り込みの行われる細胞膜の部位をさらに詳しく調べ、グルタミン酸の場合と比較することで、これらの疑問を解くヒントが得られるはずである。今回のHenneberger たちの研究<sup>1</sup>は、我々に重要なメッセージを伝えてくれた。すなわち、シナプス機能へのグリア細胞の寄与は見逃せないほど大きいものであり、脳の機能を包括的に理解したいと願うなら、シナプスの生理学的研究をさらに進めてグリア細胞の生物学的特性を考察すべきだろう。(船田晶子 訳) ■

Mirko Santello と Andrea Volterra、ローザンヌ大学細胞生物学・形態学 (スイス)。

1. Henneberger, C., Papouin, T., Oliet, S. H. R. & Rusakov, D. A. *Nature* **463**, 232–236 (2010).
2. Bushong, E. A., Martone, M. E., Jones, Y. Z. & Ellisman, M. H. *J. Neurosci.* **22**, 183–192 (2002).
3. Halassa, M. M. *et al. J. Neurosci.* **27**, 6473–6477 (2007).
4. Mothet, J. P. *et al. Proc. Natl Acad. Sci. USA* **102**, 5606–5611 (2005).
5. Panatier, A. *et al. Cell* **125**, 775–784 (2006).
6. Kartvelishvili, E., Shleper, M., Balan, L., Dumin, E. & Wolosker, H. *J. Biol. Chem.* **281**, 14151–14162 (2006).
7. Bezzi, P. *et al. Nature* **391**, 281–285 (1998).
8. Fellin, T. *et al. Proc. Natl Acad. Sci. USA* **106**, 15037–15042 (2009).
9. Volterra, A. & Meldolesi, J. *Nature Rev. Neurosci.* **6**, 626–640 (2005).
10. Perea, G., Navarrete, M. & Araque, A. *Trends Neurosci.* **32**, 421–431 (2009).

## Uncongenial congeners

### 二日酔いをめぐる俗信の検証

Andrew Mitchinson

Nature Vol. 462(992)/24/31 December 2009

どんな酒でも飲みすぎれば二日酔いになるものだが、一般に、バーボンなどの濃い色をした酒は、ウォッカなどの無色の酒に比べて、ひどい二日酔いになりやすいと信じられている。Damaris Rohsenow らは最近、この俗信を実験によって証明した (D.J. Rohsenow *et al. Alcoholism Clin. Exp. Res.* doi: 10.1111/j.1530-0277.2009.01116.x; 2009)。また、これらのアルコール飲料が引き起こす二日酔いが、集中力の持続とスピードを要する課題の遂行能力を低下させること、そして、課題遂行能力の低下は酒の色ではなく二日酔いの重さと相関していることも明らかにした。

アルコール飲料の色はコンジナーに由来していることが多い。コンジナーとは、発酵の過程で形成されるアルコール(エタノール)以外の化合物のことで、例えば、バーボンにはウォッカの37倍の量のコンジナーが含まれている。二日酔いの諸症状は主としてエタノールによって引き起こされるが、コ

ンジナーはそれを悪化させると考えられている。

Rohsenow らは、この理論を対照試験により検証した。被験者はまず、血中アルコール濃度が酩酊レベルに達するまでウォッカまたはバーボンを飲んだ。そして翌日、症状に基づく尺度を使って二日酔いの程度を定量化したうえで、スピードや集中力の持続を要する課題の遂行能力がテストされた。アルコールは睡眠の質と持続時間にも影響を及ぼすので、著者らはこれらの影響も監視した。

その結果、バーボンによる二日酔いは、ウォッカによる二日酔いよりも重いことが実際に確認された。また、すべての被験者が、プラセボ(カフェイン抜きのコラ)を摂取したときよりもアルコールを摂取したときのほうが、眠りが浅く、とぎれとぎれになっていた。しかし、睡眠や翌日の課題遂行能力に与えた影響の大きさは、バーボンもウォッカも変わらなかった。さらに、アルコールによる睡眠障害の程度は、二日酔いの重さと相関していたが、課題遂行能力の低下の原因とはなっていなかった。

この研究の被験者は健康な若者だったので、高齢者やアルコール依存者では違った反応がみられた可能性がある。それでも、著者らが指摘するように、これらの知見は高度な安全性が求められる職業に従事する人々には大いに参考になるだろう。我々も、飲酒の翌朝にどうしてああいふ感じになるのかを知ることができた。(三枝小夜子 訳) ■

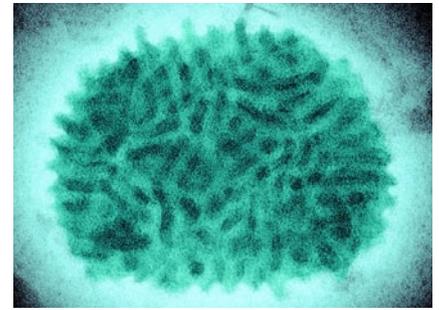
今回は、天然痘ウイルスの仲間であるワクシニアウイルスが、細胞をびよんびよん跳び回って、効率よく未感染細胞を見つけ出し、感染を拡大していくというお話です。天然痘は、エジプトのミイラにすらその痕跡が見つかるとても古く恐ろしい伝染病で、日本でも何度も流行しています。奈良の大仏が天然痘の流行を鎮めるために作られたのは、有名な話です。種痘のおかげで根絶しましたが、こんな挙動が感染性を高めていたのかもしれない。

## NEWS nature news

語数：532words 分野：ウイルス学・細胞学・感染症学

Published online 21 January 2010 | Nature | doi:10.1038/news.2010.26

http://www.nature.com/news/2010/100121/full/news.2010.26.html



ワクシニアウイルスは、未感染細胞が見つかるまで細胞間を跳ね回る。

© BSIPSA/ALAMY

# Virus spreads by bouncing off infected cells

Viral ping-pong lets vaccinia get to other cells faster.

Brian Vastag

1. Call it viral ping-pong: the vaccinia poxvirus **tricks** infected cells **into flinging** newly made **virus particles far and wide**, rapidly spreading the infection outward, according to a study by UK scientists.
2. This 'viral bouncing' accounts for experiments in which vaccinia spreads much more quickly across a **dish** of cells (see video) than viral reproduction rates should allow, says Geoffrey Smith of Imperial College London, who led the study, which is published online in *Science*<sup>1</sup>.
3. "A virus might hit a cell that's already infected, get bounced away, hit another, get bounced away again ... and **eventually** it will find a cell that is uninfected, which it can enter," says Smith. "The virus is so smart."
4. Smith and his colleagues discovered how the viral trick works using **live-imaging techniques** and **fluorescently tagged** viruses. After infection by vaccinia, a cell rapidly begins producing two **viral proteins**, called A33 and A36. These proteins move to the **cell's outer membrane**, where they form a complex that tags the cell as infected. When other vaccinia particles **bump into** the membrane and try to infect the already-infected cell, the viral particles instead **get stuck to** the protein complex. This docking triggers the cell to **shoot out** a long filament — made of the building-block protein **actin** — that **propels** the virus **outward**.
5. **In essence**, says Smith, vaccinia **cons** cells **into** announcing, "'Hey guys, we're infected already, no point coming in here. You need to go somewhere else.'"
6. Smith's team found that **crippling** the A33 and A36 **genes** inside vaccinia slowed infection rates **substantially**, whereas inserting the genes for only these two proteins into human cells — without the rest of the vaccinia genome — was enough to trigger actin-filament **propulsion on contact with** new virus particles. They concluded that the two proteins are all that's required for the **manoeuvre**. The team is now trying to **untangle** exactly how the virus particles bind to the A33-A36 protein complex, and what signal the complex sends into the cell to trigger the filaments.
7. Lynn Enquist, a virologist at Princeton University in Princeton, New Jersey, says that other viruses **deploy** similar strategies. HIV, for instance, induces cells to shoot out **projections** called **filopodia** that serve as bridges for virus particles to **crawl along** to reach uninfected cells<sup>2</sup>.
8. Although the details differ from virus to virus, virologists are quickly warming to the notion that many viruses deploy specific, **deliberate** mechanisms to spread through **tissues**. "Viruses move from cell to cell in a very directed and specific way," says Enquist. "It's a very hot area of research." Advances in imaging technology — such as the techniques used by Smith and his colleagues — are spurring the interest.
9. Vaccinia is rarely harmful to humans, but it is so closely related to the **smallpox virus** that it is used as a vaccine against the often-deadly disease — so successfully that smallpox had been **eradicated** worldwide by the 1970s. David Evans, a virologist at the University of Alberta in Edmonton, Canada, says that the latest work may explain why smallpox kills so quickly: "A **hallmark** of smallpox infection is the rapid and massive spread [inside the body]," he says. "I think this is one additional factor that explains the lethality of smallpox."

### Reference

1. Doceul, V., Hollinshead, M., van der Linden, L. & Smith, G. L. Science advance online publication doi:10.1126/science.1183173 (2010).

2. Sherer, N. M. et al. *Nature Cell Biol.* **9**, 310-315 (2007).

参照映像: <http://www.nature.com/nature/newsvideo/1183173movies1.mov>

## TOPICS

## ポックスウイルス (poxvirus) とワクシニアウイルス (vaccinia virus)

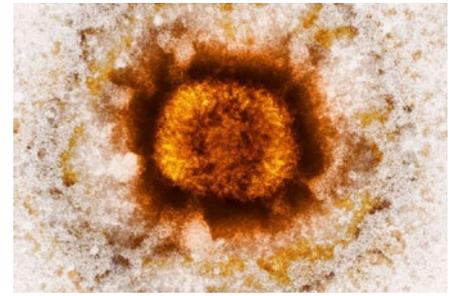
ポックスウイルスは、約 350×250×100nm のレンガ状のウイルス。ゲノムは、両端がヘアピンループになっている直鎖状二本鎖 DNA。DNA ウィルスにもかかわらず、宿主細胞の細胞質内で増殖するため、各種の転写・複製関連の酵素を含む多くのタンパク質がゲノムにコードされている。また、RNA 逆転写酵素をもつことも特徴である。感染した動物は、通常、ポックとよばれる痘疱を皮膚に発症する。

ワクシニアウイルスはポックスウイルス科のオルソポックスウイルスに分類され、ヒトに感染した場合、一般には局所的に痘疱を形成し、かさ

ぶたが脱落した後は痘痕を残すだけだが、免疫に欠陥がある場合は、全身に痘疱を発症し死に至ることもある。免疫学的に痘瘡ウイルス、牛痘ウイルスと密接な関係をもつため、天然痘のワクチンとして用いられてきた。

近年、ワクシニアウイルスは、分子生物学研究用のベクターとして利用されている。このベクターでは、増殖に必要なゲノム領域に目的の遺伝子を挿入し、ウイルスのプロモーターと転写酵素を利用して発現させる。さらに、

1. 宿主領域が広い
2. 高い抗原性をもつ
3. 液性免疫、細胞性免疫の両方を誘導
4. 凍結乾燥保存が可能
5. 多価ワクチンの作製が可能



ワクシニアウイルス粒子

などの特徴により、ワクシニアウイルスベクターを組み換え生ワクチンとして利用する研究が高まっている。

## SCIENCE KEY WORDS

1. **virus particle(s): ウィルス粒子**

ウィルスの構成単位のこと。ピリオンともいう。核酸とそれを囲むカプシドとよばれるタンパク質からなる粒子。さらに外側を糖タンパク質-脂質複合体のエンベロープが覆っているものもある。細胞に感染すると、カプシドは分解されて遊離した核酸が大量に複製され、それが mRNA に転写されてウィルスタンパク質が合成される。こうしてできた部品を再構築して、一気に大量のウィルスが生産される。ウィルスは次のような点で、細菌を含む他の生物と異なる。

- ・ DNA あるいは RNA のどちらか一方しかもたない。
- ・ 遺伝物質だけから複製される。
- ・ エネルギー合成系をもたず、宿主細胞のエネルギーを利用する。
- ・ 宿主細胞のタンパク質合成系を利用する。

2. **dish: 培養用ディッシュ、プレート、シャーレ**

細胞や微生物を培養するための平たい容器。

4. **live-imaging technique(s): ライブイメージング技術**

細胞や微生物の挙動を、生きた状態で画像化する技術。近年、顕微鏡や蛍光標識などの改良が進み、可能となった。

4. **fluorescently tagged: 蛍光標識された**

調べたい遺伝子と、蛍光を発するタンパク質をコードする外来性遺伝子を融合させて発現させ、目的遺伝子のタンパク質産物の挙動を調べる。そのタンパク質が細胞内やウィルス粒子内に常在するならば、細胞の挙動も可視化できる。

4. **viral protein(s): ウィルスタンパク質**

ウィルス感染によって発現されるタンパク質。カプシドやエンベロープなどウィルス粒子の構造タンパク質と、核内抗原、感染細胞の表面に

提示される細胞表面抗原などがある。特に細胞表面抗原は、ウィルス感染進行や宿主の免疫にかかわってくる。

4. **cell's outer membrane: 細胞外膜**

細胞膜は、脂質でできており、疎水性の尾部内側に親水性の頭部を外側にした二重膜構造になっている。その外側の部分。

4. **actin: アクチン**

生物間で非常によく保存されているタンパク質。重合してフィラメント状の構造をとる。すべての細胞に存在し、細胞骨格の形成や細胞の運動、細胞分裂などに重要な役割を果たしている。

6. **crippling gene(s): 遺伝子の機能を失わせること**

遺伝子組み換え技術により、目的の遺伝子を欠失させたり、部分的に変異を導入したりして、機能を失わせること。

7. **filopodia: 糸状仮足、フィロポディア (単数形は filopodium)**

仮足は、細胞が運動するとき、一時的に形成される細胞質の突起の総称。糸状仮足は、先端に向かって細く糸状になっている仮足。

8. **tissue(s): 組織**

多細胞生物で、同じ機能・形態をもった細胞が秩序だてて集合したもの。集団全体で生体機能を果たす。

9. **smallpox virus: 天然痘ウイルス、痘瘡ウイルス**

天然痘の原因ウイルス。天然痘は、感染率・致死率の高い伝染病。急激な発熱、全身に膿疱を発生し、治癒しても痕跡(あばた)が残る。1977年のソマリアでの患者を最後に患者は発生しておらず、1980年 WHO により天然痘撲滅宣言が出された。現在、自然界に天然痘ウイルスは存在せず、米国とロシアの研究施設で厳重に保管されている。

## WORDS AND PHRASES

タイトル **bouncing off ~**: 「〜で跳ね返る」、「〜に跳ね返される」

タイトル **infect(ed)**: 「感染する」

リード **viral**: 「ウィルスの」、「ウィルスによる」

1. **trick(s) <A> into ~ ing**: 「A をだまして〜させる」

1. **fling(ing)**: 「放り出す」、「投げ飛ばす」

1. **far and wide**: 「あちこちに」

3. **eventually**: 「そうしているうちに」、「そのうちに」

4. **bump into ~**: 「〜と衝突する」、「〜とぶつかる」

4. **get stuck to ~**: 「〜に引っかかる」

4. **shoot out ~**: 「〜を出す」

4. **propel(s) ~ outward**: 「〜を外に向かって弾き飛ばす」

5. **in essence**: 「要するに」

5. **con <A> into ~ ing**: 「A をだまして〜させる」

小見出し **velocity**: 「速度」

6. **cripple**: 「(機能を) 損なわせる」、「不具合を生じさせる」

6. **substantially**: 「大幅に」

6. **propulsion**: 「推力」

6. **on contact with ~**: 「〜に接触すると」

6. **manoeuvre**: 「操作」

6. **untangle ~**: 「〜を解明する」

7. **deploy ~**: 「〜を採用する」

7. **projection(s)**: 「突起」

7. **crawl along**: 「はって進む」、「のろのろ進む」

8. **deliberate**: 「周到な」

9. **eradicate(d)**: 「根絶する」、「撲滅する」

9. **hallmark**: 「特徴」

## 参考訳

## 感染細胞に跳ね返されることで 広がっていくウイルス

ワクシニアウイルスは、ピンポン玉のように細胞間を跳ね回することで、より速く他の細胞に広がっていく。

ブライアン・ヴァスタグ



天然痘にかかった子どもの手。膿疱が見える。

- これはウイルスのピンポンだ。ワクシニアボックスウイルスは、ウイルス感染した細胞を操り、新たに作り出されたウイルス粒子をあちこちに放り出させることにより、ウイルス感染を急速に広げていることが、英国の科学者の研究によって明らかになった。
  - 実験により、ワクシニアが培養用ディッシュ上の細胞に広がる速さは、ウイルスの増殖率から考えられる速さよりもはるかに速いことがわかった（映像参照）。*Science*（電子版）で発表された今回の研究<sup>1</sup>のリーダーであるロンドン大学インペリアルカレッジ（英国）の Geoffrey Smith は、実験結果は、この「跳ね回るウイルス」により理解できると話す。
  - 「ウイルスは、既にウイルス感染している細胞にぶつかって弾かれ、また別の感染細胞にぶつかって弾かれてという過程を繰り返し、やがて未感染細胞にぶつかったら、その内部に入り込むのです。ウイルスは、とても賢いのです」と Smith は話す。
  - Smith らは、ライブイメージング技術と蛍光標識されたウイルスを用いて、このウイルスの技の仕組みを解明した。ワクシニアに感染した細胞は、A33 と A36 という 2 種類のウイルスタンパク質を急速に産生する。両タンパク質は細胞の外膜に移動して複合体を形成し、細胞がウイルス感染したことを示す印となる。既にワクシニアに感染した細胞の細胞膜に、別のワクシニアウイルス粒子が感染しようとしてぶつかってくると、このタンパク質複合体に引っかかる。この結合が引き金となり、細胞骨格タンパク質であるアクチンでできた長いフィラメントが細胞の中から突き出してきた、細胞膜に引っかかっているウイルス粒子を遠くに弾き飛ばすのだ。
  - 要するに、ワクシニアは細胞を操ってこういわせるのだ、と Smith は話す。「さあ、ここはもう感染しちゃってるから、来てもムダよ。どっか別のところに行って」。
- ウイルスの速さ**
- Smith の研究チームは、ワクシニアの A33 および A36 遺伝子の機能を失わせることで、感染率を大幅に低下させることがで
  - きる一方、ワクシニアのゲノムのうち、A33 および A36 タンパク質をコードする遺伝子をヒトの細胞に挿入するだけで、新たなウイルス粒子と接触した時に出てくるアクチンフィラメントによる推力を引き起こせることを発見した。Smith らは、この操作には、これら 2 つのタンパク質だけで十分であると結論付けた。現在、Smith の研究チームは、ウイルス粒子が A33-A36 タンパク質複合体に結合する正確な過程や、細胞がフィラメントを出す引き金となる複合体からの信号を解明しようと努力を続けている。
  - プリンストン大学（米国ニュージャージー州）でウイルス学を研究する Lynn Enquist は、他のウイルスも似たような戦略を採用していると話す。例えば HIV は、細胞が「糸状仮足」とよばれる突起を出すように誘導する。糸状仮足は橋の役目を担い、ウイルス粒子は、これを伝って未感染細胞に到達する<sup>2</sup>。
  - 最近、ウイルス学者の間では、細かい点はウイルスによって異なるものの、多くのウイルスが特異的で周到なメカニズムを用いて生体組織内を広がっていく、という考え方が支持されるようになってきている。「ウイルスが細胞から細胞へと移っていく方法には、高い方向性と特異性がみられます。これは、非常に注目の研究分野です」と Enquist は話す。Smith らが用いた技術に代表されるイメージング技術の進歩は、この現象に対する関心をいっそう高めている。
  - ワクシニアがヒトに害を及ぼすことはまれだが、死亡率の高い天然痘ウイルスにごく近縁なため、天然痘に対するワクチンとして用いられている。このワクチンの性能は非常に高く、天然痘は、1970 年代に世界的に根絶された。アルバータ大学（カナダ・エドモントン）に所属するウイルス学者 David Evan は、今回の研究成果によって、天然痘にかかると非常に短期間で死に至る理由が説明できるかもしれないという。「天然痘感染の特徴の 1 つに、ウイルスが〔体内で〕急速かつ大量に広がる可能性があります。私はこれも、天然痘の死亡率を高くする原因の 1 つになっていると思います」と Evans は話している。（菊川要 訳）

# nature

## ページの向こうで最先端に出会う

あらゆる分野をカバーしている Nature。

表紙もバラエティに富んでいます。

ページをめくったその先で、最先端の研究はもちろん、  
各国の科学ニュースや世界の研究者と出会うことができます。

新しい世界に触れてみませんか？

きっと思いがけないヒントが生まれるでしょう。



[www.naturejpn.com](http://www.naturejpn.com)

 nature asia-pacific

「ネイチャー・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。

メールをお送りいただく際には、お名前・ご職業・「ネイチャー・ダイジェスト」購読年数のご記入をお願いいたします。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。お寄せいただいた内容は、今後の本誌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。

宛先: [naturedigest@natureasia.com](mailto:naturedigest@natureasia.com) (「ネイチャー・ダイジェスト」ご意見係)

# nature

 グローバルな視点から「科学」を読む

Nature 定期購読なら、世界の最先端の科学関連ニュースを英文オリジナルコンテンツと、日本語翻訳でお楽しみいただけます。



## 国際ジャーナルを読む

グローバルな視点から、幅広い分野の情報と「世界の動き」をタイムリーに把握できます！

### Nature 定期購読なら...

- **Nature Digest 無料定期購読**  
(Nature Digest Online 無料アクセス含む)
- **Nature オンライン版**  
(PDF, HTML)  
フルテキストへの  
無料アクセス



## 日本語編集版を読む

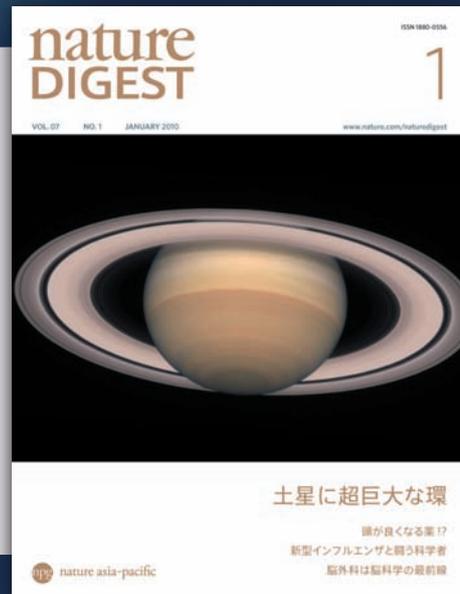
Nature の中から吟選した記事を、日本語に翻訳した科学月刊誌です。「世界の科学」を日本語でお楽しみいただけます。  
Nature 定期購読者には、Nature Digest を毎月無料で送付いたします。

### nature 翻訳・編集記事

- **HIGHLIGHTS** / 論文ハイライト
- **EDITORIAL** / 社説
- **NATURE NEWS** / 科学ニュース
- **NEWS & VIEWS** / 研究成果解説
- **NEWS FEATURE** /  
読み物・注目の分野をあらゆる  
側面から親しみやすく解説
- **OPINION**

### オリジナル編集記事

- **JAPANESE AUTHOR** /  
日本人研究者へのインタビュー記事
- **英語で NATURE** /  
NATURE (印刷版およびオンライン版)  
に掲載の記事から生きた英語を学ぶ



(本文 36 頁)

Nature・Nature Digest 定期購読お申し込みはこちらから

[www.naturejpn.com/subscribe](http://www.naturejpn.com/subscribe)