

nature DIGEST

日本語編集版

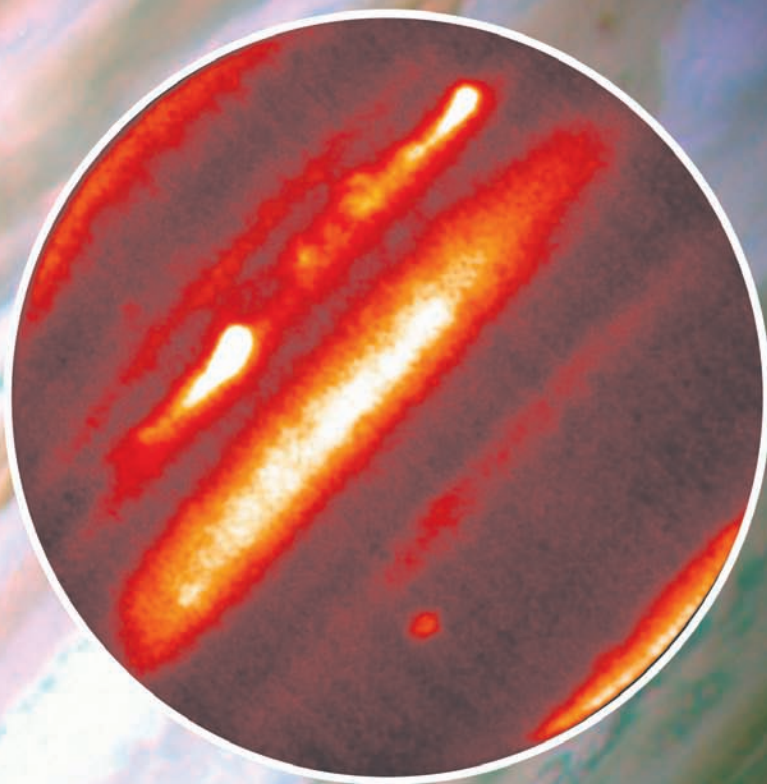
MARCH 2008

VOL. 05, NO. 3

3

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

木星の 最強ジェット



私は、世界最高水準「科学技術創造立国」実現のサポーター

産学「官」イノベーションに貢献を

www.science-japan.com

サイエンス・アライアンス・ジャパン
研究開発
支援
www.science-japan.com



WWW.
研究職派遣
.com



WWW.
オンライン校閲
.com



WWW.
広報制作
.com



WWW.
会議運営
.com



WWW.
研究秘書派遣
.com



WWW.
校閲依頼
.com



WWW.
布地ポスター
.com



WWW.
展示会ブース
.com



WWW.
研究補助依頼
.com



WWW.
翻訳依頼
.com



WWW.
研究機関
ホームページ
.com



WWW.
研究職紹介
.com



WWW.
通訳依頼
.com



WWW.
研究印刷物
.com



WWW.
翻訳通訳仕事
.com



WWW.
科学イベント
.com



WWW.
英語司会
.com



研究開発サポート企業のネットワーク

国際会議運営


株式会社 アイキューブつくば
www.icube-t.com

海外招聘


ヨビックス
www.yobix.co.jp

映像メディア

映像館
EIZOHKAN INC.
www.eizohkan.co.jp

プレゼン制作


株式会社 アサヒ・シーアンドアイ
http://asahi-ci.kir.jp

テーブル起こし


www.adrs.co.jp

木星の最強ジェット

表紙: HST / NASA-IRTF HAWAII

HIGHLIGHTS

02 vol. 451 no.7177,, 7178, 7179, 7180

EDITORIAL

06 ダブルブラインド方式の査読をめぐって

NATURE NEWS

- 08 南極の氷の下に火山を発見
- 09 睡眠中の脳で体験を早送り再生
- 10 ひねくれた貝殻

NEWS

11 化学者を当惑させる巨大結晶
Katharine Sanderson

NEWS FEATURE

- 12 細菌の新たな骨
Ewen Callaway
- 17 大陸棚の延長をめぐる攻防
Daniel Cressey

SNAPSHOT

22 LEDの光で屋内ガーデニング

NEWS & VIEWS

23 模倣のニューロン
Ofer Tchernichovski and Josh Wallman

26 木星の脈打つ表面の下で
クニオ・M・サヤナギ

FUTURES

28 ブリトニー・スピアーズ、研究者となる!?
Vince LiCata

JAPANESE AUTHOR

30 天敵の匂いを忌避する行動は
先天的に決められていることを証明
— 小早川高・小早川令子
小島あゆみ

HIGH SCHOOL SCIENTISTS

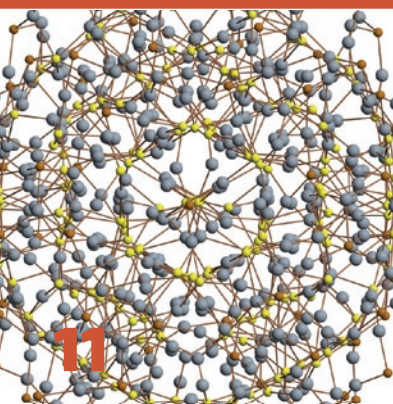
32 キスゲ属の花は、送粉者に合わせて
進化したのか? (福岡県立小倉高等学校)
西村尚子

英語で NATURE

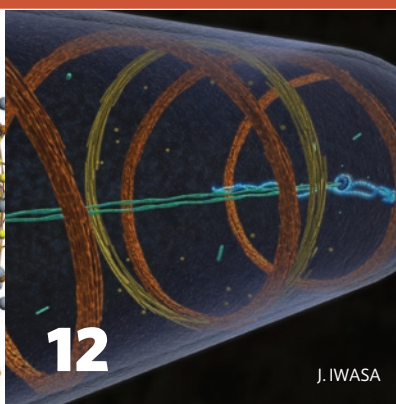
34 Cellular memory hints at the origins of
intelligence
単細胞の記憶が示唆する知性の起源

www.nature.com/naturedigest

© 2008 年 NPG Nature Asia-Pacific
掲載記事の無断転載を禁じます。



11



12

J. IWASA



22

STANLEY ELECTRIC



28

JACEY



木星の最強ジェット：嵐が大気にメスを入れる

JUPITER'S FIERCEST JET: Storms probe a buried atmosphere

冥王星をめざすニューホライズン探査機が木星へ接近通過するのに合わせて、2007年2月から地上の各望遠鏡とハッブル宇宙望遠鏡（HST）による木星の集中的観測が始まった。その数週間後の3月25日には、北緯23°にある木星の最強のジェットに強い擾乱が出現し、2007年6月まで続いた。この種の現象はまれで、最近では1990年と1975年にみられた。擾乱の始まりはHSTの観測で見つかり、2つのプリウム（表紙で小さいほうの赤外画像にみられる白い輝点）は、周囲の雲から30キロメートルの高さまで上昇した。木星や土星の大気を支配するジェットのエネルギー源の性質は、惑星全域にわたる気象因子と局所的な気象因子との相互作用のために複雑であり、決着がついていない。今回の観測結果は、大気深部にまでウィンドが広がっているという説と一致し、ウィンドは日射が届く高度よりも相当内側まで広がっているらしい。表紙の大きいほうの画像には、プリウムで発生した乱流が、ジェットの存在する帯領域にみられる。

Letter p.437, N&V p.409 参照

エイズ治療戦略となる可能性がある。

Article p.425, N&V p.406 参照

トランスポゾン監視

Transposon watch

真核生物ゲノムのかなりの部分はトランスポゾンでできている。トランスポゾンはゲノム中のある場所から別の場所へと「ジャンプする」遺伝子で、ゲノムの構造に重大な影響を及ぼし、ゲノム進化に大きなインパクトを与えてきた。宿主ゲノムは、このような転位性遺伝因子の拡散を制御する機構を進化させてきているが、今回、新しいものが発見された。この機構は分裂酵母のもので、特定の種類のトランスポゾン（RNA中間体を介して作用するTf2レトロトランスポゾン）の活動を、別の種類のトランスポゾンのタンパク質によって選択的に抑制する。これは古くからあるレトロトランスポゾン監視機構らしく、DNAトランスポゾンとレトロトランスポゾン間の対立を示唆している。

Article p.431, N&V p.412 参照

細菌鞭毛を動かす別のエネルギー源

Alternative energy

細菌の鞭毛は、多数の病原体が宿主細胞にエフェクタータンパク質を送り込むのに用いているIII型分泌システムに似た分泌装置を備えている。輸送に必要なエネルギーはATPアーゼであるFlhIが供給すると広く考えられてきたが、今週号では、2つの論文がこの説に反論している。どちらのグループも、ATPアーゼがなくても鞭毛輸送が起こること、また、この過程に必要なエネルギーがプロトン駆動力から得られていることを見いだした。

Letters pp.485, 489 参照

接続パターンにかかわる分子

Making connections

ダウン症候群細胞接着分子（Dscam）は、免疫グロブリンスーパーファミリーに属する接着分子である。ショウジョウバエのDscam分子群は神経接続の構造化にかかわっていると考えられているが、脊椎動物における近縁分子の機能についてはあまりわかっていない。今回、山形方人とJ.Sanesは、ニワトリの網膜の層特異的な接続パターン形成にDscamとDscamLが関与していることを明らかにした。Sidekick-1とSidekick-2とよばれるほかの2つの接着分子も同様の働きをしている。これらの分子は神経系に広く分布しており、脳において神経接続のパターンを決定する「接着コード」の一部を担っているのかもしれない。脊椎動物の神経パターン形成におけるDscam分子群の重要性を示すさらなる証拠は、Fuerstたちによって示された。彼らは、マウス網膜での神経回路の確立におけるDSCAMの役割を明らかにしている。

Letters pp.465, 470 参照

ジベレリンと光の関係

Gibberellins' light touch

植物の重要な成長過程の多くは光とジベレリンによって協同的に調節されているが、この2つの間のクロストークに関する分子基盤はよくわかっていなかった。今回、2つのグループが、光とジベレリンによる植物成長の協調的調節にかかわるシグナル伝達カスケードを明らかにしている。ジベレリンがない場合、遺伝子プロモーターへの転写因子PIF3（フィトクロム結合タンパク質）の結合をDELLAタンパク質が阻害する。ジベレリンはDELLAタンパク質の分解を引き起こし、それによってPIFは標的プロモーターに結合できるようになって遺伝子発現が調節される。光は光受容体を介して作用し、PIF4を不安定化させる。したがって、DELLAタンパク質、およびPIFファミリーに属するタンパク質どうしの競合的相互作用は、光とジベレリンとの間を結びつける主要な要素であると考えられる。

Letters pp.475, 480 参照

ウイルスの「繫留索」

HIV/AIDS: ties that bind

HIV-1のアクセサリータンパク質で、一部のヒト細胞でHIV-1粒子の効率的な放出に必要とされるVpuに関する研究から、インターフェロン-αによって誘導可能な細胞表面タンパク質を主体とする「繫留索（tether）」の存在が指摘されていた。今回、この「繫留索」が、宿主細胞のこれまで機能が知られていなかった膜タンパク質分子CD317であることが突き止められ、今回新たにtetherinと命名された。tetherinは、HIV-1ビリオンを細胞表面に保持するのにかかわっていることが明らかになった。Vpuはこの働きを無効にし、ウイルス粒子の放出と伝播を可能にする。したがって、Vpu機能の阻害はHIV/

最も軽い金属の合金

Making light alloys work

最も軽い金属元素であるリチウムとベリリウムは、常圧条件下では互いに反応して合金を形成することがない。しかし、多数の化合物の構造と反応性が、高い圧力を加えることで根本的に改変可能である。リチウムとベリリウムの場合、LiBe、LiBe₂、LiBe₄、Li₃Beという4種類の合金が、容易に達成できる圧力下で安定であることが、理論計算による新しい研究の結果から示唆された。4種のうちの1つでは、その3次元結晶環境内にほぼ理想的な自由電子様状態の2次元層が現れる。この合金は、興味深い超伝導特性も備えていそうだ。

Letters p.445 参照

ミシシッピ川の炭素フラックス

Dirty ol' man river

河川から海洋への溶存無機炭素の流れは、陸の炭素貯蔵庫と海のそれとを結びつける重要な正味のフラックスである。今回、ミズーリ州のキャロルトン地区とアルジェ地区の水処理施設で100年間という長期間にわたって行われてきた重炭酸塩測定記録を基礎データとして用いて、ミシシッピ川の水フラックスと炭素フラックスが調べられた。以前の研究で、ミシシッピ川によって海洋へ運び出された溶存無機炭素（ほとんどが重炭酸塩である）の量が過去50年間にわたって大きく増加していることが明らかになっているが、増加の原因はまだよくわかっていなかった。キャロルトンとアルジェのデータ、および小流域と降水量のデータとから、流域の農業地帯からの重炭酸塩の排出増加は降水量の増加とは釣り合わず、増加は主として人為的な原因で生じていることが示された。

Letter p.449, N&V p.405 参照



采配を振るう DNA : 塩基の対合によってプログラムされるデザイナー・ナノ結晶

DNA RULES: Designer nanocrystals programmed by base pairing

DNA 中の塩基の対合によって有用な材料の結晶化を誘導できるのではないかという発想は、ナノテクノロジーにとって魅力的である。ナノ粒子に付着させた DNA が粒子の集合に影響を与えることが初めて示されてから 10 年以上たった今、2 つのグループがこのアイデアを実行に移した。Park たちは、金ナノ粒子に付着させた DNA 分子と粒子をリンクするのに使う DNA 分子を選んで、ナノ粒子を面心立方晶あるいは体心立方結晶のいずれかに自己集合させられることを実証している。表紙の写真は、C Krumbholz が撮影した体心立方晶のクローズアップである。Nykypanchuk たちは、体心立方晶が可逆的に形成され、ナノ粒子が格子体積のたった数パーセントしか占めないようにする DNA の設計と結晶化に必要な条件を明らかにしている。News & Views で論じられているように、このような進展によって、フォトニクスや磁気的应用、生物医学センシング、情報やエネルギーの蓄積にかかわる、規則正しい調整可能な 3 次元ナノスケール構造体の創出が可能になる。

Letters pp.553, 549, N&V p.528 参照

ストレスにさらされた心臓

The heart under stress

AMPK (AMP 活性化プロテインキナーゼ) は、多くの生物学的過程のマスター調節因子であり、糖尿病、がん、アテローム性動脈硬化症、虚血性心疾患などのさまざまな疾患の薬物標的となる可能性がある。虚血時の心臓では、AMPK が、グルコース取り込み促進によって組織を損傷やアポトーシスから保護する。新たな研究で、虚血ストレス下の心臓が放出する炎症性サイトカイン MIF (マクロファージ遊走阻止因子) によって、AMPK が活性化されることが明らかになった。この結果は、細胞のストレス応答の本質に新たな光を当てるものであり、MIF 量の低さが冠動脈疾患患者のリスク・マーカーとなる可能性を示している。

Letter p.578 参照

ダークエネルギーのしっぽをつかむ

A glimpse of dark energy

遠方の超新星の観測から、宇宙の膨張が加速している段階にあることはいえるが、その物理的原因は依然として謎である。広く認められている説明では、宇宙全体に分布し重力的な反発力で宇宙を膨張させる、莫大な量の見えない「ダークエネルギー」が必要となる。多数の暗い銀河が示す赤方偏移の歪みを新たに調べた結果から、加速を引き起こすダークエネルギーの性質に関する手がかりが得られた。赤方偏移 $z = 0.8$ の歪みは、宇宙は物質密度が小さく幾何学的に平坦だとする標準的な宇宙定数モデルと一致する。現状の誤差は大きすぎるので、加速膨張の他の候補原因との区別はできないが、現在のものよりさらに強力に遠方まで

見通せる次世代の銀河探査で、ダークエネルギーの性質がさらに絞り込まれそうだ。

Letter p.541, N&V p.531 参照

インフルエンザウイルスの変化するチャネル Influenza changes channels

インフルエンザ A ウイルスには、ゲートの開閉が pH により制御されるプロトンチャネルである M2 が含まれる。このチャネルは最近まで、アマンタジン系の抗ウイルス薬が効果的に標的としてきたが、現在ではこれらの薬物に対する耐性が広くみられるようになってきた。今回 2 つのグループが M2 プロトンチャネルの構造に関する研究を報告している。J Schnell と J Chou は NMR 分光法により、リマンタジンの結合した M2 の 38 残基からなる部分の構造を決定した。A Stouffer たちは X 線解析を用いて、M2 の 25 残基からなる断片のアマンタジンが存在する場合としない場合の結晶構造を決定した。得られた構造からは、意外にも薬物のチャネル阻害に関して 2 つの大きく異なった機構が示唆された。C Miller が、提案された機構について News & Views で論じている。

Letters pp.591, 596, N&V p.532 参照

単純な組成の圧電材料

Piezoelectrics made simple

圧電材料に機械的な力を加えると電圧が発生する。逆に、電圧を加えると力が得られる。この特性の組み合わせは、主として超音波発生分野に多くの用途がある。最も大きい電気機械的応答は非常に複雑な材料の方に現れる傾向があり、通常は、組成変化と関連する急激な構造変化であるモルフォトピック相転移を伴う場合に、目的とする特性

が最大になることが多い。M Ahart たちは、高圧下では、単純な純粋化合物でも同様の相転移が起こることを示した。ここで使われた化合物は、典型的な強誘電体のチタン酸鉛であり、既知のどのようなものよりも大きな電気機械的応答を示す。化学的調整を行えば、この効果は常圧下で起こせるようになる可能性がある。そうすれば、コストを削減し、高性能圧電材料の有用性を高めることができるだろう。

Letter p.545 参照

沈み込み帯地震は連発する危険がある

Danger in numbers

太平洋の島々で、その主権をめぐる日本とロシアの間に論争があることからしばしばニュースとなる千島列島で最近起きた 2 つの巨大地震は、沈み込み帯における巨大地震が沈みつつある海洋プレート内部の応力と地震活動に影響を及ぼしている過程のめざましい証拠といえる。2006 年 11 月 15 日に起きたマグニチュード 8.3 の地震によって、まず、太平洋プレートが千島弧中央部の下に沈み込んでいる低角のプレート境界が破壊された。そして数分以内に、千島海溝の海側のアウトライズ地帯でプレート内伸張型地震が起きた。その後 2007 年 1 月 13 日には、マグニチュード 8.1 の地震が太平洋プレート上部を通して広がる正断層を破壊して、これまでに記録された中で最大の浅部伸張型地震の 1 つが生じた。

Letter p.561 参照

温度による性決定を検証する

Sex determined by degrees

哺乳類と鳥類では、性別は遺伝子型により受精時に決定される。しかし、多くの爬虫類ではリスク分散策がとられ、環境との相互作用、通常は温度との関係で個体の性別が決定される。30 年前、E Charnov と J Bull は、各性の適応度を最大化する温度条件がそれぞれ異なるなら、環境による性決定が選択上有利になると推論した (*Nature* 266, 828-830; 1977)。この推論は現在までのところ実証されておらず、その一因として、ある温度で「誤った」性の個体を生み出すような対照実験の設定が困難であることが挙げられる。D Warner と R Shine は、ホルモン処理を用いることでこの難題を克服し、オーストラリアのアガマ科トカゲを使ってチャノフ・ブル (Charnov/Bull) モデルが正しいことを確認した。

Letter p.566, N&V p.527 参照



DAN GARNETT



研究の「Horizons」: 5つの領域に関する将来の展望

RESEARCH HORIZONS: Five visions of the future

今週号から始まる新シリーズ「Horizons」は、各分野の専門家に依頼して、当該分野でこの数年以内に起こりそうなことを予想してもらうという企画である。今週号の表紙は、A Gormleyによる鉄像オブジェ連作「Another Place」の1つを使って、このシリーズの基本姿勢を表している。第1回の冒頭では、T Kirkwoodがシステム生物学によって疾病と老化とを切り離して考えられるようになる可能性について論じている。次いで、P Murray-Rustが化学に対する新しい「開かれた」取り組みについて述べている。彼の論文が言外に意味するところはこれだけにとどまらず、人間と同程度の情報利用をコンピューターがやってくれる「セマンティック・ウェブ」の将来にも及んでいる。M ArmandとJ-M Tarasconは、材料科学における進歩によって未来の電池が生まれる可能性を示す。G Koentgesは、化石証拠とゲノム塩基配列や分子発生生物学が結びついた分野である「エボ・デボ」について論じている。最後に、R J SchoelkopfとS M Girvinは、回路量子電磁力学が量子計算や量子コミュニケーション実現への道を開くだろうと予想している。また、Nature編集長のP Campbellが、今週号およびこれからの「Horizons」について簡単なコメントを述べている。

Horizons pp.643-669 参照

時を旅するタンパク質

Time travelling proteins

現在の生物の近縁種と遠縁種でゲノム塩基配列データを比較することにより、近縁だが現在は絶滅してしまった生物がもっていたと考えられる古代の類縁タンパク質配列を、コンピューター上で再構築することが可能である。さらに、こうしたタンパク質を実験室で「復元」することもできる。今回、細菌の伸長因子25種類に関して、推定30億年にわたるその祖先型が復元された。これらの古代タンパク質は、地質年代をさかのぼるにつれて熱安定性がほぼ直線的に増加しており、古代生命を支えていた環境は当初は高温だったのが、次第に冷却されて30億年間で約30℃低下したことが示唆された。この低下パターンは、地質記録から推定される古温度の傾向によって裏づけられる。

Letter p.704, N&V p.635 参照

損傷の原因は老人斑

Senile plaques: toxic combination

アルツハイマー病患者の脳にみられる老人斑は、何十年もかけて生じると考えられてきた。こうした斑がアルツハイマー病の病因にかかわっているのかどうかについては、激しい議論が戦わされている。今回、アルツハイマー病のマウスモデルを使って多光子顕微鏡により*in vivo*でアミロイド斑の形成を追跡する研究が行われ、局所的な神経毒性が顕在化する前にアミロイド斑が出現するという考え方が裏づけられた。意外にも、老人斑は24時間以内という短時間で急激に形成され、その1～2日後にはミク

ログリアが集合して神経突起の変化が始まるらしい。これらの観察結果から、アルツハイマー病では、ゆっくり進む神経変性の間に時々突然の皮質構造変化が起こるという可能性が浮かび上がってくる。こうした動態変動が、この病気の進行速度を変化させているのかもしれない。

Letter p.720, N&V p.638 参照

アフリカの麻疹流行の消長

The ebb and flow of measles

麻疹は多くの国ではほとんど根絶されているが、アフリカのサハラ砂漠以南地域とアジアの一部地域では、いまだに重大な死亡原因の1つである。ニジェールで、大規模な予防接種プログラムが始まる直前の1986年から2002年に発生した麻疹の疫学的研究から、流行は偶発的に時々起こり、その合間には局地的に感染が消失する時期があることがわかった。モデル研究によって、このような変動の原因が感染の季節性にあることが示された。この知見は、ワクチン接種計画のやり方に大きくかかわってくる。特に、麻疹根絶という目標に向けてワクチン接種率は上昇しているが、激しい季節性の流行は時折起こりうると予測され、このような不安定性を最小にするようにワクチン接種を最適化できるかもしれない。

Article p.679 参照

エンセラダスの2つのプリューム

Two-paced plume

カッシーニ探査計画で、土星の衛星エンセラダスの南極付近にある氷火山から、水蒸

気と氷の塵粒子が噴出する壮大なプリュームが見つかった。このプリュームの性質の1つは謎で、説明がつけられていない。というのは、塵粒子が水蒸気よりも遅く動いているのだ。Schmidtたちは、エンセラダスの間欠泉における氷の粒子の凝結に対する定量的なモデルで、この現象を説明できる可能性を示した。速度差は、ガスと塵が表面下にある間に生じている。そこでは、氷殻にできた亀裂の壁に塵の粒子が繰り返し衝突し、ガスにより再加速されることで摩擦が生じ、この摩擦によって粒子が減速しているというのである。

Letter p.685 参照

ゼネラリストが行う沿岸域の炭素代謝

Bacteria at sea

メタゲノミクス、つまり環境ゲノミクスは現実世界における微生物についての我々の理解を根本的に変えつつあり、これは実験室で行われる「クローン」培養での微生物のふるまいとはまったく違っている。今回、米国ジョージア州のサペロ島沖で採取された20リットルの海水からのマイクロコスモ作製を含む、「実験的メタゲノミクス」というまったく新しい例が報告された。この系を操作することにより、この沿岸微生物群集では、溶存有機炭素プールの特定の成分を代謝することに特殊化した細菌種ではなくて、広範囲にわたる有機化合物を利用できる代謝ゼネラリストが優占していることが示された。この知見は、炭素サイクル関連過程について分類群と機能との関係を突き止め、海洋の生物地球化学的性質に関する予測モデルの構築に、重要なかわりがある。

Letter p.708 参照

3次元ホログラフィーに加わった新たな次元

An added dimension

ホログラフィック3次元ディスプレイは、特殊な眼鏡を必要とせずに人間の自然な視覚をシミュレートする。そのため、ホログラフィック3次元ディスプレイは、医学、工業や軍事用の画像化など状況認識を必要とする用途に特に適している。現在市販されているホログラフィック3次元ディスプレイの製品は、画像更新機能がないか（つまり「ライトワンスデバイス」）、画像の持続性が不十分である。Tayたちは今回、複数の有用な特性を組み合わせさせた特殊な構造の光屈折性ポリマーを使った記録媒体の開発を報告している。この材料を使ったホログラフィック3次元ディスプレイは数分ごとに新しい画像を記録し、表示することができ、サイズも大きく（4×4インチ）、リフレッシュすることなく数時間見ることができ、そして容易に消去して新しい画像に書き換えられることが実証された。

Letter p.694, N&V p.636 参照



飛ぶのが先：コウモリの進化の謎を解く

FLIGHT FIRST: Solving the mysteries of bat evolution

米国ワイオミング州のグリーンリバー累層からは重要な化石が数多く出土しており、40年以上にわたって最古のコウモリとされてきた *Icaronycteris index* もその1つである。頭蓋の特徴から、これは捕食する昆虫の位置を反響定位で認識していた可能性が示唆されている。このことは、コウモリの進化に関して「飛翔先行」、「反響定位先行」、および「並行発達」という各仮説の間に活発な議論を巻き起こしてきた。今回、グリーンリバーで、ほぼ完全な骨格の2体（表紙はその1つのキャスト）を含む新たなコウモリ化石が発掘された。これによって、飛翔先行説に軍配が上がりそうだ。今回の新種は、既知のものの中で最も原始的なコウモリである。翼は完全に発達していて、動力飛行が可能なのは明らかだが、耳部の形態から反響定位能力は欠如していたことが示唆され、飛翔も反響定位もしない祖先哺乳類とコウモリの間に位置する中間種と考えてよいだろう。丈夫な後肢や長く伸びた指のすべてに小さな爪があるなどの四肢の特徴は、この新種が身軽に木登りをしていただろう可能性を示している。表紙の写真：アメリカ自然史博物館。

[Letter p.818, N&V p.774 参照](#)

コヒーシンのもう1つの顔

The other face of cohesin

ヒトゲノム中のコヒーシン結合部位の分布に関する研究で、遺伝子転写の区切り壁となる転写インシュレータータンパク質 CTCF の結合部位にコヒーシンが一緒に局在することが明らかになった。コヒーシンは、染色体分配時に姉妹染色分体の接着を促進する「染色体の接着剤」の役目を果たすタンパク質として広く知られている。今回得られた新たな知見は、コヒーシンのもう2つ目の独立した役割が、転写インシュレーターとしての CTCF の機能の促進であることを示している。この発見は、ロバート症候群やコルネリア・ド・ラング症候群などコヒーシン異常を原因とする「コヒーシン病」に関与しているような経路に関する手がかりとして、医学的な意味をもつと考えられる。

[Article p.796, N&V p.777 参照](#)

エチレンジングナルを伝達する2つの経路

Ethylene's dual control

エチレングスは主要な植物ホルモンの1つで、発芽、結実などの重要な過程を調節している。これまでの研究で、5つのエチレン受容体から1つの負の調節因子 CTR1 に合流し、さらに下流の2つの重要な因子 EIN2 および EIN3 へとシグナルが送られる直線的な経路が見つかった。しかし、CTR1 がどのようにして下流の正の調節因子を制御するのかは不明であった。今回、シロイヌナズナ (*Arabidopsis*) のエチレンジングナル伝達系で、MKK9をはじめとする MAP キナーゼ (MAPK) を含むこれまで知られていなかった経路が、EIN3 を介する転写を正に制御することが明らかにされた。つまり、CTR1 と MKK9 の拮抗する作用は、EIN3 の安定性に対して正反対

の作用をもつ2つの MAPK リン酸化部位を介して、エチレンジングナル伝達系の特異性及び量的反応を決定しているらしい。

[Article p.789 参照](#)

超新星の前駆天体を突き止める

Primed to explode

Ia 型超新星は宇宙膨張の観測に使われる星の爆発である。こういう超新星は、宇宙に存在する鉄の大部分を生成するため重要なものだ。だが正確にはどのような天体が、どういう原因で爆発するのかはよくわかっていない。連星系を成す白色矮星は候補天体として可能性が高いが、前駆天体を突き止める間接的な方法はうまくいかなかった。R Voss と G Nelemans は今回、2007年11月5日に爆発した超新星の前駆天体の直接観測について報告している。この超新星爆発の4年前にチャンドラ X 線天文衛星が撮影した画像の中から、超新星 SN 2007on とまったく同じ位置にある天体が発見された。チャンドラがこれまでに撮影した深部可視光画像アーカイブでは、この位置には何も写っていない。このことから、この超新星には、伴星から白色矮星に物質が降着しているとする降着モデルが当てはまりそうで、2つの白色矮星が合体したのではなさそうだ。

[Letter p.802, N&V p.775 参照](#)

電力を集めるナノ材料

Nanomaterial: power dresser

ナノデバイスはそれほど多くのエネルギーを使わない。もしもその必要な少量のエネルギーを、歩行、心臓の鼓動、騒音や気流などに伴って生じる振動から集めることができれば、パーソナル電子機器、センシング、防衛技術でのさまざまな用途への道が開か

れる。この種のエネルギー収集には、例えば10ヘルツ未満といった低周波領域で機能する技術が必要であり、理想的には柔軟な材料の使用が望ましい。今回、ジョージア工科大学の研究グループが、低周波の振動/摩擦エネルギーを、織物用繊維の周りに放射状に成長させた圧電性酸化亜鉛ナノワイヤーを用いて電力に変換するシステムを実現した。2本の繊維をからませて繊維に結合したナノワイヤーを互いに擦り合わせるにより、機械的エネルギーが圧電半導体結合プロセスによって電力に変換される。この研究は、微風や身体の動きからエネルギーを集める織物を作製できそうな方法を明らかにしている。

[Letter p.809 参照](#)

3つのRNAポリメラーゼ

Three RNAPs is company

古細菌は原核生物の2系統のうちで、より原始的であると考えられていたこともあるが、現在では真正細菌 (Bacteria) よりも真核生物 (Eukarya) のほうにより近いと考えられている。古細菌の RNA ポリメラーゼ (RNAP) の結晶構造が決定されたことで、古細菌、真正細菌、真核生物という生物の3つのドメインの間で、転写装置の構造比較が可能となった。古細菌の酵素の構造は真核生物のそれと実によく似ており、真核生物での転写の分子基盤を調べるためのモデル系として役立ちそうだ。

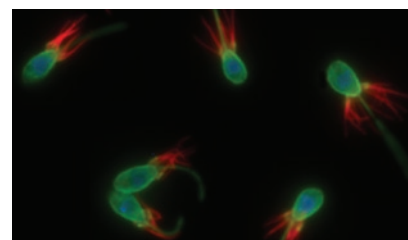
[Letter p.851 参照](#)

重要な原生動物のゲノムを解読

A key protozoan genome

海洋性の襟鞭毛虫 *Monosiga brevicollis* のゲノム塩基配列が決定された。襟鞭毛虫は原生動物の主に固着性の分類群で、海綿動物の「摂食細胞」と似ており、多細胞動物に最も近縁の現生単細胞動物であると考えられている。*M. brevicollis* のゲノム塩基配列を後生動物のゲノムと比較したところ、後生動物に直近の単細胞型祖先動物はイントロンに富む遺伝子をもっていて、その一部は、動物の細胞接着や細胞外マトリックスに通常関連するタンパク質ドメインをコードしていたことがうかがえる。襟鞭毛虫のうちに今回調べられたものはまったくの単細胞性だが、一部にはコロニーを形成するものもあり、大昔の後生動物がもっていた細胞シグナル伝達その他の機構の起源に関する手がかりを与えてくれるかもしれない。

[Article p.783 参照](#)



ダブルブラインド方式の査読をめぐる

Working double-blind

Nature Vol. 451 (605) / 7 February 2008

著者を匿名にする必要はあるのか？

著者と査読者の両方を匿名とするダブルブラインド方式の査読は、非常にいいものだと思われるようだが、あまり実践されていない。出版研究コンソーシアム (Publishing Research Consortium : PRC) は、自然科学、社会科学、人文科学にわたる 3000 人の研究者を対象とした国際調査により、査読についてどのように考えているかを評価した。1 月に発表された調査結果¹は、査読の価値を強く肯定するものとなった。また、71 パーセントの人がダブルブラインド方式による査読を信頼しており、56 パーセントの人が他の査読方式よりもこの方式を好ましいと思っていることも明らかになった。ダブルブラインド方式を最も支持しているのは、この方式の経験者 (人文科学と社会科学) と、この方式による利益が大きいのと考えられている人々 (女性著者) であった。最も消極的なのは編集者であった。編集者、特に *Nature* の編集者は、自らの姿勢を再考すべき時期にきているのだろうか？

著者の氏名が査読者に知られる場合、著者本人や以前の研究についての先入観や、著者の性別、国籍、当該研究分野に参入してから日が浅いことなどへの偏見により、著者が不利益を被る可能性がある。しかし、PRC による調査結果は、「査読者が著者の氏名を知ること、適切な質問をすることが可能になる (例えば、複雑な技術的説明と実験技術の低さを区別することが可能になる)」という *Nature* らの所信を裏づけている。査読者が著者の氏名を知ることには、著者がこれまでに発表してきた論文と新しい論文を比較し、その報告に新規性があることを保証するのを容易にするという利点もある。さらに、著者の氏名を憶測ではなく確実に知ること、査読者は編集者に潜在的な利害対立を申し出やすくなる。

ダブルブラインド方式による査読のほうがすぐれているという証拠はあるのだろうか？ ダブルブラインド方

式を採用することにより、編集者や著者が建設的だと思うコメントが増えたり、著者が本当の意味で保護されたり、偏見が少なくなったりするのなら、この方式はすぐれているといえるだろう。これまでのところ、まだ結論は出ていない。少なくとも、生物医学文献での 1 つの研究では、ダブルブラインド方式による査読がレビューの質を向上させるという結果が得られたが、7 誌の医学専門誌でのより大規模な研究^{2,3}では、査読者と著者の両方が匿名にされた場合にも、著者も編集者も、コメントの質にこれといった違いを感じていなかった。査読者は、約 40 パーセントの論文について、その著者を少なくとも 1 人は特定することができた。これは、ダブルブラインド方式の存在理由に疑問を投げかける事態である。*Public Library of Science* の編集者は、ダブルブラインド方式による査読を要請する人が非常に少ないうえ、著者の氏名があまりにも容易にわかってしまうため、この方式を廃止してしまった。

ダブルブラインドによる査読の 1 つの利点は、女性のファーストネームをもつ著者に対する偏見が明らかに減少することである (このことは、参考文献 4 をはじめとする多くの研究で立証されている)。この結果は、旧弊な学術誌に論文を投稿する著者は、実際に発表される最終版のみにファーストネームを入れるべきであることを示唆している。

ダブルブラインド方式は、正式に発表される前の論文は秘密にするべきであるという文化に根ざしている。生命科学の分野では、ほぼそのようになっている。しかし、高エネルギー物理学をはじめとする一部の物理科学分野では、arXiv というオンラインリポジトリを通じてプレプリントが広く共有されている。このように、ダブルブラインド方式による査読は、学問の世界をよりよいものにしようとするもう 1 つの勢力である「情報の開示」と

対立している。PRCによる調査では、競争の激しい分野（神経科学など）や商品化や応用への関心が高い分野（材料科学や化学工学など）ではダブルブラインド方式への支持が高いのに対して、情報開示の伝統がある分野（天文学や数学など）では、明らかに支持が少ないことがわかった。

結局、学術誌はどうすればよいのだろうか？ 編集者は、中立の立場で査読者と著者の間の橋渡しをする責任を負っているのだから、ときには偏見から著者を保護する役に立つこともあるだろう。いうのは簡単だが、実践するのはむずかしい！ PRCによる調査は、編集者の公平性がほとんど信頼されていないことを示唆している。けれども編集者たちは（少なくとも *Nature* とその姉妹誌の編集者は）、確かにその責任を重く受けとめている。

Nature の編集方針は、長期的には透明性を高める方

向に進んできている。こうした動きを、ダブルブラインド方式の有益さを裏づける証拠がないという事実と考え合わせると、近い将来、本誌がダブルブラインド方式による査読をデフォルトとするようになることはないと思われる。しかし、本誌の読者の多くは、論文の著者であるだけでなく査読者でもある。我々は、著者の匿名性に関する両方の視点からの意見を歓迎する。そのために、この論説を http://blogs.nature.com/peer-to-peer/2008/02/working_doubleblind.html に掲載し、コメントを募集することにした。 ■

1. Publishing Research Consortium Peer Review in Scholarly Journals (Mark Ware Consulting, Bristol, 2008); available at <http://www.publishingresearch.net/PeerReview.htm>
2. Justice, A. C. et al. *J. Am. Med. Assoc.* **280**, 240-242 (1998).
3. Cho, M. K. et al. *J. Am. Med. Assoc.* **280**, 243-245 (1998).
4. Budden, A. E. et al. *Trends Ecol. Evol.* **23**, 4-6 (2008).

nature



知ってることは載っていない

nature

www.naturejpn.com

 nature asia-pacific

南極の氷の下に火山を発見

Volcano found under Antarctic ice

活火山が氷河の急激な融解に関与している可能性がある。

doi:10.1038/news.2008.304 / 18 January 2008

Quirin Shiermeier

南極の氷の下に活火山があることが、科学者により発見された。この火山が最後に噴火したのは、つい 2000 年前のことである。そのホットスポットは、西南極氷床のバイン島領域の下にある。この領域の氷河は、南極大陸のほかのどの場所の氷河よりも急速に後退している。今回の大発見は、この領域で急激に氷が失われている理由を説明する役に立つかもしれない。

南極大陸には静かな雪原が果てしなく広がっているだけと思われがちだが、実際には、複数の活火山があることが知られている。なかには、氷の下から頭をのぞかせているものもある。ロス海のロス島にあるエレバス山は、この地域で最も有名な活火山であり、その持続的な活動は 1970 年代から観察されている。

この火山活動に注目した一部の地質学者は、南極大陸の氷の下に潜んでいる火山が、氷河の融解と流動に影響を及ぼしている可能性があると考えようになった。しかし、そのようなホットスポットは、これまで確認されたことがなかった。

英国南極調査所（本部ケンブリッジ）の Hugh Corr と David Vaughan は、3 年前にこの領域で行われた、上空からのレーダー探査のデータを分析した。その結果は、氷の中心付近の深さにある層からの反射波が異常に強く、より深いところにある基岩からの反射波よりも強いという、予想外のものになった。Nature Geoscience に掲載された彼らの論文は、この結果を合理的に説明するには、氷の中に近年の噴火による灰の層があると考えないと結論づけている¹。

アルフレッド・ウェゲナー極域海洋研究所（ドイツ、プレーメルハーフェン）の地球物理学者 Karsten Gohl は、「こ

れは、ちょっとしたセンセーションです」という。「この領域にあると考えられていた火山活動の動かぬ証拠が、ようやく手に入ったのですから」。

噴気孔

英国南極調査所のチームは、紀元前 325 年ごろの噴火により、0.019 ~ 0.31 立方キロメートルのテフラ（火山砕屑物）が噴出したと見積もっている。「それはおそらく、過去 1 万年間に南極大陸で起きた噴火のうち、最も大規模なものだったでしょう」と Vaughan はいう。「この噴火により氷床には大きな穴があき、そこから噴出した火山灰と火山ガスは高度 1 万 2000 メートルに達したと考えられます」。約 2 万 3000 平方キロメートル（英国ウェールズや四国よりやや大きい面積）にわたって堆積した火山灰は、その後の降雪により埋もれていった。

チームは、火山灰の上に雪が降り積もる速度をモデル化し、火山灰の上にある氷の厚みを調べることで、噴火の時期を特定した。噴火の規模の見積もりがごく大ざっぱなものであることは、彼らも認めている。「現時点では、ここまでの見積もりしかできません」と Vaughan はいう。「いつの日か、ボーリング穴を掘って確認したいと思っています」。

この付近の氷河の下でも別の噴火が起きた可能性があるが、その証拠を発見するのはむずかしいかもしれない。おそらく、火山灰層の大半は、氷河の急激な後退により海へと運ばれてしまったと考えられるからである。

Gohl は、2010 年に計画されている西南極大陸遠征の際に、海洋堆積物の中に火山性物質の痕跡がないかどうか探そうと考えている。



上空からのレーダー探査により、氷の下にあるものを画像化できる。写真は英国南極調査所のプロペラ機。

地熱

バイン島氷河は、海へと流れ込むことにより、毎年 1 キロメートル以上ずつ短くなり、数メートルずつ薄くなっている。この広大な氷河地域のすべての氷が溶けることはまずありえないだろうが、もしそうならば、世界の海面は 1.5 メートル上昇することになる。

科学者は、氷河の融解のほとんどは、海水温の上昇により、氷が割れて冰山として流れ出すペースが速まるために起こると考えている。けれども、西南極大陸のこの地域に活火山があることは、氷河を下から暖めている地熱が、氷河の急激な融解にも大きな役割を果たしていることを示唆している。

「今回の知見により、氷河の下の温度という非常に基本的な条件が変わったのです」と、ペンシルベニア州立大学ユニバーシティパーク校（米国）の Sridhar Anandakrishnan はいう。「今後、西南極大陸の氷河の流れのモデル作製をする際は、地熱を考慮に入れなければならないのです」。

1. Corr, H. F. J. & Vaughan, D. G., Nature Geosci. doi:10.1038/ngeo106 (2008).

睡眠中の脳で体験を早送り再生

Sleeping brain plays back events in fast-forward

ラットの研究で長期記憶の形成されるようすが明らかになった。

doi:10.1038/news.2007.253 / 15 November 2007

Michael Hopkin

眠っているラットの研究から、脳が新しい体験を長期記憶に組み込む仕組みの一端が明らかになった。脳は、その日に起こった出来事を実際の時間経過の数倍の速さで「再生」し、長期記憶として固定していることが、実験から示唆されたのである。

この研究成果は、アリゾナ大学（米国ツーソン）の神経科学者チームによるもので、長期記憶の形成を担っている内側前頭前皮質（mPFC）という脳領域が、目覚めていたときの体験を睡眠中に「再生」することで記憶を固定しているとする説を裏づけるものだ。また、脳はこれらの体験を、実際の経過時間よりはるかに短い時間で再生することも明らかになった。

Bruce McNaughton の率いる同研究チームは、2匹のラットを、50分の活動時間中に1つの区画内の異なる何か所かを一筆書きのように連続して走っていくように訓練した。その課題を終えたラットには、最大で1時間の睡眠をとらせた。

研究チームは実験を行っている最中に、ラットの mPFC 領域にある特定の脳細胞の活動状況をモニターした。すると、ラットが課題をこなしているとき、それらの脳細胞には特徴的な活動パターンがみられた。その後の睡眠時にも、課題をこなしているときと同じ活動パターンを示したが、速度ははるかに速かった。

睡眠中のラットの脳は、実際に課題を行っているときのおよそ6～7倍の速度で、この特徴的な活動パターンを再生したのである。この成果は、*Science* 誌に報告された¹。

早送りモード

この実験で観察された「再生」は、長期記憶保存における mPFC 領域の役

割とうまく符合する。ごく最近体験したことの記憶には海馬という脳領域がかかわっており、神経科学の研究者たちは、睡眠中に、海馬にある短期記憶保存庫から mPFC 領域にある長期記憶保存庫へと記憶が「転送」されるのだと考えている。

「早送り再生」は、記憶に関連する海馬などほかの脳領域で既に見つかっている。しかし、前頭前皮質で見つかったのは今回が初めてだ、とマサチューセッツ工科大学（米国ケンブリッジ）の神経生物学者である Matthew Wilson は語る。「この研究結果によって、睡眠中の協調した記憶情報処理に、前頭前皮質が確実にかかわっていることがわかります」と彼はいう。

脳がなぜ、実際の体験の経過時間よりも速い速度で体験を再生するのかはよくわかっていない。それを認めつつ、McNaughton たちはこのように考えている。つまり、脳細胞どうしが連結して作り上げている情報処理経路には、脳細胞を介した電気的信号の伝導から規定される速度が本来あるのではないか。そして、実際に行動しなければならないという制約下に置かれている場合には、脳は「減速」せざるを得ないのだろう。

「それは非常に説得力のある説だと思います」と Wilson は賛同している。ラットの脳でみられた急激な再生は、1回当たり数百ミリ秒しか続かなかった。このことから、ラットの脳は体験を小さい塊にして再生し、それらを小さいパッケージの記憶に加工処理していることがうかがわれる。

睡眠中のヒトでは

睡眠中のヒトの脳でも同様の情報処理がまず間違いなく起こっており、この処理は夢にも関係している可能性がある、



長期記憶は睡眠中はどうやって固定されるのだろうか。

と Wilson は語った。そして、「こうした現象は、ヒトで報告される夢に似た状態と直接関係していると考えています」と付け加えた。

睡眠中のヒトの脳をラットの脳と同じくらい徹底的に詳しく調べることは、倫理規定からいって通常不可能である。しかし Wilson は、ラットの脳研究もヒトの睡眠研究も向上しているので、両者のギャップはいずれ埋まるものと期待している。

「ヒトの睡眠研究では、何が起きているのかを知ることはむずかしいが、睡眠に関連する活動によって生じた結果を知ることは可能です」と Wilson はいう。ただし彼の考えでは、睡眠中にヒト脳内で起こっていることとラット脳内で起こっていることには、「重なり合う部分があり、それは収斂性のものであるように思われ、一貫性のあるもののようにも思われます」という。 ■

1. Euston, D. R., Tatsuno, M. & McNaughton, B. L. *Science* **318**, 1147-1150 (2007).

ひねくれた貝殻

Snail shell takes a weird turn

殻のらせん軸を 3 回も方向転換する新種の巻き貝が見つかった。

doi:10.1038/news.2008.421 / 8 January 2008

Nicola Jones

貝殻の巻く方向（らせん軸）が 4 つある巻き貝がマレーシアで発見され、巻き貝の成長と形態に関する定説に疑問が出てきた。この巻き貝がどうやって、あるいはなぜ、そのような形の殻を作るのかは今のところまったくわかっていない。

「この発見は生物学上のちょっとした事件です」と、オランダ国立植物標本館（ライデン）の系統分類学者で、この巻き貝を発見した調査チームのメンバーである Jaap Jan Vermeulen いう。

陸上にすむ巻き貝の大部分は、殻のらせん軸が 1 本で、単純ならせん形をしている。なかには、らせん軸が 2 本のものもあり、その場合は成長初期にまず一方向に巻き始め、その後、方向を 90 度または 180 度転換する。ノタウチガイ属（*Opisthostoma*）の数百種もの巻き貝の大部分は、殻のらせん軸が 3 本で、成長の末期に最後の軸の方向転換が起こる。

マレーシアに生息する軟体動物の目録を作成するために土壌内を調査している研究チームは今回、殻のねじれがもっと多いノタウチガイ類の新種を 2 種発見した。そして、それらの 1 回目の報告として、一方の種を *Opisthostoma vermiculum*（vermiculum は小さなぜん虫の意味）と名づけて、*Biology Letters* に報告した¹。

あぜんとする形

異様に曲がりくねったその巻き貝標本は、石灰岩質の発掘場所の土壌内で見つかったもので、どうみても普通ではなかった。「私たちは、しばらくの間あつけにとられていました」と話すのは、環境保護組織 WWF マレーシア（セランゴール州）の生物種保全部門マネージャーで、調査チームのリーダーを務める Reuben Clements である。

「変異体なのではないか。1 個目を

見つけたとき、私はそう思いました」と Vermeulen いう。「しかし、現在までに多数の標本が得られており、貝殻の形は皆同じです」。彼らの論文には、まったく同じように曲がりくねった貝殻が 38 個記載されている。

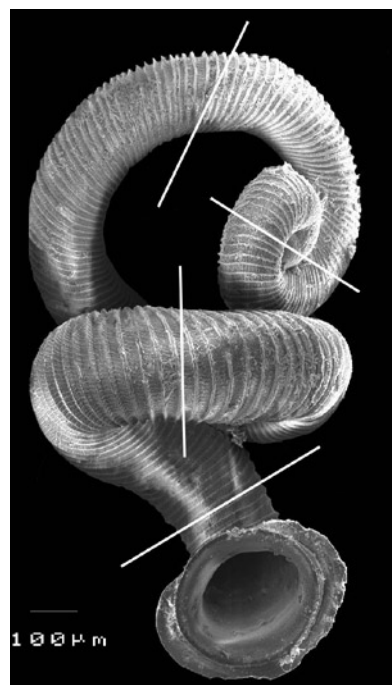
「実に奇妙な巻き貝です。体軸がねじれる軟体動物はおよそ 10 万種知られていますが、この巻き貝は私が知る中で唯一の、4 本のらせん軸をもつ種です」と、ブリュッセル自由大学（ベルギー）の生物学者で海生貝類の専門家である Bernard Tursch は話す。

この貝殻の形については、今のところまったく説明がついていない。ねじれた部分の一部は何の支持構造もなく浮くように突き出しており、この形だと貝殻が損傷しやすいはずである。

理由はわからず

海生の軟体動物は形の複雑な貝殻をもっていることが多く、時にはそうした貝殻のらせん軸がはっきりしてなくて、むやみやたらな向きに成長するものもある。これは陸生の巻き貝には当てはまらないのだが、*O. vermiculum* の曲がりくねった貝殻は海生の巻き貝の場合と非常によく合致する。「これを支配する何らかの内なるメカニズムがあるに違いないが、理由は全然わからないし、どうやってこの形ができるのかも謎です」と Vermeulen いう。

この軟体動物の暮らしぶりや貝殻の奇妙な形の利点を解き明かすには、生きた個体を見つける必要がある。この巻き貝は高さがわずかに数ミリメートルなので、見つけるのはなかなかむずかしいだろう。もっと都合の悪いことに、これに近い仲間の巻き貝は見つかりにくいように少量の泥でカモフラージュすることが知られている、と Vermeulen いう。調査チームは、夜間の野外調



ひねりを利かせすぎ：この貝殻にはらせん軸が 4 本ある。

査で生きた状態の巻き貝を採取できるかもしれない期待をかけている。

調査チームは、今後数年のうちにマレーシア本土の陸生巻き貝種の野外観察図鑑を完成させる予定でいる。彼らによると、これまでの 2 か月の標本採集で、16 の地区から、形態の類似性で分類した 190 以上の種（形態種）が見つかり、標本採集の対象地区はまださらに数百か所ある。

新種の記載報告は、こうした種の保護に役立つはずだと Clements は述べ、「この地域では石灰岩の採石が加速度的に進んでおり、多くの新種が発見されるのを待たずに絶滅してしまう可能性があります」と語った。■

1. Clements, R., Liew, T.-S., Vermeulen, J. J. & Schilthuizen, M. *Biol. Lett.* doi:10.1098/rsbl.2007.0602 (2008)

Huge crystal baffles chemists

化学者を当惑させる巨大結晶

Nature Vol. 451(383)/24 January 2008

Katharine Sanderson

これまでに作製された単一分子結晶の中で最も大きい球状の結晶が、化学者を当惑させている。500 個近い銀原子を含むこの結晶は、非常に大きく複雑であるため、生みの親たちもその構造を解明することができずにいる。

カールスルーエ大学（ドイツ）の Dieter Fenske らが作製した 30 個の結晶は、いずれも 490 個の銀原子を含み、これらが 188 個の硫黄原子と 114 個の有機基によって結びつけられた、 $\text{Ag}_{490}\text{S}_{188}(\text{StC}_5\text{H}_{11})_{114}$ という物質であると考えられている。1 月にこの結晶の構造を発表した Fenske は、エネルギー計算によると「これが理想的な構造なのです」と説明する (C.E. Anson *et al.* *Angew. Chem. Int. Edn* doi:10.1002/anie.200704249; 2008)。

「これだけ大きい構造になると、結晶学的技術の限界に近いところで解析を行うこととなります」とバース大学（英国）の化学者 Paul Raithby は語る。けれども彼は、「結晶学と質量分析法により確認するかぎり、この構造は最大限に明確に立証されています」とも付け加える。

Fenske の分子は「クラスター」とよばれ、直径約 3 ナノメートルの結晶を作る。結晶の外側にははっきりした「殻」があり、X 線回折法により（容易ではないが）その構造を特定することができる。

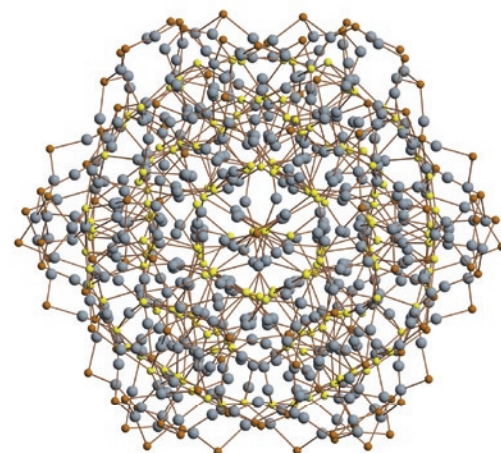
しかし、殻の内側の構造ははるかに複雑である。Fenske のクラスターの内部には、典型的な結晶にみられるような規則正しい構造の代わりに無秩序がある。内部の空間は、銀原子と硫黄原子が無秩序に結合したものによって埋め

尽くされている。硫化銀 (Ag_2S) 分子は、立方体、8 面体、12 面体など、さまざまな形状に配列することができる。Fenske のクラスターの内部は非常に乱雑なので、どのサンプルについても、どの形状をとっているのかはわからない。Fenske は、クラスターの内部は「溶けている」ようにみえると表現する。

Fenske のクラスターの性質を解明することは、いくつかの理由により困難である。これらは結晶のように成長するが、無秩序な中心部が問題となる。「粒子の内部が『流動的』であれば、それは結晶ではありません」とブラッドフォード大学（英国）の結晶学者 Frank Leusen は指摘する。それでは分子なのだろうか？ そうだと答える人もいるが、明言を避ける人もいる。「これらの系は、分子化学とバルク材料化学の境界にあるのです」と Raithby はいう。「適切な用語が見つからなくて、少々困っているのですが」と Leusen は付け加える。

Fenske のクラスターは非常に大きい。そのため、分子化学の範囲を超えて、巨視的粒子の領域に属する性質を示す可能性がある。例えば、これらは興味深い電気的特性をもっているかもしれない。

クラスターは大きくて複雑なので、その内部構造は X 線回折法ではわからない。X 線回折法では、回転する結晶内の原子によって反射された X 線がスポットパターンを生じる。これらのスポットを原子の周りの電子密度分布図へと変換し、最終的には分子の構造を計算する。しかし、分子が大きくなればスポットの数も増え、スポットどうしが近づき、重なってしまうこともある。また、分子



ごちゃごちゃした原子配列：この巨大結晶の正確な構造は決定不能と判明するかもしれない。

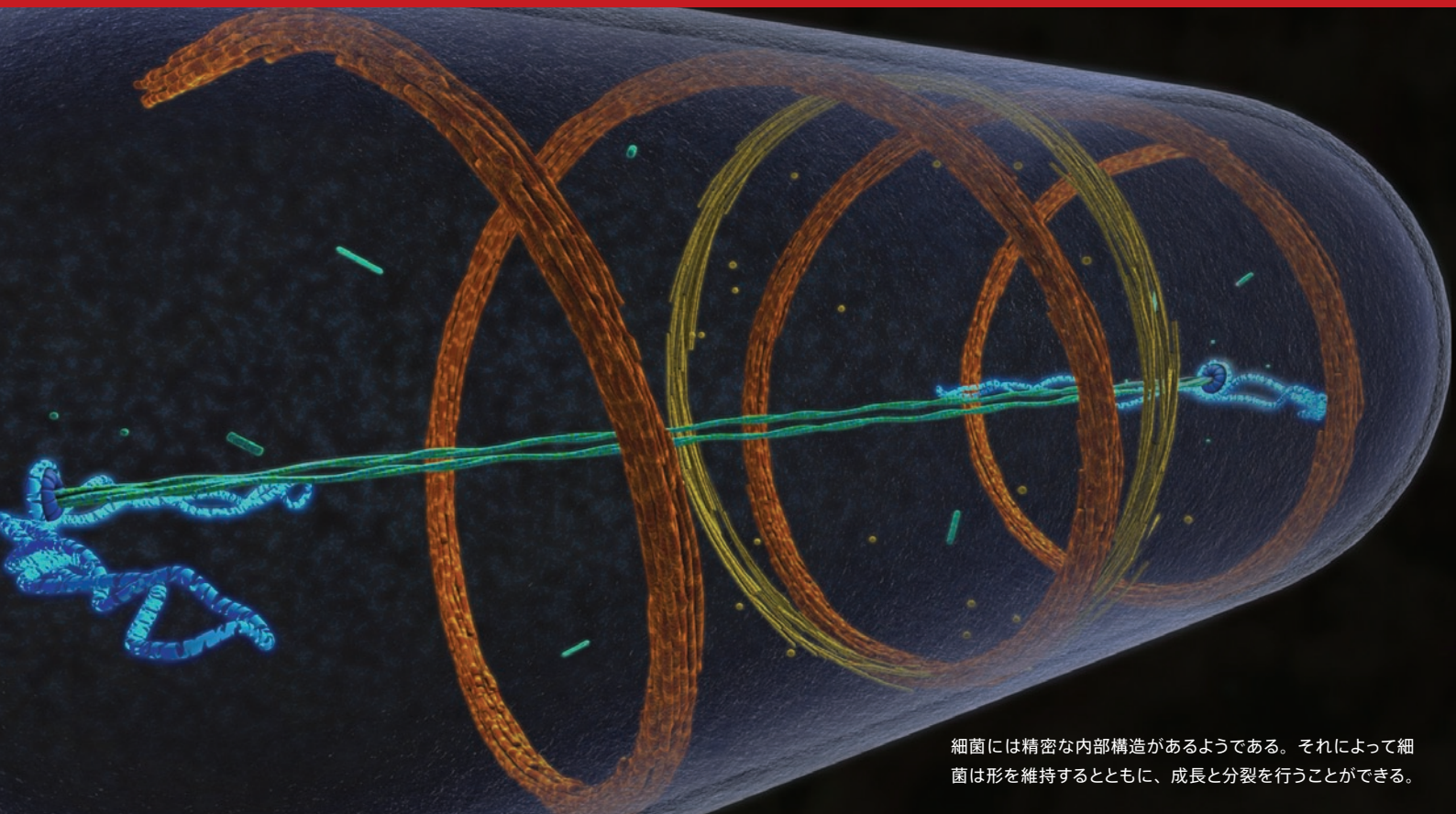
が大きくなると、個々のスポットの強度が低下してくる。

代替策として Fenske は、 Ag_2S が既知の分子量の範囲内で取りうるさまざまな内部形状について、考えられる配列を計算した。彼が計算した中で最も密につまった配列は 490 個の銀原子を含むものであり、これまでに報告されたクラスターの中では圧倒的に大きい。

「この論文の研究はたいへんすばらしい」とニューカッスル大学（英国）の結晶学者 Bill Clegg は語る。

しかし、Fenske はさらに先をめざしている。彼は、問題の黒色結晶が生成した混合物の中には 800 個の銀原子を含むクラスターも存在していると考えており、現在、その構造解析に取り組んでいる。「まず間違いなく、もっと大きな粒子が得られるでしょう」と Fenske は話している。





細菌には精密な内部構造があるようである。それによって細菌は形を維持するとともに、成長と分裂を行うことができる。

BACTERIA'S NEW BONES

細菌の新たな骨

Nature Vol.451 (124-126) / 10 January 2008

単にのっぺらぼうで無秩序な袋と考えられてきた細菌だが、今や高度な内部構造が多数見いだされている。Ewen Callaway が細胞生物学の新領域に迫る。

J. IWASA

10 年ほど前、ニューカッスル大学（英国）の微生物学者 Jeff Errington は、MreB という不思議な細菌タンパク質をいじくりまわしていた。これを細菌から除去すると、細菌は特徴である円筒形の形状が崩れるのであった。このタンパク質が構造上果たしている明確な役割、さらにはその配列までもが、祖先がアクチンと共通であることを示唆していた。アクチンとは、複雑な細胞の内部に繊維状の大ネットワークを作り出

し、細菌の内部構造の枠組み「細胞骨格」を形成するタンパク質である。しかし、Errington が蛍光標識と固定剤との適切な組み合わせを発見するまでは、機能する MreB を誰も顕微鏡下で見たことがなかったのである。

2001 年の論文で Errington は、桿状の細菌 *Bacillus subtilis* の表面に、明るい蛍光を発しながら理髪店のサインポール状の縞模様を描く MreB（上の図の橙色）を世に示した¹。「現れたの

はこんなびっくりするような像でした。このように考え方を根本から変えさせられる像は、研究者として実験をしていてもめったにお目にかかれません」と Errington は話す。

100 年以上にわたり、細胞生物学研究の場は「本格的」な細胞、つまり真核生物（動植物や原生生物、菌類などを含むカテゴリー）の細胞であった。真核生物であることを決定づける特徴は、内部構造の「小宇宙」である。ゲノムを

内包し孔が散りばめられた核から、ゴルジ体という脂質の袋、無数のミトコンドリアに至るまで、さらには細胞の周囲のものを輸送して細胞に形と動く能力を与えるタンパク質「ハイウェイ」のネットワークまでもが「小宇宙」でさんざめいている。こうした要素のそれぞれが細胞生物学の重要な発見であり、そしていずれも細菌にはないものである。真核細胞の数百から数千分の一の大きさしかなく、一見して何の特徴的な内部構造も持たない細菌は、細胞生物学の「パーティー」に招待されることはほとんどなかった。しかし Errington の発見はその状況を変化させる動きの一端となった。

カリフォルニア大学サンフランシスコ校（米国）の生物学者 Dyche Mullins は、真核細胞内の秩序を維持する分子のケーブルと足場のネットワークを解明することに研究生生活の大半を費やしていた。Errington の論文に接した Mullins は、下等な細菌を見つめ直した。「細菌細胞の内部には、我々が見過ぎてきた仕組みが数多く存在していたのです」と Mullins は語る。それ以来、Mullins は細菌の研究に没頭するようになった。昨年 12 月、ワシントン DC で開催された米国細胞生物学会の年次大会で、Mullins は議長を務めた。Mullins が議長に任ぜられたことは、細菌が「パーティー」のゲストの一員に迎えられたことを明示している。

スタンフォード大学（米国カリフォルニア州）の微生物学者 Lucy Shapiro は、この大会で 1 時間にわたって細菌に賛辞を贈った。「大方の人は、細菌の細胞がプールのようなものであって、染色体はこの中に浮かぶスパゲティの固まりのようなものだと考えていました」と語る Shapiro は、細菌細胞生物学という分野を立ち上げたことで多くの人から評価されている。

細胞外のゼネコン

成長と増殖に忙しく、ほかにはほとんど何もしない細菌の生活は、無限の増殖サイクルのようにもみえる。栄養状態の

よい細菌は、高栄養の無菌培地で 30 分に 1 回程度細胞分裂することができる。細胞骨格は細胞の効率的な成長と分裂に最も重要なものであるが、その仕組みの解明は緒に就いたばかりである。

ほぼすべての細菌種で細胞の周囲に巻かれた帯状のタンパク質である FtsZ（前ページの図の黄色）を除去してみよう。真核細胞のタンパク質、チューブリンとごく近縁の FtsZ がなければ、桿菌とよばれる桿状の細菌は 2 つに分裂できずにどんどん長く成長する。デューク大学医療センター（米国ノースカロライナ州ダラム）の細胞生物学者 Harold Erickson は、どういう仕組みかわからないが FtsZ が分裂する細胞を締めつけるのだと話す。真核生物ではチューブリンが細胞の分裂に関与しているが、その役割は FtsZ とまったく異なっている。チューブリンが形成する微小管は細胞分裂のときに染色体を 2 つに引き離すのであるが、その過程はこれまでによく研究されている。

Erickson ははじめ、チューブリンの研究にとりかかった。しかし、1990 年代に別の研究室が発表した細胞内 FtsZ 構造の図に惹きつけられ、FtsZ の情報を集め始めた。研究費を再申請する時期がきたとき、その半分を細菌タンパク質に充てた。「私は決心したのです。チューブリンに関する研究では、まったくひらめかなかったのです。」と Erickson は振り返る。1 回目の研究費申請では資金の獲得はできず、さらに申請が必要となったが、Erickson は顧みなかった。

1 つの細胞から 2 つの細胞を生み出すことは、細胞骨格の重要な仕事の 1 つである。細菌は分裂にあたって、ペプチドグリカンの硬い細胞壁を再構築する必要がある。ペプチドグリカンとは糖とアミノ酸の「煉瓦」から組み上げられた高分子である。桿菌は周囲を MreB タンパク質に取り巻かれなければ、球状に成長する（p.14 の図を参照）。細胞壁の建設と破壊を取り仕切るのは MreB である、とプリンストン大学（米国ニュージャージー州）の微生物学者

Zemer Gitai は語る。MreB とその関連タンパク質が細胞質内にタンパク質の足場を作り、それが細胞質外で細胞壁を「建設する」酵素に新しい「煉瓦」を積む場所を知らせている、というのが 1 つの考えである。Gitai によれば、2 層の膜が MreB のらせんを細胞壁と隔てているため、別のタンパク質が間をとりもってやる必要があるという。

また、細菌が分裂するときには、新しい細胞のそれぞれに自身の DNA が必要である。細菌がもつ 1000 個程度の遺伝子のほとんどは長い染色体上にあるが、プラスミドという小さな環状の DNA も抗生物質耐性などの恩恵を細胞に与えている。

Mullin の研究室では、細菌版のアクチンである ParM というタンパク質を研究している。これは、細胞分裂時に特定のプラスミドが 2 つの娘細胞に 1 コピーずつ確実に行き渡るようにしている。ParM がなければ多くの細胞がプラスミドを得られず、薬物耐性などの重要な機能が失われることになる。

これを避けるため、1 本につながった ParM 分子群（前ページの図の緑色）が新たに複製されたプラスミド（紫色）を手錠の鎖のようにとらえる。2 本の輪ははじめ接近しているが、さらに多くの ParM 分子がこの鎖に吸い込まれるにつれ、細胞の両端に別れていく。Mullin らは、ParM の鎖が自らどんどん伸びていくことを発見した。これは、伸長の加速にほかの物質が必要な我々真核生物のアクチンとまったく異なっている。アクチンとは類縁関係があるものの、ParM はむしろチューブリンに似た機能を持ち、構成単位を着脱することによってたえず自らの長さを変えている。「それは私にとって衝撃的でした」と Mullins は話す。

Mullins らは現在、ほかのプラスミドが確実に娘細胞に受け継がれていく仕組みに注目している。もちろん、プラスミド 1 個の何千倍もの長さをもつ環状 DNA である細菌染色体も対象にしている。「この分野はわからないことだらけです。細胞生物学で私にとって最も重要

な未解決問題は、細菌がどうやって分裂時に染色体を分け合うのかということです」とMullinsは話す。

この領域が極めて魅力的であるのは、わからないことが多くわかっていないことが少ないからだ。細菌のDNA配列が解読されるたびに研究者は新たな構造的要素を発見するチャンスを得るが、それが意外な役割をもっていることは多い。新しいところでは、アクチンタンパク質の1種であるMamKが、マグネトソームという含鉄構造物をもつ細菌から発見された。この細菌は、地球の磁力を感知することにより、自身が求める条件に最も適合する環境に身を置くことができる。このコンパスが機能するためには、細胞がもつ1ダースほどのマグネトソームが1列に並ぶ必要があるが、MamKはその道筋を作っている²。MamKの役割を最初に発見したカリフォルニア大学バークレー校（米国）の微生物学者 Arash Komeili は、ゲノ

ムデータベースを調べることにより、マグネトソームをもたない細菌に MamK に似た遺伝子を見つけたという。

百聞は一見にしかず

Komeili のような細菌細胞生物学者によれば、ゲノミクスを利用して細胞骨格の新しい特徴を探し出すことができるという。しかし、画像解析を利用する方がより強力な方法であると、Komeili は語る。細菌細胞によく光が当てられるようになったのは、光学と顕微鏡法の進歩が理由の1つに挙げられる。数マイクロメートルの細菌は光学顕微鏡の限界に対して大きさが不十分な場合が多く、世界最高のレンズでも太さ数ナノメートルの分子ケーブルの詳細を見ることはできない。

細菌の細胞内をよく見るためには、細胞がぼやける光波の利用をやめる必要がある。可視光よりも波長がはるかに短い電子は、粗面小胞体や完璧に整

列して纖毛を形成する微小管の束など、真核細胞の構造に関して驚異的な情報をもたらしている。その電子を利用しても、細菌に関しては鮮明な画像が得られない。絶対的な教科書といわれる *Molecular Biology of the Cell* の最新版でさえ、細菌を電子顕微鏡の倍率で観察して「無秩序な入れ物」とみている。「この細胞の内部は、明確に組織された構造のない不定形構造のマトリックスのようである」と著者は書いている。

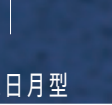
この問題を解決するのは、将来性の高い「低温電子断層撮影法」かもしれない。一般に cryo-EM と称されるこの方法は、細胞を金で被覆したり強い固定剤に漬けたりせず、瞬間的に凍結させた試料の像を撮影する技術である。「この方法を使えば、細胞をほぼ原状のまま観察することができます」とカリフォルニア工科大学（米国カリフォルニア州パサデナ）の生物学者 Grant Jensen は話す。処理が穏やかである

細菌の形が作られる仕組み

球状/球菌



三日月型



細胞の形が最もよくわかるのは、異常が生じたときである。球菌である黄色ブドウ球菌 *Staphylococcus aureus* を例に挙げる。この細菌のチューブリンタンパク質 FtsZ は細菌の中央部に輪を形成し、これが細胞分裂を支援する。FtsZ の遺伝子が除去されると、細胞は新たな細胞壁の「煉瓦」をあちこちに積むようになり、最終的に、破裂前の細菌は体積が8倍に膨張する。FtsZ は、細胞壁作製因子を新たな半球の形成に集中させているのであろう。

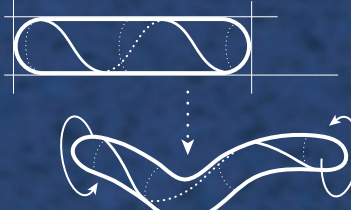
桿状/桿菌



桿菌が桿状になるためには、分裂時に長辺に沿って新たな細胞壁が作られる必要がある。MreB がなければ桿菌は球型になる。MreB のらせん形によって細胞壁構築のための酵素は、確実に細胞の長辺を上下に移動して作用することができる、というのが1つの仮説である。その段階が終了すると作業は FtsZ の輪に戻り、新たな丸い細胞端が形成されて1本の長い細胞が2つに分裂する。

らせん状

らせん状細菌への進化にはいくつかの方法が考えられる。ライム病原菌 *Borrelia burgdorferi* などのスピロヘータには、ねじれをもたらす菌体内の尾がある。もう1つの方法としては、細胞自体よりも成長が遅いらせん状繊維による膜の内側の被覆が考えられる。細胞壁が伸長すると、この繊維が桿状の細胞をらせん形に変える。現時点でこれは理論にとどまり、実際にそのような繊維が発見されているわけではない。



14 | March 2008 | volume 5

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

NATURE DIGEST 日本語編集版

ため細菌の細胞骨格には害が及ばないのである。「もし試料を解凍したならば、細菌は「泳ぎ出す」ことでしょう。それほど生きている状態に近いのです」。

cryo-EM には、ちょうど CT スキャンのように、細胞のさまざまな角度の像を組み合わせることで三次元像を作り出すことができるという利点もある。最近 Jensen の研究室では、*Caulobacter* という細菌の内側を覆って膜を締めつけている FtsZ の輪の像を収集した。

真核細胞の足場タンパク質遺伝子と類似する細菌遺伝子が最初に探索されたときには何も発見されず、そうしたタンパク質は約 15 ～ 20 億年前に細菌が真核生物と分岐した後で発達したものと考えられてきた。細菌の細胞骨格の発見は、その理論を覆した。

FtsZ は細胞分裂の曾祖父かもしれない、と話す Erickson の研究室は最近、原始的な生物に見立てたごく小さい油滴の内部で、FtsZ が輪を作ること示した。現在の細胞分裂は何十種類もの役者によって念入りな演出が行われているが、最古の細胞の分裂に必要であったのは FtsZ のみと考えられる。Erickson は、このタンパク質にトリプトファンやアルギニンなどのアミノ酸がまったく含まれていないことを指摘したが、一部ではこれは後の進化の結果ではないかと考えられている。

進化が進むにつれて細胞骨格は新たな機能を持ち、複雑さが増大した。真核生物が細菌から分岐した後のある段階で、真核生物の細胞骨格はいつの間にか固定されたと考えられる。酵母からヒトに至るまで、真核生物のタンパク質は娘染色体を分裂中の細胞の両端に牽引したり小胞体確実に核に寄り添うようにしたりするなど、異なる種でも同じ仕事を多数担っている。複雑性の高い真核生物はアクチンで筋肉を収縮させたりケラチンで毛を作ったりするものがあるが、こうした仕事は「主題による変奏曲」である。

細菌では事情が異なる、と Mullins は話す。細胞の形を決定するアクチンは

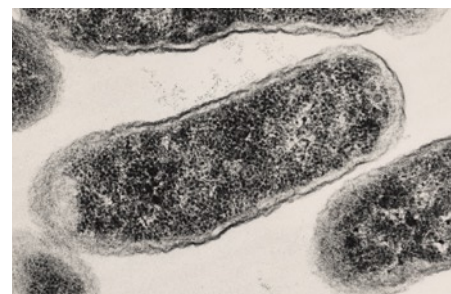
細菌界の中ではさまざまな機能を持ち、結核菌などの桿菌では存在しないものさえある。細菌は数が多く単細胞の生活様式をとっていることから、「真核生物とは異なり、基本的な機構を好きなように利用することができる」のだという。

しかし、細菌の細胞骨格タンパク質が真核生物と共通の「自己集合」という性質をもつという事実は、細菌が、より高次で複雑な種のタンパク質の機能の解明に、一筋の光を投げうることを意味している。アクチン分子同士が結合する仕組みが、MreB の分子構造から説明されたのはその一例である。そして多くの場合、真核生物よりも細菌のタンパク質の方が、修飾など実験上の改変に対する細胞の抵抗が小さい。例えば、アクチンの発現量を上げると真核細胞は死ぬものが多いが、細菌では特に問題がないようである。

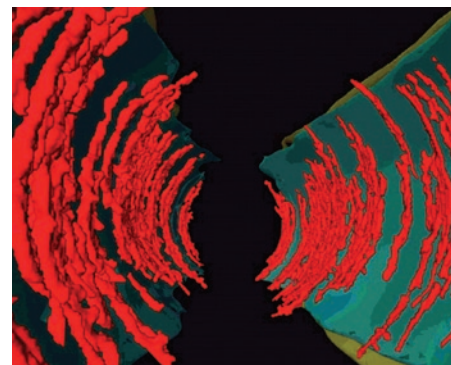
また細菌は遺伝子が少ないため、すべての細胞の生命活動に関する根源的な疑問を研究するのに理想的である。細胞骨格は細菌および真核生物で組織化の中心として機能していると考えられるが、こうしたタンパク質が、細胞の両端や細胞が分裂する部位など、細胞内の正確な位置に移動する仕組みは知られていない。

細菌の内部を調べることは、知的関心をよぶばかりでなく実用性がある。細菌細胞生物学者は、米国立衛生研究所 (NIH) などの研究資金拠出機関に今一度その実用性を思い出させ、政策の見直しを求めなければならないと認識している。例えば、A22 という化学物質は MreB が長いケーブルを形成するのを妨げることによって細菌の増殖を遅延させるし、また FtsZ がなければ細菌の多くは死滅する。細菌の細胞骨格を標的とする抗生物質は現時点で存在しないが、薬剤耐性が出現してきている昨今、MreB のらせんや FtsZ の輪などの構造物は細菌の武装の弱点となる可能性がある。

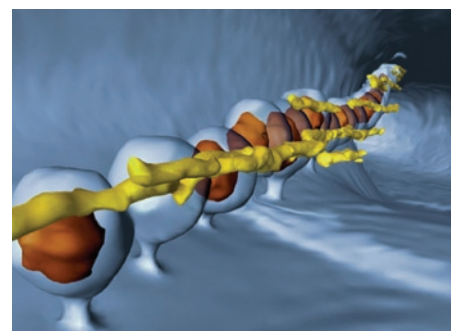
しかし、研究者が細菌の細胞の謎を解き明かそうとする中、疾患の治療がなおざりにされている場合が多い。



電子顕微鏡は、大腸菌などの細菌に秩序だった内部構造が存在しないことを示唆している。



変異型 *Caulobacter* の低温電子断層撮影法により、分裂しようとしている細胞のくびれを覆う FtsZ 繊維の固まり (赤色) が認められる。



磁性細菌 *Magnetospirillum magnetotacticum* では、MamK というアクチン様繊維 (黄色) がマグネソーム (含鉄構造物) の鎖を形成する。

Mullins にとってこの領域の進歩は、自分が「細菌の海」に飛び込んだこと正しかったと証明するものであるが、その深遠な果てに迫っている者はいない。「生物学には手つかずの領域がたくさんあるのです」と Mullins は話す。 ■

Ewen Callaway は *Nature* のワシントン DC オフィスでの実習を最近修了。

1. Jones, L. J. F., Carballido-Lopez, R. & Errington, J. *Cell* **104**, 913-922 (2001).
2. Komeili, A., Li, Z., Newman, D. K. & Jensen, G. J. *Science* **311**, 242-245 (2006).

新しい発見と感動に出会う **nature**

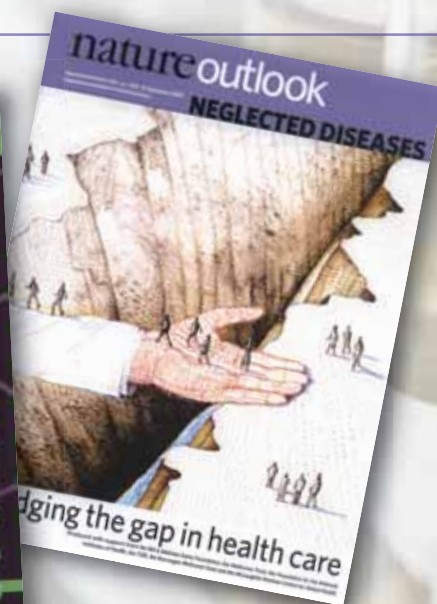
定期購読なら、身近なニュースから世界的大発見まで見逃すことはありません。
購読特典の充実した *Nature* 定期購読をお勧めします。



今なら

nature 定期購読 **新規**お申込みで

nature オリジナル
特別冊子4冊 セット
プレゼント



Nature Outlook - NEGLECTED DISEASES
「忘れられた疾患」

Nature Collections - NANOTECHNOLOGY IN CANCER
「癌関連のナノテクノロジー」

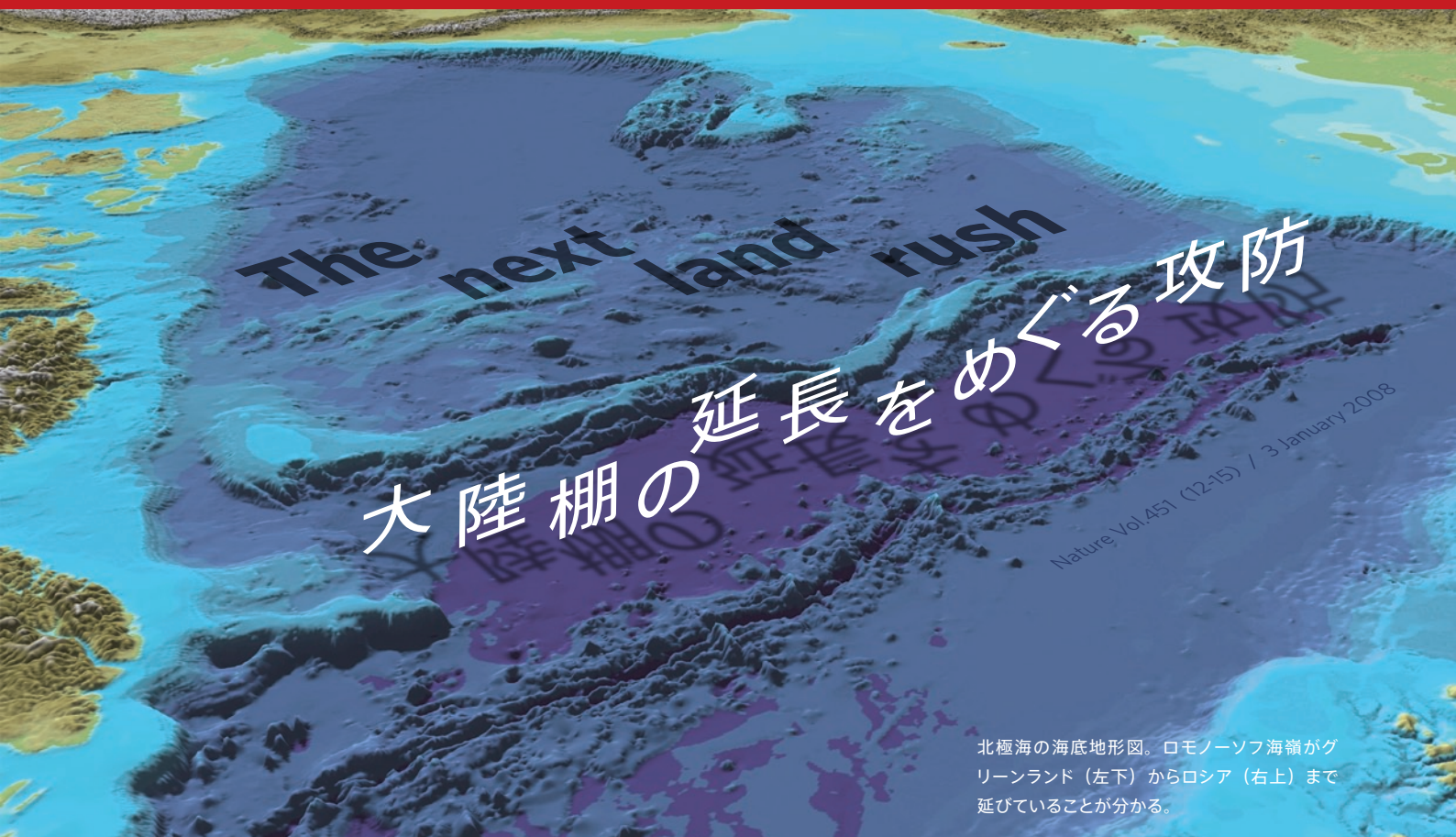
Nature Collections - METAGENOMICS
「メタゲノミクス」

Nature Collections - AGEING
「老化」

現代科学の重要なテーマを幅広い視点から解説します。

Nature Collection付
Nature購読新規お申込み

www.naturejpn.com/4sup-f



北極海の海底地形図。ロモノーソフ海嶺がグリーンランド（左下）からロシア（右上）まで延びていることが分かる。

海底をめぐる国家間の争いが激しくなってきた。国連海洋法条約に基づく大陸棚の延長の申請期限が迫っている各国は、その根拠として提出するための情報の収集を急いでいる。大陸棚の延長が認められれば、その部分の海底の天然資源を調査し、開発する権利が得られるからである。地質学者や地球物理学者も、この熱狂に巻き込まれている。Daniel Cressey 記者が報告する。

ロシアの双子の潜水艇ミールは、映像におさまることが最も多い深海の探検家かもしれない。ミールは有人潜水艇で、2 艇一緒に 6000 メートルの深さまで潜ることができるため、だれも見たことのない映像を撮ろうとする映画プロデューサーたちは、好んでミールを撮影に使う。建造から 20 年になるこの潜水艇は、James Cameron 監督による沈没したタイタニック号の調査をはじめ、いくつかのハリウッドの冒険映画に出演してきた。

ミール 1 号は昨年 8 月に北極点の海底にロシアの国旗を立ててきたが、これはいかにもミールらしい、派手な任務であった。近年、北極海に眠る富をめぐる各国の競争が世間の注目を集めて

おり、ミールによるパフォーマンスもその一環としてみることができる。もちろん、これは純粋に象徴的な行為であり、ロシアは（少なくとも今のところは）北極点の海底に関する権利をもっていない。しかし、ロシアのパフォーマンスは、北極圏にあるものの権利の帰属をめぐる愛国主義的な議論を再燃させた。この論争の解決には、科学者たちが極めて重要な役割を果たすことになる。

最近、最も注目されている場所は「ロモノーソフ海嶺」だ。この海嶺は、ロシア沖から地理上の北極点を横切ってグリーンランド沖に至る、長さ約 1800 キロメートルにわたる海底の高まりである。ロモノーソフ海嶺は、ロシア、デンマーク、カナダが北極海の海底資源を

開発する権利を主張するためのかぎとなる地形である。各国の主張の正当性は、1982 年に採択された国連海洋法条約（UNCLOS）に従い、国連の委員会が判断する。各国は、この条約の第 76 条（大陸棚の定義）を根拠に、海岸から 200 海里（約 370 キロメートル、1 海里 = 1852 メートル）までの通常の排他的経済水域（経済的な主権が及ぶ水域のこと）を超えて延びている海底や、そこに埋蔵される石油、ガス、鉱物資源を調査、開発する権利を主張することができる。ただし、そのためには、問題の海底が自国の大陸棚（大陸の周辺に分布する極めて緩い傾斜の海底）の「自然な延長」であり、条約上、自国の大陸棚に含めることが可能であることを証

明しなければならない（コラム「いかにして海底を分割するか」を参照）。

2007 年の夏に、ロシアとデンマークはそれぞれロモノーソフ海嶺に調査隊を派遣した。動いているのは、この 2 か国だけではない。国連海洋法条約に基づき大陸棚の延長を主張できる期間は限られており、いくつかの国にとっては 2009 年がその期限となるからである。専門家たちは、世界中から新しい申請が殺到するだろうと予想しており、国連の委員会は大陸棚申請のいくつかを受け入れることになるだろうという見方が強い。以前はカナダ地質調査所に所属しており、現在では各国の申請を手伝うコンサルタントとして働いている海洋地球物理学者 Ronald Macnab は、「こうした動きの結果、北極海の地図が描き換えられることは間違いない」と話す。

しかし、実際に地図が描き換えられるまでには時間がかかりそうである。英国のサウサンプトン大学の海洋学者

Lindsay Parson は、「第 76 条を根拠とする申請が簡単に認められることはないでしょう」という。この過程において、地質学と地球物理学は重要な役割を果たす。同様の動きは、フランスとスペインの沖のビスケー湾や、ニュージーランド沖の海底などでもみられる。

深海を探る

ロモノーソフ海嶺は、18 世紀のロシアの科学者で作家の Mikhail Lomonosov にちなんで名づけられた。この海嶺は今、海底をめぐる白熱した争いの中心にある。どの陸地からも遠く離れた、北極海の真ん中にある海底を、ヨーロッパやアジアや北米の「自然な延長」と主張するのは奇妙に感じられるかもしれない。その背景には、この海嶺の地質学的にユニークな性格がある。

1960 年代の初頭に、海底地図を作成していた Bruce Heezen と Maurice Ewing は、大西洋中央海嶺

（大西洋の中央部を走る水面下の山の連なりで、新しい海底を生み出している領域）が北極圏にまで延びていることに気づいた。北極圏では、この海嶺はガッケル海嶺とよばれている¹。1963 年には、カナダの地質学者 J. Tuzo Wilson が、ガッケル海嶺から新しい海底が生まれてくるのに従って北極海のシベリア側の海盆が広がっていく仕組みを提案する論文を発表した。かつてユーラシア大陸の縁に沿って位置していたロモノーソフ海嶺は、この運動により、グリーンランドとロシアを結ぶ位置にまで移動したと考えられる²。つまり、この海嶺は、かつてはユーラシア大陸の一部だったのである。

1991 年には、ドイツの砕氷船ポーラーシュテルン号とスウェーデンの砕氷船オーデン号に乗船した研究者たちが、この仮説の検証に乗り出した。ノルウェーのベルゲン大学の地質学者 Yngve Kristoffersen は、この研究チームの一員だった。「地震波による調査結果を最初に見たとき、私は興奮して飛び上がりそうになった。すべてのも



分捕り合戦：北極圏の地下資源に関する権利を主張する国はロシアだけではないはずだ。

著作権等の理由により画像を掲載することができません。

2007 年 8 月、ロシアの潜水艇ミール 1 号は北極点の海底にロシア国旗を立てた。

AP IMAGES

のが教科書どおりにそこにあったからです」と彼は当時を振り返る。海嶺のユーラシア大陸側には半地溝があった。これは、海嶺が大陸から離れたときに裂けた断層によって形成された地形である。海嶺のもう一方の側には深い堆積物があった。Kristoffersenらは、海嶺は6400万年前から5600万年前の間に水面下に沈んだと見積もった³。

2004年には、ロモノソフ海嶺を掘削して最初のコア（円筒形標本）が採取された。これは、北極圏の地質学と歴史に関する証拠の中で初めて地中から得られたものである⁴。北極コア採取調査を共同指揮した米国のロードアイランド大学（同州キングストン）の海洋学者Kate Moranは、「基本的には、基岩はユーラシア大陸の端のものと同じ物質からできていました。この海嶺がかつてはユーラシア大陸の端とつながっていたという点に関しては、研究者の意見は完全に一致しています」と話す。

海嶺の起源には疑問の余地がなくても、ロシア政府は、国連条約の中の短い一節の解釈にもとづいて、その権利

を主張しなければならない。それによれば、海嶺がどこかとつながっていると主張するなら、その場所を厳密に示さなければならない。「むずかしいのはそこなのです」と、米国のニューハンプシャー大学海岸海洋地図作成センター（同州ダラム）のLarry Mayerセンター長は説明する。「それが大陸の自然な延長であることを立証できるかどうかの問題なのです」。

Moranによると、海嶺がロシア側の端で切れている可能性を示唆する学説もあり、その場合には、従来の意味では両者はつながっていないことになる。そうした疑問に答えるためには、さらなるデータが必要である。そこで、ロシアとデンマークが前述の調査に乗り出した。

ロシアは2001年に、国連海洋法条約に基づく北極圏の大陸棚の延長を申請したが、より詳細な情報が必要であるとして、申請は認められなかった。具体的にどのような情報が求められたのかは明らかにされていないが、この年のロシアの調査では、ミール潜水艇による海水と堆積物の標本の採取のほかに、

航空機による重力測定なども行われた。ロシアの科学者たちは現在、そのデータを解析しているところである。

一方、デンマークとスウェーデンは、「2007年グリーンランド沖口モノソフ海嶺調査」の一環として2隻の砕氷船を送り込んだ。このプロジェクトは海嶺の南端で異常に厚い氷にぶつかってしまったが、地質学的なコアの採取と海洋学的な標本の採取などは、なんとか実施することができた。

「私たちは、大陸棚から海嶺にかけての岩石組成の変化を調べようとしたのです」と、デンマーク地質調査所の上級顧問で、この調査航海の研究責任者であるChristian Marcussenはいう。「私たちは、大陸から海嶺にかけての地殻に、なんらかの連続性を探しているのです」。

しかし、そうしたデータが見つかったとしても、「自然な延長」問題の判定にあたる国連の委員会を納得させることはできないかもしれない。ニュージーランドのロウアーハットにある地質・原子核科学研究所の地質学者Vaughan

いかにして海底を分割するか

1973年に、第3次国連海洋法会議が開かれた。海をめぐる一方的に権利を宣言する国が増え、避けがたい争いが起こっている状況にいくらかでも秩序をもたらすためだった。会議は9年後に終わり、国連海洋法条約が誕生した。現在、155か国がこの条約を批准したが、国家の主権について連邦議会で論争となった米国は批准していない。

この条約は、海岸から200海里までの排他的経済水域の大陸棚を開発する権利を各国に与えた。しかし、各国が別の地質学的基準を満たしてい

ることを証明できた場合には、領海（国連海洋法条約により、それぞれの国が12海里（約22キロメートル）を超えない範囲で自国の領海の幅を決める権利を有するとされている）の範囲を決める際に基準となる線から350海里まで、あるいは2500メートルの等深線から100海里までのいずれか遠いほうまでの範囲の権利を主張できるとしている。

こうした基準を規定している第76条そのものはわずかに600語しかない。これが多くの混乱につながっている。特に、主張できるとされている

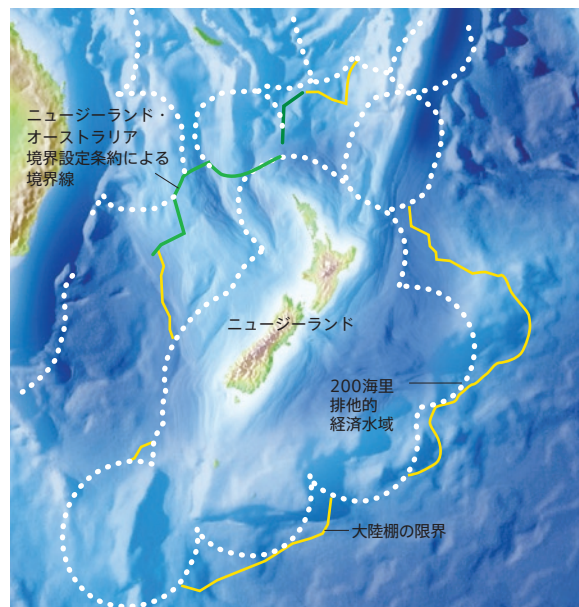
大陸棚の「自然な延長」はどうやって決まるのかという問題だ。ドイツのポツダムにあるアルフレッド・ウェーゲナー極地海洋研究所の地球物理学者Wilfried Jokatは、「委員会」は、各国が納得して従えるような指針を整備しなければならない。この条項は、あまりにもばく然としている」と指摘する。

「大陸棚の限界に関する委員会」は、この分野の科学的専門家21人から構成され、権利主張に関する決定は、同委員会の小委員会によって行われる。現在までに8件の申請が提出されている。

「大陸棚の限界に関する委員会」は、この分野の科学的専門家21人から構成され、権利主張に関する決定は、同委員会の小委員会によって行われる。現在までに8件の申請が提出されている。

- ・ロシア連邦：2001年
- ・ブラジル：2004年
- ・オーストラリア：2004年
- ・アイルランド：2005年
- ・ニュージーランド：2006年
- ・フランス、アイルランド、スペイン、英国の共同提出：2006年
- ・ノルウェー：2006年
- ・フランス：2007年

D.C.



ビスケー湾(左図)については、フランス、スペイン、英国、アイルランドの4か国が自国の大陸棚を延長する申請を共同提出した。ニュージーランド(右図)の土地は約27万平方キロメートルしかないが、排他的経済水域を超える大陸棚の延長を申請することで、600万平方キロメートルに及ぶ海底を利用できることになるかもしれない。

Stagpoole は、「岩石の地球化学的類似性は、その岩石がある国の陸塊の一部であることを示す決定的な証拠にはならないからだ」という。彼とその同僚は、*Nature* への説明の中で、「重要なのは、ある国の陸塊の一部をなす岩石と、その自然な延長とは見なすことのできない『海嶺のある深海底』とを区別することなのです」と指摘する。

グリーンランド沖口モノソフ海嶺調査の結果の多くはまだ発表されておらず、ピアレビュー論文誌への発表と国連委員会に提出するための準備が進められている。しかし、2007年12月の米国地球物理学連合の会議にて、スウェーデン側の共同研究者であるストックホルム大学の Martin Jakobsson により、その詳細の一部が発表された。報告によると、巨大な氷山が海嶺の表面をこすりながら移動したためにできたと思われる浸食などの特徴が海嶺上に確認されたという。Marcussen が率いるデンマーク側の調査チームは、水中調査で得たデータを分析中である。これは、デンマークが国連海洋法条約にもとづ

いて大陸棚の申請を行う場合に、その根拠として大陸斜面のふもと(脚部)を明確に示すためのものである。

小さな国の大きな主張

ニュージーランドは、2006年にその島々の周囲の約170万平方キロメートルにわたる大陸棚の延長を主張する申請を提出した。この申請は、台地、海嶺、海山、海溝を含む多数の複雑な海底地形だけでなく、初めて、主要なプレート沈み込み帯の1も根拠としていた。ニュージーランドが権利を主張する領域の一部は、他国が権利を持つ領域と重なっている可能性があり(上の地図を参照)、この点についてはフィジーおよびトンガと交渉中である。

ニュージーランドの申請チームは4400万ニュージーランドドル(約37億円)の予算を与えられており、同国政府の関心の高さを示している。国連海洋法条約のもとでは、大陸棚の延長を認められた国は、その海底の石油、ガス、鉱物資源を利用する権利を得る。しかし、同国の担当チームは、「わが国

は、権利を主張する領域に何が眠っているかを知るためではなく、第76条に基づいて何を主張できるかを知るために調査を行っているのだ」としている。

そのほかの国々の大陸棚の延長申請も、「捕れるものは捕っておけ」という気持ちに突き動かされているようである。国連海洋法条約の下では、各国が大陸棚の延長を申請できる期間には限りがあり、期限が過ぎると申請の権利は失われる。国連海洋法条約が定める申請期限は、その国が条約を批准した日から10年後あるいは2009年のうち遠いほうであるため、ロシアは2009年、カナダは2013年、デンマークは2014年が提出期限となる。研究者たちが北極圏に近づけるのは夏の数か月間だけであることを考えると、残された時間は多くはない。

フランス、スペイン、英国、アイルランドは、2006年に、ビスケー湾の小さな領域に関する共同申請を行った。申請は、大西洋の方向に延びる比較的小さな海嶺の連なりに基づいている。これらの海嶺は、イベリア半島が現在のフ

ランスにあたる陸地から離れてビスケー湾を形成した時代の名残である。英国の申請において中心的な役割を果たしている Parson は、「海盆が形成される過程では、常にきれいな破壊が起こるとは限りません」と話す。「多くの引っ張りやねじれを伴うことも珍しくありません。これはビスケットを割るのと似ていて、ビスケットを割ればくずが出るようなものです」。

ビスケー湾に関する申請は、国連海洋法条約に基づいて検討されるものの中では、比較的議論の少ないものの1つである。アイルランドの申請チームの責任者である Peter Croker は、「この領域は比較的小さいが、すべてを合わせればアイルランドの陸地と同じくらいの広さになる。そうした目で見れば、この領域は重要です」と指摘する。「提出された申請の中では、比較的問題の少ないほうだといえます」。Croker は、国連海洋法に基づいて設置された「大陸棚の限界に関する委員会」のメンバーでもある。委員会の中の小委員会が各申請の正当性について決定する。議論されている申請に利害関係をもつ可能性のあるメンバーは小委員会には入らない。

論争となる可能性がより高いのは、大西洋のさらに北にあるロコール「島」の周辺の海底について予想されている申請である。この小さな無人の岩は、波によってしばしば完全に水没し、単独ではいかなる権利の根拠にもなることができない。国連海洋法条約によれば、「単独では人間の居住や経済活動を維持することができない」岩は、その周辺の海底の権利を主張するための根拠にはならないからである。しかし、ロコールを取り囲む海底については、アイルランド、英国、アイスランド、デンマークが、国連海洋法条約に基づき、自国の延長であるとして（デンマークの場合はフェロー諸島の延長として）、その権利を主張する可能性がある。

この4か国はかつてロコールをめぐる衝突したことがある。アイルランドと英国は、両国の排他的経済水域内での

大陸棚の分割法について合意している。しかし、アイスランドとデンマークも、ロコール周辺の海底の一部につき権利を主張する可能性がある。この論争を見るかぎり、ビスケー湾の場合のように事前の合意にもとづく共同申請という解決法は期待できない。

別の論争がもっと南でも再燃するかもしれない。英国は、同国がフォークランド諸島とよぶ諸島の周辺の海底の権利を主張するとみられている。この諸島をめぐる、英国は1980年代初頭にアルゼンチンと戦争をした（アルゼンチンはこの諸島をマルビナス諸島とよんでいる）。英国はまた、南極大陸で同国が領有権を主張している土地の沖合の海底に対する権利申請も準備している。オーストラリアとニュージーランドも、南極で領有権を主張している土地の沖合の海底について同じような申請を出している。

手探りの申請

国連海洋法条約に基づく申請の審議は非公開で行われているが、これによって申請をめぐる論争が和らぐわけではない。公表されるのは申請の要約であり、大陸棚の延長を申請する領域の座標のリストさえ含んでいけばよいことになっている。「委員会は、秘密を守るために厳格なルールに従って仕事をしています」と Macnab は語る。「私たちは、似たような状況にある可能性のあるほかの申請を、委員会がどのように扱ったのかを知ることができません。申請の実情は計器飛行のようなもののなのです」。

審議の秘密を守るとは、国連海洋法条約に明記されている。「理想的には、すべてのプロセスを公開するべきです」と Croker はいう。「ところが、実際の審議プロセスは透明とはいえない。人々が不満に思うのも無理はない」。

ここから必然的に、各国の延長申請が重なり合う場合が生じてくる。例えば、ロシアが2001年に行った北極圏に関する延長申請では、主張の範囲は北極点にまで及んでおり（北極点を越えては

いない）、ロモノーソフ海嶺の半分にあたる北極点からロシアまでの部分が含まれていた。ロモノーソフ海嶺のうち、北極点に対してデンマークとカナダの側にある部分については、両国が延長を主張すると予想されているが、その境界をどこに置くかは両国間で解決しなければならない。

委員会は、論争に関係している各国の同意なしには、その領域に関する延長申請を検討することさえできない。このため、ビスケー湾に関する主張は共同提出され、その調査チームには関係4か国すべての研究者が参加した。主張が認められれば、関係する4か国は問題の海底を自分たちの間で分割できることになる。

地図を描き換える

こうした申請は自分本位の「土地のだまし取り」に等しいという意見や報道もある。この分野で働く科学者たちは、そうした意見やメディアを一蹴してい



1955年、北大西洋のロコールに英国国旗が掲げられた。しかし、この岩の周辺の海底に関する権利を主張するには地質学的証拠が必要だ。

る。Croker は、「海には秩序があり、その秩序は、海洋法によってもたらされている。『土地のだまし取り』というような言葉は、控え目にいっても不適切です」と話す。

その一方で、愛国心をあおろうとする科学者もいる。北極点の海底に国旗を立てたロシアの調査を率いた Artur Chilingarov は、「北極圏はロシアのものだ。我々は、北極点がロシアの大陸棚の延長であることを証明しなければいけません」と述べたと報じられている。デンマークとカナダの政治家も、ここまで耳ざわりではないにしても同じような趣旨の声明を行った。

しかし、国連海洋法条約に基づく決定は、結局は海底の地図を大幅に描き換えることになるだろう。第 76 条は、委員会の勧告は「最終的で拘束力がある」としているからである。とはいえ、この表現の厳密な意味は自明であるとはいいがたい。「私が出席したいくつかの会議では、『最終的で拘束力がある』とはどういう意味かという声があがっていました。法律の専門家たちも、この言葉を明確に理解しているわけではありません」と Macnab は指摘する。

このため、大陸棚の延長をめぐる論争が決着しても、永久的な効力はもたない可能性がある。Macnab は、「ほ

とんどの国が海洋法条約を批准している。だからといって、『我々は、過去の決定には同意しない。好きなようにやるつもりだ』といい始める、たちの悪い国が現れないとは限らない。『この問題を再調査したい』といい出す国が現れても私は驚かないだろう」と話す。その場合、議論は振り出しに戻ることになる。

Daniel Cressey は *Nature* ロンドン本社の記者。

1. Heezen, B. C. & Ewing, M. in *Geology of the Arctic* (ed. Raasch, G.) 622-642 (Univ. Toronto Press, Toronto, 1961).
2. Wilson, J. T. *Nature* **198**, 925-929 (1963).
3. Jokat, W., Uenzelmann-Neben, G., Kristoffersen, Y. & Rasmussen, T. M. *Geology* **20**, 887-890 (1992).
4. Moran, K. et al. *Nature* **441**, 601-605 (2006).

SNAPSHOT

Making light work of indoor gardening

LEDの光で屋内ガーデニング

Nature Vol.451 (119)/10 January 2008



この奇妙な植物たちは、いちども日の光を浴びたことがない。密閉されたガラス容器の中には窒素とリン酸が計算された比率で配合されており、強い光が当たると、このバランスが崩れて植物は開花できなくなってしまう。これらのデザイナーフラワーは、発光ダイオード (LED) を唯一の光エネルギー源としているのである。

東京に本社がある自動車用照明器具メーカーのスタンレー電気は、東海大学 (神奈川県) の森康裕と協同してこの培養技術を開発し、これまでにバラとトレニアを作り出した。LED の青、赤、緑の光の最適な照射量を特定するには 5 年の歳月を要した。スタンレー電気は、ほとんど場所をとらず、手もかからないこの植物を、今年の春に市場に出すことを計画している。

David Cyranoski

STANLEY ELECTRIC

Neurons of imitation

模倣のニューロン

Ofer Tchernichovski and Josh Wallman

鳴鳥類には、自分が歌ったときと他の鳥の同じような歌を聴いたときとで驚くほど似た活動を示すニューロン群が存在する。自分や相手の動作を映し出す、鏡のようなニューロンの活動は、模倣にかかわっていると考えられる。

Nature Vol.451(249-250)/17 January 2008

鳴鳥類（鳴禽類）は歌まねのチャンピオンである。例えばナイチンゲールは、数回聴いただけの歌（さえずり）を少なくとも60種類覚えることができる¹。幼鳥は、まねをして種に固有の歌を覚える。こうした模倣の能力は社会的にも重要であり、縄張りをもつ鳴鳥が、侵入してきた他の個体の歌によく似た歌を返して警告することがよくある²。では、このような模倣能力やコミュニケーション能力にはどのようなニューロンが介在しているのだろうか。Nature 2008年1月17日号 p. 306でPratherたち³は、鳴鳥がある歌を聴くときにも、それに似た歌を返すときにも活動する脳内ニューロン群を見つけたことを報告している。

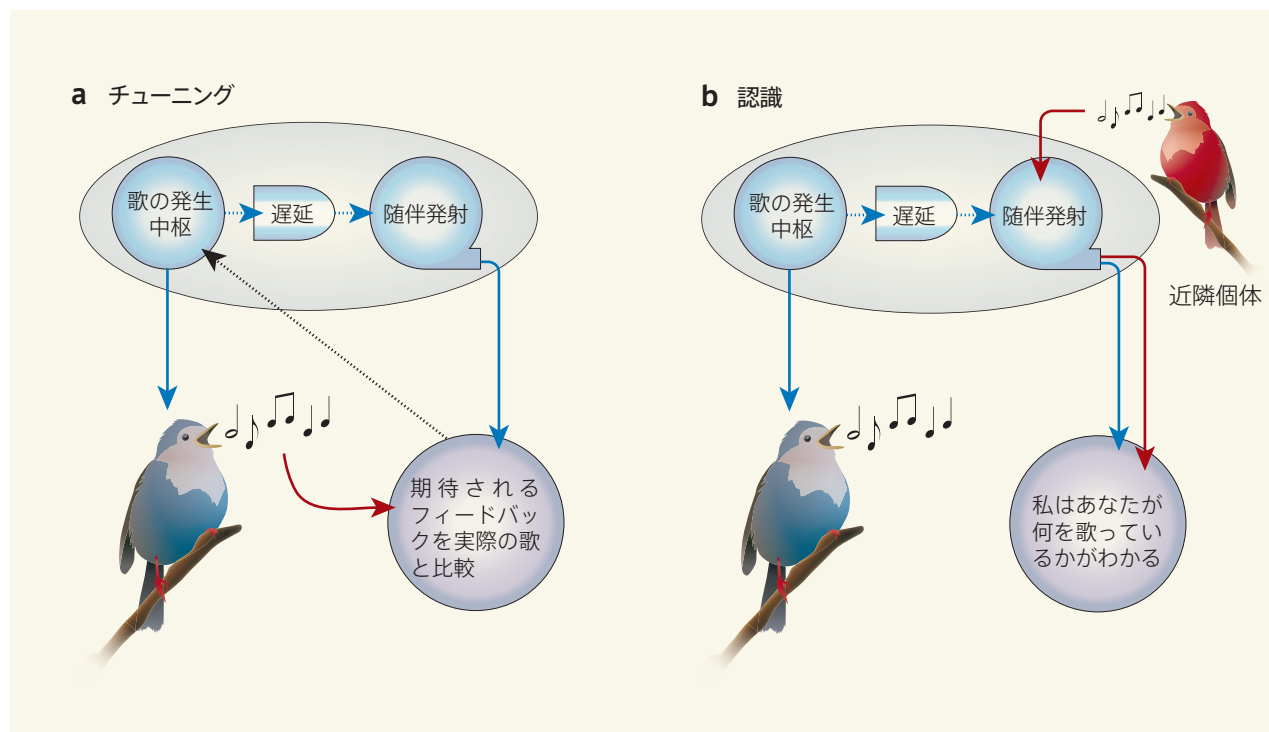
こうした特性から、これらのニューロンはサルの脳で見つかった「ミラーニューロン」を連想させる。ミラーニューロンは、ある動作を認識した場合と、その動作を実際に行った場合とで同じような応答を示す鏡のようなニューロンであり、その発見は、模倣と共感という本質的に異なる現象を解明するための鍵となるのではないかと大いに話題をよんだ。ミラーニューロンは、サル自身が親指と人差し指で小さい物をつまむ動作を行っているときと、他のサルやヒトがそれと同じ動作をするのを見ているときに活動する⁴が、同じ動作をしてみせても目的が達成されない場合（物をつまんだふりをした場合）には活動しない。

ミラーニューロンにとって、実際に行った動作と観察した動作が等価なものであることから、これらのニューロンは、模倣という謎に包まれた学習様式の

一端を担っているのではないかと考えられる。ヒトはどのようにして、特定の視覚効果に対応する筋収縮のパターンを知るのだろうか。心理学者のWilliam Jamesは、赤ん坊は自分の手足のランダムな動きと目で見える手足のようすとを相関させることで、運動出力と視覚入力との関連づけを形成し、他人がどうやって同じような手足の動きをしているかまで推測できるようになると考えた。しかし、他人の表情をまねるために鏡の前で何時間も過ごす必要はない⁵。フランス人の子どもであれイタリア人の子どもであれ、自分自身をわざわざ観察しなくても、年長者に特有の顔のしぐさを習得することができる。ミラーニューロンは、受け取った感覚情報と生み出されるしぐさをつなぐ役目をしているのかもしれない。

しかもミラーニューロンは、複雑な感覚刺激の知覚と記憶を促進している可能性もある⁶。例えば、ダンスでよく似たステップを次々と踏むには、手足の動きにみられる小さな変化すべてを思い出しながらやるよりも、手足を動かすために脳が伝える指令の段階で記憶にコード化してしまうほうが、簡単なのではないかと思われる。ミラーニューロンのこうした機能は、模倣を促進するその能力と無関係ではないだろう。実際、映画などでカーチェイスを見ているとき、無意識のうちにハンドル操作やブレーキを踏む動作を少しばかりしてしまうのは誰しも覚えがあることだ。

ミラーニューロンがこうした応答を示すことから、心理学者たちは、これらのニューロンは他人の心の動きを推し量り、ひいては社会的コミュニケーション



や思いやりの発達に必須なものだと考えるようになった⁷。そして、ミラーニューロンの高次機能が重要視されるようになったのである。Prather たちが鳴鳥で見つけたミラーニューロンも、そうした機能を持っている可能性はあるが、どうやら、運動技能の獲得や学習において、もっとありきたりな役割を果たしているようだ。

今回鳴鳥で見つかったミラーニューロンに想定される機能は、すべて歌を歌うことに関係している。これらのニューロンは、脳内の高次発声中枢 (HVC) とよばれる、歌を生み出す神経核領域に存在している。HVC にある他のニューロンと同様に、ミラーニューロンは特異的な歌に応答し、神経インパルスのタイミングが高度に定型化した形を示す。不思議なことに、これらのミラーニューロンは鳥が歌っているときには聴覚入力に対して「耳を塞いで」おり、このことから、これらのニューロンの応答は、聴く状態と運動活動を反映する状態を切り替えているとみられる。

HVC は前運動領域なので、発声に先立ち、神経インパルスすなわち神経の興奮はここで生じると考えられ、一方でミラーニューロンの聴覚応答は発声より遅れて生じると思われる。しかし Prather たち³は、HVC のミラーニューロンからの神経インパルスのタイミングは、鳥が歌っているときと聴いているときで同じであることを見つけた。このように運動シグナル

が著しい遅延を示すということは、ミラーニューロンが「随伴発射」シグナルを送っていることを意味している。つまり、運動出力 (歌を歌うこと) が、聴覚入力 (歌を耳で聴くこと) と簡単に比較できるような形でコード化された神経表現になっていると考えられる。こうした随伴発射によりミラーニューロンは、外向きの運動出力と内向きの感覚入力とを比較するという情報処理のときに脳の抱える主要な問題 (動作と感覚の不調和) に対して、2つの解決策を示している。つまり、運動出力とその結果生じる感覚のフィードバックとの間に等しい関係を築き、また、両者の間に生じる遅延を補正しているのである⁸。

この随伴発射はどんな働きをしていると考えたらよいのだろうか。Prather たちは、ミラーニューロンから伸びる突起 (軸索) の行き先を調べて1つの手がかりを得た。HVC には2つの出力があるのだ。1つは歌を歌う運動系経路を下って発声器官へ向かうものの、もう1つは、歌の学習に必要なだが歌を歌うには必要でない前脳経路 (AFP) である。すべてのミラーニューロンが AFP へ投射 (軸索を伸ばしてシナプスを形成) し、次に歌の学習中に AFP が歌のパターンに変動可能性を導入することで、運動発声系の訓練が行われる⁹。

AFP への随伴発射には、いくつかの機能があると考えられる。第一に、聴くことへの応答と歌うことへ

c 模倣

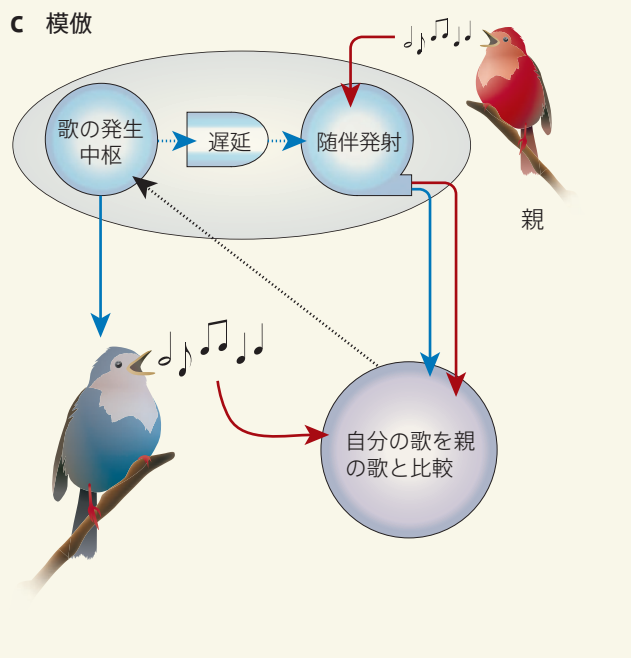


図1 歌うことと聴くことをつなぐニューロン。Prather たち³が見つけたニューロンは、3つの感覚運動過程に関与していると考えられる。a, 歌パターンの遅延した随伴発射は、鳥自身の歌の聴覚フィードバックと同時比較され、チューニングが可能となる。b, 近隣個体の歌への(ミラーニューロンにおける)聴覚応答は、歌っている最中に生じる随伴発射の記憶と比較されていると考えられる。これによって、鳥は近隣個体による模倣を認知できるのかもしれない。c, 歌っているときの随伴発射は、親の歌に対するミラーニューロンの応答記憶と比較されると考えられる。次にエラーが歌発生中枢へフィードバックされ、歌っている最中の聴覚入力からの手引きに加えて、歌の発達に際した音声学習の手引きとなっているのかもしれない(1番下の矢印)。

の応答を同期させることによって、その歌のチューニングを可能にする(図1a)。歌っている最中には、歌の発生中枢からの随伴発射は、自分の歌う歌からの聴覚フィードバックで比較されることになる。こうした「オンライン」での比較によって、チューニングが可能になっていると思われる¹⁰。第二に、近隣個体の歌を聴いてそれを模倣しているとき、ミラーニューロンは随伴発射のものと類似したパターンをAFPへ送っていると考えられる(図1b)。その後AFPがその歌を認識して、近隣個体を効果的に特定できる仕組みになっている可能性がある。

第三に、ミラーニューロンは鳥が親の歌を段階的にまねて覚える過程に必要なのかもしれない(図1c)。幼鳥は、自分が歌っているときの随伴発射と、親の歌に対するミラーニューロンの応答の記憶とを比較することで、比較を簡略化し、歌まねが段階を追って容易にうまくするようにしているのかもしれない。この機能に関係している可能性が高いのは、歌を学習する数週間の間に多くのHVCニューロンが他のニューロンに置き換わる現象である¹¹。Prather たちが見つけたミラーニューロンは、置き換わらずに歌の発達過程を通じて安定している細胞群に属する。この安定性のおかげで、歌が変化していく一方で随伴発射シグナルを信頼できる状態に維持できていると考えられる。したがってこれらのニューロンは、感

覚運動が収束して発声の模倣を促進する中枢において、何らかの役割を果たしていることが示唆される⁸。

Prather たちの画期的な知見³によって、学習している歌の構造がしだいにできあがって学習対象の元の歌に似ていくときに、感覚運動の鏡のようなニューロンの活動の発生を追跡できる可能性が出てきた。さらには、1つの動作を実行した場合にもその動作を見たり聴いたりした場合にも、1つのニューロンが同じように応答できる仕組みの謎は、最初に発生する応答や、2つの応答が収束して1つの共通した神経表現に至る過程を調べることによって、解明できるかもしれない。■

Ofer Tchernichovski & Josh Wallman、ニューヨーク市立大学(米)

- Hultsch, H. & Todt, D. *J. Comp. Phys. A* **165**, 197–203 (1989).
- Beecher, M. D., Campbell, S. E., Burt, J. M., Hill, C. E. & Nordby, J. C. *Anim. Behav.* **59**, 21–27 (2000).
- Prather, J. F., Peters, S., Nowicki, S. & Mooney, R. *Nature* **451**, 305–310 (2008).
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, L. & Fogassi, L. *Brain Res. Cogn. Brain Res.* **3**, 131–141 (1996).
- Meltzoff, A. N. & Prinz, W. *The Imitative Mind: Development, Evolution, and Brain Bases* (Cambridge Univ. Press, 2002).
- Craighero, L., Metta, G., Sandini, G. & Fadiga, L. *Prog. Brain Res.* **164**, 39–59 (2007).
- Gazzola, V., Aziz-Zadeh, L. & Keysers, C. *Curr. Biol.* **16**, 1824–1829 (2006).
- Troyer, T. W. & Doupe, A. J. *J. Neurophysiol.* **84**, 1224–1239 (2000).
- Olveczky, B., Andalman, A. S. & Fee, M. S. *PLoS Biol.* **3**, e153 (2005).
- Turner, E. C. & Brainard, M. S. *Nature* **450**, 1240–1244 (2007).
- Scharff, C., Kirn, J. R., Grossman, M., Macklis, J. D. & Nottebohm, F. *Neuron* **25**, 481–492 (2000).

Under Jupiter's pulsing skin

木星の脈打つ表面の下で

クニオ・M・サヤナギ

木星の表面を取り囲む特徴的な縞模様に沿って、高速のジェット気流が吹き荒れている。このジェット気流の中で嵐が発生し、それを乱すようすを観察することで、雲の下にあるものを深く見通すことができる。

Nature Vol.451 (409-410) / 24 January 2008

医師たちは、患者の体表に現れている徴候を利用して、その体内の状態を診断する。惑星科学者たちも同様に、惑星の表面の様子を観察することにより、その下にある人体と同じくらいダイナミックな観測対象を探っていく。太陽系で最も大きな惑星である木星の表面下を深く覗き込むことは非常にむずかしい。木星は厚い雲の層に覆われているため、望遠鏡では下層の大気を観察できないからである。Sánchez-Lavega ら (Nature 1月24日号 437 ページ)¹ は、木星の可視表面における巨大な嵐のふるまいを研究し、その下の大気圏の風と温度の垂直構造を解明しようとしている。

鮮やかな縞模様をもつ木星は、太陽系の中で最も見ごたえのある天体の1つである。NASAの惑星探査機ボイジャー1号と2号が1979年に木星の近くを通過した際に行った観測により、こうした雲の帯が大気中のジェット気流と関係していることが明らかになった²。地球のジェット気流が絶えず経路と速度を変えているのに対して、木星のジェット気流ははるかに安定しており、基本的に一定の緯線に沿って流れている。土星をめざすカッシーニ探査機が2000年に木星の近くを通過した際に行った観測では³、ボイジャーによる観測以来、ジェット気流の大規模構造はまったく変化しておらず、その位置と最高速度がわずかに変化しているだけであることが明らかになった。

しかし、この厚い雲の層の下についての観測記録は不足している。これまでに行われた直接測定は、1995年のガリレオ・ミッションでの大気圏突入プローブによる観測だけである^{4,5}。このプローブは、

雲の中を140キロメートルの深さまで突入できるように設計されていたが、たまたま雲が異常に少ない区画に突入してしまった。こうした区画は小さいため、唯一の直接観測から得られた断片的な情報を木星全体に当てはめるのは容易ではない。

冥王星をめざすNASAのニューホライズン探査機は2007年の初めに木星でスウィングバイを行ったが、その時期に繰り上げられた観測キャンペーンの一環として、Sánchez-Lavega らはハッブル宇宙望遠鏡を使って木星系の観測を行った¹。2007年3月下旬に、彼らは偶然、木星の北緯23°のジェット気流の中で2つの大きな対流性の嵐が発生するのを捕らえた。北緯23°のジェット気流は木星で最も速い気流として重要であり、近年は秒速140～180メートルで流れている⁶⁻⁸。

著者らは、ハッブル望遠鏡のほかに各種の地上望遠鏡も使用して、嵐の発生を観察した。嵐の際の雲の動きは、その下にある大気の構造を解明するための手がかりとなる。画像を解析した著者らは、対流性のプルームが圏界面を大きく突き抜けていることを発見した。圏界面は大気の境界面であり、気象現象を押さえ込む安定な蓋のような役割を担っているため、ほとんどの雲はこれより低いところにある。嵐のプルームは、厚い雲の層の下から始まって100キロメートル以上の高さがあり、極めて大きなエネルギーをもつと考えられている。これに対して、地球上の積雲の高さは10キロメートル程度にしかない。

観測結果を検討するために、Sánchez-Lavega らは、背景のさまざまな熱成層化にもとづく数値シ

ミュレーションを行った¹。その結果、嵐がこれだけ大きなエネルギーをもつためには、圏界面の下の温度は、カッシーニが2000年にフライバイの際に測定した温度よりも2～5ケルビン低くなければならないことがわかった⁹。この差が局所的な違いであるのか、その緯度における温度の垂直構造の時間変化であるのかは、まだ不明である。しかし、時折の嵐の発生を可能にする熱力学的条件を絞り込めたことは、それ自体が重要な成果である。

著者らの分析から、北緯23°のジェット気流が嵐による擾乱を受けても大きく乱れることはなかったこともわかった。Sánchez-Lavegaらは、別の数値モデルを使って雲の下の方の風につきさまざまな形の鉛直分布を考え、今回観察されたようなジェット気流のふるまいを再現しようと試みた結果、ジェット気流は下に行くほど速くなっているはずだという結論に達した。この結論は、1990年に発生した、今回と非常によく似た擾乱の研究¹⁰により得られた結果を裏づけるものである。

2007年の観測シーズンを通じて、木星の全域で大変動が起きており、いくつかの緯度の縞模様の色が変わった。北緯23°のジェット気流の擾乱は、この大変動のクライマックスだった。これまでも1975年と1990年に、今回の変動によく似たパターンが観測されている (ref.11)。この変動を脈動に喩えることは魅力的である。ただし、この脈動は不規則であり、その原因も不明である。同様の現象が、同程度の時間間隔において、2020年以降に再び観測されるかどうかを確認するのは興味深い。土星でも、巨大な対流性の嵐が繰り返し起きている¹²。木星と土星の対流圏には垂直方向に大量の熱を運ぶ積雲対流があり、どちらの惑星も太陽から受けとる熱よりも多くの熱を宇宙空間に放射している。木星と土星の巨大な嵐が示す脈動は、惑星の奥深くで生じた熱が表面まで伝わるしくみを解明するための手がかりとなるかもしれない。

Sánchez-Lavegaらの報告¹には、もう1つ、注目すべき点がある。それは、今日の惑星観測キャンペーンにおいてアマチュア天文家が果たしている役割の大きさである。今回は、世界中のアマチュア天文家たちがほとんど途切れることなく木星を観測したことで、個々の大規模な嵐の雲の成長と運動を45日間も追跡することができた。これに対してハッブル望遠鏡は、微細な特徴を不定期に約10時間ずつ観測していた。ハイレベルのアマチュア天文家たちは、近年、安価なデジタルカメラと、地球の大気に起因す

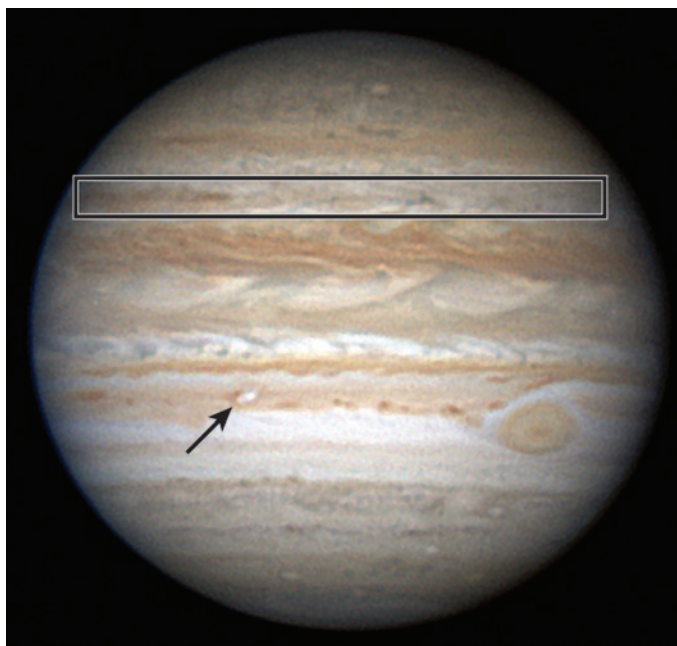


図1 カメラが捕らえた嵐。2007年5月17日にアマチュア天文家がフィリピンの子島で撮影した写真は、この年に木星の全域で起きていた大変動のピークを捉えている。四角形で囲んだ部分は、北緯23°のジェット気流がある領域を示している。その中の濃い灰色をした部分は、Sánchez-Lavegaら¹が調べた嵐による擾乱の残骸である。矢印で示した明るい点は、これとは別の嵐の始まりである。アマチュア天文家による観測の頻度と柔軟性が、多くの重要な大気現象を観測できるだけの空間分解能と結びついたことで、彼らの貢献は木星観測キャンペーンにとって欠かすことのできないものになった (写真はC.Goの厚意による^{1,13})。

るぶれを補正する高度な画像処理技術を手にしたことで、大型望遠鏡がなくても、多くの大気現象を観測できるだけの高い分解能で惑星を観測できるようになった (図1)。世界中のアマチュア天文家による連続的な観測は、地上や宇宙の大型望遠鏡を使った、より強力ではあるが柔軟性に欠ける観測をうまく具合に補っている。今後、惑星の表面の下を深く探っていく惑星科学者の傍らに献身的なアマチュア天文家たちが寄り添って、「診断」に必要なツールを補充してくれるようになるのは確実である。 ■

クニオ・M・サヤナギ、ルーイビル大学 (米)

1. Sánchez-Lavega, A. *et al. Nature* **451**, 437-440 (2008).
2. Limaye, S. S. *Icarus* **65**, 335-352 (1986).
3. Porco, C. C. *et al. Science* **299**, 1541-1547 (2003).
4. Atkinson, D. H., Pollack, J. B. & Seiff, A. *Science* **272**, 842-843 (1996).
5. Seiff, A. *et al. Science* **272**, 844-845 (1996).
6. Rogers, J. H., Metting, H.-J. & Peach, D. *Icarus* **184**, 452-459 (2006).
7. Flasar, F. M. *et al. Nature* **427**, 132-135 (2004).
8. Simon, A. A. *Icarus* **141**, 29-39 (1999).
9. Garcia-Melendo, E. & Sanchez-Lavega, A. *Icarus* **152**, 316-330 (2001).
10. Garcia-Melendo, E. *et al. Icarus* **176**, 272-282 (2005).
11. Rogers, J. H. *The Giant Planet Jupiter* (Cambridge Univ. Press, 1995).
12. Sanchez-Lavega, A. *Chaos* **4**, 341-353 (1994).
13. www.christone.net/astro/jupiter

科学がみる未来予想図。「Futures」セクションでは、いま話題のサイエンスフィクションや作家たちの作品を取り上げます。私たちの未来はどうなっているのか。Nature の巻末を毎週かざるこのページは、(とりあえず今はまだ) 科学的事実でない展開へと、読者をいざないます。いざ、想像の世界へ――

When Britney Spears comes to my lab

ブリトニー・スピアーズ、研究者となる！？

Nature Vol.451(106)/3 January 2008

Vince LiCata

これこそがポップカルチャー！

報道即解禁：米国ルイジアナ州出身のブリトニー・スピアーズさんが、生まれ故郷のケントウッドにほど近いバトンルージュにあるルイジアナ州立大学（LSU）で、いくつかの講義の聴講を検討していたもようだ――。

ブリトニー・スピアーズがLSUにやってくる。（腕を動かさないかぎり）おなかの露出がそれほどひどくないシルバーのストラップレスのストレッチトップに黒のカプリパント、それにちょっとずり下がったベルト、といったいでたちで。大学に着いたら、ブリトニーはさっそく、学生研究員として私のラボで研究を始めることになっている。なんといっても、生物学入門は彼女の予想を超えておもしろい。学生用の実験室で死んだ動物の体にメスを入れれば、奇妙な、酔っ払ったような気分がこみ上げてきて、頭は少しくらくら、でも、わずかに心地よくなってきて……。となれば、彼女はほんものの科学研究をより詳しく学びたいという衝動を感じることになるはずだ。

ブリトニーには、実験中にガムをかまないようにといい、pH 計にからみついた髪をどうやってほどくのか、「必ず適切な換気を実施して使用すること」というラベル記載の意味を教えるつもりだ。少し経てば、彼女自身の研究プロジェクトが決まる。おそらくは、我々の糖尿病プロジェクトの1つとなるだろう。ポップスターの手による糖脂質代謝異常の研究は、きつうまくいくはずだ。ブリトニーは、有益なデータをたくさん出してくれるだろう（そもそも彼女はちょっとしたワーカホリックだ）。でも、やがて音楽活動や断続的に繰り返される結婚・妊娠によって、それにももちろんほかのクラスにも出席しなければならないわけで、彼女がラボで過ごす時間は徐々に少なくなり始

める。研究への取り組み態度については、とりあえず私も一般的な小言を呈するくらいはするつもりだが、最終的にはブリトニー自身が、実験により多くの時間をかけることに決めよう。まさしくあらゆる勤勉な科学者と同じように、実験が好き、という理由で。

ブリトニーが熟練し、1人で実験を進められるようになると、けがをすることが少なくなり、実験器具を壊すことも減っていく。ライクラ素材のストレッチトップと自動滴定装置という組み合わせが引き起こす悲惨な出来事を経験したブリトニーは、地味な服装に変わっていくだろう。彼女の実験データは、信頼性が高く、再現性があり、論文発表できるレベルのものとなる。長期休暇や休日を利用して新曲のレコーディングを行ない、夏休みにはコンサートツアーに出る。でも、それ以外の多くの時間は実験に費やし、時には飛行機での日帰り出張もこなしてしまうようになる。

最初はブリトニーの存在に衝撃を覚えた新入生たちも、彼女が研究グループの中で最も生産的なメンバーの1人であることをすぐに理解する。そのうちに研究室のメンバー全員が、うるさくつきまとうレポーター陣を丁重かつ効率的に追い出す方法を身につけるだろう。研究室のドアの外には、さまざまな追っかけグループが常にたむろしているが、そのほとんどは行儀よくしている。

ブリトニーの科学に対する貢献は、私の研究室の外にまで幅広くひろがっていく。ブリトニーは、基礎科学に対する一般市民の興味を、これまでにないレベルにまで高める。あらゆる研究分野への投資額も、奇跡のようなレベルに跳ね上がるだろう。

ブリトニーは、私たちは病気の治療を考える前にまず、おのれの身体の仕組みの基礎を理解しておく必要がある

ということ、広く一般に教えていく。もちろん、一夜にしてなしえることではない。実際に、TV番組「エンターテイメント・トゥナイト」で研究に関するインタビューを受けたブリトニーは、最初、「adipocyte（脂肪細胞）」の発音を間違えていた。でも、まもなく彼女の公開講演で間違いが聞かれることはなくなり、話の内容も的確なものになっていく。科学者のキャリアにつく若者や有名人の数は飛躍的に増加する。

LSU卒業後のブリトニーは学業を重ね、ハーバード大学でPhDの取得をめざす。学位論文の面接を受けるのと同じ月には、グラミー賞授賞式の共同司会者として、透かし編みの卒業ガウンに博士帽という衣装で登場。その後、パリのパスツール研究所でポストドク研究に入ると、フランスの日周リズムによく適応し、朝の11時頃にぶらぶらと散歩しながら研究室にやってきて、夜は10時のディナータイムまで働き、お気に入りのモンパルナスのカフェで夕食をとる生活を送る。彼女の研究テーマは、大学院時代に開発した抗糖尿病治療に対する動物個体の応答で、これが全世界の関心を集めることになる。フランスのジャーナリストも、かつての米国ジャーナリストと同様に、ブリトニー博士へインタビューするにあたっては、生化学の基礎をある程度勉強しなければならないことを認めざるを得なくなるだろう。

さらにその後の数年で、ブリトニーはセントジュード小児研究病院（テネシー州メンフィス）の生化学科で最初の教官のポジションに就き、自身のラボをもつようになり、研究室には録音スタジオを併設する。同僚たちは、彼女の露出度の高い服、けばけばしいアイライナー、研究室から絶えず鳴り響いてくる音楽に不快感を抱くだろうか。まあ、なかには不快に思う者もいるだろうが、ほとんどの者は、ぴたぴたのスパandexをまとった身体に、実はひたむきな科学者の心が宿っていることに気づくはずだ。ブリトニーの研究は、有望な新しい糖尿病治療法の発見に結びつく。多くの科学者の場合と異なり、ブリトニーは、研究発表にでかける際にボディガードを雇わなければならない。彼女に関するFBIの年次報告書には、彼女に対してストーカー行為をはたらく者の大多数がPhD取得者であることが記されるだろう。

さらに数年後のある夜のこと、ブリトニーは、エルビス・プレスリー大通りに面したダイナー（簡易食堂）で1人、コーヒーをゆっくりと飲んでいた。深夜の時間帯に設定された観察を行う学生を手助けするため、眠気覚ましをしていたのだ。彼女は、窓の外を眺めながら考えていた。もし、実験に長い時間を費やさずに、あのまま音楽活動に専念していたら、いまごろはどうなっていたら、と。窓には、彼女の1つ手前のブースに座る男の子と母親の姿が映っていた。ふと、男の子が読んでいた本から目を上げた。

「ママ、『とうようびょう』ってなあに？」。

「それはね、からだの中で、お砂糖が正しく消化されないう重い病気のことよ。目が見えなくなったり、足を切り落とさなくちゃなくなったり、死んでしまうこともあるの」。

「うえっ。ボク、そんな病気になったらやだなー」

「病気にはかかっていないからだいじょうぶよ。それに、もし糖尿病になったとしても、いまは治せる新しい方法がたくさんあるって聞いたわ。ブリトニー・スピアーズもそのための研究をしているって」。

男の子は再び本を読み始めた。それを見て、コーヒーをもうひとくち口にするブリトニー。顔を上げてウエイトレスと目を合わせたブリトニーは、パイをひと切れ注文した。ダイエットをしなければならないのだが、もう何年も公の場でおなかを見せていない。ラボに戻る時刻までは、まだ20分も残っている。 ■

Vince LiCata は、ルイジアナ州立大学准教授（生物科学）で、タンパク質の構造と機能を研究している。劇作家でもあり、その作品は、米国のいくつかの都市で上演されている。

Futures は *Nature* 人気セクションの1つで、通常は編集部からの依頼原稿ですが、自発的な投稿も歓迎します。内容は完全なフィクションで、一話で完結していなければなりません。ジャンルは、ファンタジーやホラーではなくてSFです。この記事に関する読者からの投稿が2月14日号 p.768 の「Correspondence」に載っています。興味のある方は是非お読みください。

なお、Correspondence は新聞の投書欄に相当するセクションです。*Nature* 掲載記事（論文以外）に対する読者の意見・感想が中心ですが、科学にまつわる一般的な話題や政治問題、あるいは逸話の話題なども取りあげます。ときには、ジョークを交えた投書も掲載され隠れた人気セクションです。日本からの投書も大歓迎です。詳しくは、*Nature* 投稿サイト (<http://www.nature.com/nature/authors/>) をご参照ください。



天敵の匂いを忌避する行動は先天的に決められていることを証明

小早川高・小早川令子

哺乳類が匂いを嗅いだときの反応は、これまで後天的に決められるものと考えられてきた。ところが、東京大学大学院の小早川高特任助教と科学技術振興機構さがけの小早川令子研究員らのグループは、マウスが天敵や食べ物の腐敗臭を忌避する行動は先天的なものであることを明らかにした。この成果は *Nature* 2007 年 11 月 22 号で発表された¹。小早川高・令子夫妻に研究の経緯や意義、将来の展望について聞いた。

天敵の匂いを怖がらないマウスが誕生

Nature Digest — マウスが天敵であるネコと向かい合っても逃げない写真には、驚かされます。なぜこのような状態が可能になったのか、実験を始めた経緯から教えてください。

小早川高 — 匂いは鼻腔の奥の嗅上皮にある嗅細胞^{*1}で感知されます。匂いの情報は電気信号となって嗅細胞の軸索を通じて脳の一部である嗅球の糸球構造に伝わり、その後、大脳の嗅皮質に届けられます。嗅上皮には大きく分けて嗅球の背側に情報を伝える背側ゾーンと嗅球の腹側に伝える腹側ゾーンがありますが、このマウスは背側ゾーンの嗅細胞を取り除いたものです（図1）。

もともと嗅上皮のゾーンの役割の違いを知りたいと遺伝子を調べていたのですが、ゾーンごとに多くの遺伝子発現の違いがあることがわかりました²。そうすると、1つの遺伝子を機能阻害するノックアウトマウスのような手法では解析できず、ゾーンごと働かなくさせたいと考えました。ただ、嗅細胞がある嗅上皮は複雑な形で、外科的に取り除くのはむずかしいため、特定のゾーンに存在する嗅細胞のみにジフテリア毒素が作り出され、破壊されるようにした遺伝子操作マウスを作りました。この遺伝子操作マウスでは約 1000 種類ある

嗅細胞のうち、背側のゾーンの約 400 種類の嗅細胞を取り除いています。

小早川令子 — 嗅上皮のゾーンは見た目には境界線があるわけではありませんし、大きな機能的な意味はない、神経回路を伸ばしていくときにゴチャゴチャにならないようにグループを作っているのだろーというような認識が長い間、主流でした。ただ、遺伝子を調べるとあるゾーンにしかないというような特異的な遺伝子が数多く見つかり、私たちはあえてゾーンごとに働きが違うのではないかと考えたのです。

ND — 嗅上皮の背側ゾーンを壊すと何が起こったのですか？

小早川高 — この遺伝子操作マウスでは、嗅球の背側が働かなくなっていました。脳は可塑的で、ある部位が損傷されると、ほかの部位が機能を補うことがよくありますが、嗅球では腹側が背側の働きをカバーすることはありませんでした。また、嗅細胞からの信号が入らないため、背側の嗅球では腹側と違って糸球構造が形成されませんでした。この結果から、脳にはカバーしてはいけない、あるいはしないほうが良い部位やその理由があるかもしれないと考えています。

この遺伝子操作マウスは、野生型マウスと異なり、天敵の匂いや食物の腐敗臭に対して忌避行動を取りません。匂いを



図1 嗅上皮の背側ゾーンを除去した遺伝子操作マウスとネコ

嗅上皮の背側ゾーンを除去した遺伝子操作マウスはネコの匂いを嗅ぐことができるが、忌避行動を取らない。この遺伝子操作マウスは、小早川特任助教らが発見した嗅上皮の背側ゾーンに特異的な遺伝子 O-MACS が発現したときに、ジフテリア毒素が活性化し、嗅上皮の背側ゾーンを破壊するようにしてある。それによって嗅球の背側の領域も空き地になる。

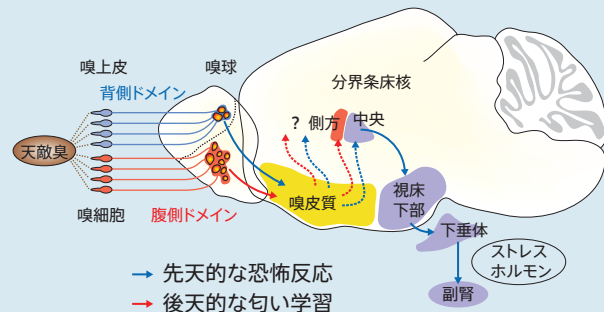
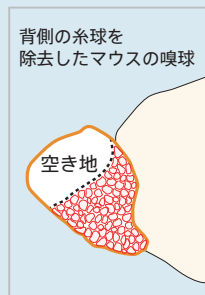


図2 天敵の匂いに対する忌避行動を起こす脳の神経回路モデル
マウスが天敵の匂いを嗅いだとき、感知した嗅細胞からの信号は、背側（青）と腹側（赤）から、嗅球の背側と腹側それぞれの糸球構造を活性化させる。背側からの信号は分界条床核の中央領域を活性化し、視床下部からの指令でストレスホルモン（副腎皮質刺激ホルモンなど）を分泌させ、恐怖の反応や忌避行動を起こさせる一方、腹側からの信号は匂いの学習などの別の反応を担うと考えられる。



小早川 高（こばやかわ・こう）
東京大学大学院理学系研究科特任助教。理学博士。
1973 年生まれ。1996 年、東京大学理学部生物
化学科卒業。2002 年、東京大学大学院理学系研
究科生物化学専攻博士課程修了。CREST 研究員
を経て 2007 年より現職。専門は脳科学。現在
は匂いの研究を通して、脳や心が働く原理を解明
していくことを目標にしている。

小早川令子（こばやかわ・れいこ）
科学技術振興機構さきがけ研究員。理学博士。
1972 年生まれ。1995 年、東京大学工学部化学
生命工学科卒業。2000 年、東京大学大学院理
学系研究科生物化学専攻博士課程修了。日本学
術振興会特別研究員（PD）、COE 研究員を経て
2007 年より現職。専門は脳科学。遺伝子操作で
神経回路を人工的にデザインする方法を使って、
哺乳類の脳が情動や行動を引き起こす原理を研究
している。

嗅がせた後に痛みを与えて後天的に学習させると忌避行動を取れるため、匂いを嗅ぐことはできるのですが、初めて嗅いだ嫌な匂いを避けるという行動ができないのです。

例えば、ヒトでは食べ物の好き嫌いは個体差が大きく、納豆やブルーチーズのように発酵臭や腐敗臭があるものも好きな人と嫌いな人がいます。そのため、食べ物の腐敗臭を避けるのは後天的に決まる反応だと考えられてきました。ところが、マウスでは生命に関わる天敵の匂いや食物の腐敗臭を避ける行動は先天的に決められており、後天的に匂いのみを学習しても忌避行動には結びつかなかったのです。おそらく匂いによる行動は先天的に決められたものと後天的に決められるものがあり、生命の安全にかかわる行動は先天的にプログラミングされているということでしょう。また、1 つの匂いは先天的な部分と後天的な部分の両方を活性化させると推測できます。

匂いの好き嫌いを調べる方法を開発

ND — 研究を進めるうえで苦労されたのはどんなところですか。

小早川高 — 匂いは動物の強い行動や情動を引き起こすことが知られていますが、例えば食べ物の腐敗臭、刺激臭、天敵の匂いからどのようなメカニズムで逃げるのかはわかっていませんでした。嗅細胞の嗅覚受容体による匂いの区別、匂いの神経回路の作られ方などに関する研究は進む一方で、匂いが行動に結びつく経路は解明されておらず、また、マウスの好きな匂いと嫌いな匂いを区別する方法もありませんでした。

私たちの研究では、まずマウスの匂いの好き嫌いを調べる方法を考えました。フィルター紙に酸やアルデヒド、ケトンといった刺激臭のある化学物質やキツネのような天敵の匂い、好んで食べるピーナツバターなどを染み込ませ、マウスが水の匂いを嗅ぐ 4 秒をコントロールとして、それぞれの匂いを嗅ぐ時間を調べて比較しました。その結果、遺伝子操作マウスは嫌いなはずの匂いも長く嗅ぐことがわかりました。多くの匂いに関して簡単に再現性のある実験を組み立てるのはむずかしかったのですが、やってみるときれいな結果が出ました。

また、遺伝子操作マウスが嫌いな匂いをまったく嗅げなくなっているとしたら、忌避行動を取れないのは当然ですので、ほんとうに嗅げているのかも確かめる必要がありました。そこで、嫌いな匂いを嗅がせた後に痛みを与えて学習させる方法を思いつき、嫌な匂いを嗅ぐことができることも確認しました。さらに、恐怖を感じているかどうかは、ストレスホルモンである副腎皮質刺激ホルモンの分泌量で確かめました。野生

型マウスは天敵の匂いを嗅ぐとすくんでしまい、副腎皮質刺激ホルモンが出ていますが、遺伝子操作マウスは天敵の匂いを避けだけでなく、副腎皮質刺激ホルモンが分泌されません。

こうして解剖学的、生理学的、行動学的と 3 つの側面から遺伝子操作マウスを調べることになり、それぞれの結果から、遺伝子操作マウスは匂いを嗅げるにもかかわらず、恐怖を感じないため、忌避行動を取らないことが推測できたのです。

小早川令子 — 実験を進める途中で、強い酸で刺激臭が強いプロピオン酸のプールをマウスのケージに置いてみました。野生型マウスはプールに近づきませんでしたが、遺伝子操作マウスは刺激臭を嗅げるにもかかわらず、いつもの水が入っているプールと同じように酸のプールの中に入り続け、1 時間くらいで皮膚がただれて死んでしまいました。死ぬほどの危険に近づき、逃げないという行動に驚かされましたね。

嗅覚や行動を調べる、脳研究の効果的な方法になる可能性が高い

ND — 今後、この研究をどのように展開される予定ですか。

小早川高 — 今、マウスが好きな匂いの信号が脳のどのような神経回路を経て伝わり、どのような行動に結びつくのかを研究していて、ここ 1 ～ 2 年で結果が出ると思います。もう 1 つ、今回の研究では、嗅覚を道しるべに脳でどのように恐怖を感じるのかを調べる手がかりを得たと考えています。私たちの研究方法が嗅覚や脳を調べる 1 つのスタンダードになるのではと期待しています。

小早川令子 — この研究から、忌避行動に関する嗅細胞は鼻腔から最も近い位置にあることがわかりました。生命の危険に関わる状況に遭遇したとき、すぐに逃げられるようにできているわけで、いわば、脳へすぐに情報を伝えるホットラインです。生命のすごさを感じますね。この嗅細胞が恐怖の最初の入り口になっているので、神経回路をたどっていけば、恐怖の感じ方を調べることができると推測しています。

ND — ありがとうございます。 ■

聞き手は小島あゆみ（サイエンスライター）。

* 1 嗅細胞

嗅細胞は神経細胞で、細胞体に樹状突起と軸索がついている。嗅細胞の嗅覚受容体はマウスでは 1000 種類ほどあり、それぞれ 1 種類の匂いに対応している。そして、1 つの嗅細胞には 1 つの嗅覚受容体があり、同じ種類の数万个の嗅細胞は嗅球で同じ糸球構造に入るようになっている。

1. Kobayakawa K., Kobayakawa R. *et al*, *Nature* **450**, 503 – 508 (2007)
2. Oka, Y. *et al*. *Eur. J. Biochem.* **270**, 1995–2004 (2003).



左から大崩さん、横山さん。

安友康博

一見すると、昆虫たちは気まぐれに花を訪れているように見えるが、そうではない。決まった種の花だけを訪れ、そこで幼虫や自分の餌となる蜜や花粉をもらい、その代償として花粉を自らの体にこすりつけて同じ種の別の個体の花に花粉を運び、受粉を媒介している。植物の多くは、特定の昆虫を雇い、報酬として蜜や花粉を与える代わりに自分の花粉を運んでもらうことで、次世代に命を繋いでいるのだ。

植物が花粉を受粉させることを「送粉」といい、花粉を媒介する生物を「送粉者」という。花の形や大きさ、色、香りなどの形質は、送粉者に合わせたものであることが多く、例えば、夜行性の生物に送粉を頼る花は、送粉者を視覚で誘うことができないので地味なことが多く、代わりに強い香りを放って嗅覚で誘引する傾向にある。また、鳥に送粉を頼る花は、鳥が見分けやすい赤色をしていることが多く、くちばしが挿入しやすい形になっている。同じ送粉者をもつ場合には、同種でなくても花の形質が似通うことがあり、逆に、近縁種であるにもかかわらず送粉者

キスゲ属の花は、送粉者に合わせて進化したのか？

福岡県立小倉高等学校（平成 17 年度 SSH 指定校）

季節は春。厳しい冬を耐えた植物たちがさまざまな花を咲かせている。よく見ると、どこからともなく、ハチやハエ、チョウなどが現れて、花々を訪れている。小倉高校の大崩貴之さんたちは、花の色や香りが、花を訪れる昆虫と深い関係にあることを、夏に咲くキスゲ属の花を用いて明らかにした。

が異なるために形質が異なることもある。

このように、送粉者に適応してあらわれる形質群を「送粉シンドローム」という。福岡県立小倉高等学校のSS生命科学研究会（大崩貴之さん、藤田 諒さん、横山稜佑さん、板垣 諒さん）は、ユリに似た花を咲かせるキスゲ属の花を用いて、「花卉の色」が「香り、開花時間」とどのように関連しているかを調べた。研究成果は2007年8月に開催された平成19年度スーパーサイエンスハイスクール（SSH）生徒研究発表会で紹介され、「独立行政法人 科学技術振興機構理事長賞」を受賞した。

形質群の異なるキスゲとハマカンゾウ

花を咲かせる被子植物は全陸上植物の実に9割を占め、そのうちの8割以上が、送粉を生物に頼っているといわれる。例えば、アブラナや桜、桃、バラなどは、いずれも昆虫に送粉を頼る「昆虫媒花」である。残りの2割弱には、針葉樹林で見られる「風媒花」などがある。風媒花は、その名のとおり、風によって送粉される花

の総称で、風が通りやすく同種が高密度に分布する中緯度地域などでみられる。

キスゲ属は、東アジアに約10種が生息するとされ、8～9月に赤や黄色の花を1日だけ咲かせる。大崩さんらが用いたのは、赤くて香りの弱い花を朝に咲かせるハマカンゾウと、薄い黄色で強い香りを放つ花を夜に咲かせるキスゲである。両者は互いに交配可能な近縁種でありながら、その色も、香りも、咲く時間帯もまったく違う。

「朝に咲くハマカンゾウはチョウやハナバチが送粉するのに対し、夜に咲くキスゲは夜行性のスズメガが送粉します。送粉者に適応した結果、近縁でありながらも対照的な形質に至ったと考えられます」と大崩さんはコメントする。

キスゲとハマカンゾウを交配

九州大学理学部では、キスゲ属の進化や多様性についての研究を続けており、ゲノム解析によって花の色に関わる遺伝子の変異などを突き止めてきた。「私たちも、九州大学理学部生物学科の矢原徹一先生にご指導いただいて、独自のキスゲ属の研究を始めることにしたのです」と大崩さん。

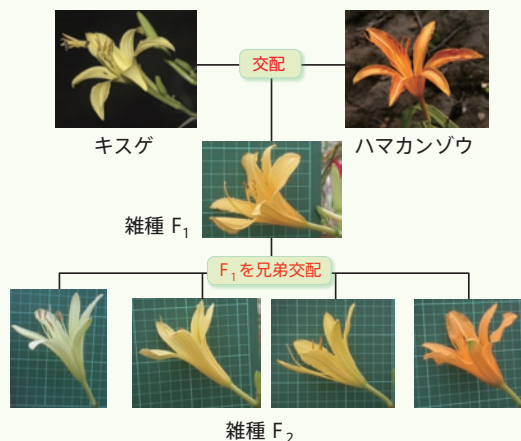
検討を重ねた結果、SS生命科学研究会ではハマカンゾウとキスゲの花の色に着目し、それぞれの雑種が、ハマカンゾウタイプの特徴（朝咲き、送粉者がチョウ、匂いが弱い）を受け継いでいるのか、キスゲタイプの特徴（夜咲き、送粉者がスズメガ、匂いが強い）を受け継いでいるのかを調べて、花の色とほかの形質群にどのような関係があるのかを検討すること

生物担当の田吹教諭が語る「大崩さんの研究魂」

「考察能力が高く、素直に人の意見を取り込んで自分の考えの幅を広げていくことができる人物」。小倉高校で生物を担当する田吹由美教諭は、大崩さんをこのように評価する。大崩さんは、第19回国際生物学オリンピックの最終選考10名にも選ばれており、学校での勉強や研究で忙しいなか、専門書を開いて勉強を続けている。将来は古生物学や進化学を学びたいというが、すでに生物学の知識が豊富で、授業

で行う実験では先生の助手を務めるほどだという。

「大崩君との出会いは私自身の財産でもあります。世界の生物学の発展のために大切に育てていかなければ」と田吹教諭。このところの科学研究は、実学や応用ばかりに目が向きがちだが、大崩さんはじめ班員のみなさんには「なぜだろう」という純粋な好奇心とワクワク感をもち続けて研究を継続してもらいたい。



左図は、キスゲとハマカンゾウの交配実験。雑種第一代 (F₁) の花は両種の間色となり、F₁ どうしを交配した第二代 (F₂) では、黄色から赤っぽい色まで、さまざまな色の花がみられた。



左の写真は、40℃にも達する真夏のビニールハウス内で実験をこなす班員。暑さと戦いながら、根気よくデータを取り続けた。

にした。すでに述べたように、ハマカンゾウの花は鮮やかな赤色なのに対し、キスゲは薄黄色である。「いずれの種も、小倉高校卒業の先輩が九州大学で育てて研究を行っており、互いに交配が容易で、得られた雑種の花の色が肉眼で観察しやすいと考えたからです」。大崩さんは、そう話す。

交配実験を始めるにあたり、まず、キスゲとハマカンゾウの花色の違いが、確かに遺伝的な相違によってもたらされていることを確かめた。両種の葉からDNAを抽出し、アントシアニンという花弁の赤色色素の合成経路に関わる4種の遺伝子 (*chs*, *3gt*, *ldx*, *dfr*) の塩基配列を解読したのである。「その結果、合成経路の上流部に位置する *chs* には塩基配列のわずかな違いが確認されたものの、アミノ酸の違いはないことがわかりました。また、下流部に位置する *3gt* と *ldox* は塩基配列の違いや欠失が確認され、アミノ酸にも違いがみられました (*dfr* は配列解読が困難だった)。つまり、上流の遺伝子機能はキスゲもハマカンゾウも同じですが、下流遺伝子群の動きが異なり、こうした差が花弁の色の違いをもたらしていると予測できました」と大崩さん。

続いて2種を交配し、得られた雑種 (F₁) どうしをさらに重ねて交配する実験を行ったところ、雑種第2代 (F₂) ではさまざまな色をもつ花が咲いたという。大崩さんは、そのうちの132個体の色を1つ1つ観察して「うす黄色のキスゲ色」、「オレンジの中間色」のいずれに相当するかを記録していった (今回は、ごくわずかしが得られなかった赤いハマカンゾウ色の雑種は考察しなかった)。「得られたデータを解析したところ、

キスゲ色の雑種はキスゲに似た特徴を受け継いでいることがわかりました」。大崩さんは実験結果をそう分析する。

3つの形質群は連鎖していた？

大崩さんらは、一連の実験を始めるにあたり、「植物は送粉者に合わせて進化を遂げ、キスゲとハマカンゾウにみられる送粉シンドロームは、生殖を効率よく行うために進化した結果であろう」との仮説を立てた。「植物は植物なりに、積極的に送粉者に選択されるように進化した」というのである。

得られたデータを、パソコンを駆使して解析したところ、キスゲ色の雑種は、キスゲの特徴 (夜咲き、薄い花弁の色、強い匂い) をセットで受け継いでいることがわかった。大崩さんらは「キスゲの特徴をもたらし色、香、開花時間の3形質の遺伝子は連鎖している」と考え、「この連鎖は、送粉者によって何らかの作用が植物に働き、植物が必然的に進化した結果である。すなわち、仮説は正しいのではないかと結論づけた。

たしかに、3形質が連鎖して遺伝すれば、効率よく生殖を行うための複数の形質がバラバラにならずにすむ。例えば、「赤い色」をもつ花が夜咲いても、夜は色が識別できないし、匂いを頼りに行動する夜行性のスズメガには何の意味もなさない。また、昼間に「強い匂い」を放っても、色を目印に集まるチョウには無意味である。

仮説をさらに検討するために

現在の生物学では、進化はゲノム中で組み換えや重複、変異がおきた結果、偶然

にもたらされるとする「中立説」が有力であることを考えると、大崩さんらの仮説と結論は、やや大胆にも思える。また、進化において「必然」や「積極的」といった言葉がどのように定義されるのかについての検討も必要だと思われる。

とはいえ、植物が現在の姿かたちに至るには、昆虫の存在が欠かせなかったことは広く認められており、送粉者と花の形質群に着目した点は高く評価できる。現存するハマカンゾウの特徴を得た個体と、キスゲの特徴を得た個体が、生存に有利だったために生き残れたことは確かだが、それぞれの種が、いつ、どのようにしてチョウやスズメガを送粉者に採用したのか、両種の共通祖先の花がどのような形質群だったのかなど、第一線の研究者にとっても解明のむずかしい課題が多くあり、今後の解明が待たれている。

大崩さんらは、花と茎の角度や花の開き具合のデータも記録しており、キスゲの特徴をもつものとハマカンゾウの特徴をもつものとは、これらの形質にも違いがみられることを突き止めている。今後は、独自の仮説をさらに詳しく検討するために、花の色以外の形質群を支配する遺伝子を特定したいとしている。

大胆な理論を提唱するには、それを裏づけるに足るデータが必要である。大崩さんらは、そのことを肝に銘じて、汗だくになりながら記録をとり、時にウトウトしながらパソコンに向かったという。実験によって確かめることのできない「進化」を相手に、どうアプローチするのか。今後の成果に期待したい。

執筆：西村尚子 (サイエンスライター)

動物のようにもキノコのようにもなる生物、変形菌（粘菌）は、その奇妙な生態が多くの生物学者を魅了してきました。日本では、*Nature* 誌への掲載論文数約 50 本を誇る学者、みなかたぐくす 南方熊楠

（1867 年～1941 年）が知られています。

今回は、変形菌の学習能力についての記事を取り上げます。左ページの Topics に目を通してから、英文を読んでみましょう。

NEWS

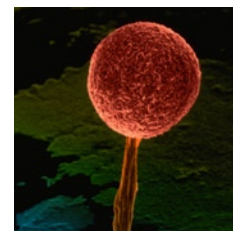
語数：514 words 分野：細胞・生物物理

Published online 23 January 2008 | *Nature* **451**, 385 (2008) | doi:10.1038/451385a

Cellular memory **hints** at the origins of intelligence

<http://www.nature.com/news/2008/080123/full/451385a.html>

Philip Ball



変形菌の子実体

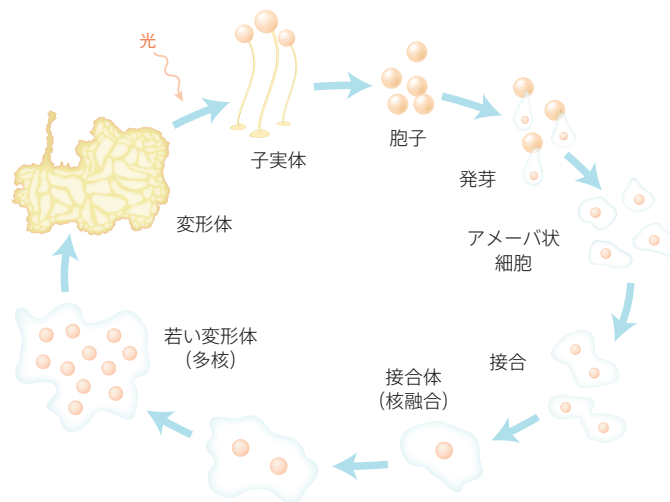
- 1 Learning and memory — abilities associated with a brain or, **at the very least**, neuronal activity — have been observed in **protoplasmic slime**, a **unicellular organism** with **multiple nuclei**.
- 2 When the **amoeba** *Physarum polycephalum* is subjected to a series of shocks **at regular intervals**, it learns the pattern and changes its behaviour **in anticipation** of the next one to come¹, according to a team of researchers in Japan. Remarkably, this memory stays in the **slime mould** for hours, even when the shocks themselves stop. A single renewed shock after a 'silent' period will leave the mould expecting another to follow in the rhythm it learned previously. Toshiyuki Nakagaki of Hokkaido University in Sapporo and his colleagues say that their findings "hint at the cellular origins of primitive intelligence".
- 3 It is well-established that cells receive, interpret and adjust to **environmental fluctuations**, says microbiologist James Shapiro of the University of Chicago, Illinois. But if the results **stand up**, he says, "this paper would add a cellular memory to those capabilities".
- 4 The **organism** chosen by the Japanese team could scarcely seem less promising as a quick learner. *Physarum polycephalum* is a slime mould belonging to the **Amoebozoa phylum**. It moves at a steady rate of about one centimeter per hour at room temperature, but this changes with the humidity of its environment. It slows down in drier air, and Nakagaki's team used this sensitivity to stimulate learning.
- 5 The team found that when the mould experienced three episodes of dry air **in regular succession** an hour apart, it apparently came to expect more: it slowed down when a fourth pulse of dry air was **due**, even if none was actually applied. Sometimes this **anticipatory** slowdown would be repeated another hour later, and even a third. The same behaviour was seen when the pulses were experienced at other regular time intervals — say, every half hour or every 1.5 hours.
- 6 If the dry episodes did not recur after the first three, the amoeba's sense of expectation gradually faded away. But then applying a single dry pulse about six hours later commonly led to another anticipatory slowing in step with the earlier rhythm.
- 7 The same team has previously shown that these amoebae can negotiate mazes and solve simple puzzles^{2,3}. So the new finding adds to "the **cool** things *Physarum* can do", says applied mathematician Steven Strogatz of Cornell University in Ithaca, New York.
- 8 Like all living organisms, slime moulds have built-in **biochemical oscillators**, like the human **body clock**. In other kinds of slime mould, these oscillators can create periodic **ripple** patterns **in response** to environmental stress, helping the organism coordinate its movements. Nakagaki's group thinks that the **versatile** rhythmic sense of *Physarum* stems from many different biochemical oscillators in the **colony** operating at a continuous range of frequencies.
- 9 The team's calculations show that such a group of oscillators can pick up and 'learn' any imposed rhythmic beat, although the knowledge decays quickly once stimulus ceases. The calculations also show that a memory of the beat can stay within the system, and be released again by a single, later pulse — just as the researchers observed.

References

1. Saigusa, T., Tero, A., Nakagaki, T. & Kuramoto, Y. *Phys. Rev. Lett.* **100**, 018101 (2008).
2. Nakagaki, T., Yamada, H. & Toth, A. *Nature* **407**, 470 (2000).
3. Nakagaki, T., Kobayashi, R., Nishiura, Y. & Ueda, T. *Proc. R. Soc. B* **271**, 2305–2310 (2004).

Topics slime mould (変形菌) とは?

変形菌（粘菌または真正粘菌）は、湿った場所の古材や植物に腐生している単細胞生物。栄養体は、細胞壁をもたない不定形粘液状の原形質の塊で、アメーバ運動をして移動しながら微生物などを摂取するので、粘菌の栄養体は変形体とよばれる。変形体は飢餓状態で光が当たるなどすると子実体を形成し、胞子を生じる。胞子は発芽してアメーバ状細胞となり、飢餓状態になると接合して接合体を形成する。接合体は細胞分裂せずに核だけが分裂し、多核の変形体へと成長する。このように変形菌は、動物的な性質と植物的な性質をあわせもつ不思議な生物である。近年、迷路を最短距離で抜ける、有害物質を避けるなどの行動が報告され、どうやって変形菌が複雑な情報処理を行っているのか、物理学・工学の立場からも注目を集めている。



変形菌の生活環

Science key words

1. **protoplasmic:** 原形質の
原形質とはもともと、細胞の生きている部分を構成している物質を意味するが、細胞内微細構造が判明した現在では、核と細胞質、細胞膜をさす。
1. **unicellular organism:** 単細胞生物
1つの細胞だけで個体が成り立ち、生命活動を行っている生物。これに対し、ヒトのように多くの細胞で個体が成り立っている生物を、多細胞生物という。
1. **multiple nuclei:** 多核
1つの細胞内に核が複数存在している状態。一般に核の分裂に伴い、細胞も分裂するので、1つの細胞に1つの核しか存在しない。変形菌のように細胞分裂を起こさず核だけが分裂を繰り返すことにより多核になる場合と、胎盤の合体栄養膜細胞のように細胞が融合して多核になる場合とがある。
2. **amoeba:** アメーバ
鞭毛や繊毛をもたずに、原形質流動（細胞質が流れるように移動する現象）によって突き出した仮足で移動する単細胞生物。
2. **Physarum polycephalum:** モジホコリ
真正粘菌の1つ。研究によく使用され、モジホコリの情報処理を利用したロボットも発明されている。

4. **organism:** 有機体、(微) 生物
生物全般を意味するが、単に微生物をさすことも多い。
4. **Amoebozoa phylum:** アメーボゾア (アメーバ動物門)
「門; phylum」は、動物の分類項目の1つ（植物では門は division）。門の上には「界; kingdom」、門の下には、「綱; class」「目; order」「科; family」「属; genus」「種; species」と続き、それぞれに「亜~; sub-」というサブ項目がある。
8. **biochemical oscillators:** 生化学的発振器
体内時計（下記参照）などの周期的な作用機構のために、生体内でリズムを生み出している機序。いくつかのタンパク質が協調して、周期的なリズムを制御していると考えられている。
8. **body clock:** 体内時計
生体に備わっている、約24時間を周期的に刻む機構。これにより睡眠、血圧、体温、ホルモン分泌など生体全体のリズムが制御されている。生物によって周期に多少の差がみられるが、太陽光などで24時間に調節されているとされ、最近では夜中に強い光を受けると体内時計が狂うという研究結果も報告されている。
8. **colony:** 個体群、コロニー
個体群とは、空間的に集合している同一種、または複数種の生物の群落・群れのことで、動物や植物に広く使われる。コロニーとは、細菌やカビ類、細胞などを培養したときに形成される細胞集団のこと。ここでは、コロニーの意で使用されている。

Words and phrases

タイトル **hints at ...:** (～を)「ほのめかす」「におわせる」「示唆する」

1. **at the very least:** 「少なくとも」「最低限でも」
1. **slime:** 「粘液状の塊」
2. **at regular intervals:** 「一定の間隔を置いて」「定期的に」
2. **in anticipation of:** 「～を見越して」「～を見込んで」
3. **environmental fluctuations:** 「環境の変動」
3. **stand up:** 「有効である」「正しさが確認される」
「立ち上がる」を連想すると思うが、ここでは「有効な状態が持続する」「正当性が貫徹される」という意味。

5. **in regular succession:** 「一定の間隔で繰り返した」
in succession で「連続して」「相次いで」という意味で、ここに regular（規則的な）が組み合わさっている。
5. **due:** 「予定になっている」
「期限が到来している」「当然与えられるべき」といった意味もある。
5. **anticipatory:** 「見込み～」
7. **cool:** 「カッコいい」「いかした」「イケてる」
8. **ripple:** 「波紋」「リップル」
8. **in response to:** 「～に回答して」「～に応じて」
8. **versatile:** 「多芸な」「多目的な」

NEWS

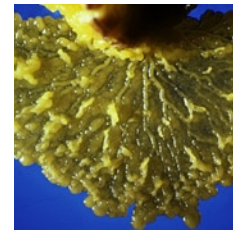
参考訳

Published online 23 January 2008 | *Nature* **451**, 385 (2008) | doi:10.1038/451385a

単細胞の記憶が示唆する知性の起源

<http://www.nature.com/news/2008/080123/full/451385a.html>

フィリップ・ポール



モジホコリの変形体

1. 学習と記憶という、脳の活動、あるいは少なくとも神経細胞の活動に関連した能力が、原形質から成る不定形の塊である多核単細胞生物においても観察された。
2. 日本の研究チームの報告によると、アメーバの一種であるモジホコリ (*Physarum polycephalum*) に一定の間隔でショックを与え続けると、そのパターンを学習し、次のショックを見越してふるまいを変えるようになるという¹。注目すべきは、この変形菌(粘菌)にショックを与えるのをやめた後も、その記憶が数時間にわたって保持されるという点である。ショックを与えるのをしばらく中断した後に、再びショックを1回与えると、モジホコリは、以前学習したリズムで次のショックがやってくると予期するのである。北海道大学(札幌市)の中垣俊之准教授たちは、この知見は「原始的な知性の起源が細胞にあることを示唆しています」と述べている。
3. 環境の変動を受け止め、解釈し、それに順応していく能力が細胞に備わっていることは広く受け入れられている、とシカゴ大学(米国イリノイ州)の微生物学者 James Shapiro は話す。しかし、中垣らの研究結果の正しさが裏づけられれば、「今回の論文により、細胞の記憶という新たな能力が追加されることになります」と Shapiro はいう。
4. 中垣の研究チームが実験対象に選んだ生物は、物覚えが早いようには到底みえないものである。モジホコリは、アメーボゾアに属する変形菌である。室温では1時間に約1センチメートルという速さでじわじわと移動するが、この速さは環境の湿度に応じて変化する。研究チームは、モジホコリが湿度の低下を感知すると移動速度が遅くなることを利用して、学習を促進させたのだった。
5. 中垣たちは、モジホコリに乾燥空気を1時間に1回の等間隔で3回噴射すると、次の噴射を予期するようになることを発見した。4回目の噴射がくるはずの時刻になると、空気を噴射しなくても、モジホコリの動きが遅くなったのである。こうした見込み減速は、その1時間後や、さらにその1時間後にも起こることがあった。別の実験で、30分に1回、あるいは90分に1回といった等間隔で乾燥空気を噴射したときにも、同様のふるまいがみられた。
6. 乾燥空気の噴射を最初の3回のみでやめると、モジホコリの期待感は徐々に薄れていった。しかし、約6時間後に再び乾燥空気を1回だけ噴射すると、当初のリズムに合わせた見込み減速が一般的に復活した。
7. モジホコリが迷路を探索し、やさしいパズルを解けることは、このチームの以前の研究によって明らかになっている^{2,3}。コーネル大学(米国ニューヨーク州イサカ)の応用数学者 Steven Strogatz は、今回の新たな知見によって、「モジホコリの“イケてる”特技がまた1つ増えました」と語る。
8. ほかのすべての生物と同じように、変形菌にもヒトの体内時計のような生化学的発振器が組み込まれている。別の種類の変形菌では、この発振器が環境ストレスに応じた周期的な波紋パターンを生じさせ、動きを協調させるのに役立っている。中垣の研究チームは、モジホコリが柔軟なリズム感をもっているのは、そのコロニー内にある多種多様な生化学的発振器が連続した振動数域で作動しているからではないかと考えている。
9. 研究チームの計算によれば、この一群の発振器は、外部から加えられた周期的なビートを検出し、「学習」できることが明らかになっている。ただ、この知識は、刺激がなくなると、たちまち失われてしまう。また、この計算では、ビートの記憶が系内に残存し、後になって加えられる1回のパルスによって再び引き出されることも示されている。これは、まさに中垣たちが観察したとおりである。



***Nature Photonics* は今年で1周年**

Nature Photonics は2008年1月で創刊1周年を迎えました。

1周年を記念いたしまして、*Nature Photonics*の編集チームがここ一年のハイライトを選び、ウェブにて無料公開 (*nature.com* への無料登録が必要) しております。

是非、*Nature Photonics* 1周年記念特集をご覧ください。

http://www.nature.com/nphoton/focus/1st_anniversary

日本語で **nature** を読む

Nature Digest は、Nature を日本の皆様により身近に感じていただくために全ページ日本語で編集された科学情報誌です。英国本社で作成された Nature 本誌、Nature オンラインニュースに掲載されている最新の科学ニュースや科学論説などの記事はもとより、日本オリジナルの企画編集記事も加わり充実した1冊となっています。

Nature 翻訳・編集記事



日本オリジナル編集記事



2008年1月号より **8ページ**増量!!



Nature Digest 定期購読お申込みはこちらから

www.naturejpn.com/digest-f08