ISSN 1880-0556

nature DIGEST

日本語編集版
March 2007
VOL. 04, NO. 3
3

http:// www.nature.com/naturedigest

20th anniversary
nature asia-pacific
Established 1987 as Nature Japan K.K.

自然を見守る

R&D 研究支援サポート企業
株式会社 アイキューブつくば

つくば・関西を中心とした

研究職お仕事サイト

お仕事をお探しの方

→求人検索・応募ができます！

→人材登録ができます！
（スカウト制度あり）

研究職をお探しの方

→人材検索ができます！

→求人登録ができます！

ただのお仕事サイトではありません。
担当コーディネータが、みなさんの求職活動をサポートします。

www.研究職.com 検索

nature asia-pacific
Established 1987 as Nature Japan K.K.

NEWS FEATURE

自然を見守る

表紙：N. RAGER FULLER/NSF

HIGHLIGHTS
02 vol. 445 no.7125, 7126, 7127, 7128

AUTHOR
05 中国産の微化石が「胚」だとする解釈に挑戦
—— Jake Bailey

EDITORIAL
06 『Nature Photonics』創刊

NEWS
07 1918 年インフルエンザの復元ウイルスで
サルが死んだことによる懸念
Kerri Smith
08 光を逆向きに曲げる方法
Katharine Sanderson

NEWS@NATURE.COM
10 早寝早起きの遺伝学
11 内部崩壊を起こす核廃棄物の貯蔵庫

NEWS FEATURE
12 自然を見守る
Michael Hopkin
16 社会をオンライン実験する
Jim Giles

NEWS & VIEWS
20 磁気圧を上げる
Shaun Fisher and George Pickett

JAPANESE AUTHOR
22 フォトニック結晶を使って、光速を 5 万分の 1 に抑える
ことに世界で初めて成功 —— 納富雅也・田辺孝純
北原逸美
24 アポトーシスを鍵に、関節リウマチの発症メカニズムを
探る —— 長田重一
小島あゆみ

英語で NATURE
26 Don't wash those fossils!
その化石を洗わないで!

nature photonics

06

12 N. RAGER FULLER/NSF

16 SONY ONLINE ENTERTAINMENT

nature DIGEST

03 volume 4 no.03
March
www.nature.com/naturedigest

© 2007 年 NPG Nature Asia-Pacific
掲載記事の無断転載を禁じます。

発行人：デービッド・スウィンバンクス
編集：北原逸美
デザイン／制作：村上武
広告：米山ケイト
マーケティング：吉原聖豪

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

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

Vol.445 | no.7125, 7126, 7127, 7128

複製の引き金
The replication trigger

サイクリン依存性キナーゼ（CDK）は、細胞周期などのさまざまな細胞活動を制御している。DNA 複製の開始時期や細胞の分裂時期を決めるのも、この種のキナーゼの 1 つである。2 つの研究グループが、DNA 複製に不可欠な CDK 標的が Sld2 と Sld3 であることを突き止めた。どちらの研究も酵母について行われたものだが、同様のシステムが高等真核生物でも保存されていると思われる。今回の知見は、DNA 複製の分子機構や、細胞増殖制御ががんの化学療法につながる可能性を考察する際の新たな手がかりとなる。

18 January 2007 Vol.445 / Issue 7125
Article p.281, Letter p.328, N&V p.272 参照

モンスーンに脅かされるオーストラレーシア
Australasia in the firing line

塊状サンゴから得られた過去 6300 年間の気候記録を綿密に再構築することにより、インド洋域の降水に大きな影響を与える気候振動であるインド洋ダイポールモード現象のこれまで知られていなかった変化の証拠が明らかになった。この新しいデータから、インドネシアで干ばつが長引くこととアジアモンスーンの降水が多い時期との間に意外なつながりがあることがわかった。したがって、アジアモンスーンの強さの今後の変化は、これまで予測されていたよりも広範囲に影響を及ぼす可能性が高い。モンスーンの強さの変化の予測は、主としてアジアとインドに与える影響に焦点がしぼられていたが、新たなデータは、オーストラレーシア全域に及ぶ悪影響を示唆している。

18 January 2007 Vol.445 / Issue 7125
Letter p.299, N&V p.270 参照

分子磁石
Molecular magnets

分子からなる室温磁石の例は、熱心な研究にもかかわらずほとんど見つかっていない。そのような磁石が重要なのは、まったく新しい方法で作製・加工したり、光などの外力で特性を制御できる新種の磁石を作出したりできる可能性があるからである。Jain たちは今回、室温よりかなり高い温度で磁気秩序を示す新種の有機金属複合材料について報告している。これらの材料の正確な構造はまだ明らかにされていないが、溶液を用いる合成ルートには汎用性があることから、類似のさまざまな磁石を作製できる可能性がある。

18 January 2007 Vol.445 / Issue 7125
Letter p.291 参照

「スペイン風邪」ウイルスの威力
The deadly 1918 flu virus

1918 年に起こった「スペイン風邪」インフルエンザの世界的大流行は異例に深刻なもので、およそ 5000 万人が死亡した。しかし、なぜそれほど壊滅的だったのだろうか。二次的感染治療用の抗生物質がなかったことや、社会経済的な諸要因が関係していた可能性もあるが、再構築された 1918 年ウイルスをヒト以外の霊長類に感染させた実験から、このウイルス自体のもつ致死的な性質が大きな要因であったことが今回示唆された。実際、このウイルスは、ヒト以外の霊長類に実験的に感染させた場合に死をもたらす唯一のインフルエンザウイルスである。そして、1918 年ウイルスはほかのヒトインフルエンザウイルスと異なり、自然免疫を抑制する。最近広まっている H5N1 ウイルスも、1918 年ウイルスに似た重症の肺感染を引き起こし、また自然免疫応答を抑制するので、宿主の自然免疫応答を保護するような治療により、こうしたインフルエンザウイルスによる感染の重症度を軽減できるかもしれない。

18 January 2007 Vol.445 / Issue 7125
Letter p.319, N&V p.267 参照

見えない宇宙：暗黒物質の分布マップから明らかになった宇宙の骨格
THE UNSEEN UNIVERSE: Dark matter maps reveal cosmic scaffolding

表紙は、今回初めて作られた、宇宙における「暗黒物質（ダークマター）」の大規模分布を示すマップの一部である。これは、ハッブル宇宙望遠鏡によるこれまでで最大規模の探査で得られた画像を使って作成された。暗黒物質は、宇宙の大部分の質量を占める謎の物質だが、光を反射も放射もしないので直接的に観測することはできない。しかし暗黒物質は、遠方の銀河からの光がその前景に何らかの物質が分布していれば曲げられるという重力レンズ効果によって、間接的に観測することができる。今回の新しいマップでは、暗黒物質のフィラメントの網目状構造が時間の経過とともに成長し、巨大なボイド（空洞）で隔てられているようすがみられる。通常の物質である「バリオン」粒子は、宇宙の全質量のうちのたった 6 分の 1 を占めているにすぎないが、重力による構造形成の過程で、暗黒物質のこうした骨格の内部にあらゆる星や銀河、惑星を形成する。

18 January 2007 Vol.445 / Issue 7125
Letter p.286, N&V p.274 参照

匂い探しのアルゴリズム
Information trail

走化性細菌は、局所的な濃度勾配を道しるべにして栄養分のありかに向かって進む。こうしたやり方は微視的スケールでは機能するが、もっと大きいスケールではこのような局所的な手がかりに頼ることはできない。例えば風や水流が、採餌中の動物が探している匂い物質を拡散させてしまう可能性がある。Vergassola たちは統計的手法を用いて、散発的な手がかりや部分的情報の検知に基づいた移動戦略のための一般的探索アルゴリズムを開発した。情報獲得率の期待値を最大化することから「情報走性」（infotaxis）と名づけられたこの戦略は、匂い追跡ロボットの設計に応用することができそうだ。

25 January 2007 Vol.445 / Issue 7126
Letter p.406, N&V p.371 参照

分子メモリー
Molecular memory

集積回路の微細化は、現在の技術ではあと 20 年ほどでさらなるスケールダウンができなくなり、行きづまる可能性がある。しかし、それ以降の微細化は、DRAM（分子エレクトロニクスに由来する概念に基づくダイナミックランダムアクセスメモリー）、ナノワイヤーの使用、および欠陥耐性のあるアーキテクチャーによって可能となるかもしれない。これらを組み合わせたエラー耐性のある小型メモリー回路は既に実証されているが、このアプローチは、予想されている「2020 年」の DRAM 回路にほぼ近い 160 キロビット分子電子メモリーが開発されたことで、別の段階へと進んでいる。この回路には、まだ多数の動作しないメモリービットがあるが、それらは容易に検出され切り離される。また、動作するビットを完全な機能をもつランダムアクセスメモリーとして構成することができる。News Feature では、P Ball が、超高密度分子メモリーの活用に必要なコンピューター・アーキテクチャーについて考察している。

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

※「今週号」とは当該号を示します。

25 January 2007 Vol.445 / Issue 7126
Letter p.414, News Feature p.362 参照

がんの標的治療
Targeted cancer therapies

ある種のチロシンキナーゼは多くのがんで過剰に活性化しており、白血病治療薬イマチニブなどのこの酵素の働きを阻害する薬物が治療に有効な場合がある。しかし、これらの薬物は、チロシンキナーゼの異常によって発生するすべてのがんに作用するわけではない。その理由らしきものが新たな研究により明らかになった。キナーゼである HER2 は、乳がんで過剰に活性化していることが多く、シグナルをまた別のファミリーメンバーである HER3 を介して伝達する。Sergina たちは、HER2 の働きがキナーゼ阻害剤によって部分的に阻害されているような場合には、フィードバック機構によって活性をもつ HER3 が細胞膜中で増加し、そこでがん細胞増殖というシグナルが伝達され続けることを見いだした。したがって、HER2 を完全に阻害し、HER3 活性も低下させるもっと有効な阻害剤ならば、さらに有効ながん治療を行えると考えられる。

25 January 2007 Vol.445 / Issue 7126
Letter p.437 参照

トラブルを避ける：ライバルどうしの戦いを見てその社会的地位を推論する魚
STEERING CLEAR OF TROUBLE: Fish use logic to infer social order by watching rivals fight

魚類は特に賢い動物だとは考えられていないが、論理的思考の兆しを示す動物のリストに加えてもよさそうだ。既知の関係に関する知識から未知の関係を推論する能力である「推移的推論」は、論理的推論には欠かせない。この能力は幼児の発達に重要な段階と見なされ、類似の能力が非ヒト霊長類やラット、鳥類でみられる。なわばりを形成する *Astatotilapia burtoni* という魚種では、雄の繁殖成功は「魚社会」内の地位によって決まる。この魚の雄は見知らぬ他個体どうしの戦いを観察することにより、それらの個体の順位を学習することができる。注目すべきは、彼らがこれを直接証拠で補強するのでなく、「傍観者」として間接的に行うという点である。この行動は推移的推論に関する従来のモデルに疑いを投げかけるものであり、これらの魚は生存と繁殖に特有な状況での推論を行うために、独特なメカニズムを進化させてきたと考えられる。表紙写真は *A. burtoni* の雄。

25 January 2007 Vol.445 / Issue 7126
Letter p.429 参照

痛みセンサーで危険を察知
Sensing danger

TRPA1 イオンチャネルは痛みの感知に関係するニューロンにみられ、有害物質や刺激性化合物に加えて低温にも反応を示す。マウスでの遺伝子ノックアウト実験によって、TRPA1 が生理的に必須な痛みセンサーであることが確認されている。TRPA1 がこれほど多様な刺激で活性化される仕組みは不明だが、Macpherson たちは今回、この活性化がシステイン残基の共有結合性修飾によって起こることを明らかにした。タンパク質がシステインと反応する物質によって修飾されるのは珍しいことではないが、こうした仕組みにより活性化されるイオンチャネルはこれが初めてである。求電子性の有害物質や酸化ストレスに応じて起こる TRPA1 の活性化には、組織損傷の恐れがあることを生物個体に警告する役割があるのだろう。

1 February 2007 Vol.445 / Issue 7127
Letter p.541, N&V p.491 参照

前方へと送る
Fronting up

ショウジョウバエ（*Drosophila*）の前方決定因子である *bicoid* mRNA は、最初に見つかった局在性をもつ運命決定因子として 1988 年に同定されたが、どのようにしてショウジョウバエの卵の前方に輸送されるのかはよくわかっていなかった。今回 U Irion と D St Johnston が、この RNA とそれを局在させる経路とを結びつける特異的因子が ESCRT-II 複合体であることを明らかにした。ESCRT-II は、エンドサイトーシスによって細胞表面から取り込まれたタンパク質のソーティングと分解経路への移送に重要な役割をもち、また発がん抑制因子としても働いている。しかし、*bicoid* mRNA の局在はエンドソームでのソーティングとは関係ない。またラットの ESCRT-II は RNA に結合するため、mRNA の局在にかかわるこの新発見の機能は少なくとも一部の哺乳類では保存されているらしい。

1 February 2007 Vol.445 / Issue 7127
Letter p.554, N&V p.497 参照

マクスウェルの悪魔とはり合う
Confront your demons

J C マクスウェルは、1867 年に行った古典的な思考実験で、気体で満たされた 2 つの区画を仕切るトラップドアを見張る小さな悪魔を想定した。その悪魔が、速く動く分子だけを左から右へ通し、遅く動く分子は右から左へ通すので、その結果、右の区画が暖まり左の区画が冷たくなる。このように平衡から遠ざかる変化は、熱力学第 2 法則に反している。マクスウェルの生誕地に程近いエディンバラ大学のチームが今回、マクスウェルの悪魔が平衡と闘うのを模倣した分子「機械」を作り出した。この「新型の悪魔」にあたる分子は、特別に設計したロタキサンである。このロタキサンは、環状分子に対する複数の結合サイトをもつ中心軸が環状分子の中心の環を貫通した構造をしている。以前のロタキサンマシンは、環の結合パターンを変化させることによって活性化されるため、結合サイト間で環が行き来する結果となり、平衡に戻る方向に系を動かした。新しいロタキサンでは、環の位置に関する情報を使って平衡から離れる方向へ系を動かしている。しかし、分子情報を集めて移動させるのにエネルギー（光として供給される）を消費するため、熱力学第 2 法則は破られないままとなる。

1 February 2007 Vol.445 / Issue 7127
Letter p.523 参照

気孔が作られる機構
Fair exchange

植物がガス交換を行うための構造である気孔は、植物の陸地への進出を可能にした重要な新装備の 1 つである。トータルでみれば、気孔の活動は地球全体の炭素循環や水循環に大きな影響を与えている。このため、気孔を作り出すための生合成経路が見つかれば、広い関心をよぶことだろう。今週号では 2 つの研究グループが、*SPEECHLESS*、*MUTE*、*FAMA* という近縁の 3 つの遺伝子の連続的な発現を含む経路を見つけたことを報告している。このことから、これら 3 種のよく似た塩基性ヘリックス・ループ・ヘリックスタンパク質が、順次連続的に作用して気孔の分化を制御していることが示唆される。この機構は、動物における細胞種の分化と酷似している。

1 February 2007 Vol.445 / Issue 7127
Article p.501, Letter p.537 参照

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

大胆な再現：月と火星とさらにその先を目指す NASA

TO BOLDLY GO BACK: NASA's plans for the Moon, Mars and beyond

表紙写真は、アポロ 11 号のミッション遂行中に N Armstrong が撮影したもので、初期アポロ月面実験パッケージ（EASEP）の観測機材一式を運ぶ B Aldrin の姿が写っている。3 年前に「The Vision for Space Exploration」と題した文書の中で NASA は、30 年以上前のアポロ計画時代の興奮を再び取り戻すべく周到に考え抜いた太陽系探査の新しい枠組みの概略を発表した。その進行状況はどうなっているのだろう。新しい探査計画の筆頭項目は、月への再訪と火星への有人飛行の準備だが、今週号では G Brumfiel が、このプロジェクトの開始後 3 年間の進み具合について取材報告している。計画の進展は、「宇宙進出競争」が熾烈だった 1960 年代に比べるとゆっくりめにされている。だが、予算の心配はあるにしても、技術は具体化しつつある。Editorial では、有人宇宙飛行がもたらすだろう興奮と新しい科学技術を歓迎する一方で、人工衛星からの地球観測の経費継続の必要性についても論じている。

1 February 2007 Vol.445 / Issue 7127

News Feature p.474, Editorial p.459 参照

内在性カンナビノイドをねらえ

Endocannabinoid targets

脳の線条体における 2 つのニューロン経路、つまり「直接」運動経路と「間接」運動経路の活動の不つり合いが、パーキンソン病でみられる運動障害の原因だという説が提案されている。今回、遺伝子操作マウスを用いた研究で、この 2 つの経路に含まれるニューロン集団に重要な違いがあることが明らかになった。特に、線条体に顕著な内在性カンナビノイド仲介性長期抑制（eCB-LTD）というシナプス可塑性は、間接経路のニューロンでしかみられない。パーキンソン病のマウスモデルに、ドーパミン D2 受容体アゴニストや内在性カンナビノイド分解阻害薬を投与して eCB-LTD を「回復」させてやると、運動機能の著しい改善がみられた。この結果は、線条体でのドーパミンの大きな役割が、間接経路シナプスでの eCB-LTD の促進にあることを示唆している。内在性カンナビノイドの分解系を標的にした薬物は、パーキンソン病治療の新たな手段となるかもしれない。

8 February 2007 Vol.445 / Issue 7128

Letter p.643 参照

植物ホルモン活性化の新しい仕組み

Makes shoots and leaves

植物ホルモンのサイトカイニンは茎頂分裂組織の働きに必要であり、この活性は高等植物が連続的に生長するための必須条件である。倉川たちは、新しく発見されたサイトカイニン活性化酵素によるサイトカイニン活性の微調整が、分裂組織活性の制御に重要であることを報告している。*LONELY GUY*（*LOG*）遺伝子がコードする酵素は、生理活性型サイトカイニン合成の最終段階を触媒する。不活性型から活性型への変換は、サイトカイニンの作用が必要な部位で細胞特異的に起こり、これは活性の不要な組織や時期にサイトカイニン活性化が起こるのを回避するための効率的な機構と考えられる。

8 February 2007 Vol.445 / Issue 7128

Letter p. 652 参照

p53 と腫瘍の退縮

p53 and tumour regression

多くのヒトがんでがん抑制因子 p53 は、変異しているか、あるいはほかの異常により不活性化されている。今回、定着腫瘍で短期間でも内在性の p53 遺伝子を再活性化させると、ある種の動物モデルでがんの退縮がみられたことを 2 本の論文が報告している。腫瘍の中には、腫瘍を排除することとなる自然免疫応答を伴う細胞老化を p53 の再活性化が引き起こすものもある。これらの研究では p53 の量を変化させるのに遺伝子操作が用いられているが、この結果は、p53 の働きを強化する薬物ががん治療に有用だろうという考えに対するさらなる裏づけとなる。

8 February 2007 Vol.445 / Issue 7128

Letters pp.656, 661, N&V p.606 参照

地球規模の気候変化

Local climate goes global

約 3350 万年前に起こった始新世から漸新世への遷移は、地球規模の重要な気候イベントだった。始新世の末期は異常に暖かく、南極には氷がほとんど存在しなかったが、漸新世になると南極には永久氷床が出現した。今週号の 2 つの論文は、この地球規模の変化が大陸の気候に及ぼした影響に関するものである。Dupont-Nivet たちはチベット高原の堆積物記録を調べて、大気中の水分が減少し、それによって南極域の寒冷化と同時期に寒冷化と乾燥化が起こったことを見いだした。これまでの研究では、この現象はチベット高原の急速な隆起に起因するとされていたが、今回の研究は、チベットの地域的な気候が地球規模の現象の影響を受けたことを示唆している。同じ気候遷移に関する別の論文で Zanazzi たちは、同じ時期に起こった北アメリカの寒冷化について調べている。彼らは、歯と骨の化石中の安定同位体測定を行って作成した気温の代理指標記録を用い、年平均気温の低下が 8.2℃という、海洋で観測されたよりも大きな値となることを見いだした。このような大陸の気候遷移によって、冷血動物である爬虫類と両生類の多くが絶滅したのに、体温を調節できる哺乳類が比較的無事に危機を免れた理由を説明できるかもしれない。

8 February 2007 Vol.445 / Issue 7128

Letters pp.635, 639, N&V p.607 参照

光のトリック：物質波で情報を送る

A TRICK OF THE LIGHT: Sending messages with matter

表紙は、1 つの「箱」の中で停止消失した光のパルスが、離れた場所にあるまったく別の箱で再生し、そこから返送されるという巧妙な実験をわかりやすく示したものである。実際には、低速光パルスが、第 1 の箱に相当するボーズ・アインシュタイン凝縮体中で停止して保存された後、160 μm 離れた別の凝縮体に再生した。光パルスは、光よりも操作しやすい物質波に変換され、この物質波が伝わることによって情報が転送された。この実験（ビデオをオンラインでみられる）から、共鳴レーザー場とボーズ凝縮した原子雲との相互作用が、物質を使った光の操作、あるいはその逆の操作の強力な手段となることが示された。このような量子制御は、量子情報処理や制御された原子波動関数の「整形（sculpting）」に応用分野できる可能性がある。

8 February 2007 Vol.445 / Issue 7128

Letter p.623, N&V p.605 参照

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

MAKING THE PAPER

Jake Bailey

Nature Vol.445(xiii)/11 January 2007

中国産の微化石が「胚」だとする解釈に挑戦

大学院生である Jake Bailey は、過去 10 年間で最も重要な化石発見報告の 1 つが解釈を誤っているのではないかと考えたとき、「ちょっと不安」になったという。しかし Bailey は、南カリフォルニア大学（米国ロサンゼルス）の地球科学者で彼の指導教官である Frank Corsetti に励まされながら、研究を推し進めた。

Bailey は 1 人の学生として、古生物学上の論争のいくつかを追って調べていたが、その中には中国南部で 1998 年に発見された 6 億年前の微化石も含まれていた。発見当初、これらの微化石を藻類だと考えた研究者もいたが、形状や大きさ、構造、卵割様の細胞分裂（動物の受精卵で起こるように 1 個の細胞が多数のもっと小さい細胞に分裂していくこと）がみられることから、この「ドウシャンツオ微化石」は微小な動物卵や動物胚であって、世界最古の後生動物化石にあたると考える研究者たちもいた。後者が正しいとすると、原始多細胞生物における細胞分裂の進化を解明するうえで、この微化石の評価は非常に大きい意味をもってくることだろう。「でも私は、これを自分で研究することについて一度も真剣に考えたことはなかった」と Bailey は話す。

そんな彼に転機が訪れたのは、海洋学者たちが発表した 2 つの研究論文を読んだときのことだった。そこで紹介されていたのは、問題の微化石に見た目がよく似た現在の細菌、すなわち巨大な硫黄細菌であった。一方の論文ではジョージア大学の Samantha Joye と Karen Kalanetra が、メキシコ湾で見つかったこれらの硫黄細菌が卵割に似た細胞分裂を行う証拠を示していた。Bailey は、現在生きているこれらの細菌の形状や構造が、卵だと推測されているドゥシャンツオ微化石の報告内容に非常に似ていることに気づいた。彼の興味が一段と高まったのは、ハノーバー大学（ドイツ）の Heide Schulz がもう一方の論文で、巨大硫黄細菌が生化学的活動によって自身の生息環境にリン灰岩を形成することを示す証拠を提出していたからだ。リン灰岩は、ドゥシャンツオ微化石が保存されていたのと同じ種類の堆積岩である。ドゥシャンツオのリン灰岩の存在は、これらの微化石が動物の卵だと考える研究者たちの頭を悩ませてきた。こうしたリン酸塩鉱物の形成機構はほとんど解明されておらず、動物がこの形成過程に関与していることを示す証拠もまだいっさいないからである。

ドゥシャンツオ微化石は動物の卵ではなく、メキシコ湾に生息しているのとよく似た巨大硫黄細菌の化石なのではないだろうか。2 つの論文を読んだあと、「そんな可能性を考えずにはいられなかった」と Bailey はいう。そこで Corsetti に助言を仰いだところ、Joye と Kalanetra に連絡してみるように言われた。

Joye と Kalanetra は、自分たちの所有する標本を分けてくれ、解析の手助けをすることを承知してくれた。そして、ほんの 2 ～ 3 週間の画像化作業で Bailey の直観は確かめられた。「この『見つかった！』という瞬間は、研究開始早々に訪れた」と Bailey はいう。Bailey たちの研究チームは *Nature* 2007 年 1 月 11 日号の 198 ページで、「胚」とされたドゥシャンツオの微化石が実際には巨大硫黄細菌の化石であることを示す証拠を示している。

Bailey は、大学院生の身分で主流派の発想に逆らうことについて、少々不安を抱いたことを認めている。「この分野で著名な何人かの研究者が以前発表した研究報告に対して、別の解釈を提案するというのは、気後れするものだ」と彼はいう。しかし彼は、科学の知識というものが固定された標的ではなく動く標的であることもよくわかっている。「なすべきことはまだたくさんあるし、私はこの論争が今後何年間も続くのではないかと思う」と Bailey は語った。 ■

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

『Nature Photonics』創刊

Enter *Nature Photonics*

Nature Vol.445 (2) / 4 January 2007

論説

光の研究とその応用に取り組むフォトニクスの分野は、この 50 年の間に現代の最重要実現技術の 1 つにまで成長した。レーザー、発光ダイオード、低損失光ファイバー、CCD（電荷結合素子）検出器などのデバイスの開発は世の中を一変させ、データ通信、材料加工、画像処理、生物医学、照明、ホームエンターテインメントなどへの応用も著しい進歩を遂げている。

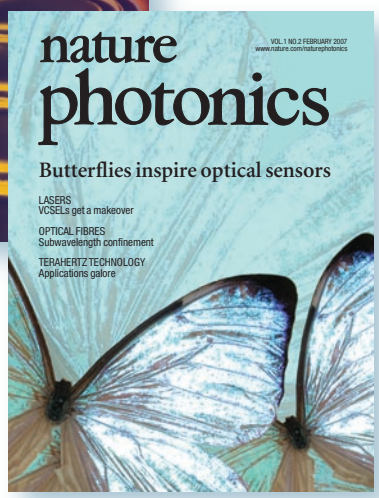
フォトニクスの基礎研究は、それ自体が非常に興味深いだけでなく、さらなる転換技術へとつながっていく。例えば、負の屈折率をもつ人工材料の創出は、最先端の集学的研究であるのみならず、より高い解像度での光検出と光加工を可能にすることが期待されている。また、「フォトニック結晶」に光子を捕捉するエンジニアリング材料は新しいタイプの光メモリの開発につながることが期待されているし、シリコン系全光回路が開発されれば通信や計算の分野が一変すると予想されている。

フォトニクスの活況と重要性とを考えると、この分野のジャーナル誌が果たすべき役割は非常に大きい。ジャーナル誌は、すぐれた研究成果だけでなく、技術開発とそれがもたらす影響を、商品開発まで含めて把握し、この分野に強い関心を寄せているあらゆる読者に向けて発信するものでなければならない。その思いで 2007 年 1 月に創刊したのが *Nature Photonics*（www.nature.com/nphoton 参照）であり、創刊号には上記のテーマを含む広範な記事が掲載されている。

Nature 本誌は、今後もインパクトの大きいフォトニクス関連論文を掲載していく。すでに発刊されている *Nature Physics*、*Nature Materials*、*Nature Nanotechnology* などのリサーチ誌も、各分野における *Nature* の役割を薄めることなく、質の高い研究成果を発表したり、それについて議論したりするための新しい場を提供してきた。

出版事業の点から見た *Nature Photonics* には、編集本部を東京に置く（ただし、ロンドンおよびサンフランシスコにアソシエートエディターがいる）初めての Nature 系ジャーナル誌という独自性がある。これにより、フォトニクスの分野で特に大きな存在感を示しているアジア太平洋地域の研究者たちと編集部との結びつきがさらに強まることだろう。もちろん、*Nature Photonics* は、ほかのすべての Nature 系ジャーナル誌と同じく、真の国際ジャーナルであり、特定の地域を優先することなく、全世界の研究論文を掲載していくものである。 ■

1 月号



2 月号

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

Concern as revived 1918 flu virus kills monkeys

1918年インフルエンザの復元ウイルスでサルが死んだことによる懸念

Nature Vol.445 (237) / 18 January 2007

Kerri Smith

「スペイン風邪」ともよばれる1918年のインフルエンザでは世界中で約5000万人が死亡したが、そのウイルスを実験室でマカクザルに感染させると死に至ることが報告された。この研究は、2005年の *Nature* に掲載されて議論をよんだウイルス塩基配列の論文[1]、および遺体からのウイルスの採取・復元とこのウイルスの病原性をマウスで評価した *Science* の論文[2]の後に続くものである。

このような恐ろしいウイルスを復元することの意義について疑問視する科学者もいる。リスクを上回るだけのメリットが果たしてあるのだろうか。

今回のマカクザル実験を行った研究者たちによれば、その答えは「イエス」だという。ヒトに似た生物の体内でこのウイルスがどのように振る舞うかをよく理解することが、必ずや将来の世界的大流行に対する備えになるというのだ。この研究は、カナダ公衆衛生局（ウィニペグ）にあるレベル4のバイオハザード実験室で実施された。ウィスコンシン大学マディソン校（米）の河岡義裕たちは、マカクザルに1918年のウイルスまたは現代のインフルエンザウイルスを感染させた[3]。現代のウイルスは肺に軽度の症状を生じさせるにとどまったが、1918年のウイルスは短時間で呼吸器系全体に広がり、感染したマカクザルは数日以内に死んでしまった。この重篤な症状は1918年のヒト患者についての報告とよく似ている。

研究チームの報告によると、1918年のウイルスはサルの免疫系を暴走させ、その結果、異常なほど大量に発現した免疫タンパク質が体を攻撃した。つまり、免疫学者のいう「サイトカインの嵐」が引き起こされたのである。

この研究は、1918年のインフルエンザが、大規模な自己免疫応答をも引き起こす西ナイルウイルスなどと似た機構で病原性を発揮する可能性を示唆している。このことから治療の方向性をうかがい知ることができる、とテキサス大学サウスウェスタン医療センター（米）のウイルス学者であるMichael Galeは話す。暴走した免疫応答を標的とする薬剤は、現在ほかの疾患で適用を目指して開発中であり、その中にはインターロイキン6という免疫タンパク質を制御する薬剤などがある。こうした薬剤を少し手直しすれば、世界的大流行を起こす汎流行インフルエンザに太刀打ちできるかもしれない。

しかし、治療の方向性は見いだせたものの、今回の研究結果はすでにマウスで得られていた知見をなぞったものであり、もっと重要な取り組むべき問題があるとGaleは感じている。「発症機序には確かに関心をそそられる」とGaleはいう。「しかし肝心かなめの問題は、どうやって1918年のインフルエンザがあれほど高効率で広がったのかということだ」。

マウント・サイナイ医科大学のチームはすでに研究を開始した。Peter Paleseは、1918年のウイルスを最初に復元したAdolfo Garcia-SastreおよびJeffery Taubenbergerと共同で、ウイルス伝播の仕方を研究中である。彼らはフェレットを使った研究で、インフルエンザウイルスのアミノ酸配列のうち1～2個のアミノ酸が変化しただけで伝播が止まることを見つけた。その結果は *Science* に掲載される。ゲノムのどの部分が伝播にかかわっているのかを突き止めることは「大流行を引き起こすウイルス株かどうかを予測するうえで非常に役立つ」と、世界保健機関（WHO）と連携する国立インフルエンザセンター（オランダ、ロッテルダム）のGuus Rimmelzwaanは語る。

河岡たちも同じような方向で研究を進めることにしており、ウイルスの一部を切り貼りすることでどの部分が最も致死性にかかわっているのかを確定する計画である。

しかし、今回得られた最新の成果をもってしても世間の懸念はまだ和らいでいない。ラトガーズ大学（米国ニュージャージー州）の細菌学者であるRichard Ebrightは、このウイルスは復元するべきでなかったと考えている。「重大なのは、この復元ウイルスが現在少なくとも2か所の施設にあることだ」と彼はいう。そして、新たな研究はウイルスが外部に流出するリスクを増大させ、ほかの研究室が追従する「危険な前例」を作ることになると主張する。

これと同様の内容の研究であっても対象がありふれた病原体であれば、影響力の小さい学術誌に掲載されるのが通例である、とEbrightはいう。そして、そもそもこの研究が *Nature* 誌上で発表されること自体、注目を集めたいがために高リスクの病原体を使おうとする研究グループの出現を促すことになりかねず、ウイルスの拡散リスクを高めることになる、とEbrightは主張する。これと似た意見をオフレコで話してくれた科学者はほかにも複数いた。*Nature* の生物分野編集主任であるRitu Dhandは、今回の論文掲載決定の正当性を主張している。その理由は、1918年のウイルスがほかのインフルエンザウイルスと別格であるため、ヒトに対してこれほど病原性が高い理由を解明することは科学的関心事だと考えられる点にある。

1918年のウイルス株に関する理解を深めることが公衆衛生上の大きなメリットにつながることは、Galeも認めている。しかし、Galeはもっと適切な研究方法があるのではないかと述べ、また、歴史に対する興味が公衆衛生上の潜在的メリットと同じくらいの推進力になって進められる研究もあるだろうと考えている。

ハーバード大学医学系大学院（米）のウイルス学者であり軍備管理問題にも詳しいJens Kuhnも胸中穏やかではない。「私が何をいっても、どちらかの側に敵を作ることになってしまう」とKuhnはいう。「私は、時に学術研究と軍備管理という2つの世界の板挟みになって途方に暮れてしまう」。■

1. Taubenberger, J. K. *et al. Nature* **437**, 889.893 (2005).
2. Tumpey, T. M. *et al. Science* **310**, 77.80 (2005).
3. Kobasa, D. *et al. Nature* **445**, 319.323 (2007).

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

How to drive light round the wrong bend

光を逆向きに曲げる方法

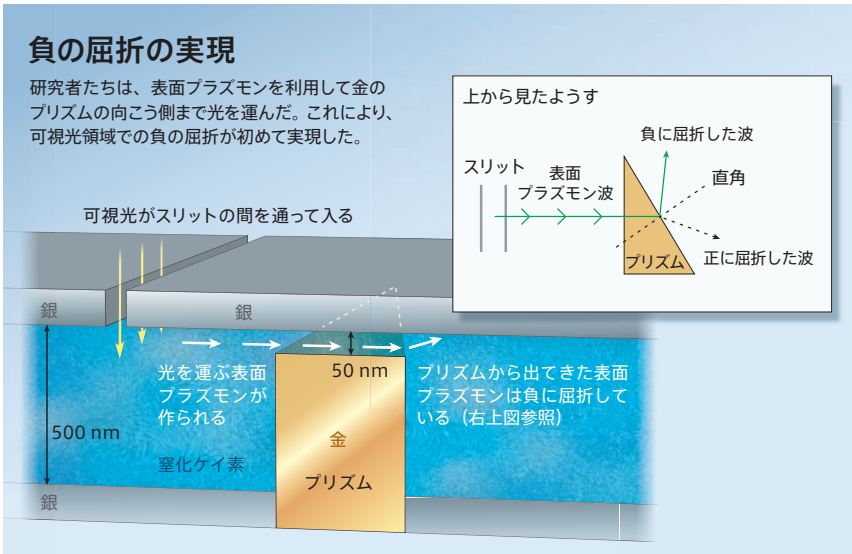
Nature Vol.445(346-347)/25 January 2007
Katharine Sanderson

可視光を操作して逆向きに曲げることはできるのだろうか？　そうだとしたら、光の波長よりも小さな物体の像を得るレンズや、中にあるものを見えなくするシールドなどのさまざまな未来の道具が、手を伸ばせば届きそうなところまで近づいてきたことになる。

数人の科学者は、可視光領域でこうした「負の屈折」を実現することは事実上不可能であると主張してきたが、現在、あるグループがこれを実現させたと主張して、本物の屈折とは何かという論争をよんでいる。

光は、ある媒質から別の媒質へと進入するときに決まった曲がり方をする。これが、屈折とよばれる効果である。負の屈折とは、普通とは逆の方向に光が曲がることをいい、光波の山と谷の進行方向が、光波そのものの進行方向に対して逆向きになるときにのみ起こる。

負の屈折率をもつ材料があれば、光を分散させることなく、完全に収束させることができる。ロンドンインペリアルカレッジの John Pendry は、この概念に基づいて、光の波長よりも小さな物体の像が得られる「完全な」レンズを製作できるという予言をした。一部の研究者は、屈折率は正の値しかとりえないと主張した。けれども 2003 年にマイクロ波領域で負の屈折が起こることが示され[1,2]、後には赤外線領域でも負の屈折が起こることが示されたことで、論争は終結した。

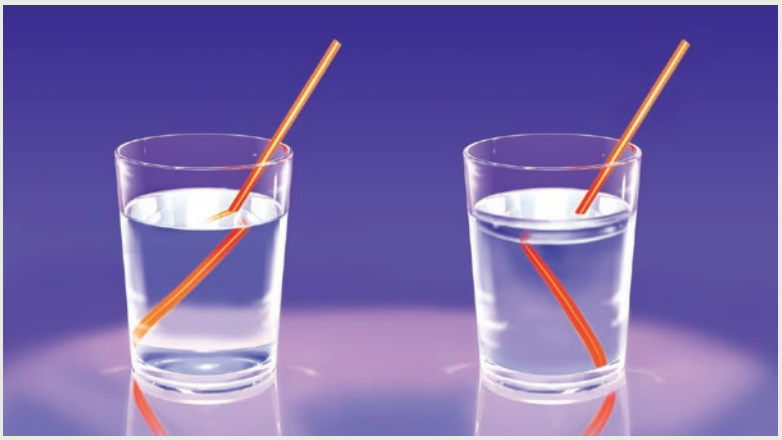


研究者たちは、光の波長とほぼ同じ大きさの構成成分からなる「メタ材料」を利用して、負の屈折を実現した。最近では Pendry がメタ材料を使って物体の周囲で光を曲げる「不可視シールド」を作ったが[3]、これはマイクロ波領域でのものだった。

可視光領域で負の屈折を実現することは、とうてい不可能であるように思われた。マイクロ波や赤外線の波長は μm から cm の単位にあるため、これらを負に屈折させるための材料の構成成分もこの単位の大きさでよい。けれども、可視光の波長に相当する 500nm 前後の構成成分をもつメタ材料を作るのは、非常にむずかしいからである。

今回、カリフォルニア工科大学（パサデナ）の Harry Atwater の研究室に所属する Jennifer Dionne と Henri Lezec は、可視光領域で負の屈折率を示すという材料を公開した。Dionne は、1 月 11 日に Nanometa 2007 にてその成果を発表し、論文を提出した。Nanometa 2007 は、ナノ光学とメタ材料についての会議で、オーストリアのゼーフェルトで開催された。

©2007 NPG Nature Asia-Pacific



月本佳代美

水の入ったコップにさしたストローは、光の屈折のために切れているように見える（左）。光が負に屈折した場合を予想して作った模型（右）では、驚くべき効果が見られる。水面の下側は見えるが、コップの底は見えない。より正確なモデルについては文献4を参照されたい。

理論家たちは最近、可視光の波長に匹敵するほど小さな構成成分からなる材料を作る代わりに、金属表面で振動している自由電子に光が衝突することで生じる表面プラズモンという電磁波を利用して、光を望み通りの方向に導く方法を提案している。今回、Dionne と Lezec は、まさにこれを実現したのである。彼らの装置は導波管とよばれるもので、2 枚の銀の薄板の間に窒化ケイ素インシュレーターを挟んだ構造になっている。

光は、上の銀板のスリットの間を通って装置の中に入ってくる。装置の中に入った光波は、銀板の中の振動する電子と結合して表面プラズモン波を作り、これが金属の表面に沿って進んでいく。けれども、窒化ケイ素の中には金で被覆したプリズムが埋め込まれており、プリズムと上の銀板との間には幅わずか 50nm のギャップがある（図参照）。表面プラズモン波は、このギャップを横切るときに反射される。Dionne は、負に屈折した波長 480～530nm の青緑色の光が装置から出てくるのを検出したと主張している。その屈折率は、-5 という低さであった（ちなみに、空気中から水中へと入射する光の屈折率は +1.33 である）。

表面プラズモンにプリズムの上の狭いギャップを通らせることで、その運動を制限し、1 つのモードの表面プラズモン波だけが通過するようにすることができる。光が特定の波長をとるとき、表面プラズモン波の周波数が金属塊の中の振動する電子の周波数に近くなる。このとき、表面プラズモン波が振動する電子と相互作用して、波の山と谷の進行方向が逆向きになり、負の屈折が起こるのである。

Dionne にとっては、これにより「角の向こう側を覗く」ことが実現した。「魔法のように見えるかもしれませんが、これでうまく行くのだ」と彼女はいう。

この分野のほかの研究者は、もっと慎重である。ジョージア州立大学（アトランタ）の理論家 Mark Stockman は、この系では光の 1％しか通過していないといって、その効率の悪さに懸念を抱いている。これに対して Dionne は、直接検出するのに十分な量の光が通過していることを強調し、効率を高めることは可能だと考えているといっている。

そもそもこれが本物の負の屈折なのかという点に疑問をもっている研究者もいる。同じく可視光の負の屈折を実現しようとしているサルフォード大学（英国）の理論家 Allan Boardman とパデュー大学（インディアナ州ウエストラファイエット）の Vladimir Shalaev は、この実験は可視光ではなくプラズモンの負の屈折を示したにすぎないと主張している。「これは本物の負の屈折ではない」と、Boardman は話す。「まだまだ改良していかなければならない」。

けれども、サウザンプトン大学（英国）の Nikolay Zheludev は、「結果は同じなのだから、そんなことは問題にはならない」という。「実験に間違いがないなら、この報告は重要だ」と Zheludev はいう。「たしかにこれは負の屈折だ」というのは、カリフォルニア大学ロサンゼルス校の Eli Yablonovitch である。「私には、特に問題があるようには思えない」。

Pendry も、これが負の屈折であることを確信しているが、こんなに早く実現するとは思っていなかったとも告白している。「非常に興味深い。彼らの方法は、とてもすばらしいと思う」。

彼らが示したものが本物の負の屈折であるかどうかは別にして、これを役立てるためには、2 次元の系を 3 次元の装置にする必要がある。Atwater は、直立させた導波管をぎっしり並べることを計画している。「まだ実現はしていないが、少なくともこの研究により、それがもつ可能性が見えてくると考えている」。 ■

1. Parazzoli,C.G., Greegor,R.B., Li,K., Koltenbah,B.E.C. & Tanielian,M. *Phys. Rev. Lett.* **90**, 107401(2003).
2. Houck,A.A., Brock,J.B. & Chuang,I.L. *Phys. Rev. Lett.* **90**,137401(2003).
3. Schurig,D. *et al. Science* **314**, 977-980(2006).
4. Dolling,G., Wegener,M., Linden,S. & Hormann,C. *Optics Express* **14**, 1842-1849(2006).

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

早寝早起きの遺伝学

Too early to bed, too early to rise

早起きの原因が、遺伝学研究から明らかになった。

doi:10.1038/news070108-9/11 January 2007

Heidi Ledford

早起きは三文の徳といわれるが、体内時計があまりにも早く鳴り響くことに悩む人たちもいる。しかし、早起き変異マウスの研究により、体内時計の仕組みに対する見方が変わりそうだ。究極的には、睡眠障害の新たな治療法につながるかもしれない。

「さまざまな睡眠サイクルパターンがあることは、特に驚きではありません」と、カリフォルニア大学サンフランシスコ校の遺伝学者 Louis Ptácek は語る。「一般的に、目覚まし時計がなくても毎朝 6 時には起きてコーヒーをすすっている人から、用事でもないかぎり昼過ぎまで毛布にくるまっている人まで、大きな個人差があります」。

しかし体内の消灯令が、平均的な人々に比べてあまりにも早く、またはあまりにも遅く発令される人たちもいる。一般集団の 0.3 % ほどと Ptácek が推定する家族性睡眠相前進症候群の人々は通常、午前 4 時ごろには目を覚まし、午後 7 時ごろには床に就く。

「大半の人々が最も覚醒している時間帯は夕食時です」と Ptácek は語る。「ところが家族性睡眠相前進症候群の人々は、まさにこの時間帯に眠気がピークに達し、うとうとして顔をスープ皿につっこみかねないほどです」。

Ptácek たちは過去の研究で、この症候群の患者の一部には period 2 (*PER2*) とよばれる遺伝子に変異があり、その産物である PER2 タンパク質のレベル（濃度）がしばしば非常に低くなることを報告している。

そして研究者たちはこれまで、この関連遺伝子の変異が、PER2 タンパク質の分解を招いているものと考えていた。ところが、今回のマウスを使った研究から、変異遺伝子がそもそも、わずかな量のタンパク質しか作らないことが明らかとなったのだ。

「これは、考え方を 180 度変えるものです」と、ユタ大学（米国、ソルトレークシティー）の生化学者 David Virshup は語る。「これまでの学説も今回の新しい説も、それぞれ十分に筋が通っています。ただし、その方向性が正反対なのです」。

Cell 誌に報告された論文[1] の結果は、例えば、薬で体内時計を調節したいと考える者にとって大きな意味をもつはずだ。そうした治療法が可能となれば、重度の睡眠障害から単純な時差ぼけまで、さまざまな症状に用いられることになるだろう。

複雑な体内時計

体内時計の調節の仕組みの全体像も、今回の研究の結果、さらに複雑なものと考えられるようになった。研究チームは、*PER2* 遺伝子には、よく知られた誘導分子によって修飾を受けうる部位が 2 か所あることを見いだした。ちなみに、この誘導分子もまた別の遺伝子によって活性化されるものである。

2 つの部位のうち、ヒトの家族性睡眠相前進症候群に関与するのは 1 か所だけだと考えられている。通常は、この部位に誘導分子が結合することで、PER2 の発現が高まる。しかし、*PER2* 遺伝子に変異がある個体ではこの誘導が引き起こされず、PER2 のレベルは低下に転じる。そして、もう 1 つの部位では通常、誘導分子が逆の作用を引き起こしている。つまり、PER2 タンパク質の分解が促されるのだ。

もう寝る時間？　夕食時にはまぶたが重くなる人もいる。

FOG CITY PRODUCTIONS / PICTUREARTS / NEWSCOM

この第 2 の部位の変異が関与するヒトの疾患は、現時点では認められていない。しかし、おそらくは正常な体内時計の働きに何らかの役割を果たしていて、未知の調節機構が両者の相互作用を調整しているものと研究者たちは考えている。「陰と陽の関係といえます」と、スクリプス研究所（米国カリフォルニア州ラホーヤ）で体内時計を研究する Steve Kay は語る。「2 つの部位がバランスをとることで、体内時計が厳密に調節されているに違いありません」。

研究者たちは現在、将来的には睡眠障害の治療につながっていくことを目指して、体内時計の新たな調節要素を探している。■

1. Xu Y., *et al. Cell*, **128**. 59-70 (2007).

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

内部崩壊を起こす核廃棄物の貯蔵庫

Canned nuclear waste cooks its container

核廃棄物の貯蔵に使われる材料が、廃棄物から出る放射線によって受ける損傷は、これまで過小に考えられてきたことがわかった。

doi:10.1038/news070108-6/10 January 2007

Philip Ball

原子力発電所などから出る放射性廃棄物には、極めて長期間にわたって放射線を出し続けるものがある。こうした放射性廃棄物の漏れ出しを防ぎ、数千年も貯蔵することは、これまで専門家たちが考えていたよりもずっとむずかしいかもしれないことが、*Nature* 1 月 11 日号に掲載された研究から明らかになった。報告したのはケンブリッジ大学（英国）の Ian Farnan たちで、放射性廃棄物から出る放射線は、貯蔵材料の候補の 1 つに挙げられている物質を、考えられていたよりもずっと速く、わずか 1400 年で耐久性の低いガラス質（非晶質）に変えてしまう可能性があるという [1]。

使用済み燃料棒から抽出された放射性元素など、原子力発電所で生まれる危険な物質の処分計画は、現時点では国によって異なるのが実情だ。研究されている一般的な方法としては、硬い結晶質のセラミックス材料（一種の合成岩石）の中に廃棄物を封じ込め、さらにそれを鉄製の缶に入れて、地下に掘った穴に埋設するというものがある。

放射性物質の多くは長期間にわたって放射線を出し続けるため、封じ込めはとてつもない長期間にわたって万全でなければならない。プルトニウム 239 は原子力発電所で生まれる副産物の中でも最も危険な物質の 1 つで、その半減期は 2 万 4000 年だ。これは、最初にあったプルトニウム 239 のうち、2 万 4000 年経っても崩壊するのは半分だけだということを意味する。理想的には、この約 10 倍の長さ、25 万年間にわたって封じ込めを続けなければならない。

Farnan らは、寿命の長い放射性廃棄物を貯蔵するための材料候補の 1 つである、ジルコン（ケイ酸ジルコニウム）という材料を調べた。このセラミックス材料は、放射性の原子をしっかりと固定し、地下水に溶けるなどして環境中に漏れ出すのを防ぐとされている。

しかし問題は、放射性物質がセラミックスを損傷させてしまうことだ。プルトニウム 239 を含め、放射性物質の多くはアルファ線を出す。アルファ線はセラミックスの中をごく短い距離（せいぜい百分の数ミリメートル）しか進まないが、その過程で結晶を大きく破壊する。

高速で進むアルファ粒子は、その経路で数百個の原子にぶつかり、それらをボウリングの球のように散乱させる。しかも、アルファ粒子を放出した放射性の原子もまた、反跳により逆方向へと運動する。その運動距離はアルファ粒子の移動距離よりもさらに短いが、この放射性原子はとても重いため、セラミックス中の数千個の原子をもともとあった場所からはじき出す。

こうしてセラミックスの結晶構造はめちゃくちゃにされ、ガラス質に変わる。その結果、材料（ジルコン）は膨らみ、放射性原子の固定装置としての安全性は低下する。「このように放射線でひどく損傷を受けたジルコンの中には、損傷していないものに比べて耐水性が数百分の一になるものがあることがわかった」と Farnan は話す。となれば、もしも損傷したセラミックスが濡れたら、放射性物質が漏れ出してしまうだろう。

核磁気共鳴で計測

放射性廃棄物貯蔵セラミックスの放射線による損傷の見積もりはこれまで、主に計算とコンピューターシミュレーションで行われていた。しかし今回、Farnan らは損傷を実際に計測した。彼らは、臨床医学で使われる磁気共鳴画像法（MRI）と似た核磁気共鳴分光という技術を使い、プルトニウムを含む人工のジルコンと、通常は放射性のウランを含む天然の鉱物ジルコンの両方で、結晶とガラス質の相対量を測った。そして、放射性原子でアルファ崩壊が 1 回起きるたびに、ジルコン中の約 5000 個の原子がはじき出されるとの見積もりを出した。これは、これまでの予測よりも 2.5～5 倍の多さだ。

ミシガン大学（同州アナーバー）の放射性廃棄物処分の専門家、Rod Ewing は「私たちが考えていたよりも、損傷の度合いは大きいようだ」と話す。

ほかのジルコニウム材料を含め、ジルコンよりも耐久性が高い可能性のある材料もある。しかし Farnan の研究結果は、こうした材料の放射線に対する耐久性をとらえ切れていないということを示している。今回の結果を踏まえ、エンジニアたちは、廃棄物の埋設場所の地質よりも、放射性廃棄物を囲い込む材料のほうをより注意深く検討するようになるはずだと、Farnan は考えている。理想をいえば、アルファ崩壊によってはじき出された原子が結晶中の本来の位置にゆっくりと戻り、自然に修復するような材料があればいちばんだ。

Ewing は、「今回の研究で使われた技術はそうした代替材料を調べ、長期間耐えうる候補材料を見つけるのに使える可能性がある」と話している。 ■

1. Farnan I., *et al. Nature*, **445**. 190-193 (2007).

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

SPYING ON NATURE

自然を見守る

Nature Vol. 444(420-421)/23 November 2006

N. RAGER FULLER/NSF

生態学史上最大のプロジェクト、全米生態観測施設ネットワークが幕開けを迎えようとしている。準備を進める組織関係者たちは、一見不可能なこのプロジェクトをうまく軌道に乗せることができるだろうか。そして、米国全土の生態系を観察しようという構想の裏で、ばらばらな状態の現場を 1 つにまとめることができるだろうか。Michael Hopkin が取材報告する。

関係者はこのプロジェクトを「生態学のハッブル宇宙望遠鏡」とよぶ。天文学分野で最も名の知られたこの宇宙望遠鏡と同様に、全米生態観測施設ネットワーク（National Ecological Observatory Network ; NEON）は大がかりで、多額の資金を投入し、生態の「宇宙」の大部分を見ようとする計画だ。NEON は生態学史上において最大の研究事業であり、観察施設網を全米に張り巡らすことになるだろう。そして、米国全土の生態系の状態について、これまでで最も詳細な描像をもたらしてくれるだろう。

しかし、ハッブル宇宙望遠鏡の場合と同じく、NEON とその組織関係者たちも長く厳しい状況に直面してきた。彼らは、このプロジェクトがあまりにも多額の資金を要し、あまりに柔軟性がなく、あまりにお粗末な設計だとする長年の非難を振り払ってきたのだ。そして今、彼らが期待しているのは、ハッブル宇宙望遠鏡プロジェクトが何度か経験したように、事態が奇跡的に好転することである。つまり、生態学界の完全な支援を得て、プロジェクトがスケジュールどおりに発進することだ。

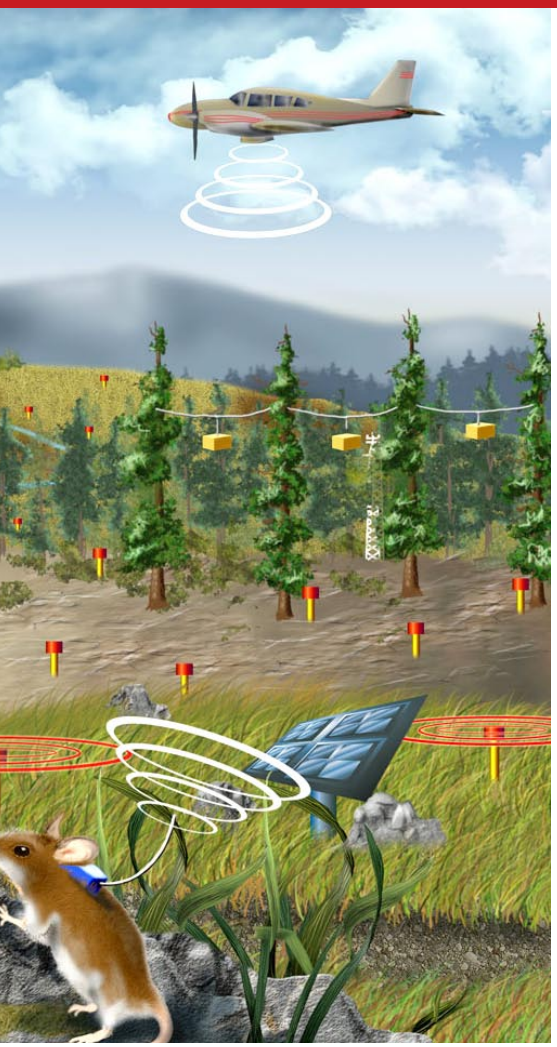
NEON の構築の財政的支援は、米議会の判断に委ねられている。全米科学財団（NSF）は 2007 年度予算の一部として、主要研究施設の建設用に 1200 万ドル（約 14 億 4000 万円）を要求しており、2011 年までの投入予定総額は 1 億ドル（約 120 億円）にのぼる。プロジェクトの稼働や維持などにかかるほかの経費は、この 2 倍の額を上回ると予想されている。

大いなる挑戦

一方、このプロジェクトのメンバーたちは、NSF の委員会に対してプロジェクトの最新の計画書を提示したところである。彼らの計画案は同委員会の賛同を得られるはずであり、組織チームはプロジェクトの予備設計の実現に向けて進む心づもりでいる。NSF の委員会は、過去にも望遠鏡や素粒子加速器といった巨大プロジェクトの審査を手がけている。

最新版の計画書によると、NEON は米国全土を主要なすべての気候型や生

©2007 NPG Nature Asia-Pacific



態系型を示す区域に分けて 20 の「ドメイン」とし、ドメインそれぞれの各所に観測拠点を常設しようとしている。それぞれの観測拠点には、高さ 10 m の観測塔など一連の施設を設けて、二酸化炭素流量を測定したり窒素酸化物を検出したり葉の濡れ具合を記録したりする予定である。同プロジェクトの目指すものは、いうなれば生態学の「大いなる挑戦」であり、自然による気候変動および人間活動による気候変動、土地利用、進入生物種の存在といったものに対して、生態系がどのように応答するかを見極めることである。

それは容易なことではないだろう。生態学史上、最も高額のプロジェクトとして、NEON は何年間にもわたって資金集めのために奮闘努力してきた。この問題は、現在まだ進行中の研究に全体の価格づけをするのがむずかしいことに一部起因している。「これは必ず億ドル単位の数字になる」と NEON の主席報道官である Dan Johnson はいう。「だが、費用の見積もりが非常にむずかしいので、もどかしさを感じる」。さらに悪いことに、初期のプロジェクト計画案は生態学界にほとんど受け入れられず、密室でプランを練っているとしてプロジェクト事務局が避難された。現在でも一部の生態学者たちは、このプロジェクトの構想が 10 年以上も前からあったにもかかわらず、まだ十分に固まっていないと懸念を示している。

このプロジェクトは 1990 年代半ばに、Jim MacMahon（NEON の現委員長）と Bruce Hayden（シャーロッツビルにあるバージニア大学の環境科学者）が最初に考えついたものだ。しかし、NSF がその公式プランに NEON を含めるようになったのは 2003 年以降である。NEON の関係者たちは当初、できるだけ標準化したシステムにするため、およそ 60 か所に同一ハードウエアを設置することを強く要望した。20 ドメインのそれぞれに 3 つの永続的な観測施設を置くことが提案された。1 つは農村部、1 つは都市部、残りの 1 つは両者の過渡的地域である。しかしこの計画案には、ある地域における森林火災のリスクといった、局所的な生態問題に臨機応変に取り組めるような可動式観測設備、つまり柔軟性を発揮できる余地はほとんどなかった。

NEON がこうした懸念を払拭するために最新計画案を作成するにあたって、スタンフォード大学（カリフォルニア州）の生態学者 Chris Field は作成チームの指導役として手を貸した。「もし一貫した批判が 1 つあったとすると、それは、初期の計画案が生態学者たちの研究心を十分にそそるものではなかった、ということだ」と彼は話す。

Field はまた、ハッブル宇宙望遠鏡を引き合いに出して、NEON が局所的な柔軟性を必要とする理由を説明してくれた。「大きな宇宙望遠鏡があれば、天空の異なる複数の領域に焦点を合わせたり、各種の観測設備を搭載させたりすることが確実にできるようになり、それによって観察の柔軟性を増すことができる」と彼はいう。それと同様に生態学者たちも、自分たちの設備を使って興味のある特定箇所のホットスポットをねらい打ちできるようになりたいと考えている。ここでいうホットスポットとは、例えば干ばつや、ハリケーンの「カトリーナ」襲来後のニューオーリンズでみられたような浸水などのことで、可動式の観測設備があれば、こうした事例の調査を臨機応変に行うことができる。

進行状況の報告

最新の NEON 計画案によって、多々ある心配や私利私欲は鎮まりつつあるようだ。文書に伴う公開書簡で MacMahon は、新計画案が「研究界の一部の人々から私が聞いた悲観的な意見を解消させるものであることを、たいへんうれしく思っている」と述べている。つい最近まで、研究界では不安や疑念の声がまだ強く表に上がっていたのである。2006 年 8 月という最近の段階になって、生態学者たちは少々荒っぽい「村の会合」のために会議室に満員状態で集まり、それが NEON を一歩前進させることとなった。出席者の 1 人はこういった。「この計画はまだ資金を呼び寄せようとしているのだろうか。今夜どれだけひどい気持ちで眠りにつくことになるか知りたいので、教えてほしいものだ！」しかし、最新の計画案が発表されて以降、大部分の研究者はこの新たな好機に大きくかかわる覚悟を強めたようである。

新しい計画案によれば、各ドメインには「コアサイト」を 1 つ置くものとする。その位置は 1 つの流域内とし、永続的な河川を採用するのが望ましい。各コアサイトには観測塔 1 基を設置する予定で、気体流量や水蒸気、日照、オゾン濃度、花粉量や細菌量、さらには気温や土壌温度、風速、風向、降水量、大気圧といったものを測定するために、塔を「完全装備」させる。各コアサイトは 20 ～ 30 km^2 の範囲で観測値を得ることになっており、それより広い区域にわたって温度や栄養分レベルを測定する

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

陸上センサーや水中センサーも点在させる予定である。

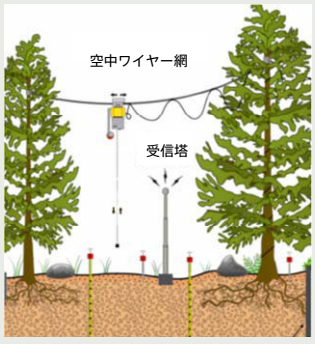
NEON は、こうしたコアサイトとは別に、特定の局所土壌や水中プロセスを観測するさまざまな可動式設備も計画案に盛り込んでいる。例えば、地球観測衛星や飛行機を利用して植生を上から監視することや、自然のままの土地に新しい道路や農地が入り込むことなどの問題に、研究者が取り組めるようにする「土地利用パッケージ」がある。

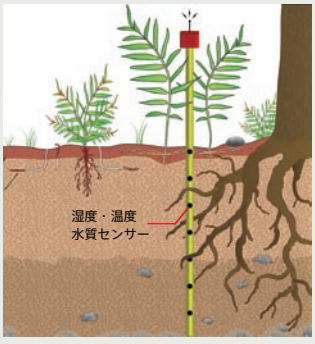
生態学者たちが計画案を理解したのは確実である。「私は、科学研究界というものは協力的で励ましてくれる存在だと考えている」と語るのは、テキサス A&M 大学（カレッジステーション）の生態学者 David Briske である。「しかし反面、これには先例がなく、手本がまったくないのだ。」

したがって研究界の一部の人々の間には、NEON に注ぐことになる努力の総量が研究界自身にとって大きすぎるのではないかという不満感がある。NEON 関係者の 1 人である Elizabeth Blood は、これらの心配の一部をなだめようとしている。「これは今まで一度も試みられていないことだ。つまり、この方法で生命科学を充実させようという試みはなかったのである」と彼女はいう。「私たちは科学の新たな道を作りつつある。ただし、これらの道をもってしても私たちは現在を垣間見ることしかできないのだが」。

NEON の新しい計画案には、予想だにしなかった問題に取り組むための柔軟性が備わっている、とプロジェクトチームのもう 1 人のメンバーで NSF の James Collins はいう。「プロジェクトは 10 年間、20 年間、30 年間にわたって行われるが、そのころには新しい研究が提案されているだろう」と彼はいう。「これから生まれてくる人々が NEON のために新しい才能を発揮してくれるだろう」。

ようやく多くの生態学者が NEON に乗り気になっている。おそらく最も明らかなことは、地域生態観測所コンソーシアム（COREO）の幹部たちが現在、NEON 委員会と平和的な関係にあるように見えることだ。COREO は、プロジェクトの基幹施設を使用する予定の生態学者たちの代表組織である。「以前は、計画案の柔軟性のなさや、COREO メンバーたちが意見をいう余地がほとんどないことに対して、驚きと失望の声があった。しかし現在、大多数のメンバーはこのたびの再々検討案に満足している」と、COREO の議長であるミシガン州立大学（イーストランシング）の Phil Robertson は話す。





Jason C. Fisher

陸上センサーアレイ測定

林冠微気候センサーアレイ（左）は、植物の生育などに影響を及ぼす大気および気象条件、栄養素の生物地球化学的循環、水循環を確定する。林冠に張り巡らしたワイヤーに自動測定装置を吊り下げた設備で、ワイヤーに沿って測定装置の場所を移動したりセンサーの高さを変えたりしてさまざまな測定を行う。土壌センサーアレイ（右）は、センサーを複数か所の地中に埋め込んだ設備で、栄養素の生物地球化学的循環や植物生育に関与する土壌の生物学的・化学的パラメーター群の特徴をとらえる。林冠微気候センサーアレイと土壌センサーアレイから発信された測定データ情報は、中央の受信塔でキャッチされる。

なかなか消えない懸念

現在ある懸念のほとんどは、このプロジェクトの野心的なスケジュールをめぐるものだ。スケジュールではシステムを 2013 年までに仕上げて稼働する予定になっている。NEON の広報活動チームは、このプロジェクトが予定どおりに進んでいると主張しており、Collins はこれが大仕事であると認めてはいるものの、なんとかなると考えている。「野心的ではあるが、研究界はこれまで何年も研究・開発にかかわってきたのだ」と彼はいう。「これらのアイデアは概念的には試験ずみである。我々は今まさに、これらのアイデアを編み込んで 1 つの作品を生み出そうとしているところなのだ。」

これらの大いなる挑戦課題は道標の 1 つとして役には立つが、これからやろうとしている研究の設計は最終的に生態学者たち自身の手に委ねられる。「ナットとボルトはまだ正しく結合していない」と Collins はいう。「しかし、参加する生態学者たちは各専門分野の一流の研究者たちであり、だからこそ彼らには提案書を書いてもらいたい」。

そのため、この NEON システムで答えが得られる課題がどんなものかについての議論はしばらくの間、宙に浮いたままになる模様である。NSF は現在、「情報提供依頼」のプロセスに入っており、生態学者たちに対して、自身が新しい設備を使って遂行できると考える専門分野を尋ねている。このプロセスは 2 ～ 3 か月では完了しないだろう。「この情報提供依頼の結果が出るまで、賭けはおあずけになる」と Robertson はいう。米国の生態学者たちがほっと安堵の息をつける日はまだしばらく訪れそうにない。 ■

Michael Hopkin はロンドンを拠点とする *Nature* のライター

1. Available online at: http://commentisfree.guardian.co.uk/sophie_petitzeman/2006/08/confessions_of_a_vegetarian_vi.html.
2. Pound, P. *et al. Br. Med. J.* **328**, 514–517 (2004).

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

© Ilka Zimmer

隠された行動の記録

イギリスの動物学者が、長年積み重ねた知見を生かし、動物の行動生態を詳細に追跡できる小型のデータ記録装置を開発した

ペンギンは海の中でどのように泳ぎ、えさを食べているのか ― 人目の届かない空間での野生動物たちの生態は、テクノロジーが進歩した現在でも未知の世界だ。その実態を少しでも把握しようと、世界の動物学者たちは小型の記録装置を 20 年以上も前から利用してきた。目的の動物に搭載し、古巣に戻ったところを捕まえては回収し、データを取り出して行動パターンを分析するのだ。

しかし、これまでの装置の多くは水生動物の水中を潜る深さを主目的としており、複雑な動物生態のモニタリングには不十分だった。それだけに、イギリスのウェールズ・スワンシー大学の動物学者 Rory Wilson が開発した最新鋭の記録装置は、行動研究の躍進を約束させるものだ。

「Daily Diary」と名づけられたこの装置は、何種類もの異なるデータを記録できるだけでなく、エネルギー消費量という最も重要な行動指標を正確に測定できる。搭載できる動物もペンギンからチーターまで多岐にわたる。この装置の開発で、Wilson は 2006 年に第 12 回ロレックス賞を受賞した。

「エネルギー消費量を知ることは、動物を保護する観点からとても重要です。もし、動物が懸命に働かなければならない状況なら、それは生存と繁殖の可能性を狭めているかもしれません」と Wilson はいう。動物は、糖を燃やしてエネルギーにする際に酸素を取り込む。酸素摂取量から生命の維持活動に使われるエネルギー量を調べ、その動物が自分を取り巻く環境でどのような状態にいるかを推測することができる、と Wilson は語る。

Wilson が記録装置の開発を始めたのは 27 年前、アフリカペンギンの行動生態を調査するために南アフリカのケープタウン大学の博士課程に在籍していたときのことだ。第 1 号は泳ぐ速度を記録するシンプルなものだったが、しだいに改良を重ね、これまでに 24 個の記録装置を生み出した。これらは、ペンギンの推測位置や、食べる量、水中を羽ばたく強さを計算するなど、さまざまな生物学的な疑問を解き明かすのに使われた[1,2,3]。

© Rolex Awards/Marc Latzel

これらの装置の集大成が 2006 年に完成した Daily Diary だ。マッチ箱のようなこの装置は、Wilson が過去に開発した多くの機能を 1 つの機器にまとめたもので、13 のデータ記録チャンネルや、解像度の向上など多くの改良点をもつ。特に、今回初めて搭載した 3 軸（前後・左右・上下）加速度計が今まで不可能だった野生動物のエネルギー消費量の正確な計測を秒単位で可能にした。そのうち、Wilson はペンギン以外の動物にも応用できるのではないかと考えるようになった。今後 1 年間で、アナグマやビーバー、アルマジロ、マンタ、チーターなど、多種多様な動物に装着して実験を試みようとしている。

これまでの最大の難題は研究資金の確保だった、と Wilson はいう。仮説を証明するための研究に比べ、機器の開発には研究費がつきにくい。Wilson は、ロレックス賞（賞金 10 万ドル：約 1200 万円）も「獲得できるとは思っていなかった」という。「今後は、各国を回って Daily Diary の普及に努めたり、記録された貴重な情報を誰にでも簡単に解析できるソフトウェアを作ろうと考えています」と Wilson は抱負を語る。

1. Wilson, R. P. *Marine Ecology Progress Series* **249,** 305–310 (2003).
2. Ropert-Coudert, Y. & Wilson, R. P. *Frontiers in Ecology and the Environment* **3(8),** 437–444 (2005).
3. Wilson, R. P., White, C. R. *et al. Journal of Animal Ecology* **75,** 1081–1090 (2006).

ロレックス賞は、大胆な発想と明確なビジョンをもち、革新的なプロジェクトを遂行する個人に資金援助を行うために 1976 年に創設された賞です。次回の応募締め切りは 2007 年 5 月 31 日です。詳しくはウェブサイト http://www.rolexawards.com をご覧いただくか、ロレックス賞日本インフォメーションデスク (電話：03-3216-5671) までお問い合わせください。

ADVERTISEMENT FEATURE

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

Life's a game

社会をオンライン実験する

Nature Vol.445(18-20)/4 January 2007

SONY ONLINE ENTERTAINMENT

社会を操作するといえば、これまでは政治家と神の仕事だった。しかし、コンピューターネットワーク上の仮想社会が人々を引きつけている今、社会科学者や経済学者がこの仮想社会を利用し、政治家や神のまねをすることは可能なのだろうか。Jim Giles が報告する。

国家を運営するには、うまく機能している民主主義よりも、容赦のない独裁政権のほうがいいのだろうか。人々は土地をすべて没収されたほうが、幸福でいられるのだろうか。経済は、年率100％でインフレが進んだほうが健全なのだろうか。

こうした問いに対する答えは自明だと、私たちは思っている。北朝鮮の金正日政権は冷酷だ。ジンバブエは、ハイパーインフレで経済が破たん状態にある。歴史は、土地を盗み取れば幸せになることはなく、戦争が起きるだけであることを教えている。こうした例をもってすれば、先の問いのどれもがはっきりいって馬鹿げていると、私たちは自信をもっていうだろう。

しかし、実験科学者はこの種の知識をどう思うのだろうか。物理学者の多くは、実験を行い、条件を変え、結果を記録することによって疑問に答えようとする。彼らは、あらゆる変数の役割が解明されるまで、それを繰り返す。彼らにとって事例研究とは、このプロセスの最初に行うことであり、最後に行うものではない。また、物理法則が導き出すものは、答えを得るのにどの方法が最も有効であるかということにとどまらない。物理学者たちは、未来を予測することができる、複雑なモデルを作り出すことだってあるのだ。

とはいえ、社会科学と物理学のこうした研究方法の違いは、社会科学者たちの能力が劣っていることを表わすものではない。社会は実験を認めないのだ。例えば、政府の経済学者たちが、何が起こるのかを調べるためだけに何度も金融政策を変更したりなどすれば、社会からひどい評価を受けるだろう。社会科学者たちは歴史から学ぶ。調査も行う。また、ひと握りの被験者を対象に、理想化された条件での小規模実験も行う。しかし、社会科学者は、自身の研究しているシステムを操作することができない。

そうしたなかで現れたのが、インディアナ大学ブルーミントン校の経済学者である Edward Castronova という人物だ。時には小説を書き、マルチプレーヤーオンラインゲームの熟練者でもある Castronova の考えていることは、

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

極めて野心的だ。実験を行うことを前提に、社会を作ろうというのである。彼のいう社会は、コンピューターネットワークの中にだけ存在する。現実社会の人々が、キャラクター（アバター）を通して、その生活の一部を仮想社会（バーチャルな世界）で過ごすのだ。しかし、Castronova はそこで、単に現実生活のシミュレーションをしようとしているわけではない。研究者たちは、この仮想世界のルールを操作し、民主主義から金融政策まで、あらゆることを研究できるようにしたいと考えている。このような研究ツールは、社会科学における「超大型加速器」となるはずだと Castronova は話す。彼らは、「コンピューター社会科学」の時代を開こうとしているのである。

もう 1 つの人生

この話がありえないことのように聞こえるなら、「アゼロス」を訪れてみればいい。たくさんの仲間がそこにいる。アゼロスはオンラインロールプレイングゲーム、「ワールド・オブ・ウォークラフト」の中に存在する世界のことで、700 万人を超える人がこの仮想空間で繰り広げられるゲームで遊んでいる。斧をふるいながら進む指輪物語風のファンタジーゲームを運営するのは、米国カリフォルニア州アーバインにあるブリザードエンターテインメント社だ。アゼロスの社会には、現実の社会と同じ点が多い。プレーヤーは商品を作ってそれを取り引きする。プレーヤーは目標を達成するために協力もするし、個人的な敵討ちもする。非協力的で失礼な者もいれば、少数ながら利他的な者もいる。

現在、そうしたサイバースペース（コンピューターネットワーク上の空間）のあちこちで経済の隆盛が起きていて、そこでは少なくとも表面的には、現実の世界を忠実に再現しているかのようにみえる。この仮想社会における資本主義の典型といえば、1 日におよそ 1 万人が訪れるというオンラインワールド、「セカンドライフ」だろう。この世界をデザインしたサンフランシスコのリンデンラボ社は、ファンタジー風の冒険物語をやめ、ユーザーにオンライン世界での生活に必要な道具と土地を与えた。セカンドライフは 2003 年にスタートした。大学は学生を教えるための場所をこの世界の中に間借りし、大通りに店を構える小売業者らは、アバターが髪をカットしてもらったり、仮想のローラースケート靴を買ったりすることができる小売店を設けた。セカンドライフで通用する通貨は今、専用の交換サイトでドルに交換可能だ。ちなみに、この交換レートは変動相場制である。ある女性ユーザーは 2006 年 11 月、セカンドライフで不動産ビジネスを行った結果、現実世界で実際の大金を得たことを明らかにした。

こうした仮想社会の中では、多くのプレーヤーが巨大なマウスのような奇妙なアバターを選ぶ傾向がある。しかし、一対一のやりとりのレベルでみると、現実社会と似た様相が現れるという。スタンフォード大学（カリフォルニア州）の Nick Yee は、*Cyber Psychology & Behavior* 誌の掲載論文の中で、現実社会における人づき合いの暗黙の了解ごとの一部は、やりとりのすべてが文字ベースであるにもかかわらず、セカンドライフ内にもち込まれているらしいことを示した。例えば、男性のアバターは女性よりも距離をとって会話をし、視線をあまり合わせない傾向がある。

サイバー社会がこうして現実社会のルールの一部を踏襲するのだとすれば、社会科学者たちにとって、サイバー社会を使ってできることが出てくるのだろうか。多くの社会科学者は、生物学者がペトリ皿の中の細胞を扱うのと同じように、サイバー社会を扱いたいと考えている。金融政策をいじり、民主主義のルールを書き直し、プレーヤーがともに働くのを強いたり、あるいは逆にプレーヤーが離れるように試みたり、強制したりする。こうした干渉のそれぞれを体系的に行い、ほかのすべての変数を一定に保ち、結果を厳密に監視する。オンラインゲームが莫大な数の人を引き寄せてくれるおかげで、社会科学者たちは社会そのものを操作できるだろう。超大型加速器のような大規模実験こそまだ行われていないが、試験段階の実験によって、こうしたアイデアが有効であることがすでに示されている。

世界をクローニングする

最初に行われたのは、一見したところ自明な疑問の研究だった。あるビジネスはなぜ、特定の場所で行われているのか。その答えもやはり、自明だろう。そこでそうしたビジネスが行われていると私たちがみなしているから、そのビジネスはそこにあるのだ。例えば、俳優や映画プロデューサーにとって、映画はハリウッドやムンバイで作られているということで意見が一致しているのは、合理的な話である。だからこそ、映画ビジネスに加わりたい者はどこへ向かえばいいのかがわかる。映画スターがそこへ行く理由はただ 1 つ。そこが映画ビジネスの行われている場所だと、あらゆる関係者が認識しているからである。これを社会科学者は「協調効果」とよぶ。

しかし、これは 1 つの仮説にすぎない。例えば、ハリウッドやムンバイには何か特別なものがあり、だから映画はそこで作られるのであって、協調効果

VIVENDI/BLIZZARD ENTERTAINMENT

ワールド・オブ・ウォークラフトのようなマルチプレーヤーゲームは、数百万人のオンラインプレーヤーを惹きつけている。

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

はそれほど重要ではないと主張することもできる。そしてこれまで、そのどちらの意見が正しいかをはっきりさせることはむずかしかった。経済学者は、社会がどうしてそのような合意に達するのかを説明できなかった。そもそも、人々が互いに協力する行動は、日々の生活でもよくみられることだ。しかし、どうしてそうなるのかといった深遠な疑問は、まだ解明されていない。

こうしたはっきりしない状況が続く理由の一部は、社会科学者たちにとって、現実生活での協調効果を研究する方法が制限されていることにある。なによりもまず、歴史はやり直すことができない。例えば、映画界の大立者を最初にカリフォルニア州に引き寄せた要因を調べることができない以上、競合する仮説のどれが正しいかを知るのは困難だ。

しかし今、私たちは歴史をやり直すことができるようになった。一部の仮想世界が、混雑解消のために定期的に複製されるからである。ファンタジーゲーム「エバークエスト」の中の世界、「ノーラス」がその一例だ。エバークエストは1999年にスタートし、トロール（巨人や小人）や魔法が登場する世界はとても人気を集めた。そこで、ゲームを運営するソニー・オンラインエンターテインメント社は、複数のサーバーにノーラスの複製を作った。現在では26基のサーバーが動いている。そして、ソニーが新たな世界を作るたびに、新しい社会がほぼ正確に同一の初期条件から発展し始めるのである。

この「世界のクローニング」のおかげで、Castronovaは初めて、コンピューター社会科学を実践する機会を得た。彼は、エバークエストのプレーヤーに対する調査をもとに、サーバーごとにそれぞれ1つの地域だけが市場として定着したことを示した（E. Castronova *Games and Culture* **1**, 163-186; 2006）。重要なのは、山岳地帯や都市部といった地域はどのサーバーの世界でも同じ位置に設定されていたのに、市場が形成される地域はサーバーごとに違ったことだった。ということは、必ずしも市場の形成にふさわしい最良の場所があるということではないらしいことがわかる。いくつかの偶然が市場のできるきっかけを生み出し、協調効果が、市場をその場所に固定する。Castronovaは論文の脚注の中で「人類史上初めて、明確なマクロ社会現象が実験的に確かめられた。一抹の不安もなしに、私はそう主張できる」と書いた。

Castronovaにとってこの結果は、仮想世界を使ってどんな研究ができるかを指し示すものとなった。しかし、ほかの社会科学者たちは懐疑的な態度を示す。ネイチャーが、協調効果に関して引用されることの多い複数の著者に取材したところ、彼らはCastronovaの研究方法に興味を示したが、誰もその時点で彼の論文を読んでいなかった。そして研究者たちは、Castronovaの論文を読んだ後で、彼の研究方法にみられるさまざまな欠点を挙げた。

例えば、Castronovaの論文の大げさな主張には異議があるという声が聞かれた。レスター大学（英国）のゲーム理論家 Andrew Colmanは「Castronovaは『不安』を感じてしかるべきだ」という。Colmanの研究室では協調効果を実験的に調べており、Colmanたち以外の研究も合わせて、協調効果の重要性についてはCastronovaの研究以前にすでに指摘されていたと話す。また、Colmanの研究は80人を超える学生を対象に行われたが、これはCastronovaの調査に応じた各サーバーのプレーヤー数とほぼ同じ数だ。ほかにも、Castronovaが研究した世界は本当に独立したものといえるのかを疑う研究者もいる。プレーヤーがゲーム以外の場で話し合うことも可能なはずだからだ。

Castronovaは、協調効果が実際に存在することを示す実験がすでになされていることを認めている。しかし、「私の研究ではわずか数人に調査するだけで市場の場所を特定することができた一方、協調効果そのものは数十万人のやりとりの結果として生じたものだ。規模と複雑さの点で、そのほかの研究とは劇的にちがう」と彼はいう。例えば、政府が行うキャンペーン活動が協調効果にどう影響するかに興味をよせる研究者もいるだろう。確かにこれは、現実社会で実験できる範囲を超えた問題だ。

しかし、この研究方法に対する最大の批判は、仮想世界を使ったあらゆる実験が直面するはずの課題にある。イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校の社会科学者 Dmitri Williamsは「最大の難問は、現実世界に一般化できるかという問題だ」と指摘する。彼は、Castronovaと並んで、仮想世界を現実社会の研究に使うというアイデアを発展させてきたとされる研究者だ。

Williamsは、2005年夏にワールド・オブ・ウォークラフトで起こった伝染病を引き合いに、この問題点について説明する。当初、研究者たちは、病気のまん延は現実世界の疫学のモデルになると提案した。しかしすぐに、一部のプレーヤーがほかのプレーヤーに故意に感染させていることがわかった。現実世界と異なり、そうした行為を行っても、プレーヤーはほとんど罰を受けないからだった。さらにプレーヤーたちは、仮想世界では現実の世界よりも死の危険を冒すことがずっと多い。「仮想世界と現実世界では、リスクの大きさがまったく異なる。研究結果の一般化は、極めて注意深く行わなければならない」とWilliamsは話す。

しかし、Williamsは、コミュニティがどのように形成されるかについての理論を試すため、仮想世界を利用したいと

VIVENDI/BLIZZARD ENT; C. MEYER/INDIANA UNIV.

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

考えている。そして、仮想世界に取り組む多くの研究者と同様、仮想世界での実験データは、従来の社会科学研究のデータに取って代わるものではなく、補足するものだと感じていると話す。

Castronova もこの意見に同意する。「迷路の中のマウスの観察で、人間の脳の働きのすべてがわかるわけではない。しかし、それは研究の 1 つの方法にはなる」。今のところ、Castronova らが研究できる唯一の「マウス」は、エバークエストのようなゲームで遊ぶ人たちだ。ゲームデザイナーたちはこれまで、サイバー社会を研究したいという研究者たちを歓迎することが多かったが、こうした協力関係が今後も長く続くとは限らない。オンラインゲームを運営する企業が、社会科学者を喜ばせるためだけに、利益を生む商品にいつまでも干渉させてくれるわけではないだろう。そのため、Castronova が自らの研究目標を実現するためには、彼自身が自由に手を加えられる世界を作る必要がある。

そうした世界、あるいは少なくともその原型は、まもなくできあがろうとしている。Castronova らは、「ジョン・D・アンド・キャサリン・T・マッカーサー財団」（イリノイ州シカゴ）から 25 万ドル（約 3000 万円）の 1 年間の研究助成金を得て、シェークスピアをテーマにした世界、「アーデン」を制作中だ。15 世紀の英国サマセット州の土地の上で、鍛冶屋や酒屋の主や吟遊詩人が歩き回るというこのゲームのテスト版は、この 3 月にも動き始める予定となっている。その結果次第では、アーデンの完全機能版を作るのに必要な研究資金も集まるかもしれない。彼は、最終的には 500 人ほどが毎月 100 時間プレイするようなものにしたいと考えている。これだけの規模があれば、きちんと機能した経済社会が成立する。なによりプレーヤーたちは、自身の楽しみのためにこの世界に参加する。

Castronova が関心をもっている経済実験を行うためには、インフレなど、現実世界にみられる現象を再現できるような経済が「アーデン」で発展する必要がある。異なるバージョンのアーデンに異なる通貨の条件を与えることにより、需要と供給などの経済理論を試すことができるはずだ。理論からすると、特定商品の価格が 2 つのバージョンのアーデンで異なれば、商品価格が低い世界での需要のほうが高まるはずだ。これは一例にすぎない。研究者は、研究の意味がなくなる恐れがあるので、どのような実験を計画しているか、最後までその詳細を明らかにはしないだろう。

アーデンは、原理的には社会科学者たちが関心を寄せるいかなるアイデアの検証にも使える。ペンシルベニア大学（同州フィラデルフィア）の法学者 Dan Hunter は、法律が個人の行動にどのように影響するのかを調べる研究者もいるだろうと話す。なかには、民主主義における新しい政治参加の形や、マーケティング理論の仮説を検証したいと考える研究者もいるだろう。

課題を越えて

しかし、熱意があってもうまくいくとはかぎらない。たとえ Castronova の研究チームが長期の研究資金を確保したとしても、おそらくまずはすぐにも、ゲームデザインの問題に直面するものと考えられる。ソニーは日本円で億単位の予算を投じ、経験豊富なゲームデザイナーのチームを買収している。それに比べて Castronova が抱えているのは、彼の大学に在籍する約 30 人の、専従ではあるが能力面では見劣りのする人員だ。さらには、研究のために制御しやすいような世界をデザインする必要性と、人々が繰り返し訪れるほどゲームをおもしろくする必要性とのバランスも求められる。これまで、研究目的で大規模なオンラインゲームを作った大学チームはなく、成功の保証はない。

Castronova は、オンライン世界の研究で時おり起こる、予期しない倫理的問題にも対処しなければならないだろう。米国の社会科学者のグループは以前、オンラインゲーマーのプレイ習慣に関するある研究のために、ゲーム会社から匿名のデータを集めたことがある。しかし、自らも日々そのゲームをしていた研究者たちは、どのアバターが現実社会の誰のことなのか、そうした情報があれば簡単にわかってしまうことに気がついた。

仮想世界での買い物は、現実生活での買い物の習慣と似ているのだろうか。

LINDEN RESEARCH

ゲームが多大な人気を集めたときには、別の問題が現れるかもしれない。多くのゲームでは本当のお金がかかっており、プレーヤーたちはサイバー世界の武器を盗まれたとき、実際に警察に通報することがある。ラトガーズ法科大学院（ニュージャージー州キャムデン）の Greg Lastowka は、「プレーヤーはオンライン世界で起きた犯罪に対処するために現実世界で法的行動をとることが多くなり、その仮想世界における新しい法体系を試せる機会は、逆に少なくなるかもしれない」と指摘する。

コンピューター社会科学はまだ、確かな研究方法であることが立証されていない。今のところ社会科学者の多くは、サイバー空間は奇想天外なアバターが神話的な冒険を繰り広げるものだとして、こうした研究の価値を認めていない。Castronova もそれはわかっている。そんな彼らが間違っていることを証明するためには、確固たる結果が必要だ。しかし、Castronova には使命を帯びた者にふさわしく、そうした結果を得ることができるという自信がある。「コンピューター社会科学できちんとした結果が得られることを私たちが証明し始めれば、彼らも私たちを信じてくれるようになるだろう」。■

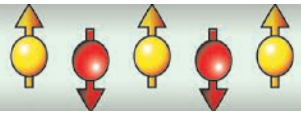
Jim Giles はロンドンにいる *Nature* のレポーター。

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

Up the magnetic pressure

磁気圧を上げる

Shaun Fisher and George Pickett



超流動ヘリウムの磁気噴水効果を観察することは、実験として美しいだけでなく、ほかの多くの不思議な磁気現象を研究するための手段にもなる。

Nature Vol.444(832-833)/14 December 2006

ヘリウムの軽い同位体である ^{3}He は、絶対零度からわずか数ミリKという温度で液体の状態にあり、超流動体として奇妙な性質を示し始める[1]。興味深いことに、こうした超流動状態では、質量だけでなく磁気も摩擦なく移動することができる。*Nature* 12月14日号909ページ[2]で、山口らは超流動 ^{3}He のこの2つの性質の間の相互作用を利用して、圧力をかけることで磁気を誘導し、磁気をかけることで圧力を誘導する装置を開発したと報告している。

液体が摩擦なしに流れる超流動は、巨視的な数の粒子が系の最低のエネルギー状態（基底状態）を占めるときに起こる。ひとたびこうした「凝縮」が起こると、粒子は1つの量子力学的実体として集合的に振る舞うようになり、自由に流れ始める。凝縮のしかたは、厳密には、粒子の量子力学的な種類によって決まってくる。粒子は、そのスピン角運動量（単に「スピン」という）に応じて、ボース粒子とフェルミ粒子の2つに分類することができる。ボース粒子は作用量子（プランク定数hをある数で割ったものであり、$\hbar$ と表記する）の整数倍のスピンをもち、フェルミ粒子は作用量子の半奇数倍のスピンをもつ。原子を構成する電子や陽子や中性子は、いずれもフェルミ粒子である。

最も単純な超流動は、ボース粒子がボース-アインシュタイン凝縮という過程を経ることにより形成される。一般的な例は、^{4}He が約2K以下の温度で示す超流動である[3]。^{4}He 原子は、半奇数スピンをもつ4個の核子（2個の陽子と2個の中性子）と、その周りをまわる半奇数スピンをもつ2個の電子からできている。これらのスピンをたし合わせると原子全体ではスピンがゼロになるため、^{4}He 原子はボース粒子ということになる。超低温希薄気体では、より理想的なボース-アインシュタイン凝縮が起こる[4]。

^{4}He とは対照的に、奇数個の核子（2個の陽子と1個の中性子）からなる ^{3}He は、原子全体ではスピンが半奇数になるため、フェルミ粒子ということになる。ボース粒子とは異なり、フェルミ粒子はパウリの排他律という法則に従っており、複数の粒子が同一の量子状態をとることができない。だとすると、フェルミ粒子が凝縮して超流動を起こすことはないように思われる。けれどもフェルミ粒子は、低温で対になって整数スピンのボース粒子を形成し、それが凝縮を起こす可能性がある。このような対凝縮が固体中の伝導電子で起きたものが超伝導である。最近になって、ある種の超低温原子気体でも同様の凝縮が起こることが実証された[5]。

液体 ^{3}He 中では、数ミリK以下の温度で起こる凝縮が、超流動体に奇妙な振舞いをさせている。凝縮対のスピンはゼロではなく、特定の方向を向く軌道角運動量もゼロではない。この第2の性質が、液体に方向性を与える。つまり、角運動量の向きに対して水平な方向への擾乱と垂直な方向への擾乱に対して、液体が異なる応答をするのである。こうした向きは液体中の領域ごとに異なっていることがあり、運動量の「織目」を生じさせる。凝縮対は質量だけでなくスピンと軌道角運動量ももっているため、ある条件においては、^{3}He の超流動性とは、この3つの物性のすべてについて摩擦なく流れることであるといってよい[6]。スピンは粒子の磁気的応答と密接に関係しているため、超流動 ^{3}He では磁化も摩擦なしに移動することになる。

山口ら[2]は、^{3}He のこうした性質を利用して、ほかの超流動体でみられる奇妙な熱-機械現象を、磁気について初めて実証することに成功した。この現象は一般には噴水効果として知られており、絶対零度よりも高い温度で一部の原子が熱的に励起して高いエネルギー準位に移る

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

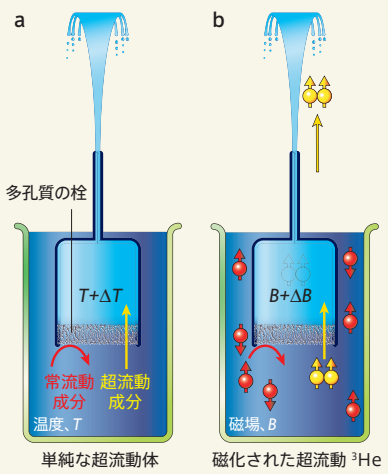


図1　磁気噴水効果
a. 単純なボース粒子の超流動体（^{4}He など）では、凝縮した超流動成分と常流動成分が混ざり合っている。液体の流れを制限する多孔質の栓（スーパーリーク）を挟んで温度勾配 ΔT をかけると、超流動成分は温度差をなくすために栓を通過して移動していくが、粘度がある常流動成分はここでせき止められてしまう。その結果、超流動成分の「噴水」ができる。
b. ^{3}He では、超流動成分は原子対（黄色）を形成している。これは、^{3}He 原子がフェルミ粒子であるため、単独で凝縮して超流動状態になることができないからである。山口ら[2]が調べた ^{3}He の A_1 相では、超流動対が強く磁化され、そのスピンが強磁場に沿って整列しているのに対して、対をなしていない原子（赤）は磁化されていない。このとき、磁化されたスピンの対が移動して、磁場勾配 ΔB が作り出す磁化の差をなくそうとすることで、磁気噴水効果を生じさせる。

ときに起こる。これらの原子は凝縮体の一部ではないため、粘度がゼロではない、古典的な常流動成分となる（基本的に、粘度は液体が生み出す摩擦抵抗力の尺度になる）。

常流動成分と超流動成分が混ざり合ったこのような液体に圧力勾配をかけて、細い管や多孔質の栓から押し出すことを考えてみよう。粘度がゼロの超流動成分はこの部分も自由に通過できるのに対して、常流動成分は粘度があるため通過することができない。この栓はスーパーリークとよばれ、常流動成分を除去するフィルターの役割を果たしている。凝縮した超流動成分は熱エネルギーをもたないため、栓を通過してきた部分の液体の温度は低くなる。これに対して、栓を通過していない部分の液体では、熱的に励起した常流動成分の比率が高くなるため、温度も高くなる。圧力勾配をかけることで栓をはさんだ液体に温度勾配を生じさせるこのような機械–熱効果は、超流動 ^{4}He ではよく知られている。噴水効果はこれとは逆の現象であり、スーパーリークを挟んで温度勾配をかけたときに起こる。この温度差をなくすために超流動成分が移動して流れが生じ、この圧力差を上に向けるときに噴水ができるのである[3]（図 1a）。

山口らが今回観察した磁気噴水効果には、強磁場のもとでのみ存在する超流動 ^{3}He の A_1 相とよばれる状態が関係している。A_1 相では、超流動成分の凝縮原子対のすべてが磁場に沿ってスピンを整列させるが、対をなしていない原子ではそのようなことは起こらない。スーパーリークは強く磁化された超流動成分だけを通過させることにより、スピンフィルターとして機能する。スーパーリークをはさんだ圧力差によって生じる機械的な流れは、ここを通過した液体をさらに強く磁化させる。逆に、磁場勾配により生じた磁化の差は、スーパーリークを挟んだ圧力差を生じさせることになる。これは、磁化の差をなくそうとして超流動体が移動するからである（図 1b）。

こうした実験[2]は、非常に強い磁場と非常に低い温度の中での高感度の測定を必要とする。磁気噴水効果を観察した著者らはさらに、同じ装置を利用して磁化が緩和する過程について調べた。磁化の緩和は、噴水の圧力の低下として反映され、半透膜の変形を通じて測定することができる。興味深いことに、著者らが得た知見は、事前の予想に反していた。すなわち、液体ヘリウムの超流動 A_1 相は完全には磁化されておらず、凝縮対の一部は磁場の向きとは逆の方向を向いているようなのである。だとすると、A_1 相の性質について広く受け入れられている単純化された概念は、改めなければならないかもしれない。

磁気噴水効果は、機械的スピンフィルターの美しい実演になるだけでなく、強磁場における磁化の緩和などの広範な磁気現象を調べるための便利な道具にもなりうるだろう。将来的には、この系や類似の電気系に基づく応用技術にも大いに期待することができる。一部の風変わりな超伝導体は超流動 ^{3}He に似た構造をもっているため、これらも磁気噴水効果を示す可能性がある。このような材料を組み込んだ素子を作製することができれば、外部から与えられる磁場などの大きさに応じて摩擦なしにスピンを操作する素子なども考えることができる。このような性質は、急速に拡大しつつあるスピン電子工学の分野に、各種の新しい素子や微小機械をもたらすだろう。 ■

Shaun Fisher and George Pickett、ランカスター大学（英）

1. Volovik, G. E. *Exotic Properties of Superfluid ^{3}He* (World Scientifc, Singapore, 1992).
2. Yamaguchi, A., Kobayashi, S., Ishimoto, H. & Kojima, H. *Nature* **444**, 909-912(2006).
3. Guénault, A. M. *Basic Superfluids* (Taylor & Francis, London, 2003).
4. Anderson, M. H., Ensher, J. R., Matthews, M. R., Wieman, C. E. & Cornell, *E. A. Science* **269**, 198-201(1995).
5. Zwierlein, M. W., Schunck, C. H., Schirotzek, A. & Ketterle, W. *Nature* **442**, 54-58(2006).
6. Fisher, S.N. & Suramlishvili, N. J. *Low Temp. Phys.* **141**, 111-141(2005).

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

フォトニック結晶を使って、光速を 5 万分の 1 に抑えることに世界で初めて成功

納富雅也・田辺孝純

光を制御できるフォトニック結晶共振器を用いて、NTT 物性科学基礎研究所の研究グループが光を 1 ナノ秒間閉じこめ、世界で初めて光の速度を 5 万分の 1 に抑えることに成功。超高速・大容量の情報処理技術につながるこの成果は、今年 1 月に創刊された *Nature Photonics* 1 月号で発表された [1]。チームリーダーの納富雅也特別研究員と測定を担当した田辺孝純研究員に、研究の目的や経緯、今後の展望などについて話を聞いた。

光による情報の伝送は実現、次は光で処理する時代へ

Nature Digest — なぜ光を蓄積したり、速度を遅らせたりする研究を行うのでしょうか？

納富 — 通信の研究はもともと電気で行われていて、導線を使って電気信号を送り、LSI のような電気信号回路で情報を処理します。それが光ファイバーの登場により、光信号による超高速の伝送がほぼ完全に実現しました。しかし、情報の処理は電気のままというのが現状のため、それを光化するのが高度情報化社会を推進するうえでの大きなブレイクスルーとなります。電気処理の場合は、電圧を変えたりすることによって電気信号をためたり、伝播速度を変えたりしますが、光でもそれに対応することが求められます。光の場合は、超高速で伝わり、干渉性が低いため、いくつもの異なる波長の信号を同時に送れるという長所がある一方、閉じ込めて蓄積することや伝播速度を変えることが非常にむずかしいのです。私たちは、その問題を解決するのにフォトニック結晶を用いました。

ND — フォトニック結晶とはどのようなものなのでしょう？

納富 — 光の波長（数百～数千 nm）と同程度の周期的な屈折率分布をもった人工結晶のことです。最大の特徴は、光に対するバンド構造＊1 を有していて、それによって光の閉じ込めの強さや伝播速度が決まることです。特にフォトニックバンドギャップ（PBG）とよばれる波長領域では、光の絶縁体として機能するため、光を非常に強く閉じ込めることができます。自然界には、例えばダイヤモンドやガラスなど電気の絶縁体は存在しますが、光の絶縁体は存在していません。PBG を利用して、フォトニック結晶中に光導波路＊2 や光共振器＊3 の構造を作り出すことができ、低消費電力で高速な情報処理チップの実現につながると考えられています。

ND — フォトニック結晶の研究は、いつごろ始まったのですか？

納富 — 1979 年に、当時東京大学工学部にいた大高一雄先生（現千葉大学教授）が光を閉じ込める構造についての基本概念を提唱しました [2] が、エポックメーキングとなったのは、1987 年にベル研究所（現 UCLA）のヤブロノビッチ博士とトロント大学のジョン教授がそれぞれに発表した 2 つの論文です [3,4]。その内容を受けて数値計算などの理論研究が始まり、1990 年代の終わりごろからは半導体の微細加工技術でフォトニック結晶を作製する試みが世界中で一斉に始まりました。私たちのグループが研究を始めたのもそのころで、1998 年のことです。

高性能の光共振器と高精度の測定系が成功のかぎ

ND — では、その開発の経緯についてお聞かせください。

納富 — フォトニック結晶にはいろいろなタイプがありますが、私たちは電子線露光とドライエッチングによって、シリコンの薄膜に直径 230nm 程度の穴を周期的に配列した、比較的単純な構造のものを作製しました（図 1）。この結晶には、およそ 1200 ～ 1600nm の波長領域に大きな PBG があることを 2000 年に確認しました。続いて中心 1 列の穴を抜いて光の通り道を開けた導波路を作製したところ、光の伝播速度を 100 分

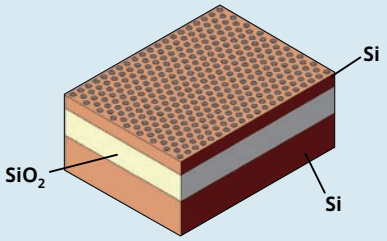


図 1：NTT が作製したシリコンフォトニック結晶の概観。シリコン基板上に直径 230 nm 程度の穴が三角格子状に配列されている（実験に用いた試料では下部の SiO_2 は除去）。

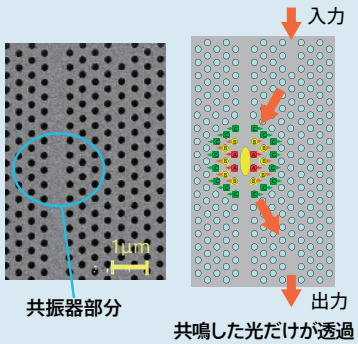


図 2：共振器の電子顕微鏡画像（左）と模式図（右）。光絶縁体として働く周期構造部分と直線状に穴を取り除いた線状欠損部分から成る。穴のない領域はフォトニックバンドギャップが存在しないため光を通し、それに隣接する穴（赤、黄、緑）の位置をわずかに（それぞれ 9、6、3nm）外側にずらすことにより、強い閉じ込め効果を実現している。電子顕微鏡画像では、穴の微小なシフトは判別不能。

NTT 物性科学基礎研究所

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

納富雅也（のうとみ・まさや）写真右／ NTT 物性科学基礎研究所量子光物性研究部フォトニックナノ構造研究グループ特別研究員。工学博士。専門は応用物理学。1964 年、熊本県生まれ。1986 年、東京大学工学部卒業、1988 年、同大学大学院工学研究科修士課程修了。同年、NTT に入社、光エレクトロニクス研究所配属。1997 年、東京大学より工学博士号取得。2001 年より、現職。2002 年より東京工業大学客員助教授を兼務。

田辺孝純（たなべ・たかすみ）写真左／ NTT 物性科学基礎研究所量子光物性研究部フォトニックナノ構造研究グループ研究員。工学博士。専門は電子工学。1976 年、宮城県生まれ。2000 年、慶應義塾大学理工学部卒業。2004 年、同大学大学院工学研究科博士課程修了。同年、NTT 入社、現在に至る。今回の論文では、時間分解の測定を担当。

NTT 物性科学基礎研究所量子光物性研究部は、光通信技術や光情報処理技術に大きなブレイクスルーをもたらす革新的な基盤技術の提案、並びに量子光学・光物性分野における学術的貢献を目指して研究を進めている。光材料から光デバイス、システムに至るまで幅広い研究分野を、フォトニックナノ構造研究グループを含め 3 つのグループが有機的に結合して研究を行っている。

の 1 にすることに世界で初めて成功しました[5]。その後、導波路の特性を向上させることに注力し、2005 年には 2dB/cm という導波路損失の世界最低記録を作るところまでいきました。しかし、導波路だけでは回線の役目しか果たしません。情報の処理には共振器が適しているので、導波路と共振器を組み合わせていけば、複雑な機能が実現できるだろうと考えました。

ND — それが今回の成果となった共振器ですね。どのような構造ですか？

納富 — 導波路の光の通り道の一部をわずかに広げることで、光を強く閉じ込められるようにしたものです（図 2）。穴のシフトは、内側から 9nm、6nm、3nm と段階的にずらしています。このデザインが功を奏して、スペクトルの共鳴幅の測定値が 1.3 pm という微小共振器としては世界最高性能の値を示すことができました。この共鳴幅から決まる閉じ込めの強さを表す指標の Q 値は、120 万という高い値になります。

ND — 閉じ込めや遅延の時間は、どのように測定されたのですか？

田辺 — 時間分解の測定は主に 2 つを行いました。1 つは、共振器にどれだけ光が閉じ込められるかという光子寿命の測定です。これは共振器にまず連続的な光を入れて満タンにした後、光の入力を突然切ります。そうすると、たまっていた光が漏れてくるので、その速度から蓄積時間を導き出すというやり方です。今回、1.01 ナノ秒間蓄積されたことがわかりましたが、これはそれまでの最長記録を 1 桁以上更新したことになります。もう 1 つは、共振器にどれくらいの時間光がとどまって出てくるのかという光遅延時間の直接測定です。光のパルスを共振器に入れて出てくるまでの時間を比較導波路と比べて、その差から通過時間を測定し、共振器内での光の速度を導き出すというやり方です。今回測定された速度は 5800m/s で、光の速度（約 30 万 km/s）の 5 万分の 1 以下に減速されていることを確認しました。これまで 400 ～ 500 分の 1 だった減速率を大幅に更新したことになります。

共振器を情報処理以外の分野でも活用できる可能性が

ND — 今後の方向性をお聞かせください。

納富 — 今回開発した共振器を使って、光スイッチを作製したり、デバイスの動作エネルギーをさらに下げる工夫をしたいですね。いくつも連結させて複雑な構造とし、遅延時間をさらに伸ばすことも考えています。また情報処理からは外れるのですが、私は共振器を使って起きる物理現象に興味をもっています。例えば、共振器を水平に半分に切断した構造を考えて、できた真ん中の空間に光パルスをため込むと、光が共振器を上下に押します。私たちの共振器だと、その押す力によってなされる力学的仕事が従来の方法よりも非常に大きく、光から力学エネルギーへの変換効率が 1 兆倍も大きいことが計算でわかってきました[6]。通常、光がする力学的仕事は非常に小さく、現在、細胞を拾うような光ピンセット＊4 などに応用されてはいるものの、効率が悪く、かなり大きなレーザーのパワーを使ってようやく拾い上げるといった状況です。エネルギーの変換効率が格段によくなることで、物理的に面白いものができる可能性があります。そんな点も探っていきたいと考えています。

ND — 最後に、企業で研究するメリットとは何でしょう？

納富 — 私たちのいる厚木の研究所には、500 名程度の研究者がハードウエアに関するさまざまな研究をしています。自分と同じテーマで研究している人はいませんが、例えば今回のような光速の変調技術が必要であるとすれば、それに関連する専門家が身近にたくさんいて、日常的に議論ができます。これが大学だと、同じ研究室の大学院生を相手にするか、たまに学会に行って話をする程度で、わりと閉じてしまっている場合が多いのです。いつでもプロの研究者と議論ができて、必要があれば社内の他チームとの提携も含めて広く研究ができる。私はそういった研究環境が気に入っています。

ND — ありがとうございました。 ■

聞き手は北原逸美（Nature Digest のエディター）。

＊1　バンド構造
結晶などの固体の中で、波として振舞う粒子（電子や光子）が取ることのできるエネルギーと波数との関係を示した曲線のこと。

＊2　光導波路
電気回路中を電子が流れるように、基板上に形成した回路中を光が伝播できるようにした構造で、いわば、光の配線板。

＊3　光共振器
光子をある空間に長時間閉じこめる性質をもつデバイス構造。より高い光子密度を得るためには共振器のサイズを小さくする必要がある。

＊4光ピンセット
光が物質の表面で反射・屈折する際に発生する光放射圧という力を利用し、レーザー光を用いて、細胞や DNA を非接触で捕捉・操作する技術。

1. Tanabe, T. *et al*, *Nature Photonics*, **1**, 49 - 52 (2007)
2. Ohtaka, K. *et al*, *Phys. Rev.* **B19**, 10, 5057-5067 (1979)
3. Yablonovitch, E., *Phys. Rev. Lett.* **58**, 2059 (1987)
4. John, S., *Phys. Rev. Lett.* **58**, 2486 (1987)
5. Notomi, M. *et al*, *Phys. Rev. Lett.* **87**, 253902 (2001)
6. Notomi, M. *et al*, *Phys. Rev. Lett.* **97**, 023903 (2006)

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

アポトーシスを鍵に、関節リウマチの発症メカニズムを探る

長田重一

大阪大学大学院医学系研究科の長田重一教授らは、遺伝子操作したマウスから、関節リウマチが免疫細胞の 1 つであるマクロファージの機能不全で起こることを明らかにした。根本的な治療法がない関節リウマチの治療薬の開発に 1 つの扉を開く、この研究成果は、2006 年の Nature10 月 26 日号で発表された[1]。長田教授に研究の経緯や意義、今後の展望などについて話を聞いた。

一連のアポトーシス研究から、新しいモデルマウスが誕生

Nature Digest — 今回、関節リウマチの原因に迫る発見をされましたが、どのような研究だったのでしょうか？

長田 — 関節リウマチ*1 は日本人の約 0.6%、欧米では約 1% に発症する比較的多い病気ですが、その原因はよくわかっていません。自己免疫疾患だろうといわれていますが、ウイルスやバクテリアが原因という説もあり、はっきりしていません。それが今回、関節リウマチとよく似た症状の出るマウスを作ることに成功し、そのマウスの遺伝子の研究から、DNA の分解異常が関係しているという強い証拠が出てきました。

ND — そのマウスの作製や遺伝子の分析は、どのような経緯でなされたのでしょうか？

長田 — このマウスは、私たちがテーマとしているアポトーシス*2 の研究から出てきたものです。アポトーシスは「細胞の自殺」「細胞の自然死」などとよばれますが、細胞が死んだ後は、免疫細胞の 1 つであるマクロファージ（貪食細胞）が死んだ細胞を飲み込んで処理をするのが一般的なルートです。その際、マクロファージに存在する DNA 分解酵素（DNase II）が大きな役割を果たしています。

ND — 赤血球の脱核*3 に関係していることを明らかにされた酵素ですね。

長田 — そうです。DNase II 遺伝子をノックアウトしたマウスを作製したところ、このマウスでは赤血球が少なくなり、そのまま胎内で死亡しました。胎児の造血組織である肝臓には未分解の DNA を抱え込んだマクロファージが大量に存在し、赤血球の分化過程で脱核した核はマクロファージによって取り込まれた後、DNase II によって分解されることがわかりました[2]。さらに調べると、このノックアウトマウスにおいては、DNA を蓄積したマクロファージが I 型 IFN（インターフェロン）を発現していることを見いだしました[3]。このことから、I 型 IFN の毒性によって胎児が死滅したと推測されました。

そこで、DNase II と I 型 IFN 受容体の両者をノックアウトしたマウスを作製しました。すると、予想通り、こんどは正常に生まれてきました。ところが、このダブルノックアウトマウスでは、生後 2 ～ 3 か月目からヒトの関節リウマチとよく似た関節炎を起こしたのです（図 1）。

ND — しばらく飼育をしてみて、初めて異常がわかったのですね。

長田 — はい。次に、DNase II 遺伝子を薬剤で誘導的に欠損さ

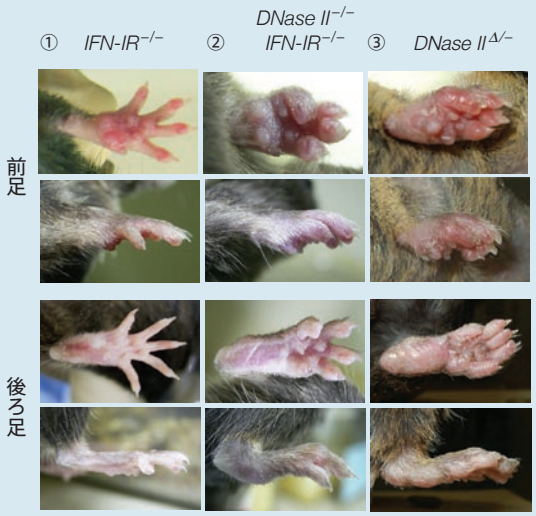


図 1：左から、コントロール群としての I 型 IFN 受容体ノックアウトマウス（1）、DNase II と I 型 IFN 受容体のダブルノックアウトマウス（2）、生後に DNase II をノックアウトするコンディショナルノックアウトマウス（3）の前足（上段）と後ろ足（下段）の写真。2 と 3 では、いずれも関節リウマチ様の関節炎が起きており、腫れている。

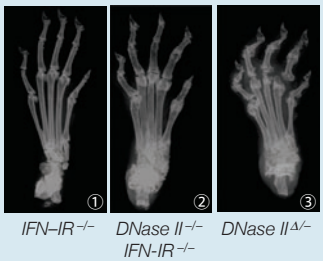


図 2：図 1 と同じ各マウスの後ろ足の X 線写真。2 と 3 では、骨の変形や骨折がみられるが、特に 3 は変形が激しい。

大阪大学大学院医学系研究科　長田重一

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

長田重一（ながた・しげかず）／大阪大学大学院医学系研究科遺伝学教室および生命機能研究科時空生物学教室教授。理学博士。1949 年、石川県生まれ。1972 年、東京大学理学部卒業、1977 年、東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。その後、チューリッヒ大学分子生物学研究所研究員、東京大学医科学研究所助手、大阪バイオサイエンス研究所分子生物学研究部部長を経て、1997 年より現職。専門は生化学・分子生物学で、アポトーシス研究の第一人者。2001 年、文化功労者に選ばれた。

チューリッヒ大学時代、ヒトインターフェロンα遺伝子のクローニングに世界で初めて成功。その後、東京大学では顆粒球コロニー刺激因子（G－CSF）遺伝子をクローニングし、白血球を増加させる G-CSF の薬剤化につなげた。さらに、大阪バイオサイエンス研究所ではアポトーシスを誘導する Fas リガンドを同定し、Fas リガンドやその受容体 Fas の異常がリンパ球の腫大化、がん化、自己免疫疾患をもたらすことを示した。ついで大阪大学で、アポトーシスではまず死ぬ細胞内で CAD （caspase-activated DNase) が DNA を分解し、死細胞がマクロファージに貪食された後、リソソームにある DNase II がさらに DNA を分解すること、またこの貪食のメカニズムが赤血球の脱核化にも働くことを解明した。ホームページは http://www.med.osaka-u.ac.jp/pub/genetic/

せることができるようにしたコンディショナルノックアウトマウスを樹立しました。生後 4 週後、このマウスに poly IC（2 本鎖 RNA）を投与すると、約 2 週間後に DNase II 遺伝子が消失します。このマウスでも、マクロファージ中にアポトーシスを起こした細胞や赤血球の核 DNA が残ります。そして、このマクロファージは腫瘍壊死因子（TNF）を発現していることがわかりました。TNF は関節リウマチの炎症を起こす物質の 1 つです。実際、このマウスも薬剤処理後 2～3 か月目から、指先、手首や足首、肘・膝の順番にリウマチ様の関節炎を起こし、生後 8 か月目には関節炎は全身に及びました（図 1）。X 線検査では関節の変形や骨折もあり、軟骨が破壊されているようすもみられました（図 2）。この 2 種類のマウスは、両方ともほぼ同じ時間経過で関節リウマチ様の関節炎を起こしており、DNase II 遺伝子の欠損が関節リウマチと関係していることが示唆されます。

ND — これらのマウスは症状以外にも、ヒトの関節リウマチとの類似点はあったのでしょうか？

長田 — 関節炎を起こしたマウスでは、ヒトの関節リウマチの診断に使われる血液中のリウマチ因子やマトリックスメタロプロテアーゼ（細胞表面構造の代謝に関与する物質で、関節の破壊の有無をみるマーカー）の濃度が高くなり、さらに関節部では炎症反応を示す TNF、インターロイキン 6 やインターロイキン 1 βというサイトカインの遺伝子が発現していました。また、ヒトの関節リウマチの治療薬である抗 TNF 抗体には関節炎の予防、治療効果がありました。すなわち、まだ関節炎を発症していない時期に、抗 TNF 抗体をこれらのノックアウトマウスに投与すると関節炎になりませんでした。また、関節炎を発症してから抗 TNF 抗体を投与すると、関節の腫れが減り、また関節での TNF や IL-6 などのサイトカイン遺伝子の発現量も減少しました。

ヒトの関節リウマチにも同じメカニズムがあるか検証したい

ND — 今後はどのようなことを研究されるのでしょうか？

長田 — 今回の研究では、アポトーシス細胞や赤血球核の DNA が分解されずにマクロファージに残るとマクロファージが活性化され、そこから分泌される TNF が関節炎を引き起こすことが明らかになりました。今までも関節リウマチのモデルマウスはあったのですが、関節リウマチが自然免疫の活性化で起こる可能性を示唆するモデルマウスは、これが初めてといえます。このメカニズムと同じことがヒトの関節リウマチでも起こっているかどうかを調べなければなりません。今後、臨床医とともに研究できればと思っています。そのうえで、このマウスをリウマチのよい薬の開発ツールとして使ってもらえればと考えています。

ND — これまでもアポトーシスの研究から、赤血球脱核の仕組みだけでなく、白内障や腎炎の発症のメカニズムも解明されています。先生の研究室からこのようなインパクトのある研究成果が出る理由は何でしょうか？

長田 — もちろん、すべての研究がうまく行くわけはありません。例えば、前述の DNase II 遺伝子のノックアウトマウスが胎児のまま死んでしまったときには、実験が進まず、途方に暮れました。このように説明できない、理解できないことが起こったときにこそ、なぜかと疑問をもつことが大切です。生化学を研究してきて、*in vivo* で起こっていることは、*in vivo* にもどして実証できるはずだという信念があり、生化学に立ち戻って考え直すのです。そして、日常の地道な研究を続けて、1 ミリでも 2 ミリでも進むことで、新しい発見が生まれると感じています。また、ほかの研究分野の専門家と話すこともいい刺激になります。わからないことがあったとき、すぐに聞ける友人のいることが研究にとても役立っています。

ND — ありがとうございました。 ■

聞き手は、小島あゆみ（サイエンスライター）。

＊1　関節リウマチ
関節の滑膜（関節のふくろを作るものの 1 つ）が炎症を起こし、手足の指、膝などの関節がこわばり、痛みや変形を伴う。心臓、肺、血管、皮膚などにも病変が及ぶことがある。根本的な治療法がなく、対症療法が行われている。国内の患者数は推定 70 万人にのぼるといわれている。かつては「慢性関節リウマチ」とよばれていたが、最近「関節リウマチ」に変更された。

＊2　アポトーシス
細胞の自然死。細胞の自殺ともよばれる。がん細胞の除去、発育過程での個体の形成などに欠かせない、個体の恒常性に保つためのシステム。実際は、ある細胞が機能的には死ぬほうがよい場合に、その細胞自体が T 細胞やマクロファージのような免疫細胞に殺してくれるように依頼するシグナルを送っている場合が多い。

＊3　赤血球の脱核
血液中で酸素を運ぶ役割をする赤血球は、血球中で唯一核をもたない。骨髄の造血幹細胞由来の赤血球前駆細胞の最終分化過程で、細胞膜に包まれた核が網状赤血球と分離し、マクロファージにより貪食される。長田教授らの研究は、この貪食過程にはアポトーシス細胞の貪食と同等のメカニズムが作用していることを示唆している。

1. Kawane K. *et al, Nature* **443**, 998-1002 (2006)
2. Yoshida H. *et al, Nature* **437**, 754-758, (2005)
3. Yoshida H. *et al, Nature Immunol.* **6(1)**: 49-56 (2005)

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

泥つきのままか、はたまたきれいに洗うべきか。ごぼうや大根の話ではなく、実はこれ、化石の話なのです。これまで古生物学では、化石は泥を落として、きれいに洗って保存することが当たり前とされてきました。しかしこれでは、古遺伝学の研究で有用な、古い時代の DNA は洗い流されてしまいます。

それでは、いったいどのようにして化石を保存処理するのが望ましいのでしょうか。ニュース記事に出てくる研究者が、それぞれどのような意見をもっているのかを整理しながら、読んでみましょう。

News

語数：630 words　分野：古生物学、古遺伝学

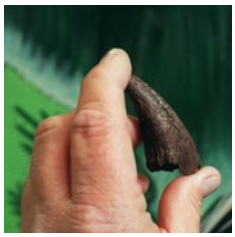
Published online: 8 January 2007 | doi:10.1038/news070108-2

Don't wash those fossils!

Kerri Smith

http://www.nature.com/news/2007/070108/full/070108-2.html

Standard museum practice can wash away DNA.



JEFFERY WASHINGTON / MCT / NEWSCOM

1. Washing, brushing and varnishing fossils — all standard conservation treatments used by many fossil hunters and museum curators alike — vastly reduces the chances of recovering ancient DNA.

2. Instead, excavators should be handling at least some of their bounty with gloves, and freezing samples as they are found, dirt and all, concludes a paper in the *Proceedings of the National Academy of Sciences* today.

3. Although many palaeontologists know anecdotally that this is the best way to up the odds of extracting good DNA, Eva-Maria Geigl of the Jacques Monod Institute in Paris, France, and her colleagues have now shown just how important conservation practices can be. This information, they say, needs to be hammered home among the people who are actually out in the field digging up bones.

4. Geigl and her colleagues looked at 3,200-year-old fossil bones belonging to a single individual of an extinct cattle species, called an aurochs. The fossils were dug up at a site in France at two different times — either in 1947, and stored in a museum collection, or in 2004, and conserved in sterile conditions at –20 °C.

5. The team's attempts to extract DNA from the 1947 bones all failed. The newly excavated fossils, however, all yielded DNA.

6. Because the bones had been buried for the same amount of time, and in the same conditions, the conservation method had to be to blame says Geigl. "As much DNA was degraded in these 57 years as in the 3,200 years before," she says.

Wash in, wash out

7. Because many palaeontologists base their work on the shape of fossils alone, their methods of conservation are not designed to preserve DNA, Geigl explains.

8. The biggest problem is how they are cleaned. Fossils are often washed together on-site in a large bath, which can allow water — and contaminants in the form of contemporary DNA — to permeate into the porous bones. "Not only is the authentic DNA getting washed out, but contamination is getting washed in," says Geigl.

9. Most ancient DNA specialists know this already, says Hendrik Poinar, an evolutionary geneticist at McMaster University in Ontario, Canada. But that doesn't mean that best practice has become widespread among those who actually find the fossils.

10. Getting hold of fossils that have been preserved with their DNA in mind relies on close relationships between lab-based geneticists and the excavators, says palaeogeneticist Svante Pääbo of the Max Planck Institute for Evolutionary Anthropology in Leipzig, Germany. And that only occurs in exceptional cases, he says.

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

11. Pääbo's team, which has been sequencing *Neanderthal DNA*, continually faces these problems. "When you want to study ancient human and Neanderthal remains, there's a big issue of contamination with contemporary human DNA," he says.

12. This doesn't mean that all museum specimens are fatally flawed, notes Pääbo. The Neanderthal fossils that were recently sequenced in his own lab, for example, had been part of a museum collection treated in the traditional way. But Pääbo is keen to see samples of fossils from every major find preserved in line with Geigl's recommendations — just in case.

Warm and wet

13. Geigl herself believes that, with cooperation between bench and field researchers, preserving fossils properly could open up avenues of discovery that have long been assumed closed.

14. Much human cultural development took place in temperate regions. DNA does not survive well in warm environments in the first place, and can vanish when fossils are washed and treated. For this reason, Geigl says, most ancient DNA studies have been done on permafrost samples, such as the woolly mammoth, or on remains sheltered from the elements in cold caves — including cave bear and Neanderthal fossils.

15. Better conservation methods, and a focus on fresh fossils, could boost DNA extraction from more delicate specimens, says Geigl. And that could shed more light on the story of human evolution.

Words and phrases

リード **Standard museum practice :**「博物館での標準的なやり方」
イギリスでは、museum は「博物館」のことで、美術品のみが展示されている施設は museum とはいわない。practice は「慣例、慣行」のこと。

1. **conservation treatments :**「保存処理」
これに関連して 3. の **conservation practices** は「保存処理のやり方」あるいは「保存処理の方法」のことで、6. の **conservation method** も「保存処理の方法」のこと。

1. **museum curators :**「博物館学芸員」

2. **excavators :**「化石発掘者」
本来は「穴を掘る人」のことだが、ここでは fossil hunter のいい換えとして用いられている。

2. **bounty :** もともとは人や物の「美徳、長所、価値」といった意味だったが、「気前のよさ、恵み深さ」といった意味に転じ、ついで「恵み」自体を意味するようになり、最後には「報奨金、賞金」となった。この記事で「賞金」は「化石」を指している。bounty hunter（賞金稼ぎ）という言葉があるが、この記事では fossil hunter という表現が用いられている点に注意。

2. **... and all :**「そしてその他もろもろ」

3. **anecdotally :**「逸話的には」「厳密な解析や科学的解析が行われておらず、単に観察結果や徴候がもとになっている」

3. **up the odds :**「可能性を高める」
ここでの up は動詞で、「上げる」こと。odds は「可能性、確率」のこと。

3. **extracting :**「抽出する」
分離して取り出すこと。

3. **hammered home :**「（人に対してある事柄を）十分に認識、理解、銘記させる」

4. **cattle :**「畜牛、ウシ（集合名詞）」

4. **sterile conditions :**「無菌状態」

5. **yielded :**「もたらした」

6. **degraded :**「分解された」

8. **contemporary DNA :**「現代の DNA」

8. **permeate into :**「（＜気孔や小穴を通って＞物質中に）浸透する」

8. **porous :**「多孔質」
小穴（pore）がたくさんある状態のこと。

8. **authentic DNA :**「本物の DNA」

11. **sequencing :**「塩基配列を解読すること」

12. **flawed :**「欠陥や不具合がある」

12. **just in case :**「念のため」「万一の場合に備えて」

13. **bench and field researchers :**「実験系研究者と野外研究者」
bench researcher は研究室内で実験などの研究を行う者。bench は実験ベンチのこと。field researcher は実地調査や野外研究を行う者のこと。

Science key words

3. **palaeontologists :**「古生物学者」
palaeontology（古生物学）は、地質時代に生存していた生物を研究する学問のこと。

4. **aurochs :**「オーロックス、原牛」
偶蹄目ウシ科（*Bos primigenius*）。ヨーロッパ系統の家畜種の先祖にあたる野生のウシ。体長が約 3 メートル、体重も 1 トン近くある非常に大きなウシで、大きな角をもつその姿は 1 万 5000 年前の洞窟画にも残っている。乱獲・狩猟の対象になり、1627 年には絶滅したとされている。

8. **contamination :**「コンタミネーション（コンタミ）、実験汚染」
一般的には「汚染」と訳されるが、科学分野ではカタカナ語のまま用いられることが多い。周りの環境と実験環境とを分けているときに、一方の物質が、本来入ってはならないもう一方の中に異物として混入してしまうこと。ここでは古遺伝学の研究において、化石の中に現代の DNA が異物として入ってしまうことを指している。同じ段落の **contaminants** は、汚染物質のこと。

9. **evolutionary geneticist :**「進化遺伝学者」
進化遺伝学とは、ある生物が環境に応じて適応している状態を、遺伝学的変異の発生機構を明らかにすることによって解明しようとする分野。

14. **permafrost :**「永久凍土層」
連続した 2 年以上の間、温度が 0℃以下になっている土壌や岩盤のこと。シベリアやアラスカ、南極大陸など、地球上の陸地の約 15% の面積に広がっている。日本では、富士山や北アルプスなどの山岳地域にみられる。地球温暖化によって永久凍土が溶けて、閉じ込められていたメタンガスなどが放出され、地球温暖化にさらに拍車をかけることが懸念されている。

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

News 参考訳

Published online: 8 January 2007; | doi:10.1038/news070108-2

その化石を洗わないで！

Kerri Smith

http://www.nature.com/news/2007/070108/full/070108-2.html

博物館で通常行われている化石の洗浄作業で、DNA が洗い流されてしまうことがある。

GREGORIO TORRES / DIGITAL PRESS PHOTOS / NEWSCOM

1. 化石の洗浄やブラシがけ、コーティングはいずれも、多くの化石発掘者や博物館学芸員が皆一様に行う標準的な保存処理法であるが、これが古代 DNA 回収の可能性を大きく低下させている。

2. 本日（2007 年 1 月 8 日）*Proceedings of the National Academy of Sciences* に掲載された論文では、むしろ化石発掘者は、発掘した化石の少なくとも一部に対しては手袋をはめて取り扱い、化石標本を発見したときのままの状態で（泥などもそのままにして）冷凍保存すべきだとする結論が示されている。

3. これこそが良好な状態の DNA を抽出する可能性を高める最善策であることは、数多くの古生物学者が逸話的に知っているが、今回の研究で、ジャック・モノー研究所（フランス、パリ）の Eva-Maria Geigl たちは、化石の保存処理がどれほど重要なものとなりうるかを明らかにした。この情報は、野外の現場で実際に化石発掘に携わる人々にもれなく知って理解してもらう必要がある、と Geigl たちはいう。

4. Geigl たちは、今から 3200 年前の、オーロックスという絶滅したウシ種 1 頭分の化石骨を調べた。これらの骨は、フランスの同じ場所で異なる時期に計 2 回に分けて発掘されたもので、一度目の標本は 1947 年に発掘されて博物館の収蔵品として保管され、二度目の標本は 2004 年に発掘されて −20℃の無菌状態で保管されていた。

5. 研究チームは、1947 年発掘の化石骨から DNA を抽出しようとしたが、ことごとく失敗に終わった。ところが、2004 年発掘の化石骨からはいずれも DNA が抽出できた。

6. これらの骨は、同じ期間、同じ状態で地中に埋もれていたので、保存処理の方法に原因があるのは間違いない、と Geigl は話す。そして、「この（発掘時期の差にあたる）57 年間に分解された DNA の量は、発掘まで埋もれていた 3200 年間で分解された DNA 量と同じくらいだった」という。

洗浄による浸透と流出

7. 多くの古生物学者は化石の形状だけに基づいて研究するので、彼らが行う化石の保存処理方法は DNA を保存することを想定していないのだ、と Geigl は説明する。

8. 最大の問題は、化石の洗浄方法だ。多くの場合、化石は発掘現場で大型水槽にひとまとめに入れて洗浄される。このため、洗浄用の水や現代の DNA といった汚染物質が多孔質の骨に浸透する。「これによって本物の（古代）DNA が洗い流されてしまうだけでなく、汚染物質が入り込んでしまう」と Geigl はいう。

9. 古代 DNA の専門家の多くは、このことを既に知っている、とマクマスター大学（カナダ、オンタリオ）の進化遺伝学者である Hendrik Poinar はいう。しかしだからといって、実際に化石を発掘する人々の間に最善の処理法に関する情報が行きわたっているわけではない。

10. 古代 DNA の保存に留意して発掘・保存された化石を確保するには、実験系の遺伝学研究者と化石発掘者が密に連携する必要がある、とマックス・プランク進化人類学研究所（ドイツ、ライプチヒ）の Svante Pääbo は語る。しかし、そうした連携は例外的にしかみられないのだという。

11. Pääbo の研究チームは、*Neanderthal DNA* の配列解読を続けており、この問題に絶えず直面している。「古人類やネアンデルタール人の遺骸化石を研究しようとすると、現代のヒト DNA による汚染という大きな問題がどうしても生じてくる」のだと彼はいう。

12. だからといって、博物館に収蔵されている化石標本すべてが DNA 抽出にまったく使えないわけではない、と Pääbo は指摘する。例えば、彼の研究室で最近 DNA 配列を解読したネアンデルタール人の化石は、従来の方法で保存処理された博物館収蔵標本だった。ただし Pääbo も、主要発掘品の化石標本を、念のため Geigl の提言に従って保存することを強く望んでいる。

温暖と湿潤

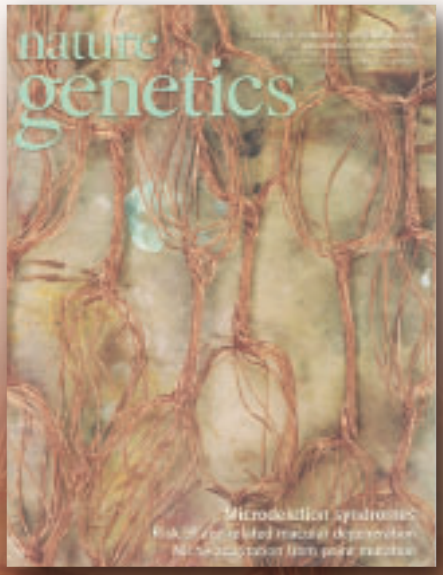
13. 実験系研究者と野外研究者が協力し合って化石を適切に保存すれば、これまで不可能と考えられていた発見への道が開けるかもしれない、と Geigl 自身は考えている。

14. 人類の文化は、温帯地方で大いに発達した。もともと DNA は温暖な環境では保存されず、また、化石を洗浄処理することで失われてしまうことがある。そのため、これまでの古代 DNA 研究のほとんどは、永久凍土層から発掘されたケナガマンモスなどの化石標本や、低温の洞穴で風雨から守られていたホラアナグマやネアンデルタール人の遺骸化石に関するものだった、と Geigl は話す。

15. 化石の保存方法を改善し、新鮮な化石を重視することで、より繊細な化石標本からの DNA 抽出が進むかもしれない、と Geigl はいう。そしてそれが、ヒトの進化過程の解明を進めることになるかもしれないのだ。

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

すべての生命科学者は、ある程度は遺伝学者でもあります。
それは、遺伝子工学とゲノムデータの蓄積が生物学の全側面を充実させてきたことによります。
遺伝学者かどうかにかかわらず、遺伝子研究をする際には、
最新情報を知っておく必要があるのです。



料金表

	個人	学生
1年	42,000円	28,870円
2年	68,250円	46,900円
口座引落（月々）	3,700円	2,600円

nature genetics は、

現代遺伝学の科学的側面全体をカバーし、その面白さ、多様性や意義を伝えていきます。

本誌で取り扱うテーマ

- **ゲノミクス：**
  ゲノム・プロジェクト、ゲノム配列解読、バイオインフォマティクス
- **機能ゲノミクス：**
  転写物解析、変異体スクリーニング、バイオインフォマティクス
- **進化遺伝学：**
  進化発生生物学、比較ゲノミクス、集団遺伝学、系統発生学
- **技術：**
  新手法、実験方法、治療法、応用遺伝学と応用ゲノミクス、計算生物学
- **多因子遺伝学：**
  複雑疾患、疾患感受性/耐性、関連解析、技術
- **疾患：**
  病原遺伝子の同定、遺伝子型と表現型の関係、遺伝病の分子病理学
- **染色体生物学：**
  DNAエレメント、テロメア、セントロメア、可動性因子、人工染色体、染色体安定性
- **エピジェネティクス：**
  DNAメチル化、ヒストンの修飾、クロマチン構造、インプリンティング、クロマチンリモデリング
- **発生生物学：**
  繁殖技術、パターン形成、分化、進化発生生物学
- **遺伝子発現：**
  DNAエレメント、LCR、インシュレーター、エンハンサー、サイレンサー、遺伝子調節の総合的考察

www.naturejpn.com/gen-f

nature asia-pacific

日本語で読む nature

nature DIGEST は、ご好評につき、刊行4年目に入りました！

月刊でお届けする『Nature Digest』は、Nature を日本の皆さまにより身近に親しんでいただけるよう日本語で編集した科学雑誌です。英国本社で作成されたNature本誌や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え、充実した1冊となっています。

日本オリジナル記事

❶ Japan News Feature
鳥インフルエンザや地震、宇宙開発、幹細胞、プリオンなど、日本のさまざまな科学ニュースを独自取材し、わかりやすく紹介します。

❷ Japanese Author
Natureに論文を発表した日本人研究者にインタビュー。研究者をめざす人への有意義なメッセージをお伝えします。

❸ 英語でNature
Natureの記事を英語で読むシリーズ。単語やフレーズの解説に加えて、どのように読んだらいいか、読解のポイントも紹介。科学英語を学ぶ教材としても使用できます。

Nature Digest 定期購読は…

ジャーナルなら**月々670円**（年間購読7,980円／1年）、オンラインのみの購読なら、**月々550円**（年間購読6,000円／1年・10,800円／2年）と、大変お求めやすい価格でご購読いただけます。

Nature Digest購読はこちらから

www.naturejpn.com/digest-f07

Printed in Japan
ISSN 1880-0556

定価 680円
本体648円

npg nature asia-pacific