

nature DIGEST

日本語編集版

February 2007

VOL. 04, NO. 2

2

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

動物実験の是非を問う



nature asia-pacific

Established 1987 as Nature Japan K.K.

たたんで運べる

研究発表ポスターの決定版

布地ポスター

学会発表や展示会に最適!!

- 折りたたんでカバンに入れて運ぶことができます。
- 展示の際に、貼るのも剥がすのも簡単です。

●最近の主なお取引先

産業総合技術研究所／情報通信研究機構／物質・材料研究機構／東京大学／筑波大学／神戸大学／東京理科大学
神奈川歯科大学／九州大学大学院／久留米大学／帯広畜産大学／第一製薬株式会社／エーザイ株式会社
日本たばこ産業株式会社／積水化学工業株式会社／サントリー株式会社／NICTインキュベーションズ など

納品予定：完全データを受領後、4日間以内。

※イラストレーター又はパワーポイント仕様。

※国内発送のみ。

	仕上がりサイズ	出力料金
A1判	天地840ミリ × 左右594ミリ	11,760円
A0判	天地1188ミリ × 左右840ミリ	19,320円
B0判	天地1456ミリ × 左右1028ミリ	26,145円

※短辺最大1250mm、長辺最大20mまで出力可能です。

※基本出力料金は完全データをお預かりして、出力のみの場合の料金(税込)です。

※規格外のサイズの場合は、お見積書を作成いたします。

※デザイン・レイアウト・編集は別途料金にてご相談させていただきます。

※データ(テキスト、図、写真)をお預かりして、グラフや表が大きく目立つポスターにデザインします。

メールにてお問合せください

布地ポスター見本をお送りいたします

布地ポスター

検索

nature 購読者限定

2007年3月31日までに納品の場合
出力料金が

10%OFF

この広告コピー添付で！



R&D 研究支援サポート企業

アイキューブつくば

poster@icube-t.co.jp

動物実験の是非を問う

表紙: INDEX STOCK IMAGERY / NEWS.COM

HIGHLIGHTS

02 vol. 444 no. 7122, vol. 445 no. 7123, 7124

AUTHOR

04 暗視カメラの顕微鏡版を作ってナノの世界を探る
— Yannick De Wilde

EDITORIAL

05 査読と不正

NEWS

06 不正と闘う科学誌
Meredith Wadman

SNAPSHOT

07 胎内の眺め

NEWS@NATURE.COM

08 長江の汚染で、カワイルカがついに絶滅?

BUSINESS NEWS

10 目標はどこまでも高く
Geoff Brumfiel

NEWS FEATURE

12 動物実験をめぐる賛否のはざままで
Emma Marris

JAPAN NEWS FEATURE

17 ロボット大国日本の新潮流
三森八重子

NEWS & VIEWS

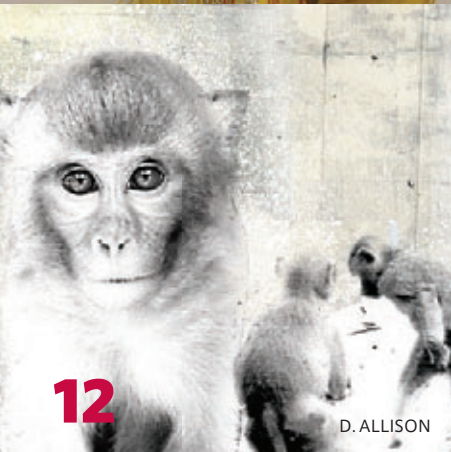
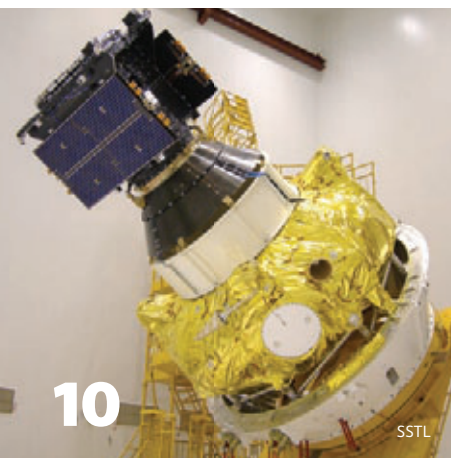
22 幹細胞治療は正しい方向に進んでいる
Jeffrey S. Chamberlain

JAPANESE AUTHOR

24 遺伝子からのニパウイルス合成に世界で初めて成功
— 甲斐 知恵子
西村尚子

英語で NATURE

26 Underwater 'sniffing' by semi-aquatic mammals
半水生哺乳類による水中での「匂い嗅ぎ」



**nature
DIGEST**

02 volume 4 no.02
February
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: デビッド・スウィンバックス
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

聴覚神経のチューニング**Tuning the nerves**

軸索での活動電位（スパイク）の発生部位は、ニューロンによって異なるが、これが機能的にどのような意味をもつのかは今までよくわかっていなかった。鳥類の聴覚系では、層状核が両耳からの入力と同時に検出器として働いていて、この現象を検証するための格好のモデルとなる。そこで久場たちは、鳥類の聴覚系にある神経細胞に注目して研究を行い、スパイクの発生部位が細胞体に近いニューロンほど、チューニングされている音の周波数が低いことを見いだした。コンピューターモデルからは、ほかのニューロンによる一致性の検出にもスパイクの発生部位が重要である可能性が示唆されている。

21/28 December 2006 Vol.444 / Issue 7122

Letter p.1069 参照

血液供給を妨げる**Blood line**

VEGF、つまり血管内皮増殖因子は、その性質が最もよく解明されている腫瘍血管形成誘導因子であり、VEGFの阻害はがん治療の重要な方法となっている。しかし、この方法はすべての腫瘍に効果があるわけではない。そこで、これに代わる手段の探索が続けられている。今回2つのグループが、DII4 (Delta-like ligand 4) の阻害が、VEGFの阻害に代わる選択肢の1つになる可能性を報告している。細胞膜を貫通する分子であるDII4は、Notchシグナル伝達経路の一部であり、胚の血管の正常な発生に不可欠であることが知られていた。今回の研究で、DII4が腫瘍の血管形成にも必要とされることが明らかにされた。DII4の阻害は、抗VEGF療法に耐性を示す固形がんの患者に対する、実行可能で耐容性もおそらく高い代替法となりそうだ。

21/28 December 2006 Vol.444 / Issue 7122

Article p.1032, Letter p.1083 参照

持続時間の問題ではない？**The long and the short of it**

ガンマ線バースト（GRB）を、長時間（2秒以上）持続するバーストと短時間のバーストとにきっちりと分類してしまうやり方は、そろそろ見直さないといけないかもしれない。2006年6月14日、スィフト衛星に搭載されたガンマ線検出器BATによって発見されたGRB 060614というバーストが、どうやらこの分類法にとどめを刺すことになりそうだ。このバーストは、102秒

間という長時間持続したが、今週号の一連の論文で報告されているように、これまで、「長時間の」GRBの特徴と考えられていた超新星を伴わないことを含め、多くの属性をもっている。現在では、明らかになってきたGRBの多様性を考慮した分類方式の作成を目指してGRBの探査が行われている。News & ViewsでB Zhangは、超新星に採用されているのと似たI型/II型という分類が適当かもしれないと提案している。

21/28 December 2006 Vol.444 / Issue 7122

Letters pp.1044, 1047, 1050, 1053, N&V p.1010 参照

自由中性子のベータテスト**Radiation: the beta test**

中性子の放射性ベータ崩壊では、陽子と電子および反ニュートリノを生じる。量子電気力学は、これらの崩壊生成物に軟光子の連続スペクトルが伴うと予測している。こういう放射は以前に原子核のベータ崩壊と電子捕獲崩壊で測定されているが、自由中性子崩壊では測定されていない。今回、光子を伴った自由中性子の放射性ベータ崩壊が、メリーランド州ゲイサーズバークにある米国立標準技術研究所のNG-6（中性子ガイド6）施設における実験で観測された。得られた測定結果は理論と一致する。この成果によって、中性子ベータ崩壊に伴う弱い相互作用過程をより詳細に研究する機会がもたらされるかもしれない。

21/28 December 2006 Vol.444 / Issue 7122

Letter p.1059, N&V p.1014 参照

**内部の事情：腸内微生物の肥満における役割
INSIDE STORY: The role of gut microbes in obesity**

人間の腸内にすみ着いている微生物は、人間が自身のために進化させてこなかった代謝作業を肩代わりしている。ある意味では、腸内微生物の遺伝子は「ヒト」という「メタゲノム」の一部だと言える。このことは、細菌が肥満の一要因であることを実証した今週号の2つの論文によってはっきりと示されている。一方の研究は、肥満個体の腸内細菌のうち、2種類の主要な集団の存在量に関するもので、バクテロイデス類の細菌の増加と体重減とが相関することを明らかにしている。もう1つの研究は、遺伝性肥満マウ

スを使って、このマウスの腸内細菌集団が標準体重の同腹仔の細菌集団よりもエネルギー回収能力が高いことを示している。この形質は、細菌集団を無菌マウスに移植することによって伝達可能である。今回の研究は、肥満に関連する腸内微生物群がバイオマーカーや、おそらくは治療標的ともなる可能性を示している。

21/28 December 2006 Vol.444 / Issue 7122

Brief Communications p.1022, Article p.1027, N&V p.1009 参照

がんの幹細胞**Cancer stem cells**

今週号では、2つの論文がマウスで腫瘍の増殖を開始させる特殊な結腸がん細胞が見つかったことを報告している。これは、腫瘍の形成と維持にかかわっているのはごく少数のがん幹細胞だけだという説を裏づけるものだ。今回の知見は、がん幹細胞を選んで標的とする治療法を見つけることの重要性をはっきり示している。

4 January 2007 Vol.445 / Issue 7123

Letters pp.106, 111 参照

酸素を取り込んだ膜タンパク質**Coming up for air**

年代を追って生物の進化を調べる場合、通常は化石が使われる。しかし、生物の進化史はそれ自身の生化学的機構にも刻み込まれているのかもしれない。C Acquistiたちは、各種生物が膜を貫通するタンパク質に酸素をどのように組み込んでいるのか、そのやり方を調べて体系的な変動性を見いだした。細胞内区画のある原核生物や真核生物では、より単純な原核生物と比較すると、膜タンパク質の酸素含量が高い傾向が認められる。これは、初期の地球の大気に酸素が少なかったことの名残なのかもしれない。

4 January 2007 Vol.445 / Issue 7123

Article p.47, N&V p.35 参照

ヒトをかぎつける遺伝子**The scent of man**

多くの昆虫には、二酸化炭素を感知するニューロンが備わっている。それを何に使うかは昆虫の生態によってさまざまで、例えばスズメガは、チョウセンアサガオの花の質の良し悪しを知るために使う。身近なところでは、カなどの血を吸う昆虫はヒトが発する二酸化炭素にひかれて寄ってくる。ショウジョウバエも、このようなセンサーをもっており、今回Gr21aとGr63aという2種類の受容体が見つかった。こ



※「今週号」とは当該号を示します。

の2種類のうちどちらか一方しかもないハエは二酸化炭素を感知できないが、両方の遺伝子をニューロンで発現しているハエは二酸化炭素を感知できる。マラリアを媒介する力にも似たような遺伝子があるので、力が刺す相手を見つけられないようにするには、これらの受容体を標的にした薬剤が有効かもしれない。

4 January 2007 Vol.445 / Issue 7123

Letter p.86, N&V p.30 参照

量子計算の間違いをなくす

Computing: the right stuff

今まで、光量子コンピューターの実験による原理証明はすべて確率的なものであった。すなわち、この計算は試行のほんの一部でしか成功していなかったのである。一方向量子計算とよばれる仕様のコンピューターを使って、Prevedel たちは発生した誤りを「フィードフォワード」し、実時間で誤り訂正を行って誤りを消去することに成功した。事実上、量子コンピューターは「計算せよ」とボタンが押されると、正しい結果を出すように強制される。この一方向量子計算の実験的証明は、このようなシステムをこれから開発していくうえで重要な結果になるかもしれない。

4 January 2007 Vol.445 / Issue 7123

Letter p.65 参照

タイタンで湖を発見：レーダー画像で明らかにになったもやの下の液体メタン

TITAN'S LAKES REVEALED: Radar images reveal the liquid methane beneath the haze

土星の衛星タイタンに液体メタンの海あるいは湖が存在するだろうことは、20年以上前から予想されていたが、濃いもやのせいで近くから観測できず、その存在は確認されていなかった。しかし、カッシーニ探査機の2006年7月22日の接近通過によって得られたレーダー画像が今週号で公開され、大量の液体が確かに存在する証拠が示された。表紙は、カッシーニ探査機がとらえた画像のほんの一部である。このカラー画像は、人の目で見たとおりの色合いではないが、レーダーの後方散乱断面積の対数値に比例する明度で示してある。湖は周囲の地表よりも暗いが、レーダーの後方散乱がより低い領域を青で、より明るい領域を黄褐色で着色



して強調してある。帯状のレーダー画像の幅は約140 kmで、奥行きは縮小しており、ある地点から西方向の、最も高緯度の領域を斜めに見たようすを再現している。

4 January 2007 Vol.445 / Issue 7123

Letter p.61, N&V p.29 参照

足りない窒素を補充する

Fixing a hole

窒素固定は、海洋における生物生産力の維持に極めて重要である。それは、生物学的に利用可能な窒素が亜硝酸塩と硝酸塩を窒素ガスに変換する脱窒素作用によって失われるのを、窒素固定が補うからだ。この過程を制御する諸要因はまだはっきりしていないが、窒素固定細菌への鉄の供給速度が律速要因であると広く考えられている。海洋循環モデルを用いて、栄養分布から窒素固定速度を導き出すという新しい手法によって、意外な知見がもたらされた。窒素固定速度は、大気からの鉄の供給が少なく脱窒素速度が高い太平洋で最も高く、鉄がより豊富な大西洋で最も低いのである。このことから、海洋における窒素固定は鉄の濃度とは結びついてはおらず、脱窒素作用によって活性化されており、海洋における固定窒素の蓄積を安定させるのに役立っていると考えられる。

11 January 2007 Vol.445 / Issue 7124

Article p.163, N&V p.159 参照

胚ではなくて巨大硫黄細菌？

They might be giants

原生代後期の中国ドゥシャンツォ累層から出た球状の微化石はどうみても、この10年間で見つかった化石の中で最も重要な部類に入る。これらは、娘細胞の体積が増えずに進む卵割様の細胞分裂がみられることと大きさから、動物の胚と考えられていた。この考え方が正しいとすると、化石となった6億年前の細胞から、初期の動物進化に関する重要な手がかりが得られると思われる。だが、これらの化石はどうも胚ではなかったようである。今みられる硫黄細菌である *Thiomargarita* が卵割様細胞分裂を行い、リン酸塩鉱物沈着に直接関係していることが最近明らかになり、これらがドゥシャンツォ微化石と非常によく似ているとわかった。動物の胚がこのような集まっているのはおかしいと前々から考えられていたし、リン酸塩形成に関しても、それらしい機構はまだ提案されていない。こうしたことからすると、これらは巨大な硫黄細菌の化石であるとするのが最も素直な説明だろう。

11 January 2007 Vol.445 / Issue 7124

Letter p.198, N&V p.155 参照

心臓の修復

Repair of the heart

心臓発作後の筋細胞喪失を抑制することが知られているタンパク質チモシンβ4が、心臓自体の修復を指令していることが明らかになった。成体マウスでは、心臓の最外層にある前駆細胞がチモシンβ4に誘導されてさらに内部へと移動し、機能の低下した心臓を修復するのを助ける。これまでは、成体心臓の細胞は永久的な休止状態にあり、心臓組織の修復に関与する前駆細胞はすべて骨髄から移動すると思われていた。チモシンβ4は血管形成を誘導するので、成体の心臓では、現在可能な修復方法より栄養補給のほうが有効なのかもしれない。

11 January 2007 Vol.445 / Issue 7124

Article p.177 参照

脳での遺伝子発現：ゲノム規模の遺伝子発現アトラスが作られた

BRAIN BANK: A genome-wide atlas of gene expression

神経科学と遺伝学の両方にかかわる最先端の成果が発表された。マウスのゲノム中のおよそ20,000個の遺伝子すべての発現に関する地図が、脳の主な構造全体にわたって、細胞レベルの分解能で作成されたのである。これはアレン脳アトラス (Allen Brain Atlas) 計画の一部であり、Lein たちはこのデジタルアトラス (<http://www.brain-map.org>) の作成について述べ、脳の構造についての従来の知見を裏づける、あるいはそれに疑問を投げかけるような遺伝子発現パターンを報告している。アトラスには、各遺伝子と脳領域についての *in situ* 画像とシグナル強度をカラー段階表示した「ヒートマップ」などが含まれている。脳では限られた数の遺伝子しか発現していないだろうという予測に反し、マウスの全遺伝子の約80%が発現している。遺伝子シグナルの70%は全脳細胞の20%以下に局在していることから、ほとんどの遺伝子は脳の狭い領域に限定されて発現していると考えられる。表紙画像は Chris Lau (Allen Institute for Brain Science)。

11 January 2007 Vol.445 / Issue 7124

Article p.168, N&V p.160 参照



MAKING THE PAPER

Yannick De Wilde

Nature Vol.444(xiii)/7 December 2006

暗視カメラの顕微鏡版を
作ってナノの世界を探索

サーモグラフィーの発想自体は新しいものではない。この技術を利用した暗視カメラは、物体が発する赤外線を検出して画像を生成するカメラである。Nature 2006 年 12 月 7 日号 (740 ページ) 掲載の論文の著者である Yannick De Wilde は、この発想を一歩進めて、物質の表面から自然に発せられる赤外線を検出して画像を生成する顕微鏡を作り、原子サイズの世界を探索しようとしている。

De Wilde が最初に顕微鏡を作ったのは、アルゴンヌ国立研究所 (米国イリノイ州) でポスドクをしていたときのことである。それは、プローブの先端と走査する物質表面との間を流れるわずかな電流を使って電子の位置を検出する走査型トンネル顕微鏡 (STM) だった。走査により電子を多く含む領域がわかるので、この情報を利用して、物質表面の原子や分子の位置を推定することができる。けれども STM には、電気を伝えない物質には使えないという欠点があった。

2000 年にパリ市立工業物理化学高等学院 (フランス) の光学研究室に職を得た De Wilde は、プローブが走査する物質の表面に赤外線を照射して、反射してきた光を検出するタイプの STM を作り始めた。当時、このタイプの顕微鏡は世界に 2 台しかなく、彼の顕微鏡は 50nm 以下というこれまでにない高い分解能で光学像を生成し、電気伝導性の有無を問わず、ほとんどの物質に使うことができた。

2002 年には、彼はさらに歩を進めることを決意して、物質に光を照射することなく、物質から発せられる赤外線を利用して画像を生成する、新しいタイプの顕微鏡を作り始めた。De Wilde はこれを、「試料の中の局所的な電子密度を測定する代わりに、光子の密

度を測定する顕微鏡を作ろうと思った」と説明する。それは名案のように思われたが、同じ分野の研究者の一部は、実現はむずかしいだろうと考えていた。「彼らは、小さなプローブで測定できるほどのエネルギーはないだろうと考えていたからだ」と彼はいう。そもそも、赤外線を使って信号を検出するだけでも、非常にむずかしいことだったのだ。その光源を除去してしまったら、信号はますます弱くなるだろう。「私たちが扱う信号の強さは、赤外線顕微鏡で扱う信号の 1000 分の 1 しかなかった」。

けれども、偶然に出会った数人の同僚が、進むべき道を彼に示してくれた。彼らは De Wilde に、一部の物質が表面に高い電磁エネルギーを閉じ込めており、物質の温度を上げればさらにエネルギーを高められることなどを教えてくれた。

そこで彼は、研究室の博士課程に在籍している Florian Formanek とともに、試料を加熱して顕微鏡で検出できるだけの強い信号を生成させようと試みた。加えた熱がプローブを不安定にしたため、彼らはプローブを設計し直して、熱に耐えられるようにした。2 年にわたる試行錯誤の末に、彼らはついに炭化ケイ素の表面に作製した金のナノ構造の画像を得て、光を照射しない顕微鏡が立派に機能することを示したのである。

それでも、De Wilde の新しい顕微鏡の設計は終わっていない。彼は顕微鏡をさらに改良して、感度をもっと高めたいと考えている。彼が目指しているのは、光子の位置だけでなく、そのエネルギースペクトルも検出することができ、物質の物理的性質についてもっと多くの情報を与えてくれる顕微鏡なのである。 ■

査読と不正

Peer review and fraud

Nature Vol.444(971-972)/21/28 December 2006



論文の審査過程に関して *Science* 誌の外部調査委員会が示した評価、また *Nature* が昨年試みた公開査読の取り組みの結果から、科学誌のむずかしさが浮き彫りになった。

黄禹錫（ファン・ウソク）教授たちのヒト胚性幹細胞に関する2本の論文でライバルの *Science* 誌がダメージを受けたことに *Nature* が喜んでいいるという話があるとすれば、それはまったくの見当違いだ。もし、同じ論文が *Nature* に投稿されていたとすれば、それらはやはり、*Nature* に掲載されていたかもしれないのである。

Science 誌が依頼した第三者による調査委員会（*Nature* の米国編集責任者 Linda Miller もメンバーとして加わった）は2006年12月初め、件の論文掲載にあたり同誌が払った一般的な注意レベルは妥当なものだったとの結論を出した。同委員会はそのうえで、審査過程で挙げられた懸案事項にはさらに疑いの目をもって注意を払うべきだったと述べている。しかし、後からあれこれいうのは簡単なことであり、著者と編集者との間にある程度の信頼関係が必要とされる現状の中で、どの科学誌にとっても、ある種の懸念がある場合にそれをどこまで追求するべきかどうか、十分に見極められていたとはいいい切れない。

調査委員会が今後向き合っていくことになるのは、まさにこの信頼の度合いの問題だ。不正事例が実際に審査過程をすり抜けたという事実、また、科学界に対する一般の信頼を失ってはならないとの思いから、政策や公衆衛生、気候変動などに直接関連するような、一般への影響が大きい論文に対し、科学誌各誌は論文の精査とリスク評価を強化すべきだと委員会は提唱している。さらに委員会では、生データをより重視していくこと、共著者ひとりひとりの論文への貢献度を明確にすることも提案された。

こうした取り組みを進める必要があるのは *Nature* にとっても同じであり、問題に共に取り組もうという *Science* 誌からのよびかけに、私たちはすでに応じている。重要なのは、編集者と査読者が、不正リスクに対する実際的な感覚を磨くことだ。不正の確率を明示的に分析しようという細心のリスク評価を実際に行うのは、口でいうよりはるかにむずかしい。リスク因子の基本的なチェック項目を挙げていくことはできる。しかし、例えばソウル国立大学の論文やヒト胚性幹細胞の論文を特別扱いし、ほかの論文よりも審査のハードルを上げることは、決して正しいとはいえないだろう。

一方で私たちは、主要な論点は必ず厳密なデータと論証に裏打ちされたものであることをすでに著者たちに求めてきた。にもかかわらず、人々の耳目を引く一方で問題点も多い論文が、時折包囲網をかいくぐってしまうのが、残念ながら現実だ。これらに

対しては、編集者がより一層の注意を払っていくしか方法はない。

Nature および各 *Nature* 姉妹誌は、論文に対する著者ひとりひとりの貢献度を明確にするよう求めており、このよびかけはここ1年で著者の間にも広く浸透してきた。事実、資金提供機関からも好評を得ている。私たちは現在、この取り組みをすべての投稿論文に義務づけるべきかどうか決定するための調査を計画しており、読者のみなさまもぜひ意見を寄せていただきたい。

また、査読過程がさらに一般に開かれたものであれば黄教授の不正は発見され得たかどうかとの問いは、興味深いところである。しかし今のところ、公開査読に対する関心は小さく、現状の公開査読の試みでは、結局のところ不正は見破れなかっただろう。少なくとも、*Nature* が試しに行った公開査読の取り組みからは、そう結論される（このテーマに関するオンライン討論は www.nature.com/nature/peerreview/debate/nature05535.html を参照されたい）。

この公開査読の試みでは、通常の査読と並行して、著者が選択すれば、査読段階の論文原稿をオンラインにアップし、一般からの意見を受け付けられるようにした。最終的に、5%の著者がこの選択肢を選んだ。受けた意見に何らかの価値を見いだした著者は多かったが、そもそも数が少なく、編集者にとっては論文を受理するかどうかを左右するほどのものにはならなかった。

しかし、今回の試みは対照試験ではなく、公開査読の制度がいつの日か受け入れられるようになるとの仮説を棄却するものではない。しかし、研究者と非公式に交わす対話の中でも感じることもだが、今回の結果は、研究者の多くが多忙であること、またキャリアにどうかかわってくるかがみえないなかで、*Nature* のウェブサイトなどの場にアクセスし、研究仲間の仕事に対する批判的評価を本名で書き込むことのむずかしさを示している。

査読のもう1つの形態に、論文掲載後の研究の再現性をめぐって行われるやりとりがある（再現ができない、という場合もある）。この種の討論を学会でのゴシップに留めずに開かれたものとするには、編集の介入を最小限にした個々の意見を、研究者仲間が互いに述べられるフォーラムが必要となる。*Nature* に寄せられる論文に対して、研究者たちは掲載前の論文よりも正式な掲載後のもののほうが実際にコメントしやすいのだろうか。2007年に私たちはこの機能を導入し、その答えを知るつもりである。■

Journal reveals plans to fight fraud

不正と闘う科学誌

Nature Vol.444(658-659)/7 December 2006

Meredith Wadman

科学論文の発表における不正行為をなくすための確かな一歩が踏み出された。2006年12月初旬、*Science* 誌は、今後は一部の「高リスク」論文を対象に、より重点的な精査を行っていくことを表明した。

この発表は、黄禹錫（ファン・ウソク）元教授による論文ねつ造スキャンダルを受けて同誌が組織した、論文の取り扱いをめぐる外部評価委員会が作成した報告書に依る形で行われた。これにより、投稿論文は嘘偽りのない十分な研究をふまえて書かれたものだとする従来の暗黙の了解は、今後、少なくとも一部の論文には通用しないことになる。

「これまで、科学者には偽りのないことが当然の前提とされてきた。しかし、リスクの高い一部の論文は今後、それ

が公明正大に書かれたことをわざわざ証明することが必要となってくる」と、タフツ大学（マサチューセッツ州メドフォード）の生命倫理学者 Sheldon Krimsky は語る。

ソウル国立大学の黄元教授のグループは、体細胞核移植によって胚性幹細胞を作製したとする重要な論文を、2004年と2005年の2度にわたり、*Science* 誌に発表した^{1,2}。この技術は、患者自身の細胞から移植用臓器を作り出すための重要な第一歩となる。しかし、いずれの論文もねつ造されたものであることが後に判明し、同誌は2006年1月に2つの論文を撤回した³。

スタンフォード大学（カリフォルニア州）の化学者 John Brauman を代表とする外部調査委員会は、*Science* 誌の論文取り扱いに関する報告書を2006年11月にまとめた。報告書では黄元教授の件について、*Science* 誌は「細心の注意」をもって高い水準の編集手続きをとっていたとしたものの、Brauman は、「不正行為をなくすためにはさらに、委員会が『リスク評価』と表現する方針を同誌が導入すべきだと提案した」と話す。

Science 誌の巻頭論説⁴の中で同誌編集長の Donald Kennedy は、現在、こういった論文を特に精査の対象とすべきかを見極める基準づくりを進めており、「公益に大きな影響を及ぼす論文、研究結果が予想外の、もしくは直感に反するような論文、そして、政治的な論争に発展する可能性のある論文などが精査の対象となるだろう」と述べている。

1年におそらく10本程度と考えられるそうした論文には、一次データのこれまで以上の提出や、デジタル画像の徹底した評価を含む、「特別の注意」が払われることになると考えられる。また、共著者のひとりひとりが当該論文に対して果たした役割の明記も求められていくことになるだろう。

Kennedy がこの計画を発表している最中にも、同誌は、発生生物学で議論の多い領域における別の掲載論文の内容にも疑義があることを報告している。ミズーリ大学コロンビア校による調査の結果しだいでは、この論文も撤回される可能性が高い。

掲載当初から論争を引き起こしたこの論文⁵で、同校研究者の R. Michael Roberts たちは、マウスの胚細胞は最初の細胞分裂が始まる段階ですでに発生上の運命を明白にもっているとした。この結果は、哺乳類の胚細胞は体を構成するあらゆる細胞に成長するという広く受け入れられている見方に反する。論文は2006年2月17日号に掲載されたが、その後4月に開始されたミズーリ大学の調査は、現在も続いている。

Kennedy は記者会見の場で、科学者どうしが互いに信頼をもてなくなることによる社会的コストは、ときどき起きる不正論文の撤回の際にかかる社会的コストよりも大きくなってしまっているのではないかと警告した。しかし、不正行為の防止を目的とする共通基準の策定について、今後 *Nature* をはじめとする他誌と協力して進めていくことを明らかにした。*Nature* の編集長



黄禹錫元教授の論文のようなインパクトのある論文は、一層の精査の対象となるだろう。

Philip Campbell は、委員会の見解に対する詳細なコメントは避けながらも、「*Nature* として、*Science* 誌が取り組んだ外部調査を歓迎したい。提言についても検討していきたい」と述べている。

しかし、この問題に関心を寄せる識者の多くは、同委員会による提言は不十分であると感じているようだ。「インパクトの高い論文や、議論をよびそうな論文だけでなく、初めからすべての論文を対象に厳格な基準を適用すべきです」とタフツ大学の免疫遺伝学者 Thereza Imanishi-Kari はいう。Imanishi-Kari は、1990 年代に自身の研究が米国政府による調査対象となり、研究者としてのキャリアをくじかれたという経験をもつ（後に彼女の名誉は回復された）。

Krimsky の意見も同様だ。「(論文をより精査していくことに) どんな悪影響があるというのか。研究者コミュニティに対する信頼性が低下する? 新手的なマッカーシズム? そういった意見に私はくみしない」。Krimsky はまた、研究結果が極めて大きい商業的利益に絡むような論文について、基準を厳格に設け、一層の精査を受けるべきだという。

一方、ペンシルバニア大学生命倫理センター（フィラデルフィア）の Arthur Caplan 所長は、新たな基準を適用する範囲を、過去に不正行為があった分野の論文や、研究者の数が比較的少ないために不正を十分に発見できないような専門化の進んだ領域の論文にまで広げてはどうかという。さらに Caplan は、

「特定の国々から寄せられる論文に注意せよ、とはっきりいうべきだと思っている。中国はまだ十分に信用できないし、韓国にも問題がある」とも話す。

しかし Kennedy は記者会見で、特定の国の研究者を狙い打ちにすることには反対だと述べている。「私たちは、なにもプロファイリングを行いたいのではありません。韓国をはじめとする、科学の分野で成長著しい国々から寄せられる論文を、特に厳しくみようというのはまったく不公正です」。

1. Hwang, W. S. *et al. Science* **303**, 1669-1674 (2004).
2. Hwang, W. S. *et al. Science* **308**, 1777-1783 (2005).
3. Cyranoski, D. *Nature* **439**, 122-123 (2006).
4. Kennedy, D. *Science* **314**, 1353 (2006).
5. Deb, K., Sivaguru, M., Yong, H. Y. & Roberts, R. M. *Science* **311**, 992-996 (2006).

SNAPSHOT

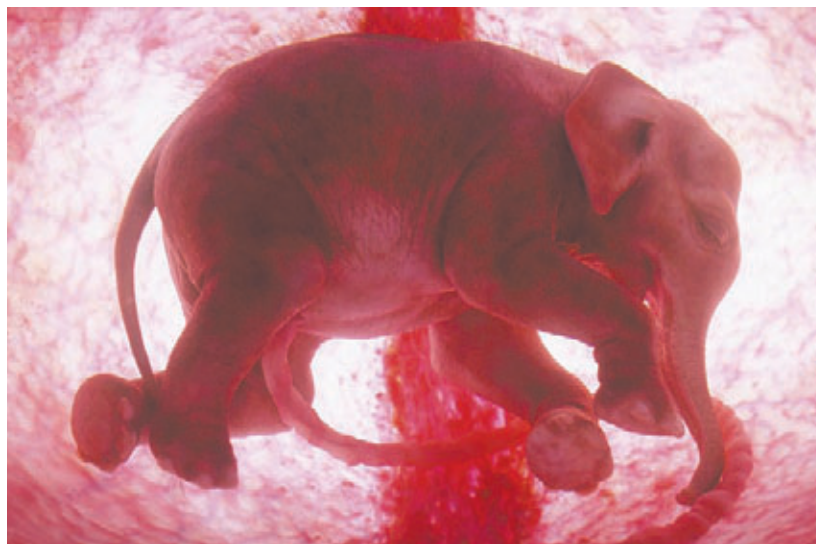
A womb with a view

胎内の眺め

Nature Vol.444(529)/30 November 2006

これは、見えざる世界の扉を開き、母なる大地ならぬ母なる胎内に息づく、ゾウ胎児の姿を捕らえた超音波スキャン画像である。画像は見やすいように CG で調整しており、写っているゾウ胎児は体重 75 kg で、すでに足蹠部（足の裏部分）や長い鼻ができてきている。

超音波検査技師たちは画像作成にあたって、ゾウ胎児に十分な距離まで接近するために、肩まで届く手袋を着用し、妊娠している母親ゾウに浣腸をしてから、直腸の奥まで超音波プローブを挿入した。このゾウ胎児はおよそ妊娠 19 か月目にあたり、妊娠 14 か月目の早期あたりから足を動かしたり蹴ったりし始めていたはずだ。あと 3 か月もす



れば出産となり、この子ゾウは外の世界に生まれ出てくる。

画像は、『In The Womb』（胎内）と題したドキュメンタリーの一部として撮影されたものである。このドキュメンタリーは、ゾウのほかイルカやイヌの胎内超音波映像を短編にまとめてあり、それぞれの最後は誕生場面の映像で締めくくられている。この番組は、米国や欧州ではナショナルジオグラ

フィックチャンネル、英国ではチャンネル 4 で 2006 年の末に放映された。

このドキュメンタリーでは進化の話題にも触れている。ゾウの胎児は妊娠 4 か月目に、淡水生の魚類やカエルにしか普通は見られないような腎臓の導管構造（腎口という）を一時的に発達させる。これは、ゾウの祖先が水生動物であったことを物語っている。

Narelle Towie

長江の汚染で、カワイルカがついに絶滅？

Dolphin feared extinct in polluted Yangtze

中国の河川では魚の乱獲と船の騒音が水生哺乳類を死に追いやっている。

doi:10.1038/news061211-13/14 December 2006

Michael Hopkin

中国の長江（揚子江）では人間の活動が原因でイルカが絶滅しようとしており、河川での漁業を規制しなければほかの動物種も同じ運命をたどることになる、と自然保護活動家たちが警告している。

中国で実地調査を行った科学者グループは2006年末、長江にすむ淡水生のヨウスコウカワイルカ（通称バイジー、*Lipotes vexillifer*）が、「機能的に絶滅した」と宣言すべき状態であることを明らかにした。これは、たとえわずかな個体が生存していたとしても種を存続させるには数が足りないことを意味する。このカワイルカはほかの水域には生息しておらず、人間が絶滅に追い込んだ初めてのクジラ目動物となることは必至である。

「彼らを救える見込みはない」とバイジー基金会（Baiji.org foundation、長江の生物保全に携わる専門家のネットワーク組織）の最高責任者、August Pfluger は話す。基金会は6週間にわたって長江で調査を実施したが、カワイルカを1頭も発見することができなかった。この結果は基金会にとって衝撃的であった。2006年3月に行った短期の調

査でもカワイルカ生息の証拠は発見されなかったが、まだ100頭程度は生息しているものとみていたのである。

種の絶滅を正式に宣言できるのは国際自然保護連合のみであり、その宣言が発せられるのは数年に及ぶ調査で当該種が発見されなかった場合である。「十分なデータはない」と、世界自然保護基金（WWF、英国ゴダルミン）の淡水プログラムを取りしきる Rob Shore は話す。「しかし、生存個体数が限りなくゼロに近いということはわかっている」。

スナメリにも絶滅の危機が

長江ではさらにスナメリ（*Neophocaena phocaenoides*）という哺乳類も同じ運命をたどりつつある、と Pfluger は語る。「1980年代にはそれこそ無数にいたのが、1990年代の調査では約6000頭となり、現在は約400頭と、憂慮すべきスピードで減少している」。

水生生物研究所（中国、武漢）で淡水クジラ類の研究を率いる王丁も同じ見方をしている。「すぐに対策をとらなければ、長江のスナメリはバイジーの二の舞になってしまう」と王はいう。

Pfluger は、長江ではそれ以外にチョウザメやオオサンショウウオなどの大型動物種も人間の活動のために減りつつある、とも語る。「もう長江にはチョウザメが繁殖できる場所がない」というのだ。

長江の動物種の減少について、自然保護活動家は乱獲に原因があるとしている。カワイルカはほとんど目が見えず餌探しをソナーに頼るため、おびただしい数の漁船が発する雑音のせいで衝突の危険が生じる。「長江の自然はもはや失われ、何千もの船が行き交うただの水路になってしまった」と Pfluger は話す。

Pfluger は、2007年に中国の複数の漁業組合と会合をもつ予定であり、あらゆるカワイルカ目撃情報の提供を求めるとともに、漁業権制度の取り締まり強化の重要性を訴えようとしている。長江では現在、漁業権をもたない漁船が何千隻も操業し、希少種ばかりでなく漁業資源までもが損なわれている。

疎開

終着点の上海まで長さ1750キロメートルに及ぶ長江の流域は、地球上で最も人口密度の高い地域であり、河岸にはおよそ4億人が居住している。「生息環境の悪化は深刻で、大型動物の存続は極めてむずかしい」と Shore は語る。

短期的には、生き残っているイルカ種などの哺乳動物を長江から湖へ移して、長江が元に戻るまでそこで保護すべきである、というのが Shore の考えである。「これは根本策ではないが、やらざるをえないかもしれない」と Shore は話す。

Pfluger は、異論も多い三峡ダム建設がカワイルカの減少に関係しているとする見方には確かな証拠がないと語る。しかし、長江下流の水位はこの建設計画のせいで約2メートルも下がり、生態系を支えるプランクトンが減ってしまった、とも話す。

概して Pfluger は Shore よりも悲観的である。「ものすごく幸運なことに、私は長江で生きているバイジーを見ることができた」と Pfluger は話す。1997年の調査では13頭が見つかったのである。「現在この問題はあまりに大きくなりすぎて、いっこうに出口がみえてこないの、私は軽い絶望感を抱いている」。



事実上絶滅したと考えられているヨウスコウカワイルカ。



海の星座を 観測する

ダイバーが撮るジンベイザメの斑点模様が、保護活動の手掛かりになっている

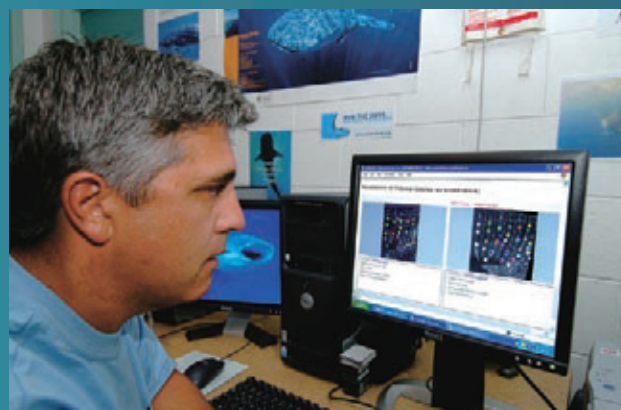
世界最大の魚類であるジンベイザメは、その巨体に似合わないやさしい性格と大海を悠々と泳ぐ姿で、世界中の人々を魅了し続けている。しかし、その生態は闇に包まれ、目撃された個体数も少なく、回遊ルートや繁殖場所などもほとんどわかっていない。この事実は、乱獲や生息地破壊が原因で絶滅が危惧されているジンベイザメの保護活動を極めて困難にしている。

昨年ロレックス賞を受賞したオーストラリアの海洋生物学者、Brad Norman は、ジンベイザメの生息状態をつかむために世界中のダイバーの力を借りた活動を展開している。時に体長 12 メートルを超すジンベイザメの灰色の背中には星空のように無数の白い斑点があるが、胸ビレの付け根の模様だけは人間の指紋のように個々に特有のパターンをもつ。ダイバーがジンベイザメに遭遇した際、この部分の写真を撮り、Norman らが展開するウェブサイトを送ってもらう (<http://www.ecocean.org/>)。写真は自動的にデータベースに入れられ、星座観測技術に応用した高性能の画像認識システムによって、過去に撮られた写真と同じ個体があるか判別される。ジンベイザメは世界中の暖かい海を回遊するといわれているので、同じ個体が違う大陸付近の海で目撃される可能性が高い。研究者は、これらのデータを分析することによって、野生のジンベイザメの数や分布の理解を深めることができる。

「私たちの研究は最新鋭の技術を使っていますが、科学者だけではなく、一般の人々も積極的な保護・監視活動の役割を担うことができるという点で、とても意義があると思います」と Norman は話す。

西オーストラリアの海沿いの町パースで生まれ育った Norman は、小さいころから海に興味をもち、大学でも海洋学を専攻した。Murdoch 大学で海洋保全研究を進めるかたわらジンベイザメに魅せられ、自身の研究のために撮った写真を載せ、個体を識別するためのライブラリーを 1995 年に立ち上げた。2000 年に非営利団体「ECOCEAN」を設立、ライブラリーを「the ECOCEAN Whale Shark Photo-identification Library」と名づけ、一般の人が参加できるようにした。しかし、研究は目視による斑点の比較や手作業での膨大なデータ整理に頼っていた。自分の研究手法に限界を感じていたころ、Norman の熱意は異分野の研究者の力強い協力を招いた。

コンピュータのプログラマーである Jason Holmberg は、大量の写真を自動処理できるデータベースを作り、天文物理学者の Zaven Arzoumanian は、ハッブル宇宙望遠鏡で星座のパターンを観測するのに使われるアルゴリズムを改良し、ジンベイザメの模様を特定す



る技術を編み出した。3 人の研究結果は、2005 年に *The Journal of Applied Ecology* に掲載され¹、*Nature* にも論文のレビューが掲載された²。その後、2600 枚以上の写真を既にデータベース化し、660 頭ものジンベイザメの個体を識別してきた。

これらの活動はほとんどボランティアで、Norman は十分な研究資金を得るのに苦労してきたが、2006 年にこれまでの努力が認められた。スイスの時計メーカーであるロレックスが創設した賞「The Rolex Awards for Enterprise」の 5 人の受賞者の 1 人に選ばれたのだ。10 万ドル（約 1200 万円）の賞金は、ジンベイザメが出現しやすい海域周辺の 20 か国を今後 2 年間かけてまわり、簡単な調査や監視のしかたを地元の住民に教えるために使われる。「それぞれの地域ベースで、私がいなくても長期的に保護活動ができる仕組みを作りたいと考えています」と Norman は語る。

1. Arzoumanian, Z., Holmberg, J. & Norman, B. *Journal of Applied Ecology* 42, 999–1011 (2005).
2. *Nature* 437, 826 (2005).

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。

Aerial ambition

目標はどこまでも高く

Nature Vol.444(804-805)/14 December 2006

英国の大学から生まれた1つの企業が、小型衛星メーカーとして確固たる地位を築き、さらなる飛躍を目指している。けれども、その前途には、多くの試練が立ちはだかっている。Geoff Brumfiel が報告する。

「ミッション・コントロールセンター」などと聞くと、大勢の技術者が巨大スクリーンを注視しているNASA（テキサス州ヒューストン）のようすが頭に浮かんでくるかもしれない。けれども、ロンドン南西部にあるサリー・サテライト・テクノロジー社（以下SST社）のがらんとしたオフィスには10台ほどのデスクトップコンピュータが置かれていて、稼働中の数機の衛星のようすを静かに監視しているだけなのだ。「テレビ局のスタッフが取材にくると、ヘッドフォンをつけて忙しそうにしているところを撮りたいといわれる」と、同社のアメリカでの事業を管理する技術者のPhil Daviesはいう。「みんな、『007』映画の見過ぎなんだよ」。

がらんとしたコントロールルームは、SST社の気取らないビジネススタイルを象徴している。同社は、1985年にサリー大学（ギルフォード）の航空宇宙工学者であるMartin Sweetingによって設立されて以来、「宇宙には進出したいが、1000万ドル（約12億円）を超える出費は嫌だ」という顧客のために、重量10～100kgの小型衛星を製造してきた。

SST社の総収益は、2000年以降、大幅に増加している（グラフ参照）。「我々は、小型衛星市場が今後5年間に10億ドル規模まで成長すると考えている」と、今やこの会社の社長となったSweetingはいう。「我々は

さらにシェアを拡大しようとしている」。彼の計画によれば、2016年までに会社の年間売上高は、1億ポンド（約233億円）に達するはずだという。

小型衛星メーカーとしての成功

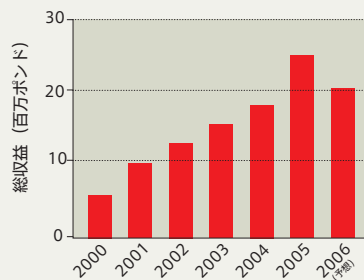
けれども、SST社の目標の前には、激化する競争、規制の壁、同社が製造する安価な衛星と釣り合いのとれた価格の打ち上げロケットの不足などの問題が立ちはだかっている。

欧州では、より大きな企業が小型衛星市場に参入し始めている。「彼らは、小型衛星が自分たちの商売を脅かそうとしていることに気づいたのだ」と、Sweetingはいう。米国では、公費で製造された衛星は米国製のロケットで打ち上げなければならないという法的規制があるために、SST社のビジネスチャンスは制限されてきた。米国製のロケットは価格が高く、打ち上げには数億ドルの費用がかかるので、安価な衛星に興味を示す顧客はいなかったのである。

SST社の当初の主な顧客は、韓国やポルトガル、チリなど、宇宙進出に遅れた国々の政府だった。こうした国々が衛星を必要とする理由はさまざまであり、遠距離通信や軍事偵察から農業管理や災害管理まで広範に及んでいる。同社は、衛星を製造するほかに、顧客企業から派遣されてきた技術者に衛星の製造法と管理法も教えている。

民間企業であるSST社は、世界に10社あまりある小型衛星メーカーの中でも成功した部類に入っており、今日までに24機の衛星を打ち上げている。ライバル企業には、エアロスペース社（バージニア州アッシュバーン）やスペースディブ社（カリフォルニア州ボウエイ）などがある。ハーバード大学宇宙物理学センター（マサチューセッツ州ケンブリッジ）の天文学者であり宇宙産業問題の専門家であるJonathan McDowellは、「SST社の特色は、効率のよさと実務主義にある」という。同社は、衛星のカメラコンポーネントやコンピューターディスクドライブ、プロセッサに既製品を使い、デザインを標準化することで、わずか12か月という短期間で顧客の要望に応じた新しい衛星を製造している。こうした衛星は、シンプルで、信頼度が高く、互いにほとんど見分けがつかないくらいよく似ているが、かなり高度な仕事をこなすことができる。

サリー・サテライト・テクノロジー社の年間売上高の推移



これまで小国を顧客としてきた SST 社は、ここ数年、欧米の大きな顧客の獲得に乗り出している。例えば 2003 年には、欧州の全地球測位システム「ガリレオ」の試験衛星の製造を請け負った。SST 社が製造した GIOVE-A 衛星の重量は 600kg を超えており、同社の基準からすれば巨大である。同社は、フランスの遠距離通信企業であるアルカテル社や、米国空軍の衛星も製造している。「我々の衛星の性能が向上するにつれ、顧客はどんどん真剣になってくるのだ」と Davies はいう。

とはいえ、大きな市場への移行は、SST サテライト社を厳しい状況に追い込んでいる。同社の株式の 80% を所有しているサリー大学は、今やかなりのハイリスク企業に成長した同社を譲渡しようとしており、新しい民間投資家を見つけるよう要請している。2005 年には、カリフォルニアを本拠地とするスペース X 社の設立者である Elon Musk が株式の 10% を取得した。2007 年の末までに、ほかの投資家も参入してくるだろうと Sweeting はいう。

手ごわいライバルの出現

重点分野の移行により、SST 社は、より有力で資金力のあるライバルをもつようになった。例えば 2005 年には、欧州宇宙機関 (ESA) の小型地球観測衛星を製造する契約をめぐってアストリウム社と競争し、これに敗北している。アストリウム社は、エアバス社の親会社として知られるフランス・ドイツ系企業の欧州航空防衛宇宙企業 (EADS) の宇宙部門である。大企業がやすやすと自社よりも安い価格で入札してくることにに対して、Davies は不安を感じている。「アストリウム社は 3 機の衛星を 8600 万ユーロ (約 135 億円) で供給しましたが、これはふだんなら 1 機分の価格です。今回にかぎって、なぜそんな安値で供給できるのか、我々にはさっぱりわからない」



天まであがれ：GIOVE-A ナビゲーション衛星の製造により、サリー・サテライト・テクノロジー社は新たな一歩を踏み出した。

と彼はいう。アストリウム社の広報担当者である Jeremy Close は、会社が不当な安値をつけたことを否定する。彼は ESA がもっぱら技術力の高さを基準にして契約したと主張する。「価格など関係ないのだ」と彼はいう。

ワシントン DC の近郊に本拠地を置くコンサルタント会社タウリグループの宇宙評論家である Carissa Christensen は、「米国連邦政府が小型衛星の開発に本気になってきたことで、競争はさらに激化するだろう」と話す。

例えば米国国防総省は、特定の関心領域を監視するため (つまり、ほかの衛星をスパイするため) にカスタマイズされた衛星を迅速に打ち上げる能力が欲しいとっている。国防総省の諸部門が小型衛星の開発に大規模な投資をしようと決定すれば、「SST 社を現在苦しめているライバルよりもはるかに強力なライバルが誕生することになるだろう」。

SST 社はこれまで、米国に進出しよ

うとして苦戦してきた。苦戦の主な原因は 1988 年の法律にあるが、そのほかに、米国が厳しい輸出管理規制を行っているため、衛星を発注しようとする米国政府内の顧客が、外国の請負企業と技術的要請について直接話し合うのが困難であるという事情もあった。

そこで SST 社は、米国内で協力関係を結ぶことで、世界最大の衛星市場に深く食い込むことを目指している。同社は 2006 年 4 月に、英国の防衛企業である BAE システムズ社の米国支社との間でマーケティングに関する取り決めを行った。Davies は、これにより米国の顧客との間に良好な関係を築くのに必要な接点と法律知識が得られることを期待している。また、SST サテライト社への投資を始めたスペース X 社は、同社が米国で使うための安価な打ち上げロケットを開発しようとしている。SST 社は、こうした動きが米国市場に風穴を開けることを期待している。 ■

Grey matters

動物実験をめぐる 賛否のはざまで

Nature Vol.444(808-810)/14 December 2006



D. ALLISON

動物実験について多くの研究者は、研究者ならではの微妙な意見をもっている。しかし、この問題取材した Emma Marris によれば、研究者たちの声が表に出てくることはめったにないという。

英国の新聞『ガーディアン』の読者の多くは、最近掲載されたオンライン記事に驚いたことだろう。その記事では、神経科学者でありジャーナリストの Sophie Petit-Zeman が、彼女自身のようにして動物実験擁護論者であると同時に肉食主義者でもいられるかを説明しているのだ¹。しかし、読者がみな同じ点に驚きを感じたわけではないはずだ。多くの議論で意見が絶望的なほど大きく分かれてしまうような問題について、Petit-Zeman のようにややこしい立場の人がいることに驚いた人もいただろう。また、彼女の立場ではなく、そうした意見が公に表明されたことに驚いた人もいただろう。

Nature は、生物医学分野で研究を行っている読者にアンケート調査を行った。この結果、動物を使って研究している多くの研究者たちが、この問題に

複雑な見方をもっていることが明らかになった。しかし、研究者たちがこうした気持ちを自発的に表に出そうとすることはめったになく、また、そうするよう背中を押されることもめったにない。その理由の一部は、まさに過激な動物の権利運動家たちに対する恐れのためだ。また一部には、この問題を取り巻く対立ムードが間接的に影響している。少なくとも一部の研究室では、公式見解を台無しにすることのないよう、問題の微妙な部分については黙っているようにという圧力を研究者たちは感じている。

彼らは動物実験に関する倫理観をどうやって一致させているのだろうか。Nature は、生物医学分野の読者に対するアンケート調査（詳細な結果は <http://www.nature.com/news/specials/animalresearch> を参照）を

実施すると同時に、研究の最前線にいる何人かの研究者の生の声を聞こうと試みたが、多くは辞退した。普通の研究者は報道機関に自分の研究について話すことを好まないものだ、といっても差し支えないだろう。その一方で、話そうという気持ちがあるだけでなく、話すべきことをたくさん抱えている研究者たちもいる。各研究者が自分なりに体系化した「倫理の方程式」をもっていることは、すぐに明らかになる。しかし、単純に賛成・反対に分かれての議論は、研究者個人の考えを伝えることや、動物実験について冷静に話し合うことを極めてむずかしくしていることもわかった。

では、研究者に会ってみよう。Tom Burbacher は、ワシントン大学（米国シアトル）で霊長類の幼少個体を扱う研究室を運営しており、胎児期の環境汚染物質への暴露が認識機能に及ぼす



影響の実験台としてマカクザルを使っている。Burbacher は自分の研究については公に話すものの、動物実験全体を擁護することはない。彼は、こんな大規模で抽象的な概念を擁護することは時間の無駄だと考えているのだ。しかも、明らかに人間の健康に直結している彼の研究は、脳の機能マッピングや、どのように視覚機能が働くのかを調べるといった一部の茫漠とした研究よりも、動物実験の弁明のほうが容易だと感じているという。「動物実験の弁明がむずかしい基礎研究も多く行われている」と彼は話す。

Burbacher は、学部学生のときに毒物学にかかわり始め、それ以来、動物を使って研究してきた。「私は、ある研究で、動物が生まれたときから 20 歳を超えるときまでを追跡した。私は彼らとともに年を重ねたのだ」と話す。そ

して動物たちは殺された。「それはつらい経験だった」。Burbacher は、動物を使った研究でときによって被る精神的な痛みについて語ることをためらわない。その痛みは二重のものだという。「ときどき、我慢ができなくなる。研究をやめることも何度か考えた。動物の死は急性のストレスだが、動物の権利運動家たちは慢性のストレスだ」。

置き去られた微妙な議論

カナダのバンクーバーにあるブリティッシュ・コロンビア大学動物飼育センターの Chris Harvey-Clark センター長は、研究者たちよりも密に動物たちと日々触れ合っており、アシカからハチドリ、トランスジェニックマウスに至る実験動物を相手にしている。Harvey-Clark は同じような立場にいる多くの者と同様、かつては個人開業の

獣医だった。そして彼は今も正真正銘の動物好きであり、かつての客のペットに対するよりも、センターにいる動物たちに対するほうが気持ちのうえでは親しみを感じることが多いという。彼は動物たちの避けられない死に直面しながら、人間性や思いやりの気持ちを失わぬよう努力しなければならない。「いったいどうやれば、動物たちを『消費』しているのだという事実とさいなまれずに、彼らの世話を続けられるというのか」と彼はいう。

Harvey-Clark の答えは、大昔からの人間と動物界のかかわり合いが「苦痛と死」という言葉で表されるという事実にある。つまり、肉食動物は人間を餌食にし、人間は野生動物や家畜を殺して食用にしているという事実だ。「人は、いずれ食料もしくはデータにすることを承知のうえで、動物を育て世話をすることができるものなのだが、これを理解するのは、畜産の経験でもないかぎり困難だ」と彼はいう。

こうした考え方をもち科学者は多く、その 1 人に、臨床獣医であり研究者である Cynthia Otto がいる。彼女は米国の連邦緊急事態管理局 (FEMA) に協力する災害現場獣医でもあり、2001 年 9 月 11 日にマンハッタンで起こったテロ攻撃の直後に捜索救助犬の世話をした。また、ニューオーリンズでハリケーン「カトリナ」の襲来によって取り残されたペットの捜索にも参加した。彼女は研究でウサギを殺すが、獣医としてペットのウサギの治療もする。「私は肉も食べる。私は動物たちが自分に与えてくれるものに敬意を払っている。もし、私が動物のいかなる研究にもかかわろうとしなかったら、肉を食べたり革製の服や靴を身につけたりもしなかっただろう。しかし見方によっては、それでは敬意が足りないように思う。動物たちが私たちに与えてくれるものを利用しないわけだから」と Otto は話す。

ところが、どういうわけか、こうした微妙で複雑な議論はどこかへ消え

去ってしまったようだ。ある英国の研究者は「自分の研究について話すときの無難な答えは、がんを治そうとしているとか、早産の赤ちゃんを救おうとしているとかだ。知的好奇心を満たすために脳のある部分が何を行っているのかを調べている、などとはまずいわない」と話す。彼はラットを使って研究しているが、動物の権利運動家に狙われるのが心配なので名前を出さないでほしいという。彼はこう話す。「あらゆることをできるかぎりうまくいい繕わなければならない、そして徐々に嘘に近づいていく、と動物実験の擁護論者たちが話しているのを聞いたことがある。彼らは、すべての動物実験が何らかの治療法を目指したもので、すべての実験が役に立っているという。我々研究者はもっと正直になるべきだ。多くの人々はそれでもまだ支持してくれるだろうから」。

研究者の意見を聞き出す

この匿名希望の研究者によると、一部の科学者たちは実験で実際には感じていない苦悩までも口に出している、という。「よく耳にする話は、研究者たちが

夜も眠れないほど罪悪感に苦しんでいるが、がん治療を研究するために実験をしなければならない、というものだと思う。しかし実際のところ、私は実験でラットを使うことに罪悪感を抱いても、夜はちゃんと眠れる。私たちは、実験に使う動物の数をできるだけ少なく抑え、彼らの苦痛ができるだけ小さくなるよう最善を尽くしている。罪悪感で夜も眠れないような研究者の姿が流布されてきたのは、動物の権利運動家の存在ゆえだ」とこの研究者は話す。

研究者の沈黙、ひいては混乱が最も根深いのは英国かもしれない。英国における過激な動物の権利運動家たちの活動の歴史はおそらく最も長く、最も破壊的である。神経科学者である Colin Blakemore は、長い間、動物の権利保護を唱える過激派たちの標的となっており、現在は医学研究会議（MRC、本部・ロンドン）の会長を務めている。Blakemore によれば、研究者のこうした沈黙戦略は誤っているという。「我々研究者は、よそよそしくて話しながらないと受け取られており、そのため、何か隠しているのではないかと思われる」と話す。彼は、大学に働きか

けて大学教員が自分の仕事について率直に語れるようにしたり、動物実験の公的監視の強化を支援したりしてきた。

ただし Blakemore は、研究界の内部には、研究で動物を使うのに必要となる事務的な仕事に関する不満はあるものの、動物実験に関する隠れた議論や内省の姿勢があるとは必ずしも考えていない。「それは休憩室でいつも話されている話題ではない」と彼は話す。その一方で、彼自身もはっきりしない微妙な部分を抱えている。彼は一貫して動物実験を擁護しているが、動物を直接使う研究をしなくてすむ立場になったことに安堵もしている。「動物を使う時間が長くなるほど、心の平安が乱されていった」と話す。それは研究者の世界ではちっとも珍しくない感情だ、と彼は考えている。「代わりの方法が使えるのなら、それを歓迎しない科学者は 1 人もいないと断言しよう」。

Burbacher は、自分の研究の詳細とその恩恵について話すことが最善策だと考えている。動物の権利運動家たちは、Burbacher の自宅の玄関前に黒いバラを残し、研究室に大勢で押しかけたが、彼は話しかけを続けている。「実



験室で何が行われているかを知る人が増えるほど、事態はよくなる」という。しかし、初めての人たちと会うときは、さすがに彼も慎重である。「もし、よく知らない人たちであれば、『私は講義をしている人間です』ということにしている。相手に対して動物の話題を持ち出すべきかそうでないかは、たいがい見分けられるものだ」。

動物保護団体「ヒューメインソサイエティ」(本部・ワシントン DC) の動物実験問題担当の副代表である Martin Stephens は、議論の二極化のせいで、動物実験の削減に賛成する同組織などの主流派グループと研究者たちとの意見交換がなかなか進まないと考えている。「対話がありません。両者ともに相手をステレオタイプに考え、悪しきものとみなしている」と彼は話す。Stephens によると、ヒューメインソサイエティは、双方の関係者で構成する秘密グループを共同設立したという。このグループは動物実験問題について話し合い、対立を一部でも解消するための会合を開いている。

「私自身の経験では、研究者の世界でも意見はさまざまだ。動物のことを非常に気にかけ、現状を変える力になってくれる研究者もいれば、ものごとを白黒はっきりさせる見方をし、私のような人間には我慢ができないという研究者もいる」と Stephens は話す。そしてまた、1つの立場に不当に固執するのは研究者にかぎったことではない。Stephens の話では、ヒューメインソサイエティにしても政治的理由からときには破壊的な過激派とひとくくりにされたことがあるという。「個々の研究者をあたれば、それぞれが異なるグループに属し、異なる見方を持っていることを認めるだろう。しかし、世間一般の受け取り方は、研究者はみな同じ意見だというものだ」と彼はいう。

Nature では、さらに詳しく状況を知ろうと、生物医学分野で働いている 1682 人の読者に無記名アンケー



トを行った。その結果は、ここで引用した意見を支持するものだった。つまり、動物実験については研究界の内部にも多様な意見があり、多くの回答者が科学者と一般市民との対話をもっと増やすことを求めている。回答者のうち 70% を超える多数が、動物の権利運動のせいで、個々の研究者が動物実験について微妙に異なる見方を公に口にすることがむずかしくなったと考えている。一部の回答者は、動物実験をどのように行うのがよいかという科学界内部での議論が、動物の権利運動によって妨げられているとコメントしている。

Otto も、動物実験をめぐる議論がやりにくくなったことを実感しているという。Otto は、専門分野である敗血症の研究で、動物モデル使用の代替法を開発しようとしている。彼女は、疾患モデル動物を使わないようにして、獣医としての仕事の中で本当に病気になった動物を相手にしたいと考えている。病気の動物はモデルとしてもよりよいはずだと思っているが、その動機の一部は個々の動物を助けることだ。「自然にかかった病気は、マウスやラットに何かの病気を起こすよりも、人体で起こっていることをよりよく反映し

ている可能性がある。自然にこうした重篤な感染症にかかったペットには治療が必要であり、私たちが動物を病気にかからせているわけではないので、もっと責任感をもって治療に臨めるだろう」と彼女はいう。

Otto は、変化を好まない研究者たちから自分の提案に対する意見を聞き出すのに苦労したと話す。彼女だけではない。ロンドン大学公衆衛生学・熱帯医学大学院 (LSHTM) の疫学者 Ian Roberts は、『ブリティッシュ・メディカル・ジャーナル』に掲載された最近の論文で、すべての動物実験は人間の臨床試験のように事前に臨床的有用性の体系的な検討を行うべきだという考えを提案した²。彼と共著者たちはその主張の妥当性を説明するため、意義の疑われる動物実験が多数あると主張するいくつかの報告を調べた。

この論文に対しては、Blakemore からのもの³を含めて、よく考え抜かれた反対意見があったが、いくつかの怒りの反応も両陣営から上がった。「議論をよりむずかしくしている問題の 1 つは、動物実験に関しては意見があまりに二極化し過ぎていて、方法論に関してまともな議論が全然できないという

ことだ。私たちがこの論文を発表したとき、動物実験反対論者であるとして非難され、同時に動物実験擁護論者だとも非難された。総論的な議論は、人々を感情的にして理性を失わせるようだ」と Roberts は話す。

分別のある対応

では、いったい何ができるのだろうか。Stephens が参加しているような討論グループは、とりうる 1 つの解決策だ。英国を拠点とする独立のフォーラムであるボイド・グループ (Boyd Group) も、その 1 つである。この組織は、動物実験について信頼できる情報をまとめたり、異なる考えをもつ人々を引き合わせたりする目的で、1992 年に設立された。設立にあたったのは、Blakemore と動物の権利運動家 Les Ward である。Ward はその後、このグループの活動が行き詰ったと述べてグループを離れた。しかし、彼はこのグループは、穏健な運動家と穏健な科学者が同じ席についてともに話し合う数少ない場所の 1 つであり、その点では有用だったと考えている。

「私は、動物実験問題の終焉を見届けていると思っているが、それが一夜にして起こると考えるほど愚かではない。人はだれでも自分の見解を変えることに前向きになるべきだ」と Ward は話す。研究者たちが彼を探し出して研究に伴う良心の呵責について話そうとすることはめったにないが、彼が研究室を訪れると研究者たちが群がってくる、と Ward はいう。「私には、彼らが話したがっていることがはっきりわかった。彼らはおびえていたが、おびえを訴えることは、話すべきことからの一種の責任回避でもある」と話す。

もう 1 つの包括的な取り組みは、いわゆるナフィールドレポート⁴である。この報告書は、英国の民間団体「ナフィールド生命倫理審議会」が、この問題をめぐる議論の現状について 2 年をかけてまとめたものである。ロイ



マウスの巨大都市：ノックアウトマウスの倉庫は遺伝子とその機能についての貴重なデータを供給する。

ヤルソサイエティ (英国学士院) の動物実験問題グループの議長である Barry Keverne は、これが最もよくまとめられた報告書の 1 つだったという。「法律家、歴史家、哲学者、科学者、動物実験反対論者など、社会のあらゆる立場の人が参加し、膨大な量の文書を作成した。ほとんどの科学者は、この問題に心から関心をもつ人々と公然と議論することにまったく異存がない」と彼は話す。

ヨーロッパでは、穏健な取り組み方が英国よりも浸透している。Vera Rogiers はベルギーのブリュッセル自由大学の毒物学者で、「動物実験代替法への欧州統一見解」(ECOPA) の議長だ。ECOPA は、動物実験の代わりとなる研究方法の開発を促進している。英国を除くヨーロッパでは、この問題の議論は英国よりも「健全」だと Rogiers はいう。「多くの人たちは対話と代替法開発の必要性をとてもよくわかっている。私たちは、対話のテーブルについて人たちに 3 つの R を受け入れるという声明書に署名してくれるよう頼んでい

る。つまり、reduce (動物実験件数の削減)、replace (代替法による置き換え)、refine (実験法の洗練・改良) だ。通常はテーブルについて人がみな、何の問題もなくそれを受け入れてくれる」と彼女は話す。

古い格言がここにも当てはまるかもしれない。動物実験については思慮深い人の数だけ多くの見方がある、と。しかし、強硬な権利運動家と強硬な擁護者の間でピンポンのように議論が続く限り、その中間にいて意見を聞いてほしいと立ち上がったものは球をぶつけられて痛い思いをする恐れがある。■

Emma Marris はワシントン DC を活動拠点とする *Nature* のレポーター。

1. Available online at: http://commentisfree.guardian.co.uk/sophie_petizeman/2006/08/confessions_of_a_vegetarian_vi.html.
2. Pound, P. et al. *Br. Med. J.* **328**, 514-517 (2004).
3. Blakemore, C. & Peatfield, T. *Br. Med. J.* **328**, 1017-1018 (2004).
4. Ethics of Research involving animals by Nuffield Council of Bioethics (May 2005). Available online at: http://www.nuffieldbioethics.org/go/ourwork/animalresearch/publication_178.html.

ロボット大国日本の新潮流

三森八重子（科学技術政策研究所）



スウェーデン・カロリンスカ病院でアザラシ型ロボットのパロを抱く小児患者。

産業技術総合研究所

人と共存し、人の暮らしをサポートするロボットの開発が進んでいる。病人の心を癒すアザラシ型ロボットや、歩けない人を歩けるようにサポートするロボットスーツなど、最先端の研究現場取材した。

鉄腕アトムは世界のアニメ市場を制したが、日本の産業用ロボットは常に世界の最先端に君臨し、世界市場を制してきた。しかしここところ、ロボット業界に新たな潮流が生まれつつある。人と共存し、人をサポートする「サービスロボット」群だ。サービスロボットには、清掃ロボットや医療介護ロボット、セキュリティロボット、災害救助ロボット、軍事ロボットなど多種多様なロボットが含まれる。これらは1990年以降停滞が伝えられる産業用ロボットに代わる起爆剤となるかもしれない。

世界一の癒し効果、アザラシロボット

2006年11月下旬、韓国科学技術評価・企画院の若手の研究者13人が茨城県つ

くば市にある産業技術総合研究所を訪れた。日本の最先端科学技術を視察するのが目的だったが、そこで圧倒的な人気を集めたのが介護ロボット「パロ（paro）」だった。アザラシの赤ちゃんの格好をした癒し系ロボットだ。若い韓国研究者たちは次々にパロをのぞき込み、鳴き声に歓声をあげた。

パロを開発したのは、産業技術総合研究所知能システム部門主任研究員の柴田宗徳博士。柴田博士は「ロボットは通常、人を助ける作業をするためのもの。だが、仕事をしない代わりに人の心に働きかけ、人の心を豊かにする癒し系ロボットの開発をしよう」と決意したという。

パロは、人の身近にいない動物を模しているのが味噌だ。柴田博士は開発

にあたって4種のロボット候補を考えた。人型ロボット、ネコやイヌなど人間にとって身近な動物のロボット、アザラシなど身近でない動物のロボット、架空の動物だ。実際にネコ型やイヌ型ロボットを試作したが、これらは本物と比較しがちで、「反応が違う」「さわり心地が違う」など厳しい評価にさらされてしまった。一方、タテゴトアザラシの赤ちゃんを模したアザラシ型ロボットでは、最初から「かわいい」と評価が高く、触れ合うことによって好感度がさらに上がることを見いだした。

手にやさしい毛皮の手ざわり、澄んだパッチリとした黒い目、おしゃぶりを模した充電器。体長57cm、重量2.7kgのパロの姿形は、人を惹きつける要素を

十二分に兼ね備えている。もち主の愛撫を体中に埋め込まれた触覚センサーで感知し、「ウーウー」と愛くるしい声で鳴くが、苦手であるヒゲをさわられると、「ウーウー」と鳴きながら顔を背けるしぐさをする。顔の表情には瞬きをすることで変化があり、頭や手足が動くことで、驚いたり、喜んだり、あたかも心や感情があるように振る舞うことができる。名前を学習したり、あいさつやほめられる言葉などを理解したりすることも可能だ。そんなパロの内部には、2つの32ビットRISC（縮小命令コンピューター）チップや新型のユビキタス面触覚センサー、静穏型アクチュエーターなど最先端の技術が詰め込まれてあり、安全安心の観点からは、抗菌処理やペースメーカを装着している人のための電磁シールドを施してある。

パロは2005年3月から一般向けに販売が開始され、1台35万円（1年保証付き、3年間保障付きは42万円）という高値にもかかわらず、既に700台が売れたという。しかも、そのうちの70%が個人ユーザーだ。マンションなどに住んでいるため動物を飼いたくとも飼えない動物好きの家族や、1人住まい

で話し相手のいない高齢者など、購入者はさまざま。販売元の（株）知能システムによると、購入者の間でパロの評判はおおむねよく、アンケートで30%弱が「非常に満足している」、50%弱が「満足している」と応えているという¹。

柴田博士はパロを病気の症状を和らげたり、精神状態を安定させたり、不安感を取り除くといった癒し効果によるセラピーに利用したいと考えている。そのために、病院や施設で患者などにパロを実際に使ってもらうことで、その効果を科学的に立証してきた。例えば、2000年には筑波大学附属病院小児病棟にパロを導入し、「退院の意欲が向上した」「会話が多くなった」「夜泣きをしていた子がパロと一緒に寝ることで、安心して眠れるようになった」などの心理的效果を確認した²。また、つくば市の介護老人保健施設にパロを導入し、「車椅子や杖をついて、パロのいる場所に近づいてくる」「気分がよくなる」「うつが改善した」「尿検査でストレスの低下が計測された」などの介護効果がみられた³。これらの実証実験の成果が認められ、2002年、世界で最もセラピー効果のあるロボットとしてギネス世界記録に認定された。



介護老人施設のお年寄りたちもパロを気に入った。

柴田博士の夢はさらに広がる。日本だけで患者が200万人いるといわれる認知症患者をもターゲットとしようとしているのだ。現在、認知症患者の介護には、1人あたり年間400万円の費用が使われている。平均の残命期間を8年とすると、3200万円の介護費用がかかる。パロにより、認知症を予防したり、認知機能を改善したりすることで、この莫大な介護費用を減らすことができる、と柴田博士は考える。木村クリニック、（株）脳機能研究所と共同で行った研究では、パロと触れ合った後、被験者14名の認知症患者のうち7人に、脳機能状態の改善がみられた。パロとの身体的な触れ合いによる連想記憶の想起が、脳を活性化するのである。

パロは既に海外デビューを果たしている。スウェーデン、英国、韓国、イタリア、ブルネイの5か国の科学博物館などでパロを展示し、印象についてアンケート調査を行ったところ、国ごとに文化や宗教はそれぞれ異なるにもかかわらず、どの国においても高く評価され、好意的に受け入れられた⁴。その理由を「アニマルセラピーが日本より海外のほうが発達していること、またペットの社会的な地位が海外のほうが高いせいではないか」と柴田博士は分析する。既に、10か国以上で、パロによるセラピーが実施され始めている。

世界初の歩行を助けるロボットスーツ

2006年11月オランダで開催された福祉関連の国際シンポジウムの会場で、小児麻痺患者が突然歩き始めた。この患者



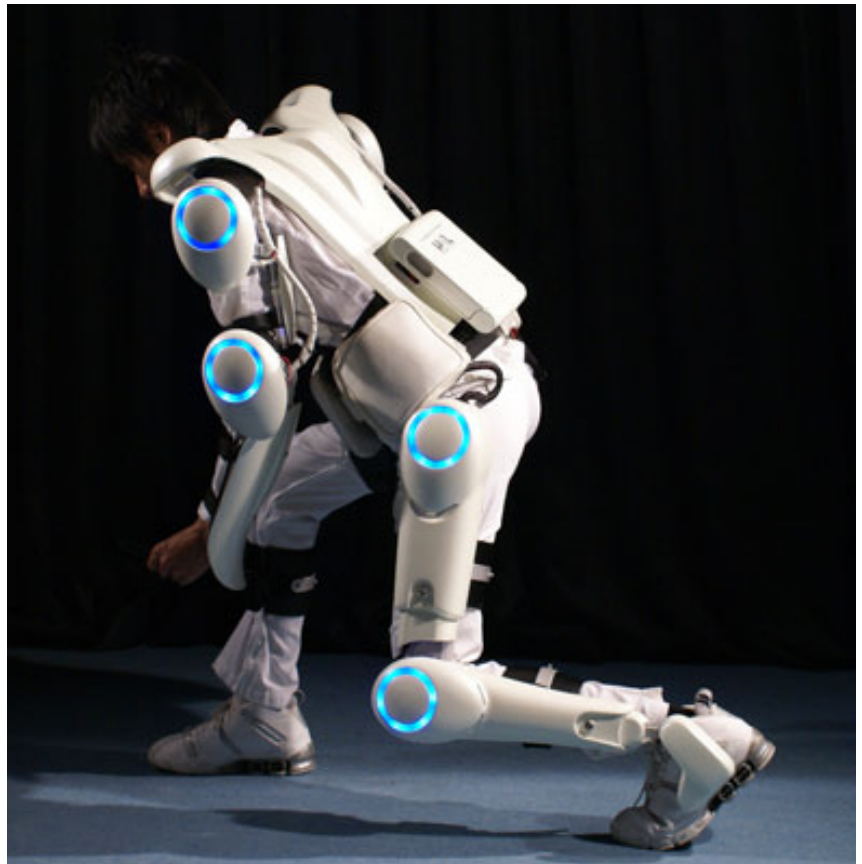
産業技術総合研究所の柴田宗徳主任研究員は、人の心に働きかける癒し系ロボットを作りたいとの思いから、パロを開発した。

は、生後 11 か月でポリオウイルスに感染し、それ以来、左側の足をまったく動かせなくなっていた。患者が歩行支援に使ったのは、筑波大学大学院システム情報工学研究科の山海嘉之教授が開発した「ロボットスーツ HAL-5」だ。HAL (Hybrid Assistive Limb) は、装着した人の身体機能を拡張、増幅、強化するロボットだ。足腰の弱った人の立ち座り、階段の上り下り、重たい荷物の持ち上げなどをはじめ、リハビリテーション、重作業の支援、災害現場でのレスキューなど広く応用が可能である。2005 年に開催された愛知万博にも出品されたので、目にした人も多いかもしれない。

人間が足を動かそうとすると、脳から運動ニューロンを介して筋肉に神経信号が伝わり、筋骨格系が動作するが、その際に微弱な生体電位信号が皮膚表面に漏れ出してくる。HAL は、装着者の皮膚表面に貼り付けられた電極でこの信号を読み取り、モーターを制御して、装着者の筋肉の動きと一体的に関節を動かす。人間が足を動かそうとするよりも、一瞬早く筋肉を動かして歩行を支援するため、装着者に負担がかからない。「信号をセンサーがキャッチしてから、モーターが動くまでの時間は、実際に筋骨格系が動くよりも速いため、動作の前に機械が人間を動かすことになる」と山海教授は説明する。全身一体型の重量は 21kg あるが、HAL のフレームに装着者が乗る形になるため、重たく感じることはない。

山海教授は 1992 年から HAL の基礎研究を始め、1995 年から試作機の開発に着手した。最新の HAL-5 には、新たに「片足版」も開発されている。脳卒中で麻痺が残った患者の場合、両足麻痺より、片足だけの麻痺の人が圧倒的に多いためだ。脳卒中による片足麻痺の患者は、全国で約 120 万人にのぼる。

山海教授は「HAL の実用化には『産・官・学・民』の 4 者の共同が欠かせない」との持論を唱える。「民」とは利用者のことで、障害をもった人や病人、あるいは重作業支援やレスキューで使



歩行を助けるロボットスーツ HAL-5。2006 年グッドデザイン賞も獲得した。



2005 年、首相官邸での総合科学技術本会議にて、HAL-5 を披露した筑波大学の山海嘉之教授（写真中央）。

用する場合は健常者が相当する。山海教授は民の需要を把握し、民を巻き込んだ開発を進めるため、関係省庁、大学、企業、行政のみならず、医師や理学療法士、法律家、倫理学者、社会学者、経営学者などの専門家やユーザーからなるコンソーシアムを組んでいる。従来の義足と異なり、HALはアクティブに機能し、しかも「歩けなかった人を歩けるようにする」という治療行為が伴うため、新たなガイドラインの策定が必要だと考えているからだ。

山海教授は、HALを医療機器としても販売する予定だ。医療機器とするには厚生労働省の認可が必要で、前提条件として一連の臨床試験が必要とされる。そのため2006年12月から、筑波大学附属病院などいくつかの病院で実際にHALを患者に使ってもらい、申請に必要なデータを取り始めている。

一方、山海教授はHALの製造販売のためのベンチャー企業「CYBERDYNE（サイバーダイン）株式会社」を既に立ち上げており、つくば市に研究開発センターと製造工場を新たに建設する予定だ。2007年秋には、年間400～

500台のロボット製造ラインを立ち上げ、1年以内に生産を軌道に乗せる。その後は、需要に応じて生産施設を拡大していく予定だ。事業計画に従って開発・生産を展開していくが「年間数万台にするにも現段階は重要だ」と山海教授はいう。価格は1台当たり100万～200万円ほどになるとみられている。海外市場も積極的に開拓していく計画で、2007年3月には福祉国家オランダに欧州拠点を開設する。2007年10月には北米拠点を開設する計画である。

山海教授はサイバーダイン株式会社の株式公開（IPO）を視野に入れている。既に2006年9月に第1回の第三者割り当て増資を行い、ベンチャーキャピタルや証券会社、保険会社などから無議決権株式のみで3億9000万円を調達した。第2回の第三者割り当て増資を2006年12月から2007年2月に行う予定だ。今後は製造業などとの提携も考えている。現在、株式公開を目指して幹事会社を絞り込んでいるところだ。山海教授の生み出したロボットスーツは技術的に世界初のものだが、知の創造とその実用化の間に広がる「死

の谷」（注1）を乗り越え、支援ロボットをビジネス化するのも世界初の試みといえそうだ。山海氏の夢は広がる。

ヒューマノイドから家電ロボットまで

千葉工業大学未来ロボット技術研究センター（fuRo）の古田貴之所長は、科学技術振興事業団（現・科学技術振興機構）ERATO北野共生システムプロジェクトでつくったヒューマノイドロボット「morph（モルフ）」シリーズの開発で有名だ⁵。

morph 3は全長38cm、重量2.4kgの小型ヒューマノイドロボットで、ロボットらしくならぬ華麗な動きで注目を集めた。138個のセンサーと13個のコンピューターが埋め込まれ、分散制御により軟らかい動きを実現する。空手の突き、バック転、受身も可能だ。さらにmorphシリーズの人気を高めたのがその美しい身体デザインだ。ヒューマノイドロボットに通常ある外装カバーがなく、機械の筋肉ともいえるモーター・モジュールがむき出しになっている。骨格となるフレームはジュラルミン製で、胸部にあるメインCPUのほかにサテライトCPUが全身に配置されている。

しかし、古田博士は「ヒューマノイドロボットが私のロボット研究の最終目標ではない」ときっぱりいう。これらは、あくまで技術開発のプラットフォームであり、デバイスの評価のためのテストベッドだというのだ。古田博士は、2003年6月に千葉工業大学にfuRoが開設されると同時に、北野共生システムプロジェクトのメンバーを引き連れてやってきた。それは「国の研究機関ではできないことを'大学'でやってみたかったから」と説明する。

fuRoに移って最初に手がけたのが車型ロボット「ハルキゲニア」だ⁶。ハルキゲニアはプロダクトデザイナーの山中俊治氏と、日産自動車の子会社であるクリエイティブボックス社の3者による共同で開発されたもので、3つの機能（ステアリング、リフティング、スウィング）を兼ね備えた8本の足をもつ。8本のう



千葉工業大学未来ロボット技術研究センターの古田貴之所長。向かって左側がヒューマノイドロボットのmorph3で、右側が車ロボットのハルキゲニア。

ち4本で動き回り、残りの4本が触覚として働くため、例えば段差を乗り越えることができる。あるいは、その場でクルクルと回転したり、横にスーッと滑ったりすることもできる。「車が開発されてから100年たっているのに、車はちっとも進化していない。前後に動くことしかできない。その壁を破りたかった」と古田博士は開発の動機を話す。

古田博士のロボット作りのモットーは、「人の役に立つロボットを開発すること」だ。それを機軸にmorphやハルキゲニアのほかにも、これまで多くのプロジェクトを手がけてきた。例えば、ラジオメーカーのフタバと共同でホビー用ヒューマノイド、通称「チビモル」を開発した。チビモルは23cmの小型ヒューマノイドロボットだ。商品化はまだだが、2006年に静岡で開催された「ホビーショー」で発表したところ、20軸をフルに使った軟らかい動きで観客を魅了した。

また、J-Sip株式会社とはロボットやあらゆる家電製品を操作できるウェアラブルコントローラ「Windロボットシステム」を開発中だ。これは、ロボット制御用チップの開発を目指したプロジェクトである。ロボットを操作する人がこのチップ（WINDチップ）を複数個装着すると、WINDチップどうしが連携し、操作者の動きを検知。操作者は、身振り手振りで家電を操作することができるというものだ。既にフェーズⅠ研究は終了し、現在はフェーズⅡへと進んでいる。ほかにも、現在は、外部団体との共同開発プロジェクトが7つ同時進行だという。

さらに、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が推進している「次世代ロボット共通基盤プロジェクト」にも参画している。このプロジェクトは、ロボットに不可欠な基礎技術（センサー、分散制御装置、モーター駆動装置など）の標準化を目指した活動である。古田博士は、産業技術総合研究所や慶応大学、J-Sip、大日本印刷、東芝などとともに「運動制御用モジュールの開発」グループのメンバーとなっている。

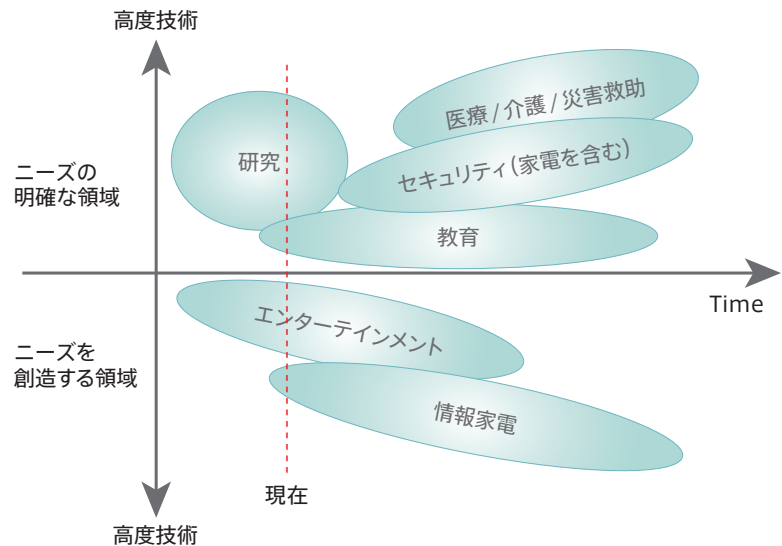


図1 古田博士の考えるロボット開発のロードマップ。今後は医療や介護、災害救助ロボットが伸びると考えられる。

このように、多くのロボット開発を手がける古田博士であるが、中学生のころ病に伏し、一時期車いすの生活を強いられた。幸いにも現在は完治しているが、当時、身の回りで多くの死に出会い、「生きているかぎり、やりたいことをやろう」と思うようになったという。大病を克服した古田博士のロボット開発への執念はものすごく、一旦ロボットの開発に入ると不眠不休で仕事を続ける。集中した作業のおかげでmorphはたった1か月、ハルキゲニアも3か月で完成した。

商品化への「死の谷」を乗り越えて

日本のロボット研究を率いるこれら3人は、異なるコンセプトをもち、異なる方向を目指す。しかし、従来の「製造現場で経済の進展に資するロボット」ではなく、人とのコミュニケーションや介護医療を助けるロボットという新局面を目指すロボット作りを志向するといった意味では軌を一にする。古田博士はロボット開発のロードマップを、ニーズの需要に応じて図1のように分析している。古田博士が現在力をいれているのは「家電ロボット」だが、今後は医療や介護、災害救助ロボットが伸びるとみている。

また古田博士は、ロボットには高度な技術が必要で、技術の商品化までには「死の谷」が存在するため、ベンチャー企業にとっては商品化がむずかしい分野であると指摘する。それもあって古田博士自身は起業するつもりはない。今は多くの業種・多くの企業と協業し、ロボット市場全体のパイを広げたいと考えているのだ。

世界を牽引してきた日本の産業用ロボットだが、安い途上国労働力の普及もあり正念場を迎えている。共生ロボット市場のテイクオフは、絶好のブレイクスルーとなるはずだ。ロボットをめぐる日本の第一人者たちのさまざまな試み。これらは、現安部政権が目指す「イノベーション国家」実現のための重要なマイルストーンとなるに違いない。新たなロボット大国日本の誕生も夢ではない。■

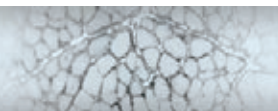
注1：研究開発の成果は、具体的な事業化・製品化に結びつかないことが多い。この研究開発と事業化の間にあるギャップを「死の谷」とよぶ。研究開発の内容もさることながら、事業化に結びつけるための施策検討が大きな課題となっている。

1. <http://paro.jp/owner.html>
2. http://www.aist.go.jp/aist_j/aistinfo/aist_today/vol03_06/vol03_06_p04_13.pdf
3. http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2004/pr20040917_2/pr20040917_2.html
4. <http://paro.jp/hyouka.html>
5. <http://www.lleedd.com/morph3/>
6. <http://www.lleedd.com/hallucigenia/concept.html>

A move in the right direction

幹細胞治療は正しい方向に進んでいる

Jeffrey S. Chamberlain



幹細胞治療は、損傷したり変性したりした組織を回復させることができる治療法として有望視されている。幹細胞は現在、血液の入れ換えに本格的に用いられており、次は筋ジストロフィーの治療で成功を収めることになりそうだ。

Nature Vol.444(552-553)/30 November 2006

幹細胞を使った技術が医療に革命をもたらす見込みが出てきて、生物学者や一般社会に期待感が高まりつつある。近年、胚性幹細胞や成人幹細胞に関する研究が進み、それと並行して、こうした細胞が特定の細胞種や組織を作り出すよう誘導する方法も解明されてきて、難治性疾患への取り組みに明るい見通しが出てきた。血液幹細胞を入れ換える骨髄移植は、今や当たり前の治療法となっているが、幹細胞の能力を活かして筋肉などの固形組織を作り出せるようになるには、まだ技術上の大きなハードルをいくつか乗り越えねばならない。Nature 2006 年 11 月 30 日号で Giulio Cossu 率いる研究チーム (Sampaolesi *et al.*)¹ は、動物モデルを使い、幹細胞を血管内へ直接注入することで筋ジストロフィーを治療できるときがいずれ訪れる可能性を示している。

Cossu たちが取り組んだのは、デュシェンヌ型筋ジストロフィーである。これは患者数の多い遺伝性の難病の 1 つで、ジストロフィンというタンパク質をコードする遺伝子の変異が原因である。この病気の治療法は長年探し求められており²、相次ぐ画期的成果のおかげで、少なくとも 5 つの治療戦略について臨床試験が現在進行中、もしくは計画段階までこぎつけている³。これらの戦略の中でも、有望株なのが幹細胞移植と遺伝子治療である。これら 2 つの戦略は、移植に先だって患者自身の自己幹細胞を遺伝子操作して、病因となっている遺伝的欠損を「修正」する手順を組み合わせることもできる。Cossu たちが研究に使ったのは、デュシェンヌ型筋ジストロフィーの動物モデルで

ある筋ジストロフィーのゴールデンレトリバー種である。このイヌの症状は、特に筋肉の消耗と若齢での死亡という点でヒトの筋ジストロフィーに非常によく似ている（同型疾患のマウスモデルではこうならない）。研究チームは、このモデルのイヌにドナー（野生型の正常なイヌ）の幹細胞か、遺伝子操作で修正した自己幹細胞のどちらかを移植したところ、その筋肉に劇的な改善がみられたのである。

この研究の後押しとなった要因の 1 つとして、その前に Cossu の研究室で新しい種類の成人幹細胞を見つけていたことが挙げられる。この幹細胞は中胚葉性血管芽細胞とよばれ、小血管から採取できる⁴。中胚葉性血管芽細胞は、あらゆる幹細胞と同じように分裂して自身を増やすことができ、しかも、筋細胞に発生するよう「前もってプログラムされて」もいる。血管内もしくは直接筋肉内へ注入した場合に筋細胞になることのできる幹細胞種はいろいろあるが^{5,6}、中胚葉性血管芽細胞にはこうしたほかの幹細胞にはない長所がいくつかみられる。この幹細胞は比較的単離しやすく、また、組織培養でも筋肉形成能を失うことなく数を大幅に増やすことができる。中胚葉性血管芽細胞を動脈内に注入すると、血管壁を通り抜けて生着し、損傷した筋細胞を驚異的な高効率で救済する⁷。こうした特性は、全身の筋肉修復を必要とする筋ジストロフィーのような疾患の治療には理想的である。

Cossu たちは今回の研究¹で、正常なイヌとジストロフィーのイヌモデルとから中胚葉性血管芽細胞を単離し、それらを培養で増やして、イヌモデルの後ろ足の

主要動脈の1つに注入した。ただし注入前に、ジストロフィーモデルのほうの中胚葉性血管芽細胞には遺伝子操作で修正を加えた。つまり、短縮型のジストロフィンであるマイクロジストロフィンをコードする遺伝子コピーと、このタンパク質を筋肉内で作るのに必要なすべての指示要素を組み込んだのである。このように短縮型ジストロフィンを使ったのは、このタンパク質がマウスモデルでよくみられるジストロフィーの病態を改善し、また、完全な長さのジストロフィンに比べてはるかに高効率で幹細胞に遺伝子を導入できる⁸からである。

ジストロフィーのイヌモデルに、正常な中胚葉性血管芽細胞か、修正した自己の中胚葉性血管芽細胞のどちらかを注入したところ、異なる多様な筋群でジストロフィンタンパク質が新たに発現するようになった。イヌモデルの脇腹にある筋肉の一部でもジストロフィンが見つかったことから、中胚葉性血管芽細胞は生着する前にかなりの距離を旅したとみられる。ジストロフィン産生の効率を上げるために、イヌモデルには1か月の間隔をおいて芽細胞を最大5回まで注入した。1頭では、芽細胞をカテーテルから大動脈へ放出した。大動脈は心臓から出ていて、ここから血液が全身に向かって送り出される。そのため、ここに放出することで、中胚葉性血管芽細胞を体のより広範囲にばらまきことができる。こうした幹細胞注入の結果は劇的なものだった。大動脈に注入したイヌモデルは、ジストロフィー症状に著しい改善がみられ、最後の注入から5か月後にはうまく歩けるようになった。そのほかのイヌはこれよりも改善の度合いは小さかった。総体的にみて、野生型ドナーの細胞を入れたイヌのほうが、修正した自己の中胚葉性血管芽細胞を入れたイヌよりも症状が改善された。ドナー細胞を注入されたイヌたちでは、一部の筋肉のジストロフィン量がほぼ正常値となり、ジストロフィンが中程度の値しかない筋肉でも、構造や機能にかなりの改善がみられた (図1)。

注入した中胚葉性血管芽細胞が正常な野生型の場合と自己の修正型の場合とで結果に差が出たことは、この方法をヒト患者へ適用するにあたって大きな意味をもって来る。幹細胞移植の場合もほかの移植と同様に、ドナーとレシピエントが免疫的に適合しない限り、レシピエントは終生、免疫抑制処置を受けなければならない。しかも、この処置が必ずしも有効とは限らないし、不快な副作用をもたらすこともある。遺伝子操作で修正した自己幹細胞を使うことで、免疫抑制の必要性はなくなるだろうから、修正自己幹細胞による治療の有効率を向上させることができれば、それに越したことはない。自己幹細胞の有効率がドナー幹細胞に

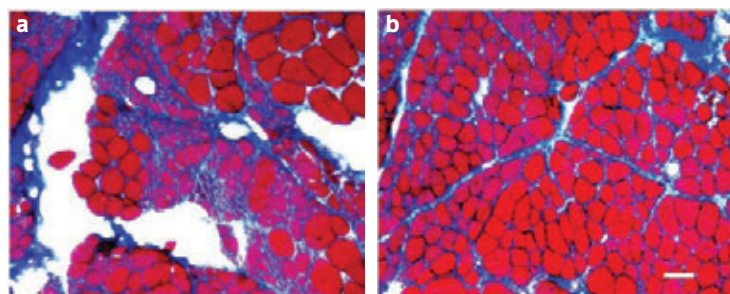


図1 イヌのジストロフィー筋の幹細胞治療¹。写真は(a) 未治療のジストロフィー骨格筋と(b) 治療後の同筋。後者は構造的により整然とし、機能的にも改善された。スケールバーは200 μ m。

比べて低くなった理由は少なくとも2つ考えられる。第一に、マイクロジストロフィンは機能面で完全ではないので、機能的活性を向上させた代替用のミニジストロフィンかマイクロジストロフィン⁹であればもっと有効率が高くなる可能性がある。第二に、ジストロフィーモデル由来の中胚葉性血管芽細胞を修正するのに今回使用されたマイクロジストロフィンは、ヒトのタンパク質だったので、イヌのジストロフィンを使用すればもっとよい結果が得られた可能性がある。

今回の Cossu たちの結果¹は、この手法の研究をヒト臨床試験に向けてさらに進めるべきであることを、説得力をもって示したものだ。ヒトでの治験に入るまで数年はかかるだろうし、その前に動物で何度も改良を重ねる必要があるだろう。重要なことに、遺伝子操作で修正した中胚葉性血管芽細胞を使う方法は、デュシェンヌ型筋ジストロフィー以外のさまざまな筋疾患にも広く応用できそうである。Cossu の研究室ではすでに、中胚葉性血管芽細胞が別の型の筋ジストロフィーのマウスモデルで筋肉の機能を改善させられることを示している¹⁰。

筋ジストロフィーには20を超える型があり、そのほかにも多種多様な筋疾患があるが、どれも治療の選択肢はほとんどない^{2,3}。幹細胞技術で変性疾患を治療できるのではないかという期待は、おそらくこうした筋疾患でいち早く現実のものになるだろう。 ■

Jeffrey S. Chamberlain、ワシントン大学 (米、シアトル)

1. Sampaioles, M. et al. *Nature* **444**, 574–579 (2006).
2. Emery, A. E. *Lancet* **359**, 687–695 (2002).
3. Chamberlain, J. S. & Rando, T. A. (eds) *Duchenne Muscular Dystrophy: Advances in Therapeutics* (Taylor & Francis, New York, 2006).
4. Minasi, M. G. et al. *Development* **129**, 2773–2783 (2002).
5. Gussoni, E. et al. *Nature* **401**, 390–394 (1999).
6. Qu-Petersen, Z. et al. *J. Cell Biol.* **157**, 851–864 (2002).
7. Galvez, B. G. et al. *J. Cell Biol.* **174**, 231–243 (2006).
8. Gregorevic, P. et al. *Nature Med.* **12**, 787–789 (2006).
9. Harper, S. Q. et al. *Nature Med.* **8**, 253–261 (2002).
10. Sampaioles, M. et al. *Science* **301**, 487–492 (2003).

遺伝子からのニパウイルス合成に世界で初めて成功

甲斐 知恵子

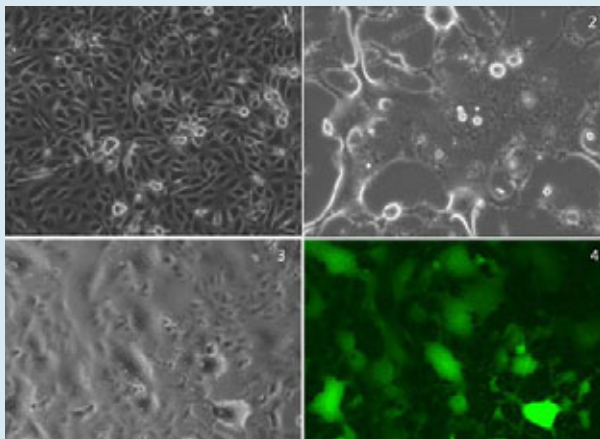
東京大学医科学研究所の甲斐知恵子教授らはリバーシジェネティクスの技術を確認し、ニパウイルスの人工合成に世界で初めて成功した。ニパウイルスは、1994年マレーシアに突如として現れた。以来、アジア各地で小さな流行を繰り返し、致死率が高い。今回のウイルス合成によって、病原性を発揮するメカニズムの解明やワクチン開発が進むと期待されている。

遺伝子からウイルスを合成する

Nature Digest — なぜ、リバーシジェネティクスの技術を用いたのですか？

甲斐 — リバーシジェネティクスは、遺伝子からウイルス^{*1}を人工合成し、さらにその遺伝子を操作できる唯一の手法で、感染や増殖、毒性の機構などを解明する強力なツールになるからです。ウイルスの全ゲノムの cDNA (mRNA からそれを鋳型として合成された DNA) をプラスミドにつなぎ、それを動物細胞に導入させることで、天然のものと同じウイルスを作らせることができます。一部の RNA ウイルス (+) 鎖 RNA ウイルス) では、基本的なリバーシジェネティクスの技術が 1970 年代後半に確立され、1980 年代にさまざまな動物ウイルスに拡大されてきました。

DNA ウイルスやレトロウイルスは生活環の中で 2 本鎖の cDNA を作るので、cDNA をプラスミドにつないで細胞に導入すれば容易にウイルスが得られます。(+) 鎖 RNA ウイルスでも、ウイルス合成は比較的容易です。しかし、ニパウイルスは「1 本鎖のマイナス鎖をもつ RNA ウイルス ((-) 1 本鎖 RNA ウイルス)」で、ウイルスの生活環の中では cDNA を作りません。そのために、ゲノムから人工的に cDNA を作って動物細胞に導入しただけでは、タンパク質を合成することはできません。ウイルス粒子まで作り出すことができませんでした。



Vero 細胞 (1) に遺伝子から合成したウイルスを感染させると親株と同様の細胞変性を起こす (2)。リバーシジェネティクス系を用いて、EGFP 遺伝子を挿入したウイルスゲノム cDNA から回収したウイルスを感染させ (3)、蛍光顕微鏡で観察すると、感染細胞は蛍光を発する (4)。

ND — では、どうやってニパウイルスの合成に成功したのでしょうか？

甲斐 — 1994 年に、ドイツのコンツェルマン博士のチームが、(-)1 本鎖 RNA ウイルスとしては世界で初めて、リバーシジェネティクスによる狂犬病ウイルスの合成に成功しました¹。その鍵は、ウイルスの全ゲノム cDNA とともに、ゲノムの複製にかかわるタンパク質の遺伝子 (N 遺伝子、P 遺伝子、L 遺伝子、) を別立てで導入することにあります。その後、私たちを含め、各国の研究チームが、(-) 鎖 RNA ウイルスのリバーシジェネティクス系を次々と確立していきました。同類のウイルスであるニパウイルスについても、各国のチームが合成に着手したとの噂は流れていましたが、なぜか成功例がありませんでした。私たちは、他チームに遅れて研究を始めました。ニパウイルスゲノムは 1 万 8000 塩基以上あり、他の (-)1 本鎖 RNA ウイルスよりもむずかしい点がいろいろありましたが、導入する N、P、L 遺伝子の量の比率を変えたりするなどの試行錯誤を繰り返し、幸運にも、2005 年に世界に先がけて合成に成功しました²。

ND — なぜ、3 つの遺伝子をゲノムとは別に入れる必要があるのでしょうか？

甲斐 — ニパウイルスの仲間は、裸のままのゲノムでは転写や複製がされないことがわかっています。まず N タンパク質を芯に RNA が巻きつき、その後、転写と複製を司る「L タンパク質と P タンパク質から成る複合体 (RNA ポリメラーゼ)」が活性化される必要があります。そのため、それぞれの遺伝子を別のプラスミドにつないで細胞に入れ、ウイルスゲノムの cDNA を入れると同時に、3 種のタンパク質が合成されるようにしたのです。

突如として現れたニパウイルス

ND — ニパウイルスとは、どのようなウイルスなのですか？

甲斐 — モノネガウイルス目パラミクソウイルス科ヘニパウイルス属に分類されるウイルスです。1998 年にマレーシアで突然出現し、100 人以上の人を死に至らしめました。いわゆる「エマージングウイルス」の 1 つで、自然宿主は果物などを食べるオオコウモリです。マレーシアでは、オオコウモリの尿や唾液のついた果物が落ちてくるところに屋根のない養豚場があり、まず、そのような養豚場でブタが感染し、ひどい咳をし始めました。その後、養豚に携わっていた人たちが



重症の脳炎を発症したのです。ブタを介して感染が広がったのは明らかでしたので、マレーシア政府は養豚場の100万頭以上のブタを殺処分し、その後の対策も徹底しました。現在では感染がなくなり、養豚も再開されていますが、他のアジア地域で散発的な流行が起きています。

ND — モノネガウイルス目のほかのウイルスは、どのような疾患を起こすのでしょうか？

甲斐 — モノネガウイルス目のウイルスには、エボラウイルスや、狂犬病ウイルス、麻疹ウイルス、イヌジステンパーウイルスなどがあります^{*2}。多くは、呼吸器から感染し、発熱して脳炎や出血、下痢、激しい免疫抑制反応などを起こし、致死率が高いのが特徴ですが、そのメカニズムはほとんどわかっていません。

ND — 先生は、そのメカニズム解明のためにウイルス研究を始められたのですか。

甲斐 — 大学院時代は免疫の研究をしていました。当時、所属していた東大医科研の研究室で、ニパウイルス属と同じパラミクソウイルス科のモービルウイルス属のウイルスが研究されており、このウイルスが生体の免疫系を抑制したり、脳神経の病変を起こしたりする点に興味をもっていました。1990年に東大農学部の助教授になり、イヌジステンパーウイルスの研究を始めました。その頃、このウイルスの新型株が現れ、イヌだけでなく、それまでかからないとされていたライオンやアザラシの集団感染と大量死が起きました。イヌジステンパーウイルスが種の壁を越えたメカニズムを明らかにしたいと考え、リバーシジェネティクス系によって、どんな遺伝子がかかっているかを突き止めました。その後1998年に、このウイルスと近縁なニパウイルスが登場したのです。

日本でも必要とされるBSL4施設

ND — 今後は、どのような研究を進める予定ですか？

甲斐 — ニパウイルスは最も危険なウイルスとして「BSL4^{*3}」にランクされるウイルスですが、日本ではBSL4ウイルスを扱える施設が稼働していません。私たちは遺伝子の構築は日本で行いましたが、感染性ウイルスを扱う実験はフランスのチームと共同で、リヨンにあるBSL4施設で行いました。フランスチームは、ハムスターがニパウイルスに感受性が高い

甲斐知恵子（かい・ちえこ）／東京大学医科学研究所実験動物研究施設・感染症国際研究センター教授。農学博士。1953年、横浜市生まれ。1978年東京大学農学部獣医学科卒業。1985～1987年、スウェーデンカロリンスカ研究所に留学。1990年、東京大学大学院農学系研究科助教授。1999年、現職の東京大学医科学研究所実験動物研究施設教授に着任し、2005年から同研究所感染症国際研究センター教授を兼任している。

大学院時代はウイルス感染免疫および腫瘍免疫に興味をもち、留学期間も腫瘍免疫分野での研究を行なったが、助教授就任後ウイルス研究を始める。3種類のモービルウイルスでリバーシジェネティクス系を確立し、すぐれた動物実験系も樹立して、種を越える病原性発現機序や、神経親和性、持続感染性等の解明を目指す基礎的研究を行っている。蓄積した成果を実際のエマージングウイルス感染症に生かすべく、ニパウイルスの研究に着手し、そのリバーシジェネティクス系を世界で初めて確立することに成功した。

ことを見だし、ハムスターの動物実験系を確立していました。おかげで私たちは、遺伝子改変からウイルス合成、動物実験まで一貫して行える世界で唯一のチームになっています。さらに、ニパウイルスは自然宿主がわかっていることもあり、エマージングウイルスのモデルとして、種を越えて激しい病原性を示すメカニズムの解明なども進めたいと考えています。

ND — 日本にBSL4ウイルスを扱える施設がないのは問題だと思うのですが。

甲斐 — そのとおりです。BSL4施設は国立感染症研究所内にありますが、住民の反対運動からBSL4実験はできていません。最近のSARSや鳥インフルエンザの流行などにより、先進諸国ではBSL4設備の建設ラッシュが続いており、世界では20以上が稼働しています。人や物の国際間の行き来が激しい中、日本でも、いつBSL4ウイルスの感染者が出るかわかりませんから、BSL4施設の必要性は極めて高いと思います。こうした点を重くみた日本政府は、平成18年度の科学技術振興調整費「科学技術連携施策群の効果的・効率的な推進」の中で、「BSL-4施設を必要とする新興感染症対策に関する調査研究」を発足させました。新興感染症対策を迅速に進めるためにも、基礎研究を推進するためにも、BSL4ウイルスを扱う研究が日本で行なえるようになることを願っています。

ND — ありがとうございました。 ■

聞き手は西村尚子（サイエンスライター）。

*1 ウイルス

ウイルスは、ゲノムとしてDNAをもつかRNAをもつかで、DNAウイルスとRNAウイルスに大きく分けられる。RNAウイルスのうち、ゲノムRNAを逆転写酵素によって、いったんDNA（cDNA）に置き換えるものを特にレトロウイルスとよぶ。

*2 モノネガウイルスの病原性

モノネガウイルスによる疾患の1つである麻疹（はしか）は、日本ではワクチンによってコントロールできているが、開発途上国では流行が絶えず、WHOは「ウイルスを原因とする子どもの死亡率が最も高い疾患」として警戒している。イヌジステンパーも、ワクチンを打っていないイヌでの致死率は極めて高い。

*3 BSL4 (Bio-safety level 4)

細菌やウイルスなどの微生物は、その危険度によってBSL1～BSL4（P1～P4）のレベルに分類されており、実験者への感染と微生物の拡散を防ぐ目的から、レベルごとに実験室に要求される設備が異なっている。最も危険なBSL4レベルの微生物を扱うには、宇宙服スタイルでの作業やグローブボックス内での実験などが求められる。

1. Schnell, M.J., et al. *EMBO J.* **13**, 4195-4203 (1994).

2. Yoneda, M., et al. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. **103**, 16508-16513 (2006).

モグラやモグラの仲間たちは非常に代謝がよく、しょっちゅう餌を食べていないと死んでしまいます。そのため水辺にすむモグラは、土や泥の中だけでなく、水の中でも餌を探しやすいような体の形状や機能を備えています。

今週は、北米にすむホシバナモグラとミズベトガリネズミが、水中で器用に匂いを嗅いでいることを報告した論文を取り上げます。全体の長さが短く、論理の展開が明快なので、語句解説や写真を参考に挑戦してみましょう。

Brief Communications

語数：571 words 分野：動物行動、生理

Nature **444**, 1024-1025 (21/28 December 2006) | doi:10.1038/4441024a

Olfaction:

Underwater 'sniffing' by semi-aquatic mammals

Kenneth C. Catania

<http://www.nature.com/nature/journal/v444/n7122/full/4441024a.html>

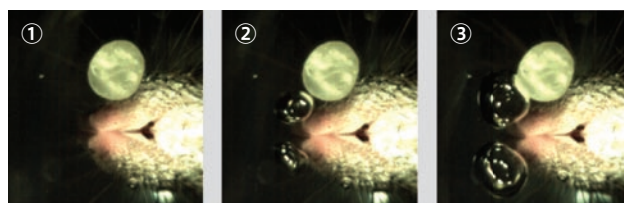
著作権等の理由により画像を掲載できません。

ホシバナモグラ

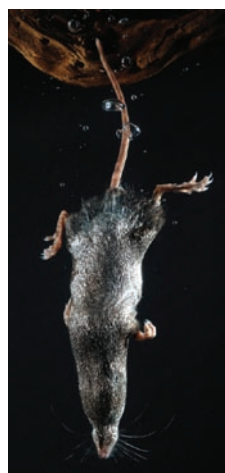
1. Terrestrial species that forage underwater face challenges because their body parts and senses are adapted for land — for example, it is widely held that mammals cannot use olfaction underwater because it is impossible for them to inspire air (sniff) to convey odorants to the olfactory epithelium. Here I describe a mechanism for underwater sniffing used by the semi-aquatic star-nosed mole (*Condylura cristata*) and water shrew (*Sorex palustris*). While underwater, both species exhale air bubbles onto objects or scent trails and then re-inspire the bubbles to carry the smell back through the nose. This newly described behaviour provides a mechanism for mammalian olfaction underwater.
2. High-speed video recordings of star-nosed moles reveal that they continuously emit and re-inhale air from their nostrils while foraging underwater, indicating that they could be 'sniffing' odours while submerged. To test this idea, moles were trained to follow an underwater scent trail that was randomly laid on either of two paths leading to food. Trails were laid in a channel covered with a steel grid that allowed the air bubble to pass through it, contact the scent trail, and be re-inhaled, while at the same time preventing contact with the mole's star nose.
3. The five moles tested on an earthworm scent followed the underwater scent trails to reach a reward with an average accuracy of 85%, and the two moles tested on a fish scent followed the smell with 85% and 100% accuracy, respectively.
4. Three moles were also tested with a grid of finer mesh that prevented bubbles from contacting the scent trail. Their performance dropped to chance (that is, 50% in a two-choice test), suggesting that close proximity or contact of the bubbles with the odorants is important in this behaviour; performance was also at chance for two moles when there was no scent trail to follow.
5. Star-nosed moles therefore seem to have adapted their olfactory system for use underwater. To test whether other semi-aquatic mammals might show the same behaviour, I investigated whether the water shrew uses a similar strategy. Four water shrews were each seen to emit and re-inhale bubbles that were frequently in contact with objects before being re-inhaled.
6. Two water shrews were trained to follow an underwater fish-scent trail. No grid was used to prevent direct contact with the scent, because the nose of these animals does not physically permit sniffing through a grid; they depend on their whiskers, or vibrissae, for exploratory contact, unlike the mole, which uses its sensitive

star nose. One shrew was accurate in 80% of trials and the other in 85% of trials, and both performed at chance when a blocking grid or a no-scent trail was used. These findings show that water shrews are also able to use olfaction underwater.

7. Can the observed behaviour be classified as 'sniffing' underwater? The volumes of air that are expired and re-inspired ($0.06\text{--}0.10\text{ ml}$), the rate of airflow ($5\text{--}6\text{ ml s}^{-1}$), the frequency ($8\text{--}12\text{ Hz}$) and the context (while exploring an object or pausing) were all remarkably similar to sniffing, as described in air. Rats, for example, sniff at a similar frequency ($4\text{--}12\text{ Hz}$) and airflow rate (5 ml s^{-1}) and, **corrected for** body weight, by using comparable volumes of air (0.25 ml).
8. These results call for a **reassessment** of the **assumption** that olfaction is useless underwater and raise the possibility that air could be an **intermediate substrate** for odorant transport in other aquatic animals as well.



ミズベトガリネズミの匂い嗅ぎのようす。左から右にいくにつれて、吹き出した気泡が緑色の物体（ワックス）にだんだん接触していくのがわかる。



水に飛び込んだ瞬間のミズベトガリネズミ。毛皮には撥水性がある。

Science key words

タイトル **Olfaction** : 「嗅覚 (匂いを嗅ぐ機能、匂いの感覚)」

タイトル **semi-aquatic mammals** : 「半水生哺乳類」

semi-aquatic (半水生) とは、基本的には陸生だが、水中で餌を探したり、生涯の特定の時期だけ水中で過ごしたりすることを示す。

1. **Terrestrial species** : 「陸生の (動物) 種」

1. **olfactory epithelium** : 「嗅上皮」

動物の嗅覚器官にあり、匂い物質を感知する組織。

1. **star-nosed mole** : 「ホシバナモグラ」

食虫目 (モグラ目) モグラ科。北米東部に生息する体長約 $11\sim 13\text{ cm}$ のモグラ。湿地の浅いところにトンネルを掘ってすみ、土の中のミミズや泥の中の幼虫、池や小川の底にいるミミズや貝類などを餌にする。土を掘るよりも泳ぐほうがうまい。22本の突起からなる星鼻は、以前から敏感な触覚器であることは知られていたが、今回の報告では、水中で匂いを嗅いで餌を探すのにも役立っていることが判明した。

1. **water shrew** : 「ミズベトガリネズミ」

食虫目 (モグラ目) トガリネズミ科。北米の山岳地帯の湖や小川にすむ。体長は約 15 cm だが、その半分は長い尾が占める。水中に飛び込んで、昆虫の幼虫やオタマジャクシなどの餌をとる。10分間隔で餌を食べる。

6. **vibrissae** : 「震毛」

哺乳類の顔面 (上顎) に主として存在する特殊分化した感覚毛で、毛鞘中に血脈洞があり、また感覚神経の末端が分布している。 (『マグロー・ヒル科学技術用語大辞典』より)

7. **Hz** : ヘルツ (hertz) を表す記号

ヘルツは、国際単位系 (SI) における周波数・振動数の単位。電磁波や音波などの波の周波数を表すのに用いられることが多い。「 $1\text{ Hz} = 1\text{ 秒間に1回の周波数}\cdot\text{振動数}$ 」だが、ここでは、ミズベトガリネズミが1秒間に水中で空気を吹き出して再び吸い込んだ回数 (頻度) を表すのに用いられている。ヘルツはSI組立単位である s^{-1} (毎秒) に与えられた固有の名称で、一定周期で発生する現象にのみ使用される。ランダムに発生するような現象については、ヘルツではなく s^{-1} を使用する。

KENNETH C CATANIA

Words and phrases

タイトル **sniffing** : 「匂いを嗅ぐこと」

1. **forage** : 「餌 (食料) を探す」「餌 (食料) をあさる」
名詞の forage は「飼料」「馬草」のこと。

1. **odorants** : 「匂い物質」
匂いを発する物質のこと。

1. **scent trails** : 「臭跡」
生物が移動した跡に残る匂いの跡のこと。

1. **mammalian** : 「哺乳類 (哺乳動物) の」
mammal の形容詞。

2. **nostrils** : 「鼻孔」

2. **channel** : 「通路」「溝」

2. **steel grid** : 「鋼製の格子」

3. **respectively** : 「それぞれ」

2つ以上の事柄の特性などを一文にまとめて記述する場合に用いられ、事柄とその特性は記述順に対応する。

4. **chance** : 「偶然」

例えば2つの現象のいずれかが必ず起こる状況下で、それぞれの現象が起こる確率が50%になっている状態をいう。

4. **close proximity** : 「距離的に極めて近い状態」

6. **exploratory contact** : 未知の物体に接触して、それが何かを調べてみること。

7. **corrected for ...** : 「～で補正する」

この論文では、体重の異なる動物間で1つの特性を比較する際に、特性値を体重で補正している。

8. **reassessment** : 「再評価、従来の考え方などを見直すこと」

8. **assumption** : 「仮定」「前提」

8. **intermediate substrate** : ある事物 (この論文では動物の鼻) と別の事物 (食物の臭跡) の間で働く担体のこと。

KENNETH C CATANIA

Brief Communications

参考訳

Nature 444, 1024–1025 (21/28 December 2006) | doi:10.1038/4441024a

半水生哺乳類による水中での「匂い嗅ぎ」

ケネス C. カタニア

<http://www.nature.com/nature/journal/v444/n7122/full/4441024a.html>

水中で呼吸をするホシバナモグラの星鼻。気泡の大きさから、地上で小型の哺乳動物が吸い込む空気量とほぼ等しいことがわかる。

1. 陸生の動物種は、陸での生活に適した身体部分や感覚を備えているため、水中で餌を探す際にはいくつかの問題に直面する。例えば哺乳類は、水中では空気を吸い込んで匂い物質を嗅覚上皮まで運ぶこと（匂い嗅ぎ）ができないので嗅覚が使えない、というのが一般的な見方となっている。本論文では、半水生のホシバナモグラ（*Condylura cristata*）とミズベトガリネズミ（*Sorex palustris*）が用いる水中での匂い嗅ぎのメカニズムについて記載報告する。この2種の動物は、水中で物体や臭跡に向けて鼻孔から気泡を吹き出し、すぐにまたその気泡を吸い込んで匂いを鼻に通すのである。今回新たに報告するこの行動は、哺乳類の水中での嗅覚メカニズムの1つといえる。
2. 高速度撮影したホシバナモグラの動画をみると、水中で餌を探すホシバナモグラの鼻孔から空気がしょっちゅう出入りしているようすが見てとれることから、水中のホシバナモグラが匂いを「嗅いでいる」のではないかと考えられた。この考え方を検証するため、水中に餌までの経路を2つ設置して、そのいずれかに任意に臭跡をつけ、その経路をたどるようにホシバナモグラを訓練した。臭跡をつけた溝状の経路の上は、スチール製の格子で覆った。こうすることで、ホシバナモグラの出した気泡は格子を通り抜けて臭跡と接触し、再び吸い込まれるが、ホシバナモグラの鼻は臭跡に接触できない。
3. ミミズの匂いで試験した5匹のホシバナモグラの場合、水中の臭跡をたどって報酬（ミミズ）を獲得できた率（正解率）は平均85%で、魚の匂いで試験した2匹のホシバナモグラの場合にはそれぞれ85%と100%の正解率だった。
4. 3匹のホシバナモグラを使ったさらなる試験では、もっと目の細かい格子で臭跡を覆い、気泡が臭跡と接触しないようにした。その結果、正解率は偶然で当たる確率（つまり二者択一の試験で50%）まで下がってしまった。このことは、気泡が匂い物質の至近距離にあるか、匂い物質と接触することがこの匂い追跡行動にとって重要であることを示唆している。また、臭跡をつけない試験での2匹のホシバナモグラの正解率も偶然で当たる確率と等しかった。
5. したがってホシバナモグラは、その嗅覚系を水中で使用できるように適応させたと考えられる。これ以外にも同じ行動をみせる半水生哺乳類がいるかどうかを検証するため、ミズベトガリネズミがホシバナモグラと同じような戦略を用いているかどうかを調べた。4匹のミズベトガリネズミのそれぞれで、気泡を吹き出しては吸い込む行動がみられ、気泡は吸い込まれる前に物体と接触する頻度が高かった。
6. そこで、2匹のミズベトガリネズミを水中で魚の臭跡をたどるように訓練した。この場合、匂いとの直接接触を防止する格子を使わなかった。なぜなら、ミズベトガリネズミの鼻では、格子を通した匂い嗅ぎが物理的にできないからだ。未知の物体を調べようとして接触する場合、ホシバナモグラは星形をした敏感な鼻を使うが、ミズベトガリネズミは上顎のひげ（震毛）を使うのである。この実験での正解率は1匹が80%、もう1匹が85%で、防護用格子を使った場合と臭跡をつけなかった場合の正解率は偶然で当たる確率に等しかった。これらの実験結果から、ミズベトガリネズミも水中で嗅覚を使えることがわかる。
7. 今回の実験で観察された行動は、水中での「匂い嗅ぎ」といえるものだろうか。動物が吹き出して再び吸い込んだ空気の量（0.06～0.10 ml）、空気の流速（5～6 ml s⁻¹）、頻度（8～12 Hz）、状況（物体を探索しているか一時休止しているか）は、すべて地上での匂い嗅ぎと非常によく似通っていた。例えばラットの匂い嗅ぎでは、頻度（4～12 Hz）と空気の流速（5 ml s⁻¹）は今回の実験で得られた値に近く、また、体重比で補正した空気の量（0.25 ml）もやはり近い値になる。
8. 以上の結果は、嗅覚が水中で役に立たないとする仮説の見直しを求めるものであり、また、ほかの水生動物でも空気が匂い物質を運ぶための中間担体となっている可能性を示すものである。

知っていることは載っていない。

nature



そこからはあなた次第。

最先端科学のトレンドを手に入れよう



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

① 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。

② 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。

③ 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