

# nature DIGEST

日本語編集版  
SEPTEMBER 2006  
VOL. 03, NO. 9

# 9

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

# 次の核兵器

ただで  
運べる

# 研究発表ポスターの決定版

# 布地ポスター

折りただ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。

## 研究成果発信を第一に考えたサポート

### 実績が示す信頼性

●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

イラストレーターがパワーポイントで作成された配置済みのデータをお預かりしてから**4～5日**で納品いたします。(国内のみ)  
※発注時の注意点等、詳しくは弊社HPをご覧ください。

### 出力料金

仕上がりサイズ	光沢布	コート布
A1判 天地 840ミリ 左右 594ミリ	11,760円	14,910円
A0判 天地 1188ミリ 左右 840ミリ	19,320円	22,470円
B0判 天地 1456ミリ 左右 1028ミリ	26,145円	29,295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。

2006年9月30日までに納品の場合  
出力料金が  
**30%OFF**  
この広告コピー添付で!

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。



発注・お問合せはこちらへ

✉ poster@icube-t.co.jp



ntercultural  
nteractive  
nformation

株式  
会社

アイキューブつくば

つくば初のプライバシーマーク認定企業

R&D 研究支援サポート企業

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

日本金属学会オフィシャルエージェント

www.icube-t.co.jp

# 次の核兵器

表紙：SPL / PPS

## HIGHLIGHTS

02 vol. 442 no.7100, 7101, 7102, 7103, 7104

## EDITORIAL

04 ブラックボックスに光を当てる

## NEWS@NATURE.COM

06 ヒョウ柄の変化の方程式

## SPECIAL REPORT

07 警戒すべき宇宙発見器の魅惑

Helen Pearson

## NEWS FEATURE

10 次の核兵器

Geoff Brumfiel

16 クジラに「やさしい」年齢の数え方

Carina Dennis

## NEWS &amp; VIEWS

19 北極が物語る自らの歴史

Heather M. Stoll

## BUSINESS NEWS

22 日本の株式市場で足をすくわれた外資系バイオテック企業

冬野いち子

## JAPANESE AUTHOR

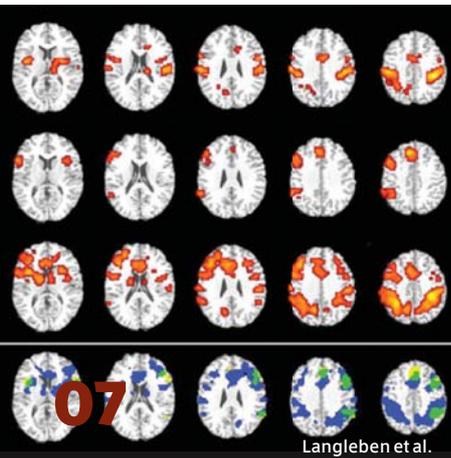
24 人類進化の空白を埋めるアナメンシス猿人の化石を発見  
— 諏訪元

財部恵子

## 英語でNATURE

26 Dam project threatens living fossil

ダム建設プロジェクトで「生きた化石」が窮地に



Langleben et al.



NNSA / NEVADA SITE OFFICE



D. BURNS/SCUWRS

# nature DIGEST

09

volume 3 no.09  
September

www.nature.com/naturedigest

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

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

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

**広げられたナノチューブ****Nanotubes unwrapped**

カーボンナノチューブの注目に値する機械的特性は、カーボンナノチューブを形成する原子1個分の厚さの極めて薄いカーボンシート（グラフェン）の並外れた強度と剛性によるものである。これに対して、多結晶材料であるバルク・グラファイトは破壊強度が低く、グラフェンシートがはがれて破損したり、結晶粒界で破損したりする傾向にある。今回 Stankovich たちは、グラファイトからグラフェンシートをはがして化学的に修飾を加えて、高分子マトリクス中にグラフェンシートを分散させた安価な複合材料を作製した。この材料によって、有用なさまざまな熱的、電気的、機械的特性を実現できる。

20 July 2006 Vol. 442 / Issue 7100

Letter p.282, N&V p.254 参照

**生態系の複雑性の解明：****生態系がもつ脆弱性の構造****ECOLOGICAL COMPLEXITY UNTANGLED:****The architecture of ecosystem fragility**

食物網は、どの生物がどの生物を餌にするかという関係を描くもので、生物群集の構成を視覚化するのに役立つ。ダーウィンが、「雑踏した堤、そこは何種類もの植物に覆われ、茂みでは鳥がさえずり、さまざまな昆虫が飛び回り、ミミズなどが湿った土中を這い回る」という比喻を使って考

えていたように、この関係は複雑である。表紙 (Sergi Valverde による Netlab を使った図) は、英国シルウッドパークのエニシダを取り巻いて実在する食物網の複雑性を描いたものだ。Montoya たちは、生態的ネットワークに関する最近の研究を概観し、理論ではネットワークが複雑化するほど壊れやすいと予測されるにもかかわらず、複雑性が進化・維持されているという、この問題がもつパラドックスについて考察している。実際、こうしたネットワークは複雑ではあるが、理解不能ではないと彼らは結論している。食う・食われるという関係を示す図には単純化されるパターンがあり、「雑踏した堤」を構成する各部分は、それほど入り組んではない。シミュレーションが現実に近いにつれて、生態的脆弱性に影響を与える要因は明らかになると考えられ、こうした成果は生態的インパクトや保全に関する研究に役立つだろう。今週号には、生態学に関する研究がもう1つ掲載されている。生態系多様性に



関する論争に一石を投じるであろう Rooney たちの論文は、実際の食物網で繰り返されるパターンが特定されている。つまり、最上位の捕食者は、食物網中で、生産性と回転率の両方が異なる、「エネルギーの速い移動経路」と「遅い移動経路」を結合するという役割を果たしている。理論的には、そのような結合は食物網の安定性に極めて重要であると考えられる。生物多様性を減少させるような人間活動が、食物網に安定性をもたらすような構造をもむしばむということは不安をかきたてる。とすれば、今は生態系多様性だけに注目することはやめ、食物網の安定性をもたらす要因のほうをもっと詳しく調べるべきときなのかもしれない。生態に関する問題が複雑であることは周知の事実である。しかし、行政機関には、助言を求めべき国際的に認知された専門家集団がない。気候変動に関しては IPCC (気候変動に関する政府間パネル) が存在する。現在、生態学研究者は IMoSEB (International Mechanism of Scientific Expertise on Biodiversity、生物多様性に関する専門的意見聴取のための国際機構) という枠組みを提示しているところである。

20 July 2006 Vol. 442 / Issue 7100

Review Article p.259, Article p.265, N&V p.252, Commentary p.245 参照

**タイタンにはメタンの雨が降る****It's raining methane**

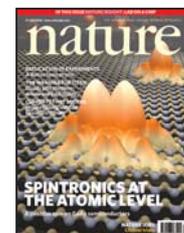
太陽系では、地表に届く雨がみられるのは土星の衛星タイタンと地球だけである。タイタンの雨は地球の雨にはそれほど似ていない。タイタンの雨はメタンであり、大気中での水とメタンの循環はかなり異なっているからだ。今週号に掲載された2本の論文は、タイタンでの雨の日のようすをうかがい知る手がかりを与えてくれる。Hueso と Sánchez-Lavega は数値モデルを用いて、いくつかの条件下でメタンの強い降雨を伴う対流性の激しい嵐が生じる可能性を示した。この嵐は、地球での鉄砲水に匹敵する激しさのようだ。戸叶たちは、ホイヘンス探査機に搭載した観測機器を使って得たメタンの分布と温度に関するデータを発表している。ホイヘンスは最近、河川あるいは湖床とみられる地形を撮影したが、液体は写っていなかった。今回の新しいデータは、霧雨のような弱い雨の存在を示している。望遠鏡やカッシーニ探査機で観測される雲とは対照的に、ホイヘンスがとらえたかすかに見える雲は広範囲に及んでおり、降雨がタイタン全体にわたって発生し、その表面構造に影響を及ぼしている可能性がある。

27 July 2006 Vol. 442 / Issue 7101

Letters pp.428, 432, N&V p.362 参照

**半導体のスピントロニクス：****原子スケールでのスピン画像化****SPINTRONICS AT THE ATOMIC LEVEL:****A positive spin on GaAs semiconductors**

トランジスタやダイオードの電子的特性を調整する際には、「ドーパント」として金属が半導体に添加される。新たな研究で個々のドーパントを原子レベルで精密に置換することにより、それらの相互作用がナノメートルスケールで測定された。マンガンをドーブした砒化ガリウムで強磁性が見つかったことがきっかけとなり、電子



スピン系半導体、つまりスピントロニクスへの関心が急速に高まった。今回の研究では、走査型トンネル顕微鏡を使用して、Mn-Mn 相互作用にかかわる GaAs の電子状態

が画像化された。強磁性相互作用が結晶方位に強く依存することが明らかになったが、ランダムにドーブしたサンプルよりも強磁性転移温度が高い配向構造を成長させることができれば、この特性が活かされるかもしれない。この性質は、記憶や情報処理用の結合量子ビットにもつながる可能性がある。

27 July 2006 Vol. 442 / Issue 7101

Letter p.436, N&V p.359 参照

**くちばしの長さはカルモジュリンで決まる****The long and the short of it**

ダーウィンフィンチは、自然選択による適応放散の好例として、よく教科書で紹介される鳥の仲間である。さまざまな種類のダーウィンフィンチで、くちばしの上下や左右の幅が、Bmp4 (骨形成タンパク質4) の発現と相関していることが2、3年前に明らかになっていた。当時の候補遺伝子のスクリーニングでは、長さの違うくちばしが進化する原因となったと思われる遺伝子を1つも見つけ出せなかった。今回、各種のダーウィンフィンチの胚で、くちばしの原基中の転写産物の DNA マイクロアレイ解析を行ったところ、Ca<sup>2+</sup> シグナル伝達にかかわる分子であるカルモジュリンの量が、くちばしの長さと同関していることがわかった。異なる方向軸へのくちばしの成長を調節するこれら2つの経路が明らかになったことで、いろいろな選択条件下で多様な構造のくちばしを生み出せる仕組みを描き出すことができる。

3 August 2006 Vol. 442 / Issue 7102

Letter p.563, N&V p.515 参照

※「今週号」とは当該号を示します。

## 高性能液体マイクロレンズ：刺激応答性ヒドロゲルで稼動する適応型レンズ

SMART LIQUID MICROLENSSES: Adaptive lenses activated by stimuli-responsive hydrogels

光学イメージング、医学的診断、ラブ・オン・チップ技術における小型化への流れから、精巧なマイクロレンズが求められるようになってきている。自己焦点調節作用をもつという点でほとんどの現行デバイスと異なる、新型高性能液体マイクロレンズが開発された。その重要な構成要素は、マイクロ流体系に組み込まれ、液滴の容器として機能する、刺激応答性ヒドロゲルである。このヒドロゲルは、刺激を感じると同時に液滴形状を変化させるため、焦点距離が変化する。刺激には、生体物質、化学物質、物理的パラメーターが可能と考えられる。マイクロメートルスケールでは、固定された液体-液体界面を使って安定したデバイスが得られ、10～数十秒という応答時間が実現されている。このレンズは、事実上いかなる焦点距離も可能で、しかも集積してアレーにすることも容易である。表紙は、ヒドロゲル（縞模様のリング）が局所的刺激に反応してレンズ形状を調節する高性能液体マイクロレンズである。



3 August 2006 Vol. 442 / Issue 7102

Letter p.551 参照

## 幹細胞提供への報酬

Stem cell supply

幹細胞研究のために女性が卵母細胞を提供することが倫理的・法的に許されるなら、また、研究のために健康なボランティアが卵子提供と同程度の処置を受けた際に費やした時間や労力、不便などを補償することが容認されるというなら、幹細胞提供に関する北米と欧州のガイドラインは、どうして女性に対する報酬を提供者の直接経費だけに制限しているのだろうか。現在 ISSCR (国際幹細胞学会) の国際ヒト胚性幹細胞研究ガイドライン特別委員会の一員である I Hyun は、基礎研究のために卵母細胞を提供する女性には十分な補償をするべきだと主張している。

10 August 2006 Vol. 442 / Issue 7103

Commentary p.629, News p.606 参照

## 洪水に負けない

Not taken at the flood

アジアには、洪水によりイネがだめになり、大きな経済損失が生じている国が多い。イネ (*Oryza sativa*) の栽培種の多くは 1 週間以内

の完全冠水で枯死するが、ごく一部の系統は、*Submergence 1 (Sub1)* という重要な量的形質遺伝子座をもっているために、2 週間程度冠水しても生き残ることができる。*Sub1* 遺伝子群を詳細に分析した結果、*Sub1A* という遺伝子が冠水耐性の重要な決定因子であることが今回突き止められた。アジアで広く栽培されているイネの栽培種に *Sub1A* を導入すると、高収量などの優れた特性を損なうことなく、洪水状態での生存率が高められた。

10 August 2006 Vol. 442 / Issue 7103

Letter p.705, N&V p.635 参照

## 微化石の内部を見る：初期の多細胞動物胚の構造を今までにないほど詳しく解明

THE INSIDE STORY ON MICROFOSSILS: Embryos of early multicellular animals in unprecedented detail

リン酸カルシウムが含浸して、表面が固くなり完璧な状態で保存された 5 億年前の動物胚の化石は、動物進化における重大な時期の胚発生に関する貴重な情報が含まれている可能性があるため、大きな興奮を呼び起こした。これらの胚化石は非常に小さく、調べるのがむずかしいが、新しく開発された技術によって、これまで見ることはできなかった詳しい構造まで復元できるようになった。この新技術は、シンクロトロン X 線源を使ったサブミクロン・スケールの断層撮影解析法で、これによってどのような構造までが化石化されるかという限界に関する問題がいくつか解決された。知られるうちで最古の左右相称動物胚である *Markuelia* と *Pseudoooides* の非常に小さな化石内部の詳細な構造に関する珍しいデータから、*Markuelia* では系統発生についての疑問の一部が解消し、*Pseudoooides* では未知の発生モデルが示された。表紙は *Markuelia* の胚のバーチャル連続切片像で、胚としての特徴と胚の死後に形成された特徴の両方を示している。



10 August 2006 Vol. 442 / Issue 7103

Letter p.680 参照

## がん幹細胞の正体

Identity of cancer stem cells

がんは、正常な組織細胞、あるいは発生上の運命の決まった（拘束された）前駆細胞のどちらから生じると考えられている。前駆細胞からだとしたら、通常の前駆細胞にはない自己再生能力をもったがん幹細胞がどのようにして生じるのが重要な問題となる。今回、

拘束された前駆細胞に変異を導入して白血病を発症させたマウスから、マウス白血病幹細胞が単離された。この細胞は、わずか 4 個を別のマウスに注入するだけで白血病を発症させることができる。これによって、遺伝子発現プロファイルを調べて細胞全体の性質を明らかにし、正常な前駆細胞から白血病幹細胞への移行状況を調べることが可能になった。意外にも、この白血病幹細胞は拘束された元の前駆細胞の遺伝子発現プロファイルの大半をそのまま維持していたが、一方で造血幹細胞で通常発現している一群の遺伝子が活性化されていた。これらの遺伝子の少なくとも一部は、白血病幹細胞の自己再生に重要である。白血病幹細胞と正常な血液幹細胞との違いがわかったことは、がん幹細胞だけを選択的に標的とする薬剤の開発の期待を高める、歓迎すべきニュースだといえよう。

17 August 2006 Vol. 442 / Issue 7104

Letter p.818, N&V p.754 参照

## クロマチンのもつコードを解読：

ヌクレオソームの配置は DNA の塩基配列によって調節されている

CHROMATIN CODE DECODED: Nucleosome positions controlled by DNA sequence

真核生物のゲノムは、*in vivo* では裸のままの DNA ではなく、クロマチンとよばれる複合体の形で存在する。クロマチンはヌクレオソームを含んでおり、これはヒストンタンパク質のコアの周りに短い DNA が固く巻きついてできたもので、そこにはほとんどの DNA 結合タンパク質が入り込めないため、リプレッサーの働きをする。今回、計算的手法と実験とを組み合わせ、ヌクレオソームにどのような DNA 塩基配列が多いかが明らかにされ、ゲノム全域におけるヌクレオソームの構造が予測された。酵母のゲノムにはヌクレオソームの構造が内在的に符号化されていて、*in vivo* でのヌクレオソームの配置のほぼ半数はこれによって決まることがわかった。この配列に関するコードは真核生物全体にわたってよく保存されていて、転写因子を結合部位へと誘導したり、染色体がもつほかの特殊な機能の多くを助けたりしている。News and Views では、ヌクレオソームの配置に関して、DNA 塩基配列やほかの制御因子がもつ役割が論じられている。表紙は、複数のヌクレオソームをもつクロマチン。



酵母のゲノムにはヌクレオソームの構造が内在的に符号化されていて、*in vivo* でのヌクレオソームの配置のほぼ半数はこれによって決まることがわかった。この配列に関するコードは真核生物全体にわたってよく保存されていて、転写因子を結合部位へと誘導したり、染色体がもつほかの特殊な機能の多くを助けたりしている。News and Views では、ヌクレオソームの配置に関して、DNA 塩基配列やほかの制御因子がもつ役割が論じられている。表紙は、複数のヌクレオソームをもつクロマチン。

17 August 2006 Vol. 442 / Issue 7104

Article p.772, N&V p.750 参照

# ブラックボックスに光を当てる

## Illuminating the black box

Nature Vol.442(1)/6 July 2006

論説

*Nature* に投稿する論文には、研究に使用した材料と試薬のすべてを記載すべきである点を、生物学者は留意してほしい。

*Nature* は、興味深く示唆に富むだけでなく、再現可能で有益でもある論文の掲載を目指している。そのため、新しい材料や試薬については丁寧に記載し、関心をもった科学者が入手・利用しやすい条件を整える必要がある。

これは当然のことのように思われる。しかし本誌の編集者や査読者の努力にもかかわらず、生物科学系の論文の中には、研究に使用した試薬について十分な記述のない論文が投稿されており、そのまま掲載に至ることもある。こうした従来の傾向を改善するために大きな努力を払わない限り、実験で何が行われたのかが外部の研究者にはわからない「ブラックボックス」生物学の時代がやってくるおそれがある。

このような「はぐれ者の試薬」の中には、すでに確立され、商業ベースで管理されている技術から生まれたものも含まれている。よくある例としては、生物学研究のさまざまな分野で試薬として使用されている抗体が挙げられる。論文著者が抗体の特異性と有用性を明らかにできることを、論文掲載の基準とすべきである。しかし、誌上に掲載された論文に、この情報が欠落していることがあり、そうすると読者は、問題の抗体について利害のからむ立場にある企業が発表した資料に頼らざるを得なくなる。

しかし、この問題が最も深刻なのは新技術の場合である。新技術は急速な進歩をとげることがあり、進歩の真っ最中にはこのようなルールを適用できそうにない。最新の技術革新を利用したいという欲求が勝ってしまい、その研究分野では論文の記述や文書化に関する共通の基準を遵守できないという事態も起こりうる。

### 純然たるビジネス

その一例が RNA 干渉法 (RNAi) である。RNAi を使うと遺伝子発現を操作することができる。RNAi 研究で極めて重要な試薬は低分子干渉 RNA で、その配列によって干渉対象の遺伝子が決まる。この手法が導入されたことで、生体システムに関する疑問を解明し、商業的応用の可能性もある RNAi 法について記述した研究論文が怒涛のように発表された。

RNAi 研究の分野から投稿された論文原稿には、こうした新技術に特有のパターンが見られる。技術の商業化が進むにつれて、透明性が薄れてきているのである。*Nature* 系列の各誌で審査される投稿論文には、試薬の記述が不十分なものや、材料に関する権利譲渡契約によって材料入手が制限されているものがあまりにも多くなっている。

論文著者は、利害の対立というプレッシャーを受けている。学術専門誌は、公開性と利用可能性を確保するための掲載基準を設けているが、多くの研究者は個人的な取引上の利害関係をもち、大学は研究成果から特許料収入を得たいと考え、バイオテック企業はできるだけ秘密を保持したいと考えている。

ある事例では、使用した RNAi 試薬の塩基配列を明記しない論文が発表された。編集者と査読者は、この点を見落としてしまっていた。発表から 1 年余りたつて論文著者は、使用した試薬あるいは低分子干渉 RNA の配列情報を提供してほしいという要請を受けたが、それに対応できなかった。そのことを知った掲載誌の編集者は、著者に対して、配列情報を論文に追記する

ことを要請した。しかし著者は、特許問題と商取引があることを理由に提供できないと答えたのだった。この著者の研究室では問題の低分子干渉 RNA を作製することができず、彼が設立した会社では、著者が配列を公表すると会社の存立基盤が脅かされるとして公表を拒んだ。この種のこう着状態は重大な問題である。これによって実験の再現が妨げられ、その後の研究で適切な対照を選択できなくなるからである。

たとえ配列情報を全部公表しなくても、あるいは新規化合物を詳細に説明しなくても、実験の再現は可能だと主張する論文著者もいる。問題となった材料は販売されているので、誰にでも論文の内容を再現できると彼らはいふ。しかし、この主張はピントがずれている。科学の進歩は、次の段階の研究を推進できるようなデータの生成を中心に展開している。ブラックボックス化した試薬を使って一貫した研究成果が得られたとしても、成分や配列を知っているかどうかは、ある観察を行うことと、その観察結果について洞察力に富んだ結論を導き出すことの違いほどの差になりうる。

### 誤った前提条件

もう1つのもっともらしい主張によれば、適切な対照について記述しておけば、他の研究者はその実験を制御する方法がわかるはずなので、化合物の構造や低分子干渉 RNA の配列を論文中に示す必要はないという。この主張は、前提条件が誤っている。1つの仮説を検証するために設計された実験の対照は、別の問題に取り組むのに必要とされる対照とは異なる可能性が高い。適切な対照

を設計するためには対照すべきものを知っておく必要がある、この情報は構造や配列のみから得られるのである。

論文が発表された時点で試薬が提供されたとしても、プロジェクトの終了や研究者の異動のせいで試薬が提供されなくなって、やっかいな状況が生じることもある。学術誌側は、試薬提供の継続を強く要請すべきかどうか、そして要請する場合にはその方法を決定しなければならない。著者の試薬提供義務に合理的な「時効」はあるのだろうか。この点について出版社が合理的な規定を設けるにあたっては、研究者からの意見が役立つことだろう。どうかコメントを [authors@nature.com](mailto:authors@nature.com) に寄せていただきたい。

当面の間、研究成果の商業化に向けた準備を進めている研究者は、研究界も一目置く一流学術誌に自身が論文を発表する自由に、その商取引が影響を及ぼしかねないことを念頭に置いておいてほしい。

*Nature* は、論文受理の時点で、使用された材料を論文内またはオンライン版の補足資料で十分に記述することを要件とする姿勢を堅持していく。もし論文の受理から掲載に至るまでの間に情報開示が不十分だと判断された場合、著者側が情報提供を拒否すれば掲載を取り消すこともありうる。論文の掲載後に編集者が情報の非開示や材料提供の不備を知った場合には、調査を実施して、必要とあれば公開の懲戒文書をオンライン上に掲載し、アーカイブ版に懲戒文書を添付するなどの措置をとる。論文著者には、十分に準備して発表論文中で正確な記載がなされるように努め、読者がその論文中に記載された試薬を入手できるようにしていただきたい。 ■

## ヒョウ柄の変化の方程式

## How a leopard changes his spots

ネコ科動物の成長につれて変わる毛皮の模様が、方程式を使って再現された。

doi:10.1038/news060731-15/4 August 2006

Emma Marris

動物の毛皮の派手な模様がどうやってできるのか、実際のところはわかっていない。しかし、Alan Turing が1952年に編み出した方程式を用いると、シマウマの縞模様やヒョウの斑点をうまく再現できる<sup>1</sup>。この方程式を用いて、動物が年齢を重ねるに従って模様が複雑化するようすが最近モデル化された。

Turing は、毛皮というほぼ二次元的な場で相互作用する「モルフォゲン」という物質2種類があれば、毛皮の模様が作られると考えた。例えば、一方のモルフォゲンが黒色の毛を作り、もう一方が淡色の毛を作るとすれば、毛皮中の両物質の拡散速度の差が、両物質どうしの多様な反応と相まって模様を決めると考えられる。

Turing は、これを「反応拡散方程式」とよんだ。拡散速度などモルフォゲンの挙動に関する変数を微妙に調整することにより、おなじみの毛皮模様がこの方程式で再現できるようになった。

例えば、モルフォゲンの一方が黒色の毛を作るとともに、淡色の毛を作るモルフォゲンを活性化し、なおかつ淡色のモルフォゲンよりも速く拡散するとすれば、ある種の毛皮にみられるような斑点が説明できる。黒色モルフォゲンのランダムな塊が外に向かって拡散し、その軌跡上で低速の淡色モルフォゲンを活性化して取り残していくと、黒い輪ができあがるのである。

**幼獣の斑点**

しかし、大型ネコ科動物の成獣の毛の模様ははるかに複雑である。ヒョウの子の模様は単純な斑点だが、ヒョウ柄の動物をよく見ると、ヒョウの成獣の模様はむしろ円弧のようであることがわかる。ジャガーの成獣の模様はそれよりさらに複雑で、多角形の中心に小さな点がある。



大型ネコ科動物は複雑な模様の毛皮を身にまとっている（写真はヒョウの親子）。

国立中興大学（台湾、台中）の廖思善（Sy-Sang Liaw）たちは、Turing の方程式を使ってこうした模様を再現しようと試みた。しかし、この反応拡散方程式のパラメーターをいじるだけでは再現できないことに気がついた。そこで廖たちは、規則の異なる2つの斑点形成段階があると仮定せざるをえなかった。つまり、まず幼獣に斑点ができる段階、次に最終的な模様が作られる段階である。彼らが最終的な解を見つけ出すまでには1年かかった。

その成果を *Physical Review E* に発表した廖は、「ジャガーの模様が最もむずかしかった。1段階だけで模様を再現しようとしても、まず無理だろう。2段階に分けるしかなかった」と話す<sup>2</sup>。

**模様形成は2段階か**

オーバーン大学（米国アラバマ州）で Turing モデルを研究してきた数学者の Anotida Madzvamuse は、ジャガー

の模様のむずかしさに好奇心をそられるといい、「なぜ1段階だとできないのかがわかればよいのだが」と話す。

モルフォゲンにあたる物質はまだ見つかっておらず、そのため、このような方程式で作り出せる模様が、実際にどのようにして本物のネコ科動物で作られるのかは不明である。モルフォゲンに関して2通りの規則が導入されると、模様形成の図式ははるかに複雑になる。これがネコ科動物で実際に起こっていることを本当に反映しているとするれば、動物の年齢と関係する何か、毛皮の色のふるまいを決める2つの生物学的規則のスイッチを切り替えているに違いない。

Madzvamuse は、「パラメーターの値は動物の大きさと関係しているのかもしれない」と話している。 ■

1. Turing A., et al. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, **237**, 37 (1952).  
2. Liu R., et al. *Phys. Rev. E*, **74**, 011914 (2006).

# Lure of lie detectors spooks ethicists

## 警戒すべきうそ発見器の魅惑

Nature Vol.441(918-919)/22 June 2006

米国の企業が、脳スキャンを利用したうそ発見技術の商業化を狙っている。しかし、十分に試行されているわけではない技術の商業化には、倫理・科学の両面から警鐘が鳴らされている。Helen Pearson が報告する。

脳をスキャンし、脳画像パターンを検査することでうそを見破る。米国企業 2 社のこうした事業計画に対して、生命倫理学者と人権活動家が疑問の声を投げかけている。

問題の 2 社は、信憑性の薄いポリグラフよりも正確なこの技術が実際に使われるようになれば、技術に対する疑念は晴れるだろうという。フィラデルフィアにある No Lie MRI 社では、この夏にもサービスを開始する予定だ。さらに、マサチューセッツ州ペッパーレルにある Cephos 社も、今年の後半にはこの技術を生かした事業の展開にこぎつきたいとしている。見込まれる顧客は、刑事訴訟に直面している人々や、すでに保安目的でポリグラフを導入している米国連邦政府機関といったところだ。

これらの動きに対して、企業が利用しようとしている技術の科学的裏づけは不十分であり、各方面の取り調べでの使用が見込まれるにもかかわらず時期尚早な商業化を行えば、倫理上の問題は避けられないとの批判がある。アメリカ自由人権協会 (ACLU) は 6 月 20 日、科学者や一般市民、メディア関係者、ワシントン DC の政策立案者に向けた報告会で、この問題を取り上げ、協会として問題に取り組む姿勢を示した。

うそ発見器には、その真偽の疑わしいものがいくつもある。たとえばポリグラフだ。うそをつくには緊張を伴うため、心拍数や呼吸数、血圧などの変化を測定すればうそをついているかどうかわかるというのが、ポリグラフの仕組みである。しかし、これらの数値は被験者が対応策を講じればコントロールすることも可能で、検査結果を信頼できるという明確な証拠はなく、裁判所で証拠として採用されることはほとんどない。

そうしたなか、うそをつく際の不安感という間接的証拠の測定ではなく、機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) を使用してうそをつく際の起点ともいえる脳の動きの検査を行おうとする動きがある。ペンシルバニア大学 (フィラデルフィア) の Daniel Langleben 率いるチームが行った初期の研究では、トランプ 1 枚と 20 ドル札を入れて封をした封筒が学生たちに手渡された。学生たちはその後 MRI 装置に入っているという質問を受け、最後まで自分がどのカードを持っているのか隠し通せたら、20 ドル札を持って帰ってよいとされた (D.D.Langleben et al. *Neuro-Image* 15, 727-732; 2002)。

そのほかにもいくつかの実験が行われ、被験者がうそをついている場合には、

脳の前頭前皮質内の特定部分が活発になっていることがわかった。その特定部分には、しくじりを見つけたり、反応を抑制しようとしたりするのに関与するとされる領域が含まれている。つまりこの結果は、真実を隠す際には作り話をするため余分な脳領域を使用するはずだという説を裏づけるものになっている。

初期の実験では、被験者グループから得た統合データを基に、うそをつくと脳の活動にわずかな変動が起こりうるということが明らかにされた。しかし、実用的なうそ発見器とするには、被験者ひとりだけのデータでその被験者がうそをついているかどうか判断できなければならない。

だが、1 人の被験者だけを対象に検査を行い、(比較データなしに) その雑多なノイズの中から必要なシグナルを検出するのは非常にむずかしい作業だ。No Lie MRI 社のアドバイザーを務める Langleben は、現在では単独の被験者データから 88% の成功率でうそを見抜くことができると話す (*Nature* 437, 457; 2005 参照)。Cephos 社と共同で開発を進めているテキサス大学サウスウェスタン医療センター (ダラス) の研究チームリーダー Andrew Kozel も、同じような成果を発表している。

### 思想警察

Kozel たちは 30 人の被験者を対象に腕時計か指輪のどちらかをロッカーに隠してもらい、脳スキャナーの中で受ける質問に対し、何を隠したかうそをつくよう指示した。この実験データを基に研究チームは、脳の 3 つの領域に焦点を当て、その活動変化によってうそをついているかどうかを計測するコンピューターモデルを考案した。別の被験者グループ 31 人でこのコンピューターモデルを試したところ、研究チームは 90% の確立でうそを発見できたという (F. A. Kozel et al. *Biol. Psychiatry* 58, 605-613; 2005)。

しかし、この技術に反対する人々は自制を強く求めている。「科学的・技術的・倫理的問題が解決されるまでは、かなり注意深く進めていく必要がある」と、スタンフォード生化学倫理センター (カリフォルニア) の Judy Illes は語る。

問題の 1 つに、うそとは何か、どうすればうそを検査できるかを定義するための基準がないことが挙げられる。さらに、fMRI 実験で使用される統計上の分析方法には疑問の残るものがあり、ぎりぎりのところで有意性ある閾値だといえなくもない結果もあると研究者たちはいう。シェフィールド大学 (英国) の Sean Spence は、「個別のスキャン結果では、誰がうそをついて誰が真実を語っているのかを見分けるのはとてもむずかしい」と話す。Spence は早い段階でうそ発見の研究に MRI を使い、論文発表を行った研究者の 1 人だが、「初期の実験結果は、長期にわたる厳密な研究がなされていけばもちこたえられないかもしれない」という。

そのほかにも科学者や生命倫理学者は、研究室で行われる実験では被験者はうそをつくようあらかじめ指示されており、懲役刑や死刑がかかっているような実際の状況における結果を、研究室で導き出された実験結果と比べて推定するには無理があると指摘する。また、脳をスキャンするこのうそ発見



暴かれるうそ：従来の方法 (ポリグラフ) では、心拍数の変化などストレスによって引き起こされる変化の測定に頼っている。

技術をくぐり抜ける手立てがあるのかどうかを調べたデータはない。さらに、健康的な被験者から得られたデータは、自分が真実を語っていると心から信じている者、混乱状態や妄想的な精神状態にある者、もしくは病的虚言者などの脳の動きの予測にはあまり役立たないと考えられる。

「もし私がジハード戦士でアメリカ人は不信者だと考えているとすれば、私の精神状態は今とはまったく異なるわけです」と、生物医学における倫理と法律を専門とするジョージタウン大学ローセンター (ワシントン DC) の Gregg Bloche はいう。ACLU 委員会のメンバーでもある Bloche は、「彼らの脳の動きがどうなっているか、我々にはわからないのです」と話す。

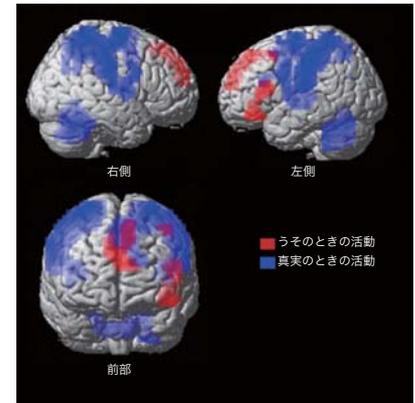
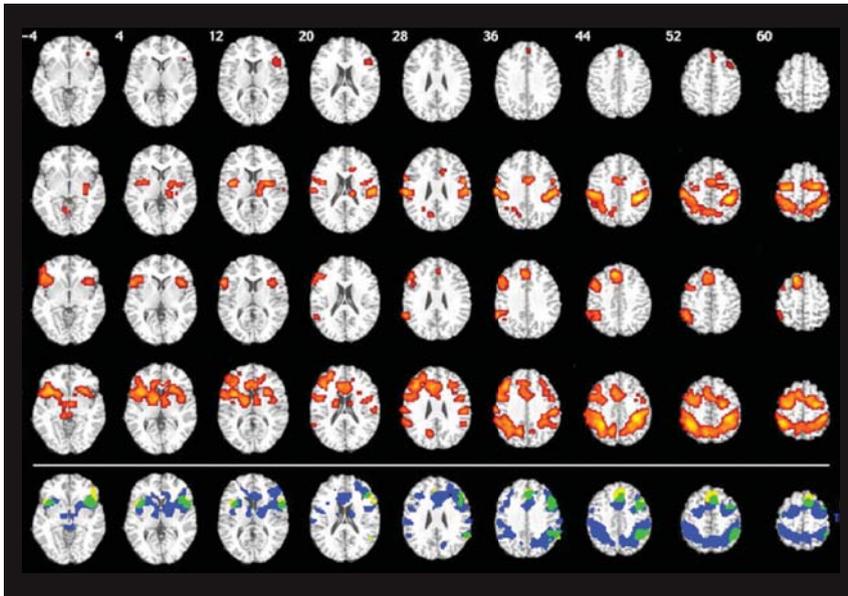
これらの問題から、この技術が求められる科学的正確さの基準をクリアできるとは考えにくく、全米の裁判所で証拠として採用されるために必要な承認は受けられないだろうと法律の専門家という。しかし、たとえ現時点では不正確で信憑性に欠けた技術だとして

も、多くの被験者実験を重ね、技術的に洗練されていけば、やがて使いものになる日がやってくる可能性はある。その場合に問題となるのは、誰に対し、どんな状況でならこの技術の使用が許されるのかということだ。

生命倫理学者は、fMRI を使用したうその検出が当初は無罪を証明するために使われるとしても、やがてはすぐにも警察の取り調べや入国管理、保険金請求、求職者の適性検査、家庭争議などにおいて、罪を犯した者から情報を聞き出すために使用されることになる懸念する。脳の電氣的活動を測定するなど、さまざまなうそ発見技術の開発が次々に進んでおり、倫理学者たちの心配は募る一方だ (*Nature* 428, 692-694; 2004 参照)。

### 語られる真実

特に 2001 年 9 月 11 日のテロ発生後、fMRI やそのほかのうそ発見器が軍や諜報機関などによって間違った使い方をされるのではないかと懸念が強まっている。「この件に関しては政府が



fMRI を使用したうそ発見システムでは、うそをつく時にみられる脳の動きをとらえる。これらの画像（左と上）はどちらも、ペンシルバニア大学の Langleben 教授たちのグループが行った実験での fMRI 画像である。うそをついているときは、前頭前皮質内の特定部位が活発になる。

ら大きな圧力がかかっている。こうした技術の開発のため、多額の資金や労力がつぎ込まれているのは間違いない」と、ペンシルバニア大学の生命倫理学者 Paul Root Wolpe はいう。

さらに倫理学者たちは、真実を突き止めるために他人の脳をのぞき込むのは個人の領域を侵す行為だと指摘する。この行為は、マインドリーディングに例えられることもある。例えば将来、ある写真や外国の言葉に脳が反応したが最後、被疑者は口を開く前に前頭前皮質によって密告されることさえ考えられると、彼らは警告する。Wolpe は「脳から直接情報を取り出すのは、人類にとってこれが初めてだ。人々はこの事実を非常に恐ろしいことだと感じている」という。

No Lie MRI 社を創立した Joel Huizenga と Cephos 社の社長 Steven Laken は、科学の限界や倫理的問題については承知済みだと話す。Laken は、質問は研究にできるだけ沿った形式で設定し、被験者に適用することを計画している、また、問題点については弁護士と共に解決していきたいと語る。「我々は科学的に正確でありたいと思っています。裁判沙汰になり、廃業に追い込まれるようなことは望んでいません」。

また両者ともに、倫理面を考えると、テストは同意した被験者にしか行えないと認める。協力する意思のない被験者は、動いたり質問に答えるのを拒否したりすることで簡単に fMRI 検査を失敗させることができるからだ（ただし、この技術の導入に反対する人たちは、fMRI 検査を拒否すること自体が非を認めることになりかねないと反論する）。No Lie MRI 社はペンシルバニア大学とライセンス契約を結んでいるが、Langleben は、もし No Lie MRI 社が倫理的側面を無視して行き過ぎるようなことがあれば、「(大学側として) この契約は白紙に戻す」としている。

どのような反対意見があるにせよ、2社のもとには自らの潔白を証明したいという人たちからすでに多くの問い合わせが届いているという。また、Huizenga によると、MRI 検査にのぞむ最初の人たちのようすを取材したいという要請が 8 つのテレビ番組から来ているという。Huizenga の最終的な目標は、フランチャイズ式に世界中に検査機関を置くことだ。世界中の検査機関で集められた MRI 画像やビームデータは、中央の研究室で分析を行う。MRI でのスキャンには 1 時間ほどかかる場合もあるが、料金は 1 分 30 ドル、そのほか法律面での援助

や質問には別途、追加料金で対応することを予定している。

研究者の中には、こうした計画をそれほど心配する必要はないという人たちもいる。「脳画像技術の研究者たちのほとんどは、この計画はあまりに早急でうまくいくはずがないと考えている。躍起にならなくてもだいじょうぶだ」と Spence は話す。

しかし、生命倫理学者たちは、技術が実用化される前に科学界の内外でもっと活発な議論がなされるべきだという主張を変えていない。ACLU の委員でスタンフォード大学の法学教授である Hank Greely は今年 3 月、うそ発見技術と法律に関するワークショップを開いた。その場で彼は、安全性と有効性を結論づける十分な証拠が揃うまでは、うその発見に MRI の使用は見合わせるべきであり、たとえば食品医薬品局 (FDA) が行っている薬剤認可のような、公平な機関による規制枠組みが導入されるべきだと提案した。

fMRI に悪いレッテルが貼られるのを避けたいのならば、社会的・法的問題に対して神経科学者自身が警告を発すべきだというのが生命倫理学者たちの主張である。「開発に関わっている科学者には、この技術を正しい方向へ導く絶対的な義務がある」と Wolpe は話す。 ■

# The Next Nuke

## 次の核兵器

Nature, Vol.442 (18-21) / 6 July 2006

不毛の地: 1992年の核実験一時停止の宣言以来、米国の核兵器実験場(ネバダ州)は静けさの中にある。

米国の核兵器科学者たちは、実験を行わなくても「信頼できる」とされる新型核弾頭の設計を進めている。この核弾頭は、米国の老朽化した備蓄核兵器に取って代わるものとなるのだろうか。Geoff Brumfielが報告する。

NNSA / NEVADA SITE OFFICE

ある暑い春の日のこと。ネバダ砂漠では、引退した技術者の Ernie Williams が、核実験の歴史を観光客に説明していた。無愛想でぶっきらぼうな Williams は、かつて米国の核兵器関連施設で働いていた退役軍人だ。1951年以來、Williams がかかわった核実験の回数はおよそ 80 回。これまでの生涯で 0.6 シーベルトの放射線を浴びた計算になるという。これは、現代の原子力発電所に勤める労働者と比べて約 40 倍の被爆量だ。しかし、体の不調といえば耳があまりよく聞こえないことくらいだけ。しかも、これは遺伝子のせいであって、核爆発が原因とは考えていないと Williams はいう。

Williams は観光バスの中から、ネバダ核実験場のあばた状の地形にそびえ立つ 15 階建てのタワーを指差した。これは、米国が最後に行う予定だった 3

つの地下核実験のうちの 1 つ、「アイスキャップ」実験用に建設されたものだ。しかし、アイスキャップを含む 3 つの実験計画は、米国が核実験の一時停止を宣言した後、1992年に中止となった。以來、砂漠に降り注ぐ太陽光の下で、このタワーは数十年間にわたる核実験の記念モニュメントと化している。

同じころ、ネバダ核実験場から西へ 500 キロメートルのローレンスリバモア国立研究所(カリフォルニア州)では、Doug East が訪問者たちに新しい核実験方法について説明していた。コンピューター科学者である East は、IBM や大手電話会社のパシフィックベルで大規模ネットワークのプログラミングを担当した後、1992年にこの研究所にやって来た。米国が核実験を中止したのと同じ年のことである。

East は、涼しい清潔な地下室へと訪問客を案内した。地下室には、最新型



アイスキャップ核実験のために建てられたタワーは、実験が中止となった後、放置されたままだ。

NNSA / NEVADA SITE OFFICE

のスーパーコンピューター「パープル」が設置されている。IBMのロゴつきの黒い箱がずらりと並ぶ「パープル」は、小さな町の消費電力量に匹敵する電力を消費する、世界最速のコンピューターの1つである。箱の中では1万2000個を超える高速プロセッサが、信じられないほど詳細な核兵器実験シミュレーションを行う。「まさにボタンを押すだけで簡単に核爆発を起こすことができる、世界初の機械です」。訪問客に向かってEastはこう説明していた。

パープルのようなスーパーコンピューターの計算能力と過去の実験データを使い、核実験を行わずともきちんと作動することを保証する新しい核弾頭を設計する——。こんな野心的な計画に、米国の核兵器設計者たちがのめりこむように取り組んでいる。彼らは、新しい核弾頭は米国が保有する老朽化した核弾頭に取って代わることになるだろうという。新型核弾頭は既存の弾頭よりも安全で信頼性が高く、製造が容易で維持費用も低い。一部の設計者は、新型弾頭を非公式に「木製爆弾」とよぶ。理論的にいえば、ほとんどメンテナンスすることなく何年も貯蔵しておくことが可能だからだ。この新兵器は、公式には「信頼性のある代替核弾頭 (RRW)」とよばれている。

### バーチャル実験に対する批判

ローレンスリバモア研究所および姉妹研究施設のロスアラモス国立研究所（ニューメキシコ州）にとって、RRWは未来そのものだ。新しい世代の兵器設計者に核弾頭の開発に取り組む機会を与えると同時に、両研究所のような軍事技術にかかわる研究所に、冷戦後の時代にもはっきりとしたプロジェクトを与えてくれるからだ。

しかし、計画に批判的な人たち（米国に現在備蓄されている核弾頭を設計した人たちを含む）は、核実験を行うことなくRRWが作動することを保証

するという点に疑いの目を向けている。ロスアラモス研究所の元所長 Harold Agnew は「何も設計したことがない人々が設計し、何も作ったことがない人々が製造する新型弾頭のほうがいいという人がいるとはまったく信じられない。ばかげた話だ」という。

批判にもかかわらず、この計画は静かに政治的な支持を集めつつある。以前に提出された新型核弾頭設計計画を廃案に追い込んだこともある米連邦議会は昨年、RRW計画に対し2500万ドル（約29億円）の予算を与えた。これは相当に大きな予算額だ。計画が順調に進めば、新型核弾頭は2010年代にも配備される可能性がある。

ジョージ・ブッシュ元大統領は1992年、包括的核実験禁止条約の調印に向けた最初の一步として、米国内における核実験を停止した。これがRRWをめぐる議論の発端となった。米国は今なお、包括的核実験禁止条約を批准していないが、自発的に核実験の一時停止を続けている。

### 1万個の核弾頭を抱えて

プリンストン大学（ニュージャージー州）の物理学者で軍備管理の専門家である Robert Nelson は「核実験の禁止は、核の軍拡競争終結の象徴だ」という。Nelsonによれば、米国が核実験を行わない限り、インドやパキスタンなど比較的后になって核兵器を保有した新興国を含むほかの国々は、米国にならなければならないという大きな圧力を感じるはずだという。核実験の禁止は、以前から核兵器を保有してきたほかの国々と比べても、米国に大きく有利に働く。米国はすでに1054回分の核実験データを保有しているからだ。これに比べて、例えば中国は45回の核実験しか行っていない。

核実験が終わり、米国は1万個近い老朽化した備蓄核兵器を抱えることになった。大部分は製造後17～30年が経過しており、約12のタイプに分けられる

と Nelson は話す<sup>1</sup>。どのタイプも、核物質（多くはプルトニウム239である）を圧縮するためにまずは通常の爆薬を使い、その爆発によって一連の制御不能な核分裂反応と核融合反応を引き起こす仕組みだ（図核弾頭の構造を参照）。核弾頭の維持管理は容易なことではない。腐食などの通常の老朽化プロセスに加え、核弾頭の引き金である「ピット」（連鎖反応を開始するのに必要な部品）に含まれるプルトニウムが、少量ではあるが一定量の放射線を出し続けるからだ。この放射線によってプルトニウム合金の結晶構造が変化し、その特性にも影響が及ぶ<sup>2</sup>。結果として、核弾頭が爆発しなくなる可能性が生じる。

研究者たちは92年以降の14年間、こうした旧式の核弾頭についてコンピューターシミュレーションとバーチャル実験で研究を積み重ねてきた。ロスアラモス研究所で爆薬試験計画を指揮した



James Peery は、「近年の研究で旧式の核兵器に関して、いくつかの重要な事柄が新たに明らかになりつつある。研究者たちは、予期していなかった発見や事項に出くわしている」と話す。もちろん、その詳細は完全な機密事項だ。

既存の核弾頭に深刻な問題があると考えている人はいないが、予期しない発見があったことで、核弾頭をどれだけ長く維持することができるかに関しては、懸念が少しずつ膨らんでいる。元ロスアラモス研究所の元所長で現在はスタンフォード大学（カリフォルニア州）で研究を行っている冶金学者の Siegfried Hecker は「製造後 50 年以上が経過したピットの使用については、

大きな不安がある。現在のピットに含まれるプルトニウムは、将来的にある時点で溶かし、新しいものに作り直す必要があるだろう」と話す。

ここで RRW の出番となる。ロスアラモス研究所で兵器開発計画を 7 年間指揮し、現在は一線を退いている物理学者の Paul Robinson によると、冷戦時の物理学者たちは、1 基のミサイルにできるだけ多くの核弾頭を載せるため、限りなく軽く、そして爆発しやすい弾頭を作ることに重点を置いていたという。しかし、冷戦は終わりを告げ、超大国どうしが核兵器で最終決着をつけようとする可能性は少なくなった。このため、1 基のミサイルに搭載する弾

頭数はかつてより少ない場合が多くなり、設計者にとっては核弾頭の搭載にあたって空間と重さの面で余裕ができた。「現在では、核弾頭をより信頼性の高いものにするための選択肢がいろいろある」と Robinson は話す。

### 将来設計

ローレンスリバモア研究所とロスアラモス研究所の兵器設計者は現在、米国で最も多く使われている核弾頭である W76 の入れ替えに向けた RRW の設計に取り組んでいる。W76 は潜水艦発射ミサイルに搭載されている核弾頭だ。1 基のミサイルの先端には、それぞれ標的を異とする 8 個の W76 核弾頭を搭載できる。しかし、現在のミサイルの大部分は、通常 4 個の核弾頭しか搭載していない。

ロスアラモス研究所の敷地中央には、ガラスと鉄でできた輝くビルがある。老朽化した W76 核弾頭との入れ替えが予定されている弾頭の設計案研究はここで行われている。設計者たちは、セキュリティ確保のために設置されている回転式ゲートと指紋スキャンを通過した後で、同研究所のスーパーコンピューター（ローレンスリバモア研究所のパープルよりはわずかに計算能力が低い）を使い、RRW 設計案について計算機実験で試す。「ほら穴」とよばれるセキュリティが確保された部屋の壁と天井には 33 基のディスプレイが設置されていて、3 次元立体シミュレーション画像をプロジェクターで映し出せるようになっている。設計者たちはジョイスティックを使って、弾頭の各設計案について、爆発のあらゆる段階での映像を回転させたり、拡大させたりすることができる。

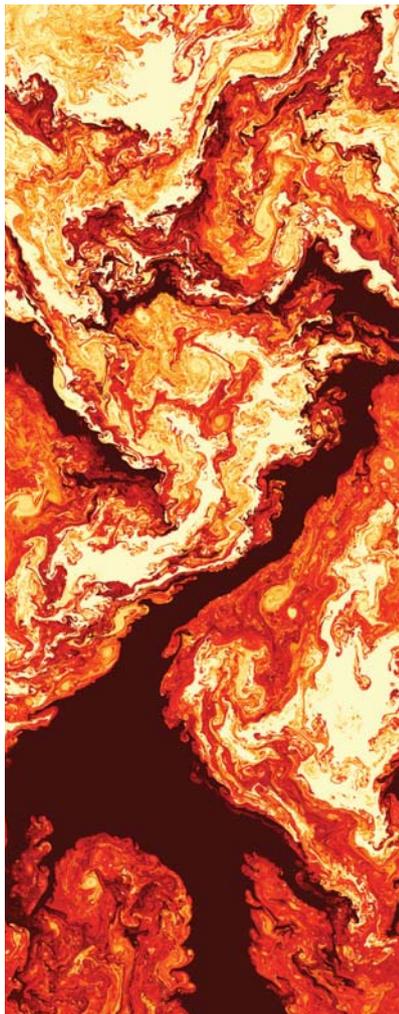
シミュレーションは、純粹に理論だけに基づいて行っているわけではない。核爆発以外の爆発実験データを含め、何年もの間に蓄積した実験データを基にしている。ある軍事技術研究所の匿名科学者によると、ロスアラモス、



減った核弾頭：冷戦終結後、潜水艦ミサイルはかつてと比べて半数の核弾頭しか搭載しなくなった。

ローレンスリバモア両研究所の RRW 原型設計案は、地下核実験を行った過去の核弾頭設計を基にしたものだという。「RRW 設計案と、かつて実験を行った核弾頭の設計案はきわめてよく似ている。だから、RRW に対して懐疑的な人たちもシミュレーションを受け入れるだろう」とこの研究者は話す。

現在シミュレーション中の W76 の代替核弾頭がどのようなものであるか、両研究所の外部の人間で知っている者はほとんどいない。しかし、議会での証言、研究所の機密扱いでない研究成果、ニュース記事などをたどっていくと、変更する可能性の高い箇所が多数わかる。



A. CALDER &amp; D. SHEELER / ASC FLASH CENTER

乱流混合のコンピューターシミュレーションは、核弾頭で起こる現象の数値モデル化と関係がある。

最も大きな変更点は、核弾頭のプルトニウムピットの改良とみられる。より多くのプルトニウムを加えれば、長年の貯蔵を経て確実な爆発を確約できる可能性がある。Hecker によると、ピットの製造を容易にするための設計改良もありうるという。冷戦時代、ピットは加熱したプルトニウム金属のシートを成型する方法で作られていた。これは、時間はかからないものの不正確な方法だった。「できたピットの仕様にはばらつきが大きく、それゆえ核実験を行って性能を確かめていた。今後のことを考えると、あのような方法は支持できない。RRW のピットは、鋳型を使って製造するべきではないか」と Hecker は話す。

#### 実験は必要ないのか？

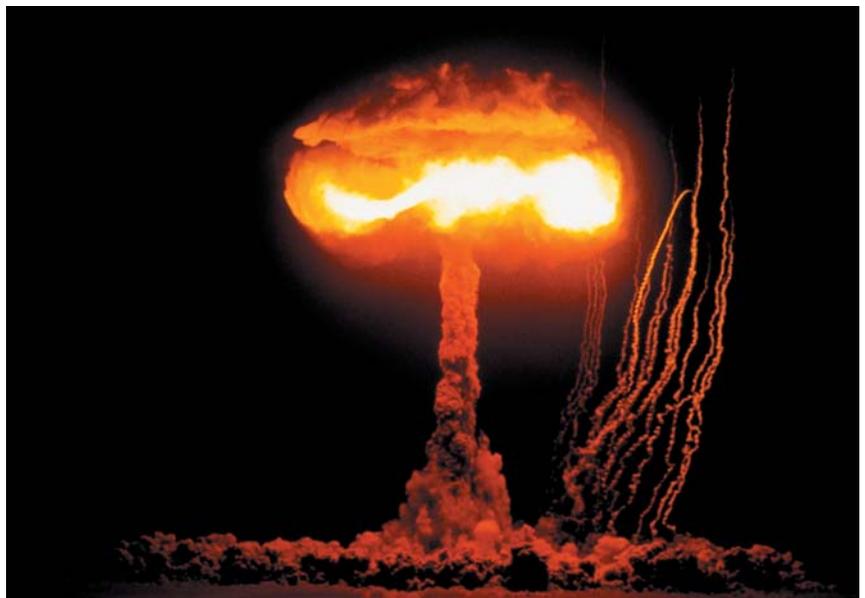
核弾頭に使われている有毒物質について、より害の少ない物質に置き換えられる可能性がある。現在、W76 核弾頭の中のプルトニウムは、ベリリウムで包まれている。このベリリウムには、最初の核爆発を増幅する役割がある。しかし、ベリリウムも有毒で発がん性のある物質だ。ベリリウムをステンレス鋼な

どのより重い材料に変えることができれば、弾頭製造時の環境汚染の危険性を減らせることになるだろう。

最近になってようやく、W76 の外殻に使われる軽量だが不安定な爆薬を、「低感度高性能爆薬」とよばれる、爆発力では劣るがより安定な爆薬に変えられないかを検討中であることが、両研究所のレポートで明らかになった。これによって核弾頭の大きさと重さは増加するだろうが、貯蔵中の予期しない爆発の可能性は減るだろう。

しかし、こうした変更によって本当に実験の必要性のない、安価な核弾頭ができるものなのだろうか。現役の設計者およびかつての設計者 12 人についていえば、変更によって核弾頭を維持・管理するためのプロセスが簡単になるだろうという点では、全員の意見が一致している。しかし、新型核弾頭についても実験が必要かどうか、また、既存の保有核兵器の作り直しと比べて新規製造が手ごろな方法なのかについては、意見はばらばらだ。

W76 核弾頭の設計期間中ロスアラモス研究所を指揮した Agnew は、RRW 計画を声高に批判する 1 人である。変更



1957 年、ネバダ核実験場で行われた核実験で生じたきのご雲。ネバダ核実験場はラスベガスの北西約 105km の場所にあり、1951～1992 年にかけて 925 回の核実験が行われた。

THE STOCKTREK CORP. / PICTUREARTS / NEWS.COM

が性能にどのように影響するかはほとんどわかっていないと彼は主張する。「新しい設計担当者たちは、設計上のマージン(余裕)とは何であるかをわかっていない。実際のところ、マージンがどれだけあるか誰も考えていない」と Agnew は話す。例えば、核弾頭のピットにより多くのプルトニウムを加えたとしても、必ずしも弾頭の信頼性が高まるわけではないというのが Agnew の意見だ。逆に、核弾頭が偶然爆発する可能性が高まるかもしれないし、核弾頭の爆発力のほとんどを生み出す二次燃料を過熱させすぎてしまうかもしれない。実験をしない限り、こうしたことは絶対にわからないと彼は断言する。「核による抑止力が本当に重要だと考えるなら、実験すらしていないものを自国の保有核兵器とすべきではない」と Agnew は話す。

スタンフォード大学の物理学者 Sidney Drell たちも、これらの変更がいわれているほどの効果を上げるか疑っている。サンディア国立研究所(ニューメキシコ州アルバカーキ)に以前所属していた Robert Puerifoy と Drell は、予期しない爆発の原因となる可能性が最も高いのは、高性能爆薬ではなく、ロケット燃料であることを示した<sup>3</sup>。この報告の結果、海軍は W76 に低感度高性能爆薬を使わないことを決定した。

### タカ派もハト派も

さらにコストの問題がある。米国の既存の備蓄核兵器を維持するには巨額の予算が必要で、毎年 14 億ドル(約 1600 億円)以上を計上している。RRW にかかる総額の見積もりを両研究所は発表していないが、国会議員らは予算を節約できるという点で RRW に興味を示している。しかし、爆弾設計者だった Richard Garwin は、備蓄核兵器の維持にこれほどの予算が必要なのは老朽化よりもその量に問題があると主張する。「今ある核弾頭を 1 万個から 2000 個に減らせば、もっと予算を節約

できるはずだ。備蓄数を減らせば、現在保有している核兵器をいつまでも維持できるだろう」と Garwin はみる。

かつての兵器設計者がみな、RRW 計画に批判的なわけではない。ローレンスリバモア研究所の初代所長である Herbert York は、より単純で重い核弾頭の設計には、実験済みの初期の核弾頭設計が信頼できる基盤になるはずだと考えている。「それが本当に現実的な選択かどうかはわからないが、米国の保有核兵器を実験なしに設計しようとは思う」と York は話す。

RRW 計画には批判があるものの、共和党支持者と民主党支持者は計画を好意的にとらえている。タカ派がこの計画を支持するのは、米国の新しい世代の兵器設計者にとってよい訓練になるからだ。ハト派は、以前の兵器開発計画は撃破したものの<sup>4</sup>、RRW 計画は実験が必要ないという主張に説得された。米連邦議会は、計画の来年度予算を倍額以上に増やすものとみられる。軍は、この計画をためらいがちにはあるが支持することを表明している(コラム「軍幹部を説得する」を参照)。

長期にわたって米国の軍事状況をウォッチしてきた専門家によれば、RRW 計画の推進は、米国の老朽化した核兵器関連施設のためにはよいニュースだという。ローレンスリバモア研究所の元所長で、国防総省防衛科学委員会の核兵器関連施設に関する委員会の座長を務めている John Foster は「冷戦終了後、米国の核兵器計画は袋小路に入っていた。ソ連邦の崩壊以降、研究所の士気は低下し、弾頭を新型のものに入れ替える取り組みは予定より遅れていた」と話す。RRW 計画は研究所にとっての新たな挑戦であり、明確な未来図を描ききっかけとなる。「RRW は核弾頭の設計から生産まで大きく変えるだろう」と Foster はいう。

実際、計画は兵器開発にかかわる人々を再び活気づける効果があるようだ(コラム「英国の関与は？」を参照)。

兵器設計者は、ここ 20 年間で初めてとなる新型核弾頭の開発に意欲をみせている。ローレンスリバモア研究所のチームは今春、RRW 設計案の大規模なシミュレーションを行った。ロスアラモス研究所の科学者たちは、計算結果の一部をチェックするため、核兵器を使わない形での爆発実験を計画している。

両研究所のチームはすでにそれぞれの設計案を検討委員会に提出しており、現在その評価が行われているところだ。2つの設計案のうちの1つが、今年中に開発計画の基礎設計として選ばれる。もう1つのRRW設計案を選ぶ2回目のコンペも、2007年中に行われる可能性がある。すべてがうまく進めば、最初の核弾頭ピットは早ければ2012年にも製造される予定だ。

信頼性のある代替核弾頭は今のところ、ロスアラモス研究所とローレンスリバモア研究所の巨大なスーパーコンピューターの中の0と1の連なりにすぎない。しかし、ネバダ砂漠では、かつてアイスキャップ実験のために建てられたタワーがその姿をいまだにジョシュアツリー(ユッカの一種)の上にとどめている。爆弾(全部で225トン)を保持する索具は、爆発の数ナノ秒前にデータ信号を運ぶように設計された数百メートルの銅ケーブルとともに、その場所に残されたままだ。

つまり、米国の次の地下核実験をアイスキャップの実験設備で行う準備はできている。「米国が核実験を再開するのなら、ここでやるのは理にかなっていると思う」と Ernie Williams は、明るい顔で観光客たちに説明していた。 ■

Geoff Brumfiel は、*Nature* の物理科学担当記者(ワシントン DC)。

1. Norris, R. S. & Kristensen, H. M. *Bull. Atom. Sci.* **62**, 68-71 (2006).
2. Hecker, S. S. *MRS Bulletin* **26**, 672 (2001).
3. Drell, S. & Puerifoy, B. *Annu. Rev. Nucl. Part. Sci.* **44**, 285-327 (1994).
4. *Nature* **438**, 139 (2005).
5. Boese, W. & Pomper, M. A. *Arms Control Today* [http://www.armscontrol.org/act/2006\\_06/CartwrightInterview.asp](http://www.armscontrol.org/act/2006_06/CartwrightInterview.asp) (2006).

## 軍幹部を説得する

新型核弾頭「信頼性のある代替核弾頭 (RRW)」を実験なしに開発する——。核兵器科学者たちはそう考えているかもしれない。しかし、本当に実験を行うことなく開発を行うには、政府関係者を説得する必要がある。

少なくとも国防総省の一部高官たちは、RRW を実験なしに使うという計画に満足しているようだ。米軍の核兵器関連の活動を指揮する米戦略軍 (USSTRATCOM) の司令官である James Cartwright 大將は最近、RRW 計画の支持を表明した。Cartwright は *Arms Control Today* 誌 6 月号に掲載されたインタビューの中で、「我々が各研究所と共同で行っている研究は、

確かに信頼できるものになるだろう」と述べている<sup>5</sup>。

しかし、科学者たちが空軍と海軍の将官たちを納得させられるかどうかはまだわからない。サンディア国立研究所 (ニューメキシコ州アルバカーキ) の元所長である Paul Robinson によれば、「空軍や海軍の将官たちはこれまで、既存の兵器の変更にかんがりの抵抗を示してきた」という。同研究所は、弾頭の核以外の部品の維持・管理を担当している。

抵抗は、最後には信頼性の問題よりも予算の問題をめぐる起こる。弾頭に変更が行われると、海軍と空軍はともに、爆弾を標的に運ぶためのソフトウェアとハードウェアのシステム変

更を強いられ、そのすべてに金がかかる。RRW 設計案コンペを監督する米エネルギー省国家核安全保障庁 (NNSA) は、「新型弾頭は既存のミサイルを利用できるように設計担当者に要請している」という。

これまで、軍は RRW のために資金を出す必要はなかった。予算問題を担当する米連邦議会議員の 1 人は、軍の幹部は RRW 計画にそれほど関心をもっていないと話す。しかし、新しい設計案が実現に向けて動き出せば、国防総省が資金を出さなければならない可能性はますます高まり、「ある時点で、国防総省も応分の負担をしなければならないだろう」と、この職員は話す。 **G.B.**



新型核弾頭が配備されれば、海軍にも余分な費用負担が予想される。

## 英国の関与は？

英国は信頼性のある代替核弾頭 (RRW) 計画に参加しているのだろうか。サンデータイムズ紙は最近の記事の中で、英国の核科学者が「秘密裏に米国の研究者と弾頭の入れ替えについて協議している」と書いている。

英国国防省の高官は、RRW 計画へのいかなる英国の関与も否定する。国防省のスポークス

マン Matthew Willey は「記事には多数の間違いがあり、読者に誤解を与える記述もあった」と話す。特に、RRW 計画の一部だとして引用された米英両国の共同実験は、既存の老朽化した弾頭に関する通常のテストにすぎないと、Willey と米国防政府高官は話す。

しかし、だからといって米国の動向に英国の兵器科学者

が関心をもっていないということではない。英国の核抑止力を支えているのはもっぱら、潜水艦から発射する W76 核弾頭である。RRW 計画で入れ替え対象として検討されているタイプだ。

カリフォルニア州の兵器コンサルタント、David Overskei は「英国の兵器科学者たちは、こうした老朽化し

た核弾頭をどう扱うべきかを決定しようとしている」と話す。Overskei は、RRW 計画と米国の核兵器関連施設を調査した昨年の米国の委員会で座長を務めた。「私の知る限り、英国の兵器科学者たちは RRW にはかかわっていない。しかし、彼らが非常に強い興味を示しているのは間違いない」。

**G.B.**



# A gentle way to age

## クジラに「やさしい」 年齢の数え方

Nature Vol.442 (507-508) /3 August 2006

ザトウクジラの年齢は、耳垢に生じる層状の輪の数を数えることにより精度よく知ることができるが、そのためにはクジラを殺して解剖しなければならない。クジラを生かしたまま、年齢を知ることにはできないのか？ オーストラリアで試みられている新たな年齢測定法を、Carina Dennis が報告する。

D. BURNS/SCUWRS

いつも通りの1日が始まった。Daniel Burns たち研究者は、求愛中の2頭のザトウクジラを邪魔にならぬよう距離をおいて見守っていた。そこに別のクジラが突然やってきた。新たな雄のやや強引なアプローチを雌はもてあまし始め、ついには恐怖を感じてその場を離れ、研究者たちの乗ったボートを挟んで、しつこい求婚者たちの反対側に移動した。Burns たちは、それぞれ別の方向に頭を向ける3頭のクジラに囲まれる形となった。クジラの体重は1頭が約35トン。「アドレナリンが吹き出しました」と、全長6メートルの船の2倍はあろうかという巨大哺乳類の間で揺れる船の舳先で、足を踏ん張っていたことを思い出しながら Burns は語っ

てくれた。ともあれ研究チームは目的を達した。クジラの「フケ」を手に入れたのだ。

Burns たちはクジラを追尾して、棒の先にぶら下げた調理用のザルで、人の手のひらほどの大きさのある皮膚の破片を、海に沈む寸前にすばやくすくい上げた。フケは、クジラが水中から跳ね上がる時や、尾びれが海面をたたくときに自然にはがれ落ちる。

皮膚のかげらをすくい上げるというのは、通常のホテルウォッチングの醍醐味からはかけ離れているかもしれない。しかし Burns たちは、採取したフケを使えばクジラの体を傷つけずに年齢を調べられるのでないかと考えている。それがもし正しければ、科学目的の調査捕

鯨でクジラを殺すことの重要な論拠の1つは海の藻屑と消えることになる。

サザンクロス大学クジラ研究センター（オーストラリア、ニューサウスウェールズ州リズモア）の大学院生である Burns は、天候のよい日も悪い日も、明け方から日没まで海に出ている。彼は Peter Harrison 率いる研究チームに所属しており、同チームでは、ザトウクジラ (*Megaptera novaeangliae*) の体からはがれ落ちた皮膚を使って年齢を測定する、遺伝学的手法を開発中である。現在、クジラ類の年齢測定は一般に歯を対象に行われているが、ザトウクジラなど歯のないヒゲクジラ類では、耳垢に生じる層状の輪を数えることが最も精度の高い年齢測定法である。クジラの

外耳道は外界に通じていないので、耳垢は層状に蓄積してゆく。こうした層構造は、ザトウクジラでは1年に2層形成されると一般に考えられている。しかし、耳垢の層を数えるにはクジラを殺して解剖しなければならない。

### 新しい年齢測定法

「クジラの年齢測定は非常に重要です」と、米国立海洋哺乳類研究所（ワシントン州シアトル）でクジラを研究している Phil Clapham は語る。年齢がわかれば、個体群動態モデルを構築することが可能となり、クジラの行動に関する理解が進み、過去1世紀の大量捕獲による個体数減少からの回復具合を評価することができる。さらには、繁殖戦略が加齢に伴って変化するかどうか、特定の時期に群れを作るのはなぜかといった疑問、またそもそもザトウクジラの正確な寿命が何年かという基本的な謎も解明できるかもしれない。初期の研究報告では、ザトウクジラの寿命は半世紀ほどだと示唆されていたが、今日ではその2倍は生きるのではないかと推定されている。

Harrison のチームは、クジラの年齢を知る手がかりが、その染色体の先端から得られるのではないかと期待しており、同じように考える研究グループは他にも世界中にいくつかある。染色体の先端には、「テロメア」とよばれる短い反復性の DNA 配列が存在する。ヒトを含む一部の動物では、テロメアは年齢を重ねるとともにカウントダウン・タイマーのように徐々に短くなってゆく。ヒトや鳥類を対象とした研究では、テロメアの長さをもとに、個体をおおまかな年齢層に分類可能なことが示唆されている<sup>1,2</sup>。ただし、テロメアの長さには個体差があり、また1つの個体のテロメア短縮速度は一生の間に変化するもので、年齢の正確な決定はむずかしい。クジラの研究者たちはその辺を楽観的にとらえており、クジラのテロメア配列も加齢とともに短縮していくのであれば、テロメアを解析すること



Daniel Burns (左) たちは DNA 解析のために、クジラを追尾し、はがれ落ちた皮膚をザルで集めている。

でクジラを殺さずにおおまかな年齢を決定できるのではないかとみている。

こうした手法は緊急に求められていると研究者たちは語る。なぜなら、日本が昨年、調査目的のミンククジラの捕獲数を倍に増やす計画を打ち出したからである。これには、国際捕鯨委員会 (IWC) が1986年に商業捕鯨のモラトリアム (一時停止措置) を導入して以来、初めて、調査目的でザトウクジラとナガスクジラを年に各50頭を捕獲する計画も含まれている<sup>3</sup>。日本が捕獲数増加を主張する主な科学上の論拠の1つは、個体群構造を明らかにするためには試料を集める必要があるというものだ。Harrison のチームをはじめとする世界の研究グループは、テロメアを使った年齢測定法の確立によって、日本の主張を封じ込められるのではないかと期待している。「この方法が有効ならば、調査捕鯨計画に関する日本の主張に大きな打撃を与えることができます」と Clapham は語る。

クジラをはじめイルカやネズミイルカも含むクジラ類の年齢を推定するためにテロメアを用いることは、未検証の領域である。動物の中には、加齢に伴ってテロメアが短縮するものもあれば短縮しないものもあり<sup>4</sup>、なかには逆にテロメアが長くなるものもある<sup>5</sup>。テロメアによる年齢測定法がクジラで有効なことを示すためには、すでに年齢が明らかな個体の試料が必要となる。

Harrison のチームは幸いにも、クジラを撮影した膨大なフォトライブラリーを利用することができる。撮影者は、歴史学者の Trish Franklin と、夫で航空会社の元役員であった Wally の夫婦だ。2人は1989年からクジラの撮影と記録をこつこつと続けている。「撮影は、ちょっとした興味で始めました。そのうち夢中になり、ついには病みつきになりました」と Wally は語る。彼は現在、妻とともに Harrison の指導の下で博士号を取得しようとしている。

夫妻のフォトライブラリーは、約3000個体のクジラの写真を収載し、多くの個体の最低年齢がわかることから非常に貴重である。そして研究チームは現在、各個体の遺伝子型を系統的に決定すること、すなわち個体識別用の遺伝的な「指紋」(フィンガープリント)の採取を、はがれ落ちた皮膚試料から抽出した DNA を用いて進めている。

### 成功の兆し

Burns が、何が起こるか予想できない危険な海に立ち向かって皮膚のかげらを採取すると、同僚の Martin Elphinstone が、皿のように静かな研究室でそれらの皮膚片のテロメアを調べる。得られた当初結果の一部は勇気づけられるものだった。Harrison によれば、数頭のザトウクジラから得られた予備的データからは、子クジラと成体をテロメアの長さから区別できそう

な感触が得られたという。「できれば将来的には、確定できる年齢区分を5～10年の幅に狭めたいと考えています」とHarrisonは語る。耳垢の層を数える方法と比べて精度は劣るものの、この範囲であれば個体群のモデル化には十分だろうとHarrisonはいう。「死んでしまったクジラの正確な年齢を知るよりも、生きているクジラのおおよその年齢を知るほうが大事なのです」。

こうしたデータを支持する結果が、Harrisonと同じようにザトウクジラのテロメアを研究しているカリフォルニア大学バークレー校の集団遺伝学者Per Palsbøllによって得られている。彼の研究チームは、子クジラから20歳までの12頭から採取した皮膚生検のDNAを調べている。「この小規模なデータからは、若い個体ほどテロメアが長いことがわかります」とPalsbøllは語る。しかし、現段階ではこの方法の信頼性は十分でないという釘を刺す。「たとえ同じ個体グループから得た試料を使ったとしても、再現性に多くの問題があるのです」。

テロメアを扱う研究には難点がある。Harrisonのチームは、個体の一生の間にテロメア短縮速度がどう変化するかを調べるため、同じ個体を対象に一生の異なる時期に採取された多数の試料を検証している。この調査を進めるために研究グループは、ニュージーランドにあるオークランド大学の分子生態学者Scott Bakerが数十年間かけて採取した貴重な皮膚生検標本を活用しようとしている。

Bakerは、北半球に生息する2～30歳のザトウクジラから採取した生検試料を保有している。そして、最初の生検時の14年後に再び試料採取を行っている。Harrisonは現在、Bakerと共同でこれらの個体のテロメアの長さを測定しており、その値が個体内および個体間での程度変動するかを調べている。またBakerの元には、10年前にオークランド諸島でミナミセキクジラ (*Eubalaena australis*) から採取された生検試料のコレクションもある。そして彼は、キャン

ベラに本部がある科学産業研究機構のオーストラリア南極局のNick Galesと協力して、テロメア解析用に同じ個体の試料を再び採取しているところだ。

クジラのはがれ落ちた皮膚を試料としてテロメアを解析するHarrisonの方法は、侵襲的でない点が特長である。それに対して、皮膚生検試料からDNAを回収する場合は、クロスボウまたは改造ライフル銃から生検用の矢を背びれ付近に打ち込んで、組織片を抜き取る処置が必要になる。

しかし、クジラの皮膚片を用いる方法に問題がないわけではない。皮膚は痛みやすく、死につくある組織でもある。「十分な量の質の高いDNAが得られる試料は多くありません」とElphinstoneは語る。この方法だと、狙ったクジラ個体からうまく試料採取するのもむずかしい。異なる個体の皮膚片が、海水中で混合してしまうおそれがあるからだ。この問題は、フォトライブラリーの全個体について標準となるDNAフィンガープリントを得ることで解決できるはずだとHarrisonと考えている。

仮に、ザトウクジラでテロメア解析が有効だと評価できれば、他のクジラ類にもこの方法を使えるかもしれない。Galesは現在、寿命が20年足らずのネズミイルカのように比較的短寿命のものから、200年以上も生きる可能性のあるホッキョククジラに至るまでさまざまなクジラ類のテロメアを調べている。「テロメア長が寿命と相関するかどうか



鯨をろ過して食べるヒゲクジラ類。多くのクジラの年齢測定に使用される歯がない。

を確認するために、寿命が大きく異なる種に注目しています」とGalesは語る。

Galesはまた、米国フロリダ州のサラソータ湾に1年を通して生息する、世界で最もよく研究されたイルカ個体群の1つであるバンドウイルカの群れでも、テロメア年齢測定法の有効性を調べている。「この群れには、個体の年齢と個体群構造が詳しくわかっているという利点があり、そのため年齢測定におけるテロメアの真価を問うことができます」と、Galesは語る。彼は、このプロジェクトでサラソータのモート海洋研究所のRandall Wellsと共同研究を進めている。

このオーストラリアの研究チームにとって、研究の進展が早すぎるということはない。日本は、2007～2008年の南半球が夏の時期に南極地方の採餌海域でザトウクジラを捕獲する計画を立てており、この海域には、Harrisonのチームが調査中の個体群が含まれている。彼らは、ニックネームもつけた自分たちの研究対象のクジラが、捕鯨船の甲板に引き上げられてしまうのではないかと危惧している。

たとえ研究者たちが、クジラを殺さなくてもすむ年齢測定法を開発できても、直ちに調査捕鯨の中止につながるかどうかは疑問である。本誌の取材に対して、日本鯨類研究所のコメントは得られなかった。IWC科学委員会のオーストラリア代表団を率いるGalesは、捕鯨停止には至らないだろうとみている。「けれども少なくとも私たちは、この方法の存在をアピールすることで、強い政治的圧力を加えることができます」と彼はいう。

Carina DennisはNatureのオーストラリア特派員。

1. Tsuji, A., Ishiko, A., Takasaki, T. & Ikeda, N. *Forensic Sci. Int.* **126**, 197-199 (2002).
2. Haussmann, M. F., Vleck, C. M. & Nisbet, I. C. T. *Exp. Gerontol.* **38**, 787-789 (2003).
3. Gales, N. J., Kasuya, T., Clapham, P. J. & Brownell, R. L. Jr *Nature* **435**, 883-884 (2005).
4. Monaghan, P. & Haussmann, M. F. *Trends Ecol. Evol.* **21**, 47-53 (2006).
5. Haussmann, M. F. et al. *Proc. R. Soc. B* **270**, 1387-1392 (2003).

# The Arctic tells its story

## 北極が物語る自らの歴史

Heather M. Stoll



北極は、地球の気候変動に特に敏感な場所の1つである。新たに掘削された堆積物コアによって、「温室」から「氷室」状態への長期にわたる移行で、北極域の果たした役割が明らかにされた。

Nature Vol.441(579-581)/1 June 2006

晴れわたった暑い日に白いTシャツを着ると涼しいように、極域を覆う雪と海氷は光を反射するため、地球が吸収する太陽光の総量を減少させる。氷量と積雪量は気温低下に応じて増えるので、気候変動を拡大させる。しかし、北極と南極は常に凍りついた不毛の地であったわけではない。過去5500万年くらいの間に、地球は大きく寒冷化し、温室気候から現在の氷室気候に変わった。Nature 6月1日号に掲載された3論文<sup>2,3,4</sup>の報告によると、北極での注目すべき科学プロジェクト<sup>1</sup>の結果から、長期寒冷化における北極の役割と、寒冷化前の温室気候振動期における北極の応答にかかわる詳細な状況が明らかになった。

氷が太陽光を反射し、低緯度域からの暖かく塩分を多く含んだ海流を効率的に受け入れることによって、北極が全地球的気候に影響を及ぼしているにもかかわらず、北極中央部から長期の地質学的記録が回収されていなかったため、気候遷移における北極の役割の問題は未解決であった。北極の気候進化に関するこれまでの知識は、数千キロメートル離れた場所のコアや露頭の研究から得られたものだった。しかし今回、砕氷船と掘削リグを組み合わせた巧妙な計画(図1)によって、確かな証拠を伴う知見を得ることについて成功した。北極掘削航海で、過去5500万年にわたる注目すべき気候記録が北極中央部から回収され、そこから引き出された推論が新しい論文<sup>2,3,4</sup>で報告された。

過去5500万年間の気候寒冷化は大気中のCO<sub>2</sub>減少に原因があり、その結果、氷のない世界から、極度に凍結した南極とともに、グリーンランドや凍結した北極に巨大な氷床がある世界に遷移したと、長い間考えられてきた。それどころか、海草から得られた同位体マーカーを基に過去の大気中のCO<sub>2</sub>濃度を再構築した結果<sup>2</sup>から、大気中CO<sub>2</sub>が4500万~2500万年前に劇的に減少し、この時期が地球の大規模寒冷化の開始時期とかなりよく一致することが示されている(図2a,b参照)。しかし、南極においての氷河作用と海氷が現れ始めた時期は約4300万年前で、地球の寒冷化とCO<sub>2</sub>の減少が始まった時期に一致するが、北極の気候変動は時期的にずれているようにみえる。北極の寒冷化とこれに伴う氷床・海氷の成長は、氷山に運ばれた小石が北大西洋の堆積物中に初めて出現する200万~300万年前まで、つまり南極より数千万年遅れたように思われる。

北極の氷河作用が南極よりも大きく遅れたのは、CO<sub>2</sub>のような全地球的気候にかかわる要因によるのではなく、南半球の地域的な変化にตอบสนองして、南極氷床が成長し始めたからだ、古気候学によって示唆されている。南アメリカ大陸とオーストラリア大陸が南極から離れてゆっくりと移動していったため、暖かい海流が海岸線に沿ってはるばる南極まで流れなくなっ



M. JAKOBSSON/IODP

図1：コアの寄与。ここに見られる北極掘削航海に共同で取り組んでいる3隻の船は、砕氷・海底掘削船 Viar Viking と砕氷船 Oden と Sovetsky Soyuz である。

たというのだ。しかし、最近のモデルでは、海流が絶たれるだけでは、氷床拡大が始まるほど十分に南極は寒冷化しなかつただろうと示唆されている<sup>6</sup>。

この謎は、Moran たち<sup>2</sup>が報告した新しい記録によって見事に解決した。この記録は、北極の氷がこれまで信じられていたよりも、ずっと早い時期に出現したことを示している。冰山によって北極海盆中央部に運ばれた小石が、南極周辺とほぼ同時期の4500万年前にはすでに出現している(図2c参照)。大量の砂と冰山が運んだ小石によって、1400万年前まで、海氷と冰山が北極の広範囲に存在していたことが裏づけられた。このように北極の氷期開始時期が早く、南極の氷期と同期していることは、大気中のCO<sub>2</sub>の変化が両半球での氷期の始まりをもたらした主たる要因であるという考えを支持する。

Moran たちの論文<sup>2</sup>は、大気中のCO<sub>2</sub>と温室-氷室遷移の密接な関係を明らかにしたが、北極コアのより古い堆積物から得られた結果は、温室世界における気候の仕組みに関する我々の知識にかなり意外なずれがあることをあらわにした。Sluijs たち<sup>3</sup>は、5500万年前の北極の海面水温が18°C程度だったと報告している。これはフランス、ブルターニュの海岸の海面水温に匹敵している(この地方では、我慢強い人はそれでも泳ぎに行くが)。最も重要なことだが、5500万年前の気候モデルでは、光を反射する氷床を除外し、大気中のCO<sub>2</sub>濃

度を産業革命以前の約10倍の2000ppmまで増やしても、このような温かい海水をシミュレートするには至らない。明らかに、CO<sub>2</sub>だけが北極を極端に暖かくした要因ではない。気候シミュレーションのモデルから、何が欠けているのだ。Sluijs たちは、この「何か」は別の温室効果要因、つまり北極域の成層圏下部にある凍った水蒸気雲であると考えている。大気中の温室効果ガスと同様に、このような氷の結晶は地球から宇宙へ放射されるエネルギーの一部を捕捉し、北極域の地表をより高い温度に保つのである。

Sluijs たち<sup>3</sup>は、5500万年前に起こった急激で猛烈な温暖化(暁新世/始新世境界温暖化極大期)に関する興味深い結果も報告している。この「暁新世超温室」は、深海の堆積物中にあるメタンから、あるいは北大西洋が開いた時期に起きた火山活動によって有機炭素が蒸発し、海洋と大気に大量の炭素が放出されたために生じたと信じられている。海洋・大気のどちらの場合も、大気中の過剰CO<sub>2</sub>によって温室効果が強まり、熱帯の気温が4~5°C上昇した(文献7)。Sluijs たちは、北極の気温も18°Cから23°Cへと急上昇したことを示した(図2c)。各モデルはまたもや、北極の温暖化について気温の適切な絶対値を得ることができなかったが、CO<sub>2</sub>増加に起因する北極の温暖化の程度については一致している。

氷期と間氷期の間を揺れ動く現世（完新世）を通してみられる、北極の気温が熱帯の気温と比べて少なくとも2倍は変化する状況と異なり、暁新世超温室期の北極の温暖化は熱帯・亜熱帯地方でみられる温暖化とほぼ同じである。逆説的いえば、この結果は海水・氷床が極地域におけるより大きな温度変動の原因であるという、氷室気候に対する我々の知識の一面を裏づけるもので、氷のない温室気候では極地域は気候変動に対して他のあらゆる場所と同じように応答する。CO<sub>2</sub>の変化率と暁新世超温室期の温暖化は次世紀に予想されている温暖化と似ているかもしれないが、ある点では将来の温暖化は同じではなく、積雪量・海水量の減少によって高緯度域では温暖化が顕著に拡大するであろうことをこの結果は再確認している。

最後に、Brinkhuis たち<sup>4</sup>は、北極におけるもう1つの重要なフィードバック、つまり熱輸送と塩分の関係の近い将来の作用を垣間見せた。今日では、塩分の多い海流は北極に流れ込む。そこで海水は熱を放出して、十分に密度が高くなり深海に沈み、北大西洋深層水になる。このような海流の強さと深層水形成におけるゆらぎは、過去数万年間のほとんどの急激な気候変動の発生か拡大に関与している。

Brinkhuis たちは、低緯度域で生まれた暖かく塩分の多い海流の北極への流入が遮断されていたようにみえる4900 万年前の80 万年間を明らかにした。塩分の多い海流が流入しないと、降雨が蒸発よりも局所的に多くなり、今日では塩分が0.2%以下の水中でしか自然に成長しないアカウキクサ属の水生シダの群落を特徴とする淡水環境（図2c参照）ができる。この類まれな期間には、一時的に増えた淡水が北極からあふれ出ることもあり、このシダの残骸をまわりの海盆に運んだ。

北極における淡水シダの支配期間は、塩水に戻った4830 万年前に突然終わった。北極の塩分増加が、低緯度域からの暖かく塩分の多い海流の流入を示す、小さいが重大な影響をもたらす北極の水温上昇と対応していることが示されたのは重要である。より年代の新しい北極のコアから隠れていたものが現れたとき、その後の数千万年間、暖かい海流による輸送が発達し続けた仕組みと、このような変化が過去2000 万年間にわたる全球温度の低下にかかわってきた仕組みが見つかるだろう。

総合すると、これらの論文<sup>2,3,4</sup>は、北極の気候進化に関するいくつかの謎を解いた。しかし、氷河作用の強度が約1400 万年前に増大し、まだ約300 万年前にさらに増した理由を明らかにする必要がある。どちらも大気中のCO<sub>2</sub>の減少と関連がなかったからだ。さらに、モデル化したCO<sub>2</sub>の影響は暁新世超温室の

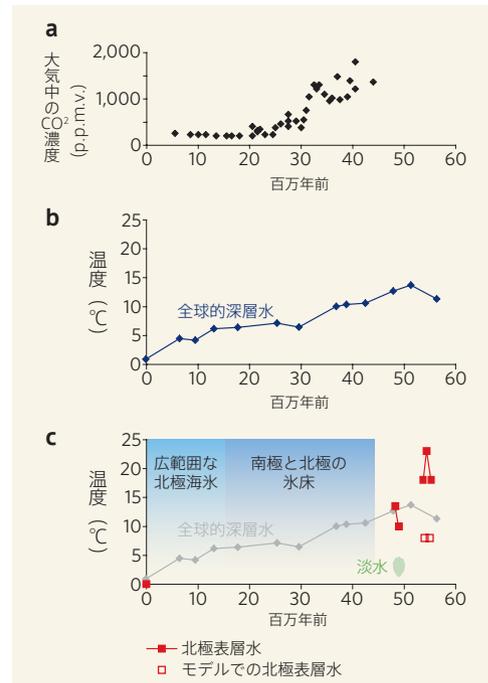


図2：過去5500 万年にわたる全球と北極の気候進化。

a,b, 大気中のCO<sub>2</sub>濃度（体積 ppm；文献5）の減少は、深層水温度から推測される寒冷化と同時に起こっている<sup>8</sup>。c, 今回報告された結果の概要<sup>2,3,4</sup>。北極の氷の発達<sup>2</sup>はこれまで考えられていたより早く起こり、南極の氷河作用と同期している。5500 万年前、暁新世 / 始新世境界温暖化極大期に北極の表面水温は、「突出」して5°C上昇した。このイベントの前と間の温度は、モデルから予測される温度より少なくとも10°C高い（文献3）。最後に4900 万年前、約100 万年という短期間、北極は表層水が淡水という珍しい時期にあった<sup>4</sup>。低緯度域で生まれた暖かく塩分の多い海流が流入して表面水温が上がり、この期間は中断した。

説明には十分でなく、別のいくつかの（おそらく温室効果）要因が必要であることを考慮に入れると、この別の要因の消滅も氷床の成長と地球の寒冷化に影響を与えていたのかもしれない。

このすべてで、気候モデルに関係するものに個別の難題がある。過去に極域の温暖化をもたらした過程を気候モデルに組み入れることができれば、将来の気候変動に対する予測にいつそう大きな自信をもてるようになるだろう。 ■

Heather M. Stoll

オビエド大学（スペイン）およびウイリアムズ大学（米）

1. <http://www.ecord.org/exp/acex/302.html>
2. Moran, K. et al. *Nature* **441**, 601–605 (2006).
3. Sluijs, A. et al. *Nature* **441**, 610–613 (2006).
4. Brinkhuis, H. et al. *Nature* **441**, 606–609 (2006).
5. Pagani, M. et al. *Science* **309**, 600–603 (2005).
6. Huber, M. & Nof, D. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* **231**, 9–28 (2006).
7. Zachos, J. C. et al. *Science* **302**, 1151–1154 (2003).
8. Lear, C. H. et al. *Science* **287**, 269–272 (2000).

# Stuck in the middle

## 日本の株式市場で足をすくわれた 外資系バイオテック企業

Nature Vol.442(237)/20 July 2006

日本の株式市場に外資系バイオテック企業として初めて上場した会社が、制度的な問題で身動きがとれなくなっている。しかし、この経験は他の企業の教訓になるであろう。冬野いち子が報告する。

日本を資金調達の出発点に選ぶ外資系企業は少ない。ルール、規制、法律、文化の相違のために極めて面倒なことになるからだ。ところが昨年初め、日本人の医学博士2人によって米国カリフォルニア州サンディエゴに設立されたバイオテック会社「メディシノバ」は、古い型を打ち破ろうと立ち上がった。

メディシノバ社にとって滑り出しは上々だった。世界のライバル企業が新規企業の立ち上げに苦戦していた2005年2月に新規株式公開を行い、1億1000万ドル（約120億円）を調達した。複数の薬物候補が開発段階にあり、日本の製薬会社から薬物候補を導入し、日本よりはるかに収益性の高い米国市場で臨床開発・販売するという新しいビジネスモデルをもつ同社は、大きく羽ばたくと思われていた。

ところが期待は長く続かなかった。新興企業向け株式市場のヘラクレス（大阪）に上場した直後からメディシノバ社の株価は下落し始め（グラフ参照）、現在の株価は発行価額だった

400円（3ドル44セント）の約3分の1となっている。

株価低迷の理由の1つは、日本国内のバイオテクノロジー部門の全般的な沈滞とされる。これに対しては、政府による規制緩和の公約にもかかわらず、日本の株式市場が外資系企業を受け入れることのむずかしさがここに表れているというのが、ファンドマネージャーやアナリストの見方だ。「メディシノバ社のチャレンジングな姿には感心しました。でも制度的な問題がいくつかあったということが、後からわかったのです。」こう語るのは、日本最大のベンチャー



キャピタル会社ジャフコの縣（あがた）久二常務取締役である。

メディシノバ社は、田辺製薬（本社：大阪）から分離独立して2000年に設立された。田辺製薬は、循環器系を専門とする中堅製薬会社である。メディシノバ社の初代社長は再建外科医の清泉貴志だったが、2005年に退職し、現在は岩城裕一が最高経営責任者となっている。

メディシノバ社は、証券会社や報道機関を含めて日本の証券業界の一部から差別を受けてきた、と岩城は主張する。外資系会社の株式取引に関する規則によって、投資家が外資系会社の株式を保有しにくくなっている、と彼はいう。また、日本の投資家が利用する情報資源の多くには外資系企業に関するデータがなく、その結果、一部の投資家のポートフォリオから外資系企業が締め出しを食らっている、とも岩城は主張する。

「弊社にとって市場との対話が制限されているのは悲しいことです。日本の証券市場のグローバル化への先鞭になれ

たらしいと思っているのですが、あまりにも犠牲も多いのです」と岩城は話す。

メディシノバ社のビジネスモデルは、薬物候補のライセンスを主に日本国内の企業から取得し、米国とヨーロッパで臨床試験を終了させることである。

日本国内の製薬会社が海外で臨床試験を実施するのは、手続きの複雑さや臨床治験を代行する現地会社を使いこなすのがむずかしいため、どこも非常に苦労している。そのため、メディシノバ社のビジネスモデルは魅力的である。南カリフォルニア大学（米国ロサンゼルス）にも所属している岩城は、米国で30年間も研究を続けており、同社の他の役員も米国の大手バイオテック会社での勤務経験がある。これまでのところ、メディシノバ社は、喘息からがんに至るさまざまな病気の治療を目的とする6種類の薬物候補の臨床試験をすすめている。

メディシノバ社の株式を日本で上場させたのは、薬物候補を提供するパートナー企業との関係強化に役立つ側面があるためだ、と岩城は語る。しかし上場当初からメディシノバ社は、個人投資家のような投機的売買をしない、安定した大口取引をしてくれる機関投資家に株式を購入させるために苦労した。最近まで日本の投資家が日本国内で上場された外資系企業の株式の売買をするには、東京証券取引所の子会社である日本証券決済株式会社を通す必要があった。しかし銀行や証券会社などの機関投資家は、このルートを使うことが許されていなかった。その代わりに、機関投資家が例えば東京にも上場しているボーイング社の株式を買いたいと思えば、海外に出て、ニューヨーク証券取引所で買わなければならない。

メディシノバ社は、中国の新華ファイナンス社と並んで、日本に単独上場する唯一の外資系企業である。それゆえ、制度の不備によって両社は苦境に追い込まれた。この問題は、5月になって日本の金融庁が証券保管振替機構に対して機関投資家との外資系企業株式取引決済を許可したことで解決した、と岩城はいう。

一方、個人投資家は、別の問題に直面していた。メディシノバ社の株価が、なかなか一般紙に掲載されなかったのだ。また、同社の四半期報告書やその他の企業情報も、日本の個人投資家に人気のあるヤフーなどのウェブサイトに掲載されなかった。それは、インターネット企業が情報を日本のウェブサイト上で現在使用されている円表示に直ちに換算できなかったことによる。（メディシノバ社は米国規則を遵守するため、米ドル表示による決算報告をしている。）こ



大阪証券取引所



岩城裕一の会社は、大阪証券取引所に上場以来、厳しい状態が続いている。

れらの問題のため、個人投資家はメディシノバ社の株式に警戒感をもってしまった、と岩城は主張する。

株主とのコミュニケーションを高めるため、最近、メディシノバ社は、日本語ウェブサイトを一新させ、岩城も自分自身のブログを日本語で掲載し、企業イメージの改善をねらっている。

メディシノバ社が困難な目にあっただのは、日本の株式市場での上場に固有の問題のためではなく、上場のための準備が不足していたからだとする専門家もいる。「メディシノバ社はスピードを重視しすぎたと思います。日本では一歩一歩順を追って実行していくのが大切なのです。」こう語るのは、2007年末に東京証券取引所での上場を計画している Cangen Biotechnologies 社（米国メリーランド州ベセズダ）の最高経営責任者の Chul So Moon だ。

日本での上場を考える他の外資系バイオテック企業は、メディシノバ社の経験を教訓にできる、と懸念を考えている。「メディシノバ社のおかげで、日本の制度の問題点が表面化しました。今後この業界がどのように対応するのか、長い目で見ていく必要があります」と彼は話す。

# 人類進化の空白を埋めるアナメンシス猿人の化石を発見

## 諏訪元

米国カリフォルニア大学のティム・ホワイト教授、東京大学総合研究博物館の諏訪元教授らのチームは、アウストラロピテクスの中で最も古いアナメンシス猿人の化石を新たに発見し、*Nature* 4月13日号で発表した。より古い時代のラミダス猿人とアウストラロピテクスの間の空白を埋める今回の発見について、諏訪元教授にうかがった。

### アウストラロピテクスの起源に迫る

**Nature Digest** — 今回の発見で何がわかったのでしょうか？

**諏訪** — アウストラロピテクス属は、現代人を含むホモ属の直接の祖先だと考えられていますが、いつ、どのように生じたのか、よくわかっていません。今回、エチオピアのミドルアワシュ地域で、420万～410万年前のアナメンシス猿人の化石を発見しました<sup>1</sup>。この地域からは360万～300万年前のアファール猿人<sup>\*1</sup>と440万年前のラミダス猿人<sup>\*2</sup>も出土しており、アナメンシス猿人は年代的に両者の間に位置づけられます。歯の特徴も、ラミダス猿人とアファール猿人の中間的な様相を示していました。このことから、アナメンシス猿人は最古のアウストラロピテクスで、ラミダス猿人から急激に進化した可能性が高いと考えられます。

**ND** — アナメンシス猿人は、これまでどのような位置づけだったのでしょうか？

**諏訪** — アファール猿人よりもやや原始的で、別種とされてきました<sup>2-3</sup>。ただ、ケニアから歯や顎の骨などがわずかに出ているだけで、アファール猿人やラミダス猿人との関係は判断しがたいものでした。今回、エチオピアからも発見され、年代的にも形態的にもラミダス猿人とアファール猿人の中間に位置することが確認できたということです。

**ND** — 歯の特徴が中間的であるとは、どういうことですか？

**諏訪** — アウストラロピテクスの歯は、前段階のラミダス猿人に比べて犬歯は小さくてきゃしゃなのですが、臼歯は大きく、エナメル質が厚いといった特徴があります。アナメンシス猿人の犬歯はラミダス猿人とほぼ同じ大きさですが、臼歯との相対的な大きさは小さく、中間的な特徴をもつと解釈できます（写真1参照）。また、臼歯は大きく、エナメル質も厚くなっており、明らかにアウストラロピテクスの特徴がみられます。つまり、アナメンシス猿人の歯は、ラミダス猿人からアウストラロピテクスへの移行を示唆する中間的な特徴を示していることとなります。

**ND** — アウストラロピテクスの起源がみえてきました。

**諏訪** — アウストラロピテクスは、ラミダス猿人の集団から直接、しかも20万年という短期間で急激に移行したのではないかと私たちは考えています。アウストラロピテクスの起源はもっと古い時期にあって、ラミダス猿人から直接進化したのではないとする仮説もありますが、今わかっている化石を素直に解釈すれば、ラミダス猿人からの直接の進化は十分ありえると思います。

### 活動域を広げたアナメンシス猿人

**ND** — アナメンシス猿人は何を食べていたのでしょうか？

**諏訪** — 臼歯が大きく、エナメル質が厚いということは、硬いものや歯の磨耗を促進するものを咀嚼する力が強かったことを意味します。より開けた環境で、頑丈な咀嚼器に頼る生活していたのがアウストラロピテクスだといえるでしょう。では、具体的にどんなものを食べていたのか。歯からみるため、どんなものをつぶしたり、分断するのに適しているかといった機能論からしか提言できませんが、例えば小粒で硬くこころろしたもの、つまり種子類や堅果類、豆類などでしょう。また、一度に大量に圧をかけて分断するもので歯の磨耗を促進するもの、例えば砂まじりの地下茎などを食べていたと考えられます。どれもサバンナにたくさんあります。

**ND** — 森林からサバンナへ住む環境が変わったということですか？

**諏訪** — 今回の標本は、ラミダス猿人と同じような森林的な環境から出ています。アナメンシス猿人の場合、森林からサバンナへというように完全に住む環境が変わったのではなく、環境利用の幅が広がったのではないかと考えています。ラミダス猿人が利用していた森林という環境も継続して利用しつつ、サバンナへも出ていく。より広い活動域を担うようになったのがアウストラロピテクスではないかと思います。こうした視点を提供できたことも、今回の発見の大きな意義だと思っています。

**ND** — ラミダス猿人より古い時代については、どこまでわかっているのですか？

**諏訪** — 580万～520万年前のカダバ猿人<sup>\*3</sup>、600万年前のオロリン<sup>\*4</sup>、700万～600万年前のサヘラントロプス<sup>\*5</sup>の3種が発表されていますが、依然として全貌が明らかになっていない段階です。ただ、共通に発見されている臼歯や犬歯、顎などを見る限り、三者にそんなに違いはないというのが私たちの意見です。場合によっては同じ属かもしれません。今後、新しい発見や研究が進めば、最初のころの人類のようすもわかってくると思います。

### フィールドワークを基本に、人類の進化を探る。

**ND** — 大学院在籍中にカリフォルニア大学に留学されていますが、どんなことを学びましたか？

**諏訪** — いずれフィールドワークに参加したいと思っていたので、人類だけでなく動物の骨についてもかなり勉強しました。現場で日常的に見つかるのは動物の化石ですから、そのとき何の化石を



諏訪元 (すわ・げん) / 東京大学総合研究博物館教授。Ph.D. 1954年、東京都生まれ。1978年、東京大学理学部生物学科卒業。1988年、同大学大学院理学系研究科人類学専攻博士課程修了。1980年、カリフォルニア大学バークレー校に留学。大学院に在籍のまま、1984年からエチオピア国立博物館、ケニア国立博物館などで標本調査、1986年からは東アフリカでのフィールドワークに従事。1994年、東京大学理学部助教授を経て、2006年より現職。

1992年にラミダス猿人の化石を発見し、オーストラロピテクス以前の人類の存在を初めて明らかにした。以後もティム・ホワイト、B. アスファオらとの共同研究として、ガルヒ猿人やカダバ猿人などの研究に携わり、人類の進化の軌跡を明らかにし続けている。近年は、マイクロCTの歯の三次元形状研究をエチオピアの化石研究に応用すること<sup>4</sup>にエネルギーを費やす。

みているのかわからないと面白くないと思ったからです。今でも動物化石の一部は、自分たちで同定します。現場で骨のかけらをぱっと見て判断できる、それが自分としての誇りでもありますね。

**ND** — 長年、共同研究を続けているティム・ホワイト教授とは、留学時代からのお付き合いなのですね。

**諏訪** — 書面上の指導教官ではありませんでしたが、ホワイトさんは実際にいろいろ指導して下さった先生に当たります。ホワイトさんは、猿人の第一大臼歯なら第一大臼歯の精度のいいレプリカをずらっと一同に並べて、種の違いを感覚的に頭に叩き込むということをやろうとしていて、私はそれを手伝っていました。フィールドワークもホワイトさんから学びました。今はそれぞれ自分たちのプロジェクトも進めながら、一緒に成果を出していくという間柄です。

**ND** — チームとして次々と成果をあげられています。成功の秘訣はなんですか？

**諏訪** — ミドルアワシュの調査地にはさまざまな時代の地層があるということと、フィールドチームの実力がかかって、何かあれば見逃さずに発見できることだと思います。また、国際性豊かな混成チームなので、例えば私の場合には日本人としてのバックグラウンドもあるわけです。欧米より日本の方がデータそのものにこだわるという側面があって、レーザーやCTを応用して化石からデータを抽出し、どう議論していくかということは、ホワイトさんより私のほうが思い入れが強いです。そういう面でも、チームとしてバランスが取れているのかもしれませんが。

**ND** — 今後はどんなことを目指していますか？

**諏訪** — まずは、ラミダス猿人やカダバ猿人など、すでに出て

いる化石の解釈をすることです。ここ数年で、いろいろな成果を発信していかなければいけないと思っています。しかし新しい標本を発見しなければ、新しいことはいえません。新しい発見が研究の源だと思っていますから、そこには携わってほしいですね。いまだにまったくの空白の場所もあるわけですし、そうした不十分なところを充実させたいと考えています。

**ND** — ありがとうございました。 ■

\*1 アファール猿人  
オーストラロピテクス・アファレンシス。360万～300万年前の人類祖先。1974年にエチオピアのハダールで発見された。このとき発見された大人の歯の化石は、「ルーシー」のニックネームでよばれている。

\*2 ラミダス猿人  
アルディピテクス・ラミダス。440万年前の人類祖先。オーストラロピテクス属以前の古いタイプの人類で、新たに設けられたアルディピテクス属に分類される。1992年にエチオピアのミドルアワシュで、諏訪元らによって発見された。

\*3 カダバ猿人  
アルディピテクス・ガダバ。570万～560万年前の人類祖先。ラミダス猿人よりもやや原始的で、アルディピテクス属の別種とされる。1997年にエチオピアのミドルアワシュで発見された。

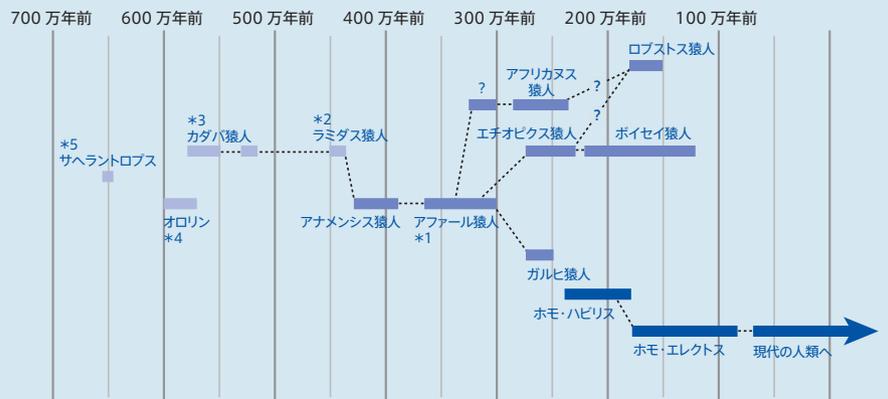
\*4 オロリン  
オロリン・トゥゲネンシス。600万～570万年前の人類祖先。2000年にケニアのトゥゲンヒルで発見された。発見された大腿骨から、二足歩行をしていたと考えられている。

\*5 サヘラントロプス  
サヘラントロプス・チャデンシス。700万～600万年前の人類祖先。2001年にチャドのトロスメナラで発見された。中央アフリカのチャドで初期人類の化石が発見されたことで、人類誕生の地が東アフリカだけではなくた可能性が強まった。

聞き手は財部恵子 (サイエンスエディター)。

1. White, T.D. et al, *Nature*, **440**, 883-889(2006)
2. Leakey, M.G. et al, *Nature*, **376**, 565-571(1995)
3. Leakey, M.G. et al, *Nature*, **393**, 62-66(1998)
4. Suwa, G. and Kono, T.R., *Anthropological Science*, **113**, 273-289(2005)

人類の進化の道すじ



諏訪元 2005年の資料より作成

東京大学 諏訪元



写真1: ミドルアワシュ地域のアサイシで発見されたアナメンシス猿人の歯の化石 (ASI-VP-2/334)。右上顎の犬歯をともなった歯列である。犬歯は、類人猿から人類に至る進化の過程を見極めるキーポイントの1つである。

ダム建設の是非を問うときに、周囲の自然環境、とりわけ生態系に及ぼす悪影響が必ず話題に上ります。ダムの貯水・放流によって、河川の水量や水流、水質などが変わることによって、そこに生息する動植物は直接の影響を免れません。

今月は、ダム建設によって、オーストラリアハイギョ

(Australian lungfish) が絶滅の危機に瀕しているという記事を取り上げます。ハイギョは「生きた化石 (living fossil)」とよばれ、シーラカンスとともに陸上脊椎動物の祖先として位置づけられる、進化を研究するうえで重要な生物です。解説を参考にしながら、ハイギョをめぐる論争について、英語で読んでみましょう。

## NEWS

語数 : 613 words 分野 : 環境・生態・進化

Nature 442, 232-233 | doi: 10.1038/442232b; Published online 19 July 2006

### Dam project threatens living fossil

<http://www.nature.com/nature/journal/v442/n7100/full/442232b.html>

Helen Pearson

Lungfish face extinction, say environmentalists.



1. We are about to lose a key piece of our evolutionary history, warn biologists. They are campaigning to save the Australian lungfish, which they fear could be **sent extinct** by an enormous dam planned for southeastern Queensland.
2. The **hefty**, muddy-brown fish (*Neoceratodus forsteri*) is thought to have survived virtually unchanged for at least 100 million years, making it one of the oldest known **vertebrate** species around and earning it the **moniker** of 'living fossil'. It is also one of the closest living relatives of the ancestral fish that crawled on to land and eventually gave rise to all land vertebrates, including humans. Being able to study the species is important for understanding how that transition took place.
3. The lungfish is now largely **confined to** two river systems in Queensland — among the only places that provide the shallow, running and **weedy** water in which the fish likes to **spawn**. A dam in one of these, the Burnett river, was completed last year in order to supply water to the **drought-stricken region**. The area has the fastest growing population in the country, and delivering water to the inhabitants is likely to be a huge problem in the future. But lungfish researchers say that by flooding or drying them out, the dam will eventually destroy nearly half of the lungfish spawning areas.
4. On 5 July, Queensland Premier Peter Beattie announced a decision to dam the second river, the Mary. Partly because the Australian lungfish is listed as a **threatened species**, the dam must pass a federal environmental-impact assessment before the project can proceed. But lungfish supporters believe the second dam could be enough to drive the species to extinction.
5. The latest decision prompted lungfish expert Jean Joss at Macquarie University in Sydney to step up a campaign to block the dam and persuade the federal government to **intervene**.
6. Joss has asked colleagues to e-mail Beattie and federal environment minister Ian Campbell to tell them about the scientific importance of the fish — so far more than 100 scientists have responded to her call. "It would be a **calamitous** and irreplaceable loss if this animal went extinct," says Per Ahlberg of Uppsala University, Sweden, who collaborates with Joss and is helping with the campaign.
7. There are five other species of lungfish living in South America and Africa. But the Australian lungfish, which can live for a century and grow 1.5 metres long, is thought to most closely resemble the **last common ancestor** of land vertebrates.

8. Biologists say that living fish can be used for genetic and embryology studies that probe how vertebrates moved from water to land — analyses that would be impossible with preserved specimens. Joss and Ahlberg, for example, are studying the lungfish's patterns of gene activity, to try to work out how fins became limbs. "These things are amazingly important organisms in the history of the Earth," says William Bemis who studies vertebrate evolution at the University of Massachusetts, Amherst.
9. The Queensland government has guaranteed that the dam will include a 'fish elevator' to carry lungfish across the dam and says that it will **do whatever it takes to** meet federal environmental requirements, as it did with the last dam. But Joss says that this is not enough, because the lungfish's old spawning grounds will still be destroyed. Lungfish lay very few eggs, and return to the same spawning sites year after year.
10. Should the campaign fail, Joss says she will petition Beattie for money to set up a lungfish breeding centre. But guaranteeing the species' survival **in captivity** would be tough. So far Joss is the only researcher who has managed to breed them, using two ponds, each the size of an Olympic swimming pool.

著作権等の理由により画像を掲載することができません。

ヒトの遠い祖先オーストラリア  
ハイギョは生き残れるだろうか。

### Science key words

- vertebrate**: 「脊椎動物」  
⇔ invertebrate 「無脊椎動物」
- spawn**: 「放卵する」  
動物の産卵のうち、特に水生動物が周辺に卵を散布する形式の産卵。spawning area や spawning site は「産卵場」のこと。
- threatened species**: 「絶滅の恐れのある種、絶滅危惧種」  
国際自然保護連合 (IUCN) のレッドリストによる分類区分で、critically endangered (絶滅危惧 IA 類)、endangered (絶滅危惧 IB 類)、vulnerable (絶滅危惧 II 類) という 3 つの下位区分がある。2006 年には 16,119 種が認定されており、ホッキョクグマやカバなども含まれる (<http://www.iucnredlist.org/> 参照)。
- last common ancestor**: 「最終共通祖先」  
ここでは、特定の 2 種以上の生物について進化の過程を遡っていったときに交わる祖先のうち、いちばん最近のものを表している。
- 'fish elevator'**: 「(エレベーター方式の) 魚道」  
魚道は一般に fish pass や fish-way などとよばれ、ダムや堰などで魚が遡行できない箇所、遡行を助けるために設けられた設備のこと。エレベーター方式のほかに階段方式など、さまざまな種類があるが、魚類以外のほとんどの生物には助けとならないことが多い。

### Words and phrases

タイトル **living fossil**: 「生きた化石」

living ~ は論文によく出てくる表現で、living animal、living cell、living tissue などのように使われ、「生きた~」「生~」「生体~」と訳される。living fossil は比喩的な表現。

- sent extinct**: send ~ extinct の受動形で、「絶滅させられる」。「絶滅」に関連した表現としては、ほかにも第 4 段落に drive ~ to extinction 「~ を絶滅させてしまう」、第 6 段落に go extinct 「絶滅してしまう」の過去形が出ている。
- hefty**: heft 「重量」「重いこと」が形容詞になった語。もともとは「重い」という意味だったが、のちに「サイズが大きい」「金額が大きい」という意味が加わった。
- moniker**: 「名前、あだ名」
- confined to ...**: 「~ に限定される」「~ の範囲内に限られる」
- weedy**: weed には「雑草」のほかに、「水草」「海藻」の意味もある。この文章は川の話なので、水草がたくさん生えていることを意味する。

- drought-stricken region**: 「干ばつ地帯」  
drought-stricken は -stricken 「~に見舞われる」「~に襲われる」を使った複合語。drought は「干ばつ」「日照り」のこと。
- intervene**: 「介入する」
- calamitous**: 「悲惨な、痛ましい」「災難の多い」  
名詞の calamity 「大災害、災難」「不幸」から派生した形容詞。calamity に満ちた状態、あるいは calamity を引き起こすような状態のことを意味する。
- do whatever it takes to ...**: 「~するために必要なことは何でもする」  
It takes A to ~ 「~するためには A が必要」という表現が変形したもの。
- in captivity**: 「捕らえられて」という意味だが、科学記事では「野生の生物を捕まえてきて飼育すること」「研究室や動物園で生まれた生物を飼育する」という意味にもなる。

Nature 442, 232-233 | doi: 10.1038/442232b; Published online 19 July 2006

## ダム建設プロジェクトで「生きた化石」が窮地に

<http://www.nature.com/nature/journal/v442/n7100/full/442232b.html>

ヘレン・ピアソン

ハイギョ（肺魚）が絶滅の危機に瀕していると環境保護論者はいう。



1. 人類の進化の歴史にとって極めて重要な手がかりが失われようとしている、と生物学者が警告している。彼らが運動を通じて守ろうとしているのはオーストラリアハイギョで、クインズランド州南東部に建設が計画されている巨大ダムによって絶滅してしまうことを心配しているのだ。
2. 濁った茶色の大型魚であるオーストラリアハイギョ (*Neoceratodus forsteri*) は、少なくとも1億年の間、ほぼ昔のままの姿で生き続けてきたと考えられている。現生脊椎動物種の中では最古の部類に入ることが知られており、「生きた化石」とよばれている。また、陸上に這い上がり、最終的にはヒトなどの陸上脊椎動物に進化していった魚類の祖先種と最も近縁な現生種の1つでもある。この進化上の移行過程を解明するうえで、オーストラリアハイギョの研究は重要となっている。
3. 現在、オーストラリアハイギョの生息地は、クインズランド州の2つの水系にほぼ限定され、特に産卵場として好まれる、浅くてよどみがない、水草の生い茂った場所に限られている。そのような水系の1つであるバーネット川では、干ばつ地帯へ水を供給するためのダムが昨年完成した。この川の流域は、国内でも人口増加率が最も高く、住民に対する水の供給は将来的に大問題となる可能性が高い。これに対してハイギョの研究者は、ダムがそのうちにハイギョの産卵場を氾濫させ、あるいは干上からせて、その半数近くを破壊してしまうという。
4. 7月5日、クインズランド州首相 Peter Beattie は、もう1つの水系であるメリー川にもダムを建設することを発表した。オーストラリアハイギョが絶滅危惧種に指定されていることもあり、このダム建設プロジェクトを進めるには、連邦政府の環境影響評価に合格する必要がある。しかしオーストラリアハイギョ保護運動に賛同する人々は、この第2のダムでオーストラリアハイギョは十分に絶滅する可能性があると考えている。
5. ダム建設の決定を受けて、ハイギョの専門家であるマッコリー大学（オーストラリア、シドニー）の Jean Joss は、ダム建設を阻止し、連邦政府の介入を働きかける運動を強化した。
6. Joss は、研究者仲間に対し、Beattie 首相や連邦政府の環境大臣 Ian Campbell に電子メールを送り、オーストラリアハイギョの科学的重要性を伝えることを依頼した。これまでのところ、100人を超える科学者が彼女の要請に応じている。「オーストラリアハイギョの絶滅は、悲惨で取り返しのつかない損失となるでしょう」。こう語るのは、Joss と共同研究を行い、この運動を手伝っているウプサラ大学（スウェーデン）の Per Ahlberg だ。
7. このほかにも5種類のハイギョが南米とアフリカに生息しているが、最長寿命が100年で、体長が1.5メートルにもなるオーストラリアハイギョは、陸上脊椎動物の最終共通祖先に最もよく似ていると考えられている。
8. 生きた魚は、脊椎動物が水中から陸上に移動した過程を調べるための遺伝学研究や発生学研究に使えるが、このような解析研究を保存標本で行うことは不可能だ、と生物学者はいう。例えば Joss と Ahlberg は、オーストラリアハイギョの遺伝子活性パターンを研究し、ひれが手足に変わった過程を解明しようと試みている。「地球の歴史上、ハイギョは極めて重要なのです」。こう話すのは、マサチューセッツ大学（米国アマースト）で脊椎動物の進化を研究する William Bemis だ。
9. クインズランド州政府は、オーストラリアハイギョをダムの反対側まで運ぶ「魚のエレベーター」を設置することを保証し、前回のバーネット川でのダム建設と同じように、連邦政府の環境要求事項を満たすために必要なことは全部行うと発表している。これに対して Joss は、昔からあるハイギョの産卵場が破壊されることに変わりはないので、これでは不十分だという。ハイギョは産卵数が非常に少なく、毎年同じ産卵場に戻ってくる習性があるのだ。
10. 現在の運動がうまくいかない場合には、オーストラリアハイギョの繁殖施設を建設するため資金拠出を Beattie 首相に陳情する、と Joss はいう。しかし飼育された状態でハイギョの生き残りを保証するのはむずかしいと思われる。これまでのところハイギョの繁殖に成功している研究者は Joss だけで、オリンピック競技用プールと同じ大きさの2つの池を使っている。

# Immunology & Cell Biology

## Immunology and Cell Biology が、2007年1月より ネイチャー・パブリッシング・グループ (NPG)に加わります

NPGより出版されるアカデミック・ジャーナルに加わる Immunology & Cell Biology は、免疫システムを細胞生物学的見地から注視する事によって免疫学と細胞生物学の分野を橋渡しするジャーナルです。当ジャーナルは、長年に渡って、免疫学と細胞生物学を網羅する幅広い分野において高品質な論文を発表してきました。この素晴らしいジャーナルがNPGジャーナルのタイトルに加えることで、NPGは免疫学と細胞生物学の分野において理想的なラインアップを取り揃えることとなります。

著者および読者は、Immunology & Cell Biology の新たなメリットを NPG サイトライセンスを通じて、下記を享受できるでしょう。

- Nature Immunology、Nature Reviews Immunology、EMBO Journal等、権威あるタイトルが nature.com ウェブサイトでホストされている為、様々なリンク先および新たなコンテンツに触れる機会が増します。
- Advanced Online Publication (AOP) を使い、最新のコンテンツへ最短アクセスが可能です。また、プリント版も年8回の出版となり、刊行数が増えました。
- 2007年より編集役員が一新されます。これに伴って当ジャーナルの編集構成も、より活気ある内容に刷新されます。細胞免疫学で最も秀でた記事につきましては、Immunology & Cell Biology のホームページでも確認できます。
- News & Commentary や Landmark Article (本日のリサーチに大きな影響を与える事柄に焦点をあてた解説)を含む等、記事タイプは多岐に分かれています。

生まれ変わった Immunology & Cell Biology のデザイン、編集内容からサンプルコンテンツに至るまで、詳細につきましては、下記URLよりご覧ください。また、ご登録いただければ Immunology & Cell Biology の Table of Contents (TOC) アラート配信を無料でお届けいたします。

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

お問い合わせ先  
当ジャーナルについてのご質問等ございましたら、お気軽に下記までご連絡ください。

NPG ネイチャー アジア・パシフィック  
E-mail : [institutions@natureasia.com](mailto:institutions@natureasia.com)  
Tel : 03-3267-8769 Fax : 03-3267-8746



# 日本語で読む nature

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

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

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



## ■ Nature Digest対象分野

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

## ■ Nature Digest目次

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

\*は日本オリジナルの企画編集記事です。

## 2006年7月 ※ Nature Digest Online 誕生!

### ■ Nature Digest (プリント版+オンライン) 購読価格

口座引落 670円【月々】

郵便振込/クレジットカード 7,980円【1年】

### ■ Nature Digest Online購読価格

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

ご購入はこちらから

[www.naturejpn.com/digest-f2](http://www.naturejpn.com/digest-f2)

# 人とヒトを結ぶライフサイエンスの 総合人材サービスです

## 人材派遣・紹介予定派遣・人材紹介

全国の研究機関からの数多くのお仕事情報をご案内いたします。  
継続的にスキルアップを図る方、正社員や紹介予定派遣にチャレンジする方、  
新しい分野を目指す方、理系専門職の皆様の就職活動をサポートしています。

平成 19 年 3 月新卒者（理系） **秋採用実施中**

詳しくはこちら

▶ <http://www.staffjapan.co.jp/2007techno.html>

## 募集職種

### 基礎研究分野

- ・ 遺伝子操作、ゲノム解析
- ・ RNA 工学、トランスクリプトーム
- ・ タンパク質構造、機能解析
- ・ バイオインフォマティクス

### 医薬品開発（探索・前臨床研究）

- ・ 創薬スクリーニング
- ・ 薬効薬理、薬物動態試験
- ・ 有機合成、ドラッグデザイン
- ・ 安全性試験

### 医薬品開発（臨床開発）

- ・ 臨床開発モニター
- ・ 治験コーディネーター
- ・ 薬事申請
- ・ 品質管理（QC）、監査（QA）

### 営業・学術業務

- ・ 学術支援業務
- ・ 営業
- ・ セールスエンジニア
- ・ カスタマーサポート

## 適職を目指す理系学生のためのスキルアップセミナー開催！

やっぱり研究職に就きたい、貴方の夢をかなえます。

平成 18 年 9 月 30 日（土）14：00 - 18：00

会場：株式会社スタッフジャパン 東京本社

定員：30名

参加費用：無料

平成 18 年 10 月 14 日（土）14：00 - 18：00

会場：株式会社スタッフジャパン 大阪支店

主催：株式会社リバネス

共催：株式会社スタッフジャパン

セミナー参加者全員に、  
日本語編集による Nature  
Digest の 1 年間購読券を  
スタッフジャパンから進呈！

### 理系学生のためのビジネス・コミュニケーション研修

※ コミュニケーションの重要性 ※ 上手な話の伝え方 ※ 上手な話の聞き方 ※ 意見が対立した時、上手な対話の進め方

お申込みはこちらから ▶ <http://www.leaveanest.com/cds.htm>

 **株式会社スタッフジャパン**  
STAFF テクノサイエンス事業部

 0120-033-705 <http://www.staffjapan.co.jp>

(社) 日本人材派遣協会会員 許可番号(般) 13-01-0053

(社) 日本人材紹介事業協議会会員 許可番号 13-01-ユ-010218

[東京本社] 東京都中央区銀座 1-16-7 友泉銀座ビル

[大阪支店] 大阪市北区梅田 1-8-17 大阪第一生命ビル