

nature DIGEST

日本語編集版
DECEMBER 2007
VOL. 04, NO. 12

12

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



娘のDNAを解読



Established 1987 as Nature Japan K.K.



世界初、サルクローン胚から ES 細胞作製に成功

WWW. 会議運営 .com



準備も当日も、宣伝も参加登録も、 開催後の報告まで。

国際会議、シンポジウム、講演会、評価委員会など、
会議の開催を考えている、または開催が決まったら！
事前の準備から開催終了後まで、ひとつの会議を開催するには、
様々な業務が発生します。
あらゆる場面で開催のお手伝いを致します。



国際会議、シンポジウム、ワークショップ 講演会・セミナー、評価委員会

会議運営のプロフェッショナルとして、事務局運営の経験豊富な私たちに、運営管理のすべてをお任せ下さい。参考見積の積算から実施計画、研究所規定の会計書類一式を完全に準備し、研究者が求める会議成功を全面サポートします。

事前打合せ 限られた時間を有効かつ最大限に

研究者の貴重なお時間を浪費することなく、受託から開催まで月2回程度の打合せで進行します。

参加者対応 主催者と参加者の立場に立って

参加者対応スタッフは高い英語力だけでなく、国際感覚を身につけ親切丁寧に対応するとともに、主催者の会計システムを熟知しています。弊社がご提案するWebでの参加登録フォームは、CGI機能を利用し、SSLサーバで情報保護しているため安心してご登録できます。

予算管理

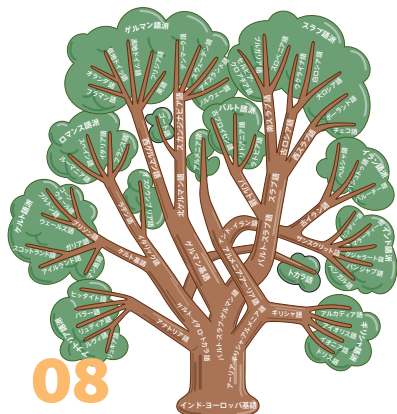
30名から300名、3000名の参集まで。ご提案できる内容はまだまだ数多くございます。主催者の特別な思いが込められた会議の成功をお約束いたします。

海外招聘 旅行会社ヨビックスと提携

招聘航空券の低廉な手配から宿泊予約、会場案内まで一括して招聘業務を受託いたします。

最近の主な国際会議／シンポジウム

会期	主催	会議名称	会場
06/10月	農林工学研究所	チェンライ国際会議	タイ
06/11月	総合地球環境学研究所	地球研国際シンポジウム	京都
06/11月	物質・材料研究機構	第4回「スウェーデン・日本・バイオナノシンポジウム」	つくば
06/11月	NPGネイチャー アジア・パシフィック	Fuji Film-Nature Methods Life-science Symposium	小田原
06/11月	産業技術総合研究所	第4回「水素エネルギーシンポジウム」	東京
06/11月	ベネッセコーポレーション株式会社	義務教育改革シンポジウム	東京
06/12月	味の素株式会社	味の素研究所50周年記念式典	東京
06/12月	農業環境技術研究所	第5回公開セミナー「外来植物のリスク評価と蔓延防止策」	東京
06/12月	農業環境技術研究所	NIAES国際シンポジウム	つくば
06/12月	高エネルギー加速器研究機構	日本・台湾シンポジウム	つくば
06/12月	情報通信研究機構	第7回「分子エレクトロニクス国際会議 (ICNME2006)」	神戸
07/2月	情報通信研究機構	ナノICTシンポジウム2007	東京
07/2月	(株)アイキューブつくば	ネイチャー論文投稿ランチョンセミナー	東京
07/3月	国土交通省 国土技術政策総合研究所	都市・住宅・地球環境セミナー	インドネシア
07/3月	農業生物資源研究所	シンポジウム「ダイズゲノムの解明と活用」	東京
07/3月	防災科学技術研究所	シンポジウム「統合化地下構造データベースの構築に向けて」	つくば
07/3月	慶應義塾大学	創立150年記念 未来先導基金プログラム 公開講演会	東京
07/5月	産業技術総合研究所	NMIセミナー	つくば
07/5月	産業技術総合研究所	CERCシンポジウム	東京
07/5月	農業環境技術研究所	農環研シンポジウム	東京
07/6月	NPGネイチャー アジア・パシフィック	Nature フォーラム	東京
07/6月	サイバネット株式会社	FCSNT	東京
07/7月	農業生物資源研究所	第46回ガンマーフィールドシンポジウム	水戸
07/8月	農業環境技術研究所	外来植物セミナー	札幌
07/8月	情報通信研究機構	NICTシンポジウム	東京
07/9月	大学評価・学位授与機構	大学評価フォーラム	東京
07/10月	農業生物資源研究所	イネ機能ゲノミクスシンポジウム	つくば
07/10月	農業環境技術研究所	ESAFS 8	つくば
07/10月	農業環境技術研究所	NIAES国際シンポジウム	つくば
07/10月	株式会社インプレスR&D	NPGフォトニクスシンポジウム	東京
07/10月	理化学研究所	IMGC2007	京都
07/10月	産業技術総合研究所	BERM 8	つくば
07/11月	農業環境技術研究所	NIAES公開セミナー	東京
07/11月	産業技術総合研究所	HARDMEKO	つくば
07/11月	産業技術総合研究所	第5回「水素エネルギーシンポジウム」	つくば
07/11月	農林工学研究所	AFFRC国際ワークショップ	つくば



nature DIGEST

12 volume 4 no.12
December
www.nature.com/naturedigest

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

娘のDNAを解読

表紙: C. PICKENS

HIGHLIGHTS

02 vol. 449 no.7164, 7165, vol. 450 no.7166, 7167, 7168

NEWS

04 ヒト ES 細胞研究でしのぎを削る
David Cyranoski

EDITORIAL

06 立て直しが求められるロシアの科学研究体制

NEWS & VIEWS

08 言語変化を導く「見えざる手」
W. Tecumseh Fitch

NEWS FEATURE

11 『ザ・シンプソンズ』—— パイの味わい
Michael Hopkin

14 娘のDNA
Brendan Maher

REGIONS

20 鯉魚、竜門を跳ぶ
David Cyranoski

JAPANESE AUTHOR

24 piRNA 分子による遺伝子サイレンシング機構に迫る
—— 塩見春彦、塩見美喜子
藤川良子

英語でNATURE

26 Speedy continental collision explained
大陸が高速で衝突した理由が説明された

2008年1月号は、第2木曜日の1月10日発行予定です。2月号以降の発行日は、これまで同様第1木曜日とします。また、2008年より8ページ増量し（価格据え置き）、より充実したコンテンツでお届けします。ご期待ください。

発行人: ディビッド・スウィンバンク
副発行人: 中村康一
編集: 北原逸美、中野美香、田中明美
デザイン/制作: 村上武、中村創
広告: 米山ケイト
マーケティング: 池田恵子

2007年12月6日
毎月第1木曜日発行
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

向上を続ける HapMap HapMap2 raises the bar

国際HapMapコンソーシアムは、画期的なヒトゲノム・ハプロタイプ地図の第2世代版を発表した。この第2段階のHapMapは、ヒトの遺伝子変異を初代のものよりさらに詳細にマッピングしており、含まれる遺伝子マーカーの数は3倍に増えた。初代のHapMapは、ゲノム全体にわたる大規模な相関性研究を可能にするのに役立った。今週号には、この種の研究が「HapMap2」によってどう展開していくのかを示す研究が報告されている。Sabetiたちは、ヒトの遺伝子にかかる正の自然選択の徴候を検出した以前の研究を足がかりにし、新たに利用できるようになったより多くのマーカーを用いて、地理的領域に基づいて集団特異的と思われる選択を3例見つけ出した。西アフリカの例にはラッサウイルス関連の遺伝子2個、ヨーロッパの例には皮膚色素沈着関連の遺伝子2個、アジアの例には毛包関連の遺伝子2個が含まれている。Sabetiたちは、これらの選択がヒトの生物学的特性にどのように関連しているかを推測している。

18 October 2007 Vol.449 / Issue 7164

Article p.851, Letter p.913 参照

個人ゲノミクスの実例：娘のDNA解読を試みた父親

VERY PERSONAL GENOMICS: A father tries to understand his daughter's DNA

Hugh Rienhoffの娘は、筋肉の発達に損なわれるという珍しい遺伝条件をもって生まれてきた。この病態はマルファン症候群によく似ているが、心血管系の徴候は異なっている。ピールズ症候群にも似ており、マルファン症候群がピールズ症候群の未認知の型の症例である可能性がある。従来の方法では診断が下せないとわかった時点で、Rienhoff



は、たった一人を対象とするゲノム解析研究に着手しようという一大決心をした。自分の娘のDNAを徹底的に調べ、自身の手で娘のゲノムの塩基配列の一部を解読しようというのである。その結果得られた娘の病歴の「表現型一覧表」などから、まれな遺伝的状態に関する有益な情報や、症状抑制に役立ちそうな治療法についてのヒントが得られた。病気の実態はまだ完全に解明されておらず、確実といえる診断もまだ下

されていないが、仕事は続けられている。Rienhoffはゲノム解析だけにとどまらず、MyDaughtersDNA.orgを立ち上げた。これは、彼がこれまでに集めた情報を共有し、同じような窮地に立たされているほかの家族を助けることを目的とした社会貢献ベンチャーである。

18 October 2007 Vol.449 / Issue 7164

News Feature p.772 参照

PLETHORAの勾配

A PLETHORA of gradients

植物では、オーキシンの極性輸送がほぼすべての発生過程における要因の1つとなっているが、その作用機構に関しては未解明の点が多い。細胞内では、方向性をもつオーキシン輸送が、PINタンパク質輸送複合体によって制御されている。今回、根系の細胞内および細胞間にみられるオーキシンの拡散、およびPIN促進性の輸送を説明する新たなコンピューターモデルが考案された。このモデルは、植物の発生に関する2つの重要な問題の解決に取り組むもので、第一に、根の成長を導くのはオーキシンの最大濃度と勾配であるというという考えを裏づけている。第二に、単一種の分子が情報の場を作り出す仕組みを説明しており、器官の成長領域にわたって作られる濃度勾配がオーキシン最大濃度と密接に関係していることを示している。やはりオーキシンに関するもう1つの論文では、4種類のPLETHORA遺伝子が根の発生に重要であり、オーキシンの濃度勾配を生み出す因子である可能性が示されている。

25 October 2007 Vol.449 / Issue 7165

Article p.1008, Letter p.1053, N&V p.991 参照

電子の移動を見る：アト秒スケールの電子移動のリアルタイム観察

SEE HOW THEY RUN: Attosecond electron transport in real time

電子は固体中を非常に高速度で移動し、原子層や界面を数十から数百アト秒（1アト秒は 10^{-18} 秒）以内に横切る。この極めて短い移動時間が、将来のエレクトロニクスの速度を最終的に制限するものになるだろう。このような電子の力学的性質が、実時間実験で調べられた。表紙は固体での初めてのアト秒分光測定を示すもので、タングステン結晶を光励



起した後に起こる2種類の電子の移動時間に110アト秒の差があることが明らかにされた。この方法は、固体中で電子が原子間隔のほんの数倍の距離を移動するのにかかる時間を測定できるため、究極の速度限界で起こる固体電子過程を探ることができる。したがって、これは、計算科学、データ記憶、そして光起電力技術などの進展に役立つ。こうした技術はいずれも、固体材料のかつてなく小さい構造での電子輸送の精密な制御が必要である。

25 October 2007 Vol.449 / Issue 7165

Letter p.1029, N&V p.997 参照

楽観主義を科学する

It's looking good...

うつは多くの場合、悲観的な心理傾向を特徴としており、その神経基盤についてはさまざまな研究が行われている。しかし、楽観主義の神経科学はまだほとんど手つかずのままだった。ヒトはとんでもなく楽観的な生き物で、何の根拠もないときでも好ましい結果を期待する。例えば、自分は平均よりも健康で長生きすると思っているし、自分が交通事故に遭う確率や離婚する確率は過小評価する。このような楽観主義の基盤となる神経機構の証拠が、健康なボランティア被験者で脳の画像化法と行動研究を組み合わせて行うことにより得られた。興味深いことに、うつ病の際に機能異常が起こることが知られている脳領域の活動から、楽観的な心理傾向の程度も推測されるのである。

1 November 2007 Vol.450 / Issue 7166

Letter p.102 参照

山火事が炭素収支を決定する

Fire tips the carbon balance

高緯度の森林（北方林）では、数十年にわたって気候、大気中二酸化炭素濃度、および山火事、つまり森林火災の頻度が変化してきた。従来の研究ではこうした変化が大規模な植生の競合と関連づけられていなかったが、今回、100万平方キロメートルにわたるカナダの森林を対象に高木とコケ類との競合がコンピューターモデルでシミュレーションされた。その結果、この地帯の1948年から2005年までの炭素収支（土壌および植物に含まれる炭素量の増減）を左右していたのは、気候変動でも二酸化炭素量の増大でもなく、主として森林火災の発生状況の変化であることが明らかになった。20世紀終盤に森林火災の頻度が高まり規模が拡大したことにより、針葉樹が犠牲となっ

※「今週号」とは当該号を示します。

て、落葉樹およびコケ類の繁茂が促された。土壌の水はけが悪いと景域の炭素収支のばらつきが小さくなることから、気候変動および水文学的变化の増大がこうした地域の炭素動態に過大な影響を与える可能性が示唆された。

1 November 2007 Vol.450 / Issue 7166

Letter p.89 参照

Brainbowによる多色標識法：脳の神経接続状態を示す虹色の地図

OVER THE BRAINBOW: Multicolour maps of the brain's neural connections

1世紀以上前に、スペインの神経解剖学者であるラモン・イ・カハールがゴルジ染色法を神経細胞に使用したことが、現代の神経生物学への門戸を開いた。少数のニューロンの染色により、それまで見えなかった軸索と樹状突起が、それを取り囲む組織の中に伸びている姿を見ることが可能となったのである。しかし、ゴルジ染色法は少数の細胞だけを単色で標識するものである。今回ハーバード大学の研究チームは、脳回路内にある多数の細胞を一度に可視化する方法を開発した。この「Brainbow」法は、数百ものニューロンをそれぞれ色分けして標識できるので、神経回路の詳細なマップを作ることが可能である。この手法は、正常時または疾患時の脳の地図作製を促進するだけでなく、免疫系などの複雑な細胞集団への適用も可能となりそうだ。表紙は、「Brainbow」マウスの海馬部分を示す。歯状回（底部）ではいろいろな色に染色されたニューロンが弓形のCA1領域の細胞の下に位置するのに対し、大脳皮質のニューロンは上部で光っているのが見える。



1 November 2007 Vol.450 / Issue 7166

Article p.56 参照

心臓の非対称性

Asymmetries of the heart

この10年間で、左右のパターン形成機構に関する理解は著しく進歩した。しかしながら、非対称な形態形成の細胞レベルや分子レベルでの仕組みについては、まだ不明の部分が多い。今回、八代健太たちは、心臓の流出路で転写因子Pitx2が動的な形態変化を誘導し、これによって鰓弓動脈系への非対称な血液供給が可能になることを明らかに

にしている。この不均一な血流の分配はシグナル応答の差異を生み出し、これが大動脈の非対称なモデリングを引き起こす。

8 November 2007 Vol.450 / Issue 7167

Letter p.285, N&V p.180 参照

系統発生に関するゲノミクス：12種のショウジョウバエ・ゲノムからみえた4億年にわたる進化の歴史

GENOMICS ON A PHYLOGENY: Twelve *Drosophila* sequences traverse 400 million years of evolution

今週号では、遺伝学研究室の頼りになる仲間であるショウジョウバエ (*Drosophila*) に関する論文の、画期的な特集を掲載している。中心となるのは、*Drosophila*12ゲノムコンソーシアムによる10種のショウジョウバエのゲノム配列の公表である。この論文では、新たに配列が解読された *sechellia*, *simulans*, *yakuba*, *erecta*, *ananassae*, *persimilis*, *willistoni*, *mojavensis*, *virilis*, および *grimshawi* のゲノムを、配列が既に解読済みの *D. melanogaster* および *D. pseudoobscura* のものと比較している。その結果作られた遺伝的変動に関するデータベースは、進化における変化を推し進める力を研究する上で極めて価値あるものだ。もう1つの大きな共同研究は、上記12種のゲノム配列中で保存されている因子を探索したもので、多くの特異的配列モチーフに関して保存と機能との関係が明らかにされている。



詳細な調節ネットワークが浮かび上がり、タンパク質をコードする遺伝子とエキソン、RNA遺伝子、マイクロRNAおよびその標的が同定されている。これらの論文については、News and Viewsで論じられている。また、この新たなゲノムデータを使った遺伝子発現の研究も行われており、発現が雄に偏った遺伝子、およびその中でそれぞれの種に特異的なものに関する論文、およびショウジョウバエの性染色体上での遺伝子量補償の進化をたどる論文も掲載されている。4本の総説では、ショウジョウバエに関する最新研究が、この遺伝学的に取り扱いやすい実験モデルがまったく新しい分野で使われるようになった背景に注目している。

8 November 2007 Vol.450 / Issue 7167

Drosophila Genomics 特集 pp.183-241 参照

アポトーシス細胞をメニューに載せる

Apoptosis on the menu

多細胞生物にみられるプログラム細胞死の過程では、多くの細胞がマクロファージにより貪食され、それによって、死にゆく細胞からの有害物質の放出が防がれる。このような「アポトーシスを起こした」細胞は、その表面に「eat-me (私を食べて)」シグナルとしてホスファチジルセリン (PS) を露出している。宮西正憲たちは、受容体であるTim4およびTim1が食細胞によるPSの認識に参与していることを示し、一方、Parkたちは、哺乳類のマクロファージではBA11タンパク質がPS受容体であることを示している。

15 November 2007 Vol.450 / Issue 7168

Letters pp.430, 435 参照

温室効果ガスにかかわる駆け引き：気候とオーストラリアの選挙／米国大統領候補のリーダーシップ力は？

GREENHOUSE POLITICS: Climate and the Australian elections / America's leadership potential

今週号のNews Feature 特集は、気候変動がオーストラリアと米国の政治に及ぼす影響に注目している。オーストラリアでは、現在続いている干ばつが、11月24日に行われる総選挙の主な争点の1つとなるのを後押ししている。最新の世論調査では、気候変動に関する京都議定書の批准を拒んできたジョン・ハワード首相は、選挙に勝利したら議定書を批准することを宣言している野党労働党のケビン・ラッド党首に支持率で遅れをとっている。一方、米国では2008年の大統領選挙をめぐる既に選挙運動が盛んに行われており、有力候補たちは気候変動対応策に関する声明を発表しているが、そのレベルはさまざまである。しかし、新大統領は、真の変革を成立させるだけの力をもてるのだろうか。



Nature では、米国行政府の果たす役割や、権力の移行後に予測される事態を検証する。今週号ではまた、連邦議会で現在審議中の気候関連法案に対する産業界、立法府、政策専門家の意見を紹介しており、また、本誌コラムニストで政策専門家のDavid Goldstonは、法律として最終的などのような形になりそうかを予想している。

15 November 2007 Vol.450 / Issue 7168

News Features pp.336, 340 参照

Race to mimic human embryonic stem cells

ヒト ES 細胞研究でしのぎを削る

Nature Vol.450 (462-463) / 22 November 2007

David Cyranoski

2つの大いに待ち望まれていた世界初の研究成果が11月中旬に発表され、再生医療における夢の実現に一步近づいた。成功の1つは霊長類クローン胚からの胚性幹 (ES) 細胞の作製、もう1つはヒト成人の皮膚細胞の再プログラミングで、どちらも、体のおよそ200種類の細胞のほとんどどれにでも発生可能な「分化多能性」をもった細胞の作製をめざす行程の、重要な道標となる。

ヒトES細胞はこの特性を備えており、研究に使われるヒトES細胞は通常、体外受精で余った胚から取り出される。しかし研究者たちは、ひとりひとりの患者に遺伝的に適合する多能性幹細胞を作り出したいと考えている。こうして作製した幹細胞は、移植してパーキンソン病や糖尿病などの疾患を治療できるだろうし、疾患進行のモデルを作るのにも使えるだろう。

クローン作製は、このように患者それぞれに合わせた多能性幹細胞を作り出す方法の1つとなる。オレゴン健康科学大学 (米国 ビーバートン) の Shoukhrat Mitalipov 率いる研究チームは、サル

クローン胚からES細胞を作製することに世界で初めて成功し、*Nature*2007年11月22日号で報告した。これまで、クローン胚からのES細胞作製はマウスでしか成功していなかった。今回の霊長類での成功は「音速を超えたようなもの」だと、ロサンゼルスに本社を置くバイオテック企業、アドバンスド・セル・テクノロジー社の Robert Lanza はいう。

1996年に世界初のクローン動物であるヒツジのドリーが誕生したことで、続々とクローン動物が誕生してきた。しかし、ヒトやサルのクローン胚作製ではずっと失敗が続き、悲観的な見方が出ていた。霊長類クローン作製の研究者である Gerald Schatten は2003年に、「現在のやり方では、ヒト以外の霊長類でNT (nuclear transfer、クローン作製技術の1つである核移植法のこと) を使ってES細胞を作製するのはむずかしいかもしれない。そして生殖目的のクローン作製に至っては、達成不可能かもしれない¹」と語っていた。彼は、サルの未受精卵716個使ってクローンを1つも作り出すことができなかったのである。その後2004年2月になって、当時ソウル大学の教授だった黄禹錫 (ファン・ウソク) が、ヒトクローン胚からES細胞を作り出したと発表した²。ところが、2006年1月になって黄たちの研究結果がねつ造であると判明したため、Schatten の悲観論は当たっているのではないかとこの見方も出てきた。

Mitalipov の研究グループは、10年ほどの間、サルで生殖目的のクローン作製を成功させようと研究を続けたことがあり、使用した卵 (卵子ともいう) は累計するとおよそ1万5000個にものぼった。黄の論文がねつ造だとわかった後、

Mitalipov たちは方向転換をすることに決め、生殖目的のクローン作製から手を引いて、クローン胚からのES細胞株の樹立に取り組んだ。「セモス」という名の9歳のアカゲザルから、皮膚細胞を採取し、その細胞核を、遺伝物質を除去した未受精卵に注入した。2007年1月になって、ES細胞のような分化多能性を備えた細胞株が1つ得られ、その2か月後にもう1つの細胞株が得られた。

Mitalipov によれば、今回の成功の裏には、「Oosight」という1万9000ドル (約200万円) の装置の存在があるという。この装置のおかげで、卵内のDNAを格納している構造 (紡錘体) が可視化され、これによって、核移植法の第一段階にあたる未受精卵からの除核が容易になった。従来の除核処理では、卵内のDNAの位置を確認して除去するのに、「Hoechst」という蛍光色素と紫外光を組み合わせを使ってきた。しかし Mitalipov たちは、この方法だと卵にダメージを与えることに気づいた。自分たちの手法はヒト細胞でもうまくいくはずであり、「ヒト細胞だからといって特別なことは何もない。ただし、この種の画像化システムを使うべきだ」と Mitalipov は話す。

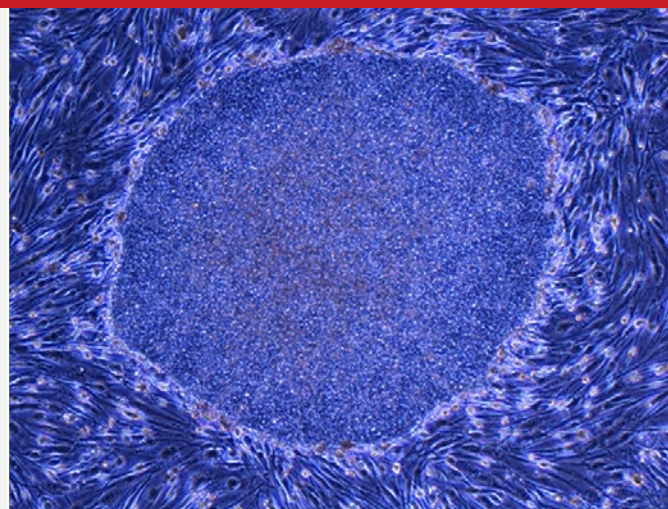
しかし、サルでの生殖目的のクローン作製は、まだずっと先の話のようだ。Mitalipov の研究チームは、クローン胚由来のES細胞を2株作った後、4月に、作製した77個のクローン胚を10匹余りの代理母ザルに移植したが、どれも妊娠を成立させることはできなかった。

Nature は黄禹錫のねつ造事件を鑑み、Mitalipov たちの研究結果をモナッシュ大学 (オーストラリア、メルボルン) の研究チームに独立に検証してもらうという、異



霊長類クローン胚を作り出すのに使われたドナー細胞 (体細胞核) は、「セモス」という名のアカゲザルから採取された。これはSF作品『猿の惑星』に出てくる神の名前をとったもの。

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。



ヒトの皮膚（左）から採取された細胞は、再プログラミングを施されたのち、ES細胞にそっくりの細胞（人工多能性細胞、iPS細胞）になった。右は、今回山中らが作製に成功したヒトiPS細胞の顕微鏡写真である（京都大学山中伸弥教授提供）。

S. GSCHMEISSNER / SPL

例の措置を取った³。「ヒト体細胞核移植の分野で最近起こった遺憾な事件を考えると、核移植実験の研究成果は、ある程度の確実性をもっている必要がある。我々は、Mitalipovたちの結論に絶対の信頼を寄せる」と、モナッシュ大学の研究チームの1人であるAlan Trounsonはいう。

この手法をヒトにも使うことには、多くの研究者が抵抗を感じている。女性に不快感を与える処置をすることになり、その処置にも健康に対するリスクが確実に伴うからだ。Mitalipovの研究チームが合計304個の未受精卵から作り出したES細胞は、わずか2株だけである。大部分の失敗例とごくわずかの成功例とを分けるものが何であるかは、Mitalipovたちにもまだほとんど把握できていない。そのため、ヒトクローン胚からES細胞株を樹立するのに必要な卵の数は、おそらく今回の場合と同程度だろうと考えられる。

議論を回避する

「ES細胞の基礎科学は重要だ」と、ジョンズホプキンス大学医学系大学院（米国メリーランド州バルチモア）で幹細胞プログラムの理事を務めるJohn Gearhartは話す。「しかし、特にヒトでの研究を考える際に、成功率の低さが問題になる」。しかし、未受精卵の入手や、反対論も多い胚の破壊を必要とせずに、分化多能性をもつ細胞を作り出せる方法が、もう1つある。11月中旬に京都大学の山中伸弥の研究チームは、ヒトの皮膚細胞から分化多

能性をもつ細胞を作り出したことを発表し⁴、それと同じ日にウィスコンシン大学マディソン校のJames Thomson率いる研究チームも同様の成果を発表した⁵。

山中たちの今回の研究成果は、昨年、4種類の転写因子をマウス皮膚細胞に導入して胚に似た状態に「再プログラミング」という、画期的な成果の上に積み上げられたものである。2007年の初夏、山中の研究チームとほかの2つの研究チームは、同じ4種類の転写因子を使って、ES細胞と見分けのつかない細胞を作り出したことを報告した⁶。

ヒト細胞とマウス細胞では基本的な違いがあるため、山中は、マウスの場合と同じ4種類の転写因子を使ってヒトでも同じ結果が出たことに驚いた。山中のチームは、顔から取った皮膚細胞をおおよそ5万個培養し、これに例の4種類の転写因子を導入して、分化多能性をもつ細胞株を10個得た。元になった皮膚試料は、米国のある企業から入手したもので、36歳の白人女性から採取されたものだった。山中は、69歳の男性から採取された関節の滑液細胞でも同じ手順を施して、同様の結果を得た。分化多能性をもつこれらの細胞は、培養下ではES細胞にみられるような平たい形をしている。

こうした人工的な「誘導」多能性幹（iPS）細胞を形成できる細胞がなぜ、これほど少数なのかは謎であり、山中もまだ解明を試みている段階である。しかし、使っているのは1回の皮膚生検で得られる細胞

であり、非常に安価なので、成功率が低くても問題にならないのだと山中はいう。日本では、多大な行政上の議論や骨の折れる作業のために、ヒトES細胞株はわずか3つしか存在しないが、それに比べると自分たちの手法は生産性が高く、「小さいシャーレの中で、すぐに10の細胞株を得ることができる。現実的にみれば、これは極めて高い成功率だ」と山中は話す。

山中のヒトiPS細胞は、マウスiPS細胞と同様にES細胞としての基本的検証をすべてクリアした。その検証事項には、免疫系をもたないよう遺伝子操作を施したマウスの皮膚の下に注入すると、三胚葉系のさまざまな細胞からなる腫瘍を形成する能力などが含まれる。

だが、iPS細胞は本当に分化多能性をもっているのだろうか。マウスの場合に行われた最も厳しいテストは、iPS細胞から動物の完全な個体が作られうるかどうか、または、1個の胚に混ぜ込んだiPS細胞が、できあがったキメラマウスの組織のすべてにかかわっているかどうかを調べるものだ。ヒト細胞では、どちらのテストも行うわけにはいかない。「ヒトでは、この問題に対する解答は得られていない」と山中は語る。

しかし、もしiPS細胞が、特定の組織にかかわる疾患の治療または研究に使われるのであれば問題はないと、彼は付け加えた。例えば、山中のiPS細胞は、ニューロンや心筋細胞を形成することができ、心筋細胞は分化して12日経つと拍

動を始めた。とはいえ、iPS細胞には短所がいくつかある。4種類の「山中因子 (Yamanaka factors)」を導入するには、ウイルスベクターを使って遺伝子操作を行う必要があるが、保健行政当局はこのベクターの臨床利用を承認しないとみられるのだ。そして、4因子のうちの1つ、c-Mycは、マウスで腫瘍を引き起こすと考えられている。

Thomsonは、培養でヒトES細胞の単離と維持を初めて行った人物だが、彼はiPS細胞の問題を一部解決する道を進んだ。やはり彼も、ウイルスベクターで導入した4種類の因子を用いて、ヒトの陰茎包皮細胞を再プログラミングさせた。ただし、彼が使った4種類の因子のうち山中因子と同じものは2種類だけで、c-Mycは使わなかった。しかも、違うレシピでも再プログラミングに成功することを見つけたおかげで、山中のとった手順に、臨床的に受け入れ可能な変更を加えても成功する見込みが高まったというわけだ。

治療に利用可能か？

研究者が次々と参入しつつあることから、

Gearhartやほかの関係者は、この分野が急速に進展していくとみている。「iPS戦略は、細胞の再プログラミングにおける大きなパラダイムシフトの1つである。もしiPS戦略がヒト細胞で有効かつ安全であると実証されたなら、それによって、患者特異的な分化多能性細胞の作製において体細胞核移植 (SCNT) の出番はほとんどなくなるだろう。そして、それはごく近い将来に訪れる公算が高い」とGearhartはいう。

やはり11月中旬に、ドリーの生みの親の1人であるエディンバラ大学のIam Wilmutが、自身の切り開いたクローン研究から手を引き、山中の再プログラミング法を使った研究に切り替えるつもりであることを公にした。これにより、クローンを使う方法に背を向けてiPS細胞研究へ向かう研究界の流れが浮き彫りになった。

Mitalipovは、卵が唯一の「完全な再プログラミング装置」であるという見解を保持しており、治療への効用が最初に明らかになるのはクローン胚由来のES細胞のほうだろうと確信している。彼はすでに、自身のクローン作製法による成功率を倍以上に上げたと話しており、また、

クリニックの準備もしている。計画として進めているのは、セモスとほかの10匹ほどのサルに由来するクローン胚からES細胞の株を樹立させること、糖尿病などの疾患をそれらのサルに引き起こしてから、すでに樹立したクローン胚ES細胞を使ってそれらのサルを治療できるかどうかをみることである。

さらに新たな議論をよび起こしそうな動きとして、Mitalipovは、英国ニューカッスル大学のAlison MurdochとMary Herbertとの共同研究を始めた。Murdochたちは、ヒト胚を使った研究の承認を得ている。「いつまでもモデル化研究ばかりやっていたらいけない」とMitalipovはいう。「我々が医療への貢献を示せば、世の中はこの技術を受け入れてくれるはずである」。

1. Simerly, C. et al. *Science* **300**, 297 (2003).
2. Hwang, W. S. et al. *Science* **303**, 1669-1674 (2003).
3. Cram, D. S. et al. *Nature* doi:10.1038/nature06357 (2007).
4. Takahashi, K. et al. *Cell* doi:10.1016/j.cell.2007.11.019 (2007).
5. Yu, J. et al. *Science* doi:10.1126/science.1151526 (2007).
6. Cyranoski, D. *Nature* **447**, 618-619 (2007)

立て直しが求められるロシアの科学研究体制

Time for a fresh start

Nature Vol.449 (507) / 4 October 2007

論説

スプートニクの打ち上げという記念碑的成果から50年。ロシアの科学研究体制は大きく立ち遅れ、もはや21世紀のニーズに応えられなくなっている。

1957年10月4日金曜日。R-7型ロケットによるスプートニク人工衛星の打ち上げは、今にして思えば、旧ソビエト連邦の栄光の時だった。それはまさに、同国の科学技術への献身的な取り組みが、究極の、象徴的な勝利を取った瞬間だった。

しかし、スプートニクが世界に畏敬の念を起こさせたのは、わずかな時間に過ぎなかった (*Nature* 2007年10月4日号 p.538 参照)。同国の中央集権的な科学技術管理体制はその後、マルクス主義者がいうところのそれ自身の矛盾によって、進退窮まる状況に追い込まれていく。

そしてソビエト連邦の崩壊から16年を経た今でもなお、ロシアの科学技術研究は、ソビエト時代から引き継いだ「お荷物」を完全に捨てきれていない (同 p.524, p.528)。ロシア科学アカデミーは、ためらいつつも何度かの改革を試みてきたが、むしろ硬直した過去に逆戻りしているように思われる。

1980年代ごろまで、多くの推測によると、ソ連邦内の科学者およびエンジニアの数は米国を上回っていた。当時ソ連の研究者たちは、世界の他の地域で活躍する同時代人たちからほぼ隔絶された状況だったにもかかわらず、ロケット技

術から純粋数学に至るまで数々の分野で、多数の注目に値する成果を挙げていた。しかし、スプートニクが打ち上げられたその時期でさえ、実はソ連における科学の進歩には不吉な前兆があったのだ。ヨシフ・スターリン（1879-1953）の下でソ連の生物学研究の指揮を執ったトロフィム・ルイセンコ（1898-1976）が、遺伝学研究の忌避という、政治色の濃い方針を打ち出したのである。これによって、20世紀後半にみられた多数の重要な科学進歩において、ソ連の関与は大きく低下、あるいは無に帰すこととなった。また、スプートニクの成功を受けて、米国やその他の国々では科学技術研究に対して国家をあげての助成が始まった。そうしてソ連の科学技術は、世界の中で相対的に衰退していったのである（同p.542）。

ソビエト連邦の崩壊後

しかし、このような状況の中でもソ連国内の科学者コミュニティは、1991年にソ連が崩壊するまで影響力を確保し、比較的居心地のよい地位を維持し続けた。国内の科学者たちは、折に触れて自国の政治体制を批判の対象としたものの、一方では、自分たちの生活の糧を十分に提供してくれる体制であるのも事実だった。その政治体制が突然の終焉を迎えた際、科学者たちが十分に準備・対応できなかったことは、事態の展開が急激だったことを考えれば、さほど驚くにあたらない。特に、政府から見放され、資本主義導入初期の狂乱的な改革に対応できなかったロシアの科学エリートたちは、共産主義の終わりを一種の実存的脅威ととらえた。しかし、現在に至ってもなお、ロシアの大学教授たちの間で恨みつらや、旧来の特権死守のための動きが広くみられることには、失望と驚きを禁じえない。

同じことは研究者のみならず組織についてもいえる。「ロシア科学アカデミー^{*}」は、今も昔も国家の研究体制のバックボーンをなしているが、測定可能な科学的成果は減少傾向にある。それでもアカデミー会員の多く（あるいはそのほとんど）は、いかなる改革案にも頑強に反対している。たとえそれが科学アカデミー自身の提案であっても、ウラジミール・プーチンの政府提案であつてもだ。

2006年、プーチン大統領は、ロシア科学アカデミーが自分たちで選任した所長に対して拒否権を行使できる大統領命令を発し、これによって科学アカデミーの自治は脅かされる事態となった。このことに対する有効な防衛策としても、科学アカデミーは自己改革を行い、守りがいいある価値観を有する強力な現代的な組織に生まれ変わる必要がある（同p.536）。過去の栄光にすがっても何の解決にもならない。成果に基づく研究助成金制度の新設、競争の導入、説明責任の徹底といった動きに対し、何かとごまかしや駆け引きに明け暮れる科学アカデミーだが、ロシア政府はこれ以上放置する気はないようだ。

今から10年前、研究資金の調達が壊滅的な状況に陥ったとき、旧ソ連の多くの研究機関は海外からの援助のみによ

て生き延びた。しかし、現在の科学アカデミーが抱える問題の原因はその時の困窮のみにあるわけではない。科学アカデミーは、科学立国で成功を収めている国々のすべてが重要視する、「エクセレンス（excellence）」な状態を達成するために設けられるクオリティ基準の採用を怠ってきたのである。

開けない展望

例えば、国際的な論文誌に科学論文を発表することは、ポストンから北京に至るまで、研究者にとって必須である。しかし、ロシアのほとんどの研究機関では、誰も業績リストやインパクトファクターを気にしないばかりか、研究キャリアが「外国の」論文誌に発表する論文に依存するのはおかしいと口にする研究者も多い。そもそも査読という概念自体が、いまだに守旧派には認められていないのだ。

だが、もはやこれらのすべてが変わらなければならない時がきた。ロシア科学アカデミーは、その限られた研究資金を、競争に基づいた透明な方法によって、それぞれの分野で最もすぐれた研究グループ、あるいは研究プロジェクトに配分する必要がある。ロシアの好景気によって公的部門の研究費が増加傾向にある今だからこそ、この点はますます重要だ。しかし、真の競争や、研究の質を問う厳しい目がなければ、より多くの研究資金が、情実に左右されて十分な審査も受けないままのプロジェクトに消え去ってしまう可能性は高い。

現代化へと歩みを進めるための最良の方法としては、ロシア国内の科学者と海外研究者の双方による、科学アカデミー全研究機関の徹底的な評価が考えられる。この期に及んで改革を怠れば、科学アカデミーは平凡な存在と化すか、あるいは陳腐化するの確実で、才能ある若手研究者の国外流出にも、さらなる拍車がかかることになるだろう。科学アカデミーとしては、ロシア政府からより過酷な改革措置を押しつけられる前に、自ら、この評価作業の推進に動くべきである。

ロシアが欧米の科学研究体制をそのまま無批判に模倣する必要はない。事実、米国で圧倒的に多い個人への助成金制度や、フランスのようにいずれかの組織での雇用が保障された研究機関ネットワークと政府によってほとんどの研究が支援されるような制度など、さまざまな体制がある。ロシアの科学的伝統や事情を考えると、フランス式制度のほうが適しているのかもしれない。しかしながら、今日まで現代化が実現しなかったという事実を考えると、世界が再びロシアの科学と技術に畏敬の念を覚えるまでには、まだ長い年月を要することだろう。 ■

^{*}ロシア科学アカデミーとは、ロシアの最高学術機関で、ロシア連邦全土の学術研究機関を包括する組織である。起源は、ピョートル大帝によって西欧に科学技術や芸術の分野で追いつくために構想された帝国サンクトペテルブルク科学アカデミーであり、1925年に開設された。その後紆余曲折を経て、今ではロシア連邦教育省の所管で、旧ソ連科学アカデミーの基礎の下、18の学術分野と約300の研究機関を傘下に有する。

An invisible hand

言語変化を導く「見えざる手」

W. Tecumseh Fitch

ある単語が使用される頻度と、その単語が時間とともに変化する速さとの間の定量的な関係から、個人の行動が大規模な言語的・文化的変化を決定づける過程について興味深い問題がみえてくる。

Nature vol.449 (665-667) / 11 October 2007

18世紀、19世紀、言語学はあくまでも歴史科学と考えられており、言語学者の関心は、英語やサンスクリット語などの言語の経時的変化に集中していた。音韻変化の規則性を明らかにした歴史言語学者は、インド-ヨーロッパ基語（約1万年前に話されていた原型となる言語であり、ヒンディー語、ロシア語、スペイン語、英語、ゲール語などの多種多様な現代語へと分岐していった）などの衰退した祖語を再建した。こうした初期の言語学者たちの最大の業績は、言語の系統樹を描いたことである（図1）。この系統樹は、生物の進化について思いをめぐらせていたチャールズ・ダーウィンにインスピレーションを与えることにもなった。残念だったのは、多くの歴史言語学者が、神秘主義に近い考え方をしていたことである。インド-ヨーロッパ基語に関する最初の偉大な比較文法書を執筆したドイツのAugust Schleicherは、言語は生き物であると信じていた。ヤコブ・グリムも、言語自身の内にあり、特定の方向へと変化させる「言語精神（Sprachgeist）」なるものの存在を仮定していた。

20世紀の言語学者は、こうした空想的な概念を拒絶して、発話を行い、相手の発話を理解する個人の能力を重視するようになった。ノーム・チョムスキーがこの変化を「E言語」一辺倒から「I言語」重視への概念的シフトとして特徴づけたことは有名である。E言語とは、外在化された（externalized）発話群のことであり、I言語とは、言語習得者により内在化（internalized）された原理のことである¹。こうして、個人が言語を習得して使用する能力（ontogeny：個体発生）が注目され、盛んに研究されるようになった。それにより言語の生物学的・神経学的基礎について研究が行われるようになり、言語能力の生物学的進化（phylogeny：系統発生）に関する考察も行われるようになった。しかしこのアプローチにより、過去の言語学者たちの難題であった個々の言語の文化的進化（言語発生：glossogeny²）をめぐる伝統的な問題が置き去りになった。

Nature10月11日号に掲載された2本の論文^{3,4}は、新しい視点からこうした問題に取り組んでいる。どちらの論文も言語変化に関するものであり、確固たる名声を得ている理論進化学研究室から発表されている。いずれも、歴史的言語学データの分析により、ある単語の変化のパターンが会話中の使用頻度に強く依存していることを示している（会話中の単語の使用頻度は、同時代の大規模データベースから見積もることができる）。Liebermanら³は、英語の過去形を造る「-ed」の文化的進化について考察した。古英語には過去を表す規則が多数あり、「-ed」はその1つに過ぎなかった。かつては広く用いられていたその他の規則は、今日では、「fly/flew/ flown」などの不規則変化の形でしか残されていない。Liebermanら³は、こうした規則が消えていった過程をたどり、動詞の使用頻度と簡略化の速さの間にある厳密な定量的関係を導き出した。それによると、ある動詞の1/100の頻度でしか使用されていなかった動詞は、その10倍の速さで規則的になっていったという。

Pagelら⁴は、より幅広いアプローチにより、87のインド-ヨーロッパ語族の文化的進化の過程で、関連した単語（例えば、水を表す英語の「water」とドイツ語の「Wasser」）が別の形（フランス語の「eau」など）に置き換わる速さを定量化した。まず、4種類の言語データ群（英語、スペイン語、ロシア語、ギリシャ語の使用パターンを代表するテキスト群）から使用頻度を割り出した。次に言語樹の全体について木構造に基づく高度な統計的手法を用い、数千年にわたって保持されているある関係を導き出した。この関係により、異なる単語間の置換の速さのばらつきの50%を説明することができる。社会科学の分野で、特に広範な文化を扱う場合、これだけ高い統計的検出力が得られることはめったにない。

2本の論文は、大きく異なる手法を用いているにもかかわらず、「頻繁に使われる単語は変化しにくい」という、同じ一般的なパターンを証明している。あまり頻繁に



図1 インド・ヨーロッパ語族の言語樹。言語の単語は、生物学的に継承されるのではなく、学習を通じて文化的に継承される。この「文化的進化」の過程は、言語の間に階層的な関係の木構造を生じさせる。ここではインド・ヨーロッパ語族を例にとる。生物学的進化による変化の過程（系統発生）を系統樹に描くことができるように、言語変化の過程（言語発生）も言語樹に描くことができる。

は用いられない「help/holp」のような動詞の活用が規則的になっていったのに対して、高頻度で用いられる英語の動詞は、古くからの不規則な活用（「go/went」や「be/was」）を保持していた。より一般的には、インド - ヨーロッパ語族で高頻度で用いられていた単語（「one」、「night」、「tongue」など）は、新しい音韻形に置き換わりにくいということである。言語変化に使用頻度が重要な役割を果たしているという今回の発見は、目新しいものではない⁵⁷。しかし、バイオインフォマティクスやゲノミクスの中で発達してきた高度な手法を用いることで、これらの関係の定量化は重要な進歩をとげたのである。同様のアプローチは多種多様な言語に適用することができ、今回の論文で明らかにされた特異的なパターンが、中国語や南インドのドラヴィダ語などの非インド - ヨーロッパ語族にも当てはまるのかという疑問にも答えることができるだろう。

このような関係を証明できたとはいっても、その関係を記述できたというだけであり、理由を説明できたわけではない。語形を定量化できたというだけでは、規則性が存在する理由を明らかにしたことにはならないのである。Schleicher なら、E 言語学の比喻を用いて、異なる語形が生き残りをかけて闘争したのだと説明するかもしれない。チョムスキーなら、I 言語学の観点から、その言語を学んで使用する個人に基礎を置いて説明しなければならぬといい返すだろう。Pagel ら⁴は、理由となりうる2つの可能性を考えている。1つは、使用頻度が高い単語は、誤解されたり、想起できなかつたり、誤用されたりすることが少ないため、新しい音韻形が生じにくいという説明である。もう1つは、このような文化的「突然変異」は一様に起こるが、新しい語形が集団によって採用される確率は、使用頻度の影響を受けるという説明である。

重要なのは、この2つの可能性が必ずしも相反するものではないということである。言語発生現象を十分に説明するためには、個体レベルと集団レベルでの説明が必要であり、両者が必然的に関連している理由を示す必要がある。ところが、ある世代からの出力が次の世代への入力となり、原因と結果をはっきりと切り離すことができないため、説明が循環してしまうという問題が生じてくる。これは、進化システムに内在する問題であり、文化的進化においては特に大きな問題となる。言語発生は、個体発生より長いタイムスケールで起こるが、系統発生よりは短いタイムスケールで起こる。このため中間レベルの説明を必要とするからである。通常、我々が個人として単語や活用形を発明することはない。しかし、個人の語法（発音の違いいやわずかな意味変化など）は、将来へと受け継がれていく言語に影響を及ぼし、集団の語法は、何世代にもわたって受け継がれ、その言語の運命を決定づける。このように、フランス語であってもスワヒリ語であっても、人間の言語は（Schleicherが考えたような）自然のものではなく、個人が意識的に創造した人工のものでもない。経済・政治・宗教システムなどと同様、第3の種類の現象なのである⁸。

この区別は直観的にわかりやすいが（英語などの「自然な」言語とエスペラント語やC++などの「人工的な」言語を区別するときに利用できる）、言語学の分野ではあまり研究されていない。このような現象に関する理論は、経済学の分野の方が進んでいる。マクロな現象を、まったく異なるミクロな行動によって説明する必要があることに最初に気づいたのは、アダム・スミスである。彼は、個々の人間が自己の利益を最大にしようとして労働に従事することで、提供される商品やサービスの水準が向上し、ひいては社会全体が恩恵を被ることを、「見えざる手」という実に印象的な比喻を用いて説明した。

それでは、言語の文化的進化を導く「見えざる手」をより深く理解するためには、どうすればよいのだろうか？我々が進むべき道は、文化的進化の理論モデル⁹を研究室での実験的な社会学習研究^{10,11}と融合させようとする最近の試みの中にみえてくる。ある被験者からの出力を次の被験者への入力として用いる伝言ゲームに似た「繰り返し学習」の実験的研究から、我々の理論に新しい息吹を吹き込み、規則性を与える経験的データが得られるだろう。新しい高度な理論モデルは、学習の「主体」である言語に、（いわゆる Bayes の事前確率の形で）固有の傾向と、環境の規則性を発見し、それを利用することができる¹²。このモデルは、極めて間接的で、ときに直観的には把握しにくい関係が、集団全体のレベルで現れてくる言語の規則性と、その基礎にある言語生成の力との間に存在している可能性があることを示唆している。言語生

成の力とは、個人の行動および学習（社会慣習）と固有の制約（チョムスキーの用語でいうなら「言語習得装置」、しばしば「普遍文法」とよばれている）である。

こうした言語生成への新しい総合的なアプローチには、言語の普遍的特性は普遍文法と同じものではないという重要な意味がある。2つの概念が関連していることは明らかであるが、一緒にしてはならないのである。もう1つの重要な意味は、文化的進化は、系統発生的進化（我々の遺伝子の利益）からも、我々自身の目標や利益からも、独立して進んでいけるということである。Lieberman³とPagel⁴の論文が明らかにしているように、文化的進化は不規則な「雑音」¹³を除去することで言語の習得を容易にしている。Lieberman³が意地悪く指摘しているように、「1つの規則は1000の例外の墓石」なのである。けれどもその「墓石」は、新しい言語を習得する際に障害となる不規則な事例を保持することもできる。生き残っている1つの例外は、1000人の新しい言語学習者にとっての「つまずきの石」であり続けるのである。

とはいえ、Pagel⁴が示唆するように、最も永続的である「文化的複製因子」、すなわちミーム¹⁴のいくつかは、一部の遺伝子と同じくらいゆっくりと進化している。そのような効果を実証し、定量化することによって、この研究は、広範な理論研究や経験的研究への扉を開けることになるだろう。ミーム学¹⁵⁻¹⁷というものがあるとして、それを遺伝学に匹敵する科学としての学問にするためには、この線に沿って研究を推進していかなければならない。すなわち、十分な裏づけのある言語変化の慎重な定量分析を、文化的進化の幾層もの複雑さを考慮できる高度な理論モデルに結びつけていく必要がある。 ■

W.Tecumseh Fitch、英国セントアンドリュース大学

- Chomsky, N. *Knowledge of Language: Its Nature, Origin, and Use* (Praeger, Westport, CT, 1986).
- Hurford, J. in *Logical Issues in Language Acquisition* (ed. Roca, I. M.) 85-136 (Foris, Dordrecht, 1990).
- Lieberman, E., Michel, J.B., Jackson, J., Tang, T. & Nowak, M. A. *Nature* **449**, 713-716 (2007).
- Pagel, M., Atkinson, Q. D. & Meade, A. *Nature* **449**, 717-720 (2007).
- Bybee, J. & Hopper, P. (eds) *Frequency and the Emergence of Linguistic Structure* (Benjamins, Amsterdam, 2001).
- Zipf, G. K. *Human Behavior and the Principle of Least Effort* (Addison-Wesley, Cambridge, MA, 1949).
- Heine, B., Claudi, U. & Haiman, J. *Grammaticalization: A Conceptual Framework* (Univ. Chicago Press, 1991).
- Keller, R. *On Language Change: The Invisible Hand in Language* (Routledge, New York, 1994).
- Boyd, R. & Richerson, P. J. *Culture and the Evolutionary Process* (Univ. Chicago Press, 1985).
- Kalish, M. L., Griffiths, T. L. & Lewandowsky, S. *Psychonom. Bull. Rev.* **14**, 288-294 (2007).
- McElreath, R. et al. *Evol. Hum. Behav.* **26**, 483-508 (2005).
- Kirby, S., Dowman, M. & Griffiths, T. L. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **104**, 5241-5245 (2007).
- Deacon, T. W. *The Symbolic Species: The Co-evolution of Language and the Brain* (Norton, New York, 1997).
- Dawkins, R. *The Selfish Gene* (Oxford Univ. Press, 1976).
- Dennett, D. C. *Darwin's Dangerous Idea* (Simon & Schuster, New York, 1995).
- Blackmore, S. J. *The Meme Machine* (Oxford Univ. Press, 2000).
- Mesoudi, A., Whiten, A. & Lalaand, K. N. *Evolution* **58**, 1-11 (2004).

Mmm... Pi



左からエグゼクティブ・プロデューサー Al Jean、シンプソン家の長女リサ、次女マギー、母親のマージ、父親のホーマー、長男バート。『ザ・シンプソンズ』は、シンプソン一家が繰り広げる日常生活を描いたコメディ。全編を通じて、家族・社会・政治などに対する痛烈な風刺やブラックユーモアにあふれる作品である。全米FOXネットワークで1989年に放送開始。これまで400話以上が放映されており、米国アニメ史上最長寿番組として知られる。現在は、20か国語に翻訳され、60か国以上で放映。全世界で6000万人を超えるファンをもつといわれている。日本では、1992年以降ケーブルTVで放映が始まり、現在も続いている。

『ザ・シンプソンズ』——パイの味わい

Nature Vol.448 (404-405) / 26 July 2007

『ザ・シンプソンズ』の偉大さの1つは、どんなことにもユーモアを見つけようとする姿勢にある。もちろん科学も例外ではない。『ザ・シンプソンズ』のチーフ脚本家にしてハーバード大学数学科の卒業生であるエグゼクティブ・プロデューサー Al Jeanが、オイラーの公式で笑いを取る方法を *Nature* に語った。

Q：今週、『ザ・シンプソンズ Movie』が封切られます（日本では12月15日公開予定）。今回のストーリーにも科学は盛り込まれますか？

Al Jean：今回のストーリーは、ある危機によって急展開していくのですが、その危機というのが環境に関するものなのです。リサ（シンプソンズ家の長女）は、この問題について町の人々に警告するために、『いまましい真実』という題でレクチャーをします。彼女はまだ8歳ですが、しばしば脚本家の声を代弁しています。私たちの多くがリサと自分を同一

視しているのです。とはいえ、リサは嫌われ者として描かれていますし、その声は必ずしも人々に聞き入れてもらえないのですが…。

Q：脚本家の皆さんは、科学に対する一般の人々の態度を風刺しようとしているのでしょうか？

Al：私たちは基本的に、どんな問題についても両方の立場を示して、判断は視聴者に委ねるようにしています。人々はかつて、科学がすべての問題を解決してくれると信じていました。けれども今では、

そんな時代などなかったような雰囲気です。万人の問題を解決することなど不可能に決まっていますが、実際にそれが明らかになったときの失望は非常に大きいのです。人々は今や、科学者を悪者に仕立てて、その声に耳を傾けようとはしなくなりました。これはひどいことです。

それでも私たちはすべてを笑い飛ばします。番組に科学者が登場するなら、彼らのこともからかいます。私たちが描く科学者は、基本的に孤立していて、人付き合いが苦手で、不明瞭な物言いをするので、素人には何をいっているのかわか

らないことがあります。科学の世界を少し経験している者として、私はそれがまったく的外れであるとは思っていません。

Q：番組が一方に肩入れしていた例として、学校で創造説を教えることにリサが反発するというエピソードがありますね。

AI：保守主義者にも進化論を信じている人はいます。前ローマ法王ヨハネ・パウロ2世がそうでした。進化論はリベラル思想ではなく科学理論であり、限りなく事実に近いものなのです。私たちは、学校で進化論を教えることに反対したフランダース（シンプソン家の隣人）が純粋な信仰をもっていることも強調しました。私たちは、彼の気持ちも尊重したつもりです。

本当に面白いのは、（大統領候補指名をめぐる）共和党候補どうしの討論会で、司会者が、「それでは、進化論を信じているのはどちらですか？」と尋ねたときのことでした。彼らは手を挙げそうになったのですが、結局、挙げませんでした。私がいいたいのは、「自分が進化論を真実だと思っているかどうか、わからない

なんていうことがあるのか？ 意見の問題ではないだろう？」ということです。

Q：スティーヴン・ホーキング（理論物理学者）やスティーヴン・ジェイ・グールド（進化生物学者）などの有名な科学者を番組にゲスト出演させていますね。

AI：ホーキングが『ザ・シンプソンズ』に出演すると聞いたとき、誰もがわくわくしたことでしょう。けれども、誰よりもわくわくしていたのは私なんです。科学に対する人々の態度を皮肉るために、ホーキングがスプリングフィールド（シンプソン家住の町）の人々にこれからどうするべきかを教えると、ホーマーが「そうだ！ Larry Flyntがいうとおりだ！」と叫ぶというジョークを入れていますよね（Larry Flyntは、アメリカを代表するポルノ雑誌出版社の名物社長）。

Q：「この人に出演してもらうのが夢」という科学者はいますか？

AI：亡くなっている人でもいいなら、アイザック・ニュートンです。生きている人について答えるのはむずかしいですね。

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。

『ザ・シンプソンズ』にゲスト出演したスティーヴン・ホーキング。

50年前なら、一般の人々はアルバート・アインシュタインこそが科学者だと思っていました。彼はまさにヒーローでしたから。今は、そんな科学者はいませんね。科学は、こんなふうにして影が薄くなってきたのでしょうか。

Q：とんでもないところに数学が隠されていることも『ザ・シンプソンズ』の自慢ですね。

AI：最近のエピソードの中で思い出すだけで笑ってしまうのは、ホーマーとマージ（シンプソン家の父親と母親）が野球観戦に出かけて、みんなで観客数を推測する

AP IMAGES

「我が家では熱力学の法則に従うんだ」

Natureの編集スタッフが選んだ『ザ・シンプソンズ』の科学的名場面トップ10

『スプリングフィールド・最後の日』：気象観測気球を破壊したパート（シンプソン家の長男）は、偶然、彗星を発見する。彗星はスプリングフィールドを直撃しようとしていたが、衝突は奇跡的に回避された。パーテンダーのモーは、地球を守る斬新な方法を提案する。「こんなことが二度と起こらないように、天文台を燃やしてしまおう」。

私のパンツをあげる：『祖先はサルだった？』では、シンプソン家の隣に住む信心深いネッド・フランダースが人類の起源

に関する科学博物館の展示を見て、それが進化論に肩入れして創造説を軽視していること、そしてなによりトイレが男女共用であることに仰天する。

すばらしい遺伝子組み換え食品：『汝、禁断の実トマコを食すなかれ』では、農業を始めたホーマーがブルトニウムを肥料にすることを思いつく。タバコの種とトマトの種のDNAが混ざり合っ

ありがとう、アンドリュー・ワイルズ（フェルマーの最終定理を証明した数学者）：ハロウィン・スペシャルでは、2次元の世界に住むホーマーが3次元の世界を旅した。そこは映画『トロン』に似ているが、もっと数式が多い世界だった。ここで登場するおかしくてオタクな数式： $1782^{12} + 1841^{12} = 1922^{12}$ を考え出したのは、脚本家のDavid X.Cohenである。この式は、フェルマーの最終定理の誤った反証であり、Cohenはわざわざコンピュータープログラムを書いてこれを作った。

『フェロモンは暴力の香り』：ガリ勉がいじめの標的になるのは体からそのような物質が出ているからではないかと考えたりサは、ガリ勉の汗からいじめっ子を凶暴にする成分を単離する。彼女は会議に出席し、元米国公衆衛生局長官のC. Everett Koopなどのお歴々を前にしてデータの発表を行う。科学の真の目的がどこにあるかを実感するシーンである。

化学なしの生活なんて：教育映画の登場人物であるジミーは、「電話、車のバッテリー、拳銃

シーンです。それぞれがいう数字に、数学的に特別な意味があるのです。ある人がいう数字は「完全数」だし、またある人がいう数字は「4つの平方数の和」です。これらはいずれも4桁の数字だし、誰もそんなところに数学的に特別な意味のある数字を使うとは思わない。表面だけ見る人にはなんら特別なことはないのに、鋭い人にならわかる。私は、そんなふうに数学を盛り込めるのが楽しいのです。

あるエピソードでアプー（スプリングフィールド在住のインド人）が法廷で証言をするときに、弁護士が記憶力に自信はあるかと質問されるシーンもお気に入りです。アプーが、「はい。私は π を小数点以下100万桁まで暗記しています」と答えると、ホーマーが「うーん、パイかあ…」といって、よだれをたらすというシーンです。私たちはカルテク（カリフォルニア工科大学パサデナ校）に連絡をとって、100万桁目の数字を確認してもらいました。

また、私は $e^{i\pi} + 1 = 0$ という数式（オイラーの等式）が好きなのですが、あるエピソードでこれを使いました。万人に理解される必要はないんです。

Q: あるエピソードでは、フリント教授が「 π はぴったり3だ!」と叫んで、講堂を静まり返らせるというシーンがありました。

AI: 1890年代にインディアナ州が「 π の値は22/7である」と定めたという話があって、私は以前からこれを面白いと思っていたのです。つまり…立法府の気まぐれに合わせて数学的概念を変えるのはバカげているということです。

Q: うまいジョークを書くための公式はありますか?

AI: 私は、コメディイを書くことは数学にたとえられると思っています。ある状況の落ちを考えることは、数学の証明をするのに似ています。うまい落ちを思いついたときには、実に晴れ晴れとした気分になります。これは、大学で数学をやっていた頃に、エレガントな証明ができたときに味わった気分とどこか似ていますよ。

Q: 『ザ・シンプソンズ』の脚本家には、数学や科学を学んだ人が何人かいますね。実はオタクの集団だったりして?

AI: 内輪の集まりでは数学の話をよくし

ていますよ[くすくす笑い]。けれども、世間が広いことはわかっているの、それを前面に押し出すようなやり方はしません。さりげなくやっています。

Q: 数学の研究を続けていればよかったと思ったことはありますか?

AI: 私が研究していた分野で第一人者になることはできなかったでしょう。ものすごく優秀な数学者が何人もいましたからね。私に彼らのような仕事ができただろうか、わかったものではありません。ですから、私は今の仕事に満足しています。

Q: 番組の中で Nature に言及してもらうためには、どうすればいいですか?

AI: Nature の名前を出すのはいいですね! 時間はたっぷりあります。まだ400話しか作っていませんから…。

聞き手は Michael Hopkin。

AI Jean へのインタビューは7月26日の Nature Podcast で聴くことができる。ホーマー、リサ、スキナー校長、スティーヴン・ホーキングも出演している。<http://www.nature.com/nature/podcast/archivetranscripts.html>



円周を直径で割るフリント教授。

…、多くの亜鉛製品がある世界に生きてよかった」という。亜鉛なしの世界に迷い込んだ彼は、自殺しようとして失敗する。亜鉛を使わない銃は使い物にならなかったからだ。

ビルトダウン天使:『大発見! 天使の化石?』では、天使の翼をもつほぼ完全なヒトの骨格が発見されたことで、科学と信仰の戦いになる。科学の側に立つのはリサとゲスト出演者のスティー

ヴン・ジェイ・グールドであり、信仰の側に立つのはネット・フランダースである。フランダースはいう。「科学は、映画の結末をばらしてそれを観る楽しみを台無しにするおしゃべりに似ている。人には知りたくないことがあるのだ。特に重要なことは!」。

ストックホルムへの旅: これもハロウィン・スペシャル。1986年にノーベル化学賞を受賞したダドリー・ハーシュバックが出演して、フリント教授 (IQ197のマッドサイエンティスト、アプーの師) にノーベル賞を授与する。ハーシュバックは、交差分子線技術により化学反応のダイナミクスを詳細に研究できるようにしたことで受賞したが、フリントは死んだ父親を生き返らせたことで受賞した。

科学捜査ファイル:『誰がバーンズを撃ったか』では、DNA鑑定により、バーンズを撃ったのがシンプソン家の誰かであったことが明らかになる (実際には赤ん坊のマギーだったことがわかった)。このストーリーには別のエンディングも用意されていたが、それらを受け入れるなら「シンプソンのDNAという証拠」を無視することになる。「そんなことは」とナレーターは意味深な笑いとともに見聴者に語りかける、「まったくバカげているでしょう?」。

永久に面白い:『担任になったマージ』では、授業がなくなって退屈しているリサが永久機関を作製したが、ホーマーはこれを喜ばない。「リサ、我が家では熱力学の法則に従うんだ!」

Brendan Maher

HIS DAUGHTER'S DNA

娘のDNA

Nature Vol.449 (773-776)
18 October 2007

臨床遺伝学を修めたというのに、娘の体の異常がどこから来ているのか Hugh Rienhoff にはいっこうにわからなかった。そこで彼は Brendan Maher にこういった。だったら自分で突き止めてやろう。



4年ほど前、米国の Hugh Rienhoff は妻のおなかの小さな切開口から娘が取り上げられるのを見つめていた。彼にとって3番目の子どもだった。上の息子2人もやはり帝王切開で生まれており、お産に立ち会うのも3回目だった。ところが、この子はようすが違っていた。彼の記憶では、出生時のストレスのせいなのか、肌の色が少しばかりくすんでいて、体がちょっとグニャグニャしているようにみえた。足をちらっと見た。その足は普通よりほんの少し長かった。一瞬、臨床遺伝学者としての彼の頭が働いた。この子はマルファン症候群ではないだろうか。

しかしそんな疑念は、誕生の喜びの中ですぐにかき消された。「少なくともその日は、医学的な見地から何かを考えたりはしなかった。私は、新しい命を前に誰もが当たり前を感じる喜びをかみしめていたのである」と Rienhoff はいう。生まれたばかりの娘が Rienhoff に手渡されるとき、小児科医は専門用語を交えて説明した。顔の真ん中にあるポートワイン色のあざは火炎状血管腫で、小さな指をしっかりと伸ばせないのは関節拘縮（関節が固まって動きにくくなっている状態）であるという。Rienhoff はそうした言葉を忘れぬよう書き留めた。

生後数週間～数か月でポートワイン色のあざは薄くなったが、Rienhoff はまもなく、娘が正常に発育していないことに気づいた。娘の手足の指はまっすぐに伸びることはなかった。さらに心配なことに、十分に食べさせているにもかかわらず体重がいっこうに増えなかった。誕生時のふと浮かんで消えた第一印象を別にすれば、娘はマルファン症候群ではなかった。この症候群はフィブリン-1というタンパク質の遺伝子異常が原因で、5000人に1人の割合で発生する。娘は、やせていて鳥に似た顔立ちをし、手の指は長く、扁平足という、マルファン症候

C. PICKENS

群の身体的な特徴が多くみられたが、診断規準となるいくつかの特徴がなかった。なかでも典型的な心血管系の異常は、差し当たってないようだった。幸いなことだった。

Rienhoffの娘と同じように、はっきりとした診断ができない先天性異常をもって生まれてくる子どもは、米国内だけでも毎年数千人いる。既に知られている疾患であって表現型が普通と異なるだけなのかもしれないし、医学書やデータベースにもないくらいまれな変異が原因で起こったものかもしれない。こうした症例では、はっきりとした共通性をもつ家系群が見つからないかぎり、詳しい遺伝解析に取りかかることはまずない。子どもたちはその時点での可能な最善のケアを受けるだけである。

しかし、Rienhoffはそうしなくなかった。彼は既に医師としての職業を離れていたが、臨床遺伝学の権威であるVictor McKusickの下で臨床医として経験を積んだことがあった。Rienhoffは遺伝子に関する知識があり、娘の遺伝子について知りたいと考えた。これまでほぼ4年にわたって、彼は娘の異常が分子レベルでどのようなものかを知ろうとし、得られた知識が娘のケアや治療に役立つ情報をもたらしてくれることを期待した。専門家を質問攻めにし、会議に出かけ、しまいには自分の仮説を塩基配列データによって検証できるように、自宅に遺伝子増幅装置まで設置した。また、手に入れた情報のインターネット上での公開も始め、同じように原因不明の疾患に苦しむ人々の助けになる知識を提供できるように、自分の経験談も掲載した。そして、彼は娘の病状を改善する治療法を見つけたとさえいえるのかもしれない。

Rienhoffは、1970年代後半と1980年代の大部分を、米国メリーランド州ボルチモアのジョンズ・ホプキンス病院で、医学生、インターン、レジデント、研究員として、研修・研究生活を送った。1992年にジョンズ・ホプキンスを

辞め、臨床医学や臨床研究に別れを告げた。ボルチモアのベンチャー企業であるNew Enterprise Associatesの共同出資者となったのである。彼は数年間、複数のバイオテック企業を設立して軌道に乗せる手助けをし、やがて、自分自身の企業を立ち上げようと決心した。1998年、妻のLisa Haneとサンフランシスコに移り、Kiva Geneticsを設立した。この会社は、遺伝子の発見や診断に使うためのハイスループット塩基配列決定装置の開発を狙ったもので、後に社名をDNA Sciencesへ変更した。2001年には勇退したが、バイオテック関連のベンチャー企業へ助言や設立の手助けを続けた。

今年54歳のRienhoffは、めまぐるしく変化する起業の世界を10年以上にわたって生き抜いてきた実業家タイプだろうという予想に反し、忍耐強く思慮深く、穏やかに話す人物である。彼は、あらゆる考えについて短所と長所を注意深く一覧表にしてバックアップしてあるかのように、順序立てて話をする。彼が娘のケアをしっかりやってきたことは確かだ。娘が新しい医者からの診察を受けるたびに、また検査のたびに、彼女が受けるかもしれないリスクと利益について、注意深く比較検討してきた。

彼は娘の疾患に際し、最初に慎重に検討して決断したあることについて、未だに意見を変えていない。「私は娘の主治医になりたいはなかった」（そして彼はすぐにテーブルの向こう側で、自分は小児科医ではないのだからといった）。再び医師の仕事をはじめたとはいえ、Rienhoffは父親という立場にあり、それ以外は望んでいない。彼は自分自身の採血なら問題なくできるが、いざ娘のDNA配列を知りたいと考えたときには、彼女を採血専門の担当者のところへ連れて行った。自分の手で娘に痛い思いをさせることはどうしてもできなかったのである。

娘には関節拘縮があったので、Rienhoffが最初に連れて行ったのは整形外科だった。生後10日目に、ある整形外科医の

診察を受けたのである。「彼は思慮深い人だった」とRienhoffは回想した。「彼はこういったのだ。『この症状はピールズ症候群を思わせませんが、完全には当てはまりません』」。ピールズ症候群は先天性の疾患で、主な特徴として、関節が拘縮し、手足の指も同じように曲がっている。それ以外の点では、ピールズ症候群はマルファン症候群の症状と極めてよく似ており、ピールズ症候群がマルファン症候群から初めて区別されたのも35年ほど前のことだった。原因も、マルファン症候群とよく似ている。しかしピールズ症候群では、変異がフィブリン-1ではなくフィブリン-2の遺伝子にある。

遺伝学の研究コミュニティに通じていることで、メリットもある。Rienhoffはピールズ症候群に関するいくつかの論文を読み、著者たちに連絡をとった。そのうちの1人が、この症候群の名前の由来となったオレゴン保健科学大学（ポートランド）のRodney Bealsに、Rienhoffを紹介してくれた。整形外科医でもあるBealsは、自分が1971年に報告した症候群ではないようだと言ってきた。Bealsの報告した患者たちには一般に、手足の指よりも大きい関節に拘縮がみられた。ところがRienhoffの娘の肘や膝は緩んでいて、ひどく伸びきっていた。Bealsには、自分が力を貸せるとは思えなかった。

とはいえ、マルファン症候群やピールズ症候群などの疾患を確実に除外するのがむずかしいことは、Rienhoffにはよくわかっている。どちらも遺伝的に優性であって、2つの遺伝子コピーのうち一方が変異しているだけで発症する。このような変異遺伝子は、両親の一方から遺伝すると考えられるが、必ずしもそれが原因ではないこともある。精子か卵で新しい変異が突然生じる場合もあるのだ。また、1つの遺伝子に生じたすべての変異が、その遺伝子の発現、もしくはそれに関連するタンパク質の構造に影響を及ぼすわけではない。したがって、そうした変異に伴う症状は疾患の「標準」型とかけ離れる場合がある。しかも、こうした

疾患の徴候が現れるのに数年かかる可能性もある。そのため、Rienhoffの娘の場合は、フィブリン-1または2にまだまったく知られていない異常がある、マルファン症候群かビールス症候群の未知の型なのかもしれない。彼の娘がこれらの疾患のどちらかであることを示す十分な証拠はまだ得られていないので、娘の2種類のフィブリン遺伝子については、今はまだ塩基配列の解読は行われていない。しかし将来的には、行われるかもしれない。

Rienhoffが初めて遺伝学専門家を訪問した際には、あまりはっきりした答えが得られなかった。その医師は先天性筋形成不全ではないかといった。それはRienhoffにいわせれば、埃まみれの遺物であり、診断のつかないさまざまな症状の子どもの放り込む「ゴミ箱」である。そのうえ、この症状に伴う一連の問題はあまりに異質でばらばらであり、何の役にも立たない。先天性筋形成不全は、関節拘縮と同じように、娘の症状をただ記述したものに過ぎなかった。これと同じような診断を数千人の子どものたちが受けているというのに、問題の原因や可能性のある治療法については何も説明が進んでいない。「私は先天性筋形成不全という診断に同意できなかった。専門家を訪れたことで明らかになったのは、彼女が何らかの症候群であるということだった」とRienhoffはいう。彼は、娘の複数の症状が互に関連したものであり、おそらく遺伝子に特異的な何かによって引き起こされていると考えた。

何の病気なのかははっきりさせたいというRienhoffの思いは、単に知的好奇心からくるものではなかった。誕生から5か月経っても、RienhoffとHaneは娘がなかなか成長しないのを見てひどく不安になった。背は伸びたが、体重が増えなかったのである。「娘はまるで溶けて細っていくようだった」とRienhoffはいう。胃腸の専門医に娘を連れて行ったところ、カロリーを取らせるよう助言を受けたが、何も好転しなかった。医師たちは、問題の原因となっていそうな事柄をリストにした。代謝障害、胃腸の栄養摂取機

能障害、細胞内のミトコンドリアのエネルギー生成機能障害などである。浮かんだ1つの可能性は、嚢胞性線維症の珍しい型というものだったが、娘の症状はこの病態とはまったく違うようにみえた。

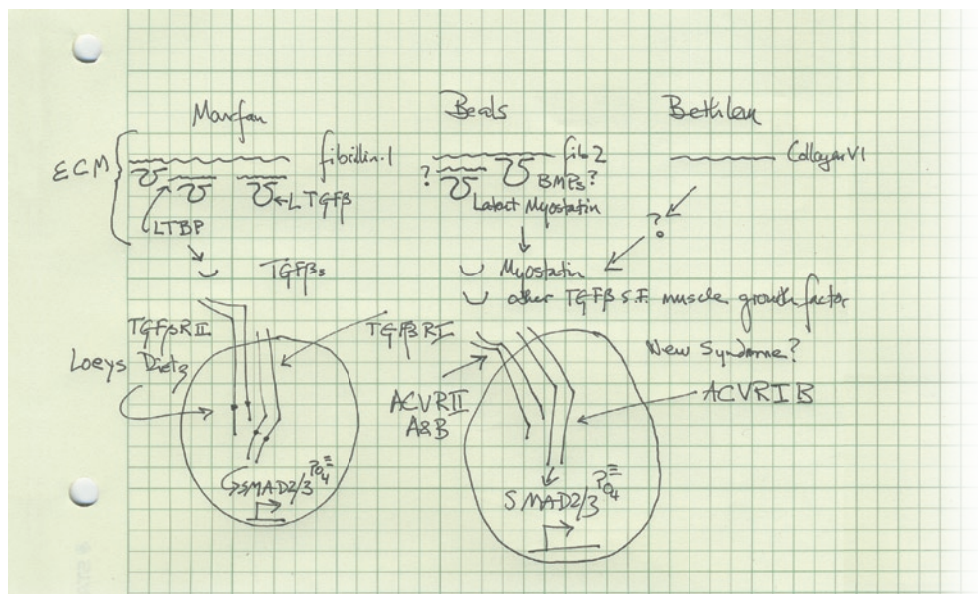
こうした原因の中で特に可能性があるのは、ミトコンドリア異常だとRienhoffは考えた。ミトコンドリア異常の典型的な症状は筋肉の衰弱であり、娘に明らかにみられる症状だが、正確な診断を下すのは非常にむずかしい。Rienhoffは文献を読みあさり、専門家と話し、すぐに、彼がいうところの「非常にとりとめのない領域」に自分自身がいることに気づいた。「8〜9か月という実にたくさんの時間を浪費してしまった」とRienhoffはいう。

Rienhoffがミトコンドリアの謎めいた世界を調べているうちに、娘は最初の誕生日を迎え、自らも第一歩を踏み出した。彼女は成長しており、結果として、それが彼女の症状を示すことになった。しゃがんだ姿勢から立ち上がる時、彼女は太ももに両手を置いて支えねばならなかった。この行動はガワーズ徴候として知られるもので、デュシェンヌ型筋ジストロフィーなど、筋肉が衰える疾患をもつ子どもによくみられる。診断を下すのがむずかしい場合には、何か基本的な原則を1つ見つけ出そうとしてみるとよいと、

Rienhoffは話す。十分な量の筋肉を生成できなかったり、筋肉が正常に機能できなかったりする症状は、「娘の病態の目印、つまり『北極星』になった」のだと話す。

2005年の春、Rienhoffは娘とボルチモアの親類や友人を訪ねた。彼は、McKusickの下で働いていたときに知り合った小児臨床遺伝学者のDavid Valleと会う約束をしていた。現在ジョンズ・ホプキンスの遺伝医学研究所の所長をしているValleは、誰よりも自分の研究分野の限界をよく知っている。「近年大きな進展があったものの、結局のところ、詳しい病歴や家族歴、身体診察にまだ頼っている。規準となる実験データを参照しつつ臨床的な特徴をすべて総合して、何らかの診断の可能性を見つけ出そうとするしかない」と彼はいう。そして、一連の標準的な遺伝子スクリーニングを終えたとしても、「形態異常をもって生まれる患者のおそらく3分の1については、診断を下せないままになる」といった。

しかし、Valleが同僚2人とともにRienhoffの娘を診察したとき、ピンとくるものがあつた。彼女の両目が離れていることやマルファン症候群に似た特徴は、確かに遺伝子疾患に広くみられるも



Hugh Rienhoffは、自分のノートに娘の病態に関する理論を書き込んでいる。

のであり、定義されたばかりのある症候群に非常に似ているようにみえた。医師たちはRienhoffの娘に口を大きく開けるようにいい、彼女ののどの奥をのぞいたとき、答えが出たと思った。

その年の1月、当時ジョンズ・ホプキンスにいたHal DietzとBart Loeysは、それまでマルファン症候群に似ているために混同されていた別の病態をLoeys-Dietz症候群として、論文で発表していた。2人は、その症候群がマルファン症候群と似ているが原因は異なっていると考えた¹。

マルファン症候群で変異しているフィブリンというタンパク質は、細胞をタンパク質で包み込んでまとめる細胞外マトリックスの構成成分である。そのため、マルファン症候群にみられる長くて細い体の特徴や心血管系の疾患は、「糊」の役目をする細胞外マトリックスが構造的に異常になった結果であると、長く考えられていた。さらに最近になって、Dietzやその他の研究者によるマルファン症候群の研究など、各方面の証拠から、細胞外マトリックスは受動的に細胞をまとめているだけでなく、細胞どうしのコミュニケーションの仲介もしていることが示唆された²。フィブリンは、発生に重要な役割を果たす因子、TGF- β スーパーファミリーの細胞間シグナル伝達分子に結合して、それを隔離する。フィブリンの異常により、広範な作用を及ぼすTGF- β シグナル伝達系が制御されなくなり、そのため骨は長くなりすぎ、血管組織はぼろぼろになる可能性がある。

LoeysとDietzは、マルファン症候群の中に、フィブリン-1の遺伝子ではなく、2種類のTGF- β 受容体遺伝子に変異をもっていると思われる患者を見つけた。TGF- β 受容体の機能を無効にするとと思われる変異が、どうやってTGF- β シグナル伝達系に活性化作用を及ぼすのかは、目下のところ謎である。しかし、同じ生体機能系を破壊するため、マルファン症候群のフィブリン-1の欠損による症状とまったく同様の症状が現れる。

LoeysとDietzは、そうした人々の症候群について、分子レベルで詳細に調べた



うえ、身体上の明らかな症状を3つ見いだした。離れた目、口蓋裂や口蓋垂裂（のどの奥に垂れ下がっている軟組織が分かれている）、動脈の重度の構造異常である。

驚いたことに、Rienhoffの娘の口蓋垂は二股に分かれていた。それまで医療関係者や両親が詳しく身体のようすをみていたにもかかわらず、まったく気づかなかったのである。ValleとLoeysはTGF- β 受容体遺伝子の塩基配列を解読するため血液試料を採取し、できるだけ早く心エコー検査を受けさせるように勧めた。偶然にもRienhoffはその1か月前に、ボストンの小児病院にいるDavid Claphamの示唆を仰ぐ予定を入れていた。Claphamは、Rienhoffの娘の発育が思わしくないのは心臓の異常が関係しているのではないかと疑っていた。帰路の機上でRienhoffは、DietzとLoeysの書いた論文を読んだ。そこには、患者の詳細なようすや大動脈にある悲惨な異常が示されており、彼自身の心は重く沈んだ。

サンフランシスコのカフェでRienhoffと最初に会った日、彼は私のほうを向いていった。「問題は、娘がものすごくかわいってことだ」。そう言って微笑んだ彼の表情には、真の診断を必死に求めても行き着く先が悪い診断結果ということもあるという悟りが漂っていた。Loeys-Dietz症候群の場合、平均寿命は26歳である。心身を消耗しつつ1年半にわたってさまざまな医師を訪問したこ

とで、Rienhoffと娘の間には特別な絆ができ上がっていた。彼は、1冊のノートで、娘の症例に関する自身の調査結果でほとんど埋め尽くしていた。また別の2冊のノートには、娘とともに経験したことの個人的記録と、娘のようすや、娘が話したり行ったりした興味深い出来事を気軽に書き留めてある。記録ノートは、2人の息子についても同様のものがある。娘は一度、Rienhoffの右目の端にある良性腫瘍について尋ねたことがあった。彼女は父親を「ポピー (Poppy)」とよんでいるので、その腫瘍は「ポピーオマ (poppy-oma)」とよばれたのだという。

ウエストコーストに戻った翌週の木曜日、父娘は心臓検診に出かけた。Rienhoffは心エコーを一瞬も逃さず見つめ、娘の大動脈への「嫌疑がきれいに晴れ」て、大きく安堵した。TGF- β 受容体の塩基配列データはその数週間後に届き、Loeys-Dietz症候群で特定されている変異はどれもみられなかった。翌年、RienhoffはDietzを訪ねたが、Dietzがいうには、遺伝子検査で陰性の結果が出たことにさほど驚かなかった。Rienhoffの娘は、この症候群の「典型的」な症状をすべてもっているわけではなかったからである。

恐ろしい診断名の1つがほぼ除外されたことは心強かった。しかし、実際に何が原因で病状が進行しているのかという問題は、相変わらず未解決のままだった。LoeysやDietz、Valleに触発され、Rienhoffは新たにTGF- β シグナル伝達

系に注目した。彼の娘の疾患がマルファン症候群やLoeys-Dietz症候群のようにみえるのは、よく似た分子が損傷しているからかもしれない。Rienhoffは、もう一度、筋肉を構築できないという娘の症状の「北極星」を頼りに、TGF- β の活性化に関する文献を読みあさった。

TGF- β スーパーファミリーには数十種類の成長因子があり、そのうちの1つであるミオスタチンは主に骨格筋で発現する。ミオスタチン遺伝子の異常によって筋肉量が異常に多い個体ができることがあり、その顕著な例は、異様にがっしりしたベルギーブルー種の畜牛である。2004年には、ドイツと米国の研究チームが、元プロ運動選手の子として生まれた男の子について研究報告をしている³。この子は並外れた筋肉質で、4歳半で3キログラムの重りを両手にそれぞれもって手を伸ばした状態で肩の高さに保つことができた。彼のミオシン遺伝子の2つのコピーはどちらも欠損していて、骨格筋形成が制御されていなかったのである。

ミオスタチンは、ACVR1B、ACVR2A、ACVR2Bという3つのアクチビン受容体を介して働く。これらの受容体の塩基配列はLoeys-Dietz症候群で変異しているTGF- β 受容体に似ているようにみえる。これらの特異的な受容体のうち1つが変異しているとすれば、娘の骨格筋が激しく影響を受けている一方で血管は影響を受けていない理由を説明できるのではないかと、Rienhoffは考えた。しかし、彼の知るかぎり、これらの受容体を疾患と関連づけた研究はそれまでなかった。そこで彼は、中古のPCR装置、マイクロ遠心分離機、数本の小容量ピペット、新品の電気泳動装置を購入した。かかった費用は合計でおおよそ2000ドル（約23万円）だった。これらの簡単な道具と自分で設計した配列特異的なDNAプライマー数種とを使って、娘のゲノムから関連する遺伝子を複数拾いだし、配列解読作業に十分な程度に増幅させることができた。Rienhoffは、試料を冷凍し、それらの入った小さいチューブを氷詰めにして、1サンプルにつきおおよそ3.50ドル（約

400円）で塩基配列の解読をしてもらうために送った。彼は200サンプル以上用意した。自分がもし正しければ、戻ってきたデータは、Loeys-Dietz症候群に見られる変異とよく似たアクチビン受容体遺伝子の1つに変異が見つかるだろう。

届いた配列情報を手にしたRienhoffは、GenBankの参照用ヒト塩基配列と比較した。すると、ACVR1B受容体をコードする遺伝子で変異が見つかった。しかしそれは、彼の予想した場所よりもはるか上流にあった。TGF- β 受容体遺伝子にあるLoeys-Dietz変異の多くが見つかる活性ドメインからは、遠く離れていたのである。

その変異が原因かどうかを明らかにする確実な方法の1つは、Rienhoffが自分のゲノムと妻のゲノムにある遺伝子のコピーの塩基配列を解読することである。もし、2人のうち一方が問題の変異をもっていれば、それはおそらく関係がない無害な変異であって、症候群を説明することはできない。なぜなら、もし原因の変異であるなら、不良な遺伝子コピーをもつ親も同じ症状を示すはずだからである。Rienhoffは、時宜を得たら自分とHaneの遺伝子の塩基配列解読をするつもりだと話す。

Rienhoffのノートには、娘のDNAについての記録のみではなく、MyDaughtersDNA.orgのことも書かれている。このウェブサイトでは彼は、専門家でない人々にもわかる平易な言葉による記述と、医学的知識をもった人々が知りたいと思う専門的で詳しい記述で、娘の症例の臨床所見を紹介している。ある意味で、このサイトはブログ的なカタルシスの場となっているが、Rienhoffはこれを、未知の遺伝疾患を抱えて答えを探している人々の役に立てようと考えている。お互いの体験を共有する機会を設け、患者の親と患者支援組織の縁結びをし、願わくば自分の娘と同じような症状をもつ患者を見つけ出せるような場になりたいというのが、彼の思いである。サイ

トの滑り出しはゆっくりだったが、現在では数人が自らの体験を投稿し始めている。Rienhoffの同僚であるClaphamもその1人である。彼は息子のBenを不可解な神経疾患で亡くした悲しい体験をつぶさに語っている。

Rienhoffは、George Churchの助けを借りて、娘の臨床履歴を記録する「表現型一覧表」を開発した。Churchはハーバード大学医学系大学院の教授で、DNAの配列解読や合成の新技术に豊富な実績をもっている。これは、データを一覧形式に表すことで、やがてはコンピューターを使って、自分の娘の症状や、臨床的に共通性があるようにみえる未知の遺伝疾患をもつほかの患者たちの症状を合わせて検索できるようにしたいと考え出されたものだ。Churchは、自分の貢献は有用な検査法につながりそうなアイデアの種をまいたことくらいだと謙遜しつつ、Rienhoffの前向きな姿勢に興味をそそられたと語った。「遺伝学に向き合い、社会活動家になる機会を逃さず、社会の意識を高めるため、そしておそらく、自分の家族や友人に影響を及ぼす疾患の研究資金を調達するために活動する利他主義者。私はそうした人物にとっても興味を引かれている」。

こうした活動は目新しいものではない。患者の親が子どものために研究支援をすることは結構頻繁にある。親が裕福であったり、有名であったり、粘り強く、運がよく、あるいは社会的地位が非常に高かったりする場合、世の中に一石を投じることできる。ところがRienhoffは、1台の塩基配列解読装置と1つのウェブサイトを使って、個人のゲノムを解析するという一線を越え、世間の関心を引きつけたのである。昔に比べて塩基配列の解読はずっと簡単になり、情報データベースも拡大しているので、彼に続いて遺伝子異常に関する理論を進展させ、その理論を塩基配列の解読によって検証する人がしだいに増えるという予想もできなくはない。こうした試みはたびたび失敗するだろうし、場合によっては失意や悲嘆を招くだろう。しかし、なかには、さま

ざまなヒト遺伝子の機能の解明に大きく貢献する例が出てくるかもしれない。

Rienhoffは、自分の経歴や人脈によって恩恵を受けていることを承知している。しかし、彼は、自分の使命の一部は、同じように未知の疾患に苦しむ人々に力を与えることだと語った。「人々が私の活動から得られる一番重要なものはおそらく、疾患の発症過程は原因不明のものではないということだと思う」と彼はいう。

彼の情熱は半端なものではない。自分の娘の主治医たちに、私の取材に応じて構わないと許可を出してくれた。しかし、皆が、彼がまっとうなことをやっていると言っていると賛同したわけではなかった。Dietzによれば、Rienhoffの例によって一部の親たちが道を誤ってしまい、遺伝子を探すほうに力を注いで、子どもの適切なケアを確実に続けるという大事な目標から資金や労力をそいでしまわないか心配だという。

Rienhoffはこうした批判の声を既に耳にしており、人々が抱く不快感を理解している。それでも、「人々の後押しを受けて、このすべてが明らかになるはずだ」という確かな感触がある」と彼はいう。彼はDietzに敬意を表して、自分のウェブサイトから1つのフォルダを削除した。それは、彼がけっしてファイルで満たすことのなかった「DNA塩基配列の解読法」(How to sequence DNA) というフォルダだった。「このサイトの目的は、DNA塩基配列の解読法を教示することではない。少なくとも今のところは」と彼はいう。だがそれでも彼は、患者と支援組織によって、遺伝学研究の黄金期の1つとなるであろう時代が訪れると考えている。それはすべての人々にとって黄金期とはならないだろうが、Rienhoffの研究はゆっくりとした秩序だったもので、まだ結論には達していないが、充実しつつある。「皆が望むのなら、このサイトで、遺伝学の歴史の中で今この時代に得られる機会を提供しよう」。

彼の旅は続いている。娘のDNAは予想していたものと違っていたが、Rienhoffはまだ、自分のミオスタチン仮説に希望



自宅でつるぐRienhoff、妻のHaneと子どもたち。

をもっており、そのため、娘に関して最もむずかしい決断を下すことになった。今年の5月、誤って活性化されたシグナルのために筋肉が形成されない可能性があるという仮説に基づいて、Rienhoff、Haneと娘の心臓専門医は、高血圧治療薬であるロサルタンを彼女に処方することを決めたのである。最新の証拠から、ロサルタンは、TGF- β 受容体に誘導される二次メッセンジャーの活性を低減させる⁴ことや、マルファン症候群様のマウスの症状がこの薬剤で改善されることが示されている。

Rienhoffは、これが議論をよぶ行為であることを承知しているが、使用の裏づけとして2つの非常に強力な要因をあげている。第一に、もし娘がLoeys-Dietz症候群かマルファン症候群のやや異なる型だとすれば、ロサルタンはその病態に伴う心疾患を未然に防げるかもしれない。娘のフィブリン遺伝子やこれらの症候群に関係するほかの遺伝子の塩基配列を最終的には解読でき、疾患の原因を解明できるかもしれないが、定期的な心電図検診が最も確実な診断を与えてくれるだろう。ロサルタンの副作用は小さく回復可能だが、心疾患はそうではない、と彼はいう。第二に、娘の筋肉量が少し改善される可能性もある。「ロサルタン投与に関しては自分を責めた」と彼

はいう。「私は何者をも傷つけないとする医師としての誓いだけでなく、親としての誓いも立てたのだ」。

その一方で彼は、TGF- β シグナル伝達に関して見つけるかぎりあらゆる文献をむさぼるように読んでいる。また、彼が注目している遺伝子に変異があって同様の症状をもつほかの患者を見つけ出すことや、ノックアウトマウスを作製することなど、関連するプロジェクトを共同でやってくれそうな研究者を探し始めた。彼は自分のウェブサイトをもっと多くの人が利用してくれることを願っている。また、娘の病状の進行を注意深く見守っており、そこに希望のよりどころを見いだしている。「娘の体の中心に近いところの筋肉は成長しつつあるようだ。少しの介助で階段を上ることができるんだ」と彼は語った。

しかし彼は、あまり深読みして先走らないように用心している。「この筋肉の成長を何かのせいだということはできない。私にできるのは、娘が心疾患にならないよう静かに祈ることだけだ」。

Brendan Maher は *Nature* の特集記事編集者。

1. Loeys, B. L. et al. *Nature Genet.* **37**, 275-281 (2005).
2. Dietz, H. C., Loeys, B., Carta, L. & Ramirez, F. Am. J. Med. Genet. **139C**, 4-9 (2005).
3. Schuelke, M. et al. *N. Engl. J. Med.* **350**, 2682-2688 (2004).
4. Habashi, J. P. et al. *Science* **312**, 117-121 (2007).

Enter the dragon

鯉魚、竜門を跳ぶ

Nature Vol.449 (502-504) / 27 September 2007

かつては貧しい村だった深圳が、今では中国で最も裕福な街の1つとなった。この街の将来計画を David Cyranoski が取材した。



深圳 (Shenzhen、シェンチェン) は変革する街である。中国南部に位置するこの街は、1979年までは小さな漁村に過ぎなかった。しかし1980年、中国共産党の指導者、鄧小平が、香港からわずか数キロメートルしか離れていない広東省深圳を「経済特区」に指定。外国投資や輸出入に対し、税制面での優遇政策が取られるようになる。以来、街は好景気に沸き、人口は1200万人に増え、釣り小屋は次々と壊されて、そびえ立つ高層ビルに取って代わられた。

やがて街は「世界の工場」として知られるようになり、現在の国内総生産 (GDP) は5810億元 (約9兆円)、中国国内で4番目の数字を達するまでに成長した。ここでは、衣類、靴、玩具などが安く、すばやく生産され、簡単な電化製品の組み立てが行われる。

そして今、深圳は再び変革の時を迎えようとしている。地方および中央政府の積極的な支援を受け、委託製造の街から知的生産の街へと移行しつつあるのだ。きっかけは2003年、深圳に学園都市が

形成されたことだった。いずれも中国北部にある北京大学、清華大学 (共に北京)、そして哈爾濱工業大学 (ハルビン) という中国のトップクラスの大学の大学院が、この街に集結した。

深圳を「特別」とか「新しい試み」といった言葉で形容する学術人は多いが、清華大学大学院の副学長、Ma Huiもその1人である。香港に近いことで (地図参照) 自由市場の資金をよび込むことができ、また、知名度の高さを生かして、中国がどれだけ、そしてどれほどのスピードで変革しているかを欧米諸国に示すことができるという意味で、彼はこの街のことを「窓であり、開かれた扉」だという。しかし、その窓からの眺めのよさや、開かれた扉の風通しのよさは、この街の行政が、いかに自由市場経済とトップダウン型政策の間でバランスを取れるか、また、いかに基礎研究と応用研究を組み合わせ生かしていけるかにかかっている。

ハイテク都市に必要な人材や技術を生み出すため、深圳の政策立案者たちは、科技园 (サイエンスパーク) と学園都市を融合させた地区の建設に取りかかっ



龍の形を模した図書館は、学園都市キャンパスの中央に位置している。



L. HUANG/Z. LIU

た。科学研究のハブとなる地域は、大抵の場合、すでに科学研究に強い大学が存在する地域に形成されるものだが、深圳にはそうしたコアとなる研究機関がなかった。そのため、1996年にまず、ハイテク技術産業園が建設された。この計画の初期段階を牽引したのがLiu Yingliで、彼はのちに副市長として深圳の経済成長の原動力となる。そして2001年、深圳は前述の各大学を説得し、大学院を誘致して学園都市の立ち上げに成功する。これ以前、街には深圳大学が1つあっただけで、大学院生にいたってはわずか25人しかいなかった。「現代的な都市にはほど遠かった」と学園都市の副理事長、Zhang Rulinは振り返る。現在は、この学園都市で学ぶ4500人の学生のうち800人が、博士号の取得を目指している。

帰還者たち

国際的な研究拠点になるという深圳の計画はまだ進行途中だが、海外から深圳に戻ってくる中国人研究者の数は増加している。清華大学深圳キャンパスの生命科学科で細胞分子生物学の教授を務める

Zhang Yaouもその1人だ。中国国内で医学を学び、カナダとアメリカで腫瘍学と血液学の専門知識を身につけた後、香港に移住したZhangは、その間も、中国の政治および研究環境の変化には常に目を向けてきたという。そして彼女は、深圳に来る決断は正しかったと感じている。深圳の学生たちは彼女がこれまで接してきた学生たちと比べても遜色なく聡明で、質も十分に高いからだ。

こうした高い水準を確保するため、清華大学大学院では教授陣の3分の2を北京の本校から送り込んでいる。彼らは深圳に常在するか、あるいは定期的に行き来する形で教鞭を執ったり、研究の指導を行う。そして残り3分の1の教授は、Zhang Yaouのような海外からの帰還組だ。研究者たちは、学際的なアプローチでの研究を可能にする新しい設備や充実した資金、そして自由な研究環境を求めて深圳にやってくる。昨年、深圳市政府は、清華大学、北京大学、哈爾濱工業大学の各大学院に「キープロジェクト」を3つずつ設定し、それぞれに3000万元（約4億7000万円）を投入、9つの分野

横断的な研究クラスターの形成をめざしている。

深圳の発展ぶりは、欧米諸国から大きな注目を集めている。アーロン・ダイヤモンド・エイズ研究センター（ニューヨーク）のセンター長David Hoは、諮問委員会の議長を務める形で、深圳の北京大学大学院ゲノム化学研究室の支援に携わる。この研究室では、生物学者と化学者が協同で生物学的課題を設定し、生物学的、化学的技術を組み合わせて問題の解決に取り組む。Hoは、深圳のバイオテクノロジーの地固めにこの研究室が役立つかもしれないと話す。市は設備や装置などの提供に積極的だが、最大の難関は、経験のある研究者を惹きつけることにある。しかし、「この街には目的を達成するための起業家精神が宿っている」と語るHoは、この点においても楽観的な見方をしているようだ。

深圳の研究機関では、研究プロジェクトの再編に対しても柔軟な対応が認められているし、そもそも建物自体に、学際的な研究ができるような工夫が凝らされている。「北京で同じことをしようとしても無理でしょう」と、北京大学の学長補佐で深圳の大学院では学校長を務めるShi Shouxuは語る。「真っ白な紙と同じで、描きたいものが何でも描けるので

J. KANG



深圳副市長のLiu Yingli（左）は、清華大学研究生院の院長Feng Guanping（右）が「人生で最も面白い10年間」を過ごしたと語る、深圳という街を作り上げるために尽力した。

す」。哈爾濱工業大学大学院の学校長 Jin Guangjun もそう話す。

深圳にはほかにも有利な点がある。経済特区にあることで、研究者たちは比較的容易に、アイソトープや細胞、タンパク質、その他の機器などを手に入れたり、利用したりすることができる。どれも、深圳以外の地域では税関のお役所仕事や許可の申請手続きで足止めを食らうものばかりである。「これらは大がかりなスクリーニングを実施する際などに大きな違いを生む」と、エール大学から北京大学大学院のゲノム化学研究室へ転じた分子生物学者 Zhang Hui は語る。

Ho が深圳での計画に関係している事実は、深圳市教員委員会委員長 Zhang Baoquan が掲げる、深圳にエリートを集めるという方針を裏づけている。各大学院が本校からトップの教授陣を集めていることも、学生の質の確保につながっている。「3クラスの大学院生が卒業していききました。卒業生を雇った企業からは、深圳の学生は北京の学生と比べても同じくらい、もしくはそれ以上に優秀だと聞いています」と Zhang はいう。

学園都市キャンパスに広がる緑地は、

超高層ビルやダウンタウンのネオンとは対照的な景色だ。キャンパス中央に広がる龍の姿を模した図書館は、学園都市の野心的な目標を象徴する。建設費2億2000万元（約34億4000万円）のこの図書館では、書籍やデータベース、雑誌などの購入用に年間2000万元（約3億円）が援助される。

深圳スピード

新しい研究機関も深圳に設立された。1999年設立の清華大学深圳研究生院は、2003年に大きな話題を振りまいた。SARS（重症急性呼吸器症候群）ウイルスが北京でパニックを引き起こしたことを受け、国家主席の胡錦濤が、同研究院院長の Feng Guanping に事態打開の策を求めたのだ。Feng によると、その10日後には、人の頭部に当てると SARS の特徴である微熱に反応する赤外線センサーを開発したという。この装置は、すぐに各地の空港に取り付けられた。Feng は、深圳での10年間で「私の人生の中で最も面白い10年間だ」と語り、「もっと早く来たかった」という。

上記のエピソードは、鄧小平が最初に言

い表した「深圳スピード」を象徴するものだ。つまり、社会のニーズに合わせた迅速な商品開発である。また、著名な中国科学院付属の深圳先端技術研究院が2006年に設立され、こちらも成功を収めている。生物医学、衛生工学、ロボット、超高速情報通信、そのほか学際的な分野に焦点を当てて研究に取り組む同研究院には、現在600人のスタッフがいるが、将来的には3000人に増加させる予定だ。院長の Fan Jianping は、3年間の任期には研究院を安定させたいと話す。「まったく新しい街を10年間で作り上げ、大学院を6年間で設立できる深圳では、研究機関を3年間で軌道に乗せることもできるでしょう」

Fan が、総工費2億元（約31億円）の高層ビルの窓から、1区画先に立つ曇った窓ガラスの5階建てのビルを指差した。「このビルも、去年まではあのビルと同じような建物でした。我々は、ブルーカラーの労働者をホワイトカラー労働者に変えようとしているのです」。

深圳では、応用研究から販売製品を産み出すことに重点が置かれている。特許の取得、しかもすぐれた有効な特許の取得も、Fan の研究院が掲げる目標だ。研究者たちは、申請する特許のうち3つに1つは製品化ライセンスにまで結びつけるよう期待されている。清華大学深圳研究生院の Feng は、「北京本校では多くの研究成果が出ているが、それらが（製品化されて）市場に出ることはない。しかし、ここ（深圳）では出す。そこが大きな違いだ」と話す。深圳では、商品開発に始まり、組織編成、雇用方針にいたるまで、万事が市場重視で進められる。

深圳虚偽大学園（Shenzhen Virtual University Park）では、生涯学習の機会の提供や起業支援などを行っている。同校のカリキュラムも「市場志向」で、人気がないクラスは打ち切られると学園長の Qiu Xuan はいう。「深圳には終身雇用を保証する『鉄の茶碗』はありません」と Jin も語る。「すべての雇用契約は、2～3年の期間で結ばれます。我々は競争を重要視しています。必要とするのは、成功に向けて努力できる人々です」。



両立

しかし、基礎科学がまったく無視されているわけではない。たとえば、清華大学大学院の研究者たちは、深圳のNational Orchid Conservation Centerとの共同研究で、木の上に寄生するラン（蘭）が干ばつや風のないときに行う自家受粉の仕組みを発見、その特徴を明らかにしている（Liu, K. W. *et al. Nature* **441**, 945; 2006; ランの映像は natureasia.com/Shenzhen でアップされている）。

Ma は、基礎科学と応用科学のバランスは、時の流れの中で変わるのではないかという。「我々はこの街で研究を続けていくうえで、より一層、基礎科学寄りの立場を取っていくことになると思います。めざすのは、急速に進化する深圳のハイテク業界を常に先導することです」。実社会の問題に取り組む研究も進められている。例えば、深圳の環境技術共同研究・教育センターは清華大学と日本の京都大学の共同出資で設置されたもので、職員も両大学から配置。都市部に清潔な水を提供する方法を研究している。

応用科学と産業については、深圳にはよい手本が存在する。1980年代に深圳で設立された、通信会社大手の華為技術（ファーウェイ）と深川中興通信（ZTE）だ。両社は2006年、それぞれ660億元（約1兆円）と240億元（約3800億円）を売り上げている。ZTEではそのうちの11.6パーセントを、華為技術では8.2パーセントを、研究開発に当てている。

深圳の地域経済の成長を支える大黒柱となっているのが、こうしたハイテク技術を扱う企業だ。このような企業の存在は、中国のほかの新興都市にはあまりみられない。2004年、深圳のハイテク産業の生産高は3267億元（約5兆円）に達した。この数字は全産業を合わせた総産出額の50パーセント以上を占める（2006年には6000億元（約9兆円）、全産業総産出額の54パーセント以上を占めた）。*

*この段落には、深圳高官から得た中国語コメントの翻訳ミスにより、原文の英文記事に誤りがありました。本記事では、訂正のうえ日本語に翻訳しています。



昔と今：1982年（左）と比べると深圳の景観は大きく変わった（右）。



「深圳の革新的システムにのっとったハイテク産業は成熟してきており、この国の経済全体の確固たる手本となっている」と語るのは、中央政府科学技術部の共産党指導部メンバーで、科学日報（www.stdaily.com）の社長、Zhang Jing'an である。発展途上国政府の中には、自国内に経済特区を作るにあたり、深圳をモデルにしているところもあるという。

新聞の見出しを飾るような研究にも街の資金が投資されている。遺伝子療法を扱う SiBiono 社は1998年に深圳で事業を始め、同社の扁平上皮がんに対する遺伝子療法は、2003年に中国政府の監督機関から認可を受けた（*Nature Biotechnol.* **22**, 3–4; 2004）。現在までに約6000人が治療を受けている。この会社の設立者で会長の Peng Zhaohui は、上海でも北京でもなく深圳を選んだのは、地方政府からの資金援助があったからだと言。

こうした企業への就職を望む人は多い。人気の高い華為技術では、100人の応募者のうち、入社できるのはわずか1人だという。しかし、十分な能力をもつ人材が少ないのも事実だ。「ハイレベルな人材は少ない。地元一流大学がないことが原因でしょう」と Peng は話す。華為技術では従業員の5パーセントを海外で雇用し、その他のほとんどは、中国の

ほかの都市で雇用している。

今後、学園都市の3校が成長していけば、このような企業に地元の才能を提供することにつながるだろう。香港と深圳の地方政府は今年5月、健康や環境保全など、さまざまな分野の研究開発でより密接な協力関係を結ぶことで合意した。Zhang Jing'an は、「香港は、国際的に才能のある人材を呼び寄せたり、国際市場とつながりをもつという意味で有利」であり、「深圳には、革新的な産業発展と、中国本土の優秀な人材を集めることができるという強みがある」と話す。

創造性に富む優秀な人材を惹きつけ続けるためにも、深圳は、すぐには経済的収益につながらない基礎科学や知的生産にも扉を開く必要があるだろう。しかし、けっして深圳だけが例外なわけではなく、最近ではどの地方政府も、研究投資への見返りを強く期待しているのが現状だ。いずれにせよ、今後、深圳が目標とするシリコン・バレーのような革新的成功を収められるかが見ものである。しかし、それがなせばなることであるかぎり、深圳はやり遂げるだろうと思う。しかも、おそらくは深圳スピードで——。■

David Cyranoski は *Nature* のアジア・パシフィック特派員。

piRNA 分子による遺伝子サイレンシング機構に迫る

塩見春彦、塩見美喜子

生命現象を理解する手がかりとして、ノンコーディングRNAが注目を集めている。徳島大学ゲノム機能研究センターの塩見春彦教授と塩見美喜子准教授夫妻は、そのうちの1つ、生殖細胞に存在する「小さいRNA分子」であるpiRNAの働きを生化学的に解析し、レトロトランスポソンの増殖を抑制する仕組みやpiRNAの生合成過程などを明らかにした。卵巣での解析は*Science* 3月16日号に、精巣での解析は*RNA* 11月号に発表した。

「小さい RNA 分子」の作用メカニズムを追って

Nature Digest — そもそもノンコーディングRNAとは何ですか？

塩見春彦 — ゲノムDNAが転写されてmRNAが作られ、それが翻訳されてタンパク質が作られる、というのが「セントラルドグマ」ですね。それに対して、転写はされるが、翻訳はされることなく、RNA分子として細胞中に存在するものが、いろいろ見つかっています。それがノンコーディングRNA（非コードRNA）です。このRNA分子の中には、遺伝子発現を調節するなどの重要な機能をもつものがあることがだんだんわかってきて、注目を集めているわけです。

ND — 塩見先生方は、どのようなノンコーディングRNAを研究しているのですか？

塩見春彦 — siRNA (small interfering RNA) やmiRNA (micro RNA) など、その名の通り「小さいRNA分子」(塩基数20～30程度)があります。それから比較的最近見つかった piRNA (piwi-interacting RNA) もあります。私たちの研究は、実はRNA干渉^{*1}に関するAGOというタンパク質への興味からスタートしました。そして、AGOタンパク質と相互作用するRNAを探っていた結果、これら3種のRNA分子にたどりつ

いたというわけです。

ND — RNA干渉でAGOタンパク質はどんな働きをしているのですか？

塩見美喜子 — RNA干渉というのは、「小さいRNA分子」が、それと相補的な配列のmRNAにくっつき、その発現を抑制する反応（サイレンシング）です。このとき「小さいRNA分子」を「ガイド」、作用する相手のmRNAを「標的」とよんでいます。この反応で、AGOタンパク質が何をするかというと、ガイドに結合して、標的を切断したり、標的の翻訳反応を妨害したりするのです。ショウジョウバエの場合、siRNAでは、AGOタンパク質の中のAGO2という種類が切断を、miRNAではAGO1という種類が妨害を引き起こすことを、私たちが発見しました¹。

piRNA 分子はどのようにして生じ、何をしているのか？

ND — 今回の論文では、どんな「小さいRNA分子」を調べたのですか？

塩見春彦 —— piRNAを調べました^{2,3}。piRNAは、24～27塩基程度の大きさで生殖細胞に存在しています。少し細かな話になりますが、ハエの場合、AGOタンパク質は、2つのグループ、計5種類に分かれます。先ほどのAGO1やAGO2は体細胞に存在するグループで、もう1つは「PIWIサブファミリー」という生殖細胞に存在するグループで、AGO3、Aub、Piwiの3つのタンパク質が含まれます。この後者のグループに結合する相手はpiRNAです。

ND — 何を調べたのですか？

塩見美喜子 — Piwiグループに属するタンパク質とpiRNAが生殖細胞でどんな働きをしているかを詳しく調べました。ショウジョウバエから卵巣や精巣を取り出して、それをすりつぶし、その抽出液を解析したのです。ハエは小さい動物ですから、たいへんな手間と労力がかかりました。1回の実験に数百匹のハエの卵巣が必要になります。麻酔をかけてから、ピンセットでひとつひとつ取り出すのですが…。これまで誰も解析しなかったのは、そうした大変さがあるからかもしれませんね。とにかくその抽出液を解析したところ、とても面白いことがわかったのです。

ND — それは、どんなことですか？

塩見美喜子 — 2つの発見がありました。まず1つめは、piRNAが、反復配列に結合して、その増殖や発現を抑制することを確認したことです。卵巣においては、レトロトランスポゾン^{*2}の転写産物

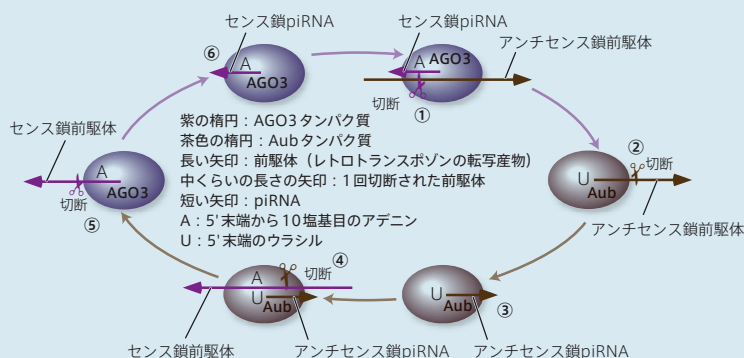
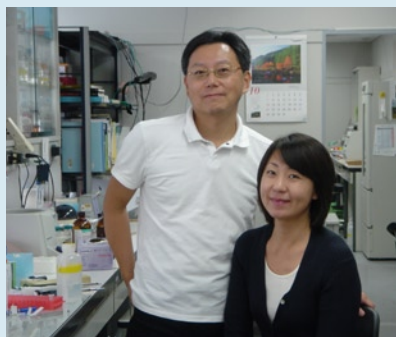


図1 piRNA分子生合成経路のモデル。

piRNAは、前駆体であるレトロトランスポゾン転写産物から、2段階の切断を経て生じると考えられる。このときセンス鎖piRNAとアンチセンス鎖piRNAによって、切断反応に関与するタンパク質が異なる。AGO3タンパク質は、アンチセンス鎖前駆体と結合し、それを切断する(①)。切断された前駆体は、Aubタンパク質に移動し、そこでさらに切断されて(②)、piRNA分子が誕生する(③)。このpiRNA分子はアンチセンス鎖である。次に、これに相補的なセンス鎖前駆体がAubに結合し、切断される(④)。この前駆体はAGO3に移動し、そこでさらに切断されて(⑤)、piRNA分子が誕生する。このpiRNA分子はセンス鎖である(⑥)。



塩見春彦（しおみ・はるひこ）／徳島大学ゲノム機能研究センター分子機能解析分野教授。医学博士。1959年、京都府生まれ。岐阜大学農学部卒業。同大学大学院農学研究科修士課程修了、京都大学大学院医学研究科博士課程修了後、1990年、米国ペンシルバニア大学研究員、1997年に同大学助教授、1999年より現職。2008年より、慶應義塾大学医学部分子生物学教室教授に就任予定。1999年、米国 FRAXA Research Foundation 賞、2000年、CAN Foundation 賞を受賞。

ショウジョウバエを利用したRNA干渉研究により、「小さいRNA分子」が、脆弱X症候群とどのように関わっているのかを探っている。

塩見美喜子（しおみ・みきこ）／徳島大学ゲノム機能研究センター分子機能解析分野准教授。農学博士（京都大学）、医学博士（徳島大学）。1962年、愛知県生まれ。岐阜大学農学部農芸化学科卒業、京都大学農学研究科修士課程修了。1990年より1999年まで、ペンシルバニア大学にて研究。2000年、徳島大学ゲノム機能研究センター講師を経て、2001年より現職。1999年、米国 FRAXA Foundation 賞受賞。

2007年より、戦略的創造研究推進事業（CREST）の「生命システムの動作原理と基盤技術」研究領域で塩見美喜子チームを率い、「RNAサイレンシングが司る遺伝子情報制御」について研究している。

に結合し、Piwi グループタンパク質がそれを切断することを確認しました。また、精巣においては、*Stellate* という遺伝子の転写産物が切断されていました。この遺伝子は反復配列で成り立っています。ご存じのようにヒトゲノムには、塩基配列パターンの繰り返しである反復配列というものがたくさん含まれています。反復配列はゲノム上で増殖したり、移動したりして、病気の原因になったり、あるいは進化の原動力になったりすると考えられるので、研究が盛んに行われているのです。

ND — もう1つの発見は何ですか？

塩見美喜子 — piRNAの生合成過程に関するヒントです。AGO3 タンパク質が結合するpiRNAは、標的DNAのセンス鎖の転写産物に由来することが多く、Aubはアンチセンス鎖の転写産物に由来することが多いことがわかりました。さらに、AGO3のpiRNAは、5'末端から10塩基目にA塩基をもち、Aubは5'末端にU塩基をもっていたのです。これらのことから、AGO3のpiRNAとAubのpiRNAが、互いを相互に形成し合うモデルを考えつきました（図1）。Aub-piRNA複合体は、母から子へと引き継がれるのだらうと私たちは推測しています。「小さいRNA分子」がどのように遺伝子発現の調節を行っているか知るためには、それがどのようにして生じるのかを知ることが、とても重要なことです。

自前の抗体と地道な研究スタイルが成功へと導いた

ND — 「小さいRNA分子」の研究を、今後はどのように展開されますか？

塩見美喜子 — 「RNA干渉機構の研究はもう済んだ」と思っている人がいるかもしれませんが、今回の論文でもおわかりのように、「小さいRNA分子」が生体の中で果たしている役割というのは、まだまだわからないことだらけです。さまざまな「小さいRNA分子」とAGOタンパク質が行う相互作用の詳細を明らかにすることで、生命現象の理解が進むだけでなく、医療や科学に応用のできる新たな技術の開発にもつながるでしょう。

塩見春彦 — 私たちが、RNA干渉研究をスタートするきっかけになったのは、そもそも、脆弱X症候群^{*3}の原因遺伝子から作られるタンパク質が、RNA干渉に必須のAGOタンパク質と相互作用するとわかったからです。生体内の「小さいRNA分子」は、遺伝子の転写をオンオフしたり、翻訳を微調整したりしているのではないのでしょうか。これらの分子が、遺伝子発現をど

のように調節し、健康や知性などの性質に関与しているのか、最終的にはそれを知りたいと思っています。

ND — 研究でいちばん大切なことは何だと思われますか？

塩見美喜子 — 私たちが大切にしているのは、自前の抗体を作るといことです。「まず、よい抗体を作る」という実験手法の大切さを、私たちは米国時代の師匠から教わりました。よい抗体を作ることができれば、精度の高い実験を行うことができるようになります。そうすれば、アミノ酸数個しか違う配列でも区別することができるようになります。自前だから、抗体をいくらでも使え、何度でも繰り返し実験ができます。

塩見春彦 — ゲノム配列を解析してノンコーディングRNAについて網羅的に調べる研究が始まりつつありますが、見つかったRNAがどんな働きをしているのかを詳しく知るためには、私たちのやっているような生化学的解析が必要になります。生化学的実験というのは、細胞をすりつぶして行うなど、とても地道な方法で、これを行うラボは、世界中を見渡しても、決して多くはありませんが、けれども私たちは、今後もそうしていくつもりです。

ND — 研究員に期待されることは？

塩見春彦 — 私たちのやっているのは、泥臭い、地道な生化学的解析です。実験を成功させるコツは、信念をもつことと、アグレッシブであることです。「できる」と信じること、あるいは、「欲しい」と強く思うこと。信念だけではだめですが、信念がなければ始まらないと思ってください。

ND — ありがとうございます。

聞き手は藤川良子（サイエンスエディター）。

* 1 RNA 干渉

小さいRNA分子が遺伝子の発現を抑制する反応。遺伝子を人工的に操作する技術として発展したが、生体内にもともと備わっている働きでもある。

* 2 レトロトランスポゾン

ゲノム上の位置を移動することができるDNA配列の一種類。転写されて生じたmRNA分子が、逆転写酵素によって再びDNA分子に戻り、ゲノムの別な部分に組み込まれる。そのため、ゲノム上のあちこちに存在する反復配列となっている。組み込まれるときに、別の遺伝子を壊したりするなど、有害なことも多い。

* 3 脆弱X症候群

遺伝性の精神遅滞症で、高頻度に見られる。原因遺伝子がX染色体に発見されている。ゲノム上で、CGGやCCGといったDNAの反復配列が膨大に増えて、その遺伝子の働きが阻害され、病気が起こる。

1. Okamura K., A. Ishizuka, H. Siomi H, M.C. Siomi, *Genes Dev.* **18**(14), 1655-1666 (2004)
2. Lalith S., K. Saito, K.M. Nishida, K. Miyoshi, Y. Kawamura, T. Nagami, H. Siomi and M.C. Siomi, *Science* **315**, 1587-1590 (2007)
3. Nishida K.M., K. Saito, T. Mori, Y. Kawamura, T. Nagami-Okada, S. Inagaki, H. Siomi and M.C. Siomi, *RNA* **13**, 1911-1922 (2007)

能登半島地震、新潟県中越沖地震、耐震偽装問題、緊急地震速報の運用開始 — 2007 年も、改めて日本が「地震大国」だと感じさせる出来事が続きました。日本列島は、周辺で 4 つのプレートがぶつかり合い、地震が最も多い地域の 1 つなのです。

今回は、プレートテクトニクスを扱ったニュース記事を取り上げます。この分野にあまりなじみがない場合は、まず右ページの図や解説で専門用語を頭に入れてから、英文を読んでみましょう。

Nature News

語数 : 526 words 分野 : 地球科学

Published online 17 October 2007 | doi:10.1038/news.2007.172

Speedy continental collision explained

India's crash into Asia was driven by plate thickness.

<http://www.nature.com/news/2007/071017/full/news.2007.172.html>

Geoff Brumfiel



- About fifty million years ago, present-day India was involved in a horrific accident. The out-of-control **subcontinent** **ploughed into** Eurasia, pushing up the Himalayas and the Tibetan Plateau.
- Geologists had wondered how India built up enough speed to collide with such force. Now a team of Earth scientists has come up with an explanation for India's rapid drift. Using data from **seismic stations**, they were able to show that the **tectonic plate** on which India lies is far thinner than others around it. As a result, India was carried like a **twig** on the surface of the **semi-fluid** portion of Earth's **mantle**. The results, published today in *Nature*¹, help settle a debate about the relationship between a plate's thickness and how quickly it moves.
- The story of India's high-speed journey began more than 100 million years ago on another continent, called Gondwanaland. This continent, which lay near the present-day South Pole, was a large **landmass** composed of what are now Africa, Australia, Antarctica and India.
- But around 130 million years ago, Gondwanaland began to **drift apart**. That may have been because it was being heated from below by a giant volcanic **plume**, says Rainer Kind, a geologist at the Free University in Berlin. Whatever the cause, it sent different parts travelling off at different speeds in different directions, he says.
- Antarctica remained more or less **stationary**, while Australia and Africa drifted slightly **farther afield**. But India took off for the north at an incredible speed of 20 centimetres a year, Kind says. That might seem relatively slow, but for a landmass it's an impressive **clip**. In fact, Kind says, "this is the fastest speed of a continent ever detected".
- Using data from seismic stations on all four continents and in the Pacific Ocean, Kind and his colleagues have **pinned down** the cause of India's speedy departure. The team monitored a specific type of **seismic wave** from the boundary between the **rigid lithosphere** (the rocky layer beneath Earth's **crust**) and the **viscous asthenosphere** on which the lithosphere floats. By analysing waves from all the seismic stations, the team was able to determine that the Indian lithosphere extends just 100 kilometres below the surface. **By contrast**, Southern Africa, Australia and Antarctica all have lithospheres between 180 and 300 km thick. "It was much easier to push India away from the centre because it was so thin," Kind says.
- The results help settle a debate about how lithospheric thickness influences a continent's motion, says Dietmar Müller, an Earth scientist at the University of Sydney in Australia. Previously, some scientists had **speculated** that a thick lithosphere might **facilitate** a continent's drift across the asthenosphere in the same way that a ship's **keel** helps it move through water. The new results suggest otherwise, Müller says.
- But a mystery remains: why was India's crust so much thinner than the rest? Kind and colleagues claim that the same hot volcanic plume that broke up Gondwanaland might also have thinned India's lithosphere. But Müller is unconvinced. "We don't even know whether a plume was really responsible for the loss of India's lithospheric 'root', or when," he says. "This is all speculation."

References

1. Kumar *et al.*, *Nature* **449**, 894; 2007.

図1： Gondwana大陸の分裂とインド亜大陸のユーラシア大陸への衝突

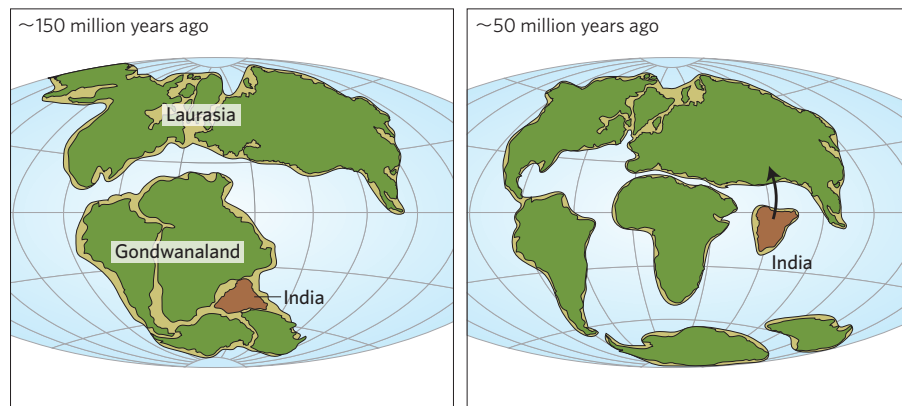
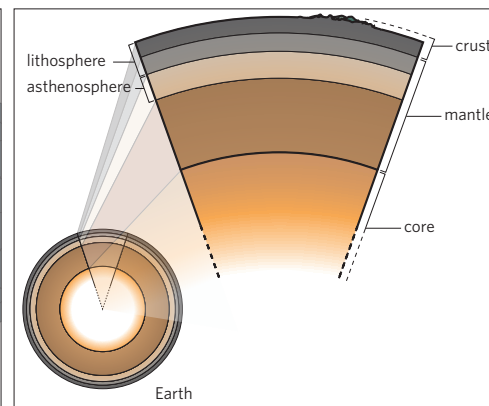


図2：地球の内部構造



Topics

プレートテクトニクスとプレートテクトニクスとは？

テクトニクス (tectonics) は、地球を含む惑星などの表層部を構成する物質の運動や変動を扱った概念のこと。プレートテクトニクスは、地球の表面を覆う十数枚の厚さ約 100 km の岩盤（プレート）が下部の対流に載って動くことに着目し、プレートの運動の相互作用から発生する地震や造山活動などの地殻変動を説明しようとする理論である。1960年代後半から発達し、結果的に、1915年にヴェーゲナーが提唱した大陸移動説を再評価するかたちとなった。一方プレートテクトニクスは、1990年代に出てきた比較的新しい理論で、マントル内の大規模な対流運動（プレート）の変動を扱っている。

Gondwanaland（ゴンドワナ大陸）とは？

プレートテクトニクスにおいて、南半球に存在したと考えられている巨大な大陸。5億4000万年前ごろの誕生の後、移動や、ほかの大陸と合体・分裂を繰り返し、現在のアフリカ大陸、南米大陸、南極大陸、インド亜大陸、オーストラリア大陸を形成するに至ったとされている（図1参照）。

Words and phrases

1. **plough(ed) into:** 「～に衝突する」
2. **seismic stations:** 「地震観測所」
2. **twig:** 「小枝」
2. **semi-fluid:** 「半流動性の」
3. **landmass:** 「陸塊」
4. **drift apart:** 「離れ離れになること」
5. **stationary:** 「動かないこと」「静止していること」「固定されていること」
5. **far(ther) afield:** 「はるかに離れた」
5. **clip:** (口語表現) 「速度」
6. **pin(ned) down:** 「はっきりさせる」「突き止める」
6. **rigid:** 「硬い」
6. **viscous:** 「粘性のある」
6. **By contrast:** 「これに対して」「それに比べ」「一方」
7. **speculate(d):** 「推測する」「推論を立てる」
7. **facilitate:** 「～を容易にする」「～に役立つ」「～を促進する」
7. **keel:** 「竜骨（船底部分の構造材）」

Science key words

* 図2参照

1. **subcontinent: 亜大陸**
一般的には、山脈などで地理的に区切られるなどして独立した半島など、大陸の中の広い一部分のこと。プレートテクトニクスでは、大きな大陸プレートに接した小さな大陸プレートをさし、インド亜大陸とアラビア亜大陸が相当する。
2. **tectonic plate: (構造) プレート**
地球の表面を覆う厚さ数十～数百 km ほどの岩盤（リソスフェア）を、海嶺、海溝、断層などによって独自に動く「板」に分けたときの呼称。大規模なプレートは13枚あるとされ、日本列島は、そのうちの4枚（ユーラシアプレート、北米プレート、太平洋プレート、フィリピン海プレート）が接するところに位置している。
2. **mantle: マントル***
地球内部を物質面から分類すると、外側から地殻、マントル、コア（核）に分類される。マントルは、地表下約 30～70 km（または海底下約 6 km）から約 2900 km にある層のこと。主にカンラン岩などの超塩基性岩から成る。
4. **plume: プルーム**
マントルは固体であるが、ゆっくりとした熱対流を起こしている。マントルの熱対流の中で、きのこ雲のように激しい上昇流をプルームとよぶ。
6. **seismic wave: 地震波**
地震により発生する波。地球内部の岩盤を伝わる実体波と、地球の表面を伝わる表面波に分けられる。実体波には、毎秒 5～7 km の速さで伝わり初期微動を起こす P 波と、毎秒 3～4 km で伝わり主要動を起こす S 波とがある。緊急地震速報は、P 波と S 波の到達速度の差を利用している。
6. **lithosphere: リソスフェア（岩石圏）***
地球内部を力学的性質から分類したとき、最も地表に近い層のこと。地殻と硬いマントル最上部からなり、冷え固まった岩石でできている。リソスフェアはアセノスフェアに載って移動している。
6. **crust: 地殻***
地球の最も表面部分を構成する層で、リソスフェアの一部。地上（海底）からマントルとの境界（モホロビッチ不連続面）までをさす。地殻の厚さは、海洋部で約 6 km、大陸部で平均 30 km だが、チベットの山岳地域では 60～70 km ほどに達する。花崗岩などの酸性岩、安山岩などの中性岩・玄武岩などの塩基性岩から成る。
6. **asthenosphere: アセノスフェア（岩流圏）***
地球の上部マントルのうち、リソスフェアの下にある厚さ約 100～200 km の層のこと。温度が高いか部分的に溶けていて流動性があり、リソスフェアを載せて動いている。

Nature News

参考記

Published online 17 October 2007 | doi:10.1038/news.2007.172

大陸が高速で衝突した理由が説明された

インド亜大陸のプレートの薄さがアジア大陸との激しい衝突を引き起こした。

<http://www.nature.com/news/2007/071017/full/news.2007.172.html>

ジェフ・ブラムフィール



ヒマラヤ山脈

1. 今から約5000万年前、現在のインドにあたる地域は、恐ろしい事態に陥っていた。制御不能となったインド亜大陸がユーラシア大陸に衝突し、ヒマラヤ山脈とチベット高原を隆起させていたのである。
2. 地質学者たちは長年、インド亜大陸がここまで激しく衝突できるほどの高速で移動するようになったのはなぜなのかと疑問に思っていた。このほど地球科学者のチームにより、インド亜大陸が高速で移動する仕組みが提案された。研究者たちは、地震観測点からのデータを使って、インド亜大陸が載っているプレートが、周辺の大陸のプレートよりもはるかに薄いことを明らかにすることができた。そのため、インド亜大陸は、地球マントルの半流体体からなる部分の表面を小枝のように運ばれていったというのである。*Nature* 誌¹に本日発表されたこの研究結果は、プレートの厚みと移動速度の関係をめぐる論争に決着をつけるのに一役買う。
3. インド亜大陸の高速な移動について説明するためには、今から1億年以上前に存在していた Gondwana 大陸という大陸についての説明から始めなければならない。この大陸は、現在のアフリカ、オーストラリア、南極、インドを含む広大な陸地であり、現在の南極の付近に位置していた。
4. けれども今から約1億3000万年前に、Gondwana 大陸は分裂し、互いに遠ざかり始めた。その理由としては、巨大な火山ブルームによって大陸が下から加熱されたことが考えられる、とベルリン自由大学（ドイツ）で地質学を研究する Rainer Kind 氏という。原因が何であれ、Gondwana 大陸は分裂し、それぞれの部分が異なる速度で異なる方向へと移動していった。
5. 南極はほとんど動かず、オーストラリアとアフリカは、やや遠くまで移動した。ところがインドは、1年に20センチメートルという桁外れのスピードで北方に移動していった、と Kind 氏は話す。これは、どちらかといえば遅く感じられるかもしれないが、大陸の移動速度としては非常に速い。事実、「これまでに知られている大陸の移動速度の中で最も速いのです」と彼はいう。
6. Kind 氏は、これら4大陸のすべてと太平洋にある地震観測点からのデータを使って、インド亜大陸が高速で離れていった原因を突き止めた。研究チームは、地殻の下にあるリソスフェアという硬い岩石層と、リソスフェアを浮かべている粘性のあるアセノスフェアとの境界から発生する特定のタイプの地震波をモニタリングした。そして、すべての地震観測点の地震波を解析することで、インドのリソスフェアが深さ100キロメートルまでしかないことを明らかにした。これに対して、アフリカ南部、オーストラリア、南極のリソスフェアの厚みは、いずれも180～300キロメートルもあった。「インドのリソスフェアは非常に薄かったため、これを中心から遠くに押しやることははるかに容易だったのです」と Kind 氏はいう。
7. この結果は、リソスフェアの厚みが大陸の移動に影響を及ぼす仕組みをめぐる論争の決着に役立つ、とシドニー大学（オーストラリア）で地球科学を研究する Dietmar Müller は話す。一部の研究者はこれまで、船底に竜骨があると水の上を航行しやすくなるように、大陸の下に厚いリソスフェアがあるとアセノスフェアの上を移動しやすくなると推測していた。今回の結果は、そうではないことを示唆していると Müller はいう。
8. それでも謎は残る。インド亜大陸の地殻がほかの大陸の地殻に比べて極端に薄かった理由が解明されていないのだ。Gondwana 大陸からインド亜大陸を分離させた高温の火山ブルームが、インド亜大陸のリソスフェアを薄くした可能性がある、と Kind の研究チームは主張している。しかし Müller は、この考え方には納得していない。「インド亜大陸の『基礎』にあたるリソスフェアを薄くしたのが本当にブルームであったのかどうか、それがいつごろのことであったのか、まだ解明されていないのです。すべては推測に過ぎないのです」と Müller は語った。

毎月、新しい驚きに出会ってみませんか？



メタンハイドレート ($\text{CH}_4 \cdot 5.75\text{H}_2\text{O}$)

見た目は氷に似ているが、火をつけると燃えるため「燃える氷」と言われている。

石油や石炭に比べて燃焼時の二酸化炭素排出量がおよそ半分であるため、有効な新エネルギーとしての研究が行われている。

nature
materials



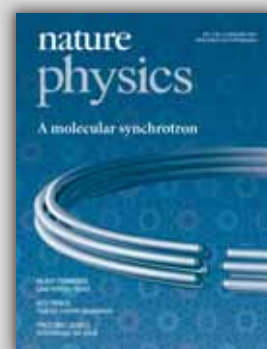
nature
photonics



nature
nanotechnology



nature
physics



NEW to NPG

nature
geoscience

2008年1月 創刊



nature
chemistry

2009年 創刊予定

価格未定



Cover Image ©Moore et al.
(Nature 446, 423-427)

Natureだからお届けできる「質の高い情報」

日本語でnatureを読む

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

Nature翻訳・編集記事

Natureならではの質の高い、面白い記事をお楽しみいただけます！

最近Natureに掲載されたニュース、論文を日本語に翻訳しました。分野も幅広く、宇宙・天文学、地球科学、物理から環境、医学、生命科学、バイオテクノロジー、コンピューター等の記事が1冊に集約されています。

日本オリジナル編集記事

Nature本誌にはないからこそ、是非Nature Digestで楽しみください。

日本人著者も世界的に偉大な研究発表を数多くしており、新聞等のメディアで、それらの記事を多くの方が目にしています。そのような研究や、論文を発表した研究者にNatureがインタビューを行い、日本の研究をお伝えしていきます。

News
科学ニュース

Special Report
特別レポート

Highlight
論文ハイライト

Business News
ビジネス・ニュース

News Feature
科学ニュース 読み物

news@nature.com
Natureオンラインニュース

Japanese Author

日本人科学者へのインタビュー記事

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。



英語でNature

Natureの記事を、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するセクション。毎回少しずつレベルアップしていくので、科学英語を学ぶ教材としても使用できます。



Japanese News Feature

日本の科学ニュース

鳥インフルエンザや地震、宇宙開発、幹細胞など、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。



News and Views

科学論説

Editorial
社説

Author

論文著者のプロフィール

Research Highlights

リサーチ・ハイライト

Nature Digest定期購読お申込みはこちらから

www.naturejpn.com/digest-f07