

ISSN 1348-8449

nature DIGEST

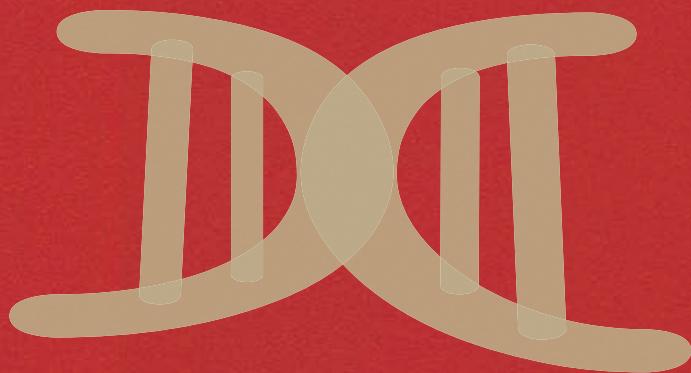
日本語編集版

MARCH 2005

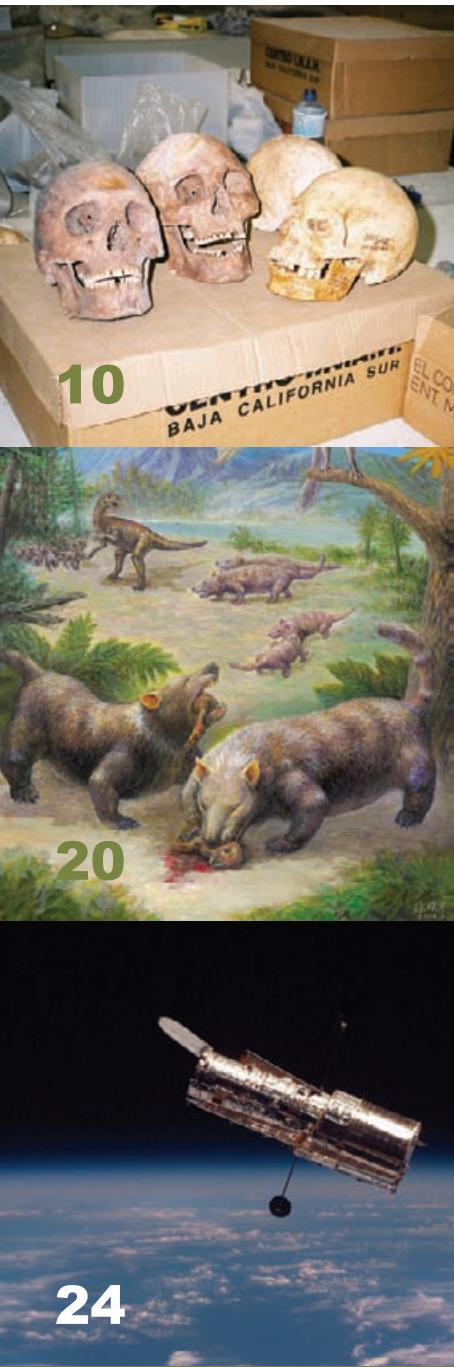
VOL.02, NO.3

3

<http://www.naturejpn.com/digest>



運動が体によいはホント？



24

nature
DIGEST03 volume 2 no.03
March
www.naturejpn.com/digest© 2005 年 ネイチャー・ジャパン
掲載記事の無断転載を禁じます。**news feature**

運動が体によいのはホント?

Alison Abbott

07

editorial

- 観測データの効果的な共同利用を実現して災害に備えよ 02
事を急ぐべきではない 03

highlights

- vol. 433 no. 7023, 7024, 7025, 7026 04

news feature

体力増進は遺伝子しだい?

Alison Abbott

07

- メキシコが握るアメリカ先住民の起源を探るカギ 10
Rex Dalton

医用画像の将来

Alan Dove

15

news and views

- 見つからない物質を大追跡 18
J. Michael Shull

大きかった白亜紀の哺乳類

Anne Weil

20

science news

- 国際的な M&A に踏み出す中国 22
ハッブル宇宙望遠鏡の行くえ 24
ワクチンと薬剤の併用で結核の治癒を目指す 26
「Hな写真のためなら我慢するよ」 27

研究者訪問

- 雄か? 雌か? 性分化の調節機構を解明する 28

発行人: アントワーン・ブーケ
編集: 津田純子、セラ・ハリス
デザイン/制作: 村上武、佐藤恵
広告: 浅見りの子
マーケティング: 吉原聖豪

ネイチャー・ジャパン株式会社
〒162-0841
東京都新宿区払方町 19-1
エムジー市ヶ谷ビル 5 階
Tel. 03-3267-8751 Fax. 03-3267-8746

論説

観測データの効果的な共同利用を実現して災害に備えよ

Data sharing for disasters

Nature Vol.433(339)/27 January 2005

スマトラ島沖大津波とその後の被害の広がりは、科学技術のさらなる導入の必要性をはっきりと示しているが、より効果的なデータの共同利用も必要となっている。

1月18～22日に神戸で開かれた国連世界防災会議では、遠隔探査の応用例に関する宇宙研究機関の報告が良くも悪くも議論を呼んだ。この報告では、人工衛星から送られてきた画像を利用して大災害（例えば昨年12月のスマトラ島沖大津波）の状況監視や救助活動を行った実例が示され、この技術の将来的展開が語られた。研究者は、衛星画像の利用が救助チームの派遣に役立つと熱く語った。大津波で家を流された人たちにとっては、大津波の前後に撮影した高解像度画像を使って、所有地の境界線を主張することができるかもしれない。

確かに見事なのだが、はたしてテクノロジーの先端化が問題を解決するのだろうか。遠隔探査は今のところ、計画当初の勢いのあった時期に語られていたようなレベルには達していない。科学技術は発達したが、データの配布が進んでいないのである。

また、データ利用には実務上の問題もある。人工衛星からのデータを最も必要としているのは、自然災害やその他の災害によって被害を受けてきた開発途上地域である。しかし、例えば風速データやその他のサイクロン関連データは、それぞれフォーマットの異なる表や単位を使って配信されており、危機的状況下でそのようなデータを使いこなすのは難しい。ただし、これらの問題は解決することが可能で、解決されるとされないとでは、災害時の被害状況に天と地の開きが生じうるものだ。

宇宙研究機関の代表者たちは以上の問題点を十分に認識しており、多くの人々がデータを利用するよう働きかけていく必要性を、ほぼ全員が認めている。これは賞賛に値する。しかし、そのための推進方法が不透明で、それぞれの機関が互いに別の機関による貢献の拡大を期待

しているのが現状である。英国のMapActionのような非営利仲介会社であれば、データマップの提供が可能で、現にスリランカで提供がなされた。宇宙研究機関による助成金の支給要件に地域社会への援助活動を加えるという解決法もある。

よりハイテクなソリューションが必要だとする主張は疑わしい。人工衛星の利用範囲を広げて、海洋表層の監視データをリアルタイムで全世界に配信するといった提案には、この災害時に乗じた機を見るに敏な科学関係者の影が見え隠れしており、受け入れ難い。インド洋沿岸諸国を悩ませてきた問題の多くは、技術的なハードウェア不足が原因だったのではない。海上に浮かぶブイ、潮位計や地震観測所が正しく利用されていなかったからなのである。関係国が、これらの施設を有効に共同利用できなかつたことも原因の1つと言える（Nature 2005年1月27日号p.343参照）。

世界の科学者たちが災害への準備や災害復興活動をめぐる問題点の解決に乗り出す前に、まずは既存の設備を評価し、その有効利用を模索すべきだ。インド洋沿岸諸国に新たに導入される設備については、統合化を図って最良の結果が得られるようにする必要がある。宇宙研究機関は、衛星データがユーザーのもとに必ず届くようになる必要がある。そして、インド洋沿岸諸国やその他の諸国に対しては、潮位計や地震観測所からのデータができるだけ広範に共同利用することを働きかける必要がある。

研究者が、データを必要とする人々にデータを届けなければ、何もはじまらないのである。■

論説

事を急ぐべきではない

Not so fast

Nature Vol.433(557)/10 February 2005

生物医学研究の新興国との共同研究を考えるのならば、相手国の生命倫理法制を事前に検証すべきである。

英国政府の視察団「グローバル・ウォッチ・ミッション」は、昨年9月に中国、シンガポール、韓国を2週間かけて視察し、各国での幹細胞研究の現状について熱のこもった報告書を作成した。この報告書に関するプレスリリースが1月に発表され、これらの国々では「倫理基準を英国モデルに近づける努力がなされている」とし、「英國を本拠とする幹細胞研究機関の質の高さと国際的地位を考慮すれば、英國と極東諸国との協力関係を樹立する絶好の機会が到来していると言える」といった提言がなされていた。

準備完了ということらしい。でも、ちょっと考えが甘いのではないだろうか。

これらの国々では、最近になって、生命倫理に関する国内法制が整備され、例えば韓国の生命倫理法はこの1月に施行されたばかりである (*Nature* 2005年1月20日号 p.186 参照)。しかし法規の遵守と執行はなされているのだろうか。

視察団は、中国でトップクラスの研究所を数ヶ所訪れている (<http://www.globalwatchonline.com/missions/tmsmrep.aspx>)。しかし、この視察団の報告から中国全体について的一般論を導き出せるのだろうか。今回のプレスリリースには、中国では「実験的な治療を医療現場に導入することに対する抵抗感が西側諸国よりもかなり薄い」と指摘されている一方で、「このことは、臨床研究が倫理に反している、あるいは臨床研究への規制が十分になされていないことを意味するものではない」とも記されている。

しかし、すべてがうまくいっている兆候だと捉えるべきでもない。中国では、インフォームドコンセントを得

ずに臨床試験が行われたり、患者の必死さに付け込んで臨床試験が行われたりしているという話がある。中国にも生命倫理法制は存在しているが、それらが全国的にみてどの程度遵守されているのかは別問題である。確かに、このような臨床試験の多くに地方政府の高官が関与していると言われている。地方政府が秘密裏に事を進めれば、実際の発覚までにどれほどができるかを理解するには、多数の中国人がHIVに感染してしまった献血スキャンダルを思い起こせば十分である。

生命倫理法制に問題のある国との共同研究を考えるのであれば、事前調査を行うべきである。中国を訪れた英国政府の視察団は、インフォームドコンセントの書式を調査するのが非常に難しかったという。2004年にかの有名なクローニング実験を行った韓国の研究者も、実験に用いたインフォームドコンセントの書式の提出を拒み続けた経緯がある (*Nature* 2004年5月6日号 p.3 参照)。これらは危険なサインだ。

中国では政策を駆使して法令遵守の確実な達成を目指しているが、これと同じように、新たな生命倫理法制によって、研究者は法令を遵守するようになるかもしれない。しかし、中国や他の国々の当局の手ぬるい取り締まりに付け込む研究者も現れるだろう。そうやってうまく逃げ切ってしまう研究者も出てくるだろうし、研究プロジェクトが失敗してキャリアを台無しにする研究者も出ることだろう。

癌治療の新標的、Pokemonタンパク質 Pokemon protein puts new cancer treatment on the cards

癌の進行の鍵をにぎるタンパク質 Pokemon の役割が明らかになった。抗癌剤の新しい標的として有望で、病気の経過の予測にも使える可能性がある。

P P Pandolfi たちは、Pokemon をコードする遺伝子をもたないマウス細胞では、細胞内で癌化の引き金となる遺伝子が活性化しても、分裂し続ける癌細胞に形質転換しないことを発見した。逆に、マウスの免疫細胞中で Pokemon を過剰に生産させると、このマウスには悪性腫瘍が発生した。Pokemon タンパク質は、ARF とよばれる重要な癌抑制遺伝子の生産を直接減少させる。

血液の癌、乳癌、肺癌、大腸癌、前立腺癌、膀胱癌の一部では、Pokemon が高いレベルでつくられていることもわかった。さらに、ある種の B 細胞リンパ腫では、細胞で Pokemon が生産されているか否かによって、臨床転帰が予測できるという。

20 January 2005 Vol.433/Issue 7023
articles p.278 参照

惑星探索の基礎となる理論

The theory behind planet hunting

近年、100 個以上の巨大惑星が、近傍の 100 個以上の恒星のまわりをめぐっているのが見つかっている。これら太陽系外の巨大惑星は、高精度ドップラーフィルタ法により存在が明らかになつた。しかし、これらの惑星の化学的、構造的な謎、そして進化の謎が明らかになるには、そこからやってくる光を直接検出できるようになるまで待たなければならないが、太陽系外惑星を直接検出したと確実にいえる報告はまだない。待望の直接検出に少しでも近づくことを目的として、A Burrows はそのような惑星の大気がどのようなものかを推測する理論解析を発表した。探査対象に関する観測天文学者の知識が増えれば増えるほど、発見はより容易になるはずだ。表紙は、巨大惑星の誕生から現段階まで進化の系列を概念的に表しており (L Cook による)、現段階つまり最終で最小の段階は、ボイジャー探査機による木星の画像で示している。

20 January 2005 Vol.433/Issue 7023
review article p.261 参照



世にも恐ろしい殺人事件

Murder most horrid

世界的有名な物理学者であるルーファス・イエーガーは、学会の聴衆を前に量子に関する実験をやって見せている時に身の毛もよだつような事故で命を落とした。しかし、これは本当に事故だったのだろうか。聴衆のなかにはイエーガーと関係の深い 8 人がふくまれており、彼らにはそれぞれ隠すべき事情がある。この謎を解こうとするが、何を考えているのかさっぱり解らない刑事カール・リスターである。イエーガーの研究室の主任技師であるトニー・トロットマンが実験装置に密かに細工を加えたのか。それともネイチャーの編集長であるナイジェル・ロリマーが、イエーガーのグループが投稿した大間違の論文が一向に取り下げられないことに怒りをくすぐらせてきたあげくの凶行なのか。はたまた、研究上の競争相手であるヴェロニク・デュボアが、イエーガーが自分のアイデアを盗み成果を横取りするのを止めさせようとしたのか。リスターの捜査はとんでもない方向に迷い込むように見えるが、持ち前の鋭い頭脳で物理学に取り組み、ついに衝撃の真相に至ることになる。

世界物理年である今年、Nature では 1 月 20 日号から 10 回にわたって、さまざまな領域の物理学者やサイエンスライターが執筆する「殺人ミステリー」を連載する。まずは数学者 Ian Stewart によるプロローグから連載開始。毎週厚みを増してゆくストーリーに御期待いただきたい。

20 January 2005 Vol.433/Issue 7023
the physics detective p.200 参照

分散コンピューティングで検証する温暖化予想

No safety in numbers

気候システムは大気中の温室効果ガス濃度の上昇に対して、現在想定されている以上に敏感に反応している可能性がある。D Stainforth たちは 2,000 通りを超える気候モデルから導き出した結果をもとに、今週号でそう報告している。

Stainforth たちが運営する climate prediction.net プロジェクトでは、世界各地の何千人もの人々が手持ちのパソコンの余剰作業容量を使って過去と将来の気候をシミュレーションしている。学童から科学者までが含まれる多様な参加者には、それぞれモデルの個人専用バージョンが提供され、どのバージョンも、気候モデルで使われる不確定な物理量について使用する近似値が他の人と異なるように設定されている。第 1 回目の結果集計から、著者たちは過去の気候を現実に合

う形でシミュレーションできたバージョンを選び出した。これらの予測では、大気中の温室効果ガスが 2 倍になると地球全体の平均気温は 2 ~ 11°C 上昇することになり、現在想定されている 2 ~ 5°C よりかなり大きい値になる。気候感受性の実際的な幅がこれほど大きくては、温室効果ガス濃度の「安全」レベルの見極めはこれまで以上に難しくなる。これらの結果は、気候予測における分散コンピューティングの威力をさまざまと見せつけた初めての成果だが、このプロジェクトは今も進行中である。プロジェクト参加方法の情報や説明については <http://www.climateprediction.net> まで。

27 January 2005 Vol.433/Issue 7024
letters p.403 参照

米国における梅毒の周期的流行

Syphilis cycles in the US



米国全土にわたる梅毒の流行は過去 50 年間に約 10 年周期で繰り返し起こっている。こうしたゆらぎの原因はこれまで性行動の変化にあるとされてきたが、1941 年以来全米 68 都市から集められた症例報告データに基づく新たな解析が行われ、これが宿主免疫と関係する疾患発症率の自然振動であることが示唆された。また米国内の都市における流行の同期性が高まる傾向にあることは、性行動ネットワークが次第に強まりつつある証拠である。今起こっているような同期した梅毒の流行は、安全でない性行動の復活というより、免疫のない個体数の蓄積が原因である可能性がある。表紙は、病原である梅毒トレポネマ *Treponema pallidum* の透過型電子顕微鏡写真を着色したもので、倍率はほぼ 216,000 倍。(Alfred Pasieka/Science Photo Library)

27 January 2005 Vol.433/Issue 7024
letters p.417, N&V p.366 参照

ネットワークもフラクタル

Networks scale down to fractals

自然、社会そしてテクノロジーに見られる多様なネットワークは「スケールフリー」、すなわち、ネットワークノードをつなぐリンクの数の平均値がうまく定義できないことが知られている。このようなスケールフリーな構造は、人の交友ネットワークや共同科学研究ネットワーク、ワールドワイドウェブ上の文書間ハイパーリンク、生体細胞中のタンパク質間の相互作用パターン、そして国際空港間の

※「今週号」とは当該号を示します。

航空路線で見出されている。これらスケールフリーなネットワークの多くはよく知られた「小さい世界」の性質を持っているため、あるノードまで、他のほぼすべてのノードから極めて少数のステップで到達できる。

今回 H Makse たちは、このような複雑ネットワークがもう 1 つ重要な性質、自己相似性を持っていることを示した。これは、木の大枝や小枝一本一本の形状がその木全体と似ているように、ネットワークの任意の小部分がその全体とまったく同じに見えることを意味する。自己相似性はいわゆるフラクタル構造が持つ性質の 1 つである。フラクタル構造は、海岸線、山脈そして河川流域など多くの自然システムに見られる。この発見は、今までスケールフリーなネットワークが自己相似ではないと考えられていたことからすると意外な結果である。

著者たちは、スケールフリーなネットワークの基礎となる自己相似性はくりこみと呼ぶ手法を使って確認できることを示した。この手法ではネットワークに次々と「粗視化」する近似を行う。これは、ネットワークを見るとき目を細める程その詳細がよりぼやけて見えるということに似ている。この自己相似性は、複雑なネットワークがどのようにして成長し、スケールフリーな構造へと自己組織化していくか説明する上で有用になるだろう。

27 January 2005 Vol.433/Issue 7024

letters p.392, N&V p.365 参照

動物集団での意思決定機構

Decision-making in animal groups

魚類や有蹄類、鳥類、そして巣別れのミツバチなどの動物が作る移動集団は、シグナル伝達の仕組みがなくても、また集団内のどの個体が情報をもち、どれがもたないかを各自が確認できない場合でも、複雑な意思決定を行えるようにみえる。こうした集団がどうやって合意による正確な意思決定を下せるのかが、数値シミュレーションにより今回明らかになり、集団が大きいほど、集団の誘導に必要な情報をもった個体の比率は小さくなることがわかった。情報をもつ個体の比率が非常に小さくても、十分にほぼ最大限の正確さで意思決定できるのである。この研究成果は、集団内における情報伝達の進化の解明にかかるものであり、また複数からなる群口ポット系の誘導プロトコルを新たに考える際のヒントにもなる。表紙写真は群をなして泳ぐマアジの近景で、Natural History Photography



(www.OceanLight.com) の Phillip Colla による。

3 February 2005 Vol.433/Issue 7025
letters p. 513 参照

カーボンナノペーパー

A clean sheet of carbon nanopaper

二層カーボンナノチューブ (DWNT) の有望な特性を、ようやく詳しく研究できそうだ。今週号に発表された新しい製造工程により、不純物を含まない同軸 DWNT でできた、紙のように薄いシートが効率よく作製できるようになったのである。

単層カーボンナノチューブは非常に強く、1,000°Cまで安定で、ほとんど欠陥がない。また、金属にも半導体にもなるし、量子応用の可能性もあると考えられている。すでにトランジスタのような電子デバイスの製作に使われており、超強力繊維からなるナノ複合材料も実現間近かもしれない。

しかしこれまで、このような基本的な特性における二層目の効果を研究するため、十分にきれいな DWNT を作ることができなかった。遠藤守信たちは、標準的な手法で大量の混成ナノチューブを合成してから、まず塩酸処理を行って、次に大気中で酸化させるという 2 段階の反応でこの混合物を精製した。この方法で、ほとんどすべてが整然と六方晶の形に束ねられた、DWNT の束で構成されるナノペーパーが作られた。

DWNT は同軸構造をしているため、単層カーボンナノチューブよりさらに優れた電子的・力学的特性をもつと考えられるが、その答えはこの純粋でしなやかなナノペーパーから得られることだろう。

3 February 2005 Vol.433/Issue 7025
brief communications p.476 参照

前駆細胞で心臓の修理が可能に?

Progenitor cells may repair heart

心臓発作に襲われると、一命をとりとめて心臓に瘢痕が残る。だが今回の新たな研究で、心臓の損傷部位を取り替えるという新しい治療法に希望が出てきた。分裂、成熟して心筋細胞になると見られる細胞が見つかったのである。

K Chien たちは、心臓細胞に分化する前駆細胞が出生後の心臓にも存在することを強力に裏付ける証拠を示した。またマウスで同じような細胞の発生を追跡して、これが心臓を形成することを明らかにした。これらの知見は、心臓細胞の成熟や病気の進展につながる過程をより深く理解するのに役立ちそうだ。適切な実験条件を与えると、この前駆細胞は自己複製し、成熟した心臓細胞のように見

れる細胞へと変化する。「これらの心臓細胞は、心筋の移植治療に使う細胞の供給源になる可能性がある」と C Mummery が News and Views で述べている。

10 February 2005 Vol.433/Issue 7026
letters p.647, N&V p.585 参照

氷河内部を見る

Breaking the ice



氷河中の水の振る舞いは氷河がどのようにして動き、水がそこからどのようにして取り除かれるかを決定する上で重要な要因である。

これまででは、氷河の中で水は自然にできた管状の水路を通って流れると考えられてきたが、最新の野外観測によるとこの見方は再考されなければならないようだ。Storglaciären 氷河の掘削孔から得られたビデオ画像とレーダー探査の結果から、水を含んだ割れ目が網目状に存在していることが明らかになり、予想されていたような水路は意外にもほとんど見つかなかった。この研究は、氷河内の貯水と流水路について新しい見方をもたらすものだ。氷河深部の割れ目の存在は、最近 Larsen-B で起こったような氷棚の壊滅的崩壊と関連している可能性がある。表紙の写真は、Kebnekaise 山を背景にしたスウェーデン北部の Storglaciären 氷河。

10 February 2005 Vol.433/Issue 7026
letters p.618 参照

細菌型の燃料電池を作る

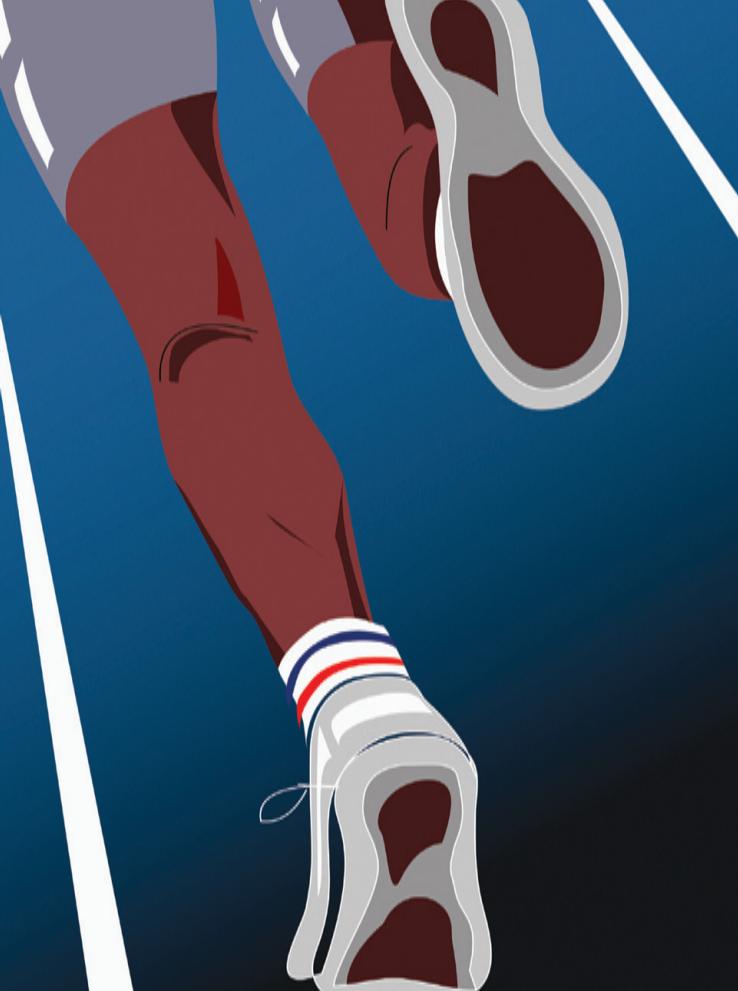
Building a bacterial fuel cell

小型の水素燃料電池に似た動作をする細菌酵素の活性部位が化学的な方法でゼロから作られた。これは通常の燃料電池に必要なだけ高価なプラチナ触媒に取って代わるかもしれない。

プラチナは水素ガス分子の分解を促進し、その結果放出された電子によって燃料電池の回路に電流が流れる。そして、残った水素イオンは回路の逆側で酸素原子および電子と結合して水ができる。ある種の細菌は、鉄を含む酵素であるヒドログナーゼを用いて、同じような方法で水素を「燃焼」したり水素を作ったりしている。

今回 C Pickett たちは、このような酵素の 1 つに見られる鉄原子と硫黄原子でできた活性中心クラスターを組み立てた。このクラスターは、プラチナより安価で、より効率的な新しい燃料電池触媒のモデルとなるだろう。

10 February 2005 Vol.433/Issue 7026
letters p.610, N&V p.589 参照



Nature Vol.433(188-189)/20 January 2005

運動は体に良い。みんなそう思いこんでいる。

だが、私たちの遺伝子は必ずしも常に協力的というわけではないようだ。Alison Abbott が報告する。

体力に関連する遺伝子の存在というものを考えはじめたころ、Claude Bouchard もまた多くの人々と同じように、運動すれば誰しもが健康になるものだと思っていた。食事や運動面でみられる個人差の一部については遺伝子の影響があるのだろうと考える一方で、規則的な運動は、あらゆる人の、肺の機能効率や血中コレステロール値といった健康指標の改善につながるだろうとも考えていた。

それから 20 年ほどが経過し、これが真実ではないことが Bouchard や他の研究者たちの研究で明らかになってきた。体力を測るいくつかの指標に注目すると、実際に運動で健康を損ねてしまっている人がいる。また、体力指標の改善がほとんど、または全く見られない人もいる。

だからといって、カウチポテト族が開き直ってよいわけではない。これは、すべての人の健康は、運動することで何らかの程度は改善するのだが、その改善の度合いは遺伝子に大きく依存する、という話である。現在、健康の遺伝学とでも呼ぶべき分野が急速に進展してきており、運動と関連する遺伝的側面の研究が進められている。そして、運動の効果についても新たなことが分かりはじめ、医薬品に起因する思いがけない問題点も浮かび上がりつつある。

1980 年代の半ば、カナダのラヴァル大学で Bouchard は「健康関連遺伝子」を探しあ始めた。同僚とともにまず目をつけたのは、肺一杯に吸い込んだ空気から吸収される酸素の最大摂取量だった。これは身体の酸素消費能に関する標準的な指標の 1 つで、通常、

$V_{O_2\text{max}}$ と略される。運動を続けると、多くの人々は運動前よりも多くの酸素を 1 回の呼吸で吸い込めるようになるが、一部の人々は、運動前の肺機能の良し悪しにかかわらず、目立った改善がなかった。この差は、一卵性双生児の間での比較ではそれほど大きないことから、運動の効果は遺伝子の影響を大きく受けると結論された¹。

初期の研究はかなり小規模だったが、Bouchard は 1992 年、現在も続行中の「HERITAGE 家族研究」を立ち上げ、複数の研究施設での共同研究をはじめた。現在は Bouchard のグループとともに、ペニントン生物医学研究センター（ルイジアナ州バトンルージュ）で研究が行われていて、データは主に、実験室内での集中的な運動プログラムをこなした、ふだん運動不足の成人約 740 人

All pain, no gain? 体力増進は 遺伝子したい?

から収集された。具体的には、参加者の血圧、心拍数、血液成分、 $V_{O_2\text{max}}$ の変化が 20 週間以上にわたってモニタリングされた。

運動と遺伝子

HERITAGE 家族研究の主な目的は、心血管疾患や糖尿病の危険因子が運動でどのように減少するかを調べることだったが、Bouchard と他の 4 つの協力施設の研究者たちは、遺伝解析用の血液サンプルも併せて採取していた。「体力と運動能力にかかる遺伝子をできるだけ多く見つけることを考えていました」と Bouchard は語る。

集められた大量のデータと凍結保存された血液試料の解析は現在進行中だが、これまでのところ、Bouchard の当初の研究結果を追認するものとなるようだ。運動プログラム実施後の $V_{O_2\text{max}}$ 平均上昇率は 19% だった。ところが被験者のうちの 5% ではほとんど変化がなく、また別の 5% の被験者では平均値の 2 倍以上もの上昇が認められた。同じく多くの被験者は、運動プログラムをこなした後に運動時心拍数と血圧の数値が下がった。これは体力が向上したことを示すものだ。ただ、どれだけ数値が下がったかには、かなりの個人差があった。参加者の中には少数ながら、測定値がわずかに上昇した人もいた²。

こうした個人差の多くは遺伝子に起因するようだ。研究者たちは、家族内でみられる差よりも、家族外の人どうしの比較で見られる差の方が大きいことに注目した。この結果は、運動することで体力が向上するかどうか、少なくともその一部は遺伝によることを示唆している。「トレーニングの有効性を決める差の約半分は遺伝によるものと結論

しました」と、研究の責任者を務める Tuomo Rankinen は語る。

$V_{O_2\text{max}}$ などの体力関連パラメータでいったいどの程度、長期的にみた健康具合が分かるかどうかは不明だが、健康上のチェックポイントとなる、心臓病の一因であるコレステロール値などを、「たくさん運動すれば数値が改善する」という予想パターンに沿わなかった。一般的に規則的な運動は、高密度リポタンパク質 (HDL) コレステロールの血中濃度を上げて、心疾患リスクを低下させると考えられている。HDL コレステロールはコレステロールが血管壁に脂肪性沈着物を形成するのを防ぐのに一役買う複合体である。そして、だからこそランニングなどのスポーツをするのはいいことだと思われているわけだ。しかし HERITAGE 研究で得られたデータは、トレーニングが HDL コレステロール値を必ず高めるというわけではないことを示している。実際に、運動する人たちの約 3 分の 1 で、この複合体の量は減少している。

「悪い遺伝子」をもった人たちにとっては、運動が悪影響を及ぼすということなのか。「そんなことはありません」と Rankinen は強調する。「すべての指標が悪化した被験者は 1 人もいなかつたのです」。つまり、全員、何らかの形で数値の改善が見られたということだ。運動後に $V_{O_2\text{max}}$ が上がらなかった人でも、HDL コレステロール値の上昇や血圧低下など、健康上のプラス作用があった。そして全体的に、HERITAGE 研究のデータからは、規則的な運動を行う被験者では心血管疾患や 2 型糖尿病のリスクが低下することがわかったと Rankinen は語る。

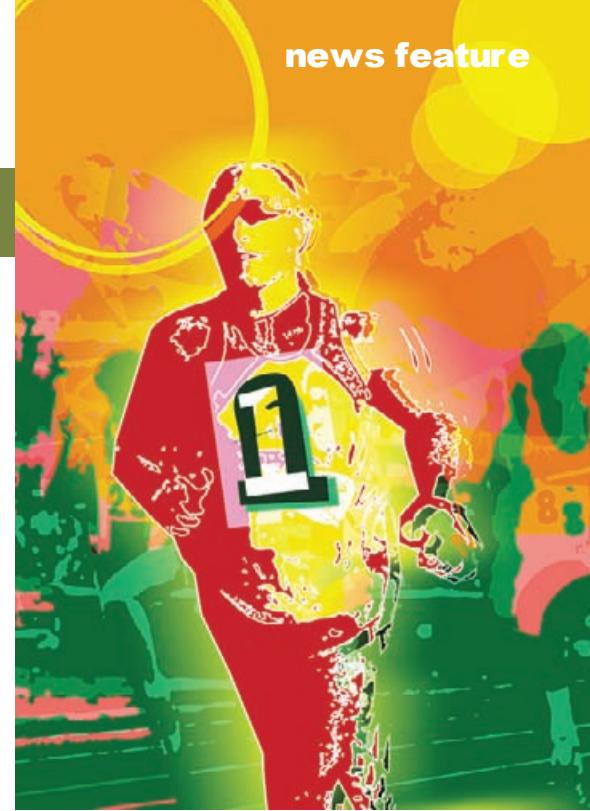
こうした一見矛盾する効果を説明す

る方法の 1 つに、関与する遺伝子の探索が挙げられる。遺伝子が同定されれば、運動が「どのように」健康上のプラスにつながるのかがかなり明らかになるだろうし、さらには代謝や生理機能に異常を来たす疾患の治療につながる可能性もある。

この目的のために、HERITAGE 研究の研究者たちは、異なる運動応答と関連して頻繁に現れる遺伝子変異を被験者のゲノムから探そうとしている。すでに数個の代謝関連遺伝子については何らかの役割を果たすらしいことがわかっているが、そのなかで最も強い関連を示す遺伝子が *Titin* と呼ばれる遺伝子だ。この遺伝子は、心筋細胞の弾性に寄与するタンパク質繊維の産生を指令する。*Titin* のうちのある型は、心臓の血液ポンプ機能を強化可能ようだ³。

スポーツから臨床へ

健康関連遺伝子を探している研究チームは他にもある。例えばローレンスバークレー国立研究所（カリフォルニア州バークレー）の健康問題の専門家 Paul Williams は、HDL コレステロールの合成にかかる遺伝子の働きに着目している。10 年前に Williams は、被験者のなかには運動不足であってもランニングを問題なくこなせる人たちがいることに気づき、このような人たちが、ランニングをつらいと感じる被験者に比べて、そもそも血中 HDL コレステロール値が高いこと、そしてその値は運動することで急に高まることを明らかにした⁴。後には、HDL コレステロール量を増やす酵素が、「収縮の遅い」筋繊維（疲労するまでの時間が長く、長距離走に強い）中に存在することがわかつってきた。Williams は現在、この酵素の個



人差がそれぞれのライフスタイルの違いと関連しているかどうかを明らかにするために、大規模な遺伝学的研究を始めている。

一方、ルーヴァン・カトリック大学(ベルギー)のスポーツ科学者 Gaston Beunen は、新しい筋肉の成長を抑制するタンパク質であるミオスタチンの合成にかかわる 5、6 個の重要な遺伝子に注目している。年齢の若い男性兄弟 300 人を対象とした Beunen の研究の結果は昨年 5 月に発表されたが、このうち 3 つの遺伝子が体力の決定に関与している可能性があることがわかつた⁵。

健康関連遺伝子は今後さらに見つかることが予想される。これまで 100 を超える遺伝子が文献で報告されており、その大半は過去 4 年間に同定されたものだ⁶。ただし多くの遺伝子については、実際の関連を確認するためにさらに研究を続ける必要がある。また一部の遺伝子に関しては現在、臨床に使えることが明らかになりつつあるようだ。

なかでもアンジオテンシン交換酵素(ACE)と呼ばれる酵素を指令する遺伝子は大いに注目されている。ACE はホルモンの一種アンジオテンシンを活性化し、血圧の維持にかかわり、また運動に応じた心臓の成長を促す。ACE D と呼ばれる一般的な異型遺伝子は、別の一般的な ACE の異型である ACE I と比べて、多くの ACE を産生する。また ACE D を両親から(つまり 2 コピー)受け継いだアスリートたちは、運動に応じた心臓の成長が、ACE I 遺伝子 2 コピーを受け継いだ者と比較して約 3 倍高い⁷。ACE D を 2 コピーもつ者は、重量挙げや短距離走などの、筋力と瞬発力が求められる競技にも優れている

ようだ。これとは対照的に、ACE I と呼ばれる異型遺伝子は、代謝のエネルギー効率や酸素のより効率的な利用が求められる、長距離走や競泳などの持久系競技の一流選手に多くみられる^{8,9}。

ACE I と関連する低レベルの ACE が持久力を高めることから、ロンドン大学ユニバーシティカレッジの心血管系遺伝学者 Hugh Montgomery は、ACE I が、重症疾患者にもよい影響をもたらすのではないかと考えた。Montgomery は、死に至る恐れのある髄膜炎の小児が、ACE I の 2 つのコピーではなく ACE D 遺伝子の 2 コピーをもつ場合に集中治療を必要とする可能性がより高いこと、または命を落とす確率が高いことを報告している¹⁰。また同研究チームは、ACE I をもつ未熟児の方が健康なことも明らかにしている¹¹。「スポーツ選手を対象に得られた結果を現在、臨床現場にフィードバックしているところです」と Montgomery は語る。「どれだけ効率的に酸素を利用できるかということが、重病時には決定的に重要なのです」

究極的には、ACE 活性を遅らせる薬剤を用いて、重症疾患者を救えることになるかもしれない。そして既に、未発表の研究ではあるが、ACE 阻害物質がマウスで筋肉の消耗を抑えることがわかっている。またロンドンの製薬企業 Ark Therapeutics 社は現在、癌患者にみられる重度の筋肉消耗を治療するために ACE 阻害剤イミダプリル(imidapril) の使用を検討する臨床試験について、最終段階までできている。

健康遺伝学は、臨床現場に新たな知見をもたらしてゆくだろうが、親から受け継いだ遺伝子の交換はできないということが、カウチポテト族にとっての

新しい言い訳となってしまわないだろうか。「運動能力の低さは遺伝子によるとなれば、体を動かすことが嫌いな人々はますますあきらめてしまうでしょう。何かに挑戦して失敗するなんてみんな嫌です。それは人間の本性の 1 つなのだから」と Montgomery は語る。体力を高めたいと願う人たちへの彼のアドバイスは 1 つ。「どんな結果になるかはさておき、真剣に運動せよ」というものだ。体を動かすことは誰にもにとって、少なくともなんらかのプラスにつながるのだから。 ■

Alison Abbott はネイチャーのヨーロッパ特派員。

-
- Bouchard, C., Dionne, F. T., Simoneau, J. A. & Boulay, M. R. *Exerc. Sport Sci. Rev.* **20**, 27–58 (1992).
 - Bouchard, C. & Rankinen, T. *Med. Sci. Sports Exerc.* **33** (Suppl.), S446–S451 (2001).
 - Rankinen, T. et al. *Physiol. Genom.* **15**, 27–33 (2003).
 - Williams, P. T., Stefanick, M. L., Vranizan, K. M. & Wood, P. D. *Metabolism* **43**, 917–924 (1994).
 - Huygens, W. et al. *Physiol. Genom.* **17**, 264–279 (2004).
 - Perusse, L. et al. *Med. Sci. Sports Exerc.* **35**, 1248–1264 (2003).
 - Myerson, S. G. et al. *Circulation* **103**, 226–230 (2001).
 - Nazarov, I. B. et al. *Eur. J. Hum. Genet.* **9**, 797–801 (2001).
 - Tsianos, G. et al. *Eur. J. Appl. Physiol.* **92**, 360–362 (2004).
 - Harding, D. et al. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* **165**, 1103–1106 (2002).
 - Harding, D. et al. *J. Pediatr.* **143**, 746–749 (2003).



メキシコが握るアメリカ先住民の起源を探るカギ *Skeleton keys*

Nature Vol.433(454-456)/3 February 2005

R. DALTON

メキシコでは、発掘された太古の人骨が研究されないまま大量に眠っていた。しかし、メキシコの科学者たちは今、この古人骨を分析する能力と技術を身につけた。発掘物は徐々にその秘密を明らかにし始めている。アメリカ大陸に最初に住み着いた人間はどこから来たのか、というなぞは解明されるのか。Rex Dalton が報告する。

C. THEOPALD/LIVERPOOL JOHN MOORES UNIV.

メキシコ・ユカタン半島のジャングル。その奥深く、マヤ文化のピラミッドや神殿を訪れる観光客の群れから離れたところに、水で満たされた大洞窟がある。地元の科学者たちはこの洞窟の中に、マヤ文化よりもさらにもっと前の時代にこの場所にいた人たちの様子を見つけようとしている。

植物のつるが垂れるドリーネ（石灰岩地方にできるすり鉢状のくぼ地）の中、長い洞窟の奥深くでほぼ完全な人骨が見つかった。この人骨は数年前、考古学研究を行っていたダイバーが発見したもので、初期の分析結果では、少なくとも 11,600 年前のものであることが示された。これは、ラテンアメリカに大帝国があった時代の何千年も前に

あたる。もしこの年代が確定されれば、南北アメリカ大陸で発見され、年代が直接測定された人骨の中でもっとも古いものになる。

メキシコ・サルティージョにある砂漠博物館の Arturo González González 館長は「ダイビング中に初めてその人骨を見たときは本当に信じられなかった。これはとても古い骨だと確信した」と振り返る。

洞窟で見つかったこの人骨は、アメリカ先住民の起源を探る手がかりとなるかもしれない。また同時に、メキシコの古人類学の新時代到来を象徴する。100 年以上もの間、メキシコの人類学研究は主に、ジャングルに覆い隠されたマヤ文化、アステカ文化、オルメカ文化

の大建造物を対象してきた。こうした神殿や墓の一部は 3,000 年以上前のもので、その科学的調査はもっぱらメキシコの考古学研究者が細々と担当していた。そして、そうした場所に集まる外国の科学者たちはまるで観光客のようだった。

しかしメキシコでは近年、さらにずっと前の時代に注目する科学者が増えてきた。現在はメキシコとよばれる場所はずっと以前、南北アメリカ大陸の最初の定住者が大陸を移動した際の通り道だった。科学者たちはようやく、メキシコで収集された膨大な、大部分はまだ研究されていない人骨を綿密に調べ始めた。この収集物には 100 年前のものから数万年前のものまでさまざま



先人の遺物 : Silvia Gonzalez (中央) ら研究者たちは、メキシコの膨大な人骨の収集物（左）や水中での新発見（右）をもとに、この国の太古の歴史をつなぎ合わせている。

A. CASTRO/INAH

なものが含まれている。さらに彼らは新しい場所の調査も行っている。その一部は水中で、ユカタン半島からカリフォルニア半島（バハカリフォルニア）の先端にまでおよぶ。南北アメリカ大陸にだれが、いつ、住み着いたのか。このなぞを解くのに（さらには新しいなぞを見出すことにも）、メキシコ人研究者の知識の向上や人材・資金の増加が関わってくる。

出アジア

一般的な仮説によると、現代のアメリカ先住民の大部分は、14,000年前から10,000年前の間に、北アジアから数回にわたってベーリング海峡の地峡を渡ってアメリカ大陸に入ってきた移住者の子孫だという。この移動の詳細は完全には分かっていないが、クロービス人とよばれるグループが、氷河期の終わりに北米大陸を覆っていた氷がゆっくりと後退したときに南へ移動し、11,500年前までに米国の中西部に達したことは分かっている。

しかし、これで話はすべておしまい、というわけにはいかない。少なくとも12,500年前にチリ・モンテベルデに住んでいた人々がいたことを考古学的遺物が示している。ということは、氷に閉ざされていた大陸の真ん中を横切っ

て移動した人たちがいたかもしれないと考えられる時期よりも、さらに数千年前の話になる。ベーリング海峡を渡ってきた人たちの一部は、海岸沿いを南下して、もっと早く南の地へと到達していたのかもしれない。研究者たちは、この海岸沿いルートによる移動の証拠を探し続けている¹。また、南アジアや太平洋の島から船で直接カリフォルニアに着き、そこから南へ進んだ、という別の移動ルートの可能性もある。アメリカ先住民の現代的なグループには、北アジアからの移住者の子孫だけでなく、このルートによる移住者の子孫が含まれている可能性を示唆する遺骨も見つかっている^{2,3}。

しかし、これらの仮説を支持する証拠を見つけるのは簡単なことではない。南米では、考古学者たちは主に、人骨よりも大昔のたき火の跡などの居住の痕跡を探してきた。居住痕跡からでは、こうした初期の定住者がどこから来たかを解明するのは不可能だ。北米では、すべてではないにしても、調べられた人骨のほとんどは北アジアからの移住者のものようだ。これは、環太平洋地域からの移住者が上陸した場所よりもっと寒い気候の土地へとさらに北上したとは考えにくいことから、十分に考えられる話だ。そういうなかで、

南北アメリカ大陸にはさまれたメキシコの地は、アメリカ大陸への最初の定住者の起源を明らかにするために不可欠な証拠を抱えているかもしれない。

25,000個の標本

メキシコでは19世紀以降、重要なと思われる人骨を収集し、メキシコシティにある国立人類学博物館に収蔵してきた。この標本は地下室でひそかに増え続け、約25,000個にもなっている。この人骨の中には、南北アメリカ大陸への移住の研究を新しい段階へと導くかもしれない標本が數十個も含まれている。しかし、これらの人骨はこれまで段ボール箱の中で日の目を見ないまま、地元の科学者たちがきちんとした研究を行うための訓練、技術、資金を手にする日をじっと待っていた。

今、そのときがやって来たとほぼいえる。近年のメキシコ科学の着実な発展により、これらの収集物に取り組む準備ができ、意志があって能力も備えた研究者の世代が登場した。しかし、多くの場合、まだ彼らは研究資金に非常に困っている。裕福な国では、この種の研究プロジェクトに資金を出す政府機関がある。そして、米国やヨーロッパの裕福な慈善家たちは1世紀以上前から、母国や海外での発掘に研究資金を出し

てきた。しかし、メキシコのような発展途上国の研究者があてにできる政府機関や慈善家は少ない。彼らはあらゆるところから資金をかき集めなければならぬのだ。

地元の研究者一部は、ナショナルジオグラフィック誌やディスカバリー・チャンネルといったメディアから資金を得ようとした。研究資金を獲得するため、オフロード車の宣伝をしなければならなかつた研究者もいる。González もその1人で、研究資金と引き換えに、会議でのスライド発表の中にダイムラー・ライスラー社のトラック「ダッジ」の写真をはさみ込んだ。

研究資金の心配はしなければならないが、一方で González らが心配しないですむこともひとつある。米国とは異なり、メキシコでは人骨の研究に関しても研究者とその土地に昔から住んでいた人々との対立がほとんどない。アメリカ先住民は、米国の研究者が人骨を遺伝学的に研究しようとすると、それを遅らせたり、中止させたりしてきた。たとえば、1990年代にワシントン州で見つかった9,000年前の人骨で、有名な「ケネウイックマン」のケースがある。アメリカ先住民は、そのような研究は死者の尊厳に反すると主張した。

メキシコでは、博物館やその活動は、先住民にも、先住民とスペイン人征服者の両方の子孫にも、あらゆる人に関係するととらえられている。現在の住民の大部分の起源は混ざり合っているため、発掘された人骨の取り扱いについて強い感情はない。こうした比較的うちとけた住民の態度も今のところ、米国の研究者がメキシコに関心を寄せる一因となっている。

増える共同研究

こうして、国外の研究チームと共同研究を行うメキシコ人研究者が増えている。それは、メキシコ人研究者の技能の基礎を強化するのにも役立っている。昨年11月、メキシコシティにある

メキシコ国立自治大学の自然人類学者 Alejandro Terrazas Mata は、エチオピアで冬期の野外調査を始めた。ここは、人類の靈長類からの進化や、「出アフリカ」の移動を示すもっとも重要な標本の一部が発掘されたところだ。そこで Terrazas は、カリフォルニア大学バークレー校の古人類学者 Tim White が率いる研究チームとともに作業を行つた。「私たちがアフリカを使ってうまくいった、リモートセンシング技術と野外調査方法の一部をメキシコの古人類学者に伝授して、メキシコでの研究に役立てもらいたいと思っている」と White は話す。Terrazas にとっては、人類学の故郷のようなところで、野外研究はどのように行うべきかを学ぶ機会となつた。「これは生涯の夢だった」と Terrazas は言う。

地球考古学者の Silvia Gonzalez は、メキシコシティとドイツで研究を積み、今は英国のリバプール・ジョン・マーズ大学に所属している。Silvia も有益な共同研究を行う機会を得た。彼女は母國の専門分野では新進気鋭のスター学者だが、彼女も研究資金をかき集めなければならなかつた。幸いなことに、研究を続けるための十分な資金を英国でなんとか確保、現在は英国の自然環境研究評議会から、太古の人類と気候との相互作用に重点をおいて母国で標本を研究するために60,000ドル（約1,200万円）の研究助成金を得た。それほど多い研究助成金ではないが、そのおかげでメキシコの国立人類学・歴史研究所（メキシコシティ）などの同国人の研究者のほか、オックスフォード大学とブリストル大学の研究者の協力を得ることができた、と Silvia Gonzalez は話す。

今日、メキシコの人類学研究でもっともエキサイティングなテーマのひとつは、古代の人骨や現代人の骨をペリク（Pericú）人の骨と比較することだ。ペリク人は、2,500年前から19世紀後半までカリフォルニア半島の先端近くに住

んでいた。ペリク人は、暑く、気候の厳しいカリフォルニア半島の砂漠でほかの人間から孤立して生活していたと思われ、海産物とサボテンを食糧にしていた。この部族が研究者に見出されたのは1940年代後半になってからで、それ以来、強い興味を持たれてきた。

アルゼンチン、スペイン、メキシコの研究者からなるチームは一昨年、博物館の収集物から見つかった、33のペリク人の頭蓋骨の形状に関する研究結果を発表した^{2,3}。この頭蓋骨は長くて幅が狭く、南アジアや環太平洋地域から見つかる頭蓋骨と似ている一方、北アジアに典型的なもっと丸みのある頭蓋骨にはあまり似ていなかった。これまで多くの研究者が、アメリカ先住民はすべてアジアからの移住者の子孫だと仮定してきたが、この研究結果は、現代のアメリカ先住民の一部は早い時期にオーストラレーシアからやって来た移住者の子孫かもしれないことを暗示した。

太平洋ルート

この仮説は、「東南アジアの島に住んでいたアボリジニがアメリカ大陸を発見した」という見出で報道され、科学者の関心も大衆の関心もとられた。初期の予備的なDNA分析から、ペリク人は太平洋の島に住む種族、マオリ人と関係していることが分かったとする記事が掲載され、関心はさらに高まつた。しかし、昨年9月にメキシコシティで開かれたシンポジウムで、英国オックスフォード大学のヘンリーウエルカム古代生体分子センターの大学院生 Phillip Endicott は、ペリク人のDNAは現代の北アジア系アメリカ先住民と合致したと発表した。マオリ人の遺伝子を示した唯一のDNAサンプルは、今回は同じ結果を再現しなかつた。これはおそらく、同じ実験室でマオリ人のサンプルを使って Endicott が行っていた実験による汚染だったことを示している、と彼は説明した。

ペリク人とマオリ人の関連という、こ

発掘作業は続く：バハ・カリフォルニア・スールの岩窟住居では、南北アメリカ大陸の初期の定住者の遺骨発掘が今も行われている。



析の裏づけがなければ、頭蓋骨の形状のみを使った分析は誤りをおかす可能性が十分にある、と Gonzalez は言う。

オーストラレーシアからアメリカ大陸への移住の可能性について、確固たる結論を得るには、もっとたくさんの骨を分析する必要がある。Silvia Gonzalez のグループが今、それを行っている。研究チームのメンバーでラパスにある国立人類学・歴史博物館の Alfonso Rosales Lopez らは 12 年以上前から、岩窟住居（浅い洞窟）、洞窟の床、沿岸の貝塚などから標本を集めてきた。この収集物はあまりに大量で、関心の持たれる標本なのにまだ科学的な報告がなされていないものもある。そのひとつが、なたのような何かの一撃で後ろ半分がきれいに切り取られた頭蓋骨だ。この半分に切り取られた頭蓋骨は今、人食いあるいはある種の儀式が行われていた可能性を示しているとして研究されている。Rosales Lopez はペリク文化に関する本の共著者であるが、彼の研究発表は資金と言葉の壁のために制限されてきた。この状況は今、Silvia Gonzalez の研究資金と彼女が翻訳を手伝っているおかげで変わりつつある。

一方で、研究者たちは同じ疑問を解明するため、もっと古い人骨の分析も進めている。もっとも期待されているのは、「ペニョンウーマン」(Peñon woman)から抽出された DNA の分析結果だ。この頭蓋骨はメキシコシティ郊外の空港の近くで 1959 年に発見され、10,755 年前のものと年代推定がなされた⁵。ペニョンウーマンから抽出された DNA は、南北アメリカ大陸の人骨から抽出されたものとしてはもっとも古い。Endicott は今、ペニョンウーマンの DNA を分析している。彼は、論文や会議で発表するまでは研究結果について話すことを断っている。

Arturo González も、ユカタン半島の水中の洞窟からさらに標本が見つからないかを注意し、DNA が得られるかもしれない古代の人骨を探している。これまでに彼が研究した人骨の多くは、趣味でダイビングを楽しむダイバーたちが長さ 1 キロにおよぶ大洞窟網を探検しているときに発見したものだ。ダイバーたちは、約 12,000 年前の氷河時代に絶滅したラクダや象の骨に混じって、アメリカにもっとも早く定住した人間の一部を発見した。González は研究を行うため、こうした骨を少しづつ回収し、メキシコシティでの昨年 9 月のシンポジウムなどで地元の研究者とその結果を発表している。

カリフォルニア大学リバーサイド校の年代決定技術の専門家 Ervin Taylor は、「水中に数千年間あった人骨の年代を決定することは難しい」と認める。しかし、ユカタン半島の水中で見つかった人骨に残っていた DNA は今のところ、少なくとも 11,600 年前という年代を示している。「これよりもさらに古い可能性もある。もちろん、もっとたくさんの骨が必要だ」と Taylor は話す。

Arturo González は、こうした標本を確保する準備を整えた。González は今春、洞窟に向かう予定だ。DNA 分析を新しい段階へ進めるのに生きてくるような新しい標本や骨を探すためだ。メキシコの科学者たちは力を合わせて今、段ボール箱やほこりまみれの博物館の奥の部屋、水中の墓場に眠っていた人骨に、ついに科学研究の光を当てようとしている。 ■

Rex Dalton は、ネイチャーの米国西海岸地域特派員。

1. Dalton, R. *Nature* **422**, 10–12 (2003).
2. Dillehay, T. D. *Nature* **425**, 23–24 (2003).
3. González-José, R. et al. *Nature* **425**, 62–65 (2003).
4. Rosales López, A., Fujita, H. *La Antigua California Prehispánica: La Vida Costera en El Conchalito* (National Institute of Anthropology and History, Mexico City, 2000).
5. Gonzalez, S. et al. *J. Hum. Evol.* **44**, 379–387 (2003).

The big picture

医用画像の 将来

Nature Medicine Vol.11 no.2(111-112)/February 2005

人間の「体内」を鮮明に映し出す技術には、コンピューター科学、物理学と化学の進歩があげて注ぎ込まれつつある。Alan Dove が医用画像の最新技術について概説する。

脳の腫瘍は、思考や記憶をめちゃくちゃにしてしまうことで悪名高い。しかし、Greg Lancaster の腫瘍は、ある 1 つの分野全体を新たに見直すきっかけとなった。米国エネルギー省のアイダホ国立研究所の研究員である Lancaster は、1999 年に脳腫瘍と診断された。腫瘍は手術によってうまく取り除かれたが、Lancaster はそれ以来神経科医による定期的な診察を受けている。そして診察の度ごとに、彼の頭部の MRI（磁気共鳴画像法）によるスキャン画像が撮影され、腫瘍が再発していないことが確かめられるのである。

3 年ほど前の診察の際に、神経科医が Lancaster に数枚の画像を見せてくれた。その時に、「こうした画像を他の神経科医や医学研究者はどうやって解析しているんですか」と聞いたことを Lancaster は覚えている。その答えは、「2 枚の画像をつき合わせて比較し、大変な苦労をしながらちがう箇所を探すんだ」というものだった。

Lancaster は画像処理の専門家だったので、もっといい方法があることを知っていた。コンピューターを使う彼の方法は変化検出システム (change detection system, CDS) と呼ばれ、

ずっと迅速かつもっと正確に処理を行える。彼はまたこう述べる。「そのときは、こういう技術がもう使えるようになっているのに、一体何で画像の評価にとても原始的な方法でもってそんなに大変な時間をかけているんだろうと不思議に思った」

そのわけは、学際的な研究をしている人達ならしお目にかかるものだった。つまり問題を抱えている人たちとその解決策を知っている人たちが、相手が何をしているかお互いに知らないだけのことだったのである。

幸運にも、少なくとも医用画像の分野では知識の交換はもう結実している。Lancaster の考案したような方法は画像をコンピューターで処理するのだが、コンピューターの処理能力が近年大幅に向かっているため、ソフトウェアを使った画像処理や解析が容易になってきた。コンピューター科学、物理学と化学の進展は、米国立衛生研究所 (NIH) のような研究機関からの研究費の増大と相まって新しい技術を次々と生み出し、科学者はいまだかつてなかったほど高品質の画像を見られるようになっている。

最近になってこういった動きが集大成されて、こうした技術が実験にも臨

床にも使われるようになったと、オハイオ州立大学総合癌センター（米国コロンバス）の生物医学情報学の教授、Michael Knopp は語る。

兵器から医療へ

新しい進展に遅れずについていくのは難しい。しかし、画像の専門家たちが Lancaster の画像処理法を知らなかつたのは無理もないことだ。なぜなら、当初 CDS は国家機密だったのである。

名称は明らかにされなかったが、Lancaster たちはある政府機関の要請で、7 年ほど前から画像の比較に関する研究を開始していた。その機関では異なる時期に撮影された風景写真を比較して、そこになにか変化が生じているかどうかを知る必要があった。そのような変化を探しだすもっとも効率的な方法はフリッカ法である。これは 2 つの画像を急速度で繰り返し入れ替え、ちらちらする部分を見つけるというものだ。しかし、この方法が使えるのは、画像が全く同一のスケールと角度で撮影されている場合だけである。そうでないと、画像全体がちらついて見えてしまう。

スパイ衛星や MRI 装置はどちらも、



撮影毎に前回と全く同じ条件で画像が得られることはないから、肝心なのは画像を自動的に補正して別の画像とぴったり合うように調整するという、相当中に複雑なソフトウェアの開発だった。こういうソフトは他のコンピューター科学者も試作していたが、Lancaster のソフトウェアはユーザーが操作しやすいという大きな利点があった。彼は「このソフトは、本来トレーニングを受けていない人でも扱えるようにデザインされており、最初の目標はとにかく容易に扱えるようにすることだった」と語っている。

このソフトウェアは、Lancaster が脳腫瘍の手術をした頃にはすでに機密情報でなくなり、その後、数組の MRI 画像を使ってテストが行われた。アイダホ国立研究所は目下、この技術をフルスケールの臨床試験に持ち込むことについて複数の医学研究機関や医療関係の企業と協議中である。現在の放射線学でも連続した画像の比較は一般的に使われており、CDS はほとんど全ての医用画像について有用なことが実証されそうだ。

動画への移行

2つの画像の比較から得られる情報が多いが、神経科学の分野では数年前から知られていたように、連続画像はもっと役に立つ。数秒間隔で連続して撮影される MRI スキャン画像は、さまざまな刺激に対する脳の活動をリアルタイムで観察しているようなものだ。機能 MRI (fMRI) 解析は、神経科学関連の雑誌すでに目立つほど多くなっており、fMRI 以外の種類の医用画像を扱う研究者も、それぞれの動画を撮影するようになってきている。

こうした動画の多くで重宝されるのは血液である。従来の MRI スキャンでは、血液は組織内の静止画像として撮影され、こうした画像はガドリニウムを含む特殊な色素（造影剤）を使うことでより鮮明にできる。しかし、最新

の動向は、色素よりもさらに先をゆく。一連の高速スキャン撮影の間、血流速度を観察して、どの組織への血液の流入が本来よりも多く、あるいは少なくなっているかを見るようになりつつある。

「色素は組織に取り込まれ、それがゆっくりと洗い流される」と Knopp は述べている。こうして得られた情報は次いで薬物動態学的モデルに取り込まれ、ソフトウェアによって循環モデルに変換され、それが画面上にカラーコードを使って表示される。

血流だけでも悪性腫瘍かどうかを知らせるサインとなる。それは悪性腫瘍は自身で血管を増やすからだが、Knopp らは画像の情報量をさらに多くしようと試みている。もっと強力な磁石を使えば、顕微鏡レベルの分解能を持つ MRI スキャン画像が得られるので、この高分解能画像と、DNA マイクロアレイを使って得た遺伝子発現パターンを組み合わせようというのだ。こういった解析法ならば、腫瘍の形態的な差異と遺伝子発現パターンの差異とを関連づけることができる。この 2 つは両方とも、腫瘍の転移の可能性の高さとも関連がある。

Knopp のこうした手法は、化学工学方面での進歩によってさらに鋭敏なものになりそうだ。例えば、NIH/ 国立癌研究所の小林久隆は分子画像法の専門家だが、MRI 用の新規造影剤を開発中である。小林らは、適当なサイズのナノ粒子が腫瘍からリンパ系へと移動できることを見出した。こうしたナノ粒子にガドリニウムをくっつけてやれば、一連の MRI スキャン画像上で腫瘍からのリンパ液の流れを観察できる。小林は「どのリンパ節が最も大きい排出路か分かれば、それが癌細胞が移動しそうな経路ということになる」と語っている。

小林らはガドリニウムと蛍光マーカーの両方の標識をつけたナノ粒子も開発した。蛍光色素が結合していれば、腫瘍やリンパ排出パターンが MRI 画像ではっきりわかるだけでなく、紫外線照

射によって光も発するようになるというわけである。そして、手術で患部を開いた際に、外科医は光っている組織だけを除去すればいい。小林は、この技術はまだこれからものだが、なんらかの形で間もなく臨床試験に持ち込めると可能性が高いと言う。

回転させる方法

患部組織が手術で除去されたら、普通はそこから採取した検体が病理学部門に送られ診断が下される。だが、マジック角度回転磁気共鳴法 (magic-angle spinning magnetic resonance spectroscopy) のような新しい画像技術は、こういう分野へも進出しつつある。

核磁気共鳴 (NMR) 分光法を使えば、溶液中にある物質の化学構造について詳しい情報が得られることは、化学の領域では数十年前から知られていた。しかし、固体試料の場合は分解能が著しく低くなる。それは、固体中では隣り合った分子は極めて接近した状態にあるために相互作用が生じ、これが結果をわかりにくくさせるからである。固体試料の NMR スペクトルは、特定種類の構造の存在を示す幅の狭いピークではなく、分離不可能な幅の広いピークを示す。

磁気共鳴分光画像法 (MRSI, magnetic resonance spectroscopic imaging) は MRI の一種で、生体の画像を今までなかったほどの高分解能で得ることができる方法だが、ここでも同じような問題が立ちはだかっている。MRSI によって、MRI 技術は細胞代謝物の NMR スペクトルを得られるところまで進歩した。アルツハイマー病から癌にいたるあらゆる病気の病態は細胞の代謝の変化から始まるのだから、この方法が診断技術として興味をひくのは明らかだろう。だが残念なことに、NMR で固体組織を扱う際の物理的な限界は、MRSI の場合にも同じく存在し、解読に使われるピークは比較的幅が広くなってしまう。

化学の領域では、この固体試料に関

する問題をマジック角度回転法という技術によって解決することが試みられてきた。この方法では、試料を測定装置の磁場方向に対して特定の角度をとるようセットして高速で回転させる。回転させる試料の軸が磁場に対して適当な角度にあり、回転速度も適当ならば、分子間の相互作用がキャンセルされてスペクトルのピーク幅が狭くなる。

ハーバード大学医学系大学院の放射線学の助教授である Leo Cheng は化学研究で NMR を使っていた経験から、生体試料でマジック角度回転法を使ってみることにした。MRSI を測定する間に患者自身を急速回転させるというのはいくらなんでもまずいだろう。というわけで Cheng らは、まず生検検体切片を使って解析を試みた。

Cheng は、「試料を回転用ローターの中に入れてやるとすぐに鋭いピークが観察された」と言っている。この方法では試料の回転数をそれほど高くしなくともいいので、検体の構造が壊れるようなことはない。だから病理学者が生検検体を顕微鏡観察することも、また MRSI によって検体中で起こっている細胞代謝についての詳しい情報を得ることも可能だ。

マジック角度回転法は生検検体を解析する新たな手段というだけでなく、これによって患者の体についてその働き

をチェックすることもできるようになった。「*ex vivo* 研究でマジック角度回転法と病理学的診断の相関関係がわかっていてれば、*in vivo* で得られるスペクトルの幅広いピークがどんなことを示しているのか、その推測も可能になるかもしない」と Cheng は述べている。

マジック角度回転法による測定にはまだかなりの技術的習熟が必要なので、この技術が臨床的に使われるようになるまでには作業の簡素化が必要だろうと思われる。Cheng は「自分で測定や処理をやらなくてはならないというのだったら、この方法が特に役に立つとは思えない」と言っており、何らかのパッケージソフトウェアがあって、組織試料を装置に入れればスペクトルがソフトウェアに送られて解析され、人間が何もしなくても結果がプリントアウトされて出てくるようにするべきだと述べている。

画像法の将来

新たに出現した画像技術の多くは、マジック角度回転法のように MRI から進歩したものだが、MRI は他の画像技術と密接にからみ合いながら進歩してきた。こうした他の画像技術にはいずれも熱烈な信奉者も異論を唱える人もいる。CT (コンピューター断層撮影) スキャンは非常にうまくできたソフトウェアとハードウェアを使って、患者の体の横断面の X 線写真を連続的に撮影するものだが、これが病院で使われたのは 1973 年のことである。これと同じ年に、最初の PET (陽電子放射断層撮影) スキャンシステムが開発された。病院がこうした装置に喜んで大金を投じたこと、複数の技術的進展があ

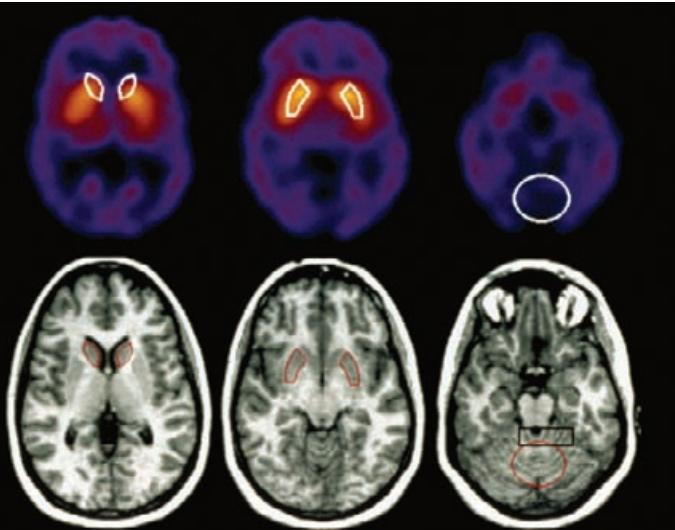
ったことが MRI の開発に拍車をかけ、MRI がデビューしたのは 1980 年のことである。

MRI で使われている技術は、実験室でよく見られる核磁気共鳴装置 (NMR) と全く同じなのだが、「核」という言葉に患者が怯えるといけないというわけで、別の名称がつけられた。MRI は、主要な 3 種の画像技術 (あと 2 つは CT と PET) のうちで唯一、電離放射線を使っていない。MRI は強力な磁場の中で特定の振動数で起こる原子の共鳴を利用している。

現在発展中の技術によって、画像法は全く新しい領域に進出しつつある。例えば製薬会社は MRI などの技術を使って、薬剤投与によって実験動物に起こる、以前には観察できなかった生理的变化を追跡している。PET や fMRI スキャンは、ここ数年で神経化学研究の分野での標準的な装備となったが、これらはどんどん精巧化しつつある。2003 年には国際脳マッピングコンソーシアムが、7,000 人の患者の脳のスキャン画像を含むアトラスを出版し、これは研究者がいろいろな患者からのデータを比較するのにおおいに役立っている。

臨床的には、MRI、PET や CT 装置がますます入手しやすくなつたことで画像化が一種のブームとなっており、健常者の全身スキャンといったような異論のある使い方までされるようになった。多くの医師は、こうしたスキャンは不需要、あるいは危険でさえあると述べている。にもかかわらず、郊外のショッピングセンターにも MRI があったり、全身スキャンのできるギフト券が人気があったりと、患者のこうした技術に対する恐怖心は明らかに消えてしまった。一般に広く受け入れられたことは、技術的進歩の新しい成果と相まって、画像化法の未来を明るくしているといえよう。

Alan Dove はニューヨーク在住のフリーライター。



見つからない物質を大追跡

Hot pursuit of missing matter

J. Michael Shull

天文学者たちは、宇宙に「普通に」存在する物質の総量を求めるにはどんな苦労も惜しまない。最新の計画では、灯台のようにX線を放出するクエーサーを用いて、銀河間空間に存在する温かいガスが探査された。

Nature Vol.433(465-466)/3 February 2005

宇宙論的な測定が可能に、そしてより精密になり、天文学者たちは宇宙のあらゆる形態の物質とエネルギーを網羅する、「宇宙目録」作成に着手している。自然はとてもずる賢く、いろいろな天体（恒星や惑星、銀河）中や、 10^4 K ~ 10^7 K の温度の銀河間ガス、さらにはいわゆるダークマターやダークエネルギーといったよりエキゾチックな形態で、物質を隠している。だが、最近の目録^{1,2}からすると、通常の物質の少なくとも40%がまだ見つかっていない。それが今回、Nicastroらによると、チャンドラX線望遠鏡に搭載された分光器を使って、温度約100万ケルビンのガスに隠れて銀河間空間の膨大な体積全体に広がる、未検出だった物質を見つけたという（原著論文は、Nature 2月3日号を参照のこと）³。

標準宇宙モデルによると、宇宙は主にダークマター（25%）とダークエネルギー（70%）からなり、これに加えて、まばらに散らばった少量（5%）の「バリオン」と呼ばれる通常の物質がある。素粒子物理学者にとって、「バリオン」はクォーク3つからなる素粒子（陽子、中性子など）の総称だ。天文学者はより単純に、バリオンを、惑星、恒星と銀河、宇宙空間のガスを構成する通常の物質（水素、ヘリウム、そしてより重い元素）だと定義する。幸いなことに、物質の全量を求めるには名案がある。ビッグバンで形成された軽い元素についての研究⁴と宇宙マイクロ波背景輻射のゆらぎについての研究⁵から、宇宙にある全バリオン密度の精密な値が得られ、質量・エネルギーの全密度の $4.6 \pm 0.2\%$ となっている。

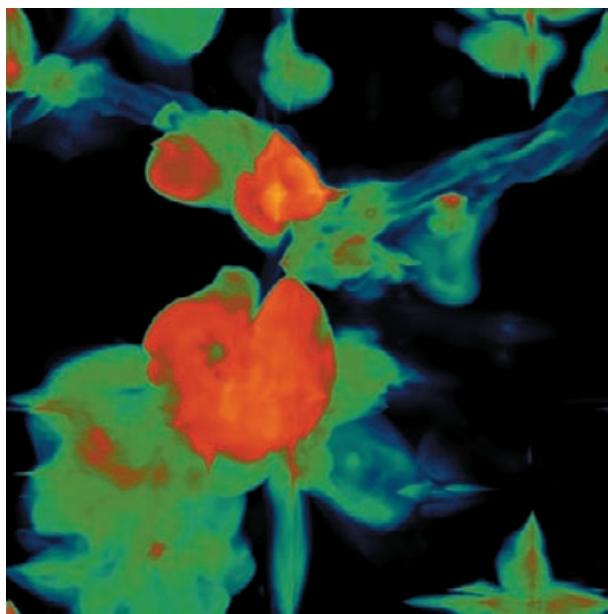


図1 もう少しで見つかる？

銀河から流れ出したガスの風は重力崩壊と合わせて、これらの数値流体力学シミュレーションによって示されるように、温度の高い銀河間物質の分布にめざましい影響を及ぼす。この「実」像の幅は約5千万光年である。紫外線観測⁷とX線観測³によって、銀河をとりまく 10^5 K ~ 10^6 Kの高温ガス（赤い領域）と銀河系と銀河系をとりまく銀河の近傍部分に対応する赤方変位 $Z=0$ の位置にある銀河間高温物質（WHIM）フィラメントが今回発見されたかもしれない。最も暗い領域の温度は 10^3 Kで、緑の領域の温度は 10^4 Kから 10^5 Kである。（画像提供：R. Cen & K. Nagamine）

私たちが探している物質量がどれだけなのかは分かれているのに、既知の形態ではこのようなバリオン物質の一部しか捉えられないとはやっかいな話である^{1,2}。意外にも、光を発する通常の物質（恒星と銀河）は全バリオ

ンの10%以下にしかならない。残りはバリオン的ダークマターに属しているか、あるいはおそらく、観測の困難な何らかの形態で隠れているにちがいない。

紫外線とX線の分光測定では、見つかっていないバリオンが、いまだに銀河に合体していない銀河間物質(IGM)全体に分布している、密度の低いガス中に存在する可能性が見えてくる。このIGMの平均密度は、銀河内の星間ガスの100万分の1～1,000万分の1と極めて低いが、銀河間空間は途方もなく大きな貯蔵庫である。近傍宇宙の観測によると、バリオンうちの5～10%だけが合体して銀河や銀河集団になっている。さらに40%の存在は、冷たい水素の吸収線⁶とO VI(5回イオン化した酸素)の紫外吸収線に発見されたずっと高い温度のガス⁷から推測される。このような核種はIGMの微量成分だが、宇宙物理学の補正によってこれに付随する電離水素の総量を把握できる。

にもかかわらず、バリオン物質の40～45%はまだ見つかっていないので、銀河間ガス(H IおよびO VI)の貯蔵庫では謎が解けたことにならない。宇宙論的シミュレーション^{8,9}では、重力によってIGMの大規模な温度構造が作られることから、見つかっていない物質の隠れ場所がさらに他にあることが示唆される。このモデルは、重力崩壊と超新星爆発によって引き起こされた銀河からのガスの流出によって、衝撃加熱された約10⁶ Kのガスにバリオンの30～40%が存在すると予測している(図1)。このような高温では、低密度のガスは可視光の波長ではほとんど見えない。しかし、酸素、窒素、ネオンといった重い元素は束縛電子をまだ少し持っている。このようなイオンは紫外領域の吸収線(O VI)あるいはX線領域の吸収線(O VIIとO VIII)によって検出できる。

チャンドラX線望遠鏡とXMM-Newton X線望遠鏡は、「銀河間高温物質(warm-hot intergalactic medium)」あるいはWHIMとして知られる⁸、銀河間ガスの最も温度の高い部分を探る機会を与えてくれる。Nicastroらは、WHIMを通して輝く「X線灯台」を見つける巧みな実験法を考え出した³。というのは、彼らは単に、活動銀河核が異常に明るい状態になるのを待ったのだ。とりわけ明るくて変光する活動銀河であるマルカリアン421が2度きらめいた。チャンドラの低エネルギー透過型回折格子分光計で20万秒の間に、この2回のきらめきを観測したのである。この間に観測された温度の高い銀河間ガスの精緻なスペクトルの中に、期待されていた高度にイオン化した酸素と窒素の吸収線が見つかった。赤方変位係数Z=0.011とZ=0.027に対して通常のハッブル膨張則を仮定すれば1億5千万光年と3億8千万光年の距離にある、2つの遠く離れた吸収線系に特に関心が向けられた。

この2つのO VII吸収線系は、予測されていた10⁶ K

の高温ガス(WHIM)フィラメントに関する興味深い証拠を示している。短い経路に沿った2つの吸収体だけでは、この領域が全宇宙で考えて典型的なのか否かが分かりにくい。統計的不確定性は大きいが、酸素の存在量が太陽中の10%と同程度であると仮定すれば、この温度の高いIGMには見つかっていないバリオンのうち残りの30～50%が含まれていると著者らは推定している。これはIGMに対する標準的な仮定だが、IGM中の重元素存在量について、さらに研究を重ねて検証する必要がある。

次は何を探索すべきなのだろうか。まず、マルカリアン421はIGMの典型的とはいえない領域を調べている可能性があるので、銀河間の別の視線に沿ったX線観測を行うのは有益だと思われる。残念ながら、他のほとんどのクエーサーはこのような品質の高いデータを得られるほど十分に明るくない。天文学者たちは遠紫外線分光探査機(Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer; FUSE)を用いて、O VI吸収線(10^{5.5} Kガス)に関する40以上の視線の探査を行い、かなりの成功を収めてきた。しかし、現状のX線望遠鏡や紫外線望遠鏡ではバリオンの目録を正確に完成するには集光力が足りない。

このような課題には、X線分光用のNASAのConstellation-X計画¹⁰やヨーロッパ宇宙機関(ESA)のXEUS計画を含む、新世代のより大きな宇宙望遠鏡が待たれる。また、ハッブル宇宙望遠鏡の分光能力に取って代わろうという、大型の紫外線光学宇宙望遠鏡が計画段階にある。新しい紫外線望遠鏡とX線望遠鏡は見つかっていないバリオンの目録を完成させるために必要である。これらの望遠鏡ではさらに多くのこと、つまり、最初の銀河と恒星が形成された、フィラメント状の銀河間物質からなる宇宙の「蜘蛛の巣」状態を精密に描くことも可能になるだろう。■

コロラド大学(米)、J. Michael Shull

1. Fukugita, M. & Peebles, P. J. E. *Astrophys. J.* **616**, 643–668 (2004).
2. Shull, J. M. in *The IGM/Galaxy Connection* (eds Rosenberg, J. L. & Putman, M. E.) Vol. 281, 1–10 (Kluwer, Dordrecht, 2003).
3. Nicastro, F. et al. *Nature* **433**, 495–498 (2005).
4. Kirkman, D., Tytler, D., Suzuki, N., O-Meara, J. M. & Lubin, D. *Astrophys. J. Suppl.* **149**, 1–28 (2003).
5. Spergel, D. N. et al. *Astrophys. J. Suppl.* **148**, 175–194 (2003).
6. Penton, S. V., Stocke, J. T. & Shull, J. M. *Astrophys. J. Suppl.* **152**, 29–62 (2004).
7. Savage, B. D., Sembach, K. R., Tripp, T. M. & Richter, P. *Astrophys. J.* **564**, 631–649 (2002).
8. Cen, R. & Ostriker, J. P. *Astrophys. J.* **514**, 1–6 (1999).
9. Dav, R. et al. *Astrophys. J.* **552**, 473–483 (2001).
10. NASA, Constellation-X Observatory website
<http://constellation.gsfc.nasa.gov>
11. Space Ultraviolet Observatory *Tracing the Cosmic Web*
<http://xxx.lanl.gov/abs/astro-ph/9907101>

大きかった白亜紀の哺乳類

Living large in the Cretaceous

Anne Weil

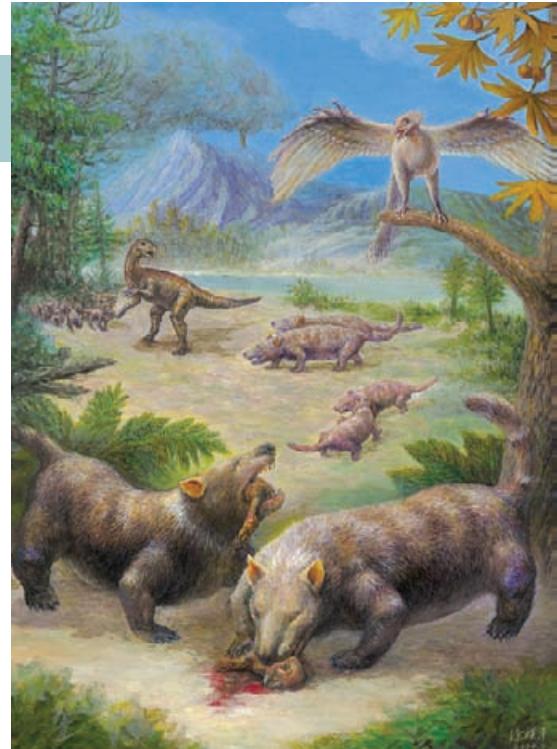
大型で肉食性の哺乳類が白亜紀の地層から見つかったことは、原始的な哺乳類は小型で面白みに欠けるという従来の考え方をゆさぶるものだ。今までの古生物学の考え方はくつがえされるのだろうか。

Nature Vol.433 (116-117)/13 January 2005

哺乳類の進化の3分の2以上はおよそ1億8,000万年前から6,500万年前までの間に起こったが、こうした時期の初期哺乳類はかなり地味な存在だったというのが通説である。中生代の哺乳類はラットほどの大きさの夜行性で、捕食される側の動物として描かれ、白亜紀末の生物大量絶滅によって非鳥類型の恐竜が姿を消すまでは、生態環境の片すみに追いやられて、多様な体型や体サイズに進化することができなかつたとみられてきた。Huたちの報告による2体のほぼ完全な骨格化石の発見¹は刮目に倣し、中生代哺乳類に対する旧来の見方をくつがえすものだ（原著論文はNature 1/13号を参照のこと）。今回見つかった2対はどちらも小型の哺乳類とはいえない。1つは体長が1mを超えており、もう1つは胃のあたりに、ばらばらになった恐竜の子どもの骨がおさまっているように見える。

どちらの骨格化石も、中国東北部にある義県累層の最下層にあたる陸家屯（Lijuatun）層で見つかった。これらの化石は少なくとも白亜紀前期にあたる1億2,800万年前のものである。義県累層で出土する化石の多様性と、驚嘆するほどの良好な保存状態には定評がある。この地層からは羽毛のある恐竜から昆虫まで、科学的に貴重な化石が続々と産出しているのだ²。これらの最新の知見を踏み台にして新たな疑問や推測が今後、古生物学者たちの間から次々と浮上してくるに違いない。

恐竜を食べたこの哺乳類はレペノマムス・ロブストゥス（*Repenomamus robustus*）という大きめの種で、この種が最初に記載報告されたのは1個の頭骨からだった³。今回の新しい化石標本はそれより完全なもので、哺乳類の胃があったと思われる左側の肋骨の下には、関節がはずれてばらばらの状態になったプシッタコサウルスの子ど



プシッタコサウルスの子どもを食べるR.ロブストゥス。後方は、母親に守られるプシッタコサウルスの子どもをねらってつきまとうR.ギガンティクス。（想像図）

Xiaoping Xu / 中国科学院古脊椎动物与人类研究所

もの骨があり、その体長は推定14cmほどである。子どもの恐竜を飲み込んだ哺乳類の体長は0.5mを超え、おそらく体重は4～6kgとされる¹。

しかしレペノマムス・ロブストゥスは、大きさの点では今回新たに発見された近縁種のレペノマムス・ギガンティクス（*Repenomamus gigantorius*）にかなわない。この中生代哺乳類については、Huたち¹が今回初めて記載報告をした。その骨格は片側を向いて丸まっており、ちょうどビヌの寝るときの姿にそっくりである。ギガンティクスは丸まっているなければ、体長に尾まで含めると約105cm、著者たちの見積もりでは体重は約12～14kgだという。どちらのレペノマムス属種も現生哺乳類に比べると脚が短かめだが、姿勢は同サイズの現生四足獣の姿勢と似通っている。体ははずんぐりとして立派な歯があり、骨太なつくりをしていて、タスマニアデビル（*Sarcophilus*）やラーテル（*Mellivora*）を連想させるような点がいくつかある。レペノマムス属はあくまで初期

哺乳類の系統であって、現生につながる子孫はない。レペノマムスは分類上の類縁関係からみると、陸家屯層で見つかった別種の哺乳類ゴビコノドン (*Gobiconodon*)⁴ に非常に近く、義県累層の上方で見つかったずっと小型のジェホロデンス (*Jeholodens*)^{1,5} とはおそらく遠縁にあたる。

R. ロブストゥスが恐竜の子どもを常食にしていたとすれば、R. ギガンティクスは恐竜の成体を追いかけていたのだろうか。これまで陸家屯層で見つかって報告された恐竜²はどれもさほど大きくなく、報告記載された化石標本の多くは頭骨の長さが 10 cm 前後である。R. ギガンティクスは、たとえば同じ堆積層で見つかった恐竜種シノヴェナトル・チャンギイ (*Sinovenator changii*)⁶ の成体よりも体長も体重も大きかった。しかし現存する体重 21.5 kg 未満の肉食哺乳類は多くの場合、自分の体重の半分未満の動物を獲物にしている⁷。もし R. ギガンティクスが現生哺乳類と同じような行動様式だったなら、体重 7 kg 未満の恐竜を捕食していたことになる。実際に今回の新しい R. ロブストゥス標本は、恐竜の子どもを食べていたことを示す証拠となるが、食餌のどれくらいを恐竜（あるいは肉）が占めていたのかは憶測するしかない。多くの現生肉食哺乳類、とりわけ体重が 21.5 kg の境界値を下回る哺乳類は無脊椎動物や植物も食べていて⁷、こうした動物の食餌内容は季節によってかなり変動する。ジェホロデンスなどのレペノマムスに近縁な小型哺乳類は、食虫動物だったと見られている⁵。

中生代の哺乳類はラットほどの大きさだったという通説が流布してはいたが、これが真実ではないことに古生物学者たちは少し前から気づいていた。オーストラリアの白亜紀前期層で出土したコリコドン (*Kollikodon*)⁸ や、北米の白亜紀後期層で出土したスコワルテリア (*Schowalteria*)⁹ およびブボデンス (*Bubodens*)¹⁰ といった大型哺乳類が見つかったからだ。とはいっても、これらの動物の正確な大きさは把握できていない。スコワルテリアは砕けた頭骨の前端部分しか見つかっておらず、コリコドンは 3 本の歯のついた下顎の一部、ブボデンスは歯が 1 本だけしか見つかっていないからである。これらの哺乳類は少なくとも R. ロブストゥスと同じ大きさであり、R. ギガンティクスくらい大型だった可能性もあるが、いかんせん化石標本があまりに乏しくて話が先に進まないのだ。しかし R. ギGANティクスの今回の化石はほぼ完全であり、体高や体長のデータは確実である。

哺乳類の体サイズの進化を説明するために考え出された仮説は、恐竜との関係に注目したものが多い。最もよく耳にする推測は、中生代哺乳類は恐竜からの強い捕食圧を受け、なおかつ生態的ニッチが大型爬虫類によって飽和状態となっていたために、小型のままでいることを



レペノマムス・ロブストゥスの骨格 (IVPP V14155、正基準標本)。左下は、比較用の現生コモンツバメ (*Tupaia glis*) の骨格。

Wei Gao/ 中国科学院古脊椎動物与人类研究所

余儀なくされたとするものだ。陸家屯層で見つかった今回の哺乳類が大型なのは、同時期に生存していた恐竜たちが小型だったためなのだろうか。この疑問は時期尚早かもしれない。この化石堆積層は今も発掘が精力的に進められており、この動物相の全体像がまだつかめていないからだ。だが、今回のレペノマムス属の 2 つの化石によって、推測の域を出ないとはいえ、疑問文の主語と述語が入れ替わることになる。つまり、「哺乳類は、恐竜の進化にどんな影響を及ぼした可能性があるだろうか」と。小型の恐竜は哺乳類から捕食圧を受けたとみていいだろう。実際のところ Xu たちは、小さなシノヴェナトル・チャンギイ（鳥類とごく近い系統の根元部分に位置する）の記載報告⁶にあたって、鳥類系統は小型化する方向へと進化し続けたが、これにごく近縁な恐竜系統は再び大型化した可能性を披露、意外な結果だと結論している。こうした小型恐竜が大型化したり空中を飛ぶようになつたりしたのは、もしかすると肉食のどう猛な哺乳類から逃れるためだったのかもしれない。

デューク大学生物人類学・解剖学科 (米)、Anne Weil

- Hu, Y., Meng, J., Wang, Y. & Li, C. *Nature* **433**, 149–152 (2005).
- Zhou, Z., Barrett, P. M. & Hilton, J. *Nature* **421**, 807–814 (2003).
- Li, J., Wang, Y., Wang, Y. & Li, C. *Chin. Sci. Bull.* **46**, 782–785 (2001).
- Li, C., Wang, Y., Hu, Y. & Meng, J. *Chin. Sci. Bull.* **48**, 1129–1134 (2003).
- Ji, Q., Luo, Z.-X. & Ji, S.-A. *Nature* **398**, 326–330 (1999).
- Xu, X., Norell, M. A., Wang, X.-L., Makovicky, P. J. & Wu, X.-C. *Nature* **415**, 780–784 (2002).
- Carbone, C., Mace, G. M., Roberts, S. C. & Macdonald, D. W. *Nature* **402**, 286–288 (1999).
- Flannery, T. F., Archer, M., Rich, T. H. & Jones, R. *Nature* **377**, 418–420 (1995).
- Fox, R. C. & Naylor, B. G. *Neues Jb. Geol. Paläontol.-Abhandlung* **229**, 393–420 (2003).
- Wilson, R. W. *Dakoterra* **3**, 118–132 (1987).

China steps towards international M&A

国際的なM&Aに踏み出す中国

Nature Biotechnology Vol.23(159)/February 2005
Hepeng Jia(北京)、Sabine Louët(ヨーロッパからの追加レポート担当)

WTOへの加盟を経て、中国は外国企業の国内参入への道を開くべく、法規制を変えてきた。今後バイオ業界での業務提携が増え、技術発展へとつながっていくかもしれない。

インビトロジェン社が中国の同業企業である上海博亞生物技術社(BioAsia)を買収した。これは生命科学分野での外国企業による大きな買収事例としては最初のものである。外国企業による中国での合併買収(M&A)に関して中国の法的枠組みが最近変化したことで、こういった動きが現実のものとなった。ただし、外国のバイオ企業はこれまで、主として製造や一部の研究活動を中国に委託することへの関心はもっていたものの、研究開発機能の買収に関してはまだ機が熟しているとはいえないのが現状だろう。

バイオ研究の装置や試薬を製造しているインビトロジェン社(米国カリフォルニア州カールズバッド)は、塩基配列解読用試薬を製造する上海博亞生物技術社を2004年12月に

800万ドル(約8.4億円)で買収し、これによって中国国内での販売拠点18カ所を獲得した。2004年12月以来、中国では医薬品とバイオ製品について、中国の代理店を通さずに海外企業からの直接販売が可能になった。これは、2001年に実現した中国のWTO加盟がもたらした変化である。上海に拠点を置くインビトロジェン社アジア太平洋地域総支配人のJeff Greenbergは、「外国(多国籍企業)への市場開放によってこのプロセスは全体的に透明性と柔軟性が増したのです」と説明している。Greenbergは今回の買収について、インビトロジェン社が中国市場に参入する上で、合併企業を設立したり、独自資本のみで企業を新設したりするよりも正しい判断だったと確信している。

法律事務所ポール・ヘイスティングス社の上海オフィスに所属する弁護士Tony Chenによれば、今回のインビトロジェン社の動きが可能となったのは、最近、外国企業が中国で投資を行いやすくなるような法改正が打ち出されたことにもよるという。2004年10月に中国政府が打ち出した新たな政策によって、外国からの投資は30日間という短期間で審査されることとなっている。1億ドル(約105億円)未満の投資の場合、かつては中央政府の承認が必要であったが、今後は地方当局の承認のみですむ。また審査されるのは、環境や国家安全保障上の問題がないかどうかのみとなる。

2005年初頭に改訂された『外商投資産業指導目録』のなかで、中国は外国からの投資を活性化すべき分

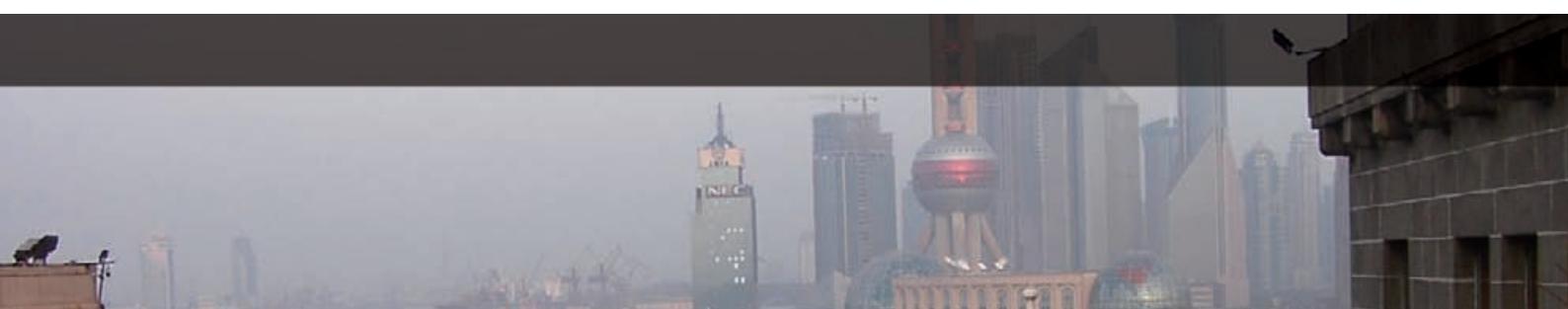
ヨーロッパのバイオ企業が進める研究開発業務提携

バイオ研究開発では中国企業との提携例はまだほとんど見られないが、特に臨床試験分野では中国の研究機能への関心が高まっている。パリを本拠地とする薬物探索企業ハイブリジェニクス社が2004年5月、上海薬物研究所との共同研究で同研究所が収集している漢方薬の植物エキスの選別を行うことに合意したのはその一例である。

また、昨年モロゲン社(ベルリン)は、再生医療の美宝国際グループ(北京)などと提携し、同グループが提供する免疫刺激技術および臨床試験ノウハウと、自社がもつ細胞を利用したワクチン技術とを組み合わせてがんワクチンを開発するための共同研究を行っていくことを発表した。モロゲン社が契約した提

携先には北京の斯泰康社や中山大学がんセンター(広州)から分かれたダブルバイオプロダクツ社もあり、各社からは主として臨床試験ノウハウが提供される。モロゲン社最高財務責任者(CFO)のMatthias Reichelは、斯泰康社のような提携先を選んだことについて、「臨床試験の経験以外にも、彼らは我々と補完し合うようなノウハウをもっているためです」と説明している。遺伝子治療を取り扱う深圳市賽百諾遺伝子技術社会長兼最高経営責任者(CEO)のZhaozui Pengは、「外国のバイオ企業は自社にない技術をもつ中国企業との提携事業に投資したがってきています」と断言している。

SL



野としてバイオの研究、開発および製造を挙げている。これによってバイオ業界の企業は法人所得税軽減措置を受けることができ、税率は国内企業が納税する33%に対して平均でおよそ半分となる。このほか、外国企業が中国の銀行から融資を受けることができるという優遇政策もある。また、外国の研究開発施設は無関税で設備を輸入することができ、研究への再投資を行うならば収入は非課税となる。インビトロジエン社が買収を行ったのは、中国の研究施設の利用というよりは中国市場への参入を目的としたものであるが、試薬の分野以外のバイオ企業はこの新たな研究開発優遇措置の恩恵にあずかるものとみられる。上海睿星遺伝子技術社(Shanghai Genomics)執行副社長のJun Wuは、「私の知る限りで

も、米国の主要なバイオ企業には研究委託から合弁設立に至るまで中国にビジネスパートナーを求めているところが多数あります」と話す。たとえば、タノックス社やジェンザイム社、ジェネンテック社などの米国企業が中国でパートナーを探しており、ハイブリジェニクス社やモロゲン社などヨーロッパの競合企業はすでに大規模な共同研究開発が合意に至っている(上記コラム参照)。Wuはさらに、「(外国企業が)中国に来るのは、新興の巨大市場が目当てであるばかりでなく、国内に現れはじめた革新的な施設のためでもある」とも語っている。

とはいって、中国企業の研究開発施設を得るために外国企業が買収を図るという状況にはまだ至っていない。外国企業が前向きにならないの

は、中国の知的財産権保護に関して懸念があるとともに、中国国内でのビジネスチャンスを認識していないためである。しかしそもそも、復旦大学国際金融学科(上海)教授のLuyang Zhangによれば、中国の金融システムはまだ十分に強固ではなく、外国企業はおろか国内企業によるバイオ新薬の研究開発さえ支援しきれないのが実情で、外国企業が消極的であることの原因となっているという。

NASA budget kills Hubble telescope



ハッブル 宇宙望遠鏡の行くえ

news050207-4/8 February 2005

Mark Peplow

NASAは、有人宇宙探査を重視する姿勢を明確にした。

2月7日に米国航空宇宙局(NASA)の2006年度(05年10月~06年9月)予算が発表され、ハッブル宇宙望遠鏡は廃棄されることとなった。

この望遠鏡の古くなったバッテリーやジャイロスコープ(姿勢制御装置)を取り替えるための重要な改修ミッションには数億ドルがかかる見込みだったのだが、まったく予算化されなかった。その代わりに9,300万ドル(約98億円)が計上され、大部分がハッブル望遠鏡を周回軌道から離脱させるために使われる。NASAのエンジニアは、この望遠鏡を地球上で安全に回収する方法に関するレポートを3月中に提出する予定になっている。

来年度予算はジョージ・W・ブッシュ大統領の有人宇宙探査ミッションに対するコミットメントを反映しており、これによりNASAの活動の重点は月と火星に移った、とNASAのショーン・オキーフ長官は語っている。

ハッブル望遠鏡の支持者たちは、今回の決定に落胆している。「ブッシュ大統領が、今回の予算にハッブルの寿命を延ばす改修ミッションを加えなかったことにとても失望しています」。こう語るのはBarbara Mikulski上院議員(民主党・メリーランド州選出)だ。

「今年の上院議会では、これを争点とし、2008年度予算までにハッ

ブルの改修ミッションを予算化したいと考えています」とも言う。しかし、ハッブル支持者に残された時間は少なくなってきた。「議会は、ハッブル問題の早い決着を迫られています。おそらく3月末がタイムリミットだと思います」。こう語るのは、下院科学委員会の委員長を務めるSherwood Boehlert下院議員(共和党・ニューヨーク州選出)だ。

これまでハッブル望遠鏡が廃棄されるとの噂は広がっていたが、今回の発表は、それを確認する形になった。「できるものならばハッブルを守りたい。でも、この問題はNASAの予算全体の中で決着させなければならないのです」とBoehlert下院議

NASA

員は説明する。

修理不能の時が近づく

ハッブル望遠鏡については、2004年に5回目の改修ミッションが行われる予定だった。ところが宇宙シャトル「コロンビア」の爆発事故が2003年2月1日に起こり、改修ミッションのためのシャトル機は地上待機となってしまった。このため改修は行われず、ハッブルは徐々に傷んでいった。

2004年12月8日、米国科学アカデミー全米研究評議会の委員会は、NASAが可及的速やかにハッブル望遠鏡に対する有人の改修ミッションを実施すべきだとする勧告を行い、ロボットによる改修ミッションについては、実施が難しいとして否定した。しかしオキーフ長官は、コロンビア事故調査委員会によって提案された安全規則の厳格化により、有人の改修ミッションはリスクが高すぎるミッションになった、という主張を繰り返した。「科学的根拠に基づいて判断する限り、シャトルを使った改修ミッションを行うべきだという勧告はできない（オキーフ長官）」

実は、NASAでは、ソフトウェアのエンジニアがハッブル望遠鏡による星の観測を少しだけ延長できるような戦略を立てていた。「2台のジャ

イロスコープでハッブルの運用を続けることが可能だと思う」。こう語るのは、NASAの科学ミッション部門の副長官 Al Diaz だ。現在のところ、ハッブル望遠鏡では4台のジャイロスコープが正常に機能しており、望遠鏡を正しい方向に固定しているが、この Diaz 副長官の発言は、4台中の2台をスペアとして置いておくことを意味している。「これで、ハッブルの寿命を1年延ばせるかもしれない」と Diaz 副長官は言う。

ずっとましな状況

それでも NASA には、多くの政府部局よりも手厚く予算が配分されており、エネルギー研究や防衛基礎研究のための予算もついた。NASAは、昨年実績よりも2.4%多い165億ドル（約1兆7300億円）の予算を要求した。そのうちで最も大きな割合を占めるのがシャトルで、45億ドル（約4700億円）だ。シャトル打上げは、今年の5月か6月に再開される予定になっている。

2010年に完成予定の国際宇宙ステーションには19億ドル（約2000億円）の予算がついた。NASAとしては、国際宇宙ステーションを使い、激務となっている有人ミッションが乗組員の健康に与える影響についての研究を進めたいと考えている。

2006年予算では、ジェームス・ウェップ宇宙望遠鏡に昨年比19%増の3億7200万ドル（約390億円）が計上された。この宇宙望遠鏡は、ハッブルの後継機になると考えられており、2011年8月の打ち上げが予定されている。

しかし原子力で推進される宇宙船「ジュピター・アイシー・ムーンズ・オービター」の計画は事実上中止となった。NASA高官は、この計画は高望みであり、2015年の打上げ予定に間に合わないと語った。

オキーフ長官は、ハッブルのためには苦境に置かれた末、2004年12月13日に長官を正式に辞任した。同長官は、まもなく退官し、2月21日にルイジアナ州立大学（同州バトンルージュ）の学長に就任する予定になっている。「できるだけ速やかに学長の職に就きたい」と彼は語っている。■

（記事内容は2月8日オンライン掲載時のものによる）

ワクチンと薬剤の併用で結核の治癒を目指す

Vaccine helps to banish tuberculosis

news050131-12/3 February 2005

Jessica Ebert



このほど発表されたマウスによる実験結果によって、薬剤耐性菌株の撲滅への希望が生まれている。

結核菌のDNAが含まれた結核ワクチンを他の薬剤とともにマウスに投与したところ結核が治癒した、と韓国の研究者グループが報告した。薬剤のみに頼る現在の方法よりも迅速かつ効果的に作用する治療法となるのではないか、という希望が生まれている。

*Mycobacterium tuberculosis*という細菌を原因とする結核によって、世界中で年間およそ200万人が命を落としている。単独の感染症による死者数としては最大である。結核の症例数は、薬剤耐性菌株とHIV感染症の出現によって、1985年から増え始めた。AIDS患者の死亡例の13%は結核が原因である。

薬剤耐性菌株の出現は、投与された薬剤を途中でやめる患者が多いことが原因の1つに挙げられる。結核は、抗生物質の併用投与によって治療できるが、治療期間は最長12カ月を要する。もし患者が薬をやめるのが早すぎると、結核が再発することがある。

「現在の化学療法は、必要とされるレベルに達していない」。こう語るのは、国立医学研究所（英国ロンドン）で免疫学を研究するDouglas Lowrieだ。

必要とされているのは、比較的短期間に体内から*M. tuberculosis*を一掃し、新たな感染源による結核感染を防止できるような治療法なのだ。浦項科学技術大学（韓国）のYoungchul Sungたちの研究グループは、マウスを使った実験で、まさにこのような治療法を発見し、その研究結果を*Gene Therapy*に報告した¹。

結核菌にダブルパンチ

Sungたちは、2種類の結核菌遺伝子を含む実験的なDNAワクチンを作製した。結核にかかったマウスに標準的な薬物治療を行う実験で、一部のマウスにはその実験的ワクチンを併用した。

実験的ワクチンを併用せず、薬物治療だけが行われたマウスの場合、

治療が終了すると細菌の数は増えた。ワクチンを併用したマウスの場合は、このような再発は見られなかつた。また、ワクチンを併用した治療では免疫応答が生じ、結核菌の再感染率は有意な程度、減少した。

ワクチンと薬剤を併用した治療法が、結核菌の消失を促進し、また再感染を予防する効果もあることを明らかにした研究は今回が初めてだとLowrieは語っている。

これはマウスを使った実験結果だが、この併用療法は「予想以上に早く臨床現場に行き渡るかもしれない」とLowrieは言う。多剤耐性の細菌株の脅威が高まっているため、有望な治療法については臨床試験を実施したいという動きがあるからだ。 ■

参考文献

1. Ha S.-J., et al. *Gene Therapy* published online (2005). doi:10.1038/sj.gt.3302465

「H な写真のためなら我慢するよ」

Monkeys pay for sexy pics

アカゲザルは、もらえるジュースを減らされたとしても、群れのリーダーの顔やメスのお尻の画像を見たがる。

Michael Hopkin news050131-5/1 February 2005

サルにとっても、見るもの価値には大小があるようだ。このほど米国で発表された研究によれば、アカゲザルは、対価を支払ってでも、自分の仲間内で力のある者や性的関心を寄せる者の画像を見ようとすることが明らかになった。

この発見は、デューク大学(米国ノースカロライナ州ダーラム)の神経生物学者たちの共同研究によるもので、人間が新聞を読むために金を出すように、サルも社会生活にとって有益な情報を得るために犠牲を払うという学説を裏づけている。

今回の実験で、オスのアカゲザルは、自分が所属する社会の中で支配的な地位にあるアカゲザルの顔やメスザルの後四半部(後脚と臀部)の画像を見るためにフルーツジュースという「対価」を支払った。野生のサルは、群れのリーダーの動向に目を配り、性的受容性のあるメスザルに目をつけることで自らの適応度を高めている。

サクランボジュースという対価

今回の研究では、捕獲して飼育しておいたオスのアカゲザルに次の2つの選択肢から1つを選ばせる実験が行われた。選択肢Aでは、サクランボのジュースを1杯飲める。選択肢Bでは、同じ群れの他のアカゲザルたちのさまざまな様子の画像を一枚だけ、0.5秒あまり見られるが、飲めるジュースの量は選択肢Aよりも多くなったり少くなったりする。

このようにジュースの量を変えることで、アカゲザルがそれぞれの画像をどの程度評価しているのかを調

べようとしたのだ。「アカゲザルは基本的にジュースにうるさく、量のちがいにとても敏感になっていた」と語るのは研究チームの一員である Robert Deaner だ。

Current Biology に掲載された Deanerたちの研究論文¹によれば、アカゲザルは、力の強いオスザルの顔やメスザルの会陰部を見るためならばジュースの量が減ることを受け入れた。しかし自分よりも地位の低いオスザルを見つめさせるには、ジュースの量を増やしてサルのご機嫌をとる必要があった。

社会情報を得ることには利点もあるがコストも伴う、と Deaner は説明する。「サルが別のサルを長い間じっと見つめていると、相手のサルから攻撃を受ける危険が生じる」。この点は人間も同じで、見ず知らずの人にじっと見つめられると、居心地が悪くなることを考えてほしい。

だから、この実験で一番ジュースの量を減らされてもサルが見たがった画像がメスザルのお尻だったのも当然のことと言える。「ほぼすべてのオスサルは、メスザルの後四半部の画像を見るためにジュースを我慢していた。この画像の価値は本当に高かった」と Deaner は語る。

実際に顔をつき合わせても同じ行動パターン

今回の研究結果はサルの世界でのポルノグラフィーではなく、むしろ性的受容性の評価と関係している。野生の世界では、性的受容性は、メスの行動や匂いとも関係している。今回の実験では、アカゲザルの側に必

ずしも画像を見ているという認識があるとは限らないため、実験時の行動パターンは、仲間と実際に顔をつき合わせている時にとると考えられる行動パターンと一致する、と Deaner は説明する。

動物が、さまざまな社会的交流をどのように比較評量しているのかを学べば、人間の自閉症の解明に役立つかもしれない。こう考えているのが Deaner の同僚である Michael Platt だ。自閉症の人は、他人を見る意欲が湧かず、実際に見ることがあっても、そこから情動情報を得るのが上手ではない。

さらに、今回の研究は、人間がゴシップ雑誌に心を引かれる理由を解説する上でも役立つかもしれない、と Deaner は言う。セクシーな人々や影響力の大きな人々のことを定期的にチェックしたいという衝動は、人類が部族単位で生活していた時代に生じた可能性がある。その頃は、部族の有力者の行動が部族の構成員の生活を左右していたと推測される。Deaner の言った言葉がある。「私たちの生活がハリウッドによって左右されるわけではないのだが、ハリウッドについて知りていれば、ある程度の文化資本が得られると今でも思われているのだ」

参考文献

1. Deaner M. O., Khera A. V. & Platt M. L. Curr. Biol. published online http://www.currentbiology.com/content/article/abstract?uid=PIIS0960982205001041 (2005).

雄か？雌か？ 性分化の調節機構を 解明する

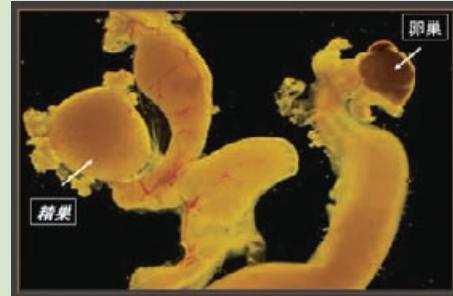
諸橋憲一郎 自然科学研究機構 基礎生物学研究所
発生生物学領域 性差生物学研究部門教授

この世にはなぜ雄と雌がいるのか、両者はなぜ強く惹かれ合うのか？現代の生物学をもってしても謎の多いこのテーマに、挑戦しつづける研究者がいる。自然科学研究機構 基礎生物学研究所の諸橋憲一郎教授だ。ほ乳類の性決定、つまり「雄か雌かを決定するメカニズム」を、生殖腺（精巣と卵巣）に着目して解析してきた。

もともと、ステロイドホルモン産生組織である副腎皮質の遺伝子発現を研究していた。その過程で、約7年前に、副腎皮質と生殖腺が同一の細胞集団から発生することを突き止めた。「そのあたりから、生殖腺を意識し始めた。副腎皮質と生殖腺はともにステロイドホルモンを產生するという共通点をもつにもかかわらず、生殖腺だけが性に依存して大きく形態を変えていくことに興味を覚えた」。そのときに同定した Ad4BP/SF-1 遺伝子のほか、M33、Wnt といった遺伝子をノックアウトしたマウスの解析や、これらの遺伝子の機能的な相互の関連を調べることで、性分化の調節機構の解析をはじめた。

性分化のカスケードでは、まず生殖腺の性分化が進み、その個体で作られる性ホルモンの種類（男性ホルモンか女性ホルモンか）が決定される。その後、性ホルモンの影響を受けて、さまざまな組織に形態と機能の点で性差がもたらされる。

諸橋教授は「雄性化シグナルと雌性化シグナルのバランスが、性を決定する」とみる。哺乳類では性染色体が XY なら雄、XX なら雌となる。ところが、XY 染色体をもちながら（つまり本来は雄でありながら）、卵巣をもつ疾患や、その逆を示す疾患がある。「ここで重要なのは、同じ遺伝子の異常でも、その性転換の程度が、個人によって異なることがある点。性の中途半端な分化が存在していることになる」。



M33 遺伝子を破壊したマウスの生殖腺の一例。同一個体でありながら、生殖腺の片方が精巣に、もう一方が卵巣に分化している

一方で、異常をもつ遺伝子が違っても、性転換の程度が異なることが明らかになっている。このことは、性染色体が性分化に不可欠なのはまちがいないとしても、正常な性分化には、ほかにも多くの遺伝子が関与することを示している。「こうした遺伝子は、その発現量に性差があるものの、雌雄ともに発現している場合が多い。つまり、性の最終的な決定は何段階かのステップからなり、それぞれのステップの異常にによって、中途半端な性転換が誘導されることもあるといえる」。

2004年からは、文部科学省科学研究費特定領域研究として「性分化機構の解明」がスタートした。諸橋教授は、その領域代表を務める。「動物種によって性決定のメカニズムが異なるが、私たちの研究では、そのしくみも解明したい」。

特定領域研究「性分化機構の解明」では、若手研究者の参加を期待している。「私たちが対象としている研究課題の次の課題を見据えるような若手に魅力を感じる」と話す諸橋教授。脳の性分化もこれから的重要な研究テーマになるとを考えている。走り始めたプロジェクトを中心に、日本の性分化関連の研究が大きく進展することになるだろう。

西村尚子 / サイエンスライター