

nature DIGEST

日本語編集版
SEPTEMBER 2005
VOL.02, NO.9

9

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



動き出した ITER 計画

動きだした ITER 計画

EDITORIAL

- 02 今は結束する時
03 言葉ではなく行動を

HIGHLIGHTS

- 04 vol. 436 no. 7048, 7049, 7050, 7051

MUSE@NATURE.COM

- 06 サルにかかわる大問題

NEWS@NATURE.COM

- 07 冥王星の彼方に
08 量子コンピューターの実現に向けて
09 炭素年代測定法で細胞の年齢を知る
10 中国で広がる謎の病気

NEWS FEATURE

- 11 動きだした ITER 計画

Geoff Brumfiel

- 16 マレーシア発バイオプロジェクトのゆくえ

David Cyranoski

JAPAN NEWS FEATURE

- 20 日本の X 線天文学は試練を乗り越えられるか
北原逸美

BRIEF COMMUNICATIONS

- 22 文書やパッケージの「指紋」

James D. R. Buchanan *et al.*

NEWS & VIEWS

- 24 地球内部からの「幽霊」素粒子

William F. McDonough

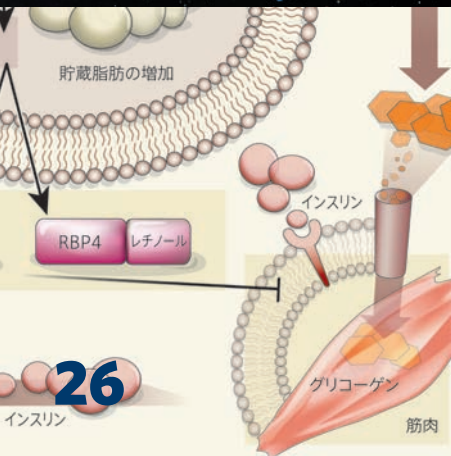
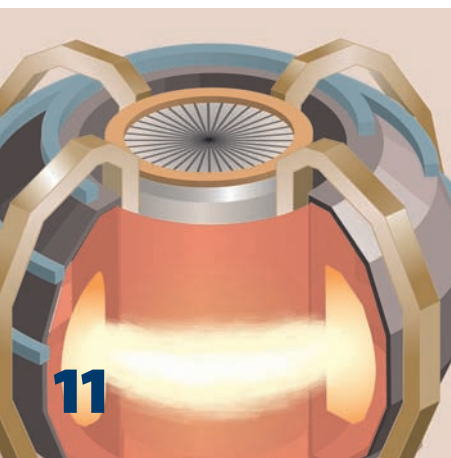
- 26 A はアディポカインの A

Deborah M. Muoio & Christopher B. Newgard

表紙写真提供: CEA

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

ネイチャー・ジャパン株式会社
〒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



nature
DIGEST

09

volume 2 no.09
September
www.naturejpn.com/digest

今は結束する時

All together now

Nature Vol. 436 (303) / 21 July 2005

論説

国際熱核融合実験炉はフランスに建設されることが決まったが、同計画に参加する国々の間に、さほどのわだかまりは生じなかった。今、参加各国は、このプロジェクトのもとに結束しなければならない。

これで、ようやく国際熱核融合実験炉 (ITER) が建設されるようだ。この国際的な核融合エネルギー実験計画の歩みは不確かで、そこに核融合研究自体の歩みが反映されているように思われるときすらあったが、このほど ITER 計画の参加国は、来年から ITER の建設をフランスではじめることに原則合意した。

ITER のホスト国の技術力に疑問をさしはさむ者はいないであろう。フランスの核技術にはすばらしい伝統があり、ITER 計画実現への強固な意志と欧州連合 (EU) 各国の強力な支持もある。ITER の設計に関しては、技術的な問題が若干ある (Nature 2005 年 7 月 21 日号 p.318 参照) が、同計画をスタートさせる準備が整ったことを核融合研究者のほとんどは好意的に受けとめている。

ただし ITER 計画が実際に滑りだすまでには、重要ないくつかの詳細部分を解決しておく必要がある。たとえば、同計画のための資金確保の問題がある。ほとんどの参加国が、まだ用意できていない。それに、資金のかかなりの部分は、既存の核融合研究プロジェクトの資金を削って、捻出される可能性が高い。おおまかにいえば、EU が建設費の半分以上を支出し、残りの 5 か国 (日本、米国、ロシア、中国、韓国) が、10% ずつ負担することになっている。また、日本で建設予定の第 2 施設の中身も決まっていない。

一部の参加国では、ITER が国内の重要研究プロジェクトと打ち合っている。たとえば米国では、ブッシュ政権が、ITER の年間建設費 5000 万ドル (約 55 億円) を既存の磁気核融合研究予算 2 億 3000 万ドル (約 250 億円) でまかなおうとした。当然、下院科学委員会の Sherwood Boehlert 委員長は、このような提案は受け入れられないと警告した。もしブッシュ政権が、エネルギー省が最優先施設に選定した ITER を心から支持するのなら、来年 2 月に提出される 2006 年度予算案には、ITER 関連予算が別途、計上されるだろう。

米国議会では、一部の議員が、国際的なプロジェクト自体 (とくにフランスで行われるプロジェクト) に対する支援を疑問視することはまちがいない。それでも米国の科学者が ITER プロジェクトのもとに結束すれば、少しは好意をもって他国を扱いたいという願望が議会の大勢となるだろう。かつて米国では、

このようにして、スイスの大型陽子陽子衝突型加速器 (LHC) に対して、今回と金額的に近い長期的な拠出金を予算化している。

第二の問題は、建設が予定されている支援施設のタイプの決定と資金確保である。この第 2 プロジェクトには、材料試験センター、データ解析のための計算センターと日本の核融合実験用 JT-60 の後継装置の建設が含まれる可能性が高い。日本は、同国内での ITER 建設を断念する見返りとして、日本が第 2 プロジェクトを主導することについての EU の支持を取りつけた。日本は、このプロジェクトのリーダーに最も適任で、設備や知識も最も備わっている。ITER 建設では主導権を取れなかったが、第 2 プロジェクトでは真のリーダーとして進み出るべきである。他の参加国は、日本がこの役割を果たすことを支持すべきである。

このプロジェクトの中で、最も高額であり、核融合エネルギーに向けた国際的な研究の進展の観点から最も有益なのが、材料試験に使用される中性子源であろう。実用核融合炉での使用が考えられているステンレス鋼や他の合金の結晶構造は、中性子の衝撃によって急速に劣化すると予測されている。これまでは、適切な中性子束を提供できる試験施設がなかったため、実用核融合炉の全使用期間にわたって中性子衝撃に耐えられるような金属やセラミックスが見つかっていない。磁気核融合研究を前進させるためには、そのような試験施設が ITER とともに必要なのである。

しかし研究の進展は、核融合の推進派が期待するほど速いペースになっていない。とはいっても、この点には、ニワトリが先か卵が先かという側面があった。すなわち、磁気核融合研究に対する資金提供は、最も必要とされていた時期に減額されていたのだ。反対派は、次のような冗談をいう。核融合エネルギーは、50 年先の技術といわれ続けてきたが、これからもずっと 50 年先の技術だ、と。核融合技術を実現させるためには、懐疑的な立場の人々に、核融合のユニークで無限に近い潜在力を理解させて、懐疑的な姿勢が正しいのかどうかを考えさせる必要があるだろう。核融合の潜在能力を疑うのなら、一度、早起きして、日の出を拝んでみたらどうだろうか。

言葉ではなく行動を

Action, not words

Nature Vol. 436 (151)/14 July 2005

論説

女性研究者の地位と待遇について現状を変える必要のあることが、日本で認識されはじめています。しかし、この課題に取りくむ確固たる行動はまだみられない。

日本の科学界で活躍する女性の数が少なく、とくに上級職において、その傾向が著しいことは、けっして昨日今日わかったことではない。それでも、この問題に関する最近の統計には、意気消沈させられる。5月に政府がまとめた男女共同参画白書によれば、日本の現役研究者に占める女性の割合は12%にも満たない。これは、先進工業国の中で最も低い。さらに衝撃的なのは、大学の理学系教授の場合で、女性の割合は4%を下回っている。

ただ、この問題については、ようやく本来あるべき認識が得られてきたことを示す徴候が若干だがある。たとえば、このはじめの統計が白書で発表されたことをきっかけに、この問題を気にとめてこなかったともいえる日本のマスコミが、批判的な記事を次々と発表するようになったのだ。

政府機関も、この問題を公に認めるようになり、是正を目指して目標を設定している。官界と学界の接点である日本学術会議は、去る2000年に、210名の会員に占める女性の割合を2010年までに10%に増やすと発表した。その発表までは、女性の割合が1%前後で低迷していたが、2000年中に3%をこえ、2003年には6%に増えた。

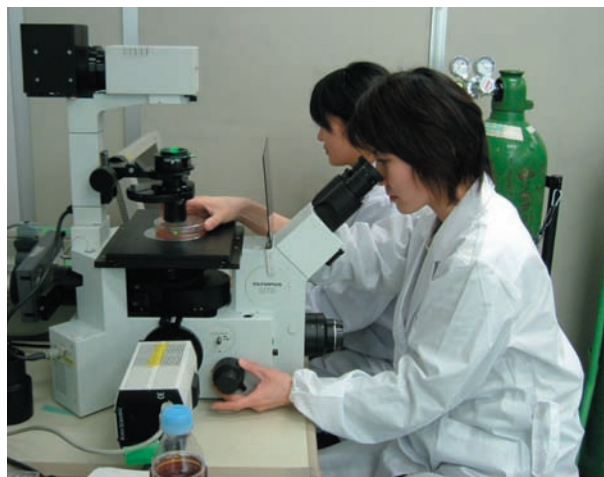
一方、内閣府の男女共同参画審議会は、2020年までに社会のあらゆる分野において「指導的地位」（ここには主任研究員が含まれる）を占める女性の割合を30%とする目標を立てた。また、来年は、男女共同参画基本計画の次期5か年計画が策定されるが、その際には、科学における女性の貢献が、12の「優先課題」の1つに加えられることになっている。政府のトップレベルで科学技術政策を策定している総合科学技術会議も行動をとることを約束した。「女性研究者の小さな声に耳が傾けられはじめた」と男女共同参画に取りくむ当局者のひとりという。

このような公的活動は、いずれも女性を科学の世界に引き寄せる力として作用しはじめるかもしれない。しかし、そうなたとしても、女性研究者を低い地位に甘んじさせ、生産的で独立したキャリアの構築を妨げている現状を是正する取りくみは、ほとんどなされていない。

たとえば、若手の研究者は、通常、研究機関から一定期間支給される助成金に頼っているが、この助成金制度には育児休業

に対する配慮がない。また、大学やその他の組織内の研究室でも育児に対応した措置が、ほとんど用意されていない。差別の事実を申し立てても、利用しやすく実効性のある調査機関すらない。

8月の来年度予算概算要求に向けた準備が進められている今こそ、文部科学省、大学や諸研究機関は、これまでの立派な言葉を行動に移すべきである。秋には、総合科学技術会議が、これらの概算要求を審査する。その際には、それぞれの審査対象機関が、日本での男女共同参画の諸目標を達成するために迅速な行動をとっているかどうかを慎重に考慮すべきである。この問題について、行動せずにリップサービスだけをする政府機関や研究機関に対しては、行動しないと代償がともなうことを認識させる必要がある。



151

日本の現役女性研究者は全体の12%にも満たない。研究所には託児所などの施設はほとんど備わっていない。また、差別待遇の申し立てを調査する効果的な体制も欠いている。

原子間を電子が跳躍するのにかかる時間 Hopping electrons clocked

電子が原子から原子に跳躍（ホッピング）するのにどのくらいの時間がかかるのだろうか。今週号に発表された研究によれば、約 320 アト秒 (320×10^{-18} 秒) となるらしい。

W Wurth たちは X 線パルスを使って、電子が硫黄原子からルテニウム金属表面へ移動する様子を観察した。これは今まで観察された中で最も高速な過程の 1 つである。また、この実験により電子がその移動中にとる経路も明らかになった。

Wurth たちは、偏光 X 線を使えば異なるスピン状態にある電子を識別できると考えている。そうだとすれば、この X 線が物質中を通る電子の運動にどのように影響するかも観察できるかもしれない。こうした方法での電子の動きの解明は、単一電子のスピン状態に情報を蓄積する、「スピントロニクス」として知られる将来の計算方法を開発する上で非常に重要である。また、電子跳躍は光合成など多数の生物学的過程でも重要な問題である。

21 July 2005 Vol.436/Issue 7049

lettters p.373 参照

首の進化： 脊椎動物の進化に関する事例研究 NECK AND NECK:

A case study in vertebrate evolution

初期の脊椎動物の頸部は、側面を鰭（ひれ）が固める可動性のない骨の架橋だった。この単純な構造がどうやって、初期の有頸魚類で頭部と肩を連結する可動性の筋肉系となったのかは、胚発生から進化を説明しようとする「エボデボ」研究分野で最も関心を集めている問題の 1 つである。今回、新しい発生運命マッピング技術を使って、トランスジェニックマウスで肩帯部分の起源が単一細胞レベルで追跡された。神経冠（表紙の緑色）と中胚葉（赤色）に起源をもつ幹細胞を追跡したところ、骨格構造とは一致しないが筋-骨格の接着足場とは一致する「見えない」境界線が見つかった。これらの足場のパターンは、最も原始的な有頸類に近縁な *Eastmanosteus* という化石魚類（下の画像）から現在の哺乳類（上の画像）まで 4 億年もの間保存されてきた。

21 July 2005 Vol.436/Issue 7049

articles p. 347 参照



動物でも種間交雑で新種が生まれる Hybridization throws up new animal species

種の動物が交雑してできた雑種が新しい生息環境への乗り換えによって別個の新種へ進化できることを示す初めての証拠が見つかった。動物で新しい種が生まれる（種分化という）場合、1 つの種が 2 つの種に分かれる仕組みのほうが一般的だが、今回の発見で、2 つの動物種から 1 つの動物種が生じるような進化が起こりうるということが実証された。

植物では種間交雑によって新種が生まれることがわかっているが、同じことが動物でも起こりうるかどうかについては専門家の間でも疑問視されていた。たいていの場合、雑種の子孫は親である 2 つの種それぞれの純粋種系統に比べて生存能力や繁殖能力がずっと劣るからである。したがって雑種形成による種分化が起こるには、生じた雑種集団が親集団から生殖的に隔離される必要がある。

この雑種形成による種分化がミバエ科の仲間で起こったことを、D Schwarz たちが報告している。米国北東部では、寄生する相手を最近になって外来のスイカズラ属植物に乗り換えたミバエがいた。北米にスイカズラ属 (*Lonicera*) 植物が侵入したのは、わずか過去 250 年の間のことだとみられている。これらの侵入植物は、*Rhagoletis pomonella* と呼ばれるミバエ種群の中のある一群に寄生されるようになった。この一群は雑種からなり、最初の創始者集団となって遺伝的に別個の種になる道を独力で歩いたのである。Schwarz たちは、このミバエ集団を寄生する植物にちなんで「スイカズラミバエ」 (*Lonicera fly*) と名づけた。

28 July 2005 Vol.436/Issue 7050

letters p.546 参照

RNAi によるスクリーニングで見つかったシナプスのタンパク質

RNAi screening pinpoints synaptic proteins

ニューロンとニューロンの間にあるシナプスで機能するタンパク質を体系的に同定しようという試みはずっと以前から行われてきたが、今回 RNA 干渉 (RNAi) を応用することで、細胞間シグナルの伝達にかかわるタンパク質についてこれまでに大量の情報をようやく得ることができた。J Kaplan たちは RNAi を使うスクリーニングによって、線虫 (*Caenorhabditis elegans*) の神経筋接合部の機能あるいは発生にかかわる 185 個の遺伝子を同定した。そのうち 132 個は、このような役割を持つ遺伝子だとはこれまで考えられていなかった。

これとは別に G Ruvkun たちが、網膜芽細胞腫経路の遺伝子が線虫の RNAi を負に調節するという予想外の発見を報告している。この知見によって Ruvkun たちは、網膜芽細胞腫経路や RNAi 経路の複数の遺伝子に変異のある線虫を作出した。このような多重変異があるために、この線虫では RNAi の効率がよくなり、RNAi を用いるスクリーニングなどでより便利に使える。Kaplan たちが、ニューロンのシグナル伝達をこれほど詳しく調べられたのは、遺伝子操作したこれらの線虫を使ったからである。

「今回の研究によって、この分野の今後の実験水準が高まるだろう。今回の研究は、スクリーニングによって遺伝子のリストを作ったというだけでなく、遺伝学と分子生物学、それにデータ解析の考え抜かれた協力の成果といえる」と、C Bargmann が News and Views で述べている。

28 July 2005 Vol.436/Issue 7050

articles p.510, letters p.593, N&V p.473 参照

地球の力：地球ニュートリノから明らかになる地球内部

FARTHLY POWERS:

Geoneutrinos reveal Earth's sinner secrets

KamLAND は、日本アルプス山中にある神岡鉱山の地下 1km に設置された実験装置で、当初は原子炉で生成される反ニュートリノを検出するために設計された。しかし地球内部の放射性元素も地球ニュートリノと呼ばれる反ニュートリノを放出しており、KamLAND の検出感度であればこれらも十分捉えられるはずである。そして、まさしくその粒子が検出された。ウラン 238 やトリウム 232 の崩壊に典型的な特徴を示す反ニュートリノが、これまでに 20 個程度検出されている。この成果は、地球物理学の新時代の幕開けとなるものだ。地球ニュートリノを使えば、放射壊変で放出される地熱の量が確定できるばかりでなく、地球内部の三次元画像も作れそう。表紙に示されている左側の半球は、地表や地下のさまざまな場所から KamLAND にやってくるニュートリノの割合を示している。

28 July 2005 Vol.436/Issue 7050

articles p. 499, N&V p.467 参照



癌の抑制で細胞が停止状態に**Cancer suppression puts cells under arrest**

細胞の老化とは成長を停止させるプログラムで、哺乳類細胞のあらかじめ長さの定められた一生を終わらせ、そうすることで細胞の無限の増殖を防ぐと考えられている。癌の抑制とも関連があるため、この細胞の老化には大きな関心が集まっている。今週号に掲載されている4編の論文では、細胞の老化が*in vivo*で実際に誘導され、癌を引き起こす遺伝子にブレーキをかけることが示された。

C Schmitt のグループは、骨髄の血液形成細胞で癌遺伝子 *Ras* が活性化されているマウスモデルを使って、細胞の老化がリンパ腫の発生を阻止することを明らかにした。この研究は、腫瘍の発生過程の解明だけでなく、腫瘍の治療にも重要な意味をもつと考えられる。

P P Pandolfi たちは、老化が癌抑制因子 p53 の力を借りて、マウスの前立腺癌の発生を防ぐ仕組みを解明した。また、D Peeper たちのグループは、母斑が長年にわたって良性に保たれるのは細胞周期の停止のためで、それがないと悪性黒色腫に進行することを発見した。

さらに M Serrano たちは Brief Communications で、前癌状態にこのような細胞の成長停止がみられることを明らかにし、細胞の老化に関連する新しいマーカーを同定している。「この研究で待望の老化マーカーが見つかり、この重要な癌抑制過程の分子基盤が解明された。」と N Sharpless と R DePinho が News and Views で述べている。

4 August 2005 Vol.436/Issue 7051

brief communications p.642, articles p.660, letters p.720, 725, N&V p.636 参照

地球の大気が月で見つかった**Earth 'air' found on Moon**

月には地球大気に起源をもつ物質が埋まっていると、今週号で小嶋稔たちが報告している。月の表層砂中に窒素が過剰に見られることは、地球と月がともに形成された直後、そして地球に磁場が出現する前に、窒素が地球から散逸して月に流入したとすると説明できるようだ。

塵に富んだ月の表面に含まれる窒素は、その起源が長い間謎とされてきた。この研究グループは、地球の上層大気で窒素分子が壊れてできた窒素イオンが散逸し月に到達したのだと述べている。しかし、このようにして多量の窒素が供給されるためには地球に磁場が存在しないことが必要で、さもないと散逸率は極めて低くなってしまふ。

小嶋たちは、地球のコア内で液体の鉄が

循環して地球磁場が出現した時期が、月の表層砂の窒素に記録されている可能性があると考えている。このような循環は地球が形成された直後に始まったとされることが多いが、確実ではない。将来、この表層砂が解析され、窒素の量がある特定の時代より古い表層砂に著しく多いことがわかれば、その時代に地球磁場が出現し、地球から月への窒素の供給が止まったことが明らかになるだろう。

4 August 2005 Vol.436/Issue 7051

articles p.655, N&V p.631 参照

長寿命の棚氷：1 万年にわたって揺るがなかったラルセン B 棚氷の崩壊**A LONG SHELF LIFE: Larsen-B collapse follows 10,000 years of stability**

2002 年 1 月、ラルセン B 棚氷の一部が崩壊を起こし、南極大陸から離れ始めた。その結果、何千もの氷山がウェッデル海を漂うことになった。ラルセン B 棚氷は 5 年間で 5,700 km² も縮小した。このことから、このような大規模な崩壊は気候の歴史上異例のことなのか、それとも起こって当然のことなのかという重要な問題が提起されている。当該地域から得られた唯一の海洋堆積物コ



アから得られたデータの解析から、ラルセン B 棚氷は 1 万年ほど前の最終氷期の終わりから存在してきたこと、またその最近の崩壊は完新世の間に起こった自然変動の限界を超えていることが示された。この長期的な考察は、ラルセン B 系の崩壊における自然および人的要素の相対的な役割を評価する際に重要である。表紙写真は、2005 年 2 月 23 日に、Dave Tewksbury が観測船 Laurence M. Gould 号から撮影したもので、棚氷の崩壊によってオスカル II 世海岸にできた新しいフィヨルドが見える。

4 August 2005 Vol.436/Issue 7051

Letters p. 681 参照

二日酔い遺伝子がアルコール耐性の形成を助ける**Hangover gene helps build alcohol tolerance**

ショウジョウバエのアルコール耐性形成を助ける新しい遺伝子が発見された。この遺伝子は hangover、つまり「二日酔い」という何ともふざかしい名前をつけられており、薬物投与量を増やしていてもショウジョウバエがそれに耐えられるように働く遺伝子経路で機能している。このしくみは、薬物

依存と嗜癖に結びつくと考えられている。

hangover 遺伝子をもたないショウジョウバエは、エタノール蒸気への曝露を増やしていても耐性ができないと U Heberlein たちは報告している。またこのショウジョウバエは温度上昇などのストレスに対する応答も損なわれているので、この遺伝子はストレスのかかる状況への対処にもっと幅広くかかわっているようだ。

ヒトでも同じような経路が働いているのだろうと Heberlein たちは述べており、多量のアルコール摂取といった生物学的ストレスに対する体の応答にかかわる経路が嗜癖の引き金になっているのかもしれないと考えている。ショウジョウバエがアルコール耐性についてヒトと同じような性質を持つことが明らかになったわけで、今後のアルコール依存症研究に便利に使われるようになるかもしれない。

11 August 2005 Vol.436/Issue 7052

letters p.845 参照

染色体の移動：アクチンの卵母細胞の分裂における予想外の役割**CHROMOSOMES IN MOTION: Unexpected role for actin in oocyte division**

細胞分裂の開始時に染色体を引っ張る「細胞内ロープ」は微小管だけであるという通説は、分裂中のヒトデ卵母細胞を用いた研究の結果、再考を要することになりそうだ。ヒトデの卵母細胞は、大きくて透明であることから理想的な実験材料である。生きている細胞を顕微鏡で観察すると、微小管は短すぎて染色体を捕捉できないことがわかる。その代わりに、アクチンフィラメントのネットワークが染色体を囲い込み、収縮によって紡錘体微小管へわたす。他の多くの動物の卵母細胞も類似の構造をもっており、そこでもアクチンが役割を果たしていると思われる。アクチンが関与するこの機構は、ヒトの流産や出生異常の主な原因となる受精前の染色体喪失を防ぐのに不可欠である。表紙は、赤色で示したアクチンの「網」が、卵母細胞の大きな核内に散らばる染色体（青）を集めて、短い微小管星状体（緑）の捕捉範囲内に移動させるようすを示す。



11 August 2005 Vol.436/Issue 7052

articles p.812 参照

サルにかかわる大問題

Monkey business

人間の世界で起きる児童虐待に関して、霊長類研究は果たして何かの役に立つのだろうか。本コラムでは、*Nature* のオンラインニュース担当記者 Michael Hopkin が霊長類研究をめぐる問題を考えた。

doi:10.1038/news050627-11/30 June 2005
Michael Hopkin

類人猿などのサル、ヒトの間である霊長類は、時に人類自身の姿を知るための手がかりを映し出す鏡となる。配偶行動や種族組織、それに家族生活という場でサルがどのような行動をとるか。こういった研究から得られることは多い。しかし、だからといってその種の研究を突き詰めるために、サルに苦痛を強いる必要は断じてない。

最近 *Proceedings of the National Academy of Sciences* に発表された研究¹ はアカゲザルの児童虐待に光を当てたものだったが、その裏の目的は人間の児童虐待の解決にある。こうした虐待は、アカゲザルでも人間でも自然に発生している。アカゲザルの子の5～10%は、程度の差はあれ、かむ、押しつぶす、投げ飛ばすなどの身体的攻撃を母親から受けている。

人間でもアカゲザルでも、児童虐待は次の世代に受け継がれるという性質がある。虐待をする人間のおよそ70%は、自身も子どものときに同じ目にあっていと推定されている。このことから生物学者は、こうした傾向は経験によるのか、あるいは遺伝子によるのかという問題を考えるようになった。つまり、子を虐待するという行為は、後天的に獲得されたものなのか先天的なものなのか、という問題だ。

この疑問を解明しようと、シカゴ大学の生物学者 Dario Maestripietri はヤーキーズ国立霊長類研究センター（米国ジョージア州ローレンスビル）でアカゲザルの研究を行った。Maestripietri は、虐待をする実母をもつ子ザルと虐待をしない実母をもつ子ザルを複数、それぞれ母親から引き離し、別の雌ザルに育てさせた。ここで養母に選ばれた雌ザルには、過去に虐待をしたことがあるものも、そうでないものもいた。

別の子ザルは実の母親のところにとどめたが、ここでも虐待をする母ザルとしない母ザルを用いた。こうしてあらゆる組み合わせを網羅することで、子に対して優しく接するかどうかは遺伝的素因によるものなのか、経験によるものなのか調べられた。

母の愛

その結果、虐待をする母ザルに育てられた子ザル16匹のうち9匹は、自らの子を虐待するサルに育った。虐待をしない母ザルに育てられた子ザルは、親になっても虐待をしなかった。唯一結果を左右したのは、どのように育てられたかということだった。実の母親が虐待をするかどうかは、まったく結果に影響しなかった。

小規模ではあるがこの試験は、子への虐待傾向が遺伝子ではなく幼時の経験によって形成されることを意味している。そのまますぐに人間の家族に当てはめられがちな結論だ。

しかし、人間の挙動に関する疑問を解明するのにサルを用いるのが、最適な方法なのだろうか。さらに、こうした知見（実験結果）があれば、人間社会における児童虐待を解決できるのだろうか。私はいずれもそうは思わない。

この研究の意図そのものは称賛されてよいものだろう。だが、いくら虐待が自然に発生するものとはいえ、苦痛を与える可能性がきわめて高い雌ザルのもとに子ザルを置くのは間接的な残虐行為だといってもよいと思う。ヤーキーズの施設は国際実験動物管理認定協会の完全認定を受けており、この分野の専門家の目には、実験が倫理的に適切だと映っている。しかし、その考えには賛同しかねる。

適切な方法か？

人間での虐待の問題を解明する方法はほかにある。虐待が後天的なものか先天的なものかという問題は、実際に虐待を予防するうえでは役に立たない。それよりも、しかるべき社会的ケアのネットワークを確立しておくことのほうがはるかに重要である。また、仮にそうした問題が重要性をもっているとしても、研究材料としては養育施設がもつ大量のデータにまず目を向けるべきではないか。

米国はこれまで、常に実験的霊長類研究の拠点となってきた。欧州をはじめとして多くの国では、この種の研究の承認はなかなか得られない。研究用動物に関する倫理は、研究で得ることが期待される知識に対し、与える苦痛が正当化可能なものであるかどうかを基本とするべきである。

実験的研究では苦痛が避けられない場合が多く、それは人間の場合でも同じだ。しかし、動物の子から親による養育を意図的に奪う研究には心の痛みを覚える。1960年代には、とがった細長い金属でできた作り物の母親のもとに子ザルを置き、やすらぎを求めて冷たいかたまりに寄り添おうとする子ザルを観察する研究が行われた。子が親の愛を追求することを知らずの霊長類研究など必要だったのだろうか。

あらゆる動物にはさまざまな知覚力があり、科学研究のために動物を使用する場合は、その倫理性が考慮されるべきである。感情的な苦痛を真に感じる能力をもつ霊長類の場合、今回のような科学的介入はとくに最小限にとどめるべきと考える。 ■

1. Maestripietri D. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, **102**, 9726-9729 (2005)

冥王星の彼方に

Santa and little helper seen beyond Pluto

2つの研究チームが、競って太陽系の外縁にある天体を見張っている。

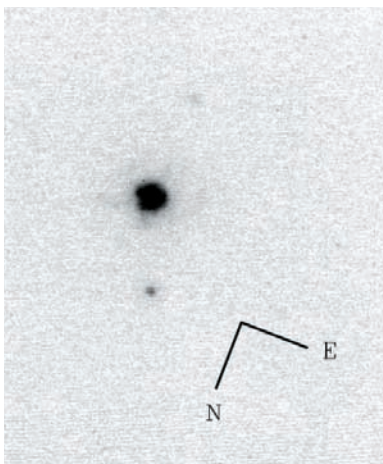
doi:10.1038/news050725-13/29 July 2005

Mark Peplow

このたび2組の天文学チームが、太陽系のはずれに新しい準惑星を見つけた。この付近では冥王星に次ぐ明るさの天体で、小さな衛星をもっていることもわかった。

海王星の外側には、カイパーベルトとよばれるきわめて低温の空間領域がある。そこには、今から約45億年前の太陽系の形成時に生じた残りが数多く存在し、今回発見されたような天体も少なからず潜んでいる。

実際に近年では、クワオアーやバルナなどいくつかの準惑星がカイパーベルトで発見されている。今回新たに見つかった準惑星には「サンタ」の名がつけられた。サンタの発見が発表されたあと、最近では第10惑星発見かという別のニュースもあった。こういった天体をめぐっては、いったいどれほど大きければ「惑星」とよべるのか、単なる岩石のかたまり以上といえるのか、という哲学的な論争が続いている。



新しく発見された準惑星「サンタ」(中央)とそのきわめて小さい衛星(下)。

2つのグループが発見していた

サンタが最初に発見されたのは2003年。発見者は、アンダルシア天体物理学研究所(スペイン)に所属する天文学者 Jose-Luis Ortiz たちだった。天体は暫定的に「2003 EL61」と命名された。彼らはシエラネバダ天文台(スペイン・グラナダ)を利用し、この7月に発表した観測結果で、その存在を確認した。

この天体はまた、天文学者 Mike Brown をリーダーとするカリフォルニア工科大学(米国カリフォルニア州パサディナ)の研究者グループも見つけていた。彼らの最初の発見日が2004年12月28日だったことから、季節にちなんでサンタのニックネームがついた。

Brown は自身のウェブサイトで、「スペインの研究者グループを発見者とするのが正当であることに疑問の余地はない。われわれも、もっと早くにこの天体の発見を発表することはできた。だが、ほかに発見者があらわれるとは考えず、スピッツァー宇宙望遠鏡の観測結果を入手するまで発表を控えていた。その判断がまちがいだった」と記している。

Ortiz は、2003 EL61 は「非常に明るく、ゆっくりと動く天体」で、さしわたし1,500キロメートル以上であると説明している。そうすると2003 EL61 は、冥王星の衛星カロンや、カイパーベルトで発見されたその他の準惑星よりも大きい。またサンタは非常に明るい天体であることから、アマチュア望遠鏡でも見える可能性があるのではないかと Brown は推測している。

また Brown は、「7月22日にスピッツァー宇宙望遠鏡でなされたフォローアップ観測の結果によって、まもなくサンタの正確な大きさがわかるはずだ」と話す。

きわめて小さな衛星をもつ

Brown のグループはケック天文台(米国ハワイ州)で観測を続け、2005年1月には準惑星サンタに小さな衛星があることを発見した。この衛星は、サンタから5万キロメートル離れた軌道を49日の周期で回っている。

この観測データに基づく計算によると、この衛星の重量はサンタと合わせた全体重量のわずか1%で、カロンよりもはるかに小さい。

サンタ自体の重量はおよそ4エクサトン(4×10^{18} トン)で、冥王星の3分の1、地球上の全水量とほぼ同じである。また、この準惑星が冥王星の軌道の外側にある時間と、その内側つまり太陽側にある時間は、ほぼ半々の割合になっている。

Brown たちによるサンタとその衛星についての詳しいデータ¹は、9月8日に英国ケンブリッジで開催される米国天文学会の惑星科学会議で発表される。

1. Brown M.E., et al., preprint available online at <http://www.gps.caltech.edu/%7Embrown/papers/ps/EL61.pdf> (2005).

量子コンピューターの実現に向けて

Quantum computers go for a spin

量子コンピューターの実現方法を再検討させる新たなデバイスが、理論的に考案された。

doi:10.1038/news050718-12/21 July 2005
Philip Ball

量子コンピューターとは、実現すれば従来のスーパーコンピューターが今でいうところの携帯情報端末（PDA）のように見えてしまうかもしれないほどの超高速計算機だ。その量子コンピューターをどうやって作ればよいか。この未解決の問題をついに打開できるかもしれないアイデアがあらわれた。

アイデアを思いついたのはバーゼル大学（スイス）の Hans-Andreas Engel と Daniel Loss で、近ごろスピン・パリティ計測器とよばれるデバイスの作成方法を報告した¹。

IBM ワトソン 研究所（米国ニューヨーク州ヨークタウンハイツ）の量子コンピューターの理論家 David DiVincenzo は、「このデバイスは、マイクロチップでいうところのトランジスター、つまり量子コンピューターの回路を作るための汎用部品のようなものになる」と説明する。この部品の実現の可能性が今回、理論的に示されたおかげで、固体デバイスによる量子コンピューターがマイクロプロセッサのようにシリコンから作れるかもしれない。

ブラジルのサンパウロ大学の物理学者 Jose Carlos Egues は「スピン・パリティ計測器ができれば、量子コンピューターはまもなく実現されるかもしれない」と話す。

しかし Engel と Loss のアイデアは、現時点では単なるアイデアにすぎない。原理的にどうすればスピン・パリティ計測器を作ることができるかは示された。また、そのスピン・パリティ計測器が量子コンピューターの部品として機能する可能性も理論計算で示された。しかし、実際のデバイスはまだ作られていない。

パリティが鍵

固体デバイスを使った量子コンピューターでは、情報は電子の磁石としての状態、すなわちスピンの状態に符号化される。つまり、スピンの上向き・下向きが、従来のコンピューターにおける2進数コードの1と0の代わりとなる。

量子力学的な粒子は、複数の状態を重ね合わせた状態を取りうる。このため電子のペアは、ある特定の向きのスピンのペアとしてだけではなく、さまざまなスピンの向きの組み合わせを重ね合わせた状態としても存在しうる。その場合、各電子は上向きのスピンと下向きのスピンを同時に持っていると考えることができる。

このため、量子コンピューターは、従来のコンピューターよりも多くの情報をコードした多数の状態にアクセスすることができ、ある種の計算を今よりずっと速く、効率的に行うことができる。

DiVincenzo たちは昨年、電子工学的な量子コンピューターについてのある理論を発表した。その理論では、それまで懸念されていた問題の一部を回避できると考えられた²。DiVincenzo たちの案は、回路の一端からデータを入れて、もう一方の端からどのような結果があらわれるかをみるといった従来のやり方ではない。水面に落とした小石からさざ波が広がるように、データが構成要素のネットワークに広がる時に作るパターンをみることによって計算を行う。

これを実行するためには、電子のペアのパリティ（ペアのスピンの同じ向きか、反対向きかを示す量）をかき乱すことなく測定する必要があり、今回 Engel と Loss が示したのがまさに、どのようにすればパリティを測定できるかだった。

量子飛躍を検出

Engel と Loss は、「量子ドット」とよばれる、シリコンなどの半導体材料でできた小さな「箱」の中に電子のペアが置かれた系を考えた。この系には2つの量子ドットがあり、電子のペアは最初、そのうちの片方の量子ドットに入っている。ここで磁場をかけることによって、電子のペアが2つの量子ドットのどちらにあっても、両方の量子ドットのエネルギーが同じになるように調節する。ただし、エネルギーが同じになるのはペアのスピンの反対向きのときのみで、同じ向きのときはエネルギーが異なるようにしておく。

こうすると、電子のペアが反対向きのスピンを持っていた場合は、どちらの量子ドットにあってもエネルギーが等しいため、電子のペアが量子ドット間をジャンプできる。このジャンプは電荷測定用の高感度計測器で検出できる。こうすれば、電子が反対向きのスピンを持っているかどうかができることになる。

「Engel らの案は、量子コンピューターの実現方法に関する人々の考え方を変わらせたかもしれない、ちょっとびっくりさせるようなものだ。実験家たちは、こうした理論家の提案には注目している」と DiVincenzo は話す。Egues は「電子工学技術は近年、すごく進歩している。今回のアイデアをきくと実現に結びつけてくれると思う」と述べている。 ■

1. Engel H. A., Loss D., et al. *Science*, **309**, 586–588 (2005).

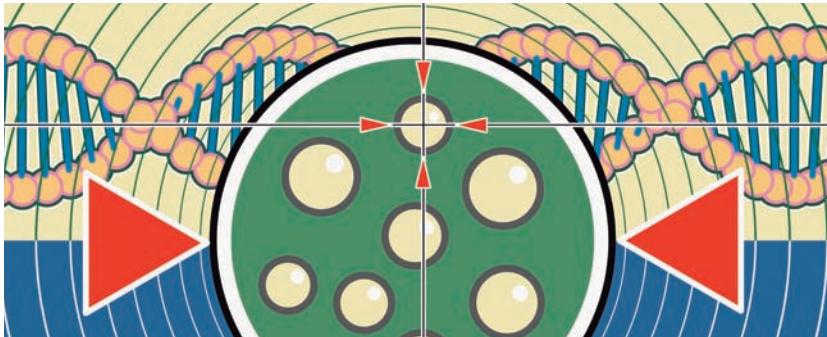
2. Beenakker C. W. J., et al. *Phys. Rev. Lett.*, **93**, 020501 (2004)

炭素年代測定法で細胞の年齢を知る

Carbon dating works for cells

核実験が残した放射性炭素の量が測定のためのもの差しとなる。

doi:10.1038/news050711-12/14 July 2005
Roxanne Khamsi



炭素年代測定法を使って DNA を調べたところ、細胞のなかでも脳内の細胞が一番の長生きであることがわかった。知恵が年齢にともなうものだとすれば、脳細胞は体内で最も賢い部類の細胞ということになるだろう。炭素年代測定法はこれまで、考古学や古人類学の分野で化石の年代特定のために用いられてきたが、これは新たな用途となる。

大気中や食物中にはもとも、微量の放射性炭素（炭素 14）が存在する。生物がもつこの放射性炭素と通常の炭素との比に着目するのが、炭素年代測定法だ。生物が生きて食物をとったり呼吸したりしている間は、組織内に含まれる両炭素の比は環境中の比に等しい。しかし、死後は炭素 14 (^{14}C) の崩壊にともなう、その比率が崩れる。

放射性炭素の崩壊にかかる時間は長く、存在する ^{14}C 量はおよそ 6,000 年という時間ごとに半減する。このため、ただか数年では通常の炭素と自然界に生じている放射性炭素との比率はごくわずかしかわらず、その変化を検知するのはきわめてむずかしいとされてきた。

しかしカロリンスカ研究所（スウェーデン・ストックホルム）の Jonas Frisén は、「冷戦時代の核実験で大量の ^{14}C が大気中に放出されており、そのとき残されたシグナルを利用すれば検知が可能だ」と語る。

核実験の産物

Frisén によれば、1963 年に地上核実験が禁止されるまでに、大気中の ^{14}C 量は自然界に本来あるべき量の 2 倍に達したという。だが、核実験の禁止後、その量は 11 年ごとに半減している。これを計算に入れば、現代の DNA が含む ^{14}C の量の変化を検出することが可能なのだ。

Frisén は、「細胞では、たいていの分子がつねに入れかわっている。しかし、DNA は細胞がいったん分裂してしまえば、炭素が入れかわらない。つまり DNA は『炭素のタイムカプセル』といえる」と語る。

これまで、別の方法で細胞の年齢を探る試みもあった。テロメアという DNA の「キャップ」の長さに着目する方法である。しかし、テロメアを使った方法はいまだに確立されていない。Frisén は「テロメアが短くなっていけば比較的新しくできた細胞ということかもしれないが、ではいったいどれくらい最近にできたのか、その時間をはかる手立てはない」と話す。

それぞれの細胞の年齢

Frisén らは、検体 DNA 中の ^{14}C を測定することにより、細胞ごとの誕生年月日を 2 年以内の精度で特定することができるという、12 例をこえる死亡被

験者から得た組織検体を検討した。その約半数は、1960 年代半ば以降に生まれた人たちだった。

その結果、脳内で視覚の処理をする視覚皮質の検体の年齢はすべて、被験者の死亡時の年齢と同じだった。つまり、視覚皮質細胞は再生しないという認識が支持されたことになる。Frisén は「この細胞がそれほど長生きするのは、おそらくそれらがきわめて安定に結束する必要があるため」だと考えている。

ハーバード大学医学系大学院（米国マサチューセッツ州ボストン）の Jeffrey Macklis は、「この研究は、脳が細胞レベルでいったいどれだけ固定的なものであるのか、はたまた柔軟なものであるのかという長年の疑問に答えを出すものとなるかもしれない」と話す。

Frisén らは、ほかの脳細胞はこれほど長命でないことを *Cell* 誌で発表している¹。30 歳程度の人では通常、腸の細胞が約 10 歳で、骨格の細胞はこれより少し古い。また、赤血球のように大きな物理的ストレスを受けている細胞は、数か月ごとに入れかわることが知られている。

Frisén らは、 ^{14}C を用いた細胞の年代測定により、認知障害における細胞死の役割が解明されるのではないかと考えている。また、以前の研究で、脳細胞の一部が適切に再生されないことが、うつ病の原因の可能性があると示唆された点を加えて指摘している。 ■

1. Spalding K., Bhardwaj R., Buchholz B., Druid H. & Frisén J. *et al. J. Cell*, **122**, 133–143 (2005).

中国で広がる謎の病気

Mysterious disease spreads in China

農民の原因不明の死と鳥インフルエンザとは関係があるのだろうか。

doi:10.1038/news050725-1/25 July 2005
Declan Butler

新華社通信が7月24日に伝えたところによると、それまでの1か月間に、中国南西部で未知の病気によって少なくとも17人が死亡し、41人の感染者が出ているという。病気の原因はまだわかっていないが、症状はインフルエンザに似ており、四川省資陽市および内江市の近郊の町で、家畜から農民へと広がっているとみられる。

世界保健機関（WHO）西太平洋地域事務所（フィリピン・マニラ）の広報担当 Bob Dietz は「まだ診断はついていない。中国による調査が行われており、現地での診断結果を待ちたい」と語る。また「鳥インフルエンザや SARS（重症急性呼吸器症候群）を含むさまざまな病気の可能性が考えられるが、率直なところ、病気の原因を特定できない場合のことを心配している」と話す。

今回のような動物との関連が考えられる唐突で原因不明の死というのは珍しく、中国は救急隊を派遣して鳥インフルエンザとの関係を調査している。ただし「今回、病気の発生地域があちこちに分散していたにもかかわらず、比較的迅速に病気が把握され公表されたことは評価できる」と Dietz は話す。

同氏は、この問題が4週間以内に検知されたことについて「そう悪くはない」とし、同じことが起きれば、ニューヨークのような都市でも検知に2週間かかってもおかしくないと付け加える。そして、「中国は発生を公表し、われわれやメディアに知らせている。中国の監視システムがうまく機能しているということだ」と話す。

疑われる希少な病気

中国当局は疑われていた主要な病気のうち、いくつかの可能性は消えたと公言している。地元の衛生庁高官 Zeng Huajin は、「この病気は SARS でも炭



ブタは危険なウイルスを生み出す温床である。

疽病でも鳥インフルエンザでもない」と新華社に話している。Huajin は考えられる原因について、細菌 *Streptococcus suis* を挙げている。この細菌はブタに感染する主な病原体で、世界のほとんどの国で見受けられるものだ。英国健康保護局によればヒトへの感染はまれであり、全世界で過去150例足らずが報告されているにすぎないという。

S. suis に感染した患者には重度のインフルエンザに似た症状があらわれ、難聴をとまなう場合もある。新華社は今回の正体不明の病気について、症状は「高熱、疲労、嘔気および嘔吐、そのうち皮下の挫傷をとまなう昏睡状態」で、発病したのは罹患したブタまたはヒツジを屠殺した農民だったと伝えている。

一方、感染症の情報を提供する ProMED メーリングリストを通じ、研究者や医師たちは、今回の症状と、中国南部各地の家畜で局地的に流行しているクリミア・コンゴ出血熱（CCHF）との類似性を指摘している。CCHF はあまり聞かれないが重症の病気で、通常はダニが媒介し、死亡率が高い。ただしヒトからヒトには伝染しないため、ヒトに対する危険性は限定的と考えられる。

鳥に向けられる目

今回の病気についての診断が続けられるなか、研究者は依然として鳥インフルエンザの危険性を警告している。

今春、中国西部の青海湖にいた何千羽もの渡り鳥が H5N1 型の鳥インフルエンザに感染した。研究者はそこから鳥インフルエンザが広がる可能性を指摘する。WHO の研究者は渡り鳥が感染したウイルスについて、病原性の高い新たな H5N1 型であることを確認している¹。

ブタの体内では鳥インフルエンザウイルスとヒトインフルエンザウイルスの共存が可能であるため、そこで互いのウイルスの遺伝子が交換され、感染性のあるヒトウイルスが生まれることも考えられる。国立鳥インフルエンザ研究所（中国黒龍江省哈爾濱）の Hualan Chen 所長は「4月の時点で検査した中国のブタ450頭のうち、23%が病原性の高くない鳥インフルエンザウイルス H9N2 型をもっていた」と話す。

今なお WHO の担当者は、その他の鳥インフルエンザ発生地域への立ち入りを中国が認めるのを待っている。中国は、鳥インフルエンザに関する追加情報およびウイルス検体の要求にまだ応えていない。「それを得るのが急務課題だ」と、WHO 北京事務所の Julie Hall 調整官は語る。

1. Chen H., et al. *Nature*, **436**, 191-192 (2005).

Just around the corner

動きだした ITER 計画



Nature Vol.436 (318-320) 721 July 2005

AFP/時事

核融合反応でエネルギーが得られるまで、あともう少しだ。物理学者たちは 50 年にわたってこういい続けてきた。その考えの正しさを証明すべく、ついに ITER 計画が実現に向けて始動した。だが、ITER の装置は本当に動くのだろうか。Geoff Brumfiel が取材した。

「とにかく、ほっとしている」。国際熱核融合実験炉「ITER」の建設場所がついに決まったという知らせが今年 6 月に届いたとき、Gerald Navratil はその心境をこういい表した。Navratil はコロンビア大学（米国ニューヨーク）のプラズマ物理学者で、米国の ITER チームの一員である。決定までの 18 か月間、Navratil は ITER 誘致をめぐるフランスと日本の闘いをなすすべなく、ただ傍観するしかなかった。

両国の激しい争いが続くあいだに、米国の ITER 計画への支持が徐々にトーンダウンしていくのを Navratil は感じていた。しかし、ITER の建設場所がフランス南部のカダラッシュに決まった

今、Navratil は前向きな気持ちでいる。「とうとう建設場所が決まった。これでようやく次の段階へ進むことができる」と彼は話す。

核融合研究は、どうしても政治とかかわらざるをえない。太陽をまね、核融合反応でエネルギーを得るという構想自体はすばらしいものだとされたが、着想から現在まで約 50 年、実現することはなかった。今回ここまで来のにさえ、研究者たちが乗り越えなければならなかった技術的科学的障害は数多かった。しかし、ITER はついに核融合が実現可能なエネルギー源であることを、懐疑的な政治家や他分野の科学者たちにも証明してみせる。研究者た

ちはそう期待している。もしすべてがうまくいけば、ITER の 6 極の国際パートナー（中国、欧州連合、日本、韓国、ロシア、米国）からの建設資金が今冬にも出そろい、2006 年に建設開始、2016 年に稼働しはじめることになる。

ITER は、水素を数億℃に熱してできたプラズマを連続して数分間安定に保ち、その間にプラズマからエネルギーを引き出すという設計だ。ほとんどの核融合研究者は、ITER はその過程で消費するよりも多くのエネルギーを作れるはずだと考えている。しかし、予測されるエネルギーを得るのはむずかしいのではないかと、また、期待されるだ

け長くプラズマを安定に保つのは簡単ではないのではないかと考える研究者もいる。メリーランド大学カレッジパーク校のプラズマ理論研究者 William Dorland は、「あらゆる科学実験と同じように、ITER がうまく動かない可能性はある」と話す。

しかし ITER は、もはやただの科学実験ではない。建設費は 55 億ドル（約 6,200 億円）で、地球上にこれまで建設された科学実験施設のなかでも最も高価な部類に入る。テキサス大学オースティン校のプラズマ物理学者で、米国エネルギー省（DOE）の核融合科学諮問委員会委員長でもある Richard Hazeltine は、「ITER は予測どおりの性能を発揮し、この研究分野の信用を回復させるはずだ」と断言する。

甘かった予測

核融合は単純なアイデアだが、実際に実現するのはむずかしい。重い原子核の崩壊からエネルギーを得る核分裂と異なり、軽い原子核（通常は水素）が互いに衝突して融合し、新しい元素（たとえばヘリウム）ができるのが核融合だ。水素原子核どうしの衝突を起こすには、正の電荷をもつ核どうしの電気的な反発力に打ち勝つ必要があり、そこにむずかしさがある。核融合は、原子核が超高速で運動するか、高密度に詰めこまれたときのみ起こる。つまり、核融合を起こすには、きわめて高温で高密度のプラズマが必要なのである。

私たちの最も近くで起こっている自然界の核融合といえば、太陽での核融合だ。太陽の中心核内部では、正の電荷をもつ水素原子核が中心方向へと重力で引きつけられ、高温高密度になり、核融合を起こしてヘリウムに変わる。しかし、地球上では重力にかわるなんらかのくふうが必要となる。

第 2 次世界大戦後まもなく、米国とロシアの科学者たちは、水素原子を強い磁場で締めつけることによって、水素を熱し、高圧にすることのできる装

ITERのトカマク装置——高温プラズマをどうやって閉じ込めるか

高温のプラズマを磁場で閉じ込める作業をたとえて、核融合科学者たちはよく、ゼリーを輪ゴムでまとめるようなものだという。

磁場を作るコイル

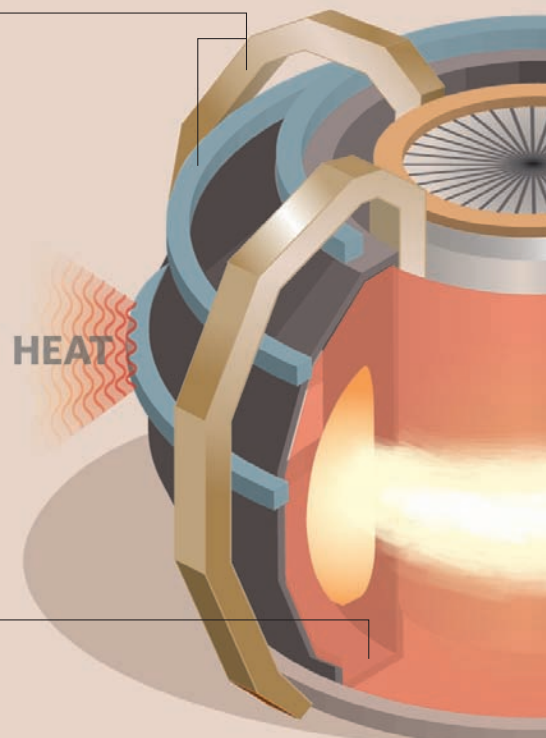
これらの超伝導磁石は装置の周囲を横方向と縦方向に取り巻いている。これがプラズマをITERの中心部に保つための輪ゴムにあたる。

外部からの加熱

1億℃を超える温度にプラズマを加熱するため、ITERではソレノイドのほかに外部からの電波とマイクロ波を用いる。

ダイバーター

ダイバーターは核融合反応でできた高温のヘリウム原子を吸収する。ダイバーターは超高温と高レベルの照射に耐えられなければならない。

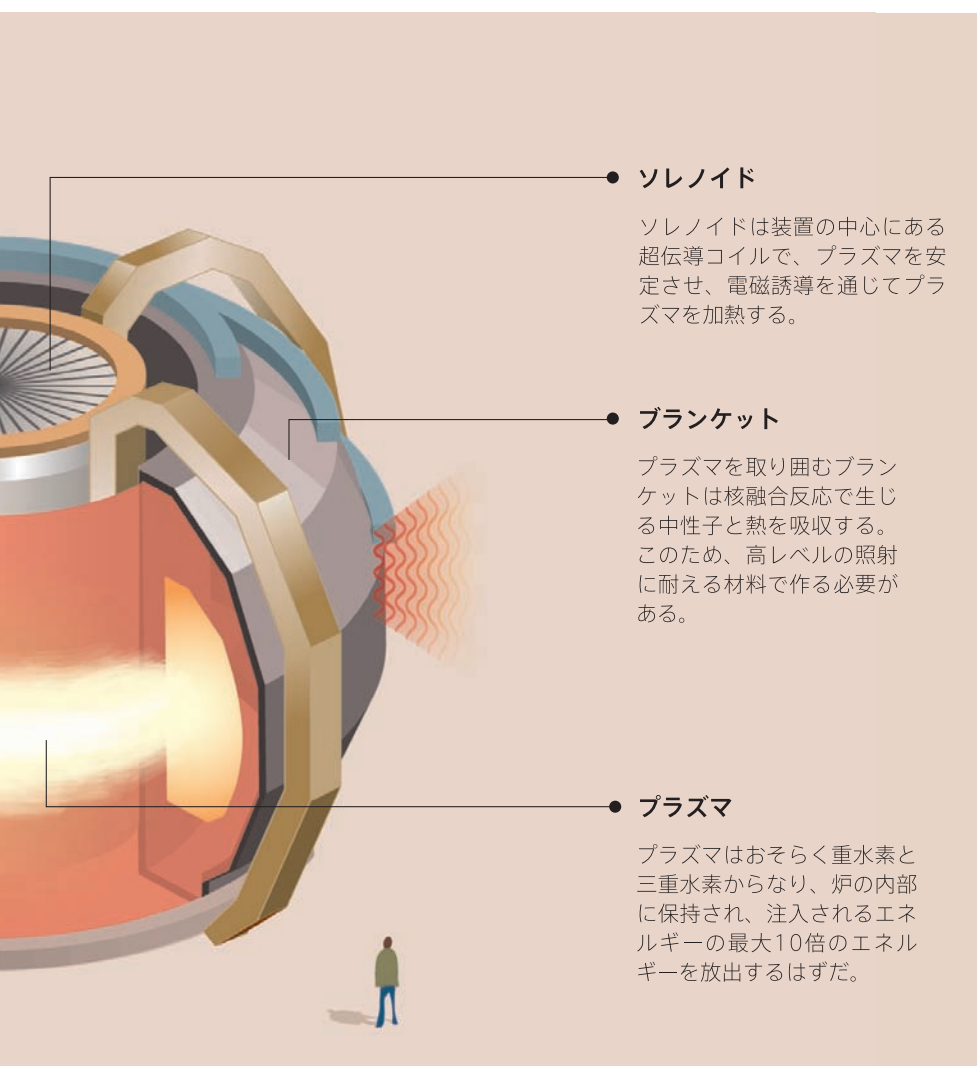


置の研究に取り組みはじめた。さまざまな装置が考案され、実験が繰り返された。それらの装置それぞれに利点やくふうが見受けられた。しかし、1960年代になると、核融合研究者たちの研究は1つの装置デザインへと収れんしていく。トカマクである。

トカマクは、ロシアの物理学者 Andrei Sakharov と Igor Tamm が考案したドーナツ型の装置で、一連の重なり合う磁場を用いて高温高密度のプラズマを炉壁の内部に保持する（上図を参照）。トカマク技術は1970年代に急速に進歩し、多くの研究者が21世紀初頭までに原型の発電所を作ることができると考えられるようになった。

だがやがて、こうした予測はあまりに楽観的だったことがわかる。トカマク内部に保持されるべき高エネルギーの水素ガスは、磁場の拘束から漏れだし、閉じこめられることを拒んだのだ。研究者たちは、自分たちのプラズマの安定性と乱流についての理解が不十分であることに気づいたが、そこからの研究の進みは遅かった。装置に入れるエネルギーと同量のエネルギーが発生する臨界プラズマ条件に近づきはじめているのは、今でも日本原子力研究所那珂研究所（茨城県那珂市）にあるトカマク装置「JT-60」だけである。

それでも、ドイツのガルヒングで欧州核融合開発協定（EFDA）における技



● ソレノイド

ソレノイドは装置の中心にある超伝導コイルで、プラズマを安定させ、電磁誘導を通じてプラズマを加熱する。

● ブランケット

プラズマを取り囲むブランケットは核融合反応で生じる中性子と熱を吸収する。このため、高レベルの照射に耐える材料で作る必要がある。

● プラズマ

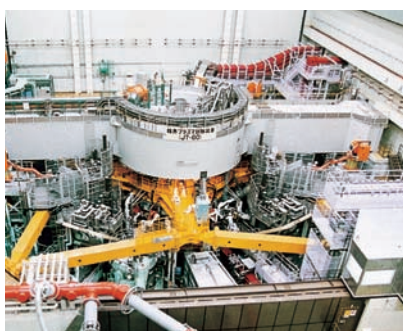
プラズマはおそらく重水素と三重水素からなり、炉の内部に保持され、注入されるエネルギーの最大10倍のエネルギーを放出するはずだ。

外部からの加熱技術を使うことになるだろう。

また、「これ（強力な磁場）以外のITERの大きな強みはその大きさにある」とITER設計チームの一員でウィスコンシン大学マディソン校のRaymond Fonckは話す。簡単にいえば、高温のプラズマがより広い空間をさまよわなければならないほど、プラズマのふるまいはよくなるのだとFonckは説明する。ITERは、ドーナツ型のプラズマリングの半径が6.2メートル、プラズマ体積が840立方メートルで、これまでのどのトカマクよりも2倍大きい。

しかし、ITERの強い磁場と巨大な大きさをもってしてもなお、深刻な難題が残るとDorlandはいう。これまでの装置と異なり、ITERは取りこむエネルギーよりもたくさんのエネルギーを放出するように設計されている。これまでは単に加熱を弱めることでプラズマの温度を制御できた。しかし、もしITERがうまくいったら、そのプラズマは自身の核融合反応のエネルギーで核融合を続けるはずだ。これは、炉から出るエネルギーの処理方法が今後研究されなければならないことを意味している。「要は、小さな場所に大量のエネルギーを押しこめ、制御しながらエネルギーを取り出す、ということだ。これは簡単ではない」とDorlandは話す。

ITERが放出するエネルギーのほとんどは、高速で運動する中性子だ。中性子は、プラズマを取り囲む、ベリリウム（軍の装甲にも使われている材料）で覆われたブランケットに照射される。核融合反応のもう1つの副産物である高温のヘリウム原子は、トカマクの底部に置かれる炭素で覆われた構造、ダイバーターが主に捕獲する。ただし、ITERが放出する強烈な熱と放射線に対処するのにベリリウムと炭素が最適だと全員が考えているわけではない、とNavratilはいう。ITERの後に建設される実証炉で、ベリリウムと炭素に代わって使われる可能性のある材料の候補



日本のトカマク実験装置「JT-60」

カマクはもっとも信頼できる装置であり続けてきたと私は思う。トカマクはITERでも唯一の合理的な選択肢だ」と語る。

規模を縮小

ITERの目標は野心的で、水素燃料（水素の2種の同位体である重水素と三重水素の混合物）のプラズマを7～15分間しっかりと保持し、1億℃を超える温度に加熱して約500メガワットのエネルギーを取り出すとされる。前述のJT-60がもつ、高温高压プラズマの持続時間世界記録は現在24秒である。ITERは目標達成のため、JT-60よりも25%強力な超伝導磁石を用い、多数の

術面の指揮をとるRoberto Andreaniは、「ITER計画が1985年に初めて提案されたとき、装置をトカマクにするのはいうまでもないことだった。これまでの核融合研究の歩みを通じて、ト

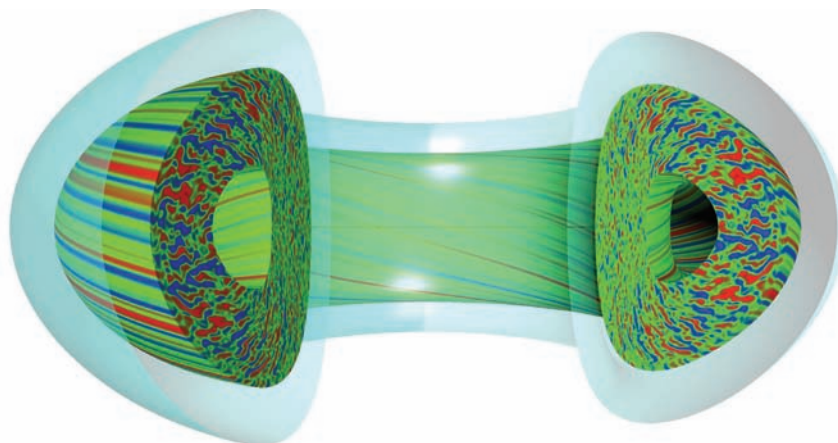
がタングステンだ。よりよい構造材料の探索のため、日本に材料の試験施設が作られる可能性がある（コラム「材料試験施設は日本に？」を参照）。

また今後ある時点で、商業用核融合炉建設の実現を念頭に、生じた余分な熱を利用する方法を見つける必要があるだろう。ITER はそのための設計はされていないが、将来の装置では、生じたエネルギーを取りだして利用することが求められる。おそらく、液体の冷却材でブランケットとダイバーターを冷却し、炉を出た高温の冷却材で水を熱し、その水で蒸気タービンを回すという設計になるだろう。

ITER の設計において予測がむずかしいのが、炉内でのヘリウムの増殖だ。従来のトカマクで起こせる核融合は少なく、できるヘリウムと中性子も少量だった。しかし、ITER ではかなり多くの高温ヘリウムができるだろう。ITER 設計チームのもうひとりの米国人物理学者、ウィスコンシン大学の Stewart Prager は「そのヘリウムが残りのプラズマとどのように相互作用するかについては、完全に予測できない可能性がある」と話す。ITER 設計チームは、炉壁に放射性の三重水素が蓄積しすぎることも心配している。三重水素の蓄積量には、安全面の理由で厳しい制限があるからだ。

こういった問題が理由で、ITER の規模は当初の計画よりも縮小された。当初の計画では ITER は現在の倍の大きさ、核融合反応を起こしている水素プラズマを連続して数時間保持し、約 1,500 メガワットのパワーを出すと言われていた。しかし、各国政府は見積もられた費用に当惑し、Dorland たちが指摘した技術的な不確かさもあって、目標と費用を引き下げる再設計が行われた。

技術的懸念の一部は、ここ 10 年間で大きく進歩したプラズマ乱流の数値シミュレーションでわかったことだった。しかし、プラズマの外側がどれほど高



プラズマのふるまいに関するシミュレーション技術が進歩し、ITER はうまく動くだろうと予測されている。

温になるかについての不確かさは残っており、これが最終的に ITER がどれほどうまく機能するかに影響する、と Dorland は指摘する。

ともかく前へ

シミュレーション技術が進んだせいもあって、縮小され、費用も安くなった ITER はきちんと機能するとほとんどの科学者は考えている。オックスフォードに近い英国原子力公社 (UKAEA) カラム科学センターで核融合の経済性を研究しているプラズマ物理学者の David Ward は「欧州では核融合の将来性に関して楽観的だ。しかし、ITER を実現させるまでには現在の技術水準からさらに大きな進歩が必要だろう」と話す。ITER は第 1 世代の商業炉の建設に向けた技術的情報をもたらすだけでなく、核融合エネルギーの価値が認識されるための決定的役割を担うだろうと Ward はいう。

この意見に Dorland も同意しているが、ただし書きが 1 つあるという。「私は ITER はうまく動くと思う。しかし、実は、ITER が稼動する前に別の核融合装置がより大きなパワーを出すことに成功すると思っている」。Dorland によると、トカマクに追いつく可能性のある設計案は 6 案ほどあるが、今のとこ

ろ最も注目しているのは「球状トラス」とよばれるトカマクの変種だという。これはドーナツというより穴のあいたリングに似ている。この形状のおかげで、高温の水素プラズマと炉の外側の壁との間にはっきりした境界面ができ、プラズマをもっときつく締めつけることができる。この設計なら、扱いにくいトカマクほど大がかりにしくなくても核融合を実現できるかもしれない、と Dorland は指摘する。

これに対して Hazeltine は「たとえそれが本当だとしても、核融合に長くかかわってきた者は、別の装置が先んじることを期待するよりも ITER で前進するほうがベターだと考えている」と話す。国際的な核融合研究は、数十年にわたって「約束」が実現されないまま巨額の投資を続けてきたため、Hazeltine の言葉を借りれば「もろく壊れやすい状態」にある。「核融合科学は消えていく瀬戸際にある。ともかく前に進み、このやっかいな炉を動かしてみせる必要があると私は思う」と Hazeltine は話した。 ■

Geoff Brumfiel は *Nature* のワシントン特派員 (物理科学担当)。

材料試験施設は日本に？

欧州は核融合研究資金のすべてをフランスでの ITER の実験に投じようとしているが、その脇で日本の核融合研究者たちがいくつかの計画で先頭に立つべく奮闘している。日本は、材料試験に関する施設を建設し、新しいプラズマ実験のために既存のトカマク装置「JT-60」（右の写真）の性能を上げ、ITER に続く核融合実証炉「DEMO」の設計センターを誘致する可能性がある。

こうした計画案の中で注目すべきは、国際核融合材料照射施設（IFMIF）だ。この施設の目的は、ブランケット（図を参照）など核融合炉の構造で使用される重要な材料が、プラズマから出る大量の高エネルギー中性子に耐えられるかどうかを確かめることだ。このため IFMIF には、約 14 メガ電子ボルトのエネルギーをもち、既存の中性子源よりも数桁高い強度の中性子線を作ることのできる線形加速器が必要となる。

日本原子力研究所（JAERI）那珂研究所の奥村義和・ITER 業務推進室長によると、材料は ITER や DEMO で生じる高エネルギーの中性子に耐えなければならないが、ITER や DEMO のような高い照射強度での耐性はこれまで試されたことがないという。そのような過酷な状況に耐えられることを安全



日本原子力研究所の大型トカマク実験装置「JT-60」の内部。ドーナツ状の空間部分にプラズマを閉じ込める。

規制当局に証明するためには、IFMIF での実験が不可欠だ。現時点ではデータはゼロなのだと奥村は話す。

高エネルギーの中性子は構造材料中にあった原子を弾きだし、やがては材料の強度を弱めてしまう恐れがある。ITER は、短時間のパルスで核融合を行うように設計されているため、構造材料の損傷は小さいはずだ。一方、DEMO は数年間にわたって連続的に稼動する必要があるとされ、材料を弱める中性子による損傷の蓄積は、ITER の 30 倍をこえる可能性がある。

ITER の主たる構造材料として現在選択されているのはステンレス鋼だ。一方、DEMO では耐熱フェライト鋼が使われるかもしれない。

これは照射に対する耐性が高い。しかし、核融合科学者たちはさらに高い効率（つまり、さらなる高温）を目指しているので、炭化ケイ素などの新しい材料が必要となるかもしれない。高津英幸・日本原子力研究所那珂研究所核融合工学部次長は「効率と安全性のバランスをどうとるかにについては、すべての国が独自の見方をもっている」と話す。

しかし、40 年間のプロジェクトで 3,100 億円（ITER の費用の約 4 分の 1）の費用がかかる IFMIF が建設されるのか、それが日本になるのかははっきりしない、と高津はいう。英国などのほかの ITER 計画参加国も IFMIF の誘致に熱心で、日本が確保した ITER 計画におけ

る今後の特権的立場に対して不満を表明する国もある（*Nature* 435, 1142-1143; 2005 を参照）。IFMIF 誘致をめぐる交渉は難航も予想される。

しかし、多くの核融合科学者が「軽視されてきた分野」と考えている材料科学を大きく前進させるためには、この試験施設は必要なものだ。東北大学金属材料研究所の松井秀樹教授（原子力材料工学研究部門）は「材料科学に配分される予算は、核融合研究予算の 1～2% にすぎなかった。偏りがあったのは事実だ」と話す。

David Cyranoski



絵に描いた餅：バイオバレー計画の大半は頓挫した。

AFP/時事

The valley of ghosts

マレーシア発バイオプロジェクトのゆくえ

Nature Vol.436 (620-621) / 4 August 2005

アジアの虎たちがバイオテクノロジー分野での存在感を示す一方で、マレーシアの「バイオバレー」計画が迷走を続けている。David Cyranoski が失敗の原因を探る。

バイオバレー (BioValley) とよばれる国家科学プロジェクトのその後はどうなっているか。マレーシア人研究者に尋ねてみるとその答えはあまりにも人それぞれで、聞いているこちらが混乱してくる。ある者はプロジェクトはまだ進行中だといい、またある者はプロジェクトそのものの存在を否定する。そして多くの研究者は、その質問には答えたくないという。

しかし確かに、バイオバレーは計画当初から説明がむずかしいプロジェクトではあった。2003年3月に概要が明らかにされたバイオバレー計画は、その数か月後に引退することになるマレーシアの豪腕宰相マハティール氏による最後の見せ場の1つだった。1億6,000万ドル(約180億円)の予算がついたバイオバレー計画は、3つの新たな研究施設を統合し、それをバイオ研

究の中央集権化したハブとすることが目標とされた。安価な賃貸料や整備された通信インフラ、それに新薬をはじめとする有用な製品の源となる可能性を秘めたマレーシアの豊かな生物多様性を利用してよいとすることで、バイオテクノロジー企業の引き寄せが期待されていた。

しかし実際のスタート後も、バイオバレー計画の詳細はいっこうに明ら

かにならなかった。高名な日本人建築家、黒川紀章氏が描いた設計図以外のプロジェクト内容は、謎に包まれたままだった。首都クアラルンプール南部のデンキル地区には、今年8月の時点で80ヘクタールのキャンパスがほぼ完成しているはずだったが、敷地はいまも空き地のままだ。そして公的文書によれば、バイオバレー計画は今年のはじめに、静かにその姿を変えていた。新たな計画である「バイオネクサス (BioNexus)」プロジェクトは、デンキル地区に新施設を1つ建設し、別の既存の研究所の周囲に「中核的研究拠点」をあと2つ設置するという、ずい分とこじんまりしたものになっている。

そういったことごとくが、マレー半島の先端に位置する隣国の都市国家シンガポールにおける活況とは好対照をなす。シンガポールでは、大規模な生物医学研究のハブとなる「バイオポリス (Biopolis)」が活発に稼働している。

負の遺産

なぜマレーシアとシンガポールの間にこれほどの差ができたのか。一見したところ不思議なほどだ。そもそも2つの国には、似たような民族構成、権力主導の政府、バイオテクノロジー事業を将来の経済成長の足がかりとして位置づけていることといった数多くの共通点がある。とくにマレーシアでは、エレクトロニクス産業とパームオイル産業に対する過度の依存からの脱却が望まれている。

しかし、国籍、民族、信条にかかわらず一流の研究者を積極的に採用することが科学的な成功につながると認識しているシンガポールに対し、マレーシアにおけるバイオテクノロジー振興策は、過去の民族間対立にとらわれている。国内で多数派を占めるマレー系の人々を優遇するために導入された教育政策によるしほりが強いのだ。

バイオバレーは、マレーシア政策の

失敗例の見本のようなものといえる。バイオバレー以外にも、新しい研究施設の多くが使われないままだったり、研究上の適切な訓練を受けていない者が施設を管理、指揮していたりという例はほかにもあちこちで見られる。そのうえ当局に対する批判がタブーであるお国柄では、こうした問題が解決される見込みはほとんどない。今回話を聞いた多くの取材対象者と同じく匿名を条件にインタビューに答えてくれた地位の高いある政治家は、バイオバレープロジェクトは「小ぎれいな建物と不動産開発以外のなにものでもない」と不満を込めて語った。

マハティールとその追従者たちは、「バイオテクノロジー」の名のついた真新しい施設を作りさえすれば研究者たちが我先に押し寄せてくると考えていたふしがある。だがそれは無邪気な妄想に過ぎなかったと、マレーシアの科学界に詳しい海外の事情通は指摘する。「バイオテクノロジーの歴史もなければ産業もほとんど整備されていない状況では、リスクは非常に高い。それに最大の問題は、人的資源の不足です」と、マレーシアで研究活動を展開している数少ない外資系企業の1つ、ニムラ・ジェネティック・ソリューションズ (本社・神奈川県) の清田圭一社長は語る。

人材不足の問題について、マレーシアの科学界は多くの若手研究者の頭脳流出を止められないでいる。とくに、国内の少数派である中国系やインド系の若手研究者が次々と海外へ出ていく。だがそれも、彼らを取り巻く環境の厳しさを知れば理解できる。問題の根幹は、国内で多数派を占めるマレー系の人々を優遇する「マレー・ファースト」政策にあると、国立シンガポール大学大学院の責任者で生化学者の Barry Halliwell はいう。「その点シンガポールは得をしています。多くの若手研究者たちがマレーシアからやってくるのです」。たとえば昨年、オールAの成績

を修めた128人の学生がマレーシアで医学部への入学を拒絶された。だがその一方で、それ以下の成績の志願者が入学を許可されていた。門前払いされたのはすべて、非マレー系の受験者だったという。

「マレー・ファースト」政策の導入は、1969年に起きた民族間暴動に端を発する。暴動のきっかけは、多数派のマレー系が、中国系コミュニティが経済的に成功していることに異議を唱えたことだった。この騒動の苦い記憶があるので、マレー系の学生に優先的に機会を与える政策を支持する研究者もいる。「この政策がなければ、マレー系の人々が自国で二等市民となってしまう、それが暴動の火種となるかもしれない」と、クアラルンプール近郊のケポン地区にあるマレーシア森林研究所の元所長で、現在はマレーシア自然協会の会長を務める Salleh Mohammed Nor は語る。

マレーシア政府は1970年代はじめに、多数派を占めるマレー系の利益を優先するための取りくみをはじめた。たとえば1975年には、英語にかえて、マレー系の人々が使用する言語 (バハサ・マレーシア) を教育現場における標準言語とした。しかし、成果に基づく正しい評価がなされないこの政策のもとでマレーシアの教育システムがだめになってしまったのだという批判は免れない。「あらゆる組織の副責任者が、調査委員会による審査をまったく受けることなく政府によって任命されていた。情実人事そのものだった」と、以前マラヤ大学にいた研究者は語る。

閑散とした研究室

そして真新しい施設が建てられた場合でも、大きな成果は上がっていない。たとえば、首都近郊の「テクノロジーパーク・マレーシア」にはバイオテクノロジー企業の引き寄せを期待して政府が資金を提供した研究施設がある。

竣工から2年経ったこの施設を6月に訪れたときには、高速液体クロマトグラフィーや質量分析計は使用されておらず、2人のスタッフがコンピューターのそばにいただけというありさまだった。マレーシアには職に就けない大卒者がいるといわれるが、その多くは英語などの必要なスキルがないとトリサーチパークの管理者は語る。「優秀な人材は海外に出ていくのです」

科学の世界における国際語を受け入れていないことは、マレーシアにおける研究システムが世界標準から総じて遠いという現実を映しだしている。またほとんどのマレーシアの研究者にとって、研究成果を査読制度のある国際的な学術誌に発表することはそれほど重要ではないようだ。「この国の研究者たちは、ワークショップや会議の議事録を除けば、成果を多く報告しようという意識はないようです」と、海外から派遣されている生態学者は語る。

マレーシアはまた、海外の研究者にとって魅力の乏しい国でもある。給料は安く、現地で確保できるポストの数も少ない。「私が何を研究しているか正しく理解しているのは、自分のところの学生以外にはないと思う。所属する学部の人たちとの対立も日常茶飯事だ」と、家庭の事情でマレーシアに在住している、ある外国人研究者は語る。

ここでも隣国との対比は鮮やかだ。シンガポールでは研究者は給料も社会的地位も高く、政府は広く手を尽くして一流の研究者たちを集めようとする。主力の研究センターであるシンガポール分子細胞生物学研究所に所属する35人の主任研究者のなかでシンガポール人はひとりだけである。「能力のある人がいれば、その頭脳を借りるのです」と、シンガポールの主要研究費提供機関であるA*STARの代表 Philip Yeo はいきまる。

マレーシアのリーダーたちは、シンガポールの雇用政策を見習う必要があることを頭ではわかっている。たとえ

ば1995年、当時のマハティール首相は、年間5,000人の外国人研究者を採用する5か年計画に着手した。ところが、計画に応募したのはわずか94人、なかでも24人は帰国を希望する海外在住のマレーシア人研究者だった。そしてそのうち2004年の時点でマレーシアに留まっていた研究者は、ただひとりである。

希有壮大な目的を設定しては失敗を繰り返すというこうしたパターンは、マハティール時代にはよくみられた。このため、バイオバレー計画が絵に描いた餅に終わったことに驚きはない。バイオバレーに続く、いくぶん控えめなプロジェクト「バイオネクサス」では、農業バイオテクノロジー、ゲノム科学、分子生物学に特化した既存の研究施設が中心となる。唯一の新しい施設が、医薬品および機能性食品の研究を行う予定となっている。

国家バイオテクノロジー政策の一環であるバイオネクサスは、過去の失敗を克服すべく今年4月に概要が発表された。アブドラ新首相が議長を務めるマレーシアバイオテクノロジー公社と命名された新機関は、税制上の優遇措置を講じ、バイオテクノロジー企業に対するマッチング・グラントの提供を行う予定である。公式の目標は、「国際的に認知される」研究プロジェクトをおし進めることだ。

このようにトーンダウンしてはいるが、その取りくみは外に目を向けられている。より現実的な枠組みのなかで、教育や科学に関する政策の導入が進んでいるといえるだろう。一例としてペナンでは、海外企業が関心もつと思われる動物毒性学分野の委託研究の受注を視野に入れた研究拠点の設立が、地方自治体主導で進められている。「この地では試験の実施が安くでき、また、動物の権利に関する問題もそれほど大きくありません」と、ペナン市長 Koh Tsu Khoo は語る。人材への投資が不

可欠なことを承知する Khoo 市長は、「建物より頭脳の充実を進めています」と話す。

成果主義をめざして

中央政府も、さらに根本的な改革の導入を進めている。2003年には、数学および科学を教える際の使用言語が英語とされた。また私立大学の設立も許可され、国家制度によって差別されていると感じている中国系やインド系の子弟にも門戸が開かれた。その1つに、オーストラリアのメルボルン近郊に本校のあるモナッシュ大学が設立したマレーシア分校が挙げられる。そして公式政策としては、高等教育の現場で「マレー・ファースト」政策を強く進めるために用いられてきた厳格な割当が、州立大学におけるポストを決めるにあたっては成果を重視した制度とするというように変わりつつある。

しかし、国立大学入学にあたっては統一試験がなく、本当の変化につながるかどうか懐疑的な声も聞かれる。彼らは、国がその民族優遇政策の遺産を直視しないかぎり、国家として近隣諸国とバイオテクノロジー分野で伍していけるとは思えないと話す。「国家予算の大半がマレー系に注がれているかぎり、状況は変わらないと思う。政府は大量の資金をバイオテクノロジー分野に投入しているが、成果は疑わしい。今後も多くの無用の長物を目にするようになると思うね」。マレーシア在住のある外国人研究者から聞かれた率直な意見だった。 ■

David Cyranoski は *Nature* のアジア・太平洋担当記者。

日本のX線天文学は 試練を乗り越えられるか

高エネルギーのX線をとらえて、ブラックホールや銀河団などの宇宙の謎を解明すべく打ち上げられたX線天文衛星「すざく」。打ち上げには成功したものの、1か月後、主要観測装置が使用不能になるという事態に陥った。装置はなぜ故障したのか、期待されていた観測は今後どうなるのか、北原逸美が取材した。

2005年7月10日、宇宙航空研究開発機構（JAXA）はX線天文衛星「ASTRO-E2」を搭載したM5ロケット6号機を内之浦宇宙空間観測所（鹿児島県）から打ち上げた。衛星は予定の軌道に投入され、打ち上げは成功。JAXAは衛星を、鳥の姿をした南天の守護神にちなんで「すざく（朱雀）」と命名した。「すざく」は、2000年のM5ロケット4号機による打ち上げ失敗で失われた「ASTRO-E」の再挑戦機であり、日本は5年ぶりに自前のX線観測の手段を獲得した。

世界をリードしてきた日本のX線天文学

X線は高エネルギーの電磁波で、宇宙では数百万～1億℃という超高温の物質から放射される。ブラックホールにガスが吸いこまれたり、星の最期に起こる超新星爆発でガスが撒き散らされるときなどに発生すると考えられている。しかし、宇宙から飛来するX線は

大気に吸収されて地上には届かないため、衛星を用いた大気圏外での観測が必要となる。

「すざく」は、こうしたX線の観測を目的とした日本5代目の衛星である。初代は1979年に打ち上げられた「はくちょう」。故小田稔博士が開発した「すだれコリメーター」というX線天体の位置を正確につきとめる装置が搭載され、当時発見されたばかりのX線バースト源を次々と見つけ、中性子星の研究で成果をあげた¹。続いて「てんま」（1983年）「ぎんが」（1987年）「あすか」（1993年）と、途切れることなく衛星が打ち上げられた。

「とくに私たちの誇りとするところは、一世代ごとに衛星の検出感度が上がっていったことだ」と語るのは、東京大学の牧島一夫教授である。「はくちょう」の感度を1とすると「てんま」はその10倍、「ぎんが」では200倍、「あすか」にいたっては5000倍にも達した。

「てんま」は星間空間に高温のプラズマがあることを発見し²、「ぎんが」は大マゼラン雲に出現した超新星SN1987Aの発するX線をとらえた³。「あすか」は世界で初めてX線の撮像と分光を同時に行い、さまざまな銀河の中心にブラックホールがあることを実証した⁴。これらの成果から、X線天文学は日本の「お家芸」とよばれるようになり、名実ともに世界をリードしてきたのである。X線天文学という新たな分野を開拓した功績により、2002年にノーベル物理学賞を受賞したリカルド・ジャッコニ博士は、「日本のX線天文学は、米国が最高レベルの衛星をもてなかった1980年代と90年代にとくに大きな役割を果たした」とJAXAのインタビューにこたえている。

「すざく」の大きな科学目標は、銀河の集まりである銀河団を包む高温ガスやブラックホールに流入する物質から放射されるX線の観測である。銀河や

銀河団が形成されるしくみや、ブラックホール周辺の時空構造の解明が進むと期待されている。光速に近い速度で進む高エネルギー宇宙線がどこで、どのように加速されているのかという謎にも迫る予定だ。

すでにX線天文衛星としては、NASA（米航空宇宙局）の「チャンドラ」とESA（欧州宇宙機関）の「ニュートン」が1999年から稼働している。これに「すざく」が加わって、3つの衛星がそれぞれの特長を生かして協力すれば、新しい発見や宇宙進化の解明につながるはずだ。

液体ヘリウムが一気に気化した

「すざく」は全長6.5メートル、重さ1.7トンで、日本の科学衛星では最大級の大きさを誇る。口径40センチのX線望遠鏡5台のほかに、X線CCDカメラ、X線マイクロカロリメーター（XRS）、硬X線検出器の3種類の検出器を搭載。なかでもとくに注目されるのがXRSである。内部を0ケルビン近くまで冷却して、X線によるわずかな温度上昇を検知することで、従来よりも10倍も高い精度での観測が可能となった。この装置は日本とNASAが共同で開発し、世界で初めて衛星に搭載された。

XRSは打ち上げから17日目（7月27日）には、60ミリケルビンという宇宙空間での極低温新記録を達成し、正常に動作していることが確認された。ところが事態は一転する。8月8日、XRSに充てんした30リットルほどの冷却用液体ヘリウムがすべて気化し、内部を冷却できなくなったのだ。復旧する見込みはなく、XRSによる観測は絶望的となった⁵。これで「すざく」の観測能力は、当初見込みの60%程度にまで落ちこむという。

現在、事故調査委員会がその原因を調査中である。XRSは検出器を中心に内側から断熱消磁型冷却機、液体ヘリウム（1.5ケルビン）、固体ネオン（15ケルビン）という3層の冷却方式によって、60ミリケルビンの超低温状態を作り出す構造となっている。「すざく」の開発責任者であるJAXAの井上一教

授は「はっきりした原因については調査委員会の結論を待ちたいが、何らかの理由で液体ヘリウムタンクの断熱性が悪くなったと思われる」と述べる。調査委員会の答申は、今から2～3か月先に出される見込みだ。

XRSの優れた分光能力があれば、天体の運動速度をドップラー効果に基づいて精度よく測ることができ、銀河団中の激しい高温ガスの流れなどを知ることができるはずであった。しかしそれができなくなったため、銀河団の進化の解明といった科学目標の達成にはいくらかの影響が出ると思われる。

世界中の科学者がXRSによる観測を待ち望んでいた。NASA側のXRS開発の責任者リチャード・ケリー博士は「早く代替の装置を開発する必要があるだろう」と語る。

残る装置に期待がかかる

XRSが機能停止した今、生き残った装置の活躍に期待がかかる。ケリー博士は「残された装置（X線望遠鏡やCCDカメラ、硬X線検出器）は、広い集光面積と幅広いエネルギー帯（0.4～600キロ電子ボルト）という特長を備えている。活動銀河をはじめとするさまざまな研究に貢献できるだろう」と予想する。

硬X線検出器は日本独自の開発によるものである。ガドリニウム・シリケート結晶シンチレーターと半導体検出器を組み合わせ、放射線バックグラウンドを極限まで取り除くことで、10～600キロ電子ボルトの幅広いエネルギー帯で感度よく観測できる。開発者のひとりである牧島教授は「さまざまな天体での粒子加速の研究、超新星爆発で作られた同位体の調査、大小のブラックホールへ降着する物質の探究、メガ電子ボルト領域でのガンマ線バーストの観測など、多くのテーマに威力を発揮できる」という。

「すざく」の観測計画は、もともと液体ヘリウムの寿命（約3年）を考慮して、XRSによる観測を優先して立てられていたが、大幅に見直されることになった。牧島教授は「残された装置で

当初の観測能力の100%を取り戻せるわけではないが、発想を転換することによって、それを挽回できるような成果をあげることができるのではないか」と考えている。

今後はどう生かすのか

「すざく」に限らず、これまでも途中で使用不能となった衛星は存在した。最近の例としては、2003年に太陽電池パドルが故障した環境観測技術衛星「みどりII」⁶や、同年、電源につながる回路に不具合が生じ、火星周回軌道投入ができなくなった火星探査機「のぞみ」などがある。衛星のサイズが大きくなるにつれて、リスクも大きくなる傾向にある。JAXAの的田泰宣執行役は「宇宙開発ではロケットでも衛星でも、原因を究明し改良すれば、二度と同じタイプの事故は起こらない。事故を防ぐには、失敗を次の設計思想に生かすということ以外に方法はない」と指摘する。

井上教授は「今回の事故が学問の進歩を滞らせることになった点については、誠に残念で、申し訳なく思っている。しかし、事故原因や今後の対策を総括したうえで、もう一度、私たちの手で新たな装置を開発し、X線天文学の発展に貢献したい」と話す。

無事だったCCDカメラは、8月13日に初めての画像撮影（小マゼラン雲の超新星残がいE0102-72）に成功した。硬X線検出器も8月19日、電波銀河ケンタウルス座AからのX線を検出し、予想どおりの性能が確認された。牧島教授は「衛星の命がある限り、残った装置の性能を極限まで追求し、X線天文学の最前線を開拓していきたい」と抱負を述べた。「すざく」と日本のX線天文学研究グループの今後の活躍に心から期待したい。 ■

北原逸美は *Nature* のローカル・コンテンツ・エディター。

1. H. Inoue *et al.*, *Astrophys. J. (Letters)*, **250**, L71 (1981)
2. K. Koyama *et al.*, *Publ. Astron. Soc. Japan*, **38**, 121 (1986)
3. T. Dotani *et al.*, *Nature*, **330**, 230 (1987)
4. Y. Tanaka *et al.*, *Nature*, **375**, 659 (1995)
5. *Nature (News)*, **436**, 901 (2005)
6. D. Cyranoski, *Nature (News)*, **426**, 3 (2003)

'Fingerprinting' documents and packaging

文書やパッケージの「指紋」

James D. R. Buchanan*, Russell P. Cowburn*, Ana-Vanessa Jausovec*, Dorothee Petit*, Peter Seem*, Gang Xiong*, Del Atkinson†, Kate Fenton†, Dan A. Allwood‡, Matthew T. Bryan‡

Nature Vol.436 (475) /28 July 2005

個々の文書やパッケージに固有な表面欠陥を手がかりにすれば、同一性を容易に認証でき、偽造による被害防止に役立つ。

われわれは、ほとんどすべての紙の文書やプラスチックカード、商品用パッケージに、表面上の微細な欠陥によって形成された独自の物理的な識別コードが含まれていることを発見した。この隠れた「指紋」は、その物体に固有のもので、制御可能な手段によって改変することはほぼ不可能である。低価格ポータブルレーザーสキャナーを使えば、迅速に読み取ることができる。この識別コードによって、ほとんどの種類の文書やブランド製品の偽造が不可能となる。

文書やオブジェクトに付されたタグやトークン信号の物性における自然発生的なランダム性は、そのような文書やオブジェクトに一意的な識別子を付与するための手段となっている^{1,2,3,4}。我々は、すべての無反射面を対象として、その固有の粗さを利用して、物理的ランダム性を得られないかどうかを調べた。この方法は、広範な種類の紙、プラスチック、ボール紙製の物品に対し、それぞれに固有の強力な偽造防止対策を秘密裏に付与できるという可能性を秘めている。

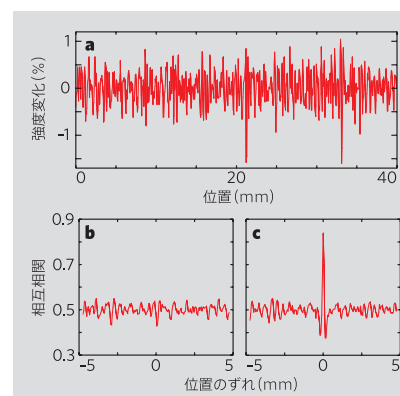


図1 文書の「指紋」の比較

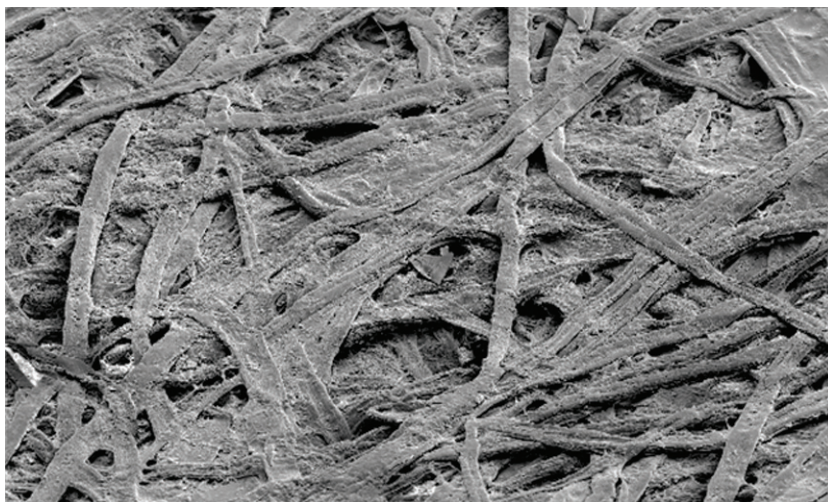
- a: 集光レーザービームで長さ40ミリの白色紙をスキャンしたときに、1台の光検出器で測定された散漫散乱強度のゆらぎ
- b: 2枚の紙のスキャン結果のデジタル相互相関
- c: 同じ紙の2回のスキャン結果のデジタル相互相関

われわれはレーザースペckル⁵の光学的現象を利用し、集光レーザービームの散漫散乱を使って、さまざまな物体表面の微細構造を調べた。これまでにレーザースペckルは、表面粗さ⁶、金属やぬらした紙の微小変形⁷、紙の剪断弾性率⁸の測定や *in vivo* での血流の画像化⁹に用いられている。

図 1a には、集光レーザービームで 1 枚の標準白色紙全体をスキャンし、4 台の光検出器を使って 4 つの異なった角度から反射強度を継続的に記録した結果が示されている。ここには波長 70 μm 以上の擬似ランダムゆらぎがあることが統計解析によって示されている。平均強度からのゆらぎは、1 と 0 にデジタル化され、これがこの物体の「指紋」コードとなった。

図 1b には、このスキャン結果と同じ束の別の紙を同様にスキャンした結果のデジタル相互相関が示されている。ここには強いピークがなく、それぞれのスキャン結果に独自性があることを示している。これに対して、同じ紙の 1 回目のスキャン結果と通常の手扱いを経て 3 日後に行われたスキャン結果とのデジタル相互相関では、位置のずれが 0 に近いところに強いピークがある (図 1c)。このことは、スキャン結果がほぼ同一であることを示している。これと類似した結果は、(クレジットカードのような) つや消しプラスチックカード、身分証明カードとコーティングされたボール紙製のパッケージ (たとえば医薬品や化粧品用) からのも得られた。

対象物を乱暴に扱った後でも識別力は高かった。紙の場合、乱暴な取扱いとは、固く球状に丸めてから、広げて表面をならして表面をしわだらけにすること、冷水に 5 分間ひたしてから自然乾燥させること、炉内温度を 180°C に設定して 30 分焼き



乱暴な扱いを受けても大丈夫：水に完全に浸されても、紙の表面上の微細なパターンは消えない。

付けて、表面を焦がすこと、ボールペンや濃い黒色のサインペンでスキャン対象領域に高密度の落書きをすること、洗浄用研磨パッドで表面をこすすることをさす。スキャナー上に対象物を静置する場合には、 $\pm 1\text{mm}$ 、 2° 以内のズレは許容範囲内とされた。

相互相関におけるピーク値の振幅は、2 つの対象物に区別できない特徴が存在する蓋然性を判定するために使用できる。今回調べた紙の場合には、蓋然性は 10^{-72} 未満だった。つや消しプラスチックカードやコーティングされたボール紙のように平滑な表面の場合には、蓋然性は通常 10^{-20} 未満となった。このようにレーザースペckルの信号は、対象物それぞれにとってほぼ独自の「指紋」となる。それぞれの「指紋」は、約 200 ～ 500 バイトの記憶領域を必要とする。

既存の同一性認証法のほとんどは、偽造者にとって再現がむずかしい独自の製法 (たとえばホログラムや安全インキ) に依存している。われわれの研究成果は、認証と追跡調査の新たな方法の導入に道を開くものである。必要とされるような高い精度で対象物の表面上の欠陥をコピーするための製法は発明されておらず、たとえ、この認証方法の発明者であ

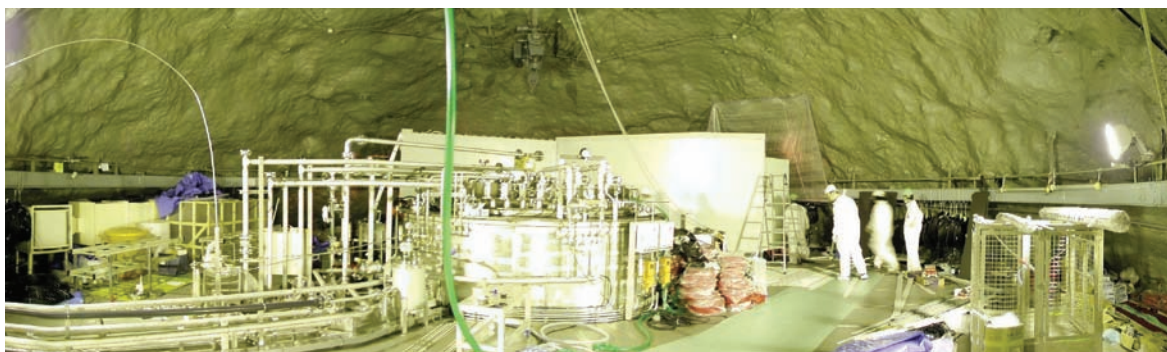
っても、対象物の「指紋」に対する物理的攻撃はできないだろう。また、タグやチップ、インキを付加して保護対象物品を改変する必要がないため、この偽造防止対策は、秘密裏に行うことができる。また低価格で、容易に製法に組みこむことができ、この対策自体が攻撃を受ける心配もない。

* ブラケット物理研究所 (英)

+ ダーラム大学 (英)

‡ シェフィールド大学 (英)

1. Smith, J. R. & Sutherland, A. V. *Proc. AutoID'99, Workshop on Automatic Identification Advanced Technologies* 79-83 (IEEE, New York, 1999).
2. van Renesse, R. in *European Convention on Security and Detection* 45-49 (Institution of Electrical Engineers, London, 1995).
3. Indeck, R. S. & Glavin, E. *IEEE Trans. Magn.* **29**, 4095-4097 (1993).
4. Pappu, R., Recht, B., Taylor, J. & Gershenfeld, N. *Science* **297**, 2026-2030 (2002).
5. Goodman, J. W. *Topics in Applied Physics: Laser Speckle and Related Phenomena* (ed. Dainty, J. C.) vol. 9 (Springer, Berlin, 1984).
6. Leonard, L. C. & Toal, V. *Opt. Lasers Eng.* **30**, 433-440 (1998).
7. Sjodahl, M. & Larsson, L. *Opt. Lasers Eng.* **42**, 193-201 (2004).
8. Seo, Y. B. *J. Pulp Paper Sci.* **25**, 321-325 (1999).
9. Briers, J. D., Richards, G. & He, X. W. *J. Biomed. Opt.* **4**, 164-175 (1999).



KAMLAND/LBNL

Ghosts from within

地球内部からの「幽霊」素粒子

William F. McDonough

Nature Vol. 436 (467-468) / 28 July 2005

地下から放出される地球ニュートリノが初めて観測されたのは、画期的な成果である。これによって、地球内部にある放射性元素の量や分布、地球全体としての熱収支をもっと詳しく推定できるようになると考えられる。

地球内部に存在する化学元素の不安定な同位体が崩壊することで発生する熱が、地球から放出される全エネルギーの一部となっていることは、アンリ・ベクレルが1896年に放射能を発見した直後にわかった事実である。100年以上たって、荒木たち¹は地球中心部での放射性 β^- 崩壊で生じた反ニュートリノを初めて観測したと *Nature* 2005年7月28日号に報告した。このいわゆる地球ニュートリノの観測から得られた結果は地球の化学的・物理学的モデルと矛盾せず、地球内部の不安定同位体、つまり放射性核種が貯蔵されている場所やその濃度を確かめる新しい方法となる。

反ニュートリノは、その片割れであるニュートリノと同様に3種類あり、それぞれ対となる荷電粒子の電子、ミュー粒子、タウ粒子の名をとって命名されている。反電子ニュートリノは、たとえばカリウム (^{40}K) からカルシウムの同位体 ^{40}Ca への崩壊やウランウム (U) やトリウム (Th) の崩壊系列で起きる原子核の β^- 崩壊で発生する。ニュートリノや反ニュートリノは幽霊のような粒子で、電荷をもたず質量もほとんどなく、まったく相互作用せずにほとんどの物質を通りぬける。それゆえ、検出がきわめて困難である。

カムランド (KamLAND、神岡液体シンチレーター反ニュートリノ検出器) の設備は、このようなつかまえない粒子によって生じるかすかな光をとらえることを目的として作られた。この検出器は本州中央部、岐阜県池ノ山山頂の地下1kmにある鉱山内に置かれていて、反ニュートリノ以外の素粒子からなる宇宙線の影響が少なくなるようにしている。反ニュートリノは逆 β^- 崩壊として知られている過程によって、カムランドの重さ1000トン、直径13mのシンチレーション検出器 (上記の写真) 中の陽子にときたまらえられる。すると、中性子ができ、中性子は陽子と結合して重陽子となり、エネルギー2.2MeVの特性 γ 線 (シンチレーション光) を発生する。この反応で生まれた光は、検出器を取り囲んで配置された光電子増倍管によって検出され、電気信号となる。

2003年に、カムランドは3種の反ニュートリノが相互に入れかわる現象 (反ニュートリノ振動²) を立証するうえで重要な役割を果たした。この結果は反ニュートリノに質量が (小さいものだが) あることを実証し、カナダのサドベリーニュートリノ観測所による太陽ニュートリノ振動の発見³を補強するものとなった。カムラン

ドで検出された振動する反ニュートリノは、約 180km (平均) 離れた場所にある原子炉で発生したものだ。今回、カムランドが検出したのは、さらに遠い発生源からの反ニュートリノつまり地球ニュートリノである。地球ニュートリノは、地球から放出されるエネルギーが発生する場所を解明する鍵となる。

地球内部から散逸する総エネルギーは 30 から 44 テラワット (1TW、1 テラワットは 10^{12} ワット) の間であると推定されている^{4,5}。推定値の幅は、一方は地球表面での熱流の全球モデル間と、他方は海洋の熱水循環の効果を考慮に入れた中央海嶺での熱放散量の推定値とのちがいに由来している。地球についてのいくつかの合成モデルによると、地球内の K、U、Th の量では、合計しても約 19TW のエネルギーにしかならないこと^{6,7}が示されている。これらの観測結果から、ユーリー比(地球表面での総熱流に対する放射性崩壊で発生する熱量の評価指標)は 0.4 から 0.6 になる。残りの熱は核の偏析、内核の結晶化、降着エネルギー、あるいは消滅した放射性核種といった潜在的な要因からもたらされているにちがいない。たとえば、地球の核に金属が集積することによって重力エネルギーが増え、熱転換されたエネルギーとか、地球の成長初期に衝突によって加えられたエネルギーなどである。

他のモデルでは、地球の核には K も存在すると考えられ^{8,9}、より高いユーリー比が予測される。しかしながら、このようなモデルは受容限度を制限する地球化学的な結果をとともう (文献 4 を参照)。核-マントル境界を通る熱流束と核内の熱源の性質も、これまで懸案とされてきた考察の対象である¹⁰。カムランドの結果¹は Th と U の放射性崩壊によって生じる熱エネルギーの上限値が (信頼水準 99% で) 60TW であり、代表値が 16TW であることを明らかにしたが、この値はモデル予測と矛盾しない。

カムランドの結果は簡単に取得できたものではなく、その解析も容易ではない。きれいな信号にするには、さまざまな「汚染物」をエネルギースペクトルから取り除かねばならない。地球ニュートリノによって生じた可能性のある 152 個の事象のうち、20 ~ 25 個の事象だけが地球ニュートリノの真の候補と考えられた。残りの「バックグラウンド」反ニュートリノは近くにある原子炉(全信号の 50% 以上)と検出器内の放射性の不純物(約 28%) から発生している。そのうえ、K の崩壊によって発生した地球ニュートリノは、エネルギーが既存の検出系で検出できる閾値 1.8MeV より小さいため、カムランドではまだ検出されていない。

荒木たちによって報告されたデータ¹は彼らの最初の

実験から得られたものであり、約 2 年間にわたる計測作業の成果である。カムランドや 2006 年に運用がはじまるイタリア中部のグランサッソ山地下の Borexino 検出器で行われる観測によって、さらに多くのデータが得られ、より高い感度で地球ニュートリノの性質と発生源を検証できるようになるだろう。そして、地球から外側へ放射状に移動する地球ニュートリノの熱流束が、放射性崩壊によって生じた熱流束に正比例していることの確認が大きく前進することになるだろう。しかしながら、そのためには地球内部の K、Th、U の存在量と分布についての正確な情報が必要である。

この目的を達成するために、最初の詳細なアセスメントとして、カムランド近辺の局地的な地殻とその下のマントル内および地球内部全体に含まれる放射性元素の分布に関する地球ニュートリノフラックスの予測が行われた¹¹。さらに今後、さまざまな場所にある検出器で得られた角度積分したニュートリノフラックス¹²と元素分布地図を組み合わせて、地球全体の K、Th、U の分布についてより多くのことを伝えてくれる地球ニュートリノ断面図を作成できるようになるだろう。それゆえ、将来(反)ニュートリノ検出器を設置するように提案される場所には、K、Th、U に富む大陸領域と K、Th、U に乏しい海洋領域の両方が必ず含まれていなければならない。

荒木たちが発表したカムランドによる先駆的な結果¹に、将来行われる研究から得られるデータを加えると、地球の U 収支と Th 収支に対する基本的な制約条件が得られるだろう(そしてやがては K 収支についても期待される)。また、全エネルギー収支に対する各核種の寄与の度合いも明らかになるだろう。今年後半には、ハワイで行われる会議¹³に素粒子物理学者と地球科学者が集まって、このような活気に満ちた両者に共通の研究領域について討論されることになっている。

メリーランド大学 (米)、William F. McDonough

1. Araki, T. et al. *Nature* **436**, 499–503 (2005).
2. Eguchi, K. et al. *Phys. Rev. Lett.* **90**, 021802 (2003).
3. Ahmad, Q. R. et al. *Phys. Rev. Lett.* **89**, 011301 (2002).
4. Pollack, H. N., Hurter, S. J. & Johnson, J. R. *Rev. Geophys.* **31**, 267–280 (1993).
5. Hofmeister, A. M. & Criss, R. E. *Tectonophysics* **395**, 159–177 (2005).
6. McDonough, W. F. in *Treatise on Geochemistry* Vol. 2 (ed. Carlson, R. W.) 547–568 (Elsevier, Oxford, 2003).
7. Palme, H. & O'Neill, H. St C. in *Treatise on Geochemistry* Vol. 2 (ed. Carlson, R. W.) 1–38 (Elsevier, Oxford, 2003).
8. Rama Murthy, V., van Westrenen, W. & Fei, Y. *Nature* **423**, 163–165 (2003).
9. Lee, K. K. M. & Jeanloz, R. *Geophys. Res. Lett.* **30**, 2212 (2003).
10. Labrosse, S. *Phys. Earth Planet. Inter.* **140**, 127–143 (2003).
11. Fiorentini, G., Lissia, M., Mantovani, F. & Vannucci, R. preprint at www.arxiv.org/hep-ph/0501111 (2005).
12. Field, B. D. & Hochmuth, K. A. preprint at www.arxiv.org/hep-ph/0406001 (2004).
13. www.phys.hawaii.edu/~sdye/hnsc.html

A is for adipokine

AはアディポカインのA

Deborah M. Muoio & Christopher B. Newgard

Nature 436 (337-338) / 21 July 2005



アディポカイン類は脂肪組織の質量とエネルギー状態の変化を伝達するシグナルとして働くホルモンの一種で、体の燃料の使い方を調節している。脂肪組織由来のアディポカインでビタミンAに結合するものが、肥満とインスリン抵抗性を結びつけていることが今回解明された。

肥満の世界的蔓延にともなって、糖尿病の罹患率も急増している¹。正常であれば、血中グルコース（ブドウ糖）濃度つまり血糖値は、インスリンの効果的な働きによって制御される。インスリンは血中からのグルコース取りこみを促進させ、肝臓からのグルコース放出を減速させる。肥満と糖尿病いずれの場合も、インスリンの標的となる筋肉や肝臓などの組織がインスリンに適切に反応してグルコース代謝を調節することができない。この「インスリン抵抗性」とよばれる状態の開始は体重増加と密接に結びついており¹、このことから、脂肪をためこんで大きくなった脂肪組織がインスリンの働きを妨害するシグナル（1つか複数かわからないが）を発するとみられている。この見方と符合するように、Yang たちは *Nature* 2005 年 7 月 21 号で、脂肪細胞で作られるレチノール結合タンパク質 4（RBP4）という因子が、インスリンに対する全身の感受性を損なう可能性があると報告している。グルコースの恒常性を調節することがわかった脂肪組織由来ペプチドの種類は増えつつあり、そこに RBP4 も加わることになる。

内分泌器官としての脂肪組織の重要性が最初に浮上したのは、レプチンの革新的発見があった 1995 年のことである³。この脂肪組織由来ホルモンは、摂食行動とエネルギー消費量の両方を制御することで体重を抑える。その後の研究で、エネルギー源の使用量を制御する他の器官へ脂肪組織の大きさやエネルギー状態の変化を知らせる、脂肪組織由来の「アディポカイン」とよばれる一

群のタンパク質（アディポネクチンや TNF- α 、レジスチンなど）の存在が明らかになった⁴。臨床の観点からすれば、こうした分泌型ペプチドはそれぞれが、肥満からインスリン抵抗性を切り離すような薬剤の標的となる可能性がある。

Yang たちの発見²は、糖尿病研究が長年直面してきたパラドックスを解く鍵になるかもしれない。GLUT4 はインスリンに制御されるグルコース輸送体であり、肥満してインスリン抵抗性のある齧歯類やヒトの脂肪細胞では GLUT4 の発現が大きく減少するが、筋細胞では減少しない⁵。これは、筋肉がグルコースの処理に大きな役割を果たすことを考えると意外なのだ。このパズルを解くための最初の手がかりは、脂肪組織の GLUT4 の発現を特異的に排除したり増加させたりする研究からもたらされた^{6,7}。脂肪組織の GLUT4 を欠損させたマウスは糖尿病になりやすい⁸が、GLUT4 を過剰に発現させたマウスはグルコースを効率良く処理する⁶。全身のインスリンの効き目の変化は、筋肉や肝臓のインスリンに対する感受性の変化によって生じる。そのため、脂肪が末梢組織とコミュニケーションをとれるような「脂肪組織分泌」(adipocrine) 物質の関与が考えられた。ところが、すでに知られる脂肪組織由来因子（レプチンや遊離脂肪酸、TNF- α など）を調べても、GLUT4 を増減させる操作に反応したと思われる因子の正体を、確信をもって明らかにすることはできなかった。

そこで今回 Yang たちは、DNA マイクロアレイ技術

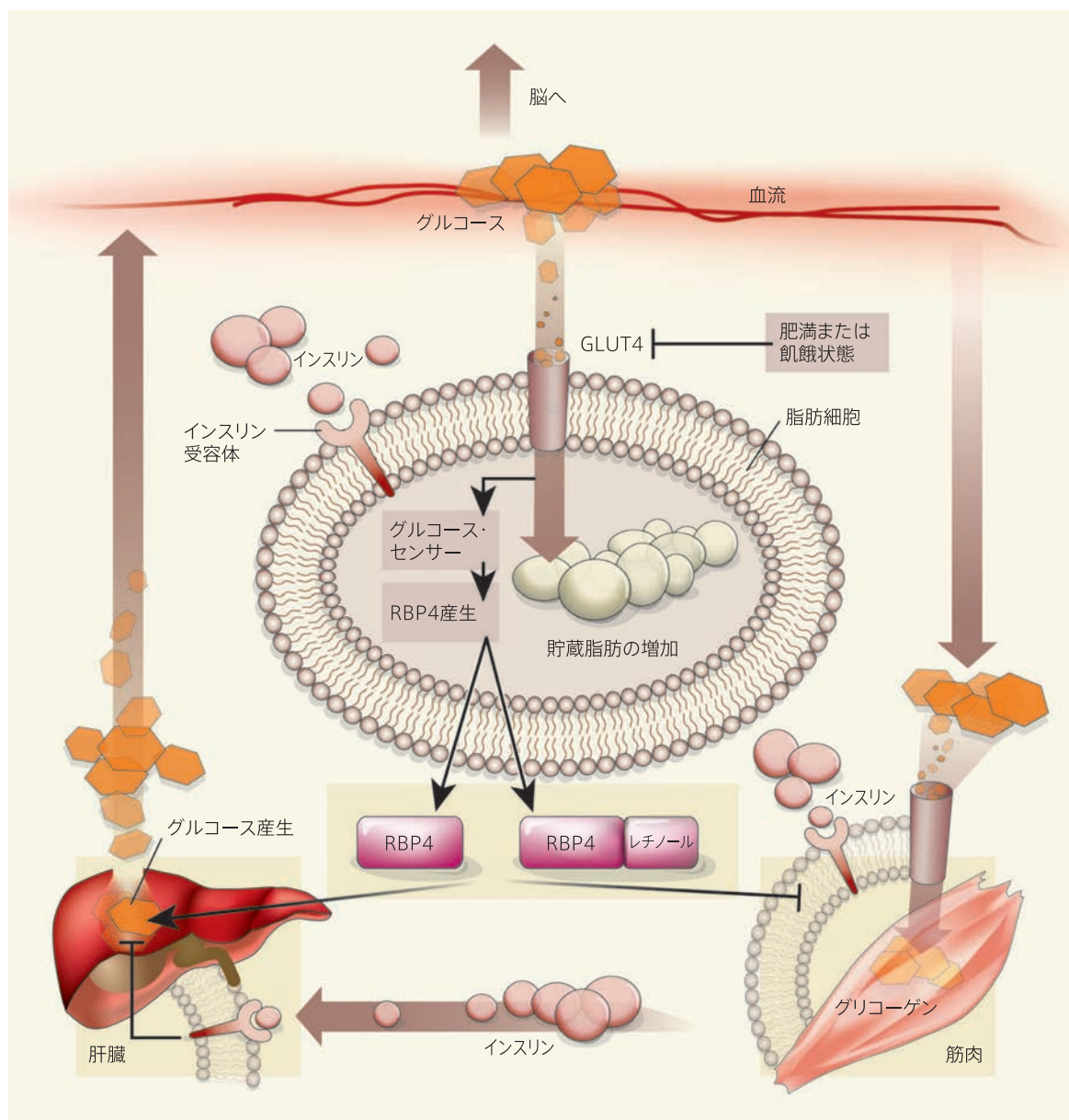


図1 グルコース代謝内のレチノール結合タンパク質4 (RBP4) 正常な人では、細胞膜にある受容体にインスリンが結合すると、GLUT4輸送体を介した筋細胞や脂肪細胞へのグルコース取りこみが促進される。肝臓ではインスリンが結合するとグルコース産生が抑制されて、それにより正常な血糖値が維持される。脂肪組織ではグルコースは貯蔵脂肪を合成するためのエネルギー源となり、貯蔵脂肪は体の主なエネルギー貯蔵庫となる。Yang たち²は、肥満動物の脂肪組織で起こる GLUT4 発現の減少に伴って、脂肪組織由来因子 RBP4 の発現と分泌が増進することを見つけた。この因子は、おそらくレチノール (ビタミン A) と協調して働き、筋肉ではインスリンのシグナル伝達を損なってグルコース取りこみを阻害し、肝臓ではインスリンが関与するグルコース産生抑制を妨げて、血糖値を上昇させる。

を使ってほかのアディポカイン類を探した。そして、RBP4 が分泌型のタンパク質であって、GLUT4 を過剰発現したマウスと GLUT4 を欠損したマウスの脂肪組織で相互的に制御されることを突きとめた。Yang たちは広範な裏づけによって、RBP4 が、脂肪組織における GLUT4 抑制とインスリン抵抗性の間をつなぐ隠れた連結部であり、インスリンの働きを広く仲介する中枢

因子でもあることを示している (図1)。肥満とインスリン抵抗性をもつ5つの独立のマウスモデルでは、血中の RBP4 量が上昇し、肥満のヒトでも同様である。GLUT4 を欠損したマウスでは、糖尿病治療薬であるロシグリタゾンで血中 RBP4 量が低下してインスリン感受性が正常化する。血中 RBP4 量を増加させると耐糖能異常を起こし、逆に、マウスで RBP4 遺伝子を欠失させ

るとインスリン感受性は高まる。最終的にYangたちは、フェレチニド (RBP4 排出量を増大させて血中 RBP4 量を低下させる合成レチノイド) をマウスに投与すると、高脂肪食の摂取で生じたインスリン抵抗性が改善されることを示した。

RBP4 がインスリンの働きに影響をおよぼすしくみは部分的に解明されている。RBP4 は筋肉で、酵素である PI-3 キナーゼの活性やインスリン受容体基質-1 のリン酸化を低減するので、どちらの作用もインスリンの働きが損なわれていることを示す明確なマーカーとなる。RBP4 が増大しても、肝臓の PI-3 キナーゼ活性は変化しないが、肝臓のグルコース産生量は、グルコース産生経路の重要酵素であるホスホエノールピルビン酸カルボキシキナーゼ (PEPCK) の発現増大と連動してはつきり増える。

RBP4 は従来、その名が示すようにレチノール (ビタミン A) の輸送体として知られてきた⁹。RBP4 とインスリンの働きとの結びつきに、レチノールの代謝や送達の変化がかかわっているかどうかは明らかでない。この方向の話として興味深いのは、PEPCK の発現がレチノイドによって促されるという事実だ。この作用には、RBP4 によるレチノール・リガンドの送達の増進がかかわっている可能性がある。しかし、Yang たち² は RBP4 が培養ラット細胞で PEPCK の発現やグルコースの産生を促進することも示した。これは、このペプチド (つまり RBP4) が直接作用することを意味するのかもしれないが、RBP4 に親和性の高い受容体はまだ何も見つかっていない。加えて、レチノールは RAR や RXR といった核内ホルモン受容体のリガンドを合成するための前駆体でもある¹⁰。RXR は、脂肪酸代謝に関与する遺伝子群の転写を制御する受容体ファミリー (ペルオキシソーム増殖因子活性化受容体) の相手役を果たす¹¹。したがって RBP4 は、筋肉もしくは肝臓内の脂肪酸代謝の制御不全 (これはインスリン抵抗性のよく知られた要素の 1 つ) を通じて糖尿病に関係しているのかもしれない¹²。

結局のところ、脂肪細胞の GLUT4-RBP4 機構は肥満や食べ過ぎに対応して進化したのだろうか。それとも、他の目的のために進化したのだろうか。おもしろいことに、食事をとらない (一晩の絶食など) とインスリン抵抗性が促され、脂肪組織での GLUT4 発現は激減する¹³。この GLUT4 制御状態に応答して RBP4 量が上昇するの

かどうかは、今のところわかっていない。しかしもし上昇するなら、GLUT4-RBP4 機構は、ひどい飢餓状態にあるときに末梢組織によるグルコース取りこみを制限して、グルコースを第一のエネルギー源とする脳のためにグルコースを節約するしくみとして進化したと考えてよさそうだ。対照的に肥満は早い段階で、脂肪細胞におけるインスリン抵抗性の発達をもたらした可能性がある。これによって GLUT4 の発現は飢餓状態の場合と同じように減少し、そのせいで脂肪細胞は肥満で飢餓状態だとすっかり勘ちがいしてしまうのだろう。とにかくはつきりしているのは、Yang たち² の今回の研究が、脂肪細胞とその分泌する因子類を「駒」にして、糖尿病や肥満の蔓延の核心部分に攻め寄せたということだ。 ■

デューク大学 (米)

Deborah M. Muoio & Christopher B. Newgard

1. Engelgau, M. M. *et al.* *Ann. Intern. Med.* **140**, 945-950 (2004).
2. Yang, Q. *et al.* *Nature* **436**, 356-362 (2005).
3. Halaas, J. L. *et al.* *Science* **269**, 543-546 (1995).
4. Mora, S. & Pessin, J. E. *Diabetes Metab. Res. Rev.* **18**, 345-356 (2002).
5. Kahn, B. B. *J. Nutr.* **124**, 1289S-1295S (1994).
6. Tozzo, E., Shepherd, P. R., Gnudi, L. & Kahn, B. B. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* **268**, E956-E964 (1995).
7. Gnudi, L., Shepherd, P. R. & Kahn, B. B. *Proc. Nutr. Soc.* **55**, 191-199 (1996).
8. Abel, E. D. *et al.* *Nature* **409**, 729-733 (2001).
9. Quadro, L., Hamberger, L., Colantuoni, V., Gottesman, M. E. & Blaner, W. S. *Mol. Aspects Med.* **24**, 421-430 (2003).
10. Marill, J., Idres, N., Capron, C. C., Nguyen, E. & Chabot, G. G. *Curr. Drug Metab.* **4**, 1-10 (2003).
11. Ferre, P. *Diabetes* **53** (Suppl. 1), S43-S50 (2004).
12. McGarry, J. D. *Diabetes* **51**, 7-18 (2002).
13. Sivitz, W. I., Desautel, S. L., Kayano, T., Bell, G. I. & Pessin, J. E. *Nature* **340**, 72-74 (1989).