

nature DIGEST

日本語編集版

JULY 2007

VOL. 04, NO. 7

7

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

地球冷却計画



nature asia-pacific

Established 1987 as Nature Japan K.K.



native校閲者を 指名できる!



研究者のための英文校閲

科学技術の各専門分野に精通したネイティブ校閲スタッフだからその高品質。語彙や文法のチェックはもちろん、論旨を際立たせ、理論の筋立てを明確にします。ジャーナル名をお知らせいただければ、投稿規程に沿って校閲いたします。

すべてをWebから直接行えます

校閲のご依頼、校閲スタッフの指名、質問のやり取り、そして納品。これらすべてが直接行えますので、品質と作業効率が向上します。

安全、安心のシステム

やり取りはすべてSSLにより暗号化、校閲スタッフは機密保持契約を締結。さらに「オンライン校閲」運営スタッフのモニタリングにより万が一のトラブルも迅速に解決。安全、安心のシステムをご提供いたします。



弊社は
プライバシーマーク
取得企業です

お預かりする文書や情報は大切にお取り扱いいたしております。大切な文書をお預かりするにあたり、弊社に登録している校閲スタッフとは守秘義務契約を取り交しています。ご安心してお任せください。

詳しくはホームページをご覧ください。

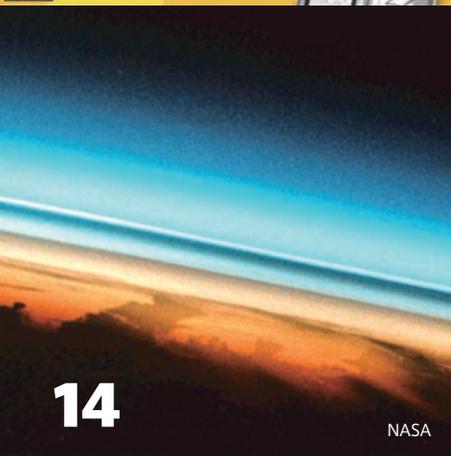
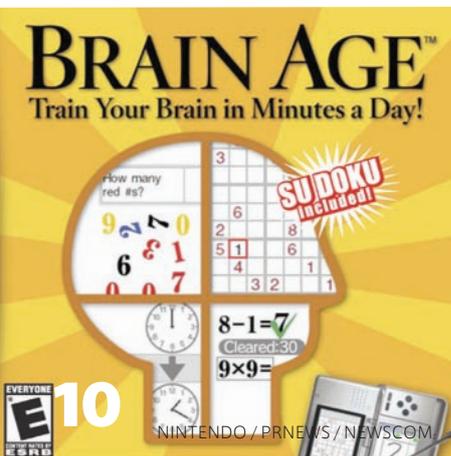
お問い合わせ → request@e-kouetsu.com

www.オンライン校閲.com

検索

Click!





nature DIGEST

07 volume 4 no.07
July
www.nature.com/naturedigest

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

地球冷却計画

表紙：NASA

HIGHLIGHTS

02 vol. 447 no.7143, 7144, 7145, 7146

AUTHOR

05 傷口に生えた毛は、器官再生への希望をもたらす
— George Cotsarelis and Mayumi Ito

EDITORIAL

06 男女不均衡の是正をめざして

RESEARCH HIGHLIGHTS

07 迷走する先端、雲行きを見る、ボールの模様を突き止める

NEWS

08 簡単なスイッチで細胞を多能性幹細胞に切り替える
David Cyranoski

NEWS FEATURE

10 「脳トレ」ブームを検証する
冬野いち子

14 地球冷却計画
Oliver Morton

JAPAN NEWS FEATURE

20 羽ばたくか、日本のトランスレーショナル・リサーチ
三森八重子

SNAPSHOT

23 破壊の幻影

NEWS & VIEWS

24 光沢の知覚
Michael S. Landy

英語で NATURE

26 Dark matter has a ring of truth
暗黒物質の真実の波紋

発行人：ディビッド・スウィンバンクス
編集：北原逸美、中野美香
デザイン／制作：村上武、中村創
広告：米山ケイト
マーケティング：吉原聖豪

2007年7月5日 毎月第1木曜日発行
NPG ネイチャー アジア・パシフィック
〒162-0843
東京都新宿区市谷田町 2-37 千代田ビル
Tel. 03-3267-8751 Fax. 03-3267-8754

レーザー用のナノ結晶

Nanocrystals for lasers

半導体ナノ結晶は極めて良好な発光特性をもつため、溶液を使った方法で容易に処理できる光増幅媒体として有望であり、マイクロエレクトロニクスとの光相互接続、ラボ・オン・チップ技術や量子情報処理などへの応用が考えられる。このような構造体で問題となるのは、光学利得を得るにはナノ結晶中に少なくとも2個の励起子（束縛された電子と正孔の対）が存在する必要がある、そのため性能に限界があることだ。実際に、光増幅が起こる前に励起子が相互作用して消滅してしまう。この障害が今回、異なる半導体材料でできた核と殻をもち、電子と正孔が互いに分離されるように作られたナノ結晶を用いて解決された。その結果、単一の励起子に基づく光学利得が可能になり、レーザー用途での実用的な光学材料としてナノ結晶は極めて有望になってきた。

24 May 2007 Vol.447 / Issue 7143

Article p.441, N&V p.385 参照

四肢出現までのウォームアップ

Limbering up

四肢動物（陸生脊椎動物）の外肢は、この分類群が進化の過程で新たに獲得した固有の特徴であると一般的に考えられている。今回、「生きた化石」といわれるヘラチョウザメ（*Polyodon spathula*）のひれの発生におけるHox遺伝子発現の研究で、四肢動物の外肢の特徴と考えられてきた遺伝子の発現と制御のパターンが、この原始的な条鰭魚類のひれでもみられることが明らかになった。ヘラチョウザメは、2億5000万年以上前の海に広く生息した硬骨魚類の一群の数少ない生き残りの1つである。今回の研究は、四肢発生の特徴の一部がすべての硬骨魚に共通した原始的なものであり、ゼブラフィッシュのような高等魚類では進化の過程で失われてしまったことを示している。これらの結果は、魚類から四肢動物への骨格の移行形態を示すTiktaalikのような、近年発見された化石魚類の研究結果とも一致する。

24 May 2007 Vol.447 / Issue 7143

Letter p.473 参照

体内時計を動かす仕組み

Clocking on

体温、血糖値、心拍数などといった生理的パラメーターは、概日時計の24時間周期のリズムに従って周期的に変化する。代謝経路が時計の動きに連動する仕組みはこれま

でわかっていなかったが、マウスを使った実験で、代謝系の転写制御因子PGC-1 α が重要な因子であることが明らかになった。PGC-1 α をもたないマウスでは、活動、体温、代謝速度などの日リズムに異常がみられる。PGC-1 α がオーファン核内受容体のRORファミリーを同時活性化することにより、時計遺伝子の発現を調節するというのがその仕組みである。

24 May 2007 Vol.447 / Issue 7143

Letter p.477, N&V p.386 参照

風の強い礁湖

Windy lagoon

計測機器によるハリケーンの記録は比較的最近始まったもので、そのために、ハリケーンの活動を支配する要因はいまだによく解明されていない。J DonnellyとJ Woodruffは、熱帯域の北大西洋西部におけるハリケーンの活動の長期間にわたる記録を構築することにより、この問題を克服した。プエルトリコのビエクス島を襲った強いハリケーンに伴う暴風雨は、この島の礁湖に粗い砂状物質を層状に残していく。そこで、礁湖から採取された堆積物コアが、過去5000年間に襲来した強いハリケーンの頻度を導出するために用いられた。この記録は、エルニーニョおよび熱帯アフリカ地方の降雨記録と極めて類似性が高い。このことから、エルニーニョ/南方振動の変化および西アフリカのモンスーンの強度変化が、北大西洋熱帯域の強いハリケーンの頻度を支配するうえで重要な役割を果たしてきたことが示唆される。

24 May 2007 Vol.447 / Issue 7143

Letter p.465 参照

湾曲に沿って：細胞膜を形作る力

FOLLOW THE CURVE: The forces that shape cell membranes

細胞膜は単なる「外被」ではない。細胞膜のトポロジーの再構築は、エンドサイトーシス、小胞形成、タンパク質分別など、細胞の重要な活動に関係している。特殊化したタンパク質が膜の湾曲を感知したり、あるいは湾曲を作り出したりして、膜の再構築を制御している。ただし、この仕事を達成するにはいくつものタンパク質が協同して働く必要があるため、より普遍的な作用が同時に働い



ていると考えられる。ずっと以前から、物理学、数学、材料科学、細胞生物学などの分野で、考えられる普遍的効果、すなわち膜の曲率変化だけによって誘起されるタンパク質間の引力についての研究が行われてきた。しかし、膜の曲率変化によって誘起されるタンパク質間の作用の性質は、それが引力なのか斥力なのかさえも不明だった。今回、コンピューターシミュレーションにより、膜の曲率変化によって誘起される相互作用が確かに引力であり、強力でロバストでありうるということが明らかにされている。この作用は、膜の再構築を実行するのに十分である。

24 May 2007 Vol.447 / Issue 7143

Letter p.461, N&V p.387 参照

算数学習に朗報：計算能力は自然に備わっている

Sum hope: catch them young

一般に、子どもたちは記号的計算を習う前に、記数法をマスターしておく必要があると考えられている。しかし今回、5歳の子どもの対象とした実験で、実は子どもたちは、計算の方法を習う前から記号計算の知識をもっていることがわかった。おおよその和や差を求めるだけでよいのであれば、大きな数についての記号的な加減の問題を解くことができるのである。この知見は、子どもたちに計算能力が自然に備わっていることを明らかにしたもので、子どもたちの数学学習能力を高めるための方法を示唆している。

31 May 2007 Vol.447 / Issue 7144

Letter p.589 参照

水のある惑星の兆し

A hint of watery planets

惑星系は、星形成過程で若い星の周囲に取り残されたちりとガスの円盤の中で形成される。これらの円盤の地球型惑星形成領域は、非常に狭い角度範囲にあり、最大級の地上望遠鏡や宇宙望遠鏡がもつ角分解能よりはるかに小さい。今回、ケック干渉計に設置した新しい装置を使って、若い星MWC 480から1天文単位（太陽-地球間距離）以内の領域に、水蒸気と原子状水素を含むガスが観測された。この水蒸気は、おそらく移動する氷天体の昇華でできたものと考えられ、地球型惑星形成の際に水の貯蔵場所の役割を果たしている可能性がある。

31 May 2007 Vol.447 / Issue 7144

Letter p.562, N&V p.535 参照

※「今週号」とは当該号を示します。

プリオンを識別する**Prion recognition**

プリオンタンパク質のコンホメーション変化は、アルツハイマー病のような神経変性疾患の原因であるだけでなく、起源は古いのが最近になって見つかったばかりの、タンパク質による遺伝機構にもかかわっている。タンパク質間の相互作用と、その結果起こるコンホメーション変化がプリオンを作り出すのだが、これらを従来の生物物理学的手法で研究するのは極めてむずかしい。それに代わる方法として、P Tessier と S Lindquist は、酵母の Sup35 プリオンタンパク質の配列に基づいて作製した100種を超えるプリオンペプチドを表面に結合させたアレイを用いて、プリオン単量体間の識別にかかわる配列因子のマッピングを行った。その結果、主要な識別部位は、出芽酵母 (*S. cerevisiae*) のプリオンタンパク質では9番目のアミノ酸から39番目に至る狭い範囲に、カンディダ菌 (*C. albicans*) のプリオンタンパク質ではいくつかの識別領域に存在することがわかった。完全長のタンパク質がとっている非プリオン型コンホメーションを、自己を鋳型とするアミロイド型コンホメーションへ変換させるには、これらの識別因子だけで十分である。また同じ配列因子が、異なるプリオン株の形成も支配し、生物種間の感染障壁を作っている。

31 May 2007 Vol.447 / Issue 7144

Article p.556, N&V p.541 参照

超伝導ペア**Superconductivity pair**

高温超伝導の解明については、20年以上にわたって集中的に研究が行われたにもかかわらず、いまだに成功していない。今週号の2編の論文で、解明に向けた注目すべき成果が報告されている。Doiron-Leyraud たちは、高温超伝導体でフェルミ面 (金属の典型的なしるしとされる) を観察したことを報告している。Gomes たちは、高温超伝導体の臨界温度を超える温度では電子エネルギースペクトルのギャップが電子ペアリングと関係があるのかどうかという長年の疑問に取り組み、関係があることを見いだしている。これらの見事な2つの実験によって、確固たる新データが付け加えられた。次は、理論研究が超伝導メカニズムに対してこれらの結果のもつ意味を明らかにする番である。

31 May 2007 Vol.447 / Issue 7144

Letters pp.565, 569, N&V p.537 参照

寿命を延ばす：食餌制限が長寿のスイッチを入れる仕組み**YOUNGER FOR LONGER: How dietary restriction throws the longevity switch**

厳しいカロリー制限は、マウスなどの生物で寿命を延長するが、食餌を厳しく制限された状態が寿命を延長する仕組みについてはわかっていなかった。今回ついに、加齢研究でよく使われる線虫 (*C. elegans*) で、カロリー制限と寿命延長との特異的な関連が2つの論文により明らかにされた。N Bishop と L Guarente は、線虫の頭部に存在する ASI ニューロンの転写因子 SKN-1 が食餌制限により活性化され、これが代謝活性を高めるシグナルを末梢組織に出すことを明らかにした。この機構から、内分泌系の関与が考えられる。Panowski たちは、頭部と尾部の少数の細胞や腸で認められる転写因子である PHA-4 の活性亢進も、食餌制限による寿命延長に不可欠であることを報告している。PHA-4 は哺乳類の Foxa 転写因子に類似しており、Foxa は哺乳類で発生に影響を与え、絶食時のグルカゴンとグルコースの量を制御している。このような関連が明らかになったことで、カロリー制限の効果を模倣する薬物の開発が期待される。



31 May 2007 Vol.447 / Issue 7144

Articles pp.545, 550, N&V p.536 参照

メダカゲノムの概要塩基配列**Medaka genome**

メダカ (*Oryzias latipes*) は日本では一般家庭で飼われてきた魚だが、最近では、発生遺伝学や進化生物学の実験モデル生物にもなっている。今回、日本の大規模なコンソーシアムによって、メダカのゲノム塩基配列が解読され、解析された。脊椎動物の種分化の遺伝的基盤を解明するための新しいモデル系であるシクリッドやトゲウオは、進化的にはゼブラフィッシュよりもメダカに近縁であり、そのため、メダカのゲノム塩基配列からは脊椎動物の4億年のゲノム進化についての貴重な手がかりが得られると考えられる。

7 June 2007 Vol.447 / Issue 7145

Letter p.714 参照

幹細胞と老化**Stem cells and ageing**

DNA 損傷修復の欠陥のために組織の恒常性

維持の能力が衰えるという、老化の仕組みについての重要な仮説に関する研究結果を、2つの研究グループが報告している。Nijnik たちは、非相対的末端結合機構による DNA 修復がうまく働かなくなって、*in vivo* の生理的条件下で幹細胞に DNA 損傷が蓄積し、時間が経つと成体幹細胞が使い尽くされてしまうことを明らかにした。また Rossi たちは、ゲノム維持にそれぞれ異なる欠陥のある3種類の条件下では、加齢に伴って幹細胞機能が減退することを見いだした。

7 June 2007 Vol.447 / Issue 7145

Article p.686, Letter p.725 参照

裏庭の鳥がバタバタと**Back-yard birds downed**

北アメリカでごく普通にみられる鳥類の一部のアオカケス、コマツグミ、ルリツグミ、イエミソサザイなどの数は、ウエストナイルウイルスの感染が原因で過去30年間に大幅に減少した。米国で最初に大流行が報告されたのは、1999年のニューヨーク市であり、おそらくウイルスに感染した鳥あるいは蚊が移入したためであると考えられている。繁殖期の鳥類個体群に関する新たな研究により、個体数の減少は予想よりもずっと大きく、生態系全体の安定性への影響について懸念を生じさせるに十分なほどだとわかった。この研究により、1つの侵入病原体が在来の野生生物に広く破壊的な影響を与えうることが実証され、野生生物の売買が危険をはらんでいることが明白となった。

7 June 2007 Vol.447 / Issue 7145

Letter p.710, N&V p.652 参照

ゲノムの網羅的探索**Spreading the genomic net**

ヒトゲノムでさらに多くのマーカーが見いだされたことにより、ヒトの疾患に関与する遺伝子を、あらかじめゲノム内で候補領域を絞り込んでおかなくても捜し出せるようになった。こうした研究の最初の成果として、ウエルカムトラスト・ケースコントロールコンソーシアムは、7種類の一般的な家族性疾患についての、約1万7000人を対象とした、ゲノム全域にわたる極めて興味深い関連解析について報告している。この解析は、以前に同定されていた遺伝子座を確認し、多くの今まで知られていなかった疾患感受性遺伝子に関する強力な証拠を提供している。

7 June 2007 Vol.447 / Issue 7145

Article p.661, N&V p.645 参照

どんどん進化するNMR**NMR up to speed**

核磁気共鳴 (NMR) は、完全に非侵襲的に液体や固体の構造や動態を探るための最も強力で汎用性の高い手法の1つである。しかし、NMRには本質的に感度が非常に低いという大きな欠点があり、このため極めて小さい試料には向かない。そこで登場したのが、「MACS」、すなわちマジック角コイル回転という新技術である。これは、誘導結合を用いてプローブパルスの無線送信とNMRシグナルの無線受信を実現する。つまり、これにより、NMR検出コイルと試料を一緒に非常に高速で回転させることが可能となり、NMR測定が高感度で行えるようになった。この方法により、有機粉末や生体組織の小さい試料からのシグナルはほぼ1桁増幅されるので、特に高スループットの化学分析や生物医学分析に役立つと期待される。

7 June 2007 Vol.447 / Issue 7145

Letter p.694, N&V p.646 参照

クローニングに新たな朗報：受精卵にもある再プログラミング能**A NEW TAKE ON CLONING:****The reprogramming potential of fertilized zygotes**

クローニング分野でのずっと以前からの誤解が、今週号の論文で訂正された。1980年代初期に行われた最初の核移植実験以来、動物のクローニングや胚性幹細胞系列の作製には、減数分裂した未受精卵細胞へ体細胞核を移植しなくてはならない、と広く考えられてきた。今回Egliたちは、マウス細胞を用いた一連の実験により、受精後の接合子にも再プログラミング活性があることを示している。この知見は、核の再プログラミングとクローン動物の生物学的性質について

再考を促すものとなりそうだ。この結果はまた、不妊治療で不要になった受精卵や胚性幹細胞が、患者に合わせたヒト胚性幹細胞系列を作るのに適したレシピエント細胞となる可能性を示唆している。

7 June 2007 Vol.447 / Issue 7145

Article p.679, N&V p.649 参照

超新星爆発の先行演習**Dry run for a supernova**

2004年10月、銀河UGC 4904に明るい

可視光トランジェント（一時的に出現する天体）が発見されたが、このトランジェントは超新星かと思われるほど大規模で明るかった。その後の研究で、そこまでの規模ではなかったことが示唆されたものの、発見からほぼ2年後に、派手な爆発を起こしたようである。超新星SN 2006jcの天球上の位置は、2004年の可視光トランジェントのそれとぴったり同じだった。このような二度の増光が観測されたのは、初めてである。可能性の1つは、最初のトランジェントが、急速に質量を失いつつある極めて高温の大質量星、ウォルフ・ライエ星の増光だったというものだ。あるいはこの系は、明るい青色変光星を含む連星系で、この変光星が2004年に爆発し、その2年後に伴星のウォルフ・ライエ星が爆発して超新星SN 2006jcになったとも考えられる。

14 June 2007 Vol.447 / Issue 7146

Letter p.829 参照

巨大な鳥類様恐竜**Big for its age**

肉食恐竜では小型なもののほど鳥類の姿に近いという傾向がみられるが、この傾向に逆らって、巨大なのに鳥類によく似ている恐竜が見つかった。新発見のこの恐竜は、中国の内モンゴル自治区で白亜紀後期（およそ7000万年前）の地層から見つかったGigantoraptorで、くちばしをもつ鳥類に似た恐竜オビラプトルを含む科に属している。この仲間の恐竜の大部分は体重が40キログラムを超えることはめったにないのに、Gigantoraptorは体重がおおよそ1400キログラム、全長は8メートルもあった。

14 June 2007 Vol.447 / Issue 7146

Letter p.844 参照

ミトコンドリアに抗がん剤の新しい標的**Mitochondrial target**

がん遺伝子HRASに変異のある腫瘍細胞だけを選択的に殺す低分子化合物を探すスクリーニングで、エラスティン (erastin) とよばれる物質が見つかった。発がん性のRASを発現する細胞にこの物質を投与すると、アポトーシスとは異なる酸化的機構によって細胞死が起こる。エラスティンは、ミトコンドリアの電位依存性陰イオンチャネルを介して作用する。抗がん剤の新規標的であるこのイオンチャネルは、遺伝子型選択的薬剤の開発につながる可能性がある。

14 June 2007 Vol.447 / Issue 7146

Letter p.864 参照

細部を見るために小刻みに動く目**An eye for detail**

我々が何かを注視しているときに生じる眼球の無意識な微動、あるいは「網膜のゆれ (retinal jitter)」は注視時眼球運動とよばれ、この動きの機能については、1950年代にこの現象が最初に認められて以来、いまだに議論が続いている。Rucciたちは、心理物理学的な実験と統計解析を組み合わせ、眼球運動の視覚への影響を相殺するような視覚シグナルについて調べ、この眼球運動がないと、きめ細かな情報の知覚が減退することを示した。したがって、注視時眼球運動は、視覚情報の詳細を抽出するために脳がとっている戦略の一部であると考えられる。

14 June 2007 Vol.447 / Issue 7146

Letter p.851 参照

生命の設計図を解読：ENCODE計画が試みたヒトゲノム機能のマッピング**DECODING THE BLUEPRINT: The ENCODE pilot maps human genome function**

ENCODE (ENCyclopedia Of DNA Elements: ヒトDNAエレメントの百科事典) 計画は、ヒトゲノム中のすべての機能的エレメントを同定することを目指している。ヒトゲノム塩基配列が確定された今、次の課題は、細胞がゲノムを取扱説明書として実際にどのように使用しているのかを明らかにすることだ。ENCODEコンソーシアムは、この計画の「概念の検証」に当たる試験段階、つまり標的であるヒトゲノムの1パーセントの機能的エレメントを解析する段階を完了した。今週号に発表された結果からは、ゲノム中の大部分の塩基が、タンパク質をコードしない転写産物や重複転写産物を含む、一次転写産物になることが示唆される。転写調節の解析から、転写開始部位についての新たな知見やクロマチン構造に関するより複雑で進歩した見解が得られた。これらのデータを統合することにより、特に哺乳類の進化に関して、DNAという設計図にコード化された情報が、細胞で機能する系に変換される仕組みについての新たな手がかりが得られる。

14 June 2007 Vol.447 / Issue 7146

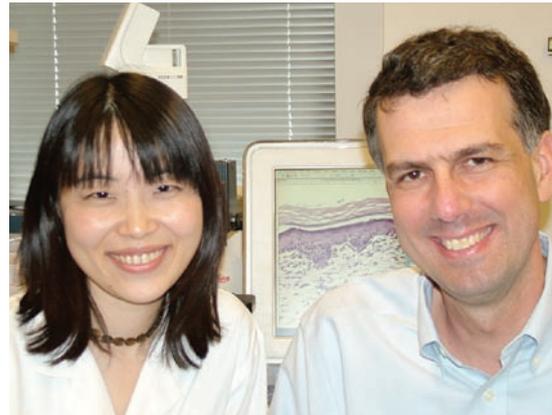
Article p.799, N&V p.782 参照



MAKING THE PAPER

George Cotsarelis
and Mayumi Ito

Nature Vol.447 (xxi) / 17 May 2007

傷口に生えた毛は、
器官再生への希望をもたらす

3年ほど前のこと、ペンシルベニア大学医学系大学院に所属する皮膚科医のGeorge Cotsarelisは、皮膚の毛嚢（毛を作り出す構造）にある幹細胞が、傷の治癒を助けることができるかどうかを調べていた。彼のチームがマウスを使って調べていたところ、皮膚に切り傷をつけたときに、幹細胞が通常の居場所である毛嚢の最下部（毛球）から、皮膚の表面へとすばやく移動して、新しい皮膚細胞を形成することを見つけた（M. Ito et al. *Nature Med.* **11**, 1351–1354; 2005）。

ところが、これらの実験中にポストドクの伊藤真由美は不思議なことに気がついた。切り傷の内側に、新しい毛も生えてきたように見えたのだ。「自分たちは、幻を見ているんだと思ってしまった」とCotsarelisはいう。

この分野の定説として、哺乳類の成体では、毛嚢が損傷したり失われたりしても新しい毛嚢が形成されることはない長い間考えられてきた。ところがCotsarelisはすぐに文献で、この長年の常識が間違っている可能性があることを示す手がかりを見つけた。1956年にはペンシルベニア大学の病理学者のRobert Billinghamが、ウサギの傷ついた皮膚に新しい毛が生えているのを見つけていた。そして同じ年に、やはり同じペンシルベニア大学の皮膚科医であるAlbert Kligmanが、皮膚の最上層をこそぎ取られた人たちで、新しい毛嚢の形成の兆候がみられることに気づいていた。「これらの研究は1950年代に報告されたが、それ以降、ほとんど関心が払われなかった」とCotsarelisはいう。

伊藤とCotsarelisの研究チームは、この不思議な観察結果を徹底的に調べて、傷口の毛が新しい毛嚢から生えてくるのかどうか、そしてもしそうなら、その毛嚢は隣の毛嚢の幹細胞から発生したものなのかどうか

を突き止めようと考えた。Cotsarelisの研究チームは、15年をかけて数系統のトランスジェニックマウスを開発してきており、それらのおかげで、毛嚢幹細胞が皮膚深部から創傷部位のある皮膚表面へと移動するようすを視覚化することができた。研究チームはまた、多様な種類の皮膚細胞を識別できる数種類の抗体も開発していた。

Cotsarelisたちは、これらのツールを駆使して、マウスの傷口に本当に新しい毛嚢ができてくることを確認した。ところが、Cotsarelisたちは別のことに驚いてしまった。新しい毛嚢は、すぐ近くの毛嚢にある幹細胞から生じたのではなく、皮膚の最上層にある細胞から生じたからである。これらの細胞はどういうわけか、毛嚢の幹細胞よりも胚に近い特徴を備えており、さまざまな種類の細胞へ発生することができる。「わかったことの1つは、創傷が毛嚢形成をうまく操作するためのチャンスをくれる、ということだ」とCotsarelisはいう。哺乳類の毛嚢は「微小な器官」だとみなせるので、この知見は、はげを治す育毛への道を開くだけでなく、哺乳類での器官再生にもかかわってくると思われる。

Cotsarelisたちのチームが現在追いかけている問題の1つは、これと同じ過程がヒトの皮膚でも起こるかどうかということだ。50年前のKligmanの研究に基づけば、その答えはイエスとみていいだろう。Cotsarelisは、傷ついた直後の皮膚の「分子のサイン」も見つけ出したいと考えている。どの遺伝子のスイッチが入るのがわかれば、皮膚細胞でこれと同じ過程を引き起こす方法をうかがい知ることができ、わざわざ傷を作らなくても皮膚細胞を毛嚢へうまく誘導できるようになるかもしれない。 ■

男女不均衡の是正をめざして



Starting at the top

Nature Vol.447 (115-116) / 10 May 2007

エリート科学者間でなお続く、極端な男女の不均衡状態を是正するための取り組みについて、考えていくべき時である。

5月1日に米国の国立科学アカデミーの新会員に選ばれた72人のリストの中で、9人の女性科学者の名前 (Tania Baker、Ursula Bellugi、Karen Cook、Mary Estes、Pamela Fraker、Angela Gronenborn、Helen Hobbs、Laura Kiessling、Eve Marder) が光彩を放っている。

しかし、2年前には19人の女性が新会員に選ばれたのに対し、今回はその半数にも満たなかった。科学の世界に女性を送り込むためのプログラムは、すでに長年にわたって多数実施されてきた。女性科学者が出産や育児を経ながらもキャリアを継続できるように支援する措置も、折々で実施されている。しかし、シニアレベルでみられる男女の不均衡は、是正というにはほど遠い状態である。

もちろん、エリート科学者の地位に登りつめる女性もいる。科学アカデミーは4月29日の会議で、最高の荣誉である『Public Welfare Medal』を生物学者のMaxine Singerに授与した。だが、科学者ヒエラルヒーの頂点に立つ女性はほとんどいないのが現状だ。

科学アカデミーに属する女性会員の割合は、全体の約10パーセント。わずか6パーセントだった2000年から考えると、その割合は増加してはいるものの、それでもなお失望させられる数字である。また、多くの研究領域で女性科学者の数が増えてきてはいるが、エリート科学者の仲間入りは今でもむずかしいとされる。女性の地位向上の歴史が最も長い米国でも、この状況は変わっていない。

米国科学界で最も格別の高いクラブである科学アカデミーの会員は、ほとんどが特定の年齢層の白人男性である。このことはアカデミー自体も十分に認識しており、この点を改善するための試みは何度もなされてきた。だが、科学アカデミーの新会員は、ほかの会員による推薦を得てから選出されることになっているため、当然のことながら、この仕組みそのものが、会員構成の偏りを永続させる原因となっている。これに対して、研究分野ごとに設けられている科学アカデミー31部門のうちの一部では、有望な女性会員候補を見つけ出すために、より積極的な方法を採用している。例えば、2003年には (既会員の推薦以外にも) 独自の候補者指名リストが作られ、より多くの女性や若手の科学者が会員候補として挙げられるようになった。また、ロンドンの英国学士院も同様の活動を通じて、過去5年の間に女性会員の数を増やしている。

このような施策は称賛されるべきだが、期待されたほど機能していないようにも思われる。ただ、これより直接的に問題解

決に取り組む方法には問題がある。例えば、女性会員を増やすために何らかの定数を導入するとすれば、定数制 (いわゆる「女性枠」) によって選ばれた女性会員の地位が軽んじられるおそれがあり、これを引き金とした連鎖的な問題発生が予想される。

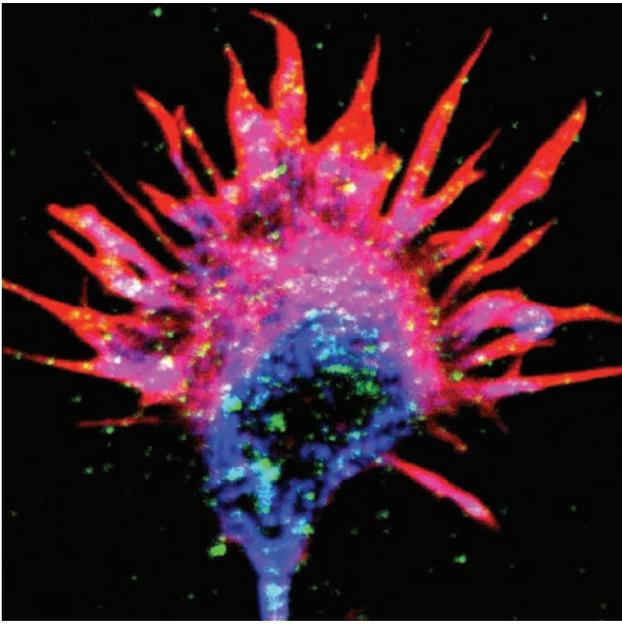
毎年選ばれる新会員数自体の上限を若干引き上げる、というのはどうだろうか。そうすれば、科学界の規模拡大と学術的多様性をよりよく反映し、男女を問わず、推挙に値する科学者に対してわずかでも道を広げられるかもしれない。ただし、この方策では男女の不均衡を解消する効果は、ほとんど期待できない。

科学アカデミーが取りうる最善の方法は、おそらく、部門ごとに相応の資格を有する女性を確実に候補者リストに載せることができるような、何らかの方法を考案することだろう。そうした変革を確かなものにするには、例えば、多様なバックグラウンドをもつ候補者をリストに載せることを義務づける規定などが必要になってくるかもしれない。

科学アカデミーの各レベルの会員たちは、女性科学者に対する公平な待遇が確保されるよう、より積極的で公然とした役割を果たしていくべきである。科学界における女性、あるいは少数派の人々の地位向上に関する議論は、たいていの場合、当事者 (通常は女性、または少数派の人々自身) の間から起こってくる。指導的な地位に立つ人々が参加することもあるが、多様性の拡大を単なる心地よい活動 (平等という美名のもとになされた善行として歴史に記録され、その後は忘れられてしまうだけの活動) にとどまらせないでいけるかどうかは、そうしたトップに立つ彼らの認識にかかっている。

米国の物理学界における新たな行動は、この方向への前進として称賛されるべきだろう。2007年5月6～8日、米国内の国立研究所の物理学部長50人とシニアマネージャー15人がメリーランド州カレッジパークに集まり、2022年までに女性の物理学者を倍増させる方法について議論した。ハイレベルな研究者が数多く出席したことは、楽観材料である。今後この活動がどのように展開していくかはまだ不透明だが、ほかの研究分野においても似たような行動が検討されていってほしい。

米国の女性が科学界の頂上に登りつめるには、下から始めなければならないとこれまで何十年にもわたっていわれてきた。しかし、この状況はあまりにも長い間、続いてきている。すでにエリート科学者となった人々は、自らの置かれた地位をふまえて、いまこそ上から、男女間の真正正銘の公平を実現するための責任を負わなければならない。 ■



Trippy tips

迷走する先端

Science **316**, 1212-1216 (2007)

カンナビノイドはマリファナに含まれる精神活性物質として知られていることが多いが、脳内で作られる内在性カンナビノイドは、これとは別の役割を担っている。最近の研究は、これらが発生中の神経線維の誘導に関与している可能性を示唆している。

カロリンスカ研究所（スウェーデン、ストックホルム）のTibor Harkany率いる研究チームは、細胞培養中のニューロンのカンナビノイド受容体CB₁R(左写真)の動きを追跡した。彼らは、神経線維(青)の成長中の先端(ピンク色)にCB₁R(緑色)が集まっていることを発見した。活性化したCB₁Rは神経線維の伸長を抑制し、カンナビノイドのシグナルの方向を避けるように神経線維を成長させた。

生きたマウスのある種のニューロンからCB₁Rを除去すると、軸索間の連結パターンが変化した。著者らは、妊娠中の女性がマリファナを使用すると、胎児のカンナビノイドシグナル伝達と干渉を起こし、ニューロンの発生に悪影響を及ぼすのではないかと推測している。

Cloudy skies ahead

雲行きを見る

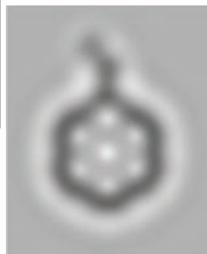
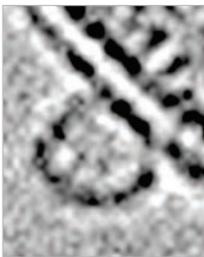
Geophys. Res. Lett. **34**, L09811 (2007)

NASAのクラウドサット(右図)衛星の初期データは、地球表面の雲の分布や大気中の雲の垂直構造を詳細に解明する役に立つ。こうした情報は正確な全地球気候モデルを構築するうえで重要である。

コロラド州立大学(フォートコリンズ)のJohn HaynesとGraeme Stephensの報告によると、2006年4月に衛星が打ち上げられてから最初の3か月間に収集されたデータから、熱帯の海洋の上空にある雲が大きく2種類に分類できることがわかった。1つは雲頂高度が約2キロメートルの雲であり、もう1つは12キロメートル前後に達する雲である。さらに、西太平洋の上空では、この中間の高さに雲の層があることが多いこともわかった。衛星が検出した雲の18パーセントは雨雲であり、雨を作らない雲に比べて著しく厚かった。



NASA/JPL



Spot the ball

ボールの模様を突き止める

J. Am. Chem. Soc. **129**, 6666-6667 (2007).

サッカーボールの形をしたC₆₀分子の高度に対称的な原子構造が、電子顕微鏡を使って初めて観察された。

産業技術総合研究所(つくば市)の末永和知らは、カーボンナノチューブの表面に係留したC₆₀分子の個々の姿を撮影することに成功した。これらの画像(例:左写真)を、分子の二十面体のかご構造(中図)に基づく画像シミュレーション(右図)と比較することで、観察された二次元の形態を炭素シェルのさまざまな投影図に対応させることができる。これらは五角形と六角形の輪からできている。

研究者らはまた、ゆがんだ非球形のシェルもいくつか観察することができた。彼らはこれを、電子線によりC₂ユニットがシェルからはじき出されて生じたC₅₈分子であると考えている。

Simple switch turns cells embryonic

簡単なスイッチで細胞を多能性幹細胞に切り替える

Nature Vol.447 (618-619) / 7 June 2007

David Cyranoski

2007年6月第2週に3つの研究グループが発表した研究成果によって、マウスの正常な皮膚細胞を胚の状態に再プログラミングできることが明らかになった¹⁻³。驚くほど単純なこの手法をヒト細胞へ適用することが、次の勝負どころとなる。

もし研究が成功すれば、胚性幹細胞と見分けがつかず、患者ひとりひとりに遺伝的に適合する細胞を、かなり容易に作り出せるようになる。こうした細胞は、治療に使うには当面のところ有用性や安全性に限界があるが、実験にはすぐに恩恵となるはずである。

「この技術は、我々の物の見方を根底から大きく変えてしまうだろう」とモナッシュ大学（オーストラリア、ビクトリア州）のAlan Trounsonはいう。Trounsonは今回の研究にはかかわっていないが、この技術を「明日」にでも使い始める予定だと述べ、「私は今、10件余りの実験を考えている。どれも価値ある実験だ」と話す。

胚性幹細胞は理論的には、それ自身とまったく同じ細胞を作り出すことができる。しかし今までのところ、胚性幹細胞を得る方法は1つしかなく、それには胚を破壊しなければならない。そして、ある患者に遺伝的に適合した胚性幹細胞を得るということは、事実上、その患者の細胞をクローニングすることを意味する。つまり、いずれも倫理的にむずかしい問題を生じるのだ。

この従来の「クローン作製」法には、倫理的な問題が潜んでいるだけでなく、技術的にもむずかしい。未受精卵を入手

して、その遺伝物質（つまり細胞核）を、成人細胞から採取した遺伝物質で置き換えた後、その卵細胞を分裂させて初期胚を形成させ、そこから胚性幹細胞を採取する。これらの障壁は、今回の成果によって崩れ去ることになるのかもしれない。

「卵細胞も胚も必要ではない」と、今回の新技術の開発に携わった京都大学の山中伸弥は語る。昨年、山中はマウスの繊維芽細胞を使う実験系を発表した⁴。繊維芽細胞は、卵細胞と違って、皮膚から容易に採取できるありふれた細胞種である。この繊維芽細胞に、転写因子という特定のタンパク質4種類をコードする4つの遺伝子を、レトロウイルスを利用して移入する。これらのタンパク質は、ほかの複数の遺伝子の発現を引き起こして、繊維芽細胞に体のどんな種類の細胞にもなれる「多能性」をもたせる。山中はできた細胞を、人工多能性幹（iPS）細胞（induced pluripotent stem cell）と名づけた。「いたって簡単。種もしかけもない」と山中はいう。

この研究成果は驚きをもって迎えられたが、懐疑的な見方も多かった。4つの因子では事があまりに簡単すぎるように思われたのだ。また、これで得られた細胞は、胚細胞の特徴をいくつか備えていた（コロニーを形成し、持続的に自己増殖することができ、奇形種とよばれるがん性増殖が可能である）ものの、欠けている特徴もあった。例えば、iPSを発生中の胚に移入しても「キメラ」にならなかった。つまり、もとの胚とiPS細胞の両方に由来するDNAが体中に混在するマウスはでき

なかったのだ。「昨年の段階では、私は（iPS細胞の）『多能性（pluripotent）』という言葉に違和感を感じていた」と、マックス・プランク分子生物医学研究所（独、ミュンスター）の幹細胞研究者Hans Schölerはいう。彼は今回報告された3つの論文のどれにもかかわっていない。

山中は6月6日に、第二世代のiPS細胞について報告した¹が、この細胞は上記の検証のすべてをクリアしている。さらに、ホワイトヘッド生物医学研究所（米国マサチューセッツ州ケンブリッジ）のRudolf Jaenisch率いる研究グループ²と、ハーバード幹細胞研究所のKonrad Hochedlingerとカリフォルニア大学ロサンゼルス校のKathrin Plathの2人チーム²は、山中たちとまったく同じ4つの因子を用いて、極めてよく似た結果を得た。

「この結果は、特にHwang（Woo Suk Hwang、黄禹錫）のスクランダルの後、我々の研究成果について疑念を抱いていた一部の人々をホッとさせた」と山中はいい、再現不可能でやがてねつ造とわかった黄禹錫のクローン作製研究について触れた。また、Schölerは「我々はようやく、これが研究を進めるに値するものだと確信できる」と述べている。

昨年の成果に加えた改善は単純なものだった。山中が使用した4つの転写因子は一貫性なく非効率的に細胞を再プログラミングするため、1回の皮膚生検で得た100万個の細胞のうち、完全に再プログラミングされるのは0.1パーセント未満であった。むずかしいのは、再プログラミングが成功した細胞を単離することだ。

こうした細胞を単離するには、幹細胞に特徴的なタンパク質が発現された場合にだけ活性化される抗生物質耐性遺伝子を組み込む。これらの細胞に抗生物質を投与すれば、幹細胞になりそこねた細胞を死滅させ取り除くことができる。

山中が昨年、幹細胞のマーカとして用いたタンパク質は、再プログラミングされた細胞を見つけだすのに最適なものではなかった。今回、3つの研究グループはいずれも、別の2つのタンパク質マーカ（NanogとOct4）を用いて成功した。3つの研究グループとも、この方法で単離したiPS細胞を用いてキメラマウスを作り出すことができ、このマウスから子孫へとiPSのDNAが受け継がれた。

Jaenischはさらに、特殊な胚を使って、完全にiPS細胞に由来する細胞をもった胎児を生み出した。「これは最高の胚性幹細胞にしかできないことだ」と彼はいう。5月31日にババリアで開催された会議でJaenischの発表する成果を聞いたSchölerは、「信じがたい、まさに驚きだ」という。「私にいわせれば、これはドリー（クローン動物の第一号）みたいなものだ。それくらい、たいへんな功績なのだ。」この手法は魅力的である。ヒトのクローン作製は、入手できる卵細胞の数や、習得に約6か月もかかる技術のむずかしさのために制限されていたが、山中の手法だと、最もありふれた細胞を使うことができ、しかも簡単な実験技術で行える。

しかし、ヒト細胞へのこの手法の適用はまだ成功していない。「我々は必死で研究している。それこそ昼夜を問わず」と山中



このキメラマウスが誕生したということは、使われた細胞が胚性幹細胞のようにふるまったということだ。

はいう。おそらく、さらに他の転写因子が必要なのだろう、と彼は付け加えた。

もしヒト細胞でうまくいけば、パーキンソン病や糖尿病といった疾患の患者からiPS細胞を作り出すことができるかもしれない。これらの細胞が発生するときに細胞内でどのような分子レベルの変化が起こるかを観察できるかもしれない。この「シャーレ内で再現された疾患」は、さまざまな環境要因が病態にどうかかわるかを調べたり、薬剤が疾患進行をどれくらい抑制できるかを調べたりする糸口になるだろう。

しかし、このiPS細胞でも完全無欠とはいえず、例えば脊髄損傷を治療するために、遺伝的に適合する移植用細胞を安全に作製することはできないだろう。山中は、4つの因子のうち1つが、彼の作ったキメラマウスの20パーセントに発生したがんに関与しているらしいことを見つけた。

これは改善可能だが、使用するレトロウイルスそれ自体が突然変異やがんを引き起こす可能性がある、と彼は考えている。「これは実に危険なことだ。我々は決してこれらの細胞を患者へ移植しようとは考えない」とJaenischはいう。彼は、クローン技術で作られた胚性幹細胞に関する研究は、今も「絶対に必要」だと考えている。

この1年間の経過を判断材料とすれば、変化はすぐに訪れるだろう。「それが我々なのか、Jaenischなのか、それともほかの誰かなのかはわからないが、私は、今後1年間のうちにヒト関連で何か大きな成功があるとみている」と山中は語った。■

1. Okita, K., Ichisaka, T. & Yamanaka, S. *Nature* doi:10.1038/nature05934 (2007).
2. Wernig, M. et al. *Nature* doi:10.1038/nature05944 (2007).
3. Maherali, N. et al. *Cell Stem Cell* doi:10.1016/j.stem.2007.05.014 (2007).
4. Takahashi, K. & Yamanaka, S. *Cell* **126**, 663-676 (2006).

著作権等の理由により画像を掲載することができません。

川島隆太 東北大学教授

NINTENDO DS™

BRAIN AGE™

Train Your Brain in Minutes a Day!



BRAIN CRAZE

「脳トレ」ブームを検証する

Nature Vol.447 (18-20) / 3 May 2007

神経科学者の川島隆太は、年とともに老化する脳をビデオゲームで活性化できるという考え方を広めているが、それに対して懐疑的な態度を崩さない神経科学者もいる。冬野いち子による取材報告。

2006年11月のある肌寒い雨の降る日、奈良輪郁代は脳の若返りを期待して東京発のツアーバスに乗った。彼女は酒の飲み過ぎや運動不足が気になっており、自分の記憶力が衰えつつあると感じていた。そこで、40人のツアー客に混じって風光明媚な長野県の蓼科高原へ出かけた。そこではハイキングや手工芸に挑戦し、有機食材を使った食事を取り、温泉を楽しんだ。

彼女は37歳の歯科助手だが、ツアーの冒頭で、ランプが赤く光ったらすぐにマウスをクリックするなどといった簡単なコンピューターテストをいくつか受けたところ、自分の「脳年齢」が61歳だ

といわれて愕然とした。2日間のツアー活動のあと、彼女は同じテストをまた受けたが、残念ながら結果は変わらなかった。しかし、そのテストを家でも続け、5回目でやっと脳年齢が20歳に下がったので「すごくホッとした」という。

この「脳トレツアー」は、茅野商工会議所と旅行代理店が企画したもので、日本で大ブームとなり世界各国でも広がりつつある「脳トレ」ブームを象徴する最新の例である。日本では脳の活性化をうたったテレビ番組が人気で、ファッション雑誌は肌の若返りだけでなく、脳の若返りのアドバイスまで掲載している。また、知的能力を維持するためと称した本

やウェブサイト、ソフトウェアが巷にあふれている。

この大ブームの中心となっているのが、日本のゲームメーカー任天堂が売り出して大ヒットしているゲームで、その投げどころになっているのは、東北大学で脳画像解析に取り組んでいる神経科学者、川島隆太（上の写真）の研究である。この『脳を鍛える大人のDSトレーニング』（以下『脳トレ』）は、米国では『Brain Age』、欧州では『Dr Kawashima's Brain Training』というタイトルで発売されており、携帯ゲーム機を使って音読やかけ算、単語記憶といった簡単な練習問題を解くゲームである。このゲームの

宣伝用資料で川島は、こうした練習問題を毎日解くことで「脳機能の衰えを防ぐのを助けることができる」と述べている。彼は、この種の練習問題によって脳の前頭前野の血流量が増えるとする説を提唱している。前頭前野は、記憶や推論、年齢とともに衰えるほかの複雑ないくつかの行動を制御している脳領域である。

多くの神経科学者や老年学研究者は、『脳トレ』や同様のゲーム類についてなされている主張に懐疑的であり、いかなる種類の頭脳訓練であれ、脳の老化を食い止められることを示した証拠は今のところ十分得られていないという。川島は、『脳トレ』でみられる種類の脳の活性化が高齢者の認知症患者の助けになりうることを示す論文¹を発表したが、批判的な研究者たちは、これらの知見が必ずしも健全な成人に当てはまらなると主張する。ゲームの練習を積むにつれて点数が上がる可能性はあっても、それがすなわち、ほかの知的作業や日常生活を送る能力の改善につながるかどうかはわかっていないのである。「私の胸の内には、ある大きな疑問がある」と、ヴァージニア大学(米国シャーロットビル)で認知機能の老化を研究しているTimothy Salthouseは話す。「頭脳訓練をした後の機能向上が、訓練でやったこと以上の範囲まで及ぶことを示す証拠が得られるとは、まず考えられない」。

急速に高齢化の進む社会では、人々は当然のことながら、知的能力をそのまま保ちつつ長生きをしたいと思っている。神経科学の専門家たちは、30歳からすでに神経細胞間の化学的性質や連結状態が変化し、認知機能の一部が低下していくと考えている。たいがいの頭脳トレーニング用プログラムは、こうした認知機能の低下を遅め、しかも一部の失われた機能を回復する場合だってであると宣伝している。いくつかの研究によって、身体運動が頭脳の衰えを予防できることが明らかになっており(p.13コラム参照)、単純な頭脳訓練もそれと同じ効果をもつのではないかとする見方もできそうに思える。

脳のトレーニングのおかげで、川島は日本ですでに有名人となっている。彼は

臨床医の道に進んだが、その後スウェーデンのカロリンスカ研究所(ストックホルム)で画像化技術について学び、日本で初めて脳の画像解析研究をめざした研究者の1人となった。彼は機能的磁気共鳴画像法(fMRI)などの技術を駆使して、人が短時間に集中して計算したり音読したりしているときに、脳の前頭前野への血流量が増えることを明らかにした。彼は、こうした大人のトレーニング用に100冊を超えるドリルを出版している。

脳を鍛える

2001年に川島は、脳のトレーニングで高齢者の認知機能を改善できるかどうかを調べるため、科学技術振興機構から6000万円もの助成金を受けた。彼とその研究チームは、「永寿の郷」(福岡県)の介護施設でアルツハイマー病の診断を受けた32人の患者を調べた。6か月間にわたって、32人のうち半数に、割り算などの簡単な計算や童話の音読などの言語テストを行ってもらい、残りの半数には何もトレーニングをしてもらわな

かった。川島たちは、認知症の診断に広く使われているミニメンタルステート検査(MMSE)と前頭葉機能検査(FAB)の2つで、トレーニングの前後での患者の認知機能状態を判定した。これらの検査には、「今日は何曜日ですか?」「バナナとオレンジでは、何が共通していますか?」といった質問が含まれている。

トレーニングをしたグループの患者は、FABの点数が上がってMMSEの点数は維持され、トレーニング前に比べてよく話すようになり、自立度も高まった。しかし対照グループのほうは、FABの点数に変化がなく、MMSEの点数は低下した¹。しかも、トレーニングしたグループでは、75歳の男性が自分でトイレに行けるようになり、以前はパジャマで学習センターに来ていた77歳の女性が、正装して訪れるようになった。

川島やほかの論文共著者たちは、この研究の限界を認めている。認知機能の改善がトレーニングそのもののおかげなのか、それとも患者が実験スタッフや介護スタッフからいつもと違う世話を受けた



『脳トレ』ゲームは、認知機能の練習問題によって、老化しつつある脳を若返らせることができると宣伝している。

り交流を経験したりしたおかげなのかを判別することはできなかったのだ。しかし、川島はこの訓練方法が前頭前野を刺激した可能性があり、コミュニケーションなどの総合的な認知機能に改善をもたらしたと考えている。彼はこの方法を「学習療法 (learning therapy)」と名づけた。これは現在、日本各地の300か所の老人ホームで取り入れられており、利用者1人あたりの経費は月額1575円である。川島は、認知症の高齢者と認知症でない高齢者に対して同じトレーニングを施す研究をあと2件行っており(論文未発表)、このトレーニングで高齢者たちのMMSEの点数は上がったと話している。

大人の娯楽

2004年末に川島は任天堂から相談を受けた。同社は川島のドリルを刺激的なゲームに仕立てて、従来のビデオゲームを敬遠している大人たちを惹きつけられるのではないかと考えたのだ。

川島は、任天堂と一緒にこのゲームを開発するにあたって、20歳代から70歳代までの日本人120人を調べたという。彼は光コヒーレンス断層撮影という技術を用いて、被験者が数字の合計や漢字の暗記など数十種類の課題に取り組んでいるときに、その脳内の血流を調べた。この撮影法、fMRIほど精度は高くないが、川島によれば、短時間で済み、簡単に被験者に負担が少ないのがメリットだという。彼と研究チームは、前頭前野への血流を増加させる15種類の練習問題を選び出し、各年齢層の平均点を出して、それを『脳トレ』ゲームに仕立てた。

このゲームは日本で2005年5月に2800円で発売され、日本国内での販売数は、続編も合わせると300万本を超えている。ゲーム市場では普通、100万本でヒット商品とよばれる。『脳トレ』は2006年に米国や欧州、オーストラリアで、2007年初めに韓国で発売された。川島は、任天堂やほかの企業から支払われた監修料はすべて、自身の研究室近くに研究施設を新設するなどして研究に注ぎ込んでいると話す。

トレーニングの実効性は？

ほかの神経科学者たちの多くは、川島の研究業績を評価しているといいつつ、『脳トレ』の彼のコンセプトには不快感を表している。このゲームは原則として効果があるかもしれないが、『脳トレ』の簡単な計算問題や音読テストがほかの認知課題に比べて、前頭前野の血流を増加させるうえでより有効かどうかは疑問だとしている。また彼らは、短時間の血流量増加が、健常な高齢者の衰えた脳の情報処理機能や、日常生活を送るための能力の低下を改善するという証拠はほとんどないともいっている。「私は、『脳トレ』の恩恵がほかの種類の認知機能、もっといえば(仮想世界でなく)現実世界の機能に反映されると信じるに足る理由を見いだせない」と、自身もフロリダ大学(米国ゲーンズビル)で認知能力改善治療の研究をしているMichael Marsiskeはいう。

41歳のMarsiskeは、今年初めに自分で『脳トレ』をやってみた。そして、このゲームは娯楽性があって面白く、また彼の脳年齢は3日後には78歳から26歳へ若返ったが、この改善の多くは練習を積んだおかげかもしれないと彼は語る。「ユーザーは『脳トレ』を始めたとき、大いに恩恵が得られたように錯覚するかもしれないが、これは本当に知的能力が改善されたというより、むしろゲームのやり方を覚えたおかげでしょう。

Marsiskeやほかの神経科学者たちは、『脳トレ』が購入者に利益を実際にもたらしたことを示す、きちんと制御された研究報告を見たいという。「人々は、認知機能の改善のためにこのゲームをやっている。彼らは、『脳トレ』に本当に効き目があるかどうかを知る権利があるのだ」と、オックスフォード大学(英)で神経科学を研究するDorothy Bishopは述べている。川島はこうした批判を意に介しておらず、このゲームの効果についてさらに詳しい研究をするつもりはないと話す。その理由は、認知症に関する自身のそれ以前の研究や未発表の研究によって、彼の「学習療法」が有効なことが明らかになっているからだという。「こ

れまでに私たちが得たすべてのデータが肯定的な結果を示しているので、学習療法は効果があると確信している。いちばん大事なことは、高齢者の行動が我々のトレーニング法によって改善されたことだ」と川島は語った。任天堂広報室課長の皆川恭廣は、このゲームの土台にある科学的証拠に関して同社はコメントする立場にはないとし、任天堂としては『脳トレ』が上質の娯楽を提供することを確信していると回答している。

ほかの研究者たちは、頭脳トレーニングが老化した脳を若返らせることができるかどうかを、もっと厳密に調べることに意欲的だ。「大勢の研究者がこの分野に関心を寄せており、この種の短期トレーニングが長期的な機能改善をもたらすかどうかを知ろうと研究に励んでいる」というのは、ジョーンズホプキンス大学医学系大学院(米国メリーランド州ボルティモア)でアルツハイマーを研究しているMarilyn Albertである。

米国カリフォルニア州サンフランシスコにあるPosit Science社は、自社の『Brain Fitness Program(脳の健康プログラム)』の研究を行っている。これは同社で最も売れているコンピューター使用型エクササイズ(価格は395ドル[約4万3000円]~)で、利用者は、似通った音を識別したり複数の単語から文章を組み立てたりといった、頭の体操に取り組む。同社の首席研究者で、カリフォルニア大学サンフランシスコ校で大脳皮質の可塑性を研究しているMichael Merzenichは、研究チームを率いて、61歳以上の被験者182人を3つのグループに分けて調べた。第1グループはコンピューターで頭脳トレーニングを行い、第2グループはコンピューターで教育用DVDを視聴し、第3グループはコンピューターに触れなかった。8~10週間の調査の後、トレーニングしたグループはこのプログラムやほかの(この実験ではトレーニング材料に使わなかった)標準的な記憶評価検査での成績が向上した²が、残り2つの対照グループに改善はみられなかった。

Albertによると、頭脳トレーニングに関するこれまでで最良の研究はおそらく、2006年後半にMarsiskeの加わった研究チームが発表したもの³だという。その報告は、認知機能トレーニングを受けた健康な高齢者が、知的能力の改善を長期間持続させることができ、そうした改善が日常生活の活動改善に反映されることを示唆していた。66歳以上で精神的に健康な成人2800人余りを、10時間のトレーニング講座を受ける複数グループと、トレーニングを受けない1つの対照グループにランダムに分けた。すると、トレーニングを受けた複数グループは、トレーニングした特定の課題については認知能力が改善され、その改善された状態は5年間も持続した。また、トレーニングしない対照グループと比較して、トレーニングを受けた複数グループのうち1つのグループは、食事の準備や電話の使用といった日常的な作業をするのが以前より大変でなくなったと回答している。

多くの神経科学者は、頭脳トレーニングが有効だとそのうち必ずわかるはずだと楽観視している。そして、コンピューターを使う訓練はクロスワードや数独などのパズルを解くのと同じくらい無害であり、少なくともちょっとした達成感を与えてくれるものだと考えている。ま



ゲームをする老人たち：コンピューターを使った頭脳トレーニングが高齢者の技能を改善できるかどうかを調べているところ。

た、「永寿の郷」の老人ホームでは、認知症の高齢者に1日に15～20分の音読と計算の基礎問題を解いてもらった。この介護老人福祉施設「永寿園」の園長である山崎律美は、このスケジュールをこなした患者の行動は、それ以前に園芸やカラオケなどの療法を試みたときに比べて改善され、介護スタッフとの交流にも役立つと話してくれた。

「もしこのゲームをやって楽しめるな

ら、おやりなさい」とSalthouseはいう。「これが脳にダメージを与えたり有害だったりするという証拠はほとんどないし、いずれそのうち、何らかの有益な効果があるとわかる可能性だってある」。

冬野いち子は *Nature* の元東京在住記者。

1. Kawashima, R. et al. *J. Gerontol. A* **60**, 380-384 (2005).
2. Mahncke, H. W. et al. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **103**, 12523-12528 (2006).
3. Willis, S. L. et al. *J. Am. Med. Assoc.* **296**, 2805-2814 (2006).

心と体

体を動かすことで心疾患その他のさまざまな病気を遠ざげられることは、すでによく知られている。身体運動が心の健康も改善できることを示唆する証拠は、現在しだいに増えつつある。

最近、ある研究で11人の若者に12週間のエアロビ運動プログラムを実行してもらったところ、記憶テストの成績が向上した。この運動で、脳の歯状回（記憶や認知機能の老化に重要な脳領域）への血流量も増えたことから、こうした運動が歯

状回でのニューロン新生を促したのではないかと論文著者たちは考えている (A. C. Pereira et al. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **104**, 5638-5643; 2007)。

だが、身体運動が脳に有益な効果を及ぼす仕組みや、脳の機能に最適の運動量は、専門家の間でもはっきりとわかっていない。

日常生活を送るには膨大な種類の技能が必要である。そう話すのは、ペンシルベニア州立大学（米国フィラデルフィア）

で認知機能発達を研究している心理学者、Warner Schaieである。だからこそ、高齢者は継続的に頭脳の活性化に取り組んだり、ほかの人と交流したりすべきであると彼はいう。こうした活動は、ボランティア活動やスクエアダンスから旅行まで、ひとりひとりの好みに合わせて選べばよい。

多くの専門家は、体を動かしたり健康によい食事を摂ったり社会活動をしたりして、全般に健康的な生活スタイルで暮

らすことがおそらく、健全な認知機能を保つ最も確実な道だろうという。「私たちが今考えている仮説は、心と体の活動、社会とのかかわり、低い血管障害リスクによって、ヒトの認知機能が低下する確率を低く抑えられるとするものだ」と、ジョーンズホプキンス大学医学系大学院（米国メリーランド州ボルティモア）のMarilyn Albertは語った。「しかし、それを解明するための道のりは長い」。

IF

Is this what it takes to save the world?

地球冷却計画

Nature Vol.447(132-136)/10 May 2007

「地球工学」によって人為的に気候を変えるという発想は、いかがわしいものとして長らく異端視されてきた。しかし最近になって、見直されつつあるようだ。Oliver Morton記者が報告する。

1991年6月の第1週。米国のローレンス・リバモア国立研究所（カリフォルニア州）の気候物理学者Michael MacCrackenは、地球を冷やす技術的な方法について議論するために、フロリダ州パームコーストで開かれた小さな会議に出席していた。彼はそこで、二酸化炭素を地中に埋める方法から、大気中の煙霧により宇宙に跳ね返される日光の割合を増やす方法まで、過去数十年間に提案されたさまざまな方法を検討する論文を発表した。

同じころ、地球の裏側のフィリピンでは、地下数キロメートルにある高温のマグマに溶け込んだ約2000万トンもの二酸化硫黄（SO₂）が、地球を冷やす方法をMacCrackenや会議の出席者たちに披露するための準備をしていた。

そしてバームコーストでの会議が終わった次の日、ピナツポ山の噴火口に最初のマグマが現れた。以後、ピナツポ山は1週間にわたって規模を大きくしながら噴火を繰り返し、6月15日には大噴火を起こした。溶岩、火山灰、火山ガスから成る噴煙が大気中に立ちのぼり、その高さは40キロメートルに達した。噴煙に含まれる二酸化硫黄の大半は小さな粒子の雲になって高さ20キロメートル以上の成層圏に広がり、以来数年間にわたってとどまった。硫酸塩でできた薄いベールは、地球に届く日光を散乱した。地球の空は少し白くなり、夕焼けはより美しくなり、気温は少し下がった。

ピナツポ山から噴出した粒子による気温の低下は、人工火山（高高度の大気

中に硫黄を散布する技術）の効果としてMacCrackenが会議で示した数字とほぼ一致していた。このときエルニーニョが起きていなかったら、1992年の世界の平均気温は1991年に比べて0.7度低くなっていただろう。火山による冷却効果が証明されたこの時期は、気候変動への取り組みにとって非常に重要な時期だった。温室効果による地球温暖化を警告する「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」の最初の報告書が発表されたのは、ピナツポ山噴火の前年のことだった。また、「気候変動に関する国連枠組条約」（UNFCCC）が署名のために開放されたのは、ピナツポ山から噴出したエアロゾル（煙霧質）がまだ空を明るくしていた時期だった。読者の方々は、世界中の

著作権等の理由により画像を掲載することができません。

ピナツポ山が成層圏にまき散らした二酸化硫黄は、太陽光線をさえぎった。

人々が地球温暖化の可能性に気づき始めたときに、このような冷却現象が起きたのだから、MacCrackenが論じたような人工火山に関する議論はさぞかし盛り上がっただろうと思われるかもしれない。

地球工学の後退と復活

しかし、事態はその反対の方向に進んでいった。地球温暖化が現実の重大問題としてとらえられるようになると、気候学者たちは地球工学の議論を敬遠し、温室効果ガスの排出量を早急、かつ大幅に削減しなければならないという主張を繰り返すようになった。地球工学による気候の操作は、温室効果ガスの排出削減という課題から逃げるための危険な考えとみなされるようになった。ピナツポ山噴火後の15年間、地球工学の機運は衰えた。1995年から2005年にかけては、現実的に地球を暖めている日光を直接的にどうにかするための研究よりも、将来、地球を危機に陥れるかもしれない小惑星への技術的対応に関する研究のほうが盛んだった。

気候学者の大部分は今も、地球工学に対して深い疑念やあからさまな敵意を向けている。その多くが、地球工学は社会の化石燃料への依存を助長すると主張する。ドイツのマインツにあるマックス・ブ

ランク化学研究所の大気科学者 Meinrat Andreae は、「地球工学は、麻薬常習者が自分の子どもから金を盗む方法を考えるような学問だ」と切り捨てる。しかし、この1年の間に地球工学は息を吹き返し、失った時間を取り戻そうとしているようにみえる。特に、太陽光線が地球に届く前にその一部をさえぎるというアイデア（遠回しに「放射調節」とよばれることがある）は、それをどのように、なぜ、いつ行うかについての新しい提案とともに、これまでにない注目を集めるようになっていく。2007年5月初めに発表された最新のIPCC評価報告書は、こうした考えを一蹴したが、地球の温度が上昇しつつあるなかで、それを阻止する思い切った手段に出ることの必要性も強調している。そして、思い切った手段といえば、地球工学である。現在はワシントンDCの気候研究所の主任科学者であるMacCrackenは「うっかり何かをしてしまったのなら、それを打ち消すために何かをすることができるのではないか、と考えるのは自然なことだ」と話す。

地球工学への関心が高まるきっかけとなったのは、Andreaeの友人であり同僚でもあるPaul Crutzenが2006年8月に*Climatic Change*誌に発表した記事だった¹。この記事が取り上げた研究の大半はピナツポ山の噴火以前に論文になっていたものであったが、記事を書いたのがCrutzenであったために、大きな影響力をもつことになった。スタンフォード大学（カリフォルニア州パロアルト）の気候学者であり、この雑誌の編集者であるStephen Schneiderは、「この場合は、メッセージを発した人物がそのままメッセージになった。オゾン層破壊の危険性があることを早い時期に示したノーベル賞受賞者（1995年度化学賞）であり、環境保護全般に積極的に取り組んでいるCrutzenが、環境的に考えられないような方法を検討したのだから、大きな注目を集めるのは当然だった」と話す。Crutzenの同僚であるAndreaeが、この記事を発表しないよう彼を説得しようとしたのもまさにこのためだったのだ。

世界を救う大気汚染

この記事で印象的なのは、著者の名前だけではない。彼は、この問題を極めて冷静に分析しているのである。Crutzenは、人類は毎年、大気中に1億トンの二酸化硫黄をまき散らしており、これは少なくともピナツポ山5つ分に相当すると指摘した。残念ながら、この硫黄が作るエアロゾルは、私たちが呼吸している大気の低層にとどまって人体に悪影響を及ぼしており、毎年50万人の早すぎる死の一因となっていると見積もられている。しかし、大気の低層にある硫酸塩も太陽光線が地表に届くのを防いでいるので、これを除去すると地球温暖化を加速させてしまうことになる。

Crutzenは、硫黄換算で毎年100万～200万トンの二酸化硫黄を成層圏にまくという案を検討した。成層圏で形成されるエアロゾルは長持ちするので、低層大気の短命のエアロゾルを除去しつつ、太陽光線をさえぎる効果を持続させることができるからである。

Crutzenは記事の始まりと終わりの両方で、自分は温室効果ガスの排出削減によって地球温暖化を防ぐことを望んでいるのだと強調した。しかし今のところ、それを楽観できる根拠はほとんどない。温室効果ガスの排出削減には数十年、数世代の時間がかかるが、硫酸塩エアロゾルならすぐに地球を冷却できる。状況が本当に悪化してきた際には、エアロゾルを使って急速冷却を行うことができるだろう。

米国立大気研究センター（コロラド州ボルダー）のベテラン気候学者であるTom WigleyはCrutzenの論文を見て、そうした計画が短期間でどのような成果をもたらさうかを調べることにした。そして、硫酸塩の冷却効果はすぐに現れるため、温室効果ガスの排出削減の効果が現れ始めるまでの時間かせぎに使える可能性があることがわかった。Wigleyは、ごく単純な気候モデルを使って、今世紀中ごろの大気中の二酸化炭素濃度を450ppmにとどめられる可能性を調べた（産業革命前は280ppm、現在は381ppm）。二酸化炭素濃度が450ppmを超えなければ、



1991年のピナツポ山の噴火は、夕焼けを以前（下）よりもずっと明るくした（上）。

将来の気温上昇は2度以下に抑えられる可能性が高い。しかし今では多くの人が、これを450ppmに抑えることは困難だと考えるようになってきている。

Wigleyは、わずかな地球工学により、目標とする気温をはるかに容易に達成できるかもしれないと主張した²。例えば、上層大気への硫酸塩の注入を早急に開始し、2年ごとにピナツポ山の噴火に相当する量を注入できるようにする。その後、注入を段階的に削減し、80年後にはゼロにするのである。これにより、今後数十年にわたって二酸化炭素排出量が増加し続けても、硫酸塩による冷却効果で、二酸化炭素排出量の増加を直ちに止めた場合と同程度の気温上昇にとどめることが可能になる。Wigleyのモデルでは、大気中の二酸化炭素濃度のピークが500ppmを大きく超えてしまった場合でも、気温は、(二酸化炭素削減だけで)苦勞してこれを450ppmに抑えた場合と変わりはないという結果になった。それでもなお、今世紀の半ばすぎから二酸化炭素排出量を大幅に削減していかなければならないのだが、数十年の猶予が与えられることが重要なのだ、とWigleyは考えている。

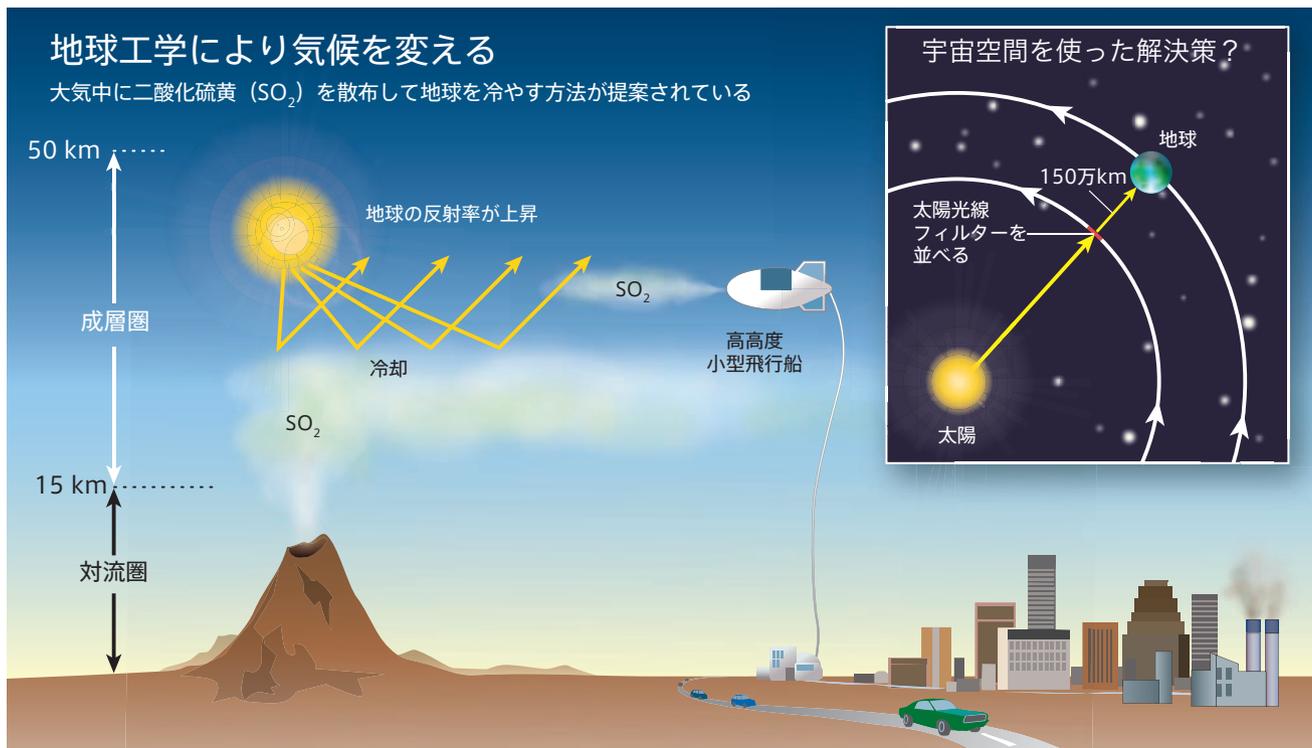
二酸化炭素削減は不必要？

硫酸塩をまくことで、二酸化炭素の排出削減の効果が現れるまでの数十年の時間かせぎが可能になるのなら、硫酸塩をまき続けければ、二酸化炭素の排出を削減せずにすむのではないだろうか？ Wigleyは、それではダメな理由を1つ指摘している。二酸化炭素は地球を温暖化させるだけではなく、海洋を酸性化させるからだ³。二酸化炭素濃度が増加し続けた場合、硫酸塩をまくことで温暖化効果を打ち消すことができたとしても、サンゴや甲殻類、ひいては海の食物連鎖全体に壊滅的な打撃を与えることになる。実際、地球工学の最も強力な支持者でさえ、二酸化炭素の排出削減の必要性を無期限に延期できるとはしていない。カリフォルニア大学アーバイン校の宇宙物理学者Gregory Benfordは、著名なSF作家であり、地球工学の熱烈な支持者でもあるが、その彼でさえ「穴を掘っている人がそこから出たいと思うなら、掘るペースを遅くするのが賢明だ」と話す。「しかし、はしごも必要だ」と彼はつけ加える。

実施期間を厳しく制限した計画でも、潜在的な危険性はある。Wigleyのモデ

ルは地球の平均温度しか扱っておらず、現実の気候システムはそれよりはるかに複雑である。地球工学を疑っている気候学者たちは、以前から、二酸化炭素から予測される温暖化パターンと、エアロゾルから予測される冷却パターンとは、空間的にも時間的にも食い違っているはずだと指摘してきた。エアロゾルが冷却効果を発揮するのは太陽が輝いている間だけであり、太陽が最も輝いている地域で最も効果が高い。つまり、エアロゾルの冷却効果があるのは日中だけであり、大きな効果が得られるのは夏と熱帯地方である。これに対して温室効果ガスは夜も昼も温暖化効果があり、その効果は極地で最も大きくなる。この2つの因子は、地球平均では互いに打ち消し合うかもしれないが、地域ごとの気候の作用を根本的に変えてしまうというわけだ。

Ken Caldeiraは、リバモア研究所にいた2000年に、この不一致がどれほど大きいかを詳しく調べることにした。彼は同僚のBala Govindasamyとともに大気大循環モデルを使い、二酸化炭素濃度が2倍になった世界と、二酸化炭素濃度が2倍になると同時に日射が1.8パーセント減



少した世界とを比較した。二酸化炭素濃度が2倍になっただけの世界では、地表面積の97パーセントが統計的に有意に温暖化した。これに対して、エアロゾルによる冷却効果もある世界では、この数字はわずか15パーセントという低さだった⁴。

温暖化をキャンセル

この結果はCaldeiraを驚かせた。彼がこの研究を行った理由の1つに、同僚のLowell Woodに地球工学の複雑さを示したいという気持ちもあったからである。Woodは、ロナルド・レーガン元大統領の戦略防衛構想(SDI)の基礎となったX線レーザー計画など、過激な提案をすることで有名であり、1990年代には放射調節に夢中になっていた。ちなみに、Woodの恩師であり、水素爆弾の生みの親であるリバモア研究所のEdward Tellerも放射調節を支持し、ウォールストリート・ジャーナル紙上でこれを擁護した。地球工学は、当時からすでに環境への悪影響を心配する気候学者たちの間で悪評を買っていたが、もしそれがなければTellerのおかげで人々に広く受け入れられたかもしれない。

世界が単純な物理モデルよりも複雑だということを示したかったCaldeiraの研究は、地球工学の怪しさを際立たせるどころか、その威力に裏づけを与えることになってしまった。そのせいなのかもしれないが、これに続く研究はほとんど行われなかった。6年後になってようやく、Crutzenの論文の影響で、大気大循環モデルをもつほかの研究者たちが放射調節について調べ始めた。例えばWigleyの同僚のPhil Raschは、2007年4月に米国立大気研究センターで開かれたセミナーで、予備的な研究結果を明らかにした。今回も、温室効果ガスによる温暖化とエアロゾルによる冷却は、驚くほどよく打ち消し合っていた。しかし、両者の差はゼロではなく、ある場所では温度が変化し、またある場所では降水量が変化していた。ただし、その変化量は温室効果ガスだけの世界で予測されるほど大きくはなかった。

著作権等の理由により画像を掲載することができません。

光を弱くする：地表に届く太陽光線は大気汚染のためにすでに減少している。

Caldeira自身も最近、地球工学の推進派ではないことを強調しつつ、2000年に使ったものとは別の大気大循環モデルを使って、この問題を再検討した。その結果は以前と同様になったが、温度の変化に比べて降水量の変化がやや大きくなっていった。また、地球工学により自然界の炭素貯蔵庫が拡大する可能性があることもわかった。二酸化炭素の量が増えると植物は活発に成長するようになり、より多くの二酸化炭素を吸収するようになる。温室効果だけの世界では、この効果は、温度上昇が土壤細菌の呼吸に及ぼす効果(温度が高くなると、細菌はより多くの二酸化炭素を排出するようになる)によって相殺されてしまう。これに対して、温室効果と冷却効果の両方がある世界では、植物が吸収する二酸化炭素の量が増える一方で、細菌が排出する二酸化炭素の量が抑えられるので、より多くの二酸化炭素が消費されることになるのである。

不確かな基礎

ニューヨーク州にあるNASAゴダード宇宙研究所の気候モデル作成者たちも、大気大循環モデルを使って地球工学の効果について調べ始めた。英国気象庁ハドレーセンターやマックス・プランク研究

所で大気大循環モデルを使っている研究者たちもこの動きに興味を示しており、おそらく彼らも研究に着手することになるだろう。しかし、Raschはこうした研究は時期尚早だと警告する。地球工学が約束するものとその問題点をきちんと理解するためには、気候変動の自然科学に関するIPCCの大量の報告書の基礎になった研究に匹敵する取り組みが必要であり、世界中の研究グループが何年もの間研究に専念しなければならない。批判的な人々は、それでも不十分だというだろう。大気大循環モデルは役に立つ道具だが、それで気候システムを完全に理解できるわけではない。そうした理解の欠如こそは、地球工学に批判的な人々が、その最大の科学的問題として指摘しているものなのである。

Crutzenらが地球工学を研究するのは、予期せぬ大変動が起きて、緊急に対処する必要が生じてくるかもしれないと考えるからである。けれどもほかの人々は、まったく同じ理由から、地球工学は根本的に使えないと考えている。各種のモデルは、二酸化炭素濃度が上昇すると地球が温暖化し、気候パターンが変化するという点では一致しているが、温暖化の程度や気候がどのように変化するかについては一致していない。実際、このよ

うな不確かさが、気候変動の問題を非常にむずかしくしているのである。マサチューセッツ工科大学（同州ケンブリッジ）の気候学者 Ronald Prinn は、「その挙動さえ理解できていないシステムを、どうやって操作できるというのか?」と問う。

この疑問への1つの答えは、「できるだけ注意深く、可逆的に操作すればよい」である。Caldeira と MacCracken は今、Wood と Benford とともに、北極圏をねらった放射調節計画を検討している。Caodeira は、最小の努力で最大の効果が得られるのは北極圏だと考えている。北極圏を冷やせば海水が成長するし、海水そのものにも冷却効果があるからである（海水は夏に日光を反射し、温かい海水の上にかぶさることで断熱性の蓋にもなる）。また、北極圏の生態系は危機に瀕しているが、地球工学によって、そこに住む生き物たちを救える可能性もある。ピナツボ山が噴火した1991年から1992年の冬に生まれ、科学者たちが「ピナツボの子」とよんだシロクマの子らは、それに続く春、特別に長持ちした海水の上で大きく強く成長することができたからである。さらに、北極圏を冷却することで、温暖化によるグリーンランドの氷床の突然の融解（モデルでは予測されていないものの、常に懸念されている）を防げる可能性もある。

極地への注目

Caldeira らは、北極圏を冷やすには地球全体を冷やすよりもずっと少ない材料ですむという。さらに、冷却材は春に、成層圏の低いところに散布して、その大部分が1年未満で地表に落ちるようにすることを提案している。太陽の見えない冬に反射層を設けても意味がないからである。人がほとんど住んでいない狭い地域で、1年単位で操作を行うこの方法は、地球工学者が提案する方法の中で最も影響が少ないものの1つである。技術的にも容易であり、貨物飛行機に硫黄散布用のパラシュートを引かせる方法や、高高度小型飛行船を使って長さ20キロメートルのホースで地上から二酸化硫黄を吸

り上げる方法が考えられている。Wood によると、散布する二酸化硫黄の量は毎秒数十リットルで足りるという。硫酸塩粒子よりも反射率が高い材料を使うなら、必要量はさらに少なくなる。

しかし、控えめで局所的な地球工学でも、遠く離れた地域の気候に大きな影響を与える可能性がある。ラトガーズ大学（ニュージャージー州）の Alan Robock らは、ゴダード研究所の気候モデル作成者らと協力して、高緯度の火山の噴火により硫黄がまき散らされた場合の影響を調べた。つまり、Caldeira らが考えている地球工学の自然現象版である。研究の結果、こうした噴火は気候に悪影響を及ぼす可能性があることがわかった。例えば、1783年にアイスランドのラーキ山が噴火したときには、インドのモンスーン（季節風）を弱めてしまっただけでなく、アフリカのサヘル地域の降水量も減少させてしまったと考えられるのである⁵。

過去の噴火が気候に悪影響を及ぼした可能性があるからといって、未来の地球工学により同じことが起こることは限らない。しかし、モデルのみを根拠にしてモンスーンに影響を与える可能性のある研究に乗り出したとしたら、モデルへの盲信、数億人の暮らしに対する配慮の欠如、破れかぶれなどの批判を免れることはできないだろう。

そうした問題が起こる原因の1つに、成層圏は自由に色をつけられるガラスのシートではないという事実がある。成層圏は循環するシステムであり、物理学と化学が互いに影響し合っている。成層圏は、その下の対流圏と複雑に結びついており、両者の関係は温室効果による温暖化のために変化しつつある。成層圏にあるエアロゾルは、含まれる粒子の大きさによって、地球を温暖化させたり冷却したりする。成層圏は、地球を構成するほかの大部分の要素に比べて単純な場所であるが（少なくとも生き物はすんでいない）、特有の複雑さをもっているのである。

この問題を回避できる魅力的な方法がある。成層圏よりもさらに高い軌道上に、オンにもオフにもできる「日よけ」

を置くのである。この軌道上の日よけは、人工火山とほぼ同じ時代から提案されている。なかでも技術的に最も洗練されているのは、アリゾナ大学（アリゾナ州トゥーソン）の Roger Angel が2006年に発表したものである⁶。

宇宙の日よけ

従来の提案では、日よけを作るために人間を軌道に送り込んだり、月や近くの小惑星の資源を使ったりする必要があったが、Angel は別の方法で日よけを作ろうと考えた。彼がたどり着いた答えは、大型ゴミ箱の蓋ほどの大きさの、透明に近い飛翔体を大量に投入するという方法だった。飛翔体は事前に重ねて梱包し、巨大な電磁砲で地球から打ち上げる。この薄い飛翔体は、ほとんど常に地球と太陽の間に位置できるような軌道に入り、そこで包みを脱ぎ捨てる。Angel の計算によると、地球から185万キロメートル離れた飛翔体の雲の影は地球よりも少し大きくなり、地球に届く太陽光線を約1.8パーセント減少させる。Angel の提案の詳細は入念に練り上げられており、その費用はやはり天文学的で、約5兆ドル（約600兆円）に達する。これは米国の国防予算の10年分に相当する。電磁砲と、必要に応じてギガワットレベルの電力を送り込むのに必要な電力システムは、途方もない話ではあるが、かろうじて実現可能な範囲にある。本当に驚かされるのは、この計画を実現するのに必要な飛翔体の数だ。その数は16兆個。米軍は1年で15億個の弾丸を使っている。弾丸の100倍のペースで飛翔体を大量生産することができたとしても、十分な数の飛翔体を作るには1世紀かかることになる。

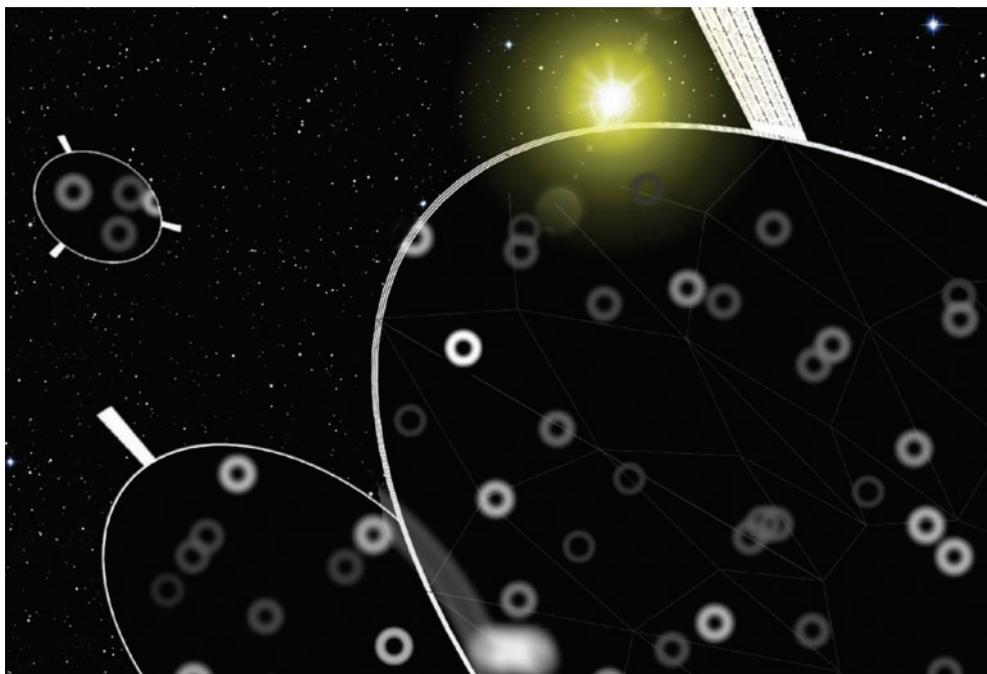
基準を設ける

しかし、気候学者で米国科学アカデミー会長である Ralph Cicerone は、この論文の綿密さを称賛している。Cicerone は、「Angel は何度も検討を重ねた。この研究は、その正確さと完全さにおいて、ほかの研究の模範となるものだ」と主張する。彼やほかの多くの研究者は、

地球工学研究については、学術的にすぐれていることを何よりも重視する。彼らの目的は、実行可能な解決法を見つけることではなく、まずい計画やばかげた計画をふるい落とすための基準となる、きちんとした科学研究を行うことにあるからだ。さもないと、地球工学と称する愚かな計画ばかりが増えてしまうおそれがある。Ciceroneは、機先を制する必要がある研究の実例として、1980年代に提案されたオゾン補充計画を挙げた。「当時、(科学者コミュニティーが)沈黙していたため、ひどいアイデアが幅をきかせることになった」と彼は語る。

Ciceroneは今後、しっかりした地球工学研究が大規模に行われて、約6年後に出る次のIPCC評価報告書に地球工学の章が設けられるようになることを望んでいる。彼はまた、地球工学の実践に向けた動きを一時的に凍結することに賛成し、多くの気候学者と同様、二酸化炭素の排出削減への取り組みが依然として最優先事項であるとも考えている。つまり、二酸化炭素の排出削減ではなく、地球工学によって地球を冷却するほうがよいと考えている研究者は、現時点ではないのである。また、何らかの大規模操作を開始できるほど気候システムの解明が進んでいると考えている研究者もいない。地球工学がもたらすメリットを知るためのモデルは、地球工学を行わなかった場合の害を知るためのモデルに比べてはるかに正確でなければならない。Caldeiraがいうように、現状のまま問題が起こる可能性と起こらない可能性が五分五分であったとしたら、現状を見過ごすことは許されない。しかし、気候システムへの介入がよい結果をもたらす可能性と害をもたらす可能性が五分五分であるなら、介入は避けるべきなのである。

今はもう、こうした考え方をする状況ではないという少数意見もある。人類はすでに自然を操作しており、大気の大気循環や炭素循環、放射バランスなど、あらゆるものに巨大な影響を及ぼしている。この意味で、人類は現に地球工学に着手しているのであり、あとはどうすれ



数兆個の薄膜状の飛翔体を使って、地球に届く太陽光線の一部をさえぎることができるかもしれない。

ばよりよく自然を操作できるかという問題しか残っていないというのである。しかし、この議論に同調する科学者はほとんどいない。カナダのカルガリー大学の気候学者David Keithが指摘しているように、自然をめちゃくちゃにすることは工学ではないのである。人類はこれまでにずいぶん自然をめちゃくちゃにする能力を発揮してきたが、そのほとんどは、生きるための営みの副作用として引き起こしてしまったものだった。しかし、それは工学ではない。工学は意図をもったものなのだ。

経済学者にして哲学者であるHerbert Simonが、目的と責務をもたない自然科学に相対するカテゴリーとして、社会科学や人文科学の一部とともに工学を「人工物の科学」という名で分類したのはこのためだ。

自然科学者の選択

気候学者たちはこの20年間、自身の研究の社会的、技術的、経済的影響に向き合ってきたが、彼らは「人工物の科学」の研究者ではない。ドイツのハンブルクにあるマックス・プランク気候研究所の気候モデル作成者Hans Feichterが、「地

球科学者の役割は自然を理解することであり、それを変えることではない」というとき、彼は同僚研究者の大多数を代弁している。気候学者たちは、気候を変えるための大きな変化を擁護してきた。けれどもそれは、技術、地政学、社会規範における変化であり、「人工物の科学」にかかわるものである。彼らは、成層圏の働きや自然そのものを変えようとしているわけではないのである。

気候科学者たちはこの1年で、地球を意図的に変化させる道筋の研究に力を入れるようになった。とはいえ、その多くは、このような道筋のすべてが行き止まりであることをきちんと示そうとするものだった。彼らは自然科学を捨てて、人工の地球を作りたがっているわけではないのだ。

Oliver Morton はネイチャーのニュース・特集セクションのチーフエディター。

1. Crutzen, P. J. *Climatic Change* **77**, 211-220 (2006).
2. Wigley, T. M. L. *Science* **314**, 452-454 (2006).
3. Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide. Royal Society policy document 12/05 (2005).
4. Govindasamy, B. & Caldeira, K. *Geophys. Res. Lett.* **27**, 2141-2144 (2000).
5. Oman, L. et al. *Geophys. Res. Lett.* **33**, L18711 (2006).
6. Angel, R. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **103**, 17184-17189 (2006).

羽ばたくか、 日本のトランスレーショナル・リサーチ

三森八重子（科学技術政策研究所）



日本の基礎研究は「科学技術立国」の名に恥じず、世界有数のレベルを誇る。しかし一方で、すぐれた基礎研究が実用化にまで結びつく例が少ないとの指摘もある。特に弱いとされる創薬などの医療分野において、基礎研究と臨床応用を橋渡しする「トランスレーショナル・リサーチ」に今、注目が集まっている。

基礎研究と臨床応用とを結びつける

日本における創薬はこれまで、民間の製薬企業の主導で行われてきた。かつては、土壌から新規細菌をスクリーニングで見つける作業から創薬が始まったものだが、最近ではハイ・スループット・スクリーニング（HTS）が主流となっている。HTSは、各製薬企業が抱える数十万種から数百万種にも及ぶ低分子化合物ライブラリーから、目的の薬理機能を果たしそうな化合物を探索する作業だ。条件に合う化合物がヒットした場合には、その化合物を生体投与可能な状態に改変する作業（最適化）が行われ、安全性と薬効を調べる前臨床試験（主に実験動物を使う）と臨床試験（人に投与）が段階的に実施される（図1）。運よくいずれもパスした場合にのみ、商品化にこぎ着ける。

創薬に至るこうした道のりは極めて長く、20年以上を要することもまれではな

い。莫大な資金を投入してみたもののよいデータが取れず、開発や商品化を断念せざるを得ない例もあとを立たない。長期にわたる膨大な開発コストを避けるため、新規の医薬品開発には手を出さない製薬会社も出てきている。さらに、遺伝子組み換え体や抗体などを使った生物製剤（バイオロジックス）には高い治療効果と大きな需要が見込まれるものも多いが、日本で開発を手がける企業は少なく、せっかくの技術が患者に還元されずにいる。また、膨大な開発コストを回収するため、製薬企業はメバロチン（コレステロール低下薬）のような「ブロックバスター」とよばれる年間売上額が1000億円を超える大型製品の開発に目を向けがちで、患者数の少ない病気の薬（オーファンドラッグ）の開発は倦厭されがちだ。

満たされない医療ニーズのギャップを重くみた日本政府は2001年、基礎研究

と臨床応用とを結びつけるために、東京大学医科学研究所と京都大学にトランスレーショナル・リサーチ（TR）の拠点を設置した。TRとは、研究室レベルで得られた知見や技術について、臨床応用が可能かどうかを検討し、事業化に橋渡しする研究の総称である。2002年には薬事法が改正され、民間企業の主導で行われていた治験（臨床試験のうち、厚生労働省から薬として承認を受けるために行うもの）が医師主導でも行えるようになった。つまり手続き上は、医師が自ら基礎研究から前臨床試験、治験までを一貫して行えるようになったのだ。その後TR拠点は、名古屋大学、大阪大学、九州大学、そして文部科学省と神戸市により設立された財団法人先端医療振興財団先端医療センターにも設置された。ただし、TRが必ずしも順調に進んでいるとはいえない。医師や大学教授は治験のデザイン

やデータの取り扱いに慣れておらず、さらに膨大な資金が必要とされるからだ。

国と神戸市による橋渡しの試み

こうした状況の下、国と神戸市により「神戸臨床研究情報センター (TRI)」が2003年3月に整備された。1995年に阪神大震災にみまわれた神戸は、復興の柱に「医療技術と産業化」をすえ、その推進母体として2000年3月に「先端医療振興財団」を創設していた。2003年1月にはTRの実施部門として60床のベッドをもつ先端医療センターが作られた。TRIは、先端医療センターと協力し全国のTRを支援し、モデルケースを育てる役割を担うことになった。現在50を超えるTRをはじめとした臨床研究を対象に、「臨床試験のプロトコルはどう書くのか」「臨床試験から取れたデータをどう管理するのか」といった基本的な情報やノウハウの提供、さらには関連業務を受託し、新たなシーズ（新薬候補の種）の創成から、最適化、非臨床試験、臨床試験、承認申請に至るまでの長いプロセスを支援し始めている。

そのなかで、医師主導による治験が準備段階にある。それは慢性、かつ重症の下肢虚血状態にある患者の下肢血管を再生する細胞治療で、患者の末梢血から血管内皮前駆細胞 (EPC) を取り出し、それを患者の体内に戻すことによって、血管の再生を促すものである。既に行われた17例を対象とした臨床研究でたいへんよい結果が得られているが、この治療法の実用化のためにはEPCを多く含むCD34陽性細胞のみを取り出すために用いる機器の薬事承認を取得する必要がある。一方で、白血病患者に臍帯血移植を行うにあたり、臍帯血から造血幹細胞を多く含む細胞 (CD34陽性細胞) だけを先端医療センター内の細胞培養施設 (CPC) 内で増殖させ、患者に移植するという治療法の臨床研究が開始されている。今後、治験で実施されることを想定してGMP (医薬品の製造管理および品質管理に関する基準) を完全にクリアしたCPC内で培養することが特徴である。細胞治

臨床試験とは？

人 (患者) を対象にした治療を兼ねた試験。特に新薬開発のための臨床試験は「治験 (治療試験)」とよばれ、次のような第1相から第4相までの試験から成る。

第1相試験 (フェーズI)

動物実験の後、人に対して使う最初の試験。安全性の確認を行う。健康な人を対象に、用量を少しずつ増やしていく。この時点ではどんな病気に効くかわからないため、さまざまな病気に対して試験を行う。

第2相試験 (フェーズII)

第1相試験で有効性が期待される病気の患者を対象に、用法・用量などを検討する試験。第3相で行われる試験の用法・用量を決定する。

第3相試験 (フェーズIII)

さらに有効性・安全性を確認するために、多数の患者を対象に多数の施設で行われる。第3相試験後、一定の審査を経て厚生省から認可されると、薬価が決定され、一般の診察に使用される。

第4相試験 (フェーズIV)

医薬品承認後に行われる新薬の市販後調査も含めたすべての試験。第3相試験までの治験では申請・認可に必要な最小限の情報のみが得られており、市販後に思わぬ有害性が明らかとなったり、有効性に疑問を生じたりすることも予想される。

療の根幹となる細胞培養技術を実用化させるためのモデルになると期待される。

先端医療振興財団の常務理事でTRIセンター長代行を務める村上雅義氏は、「これまでの治験は、企業が主導で行うものであった。ところが近年、最先端な技術ゆえに企業がやってくれない分野、やりにくい分野が出てきた。一方で、新薬として上市しても市場が小さくてビジネスとして成り立たない薬もあり、それらは実用化がむずかしい。神戸では、こうした点を補完するため医師主導による臨床試験や治験を行い企業に引き継ぎ、実用化を促進させるという仕組みを作っている」と説明する。

上市をねらう京都大学

TR拠点として歴史のある京都大学では、医学部付属病院探索医療センター検証部長の福島雅典教授、同開発部長清水章教授、同臨床部長横出正之教授を中心にTRが進められている。例えば2005年9月には、坪内博仁客員教授によって遺伝子組み換えHGF (肝細胞増殖因子) を用いることで劇症肝炎患者の肝臓の再生をめざす「HGF (hepatocyte growth factor) 肝再生プロジェクト」による治験が始まった。遺伝子組み換えHGF自体は製薬企業が開発した薬だが、これまで



2003年に設立された神戸臨床研究情報センター (TRI) の外観。TRIは、全国のトランスレーショナル・リサーチを支援し、モデルケースを育てる役割を担っている。

は試薬としてのみ使われてきており、ヒトへの投与の実績がない未承認の薬だったために、改めて治験が必要になった。

また同センターでは2005年11月から、小野薬品工業が開発した「ONO-4819-CD」とよばれる薬を使って潰瘍性大腸炎を対象として、医師主導の治験も始まった。ONO-4819-CDは、細胞に存在する特定の受容体 (EP4サブタイプ) だけに作用する薬で、小野薬品がすでにフェーズIおよびフェーズII前期試験を行っていたが、EP4受容体発見者である京都大学医学部長・研究科長の成宮周教授によって別の適応疾患を対象に小野薬品とは独立してフェーズII前期試験を行うことになった。

現在、同センターではさらに4つの医師主導治験が予定されている。1つは、京都大学で松本慎一助手（現米国ベイラー医大教授）らが開発してきた膵島移植である。欧米では脳死ドナーからの膵島移植が多く行われるが、同大学病院では心停止のドナーから取り出した膵島を移植する方法ですぐれた成果を上げ、世界的に注目されている。臨床研究として生体ドナーからの移植例を含めて合計で9例が実施され、そのうち4例でインスリン離脱が得られているという。松本博士が頭脳流出した後も、上本伸二教授、興津輝助教授、岩永康裕助教授が鋭意、臨床研究を進めている。

もう1つは、京都大学再生医科学研究所の田畑泰彦教授と同大学医学部の米田正始教授らによる下肢血管の再生医療である。米田教授らは、バージャー病や動脈硬化によって下肢が虚血状態にある患者に bFGF (basic fibroblast growth factor) という成長因子をしみ込ませたゼラチンハイドロゲル (bFGF 徐放性ゼラチンハイドロゲル) を筋肉注射し、血流の再開を試みている。臨床研究としてすでに7例が実施され、4例で著しい効果がみられたという。

これら2つのプロジェクトについて、京都大学は既に医薬品医療機器総合機構 (PMDA) (新薬の審査を行う国の機関。米

国FDAの日本版といえる)との事前面談を終えており、治験開始は近いと思われる。さらに京都大学ウイルス研究所の淀井 淳司教授らが進めているのは酸化還元制御タンパク質で強力な抗炎症作用のあるチオレドキシンをういた間質性肺炎の治療法の臨床開発で、現在製剤化をほぼ終了している。内科の中尾一和教授らはレプチン(脂肪細胞から分泌される肥満抑制ホルモン)の治験を準備中である。両者とも2007年度内に治験をスタートする見込みだ。ただし、京都大学で行うのはフェーズIからフェーズIIまでで、その後は製薬企業にバトンを渡すことになる。福島部長は「京大で行う医師主導の治験は薬効の実証を得るまでを行うが、あくまでも製品化(上市)をめざす」といい切る。

大阪大学でも進む細胞治療のTR

TR 拠点として未来医療センターをもつ大阪大学でも、同センター内のCPCを駆使して12例のTRが進められている。センター長を務める澤芳樹医学部教授は「阪大のTRは極めてユニークな研究で、世界の最先端を走っている」と胸を張る。

CPCを用いた細胞治療は、骨の再生、角膜再生、心筋再生、せき髄再生などにも応用可能で、同センターにおける臨床研究として既に30人もの患者が細胞治療を受けているという。特に角結膜疾患に培養上皮シートを移植する治療については、既にPMDAに対して確認申請を行っており、近く治験が始まる見通しだという。澤教授は「フェーズI・IIを飛び越えて、(このセンターが主導して)フェーズIIIの多施設試験を行えるかもしれない」とコメントする。

未来医療センターは産学の連携に特に力を入れており、企業の寄附講座や共同研究を募るとともに、「未来医療交流会」という組織を作って企業とのパイプを太くしている。現在60社が交流会に参加し、月に一回開催されるセミナーなどを通じてセンターとの情報交換を行っているという。

「センターの目標は、日常的な医療に使われる医療技術の開発と推進だ。私たちの手を離れた後で上市するか否かは企

業側の問題だ」とする澤教授。センターのミッションは、あくまでも初期の臨床試験を行って、薬の効果を確認することであり、商品化は企業の課題と割り切る。

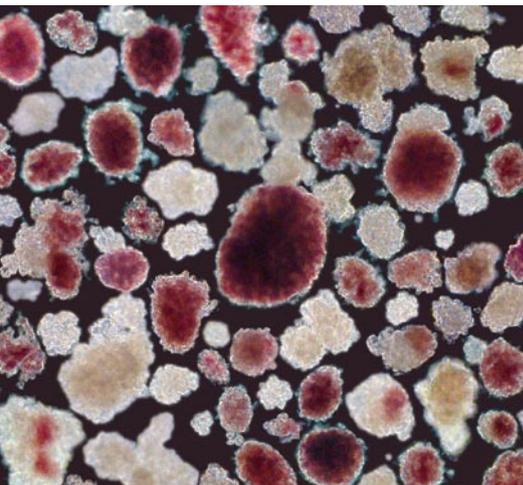
治験・臨床研究の改革の必要性

福島教授は「日本にはTRを阻むハードルが3つもあり、早急な対処が必要だ」と指摘する。1つ目は「知的財産権(知財権)」だという。医薬品は特許ビジネスであり、綿密な特許戦略が必要とされる。福島教授は「シーズがみつかったも、安易に論文を書いたり学会発表をしたりせずに、まず特許化を考えるべきだ。また、特許の公開をにらんで戦略的に研究を進めなければならない」とし、「国は『知財権管理適正化法』を制定することで知財権の管理を徹底すべきだ」と主張する。

2つ目のハードルは「製剤」に関する問題だという。ヒトに投与する薬物は安全性が最大限に担保されなければならない。薬事法にのっとったGLP(医薬品の安全性に関する非臨床試験実施基準)レベルの非臨床試験、GMPレベルの製剤化が必要とされる。こうした国際的に通用する厳しい規格をクリアするには、膨大なコストがかかるのだ。

3つ目は「臨床試験」だという。日本では、欧米と異なり、医師が臨床研究の名の下で「承認されていない医薬品」を患者に投与できることになっているが、法的規制がないために、質の低い臨床研究でもまかり通っている。福島教授は「すべての臨床研究が、薬事法の下で行われるべきだ」と主張する。ただし、そうした場合には、膨大な費用がかかるGMP、GLP遵守のために企業との協力が不可欠だ。さらにフェーズI・IIで薬効原理の証明(POC)をした後、引き続いてフェーズIIIを行い、上市に結びつけてくれる企業を見出さなければ「橋渡し」にはならない。むずかしい臨床開発に取り組む企業を探し出すのは、けっして容易なことではない。

最近になって、医師や研究者以外の組織からも治験・臨床研究の改革が必要だとする声があがっている。例えば、科学技術振興機構(JST)研究開発戦略センター



Kyoto 溶液(京都大学医学部呼吸器外科の和田洋巳教授が開発した画期的な臓器保存液)を用いて心停止ドナーから分離した膵島。安定した膵島分離技術が、日本での新鮮膵島移植の実施を可能としている。

の井村裕夫主席フェローらは、2006年12月に発表したレポートで、被験者の保護を盛り込んだ「臨床研究基本法の制定」を提言した¹。また、自民党ライフサイエンス推進議員連盟は、同じ12月に、新薬審査迅速化のためのPMDAの人員倍増などを織り込んだ『医薬品医療機器の研究開発および承認の迅速化に関する決議』を採択した。さらに、総合科学技術会議も12月25日の報告書²で治験・臨床研

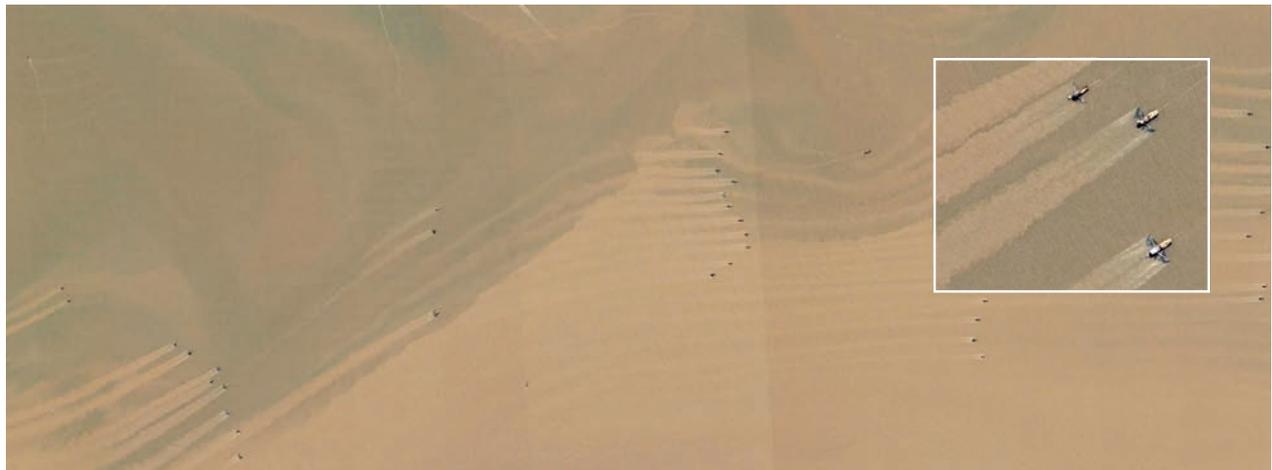
究の体制整備について触れ、「臨床試験ガイドラインの法制化、機構の人員の倍増」といった改革の必要性を指摘した。

この10年、日本発の新薬は大幅に数を減らし、製薬企業の多くが苦戦を強いられてきた。新たな治療法や薬を必要とする患者がますます増える一方で、被験者の安全や権利の保護も問題視されている。村上氏をはじめ「問題は多々あるが、患者のニーズと基礎研究成果があ

る以上、公的な資金を投入してでも改革を進め、新たな治療法の開発を進めるべきだろう」との声が大きくなか、果たして、改革は実を結ぶのか。今こそ、科学技術立国の力が問われている。 ■

1. 「わが国の臨床研究システムの抜本的改革を目指して」科学技術振興機構研究開発戦略センター（2006年12月20日）
2. 「科学技術の振興および成果の社会への還元に向けた制度改革について」総合科学技術会議（2006年12月25日）

SNAPSHOT



Ghosts of destruction

破壊の幻影

Nature Vol.447(123)/10 May 2007

編隊を組んで飛ぶジェット機の飛行機雲？ 枯山水の禅庭の砂に熊手で描かれた規則正しい文様？ それとも、大草原を並んで進む刈り取り機の集団？

いや、これは中国の沿岸でエビ漁をするトロール漁船群を捕らえた画像である（右の枠内に拡大像）。これらの長い「泥の航跡」は、エビ漁の網によって堆積物がかき混ぜられてできたもので、漁船が通った跡に海底生態系が攪乱されていることがはっきりと見てとれる。

保全生態学者であるデューク大学（ノースカロライナ州）の Kyle Van Houtan と水産関係の専門家であるブリティッシュ・コロンビア大学（バンクーバー）の Dan Pauly は、Google Earth で入手できる衛星画像で、こうした泥の航跡をたくさん見つけた。メキシコ湾からマレーシアまでのリモートセンシング画像には、海上のさまざまなようすが捕らえられており、1隻の船がひくトロール網の数もわかるし、混獲して船外に捨てられる魚をごちそうになると、漁船の周りに群れ飛ぶ海鳥も白い点として見えている。

今回のこの画像は、2003年2月20日に商用衛星クイックバードが長江の河口付近にある江蘇省沿岸を撮影したものの。10隻のトロール漁船団がそれぞれ

1キロメートル四方をカバーしている。

Van Houtan と Pauly は現在、漁業が生態系に及ぼす影響を把握するため、クイックバードや地球観測衛星ランドサットなどの衛星データを使って、こうした漁船がどれくらいの量の堆積物をかき混ぜているのかを高精度で割り出そうと、研究を進めているところだ。彼らの話では、トロール漁を繰り返すことで、海底の状態が恒久的に変化して、この海域の上層にすむ生物たちの生態系まで変えてしまう可能性があるという。

「想像も大事だが、画像だってそれに負けない。1枚の画像を見れば、漁業の及ぼす影響や海に対する1つの姿勢を具体的に見ることができるのだから」と Van Houtan は語った。 ■

A gloss on surface properties

光沢の知覚

Michael S. Landy

人間は視覚入力を解釈することで、物の表面の質感を知覚している。脳が光沢や明るさを見分けるときには、画像のもつ単純な統計的性質の識別が大きな役割を果たしているようである。

Nature Vol. 447 (158-159) / 10 May 2007

桃とネクタリンを見分けられるのはなぜだろう？ 磨きをかけていない木材と磨きかけた木材を見分けられるのはなぜだろう？ 物の表面の質感を識別するには、明るさ、色、きめなどの多くの視覚的属性が手がかりになる。ネクタリンの表面と磨きかけた木材の表面に共通する主な属性は、光沢や輝きとして知覚される鏡面反射成分である。本吉ら¹は *Nature* 2007年5月10日号で、物の表面の質感に関する新発見について述べている。それは、画像の単純な統計的性質（画像中の輝度の分布、つまり「歪み」）が、光沢や明るさの判断と強く相関しているという発見である。このことは、ネクタリンの写真からハイライト部分を除去することで、桃のように見せる操作によって実証できる（図1）。

本吉らは、しっくいのような材料のアルベド（材料中の黒い顔料の量によって決まる）と光沢（透明なアクリルコーティングの量によって決まる）をさまざまに変えたものを写真に撮り、光沢を増すほど、あるいは、表面に光沢感を出すためにアルベドを小さくするほど、輝度の分布が正の方向（輝度の高い方向）に歪むことを明らかにした（Motoyoshi *et al.*¹ 図2a 参照）。いい換えれば、光沢のある材料の写真は全体に暗く、ところどころに明るい部分（ハイライト）があるのだ（図2）。本吉らは、人間が見て評価した光沢や明るさが、写真のヒストグラムの歪みと相関していることを発見した。このことは、しっくいだけでなく、ほかの自然の材料についてもいえた。より重要なのは、材料の写真のヒストグラムを歪ませるだけで、その表面に光沢があるように見せたり、暗いように見せたりすることができたことである。さらに、正の歪みのある画像に順応した観察者は、その後見せられた物の光沢を少なめに感じ、負の歪みのある画像に順応した場合は、その逆に感じることも明らかになった。これは、人間が画像から輝度の歪みのようなものを抽出していることを示唆している。

この知見は、人間が画像の統計的性質を敏感に感知してさまざまな判断を行っていることを示唆する他の研究と整合性がある。光沢のほかにも、表面のきめの粗さや透明感

も画像の統計的性質に依存している^{2,4}。歪みは、輝度ヒストグラムから抽出される統計的性質の一例である。けれども人間は、ヒストグラムの統計的性質のうち少なくとも3つを敏感に感知することがわかっている^{5,6}。人間が知覚する明るさとコントラストは、輝度の平均と分散にほぼ対応している^{7,8}。初期の研究からは^{9,10}、輝度の統計的性質だけでは質感のパターンの識別を十分に説明することはできないという結果が出ていた。けれども最近の研究からは、テクスチャの識別¹¹についても、テクスチャの見え方^{12,13}についても、人間はバンドパスフィルタ（例えば、第一次視覚野の単純細胞）の応答の統計的性質を敏感に感知することがわかっている。

視覚系は、ヒストグラムの歪みのような統計的性質をどのようにして計算するのだろうか？ 初期コーディングとして、網膜神経節細胞の中心-周辺受容野、脳の側方膝状体領域の細胞、第一次視覚野の単純細胞の方位選択性のある受容野など、視覚系のさまざまな部位で空間線形フィルタリングが行われている。ヒストグラムの統計的性質と、特にその歪みは、暗さと明るさの情報が「オフ」と「オン」のチャンネルにより別々に表現される中心-周辺受容野をもつ細胞から抽出することができる。本吉ら¹は、このようなモデルのシミュレーションを行った。この統計的性質は、第一次視覚野の方位選択性のある単純細胞の反応から抽出することもできるかもしれない⁵。

ヒストグラムの正の歪みにより光沢感が増すだけでなく、表面が暗くなったようにも感じられるのはなぜだろう？ 多くの知覚能力は「割り引き」により説明できる。例えば、人間は光源のスペクトル分布とは独立に表面の色を評価することができ（ただし完全にはない）、この能力は色の恒常性として知られているが、これは網膜からの信号を解釈するにあたって光源を割り引いているからである¹⁴。ヒストグラムが正に歪んでいるときには、光沢感が増したように見える。ここで、輝度分布において正の方向に広がる画素はハイライト（光源の鏡面反射）として解釈され、表面の明るさを解釈する際に割り引かれる¹⁵。その

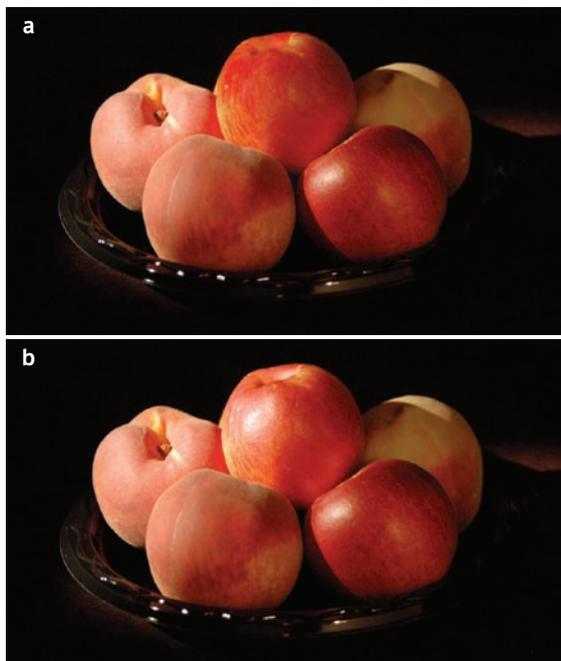


図1 果物皿の写真からハイライト部分を除去する。

a. 2つの画像を合成した写真。中央の果物以外は、左上から明るい光を当ててハイライト部分ができるようにして撮影した画像を使っている。中央の果物だけは、光源に偏光フィルターをかけ、カメラにも偏光レンズを装着することで、ハイライト部分を除去した画像を使っている。この果物はネクタリンであるが、表面の光沢を除去してあるため、桃のように見える。

b. 同じ果物皿の写真。加工はしておらず、すべてのハイライト部分を残してある（写真はYun-Xian Hoによる）。

結果、明るさは、残りの暗い画素の値の関数になる。光沢感が増すと明るさが減ったように感じられることが多い理由は、このようにして説明できる。

しかし、画像の歪みが光沢と明るさの両方の判断と相関していることを説明する方法はもう1つある。輝度ヒストグラムのパラメータ（平均、分散、歪みなど）は数学的には便利であるが、知覚的判断の際に用いられる計算には厳密には対応していないのかもしれない。実際、輝度の分散は、人間が画像のコントラストを評価するとき用いる非線形性にはなっていない⁷。さまざまなレベルの輝度が光沢の判断に及ぼす影響を直接測定してみると、（歪み以外の）異なる非線形性が計算されていることが明らかになるかもしれない。たとえば「ブラックショット機構」^{5,6}ならば、平均輝度の計算に対して直交するように定義されているため、明るさの判断とは相関していないことになる。光沢の評価に関係する量をどのようにして決定するかは、まだ明らかになったとはいえないのだ。

ヒストグラムの統計的性質だけで明るさ、コントラスト、光沢の知覚のすべてを説明できるわけではない。表面の明るさやコントラストの知覚は、その周辺の表面から複雑な影響を受けている¹⁶。画像に光沢があるように見えるためには、

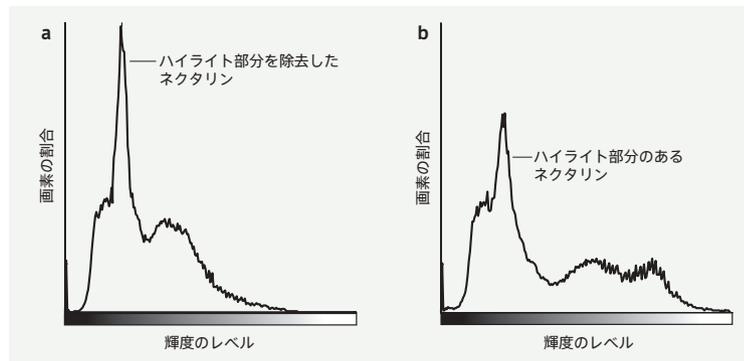


図2 輝度の分布。本吉ら¹は、視覚系が画像中の輝度の分布における正の歪みの量から光沢の有無を評価する方法を示した。図1の例でいえば、果物皿の中央のネクタリンのハイライト部分を除去した場合の輝度ヒストグラムの正の歪み(a)は、ハイライト部分がある場合(b)に比べて小さい。

まずは物の表面のように見えなければならない。本吉ら¹が指摘するように、正に歪んだヒストグラムがあるだけでは不十分なのである。画素をランダムに入れ替えたり、正弦波成分にランダムな位相値を与えたりして加工した画像は、正に歪んだ統計的性質をもっているかもしれないが、物の表面のようには見えないだろう。また、明るい画素がまばらに分布していても、ハイライトのようには見えないだろう。

表面に光沢があるように見えるには、鏡面反射があるだけでなく、その周辺の照らされ方も統計的に自然なパターンになっていなければならない^{17,18}。表面の質感に影響を及ぼす光沢には、多くの物理的次元がある。本吉らが調べたのは、鏡方向に反射される周辺光の割合である。もう1つは、鏡面反射が点状であるかにじんでいるか（例えば、磨きかけた金属とブラシでこすった金属の違い）である。これが知覚に及ぼす影響は系統的には調べられていない。ヒストグラムの歪みから表面の質感や光沢のすべてが明らかになるわけではないが、質感の理論に向けて大きな一歩が踏み出されたことは確かである。 ■

Michael S. Land, ニューヨーク大学（米）

- Motoyoshi, I., Nishida, S., Sharan, L. & Adelson, E. H. *Nature* **447**, 206-209 (2007).
- Ho, Y.-X., Landy, M. S. & Maloney, L. T. *J. Vis.* **6**, 634-638 (2006).
- [Ho, Y.-X., Maloney, L. T. & Landy, M. S. *J. Vis.* **7**, 1-16 (2007).
- Fleming, R. W. & Bühlhoff, H. H. *ACM Trans. Appl. Percept.* **2**, 346-382 (2005).
- Chubb, C., Econopoulou, J. & Landy, M. S. *J. Opt. Soc. Am. A* **11**, 2350-2374 (1994).
- Chubb, C., Landy, M. S. & Econopoulou, J. *Vision Res.* **44**, 3223-3232 (2004).
- Chubb, C. & Nam, J. H. *Vision Res.* **40**, 1677-1694 (2000).
- Nam, J. H. & Chubb, C. *Vision Res.* **40**, 1695-1709 (2000).
- Caelli, T. & Julesz, B. *Biol. Cybern.* **28**, 167-175 (1978).
- Julesz, B., Gilbert, E. N. & Victor, J. D. *Biol. Cybern.* **31**, 137-140 (1978).
- Bergen, J. R. & Adelson, E. H. *Nature* **333**, 363-364 (1988).
- Heeger, D. J. & Bergen, J. R. *Proc. ACM SIGGRAPH 1995*, 228-238 (Assoc. Comput. Machinery, New York, 1995).
- Portilla, J. & Simoncelli, E. P. *Int. Comput. Vision* **40**, 49-71 (2000).
- von Helmholtz, H. *Treatise on Physiological Optics, Vol. II* (transl. Southall, J. P. C.) 287 (Dover, New York, 1962).
- Todd, J. T., Nordman, J. F. & Mingolla, E. *Psychol. Sci.* **15**, 33-39 (2004).
- Gilchrist, A. L. *Seeing Black and White* (Oxford Univ. Press, New York, 2006).
- Fleming, R. W., Dror, R. O. & Adelson, E. H. *J. Vis.* **3**, 347-368 (2003).
- Dror, R. O., Willsky, A. S. & Adelson, E. H. *J. Vis.* **4**, 821-837 (2004).

今月は七夕にちなんで、宇宙の話題を取り上げます。とはいっても、光り輝く星々や惑星などの話ではなく、目には見えない「暗黒物質（ダークマター）」とよばれる物体についての記事です。

直接には観測できないために謎の多い暗黒物質ですが、今年

1月には、国際研究チームが世界で初めて3次元の空間分布の測定に成功しています。今回は、その後5月に、ハッブル宇宙望遠鏡が暗黒物質の巨大なリング構造を捕らえたときの記事を読んでみましょう。

NEWS news@nature.com

語数：593 words 分野：宇宙

Published online: 15 May 2007 | doi:10.1038/news070514-6

Dark matter has a ring of truth

A distant cluster of galaxies contains a hoop of the elusive dark stuff.

<http://www.nature.com/news/2007/070514/full/070514-6.html>

Philip Ball



銀河団 C1 0024 + 17

1. A **ghostly ripple** spotted within a cluster of galaxies 5 billion light years away supplies further evidence that the mysterious substance known as dark matter really exists.
2. An international team of astronomers says that the **galactic cluster** C1 0024+17 contains a ring of dark matter 2.6 million light years across¹. They were initially so **perplexed** by the ring that they thought it was just an error in their data.
3. Dark matter is thought to make up about 22% of the mass of the Universe. Although it can't be seen directly, astronomers have long thought it must **pervade** galaxies because of the gravitational influence it **exerts** on visible matter. No one knows what it consists of, although it must be different stuff from all known **subatomic particles**.
4. Usually dark matter follows much the same distribution as visible matter, rather like the way the human population, invisible in satellite images of the night-time Earth, mirrors the visible distribution of artificial light. This means it's hard to tell whether the dark matter exists at all, or whether its apparent effects are caused by a change in the way gravity acts **at galactic scales**.
5. Those doubts were **salved** when, last year, astronomers found that a cluster of galaxies named 1E 0657-56 seems to have a **lopsided** distribution of visible and total mass. This **lopsidedness** could best be explained by assuming it is balanced by invisible dark matter, which was separated from the visible hot gas by the **collision** of two clusters that formed 1E 0657-56 long ago.
6. In C1 0024+17, again the dark matter seems to have a physical distribution different from the visible stars and gas — whereas the visible matter is **in a blob**, some of the dark matter is in a distinct ring.
7. It's this unusual separation of visible and dark matter that provides the **clinching evidence** for the latter, says Myungkook Jee, one of the observing team and an astronomer at Johns Hopkins University in Baltimore, Maryland. "The more different the distributions, the harder it is to explain them any other way."
8. Jee says that when their analysis of images taken by the **Hubble Space Telescope** seemed to reveal the ring, he couldn't believe the result.
9. "It took more than a year to convince myself that it was real," he says. "I've looked at a number of clusters and I haven't seen anything like this."
10. The researchers **figure** that the ring is a ripple caused by a collision between two clusters 1 to 2 billion years ago, which formed C1 0024+17.

11. **Much the same** process caused the separation of dark and some visible matter in 1E 0657-56. But that collision can only be seen **side-on** from Earth, whereas C1 0024+17 is **face-on**, making the ring shape visible.
12. The researchers could infer the presence of the dark-matter ring by looking at how the starlight coming from galaxies behind it is bent. "It's like looking at the pebbles on the bottom of a pond with ripples on the surface," says Jee. "The pebbles' shapes appear to change as the ripples pass over them."
13. The researchers say the structure of the ring suggests that dark matter doesn't interact strongly with itself except by gravity. This challenges recent suggestions that particles of dark matter might feel each other via another, unknown force. This **putative** force could be very small at best, Jee and colleagues say, because otherwise interactions between the particles of dark matter would have **scattered** them. "Any exchange of energy between the dark matter particles by collisions will easily destroy the ring," says Jee.

References

1. Jee M. J., et al. *Astrophys. J.*, (in the press).

Topics dark matterとは？

暗黒物質（ダークマター）。質量はあるけれども、光も電磁波も出さないために直接には観測できない正体不明の物質。宇宙空間にある質量のうち約22パーセントを占める。重力レンズ効果（暗黒物質の重力によって光が曲げられ、背後にある銀河などの形がゆがんで見える現象）を利用して、暗黒物質の3次元的空間分布を測定することに日米欧の国際研究チームが世界で初めて成功している（*Nature*誌2007年1月18日号 pp.286-290、本誌2007年4月号 pp.24-25参照）。

Science key words

- リード. **cluster of galaxies** : 銀河団、銀河群
複数の銀河が、互いの重力でまとまっている集団のこと。
2. の **galactic cluster** もここでは同義語として用いられているが、厳密にはgalactic clusterは散開星団（銀河星団）を指す。散開星団は銀河の渦巻腕の中で形成される星の集団である。
3. **subatomic particles** : 亜原子粒子
陽子や電子、中性子など原子を構成する粒子を指す。
8. **Hubble Space Telescope** : ハッブル宇宙望遠鏡(HST)
1990年4月にNASAのスペースシャトル（ディスカバリー号）によって打ち上げられた宇宙望遠鏡。長さ13.2メートル、重さ約11トン、直径（最大）4.2メートルの筒型で、主鏡口径2.4メートル。地上約600キロメートルの軌道上を一周97分かけてまわっている。地上の望遠鏡とは違って、大気や天候による影響を受けないため、高い精度での観測ができる。この17年間に数多くの画期的な成果を上げてきたが、2013年には後継機ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡の打ち上げが予定されている。

Words and phrases

タイトル **ring of truth** : 「どこか真実味を帯びている」「真実の響き」
このringは「[文章・言葉・声などの] 響き、感じ」のことだが、暗黒物質がリング (ring) 状であることにかかっている。

リード. **a hoop of** : 「～の輪」
hoopはもともと「たが」「金輪」の意味で、バスケットボールのゴール（リング）やフラフープ（Hula-hoop）などに用いられる。

リード. **elusive** : 「説明されていない」「正体不明の」
研究論文や科学記事で多用される。典型的な用例としては、remain(s) elusive (いまだ説明されていない)。

1. **ghostly** : 「ぼんやりとした」
1. **ripple** : 「波紋」
2. **perplexed** : 「当惑する」
3. **pervade** : 「一面に広がる」「行きわたる」「充滿する」
3. **exerts** : 「力を及ぼす」
ここでは、gravitational influence (重力的影響) つまり引力を及ぼすことを指している。
4. **at galactic scales** : 「銀河規模での」
5. **salved** : 「説明された」「(矛盾・問題が) 解決された」

salveには天文学的用法があり、もともと「天体の動きに関する観測結果をすべて説明できる仮説を立てる」ことだった。それが一般的に「説明する」という意味になった。

5. **lopsided** : 「不均衡な」「アンバランスな」
「1つの側 (side) に垂れ下がっている (lop)」という意味。lopsidednessは名詞形。
5. **collision** : 「衝突」
6. **in a blob** : 「球状の小さな塊の状態」
7. **clinching evidence** : 「決定的な証拠」
clinchは「確実なものにする」「確定させる」という意味。
10. **figure** : 「考える」「推測する」
figureは名詞も動詞もいろいろな意味があるので要注意。
11. **Much the same** : 「ほぼ同じ」
11. **side-on** : 「横から」「側面から」
11. **face-on** : 「正面から」
13. **putative** : 「推定～」
仮説などに基づき、その存在が想定されているものを意味する場合に用いられる。putative gene, putative functionは、その一例。
13. **scattered** : 「散乱させた」「拡散させた」

Published online: 15 May 2007 | doi:10.1038/news070514-6

暗黒物質の真実の波紋

はるか彼方の銀河団には正体不明の暗黒物質がリング状に分布している。

<http://www.nature.com/news/2007/070514/full/070514-6.html>

フィリップ・ポール

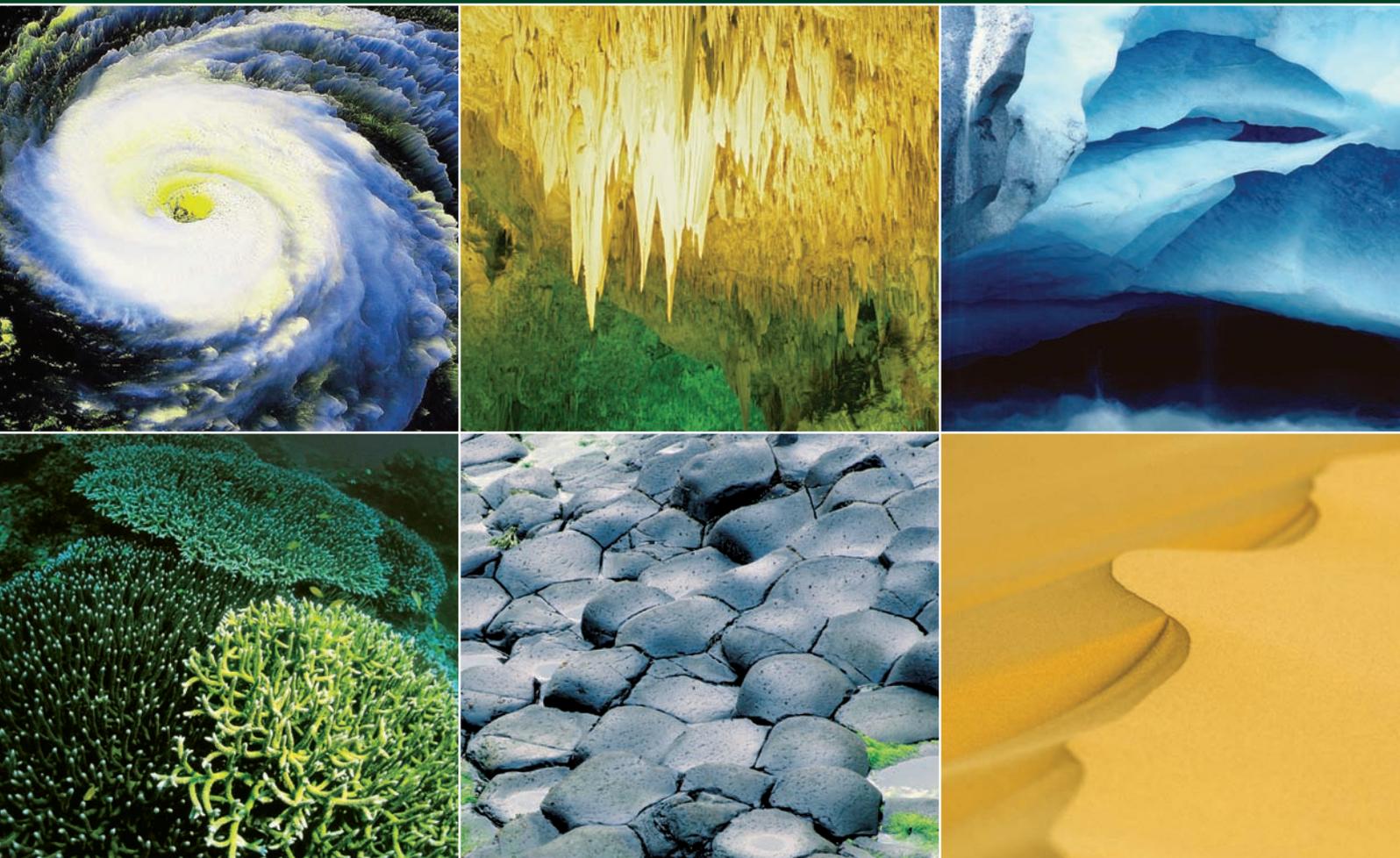


ハッブル宇宙望遠鏡

- 50億光年の彼方にある銀河団の中にぼんやりとした波紋が見つかり、暗黒物質（ダークマター）という謎の物質が本当に存在していることを示す新たな証拠として提出された。
 - このほど、各国の天文学者からなる研究チームが、銀河団C1 0024+17には直径260万光年のリング状の暗黒物質があると発表した¹。チームは当初、このリングに当惑し、単なるデータエラーではないかとさえ考えたという。
 - 暗黒物質は、宇宙の質量の約22パーセントを占めていると考えられている。暗黒物質を直接観測することはできないが、可視物質に重力作用を及ぼすことから、天文学者は以前から暗黒物質が銀河に広く行きわたっていると考えてきた。暗黒物質が何からできているかは不明であるが、既知の素粒子のいずれとも異なっていると推測されている。
 - 通常、暗黒物質は可視物質とほぼ同じように分布している。これは、夜間の地球の衛星画像では見ることができない人口分布が、そこに見えている人工光の分布と一致しているのによく似ている。このため、そもそも暗黒物質が実在するかどうか、別の言い方をすれば、暗黒物質の影響のように見えるものが銀河規模での重力作用の変化によるものであるかどうかを確認するのはむずかしい。
 - 暗黒物質の実在をめぐるこうした疑いは、昨年、銀河団1E 0657-56の可視物質と総質量の分布に不均衡があるのを天文学者が発見したことで晴らされた。この不均衡を説明するには、大昔に2つの銀河団が衝突して1E 0657-56が誕生したときに、可視物質の高温ガスから見えない暗黒物質が分離したとして帳尻を合わせる考え方が最もうまくいくからである。
 - C1 0024+17の場合も、暗黒物質は目に見える星やガスとは異なる物理的分布をしているようである。可視物質が丸くまとまっているのに対して、暗黒物質の一部は、それとは別にリング状に分布しているのである。
 - 観測チームに参加したジョンズホプキンス大学（米国メリーランド州ボルティモア）の天文学者Myungkook Jeeによれば、このように可視物質と暗黒物質が分離していることは非常に珍しく、暗黒物質の存在を示す決定的な証拠となるという。「分布の違いが大きくなればなるほど、これ以外の考え方で説明することがむずかしくなっていくのです」。
- 現実と思えなかったリング**
- ハッブル宇宙望遠鏡で撮影した画像を解析してこのリングが見えてきたときには、その結果を信じるのができなかったとJeeは語る。
 - 「これが現実であると確信するまでに1年以上もかかりました。私はかなりの数の銀河団を見てきましたが、このようなものはほかにありませんでした」と彼は話す。
 - Jeeたちはこのリングを、今から10億～20億年前に2つの銀河団が衝突してC1 0024+17が誕生したときに生じた波紋ではないかと考えている。
 - 1E 0657-56でも、これとほぼ同じ過程によって暗黒物質と一部の可視物質が分離した。けれども地球では、この衝突を横からしか観測できない。これに対してC1 0024+17は正面から観測できるため、リング状に見えるのである。
 - Jeeたちは、暗黒物質の背後にある銀河からの星の光が屈折する過程を調べることで、暗黒物質のリングの存在を推測できた。「これは、池の表面に波紋が広がっているときに、池の底にある小石を観察するのに似ています。小石の上を波紋が通り過ぎるとき、小石が変形するように見えるのです」とJeeは説明する。
 - Jeeたちはまた、リングの構造から、暗黒物質の粒子どうしが重力以外の力による強い相互作用をしていないことが示唆されるという。これは、暗黒物質の粒子が重力以外の未知の力によってお互いの存在を感じ取っている可能性を指摘した最近の研究報告に異議を唱えるものである。重力以外の力があっても、それは非常に小さいだろうとJeeたちはいう。もし大きければ、暗黒物質の粒子どうしの相互作用によって粒子は散乱するはずだからである。「暗黒物質の粒子どうしの衝突によりエネルギーの交換があれば、リングは簡単に壊れてしまいます」とJeeは話した。

2008年 1月 創刊

nature
geoscience



ネイチャー・パブリッシング・グループは、
地球科学全般における極めて意義の高い研究に関する情報を提供することを目的とする
総合学術月刊誌 **Nature Geoscience** を、創刊します。

創刊前特別価格 30%OFF! 2008年1月31日まで

ジャーナルに関する詳しい情報と、購読お申込みはこちらから

www.naturejpn.com/ngeo-f



nature asia-pacific
Established 1987 as Nature Japan K.K.

Natureだからお届けできる「質の高い情報」

日本語でnatureを読む

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

Nature翻訳・編集記事

Natureならではの質の高い、面白い記事をお楽しみいただけます！

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

日本オリジナル編集記事

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

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

News
科学ニュース

Special Report
特別レポート

Highlight
論文ハイライト

Business News
ビジネス・ニュース

News Feature
科学ニュース 読み物

news@nature.com
Natureオンラインニュース



Japanese News Feature

日本の科学ニュース

鳥インフルエンザや地震、宇宙開発、幹細胞など、日本のさまざまな科学ニュースを独自取材し、わかりやすく紹介します。



News and Views

科学論説

Editorial

社説

Author

論文著者のプロフィール

Research Highlights

リサーチ・ハイライト

Japanese Author

日本人科学者へのインタビュー記事

Natureに論文を発表した日本人研究者にインタビュー。研究者をめざす人への有意義なメッセージをお伝えします。



英語でNature

Natureの記事を、単語やフレーズの解説に加えて、どのように読んだらいいか、読解のポイントも紹介するセクション。毎回少しずつレベルアップしていくので、科学英語を学ぶ教材としても使用できます。



Nature Digest定期購読お申込みはこちらから

www.naturejpn.com/digest-f07