ISSN 1880-0556

nature DIGEST

日本語編集版
JUNE 2008
VOL. 05, NO. 6
6

http:// www.nature.com/naturedigest

世界の水戦略

nature asia-pacific

www.outreach.jp　支援します。国際会議、講演会、展示会。

WWW.会議運営.com

準備も当日も、宣伝も参加登録も、開催後の報告まで。

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

国際会議、シンポジウム、ワークショップ 講演会・セミナー、評価委員会

会議運営のプロフェッショナルとして、事務局運営の経験豊富な私たちに、運営管理のすべてをお任せ下さい。参考見積の積算から実施計画、研究所規定の会計書類一式を万全に準備し、研究者が求める会議成功を全面サポートします。

事前打合せ　限られた時間を有効かつ最大限に

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

参加者対応　主催者と参加者の立場に立って

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

予算管理

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

海外招聘　旅行会社ヨビックスと提携

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

最近の主な国際会議／シンポジウム

会期	主催	会議名称	会場
08／6月	日本学術振興会	茅コンファレンス　21世紀物性科学の展望	東京
08／5月	日本顕微鏡学会	日本顕微鏡学会第64回学術講演会(JSM64)	京都
08／3月	大学評価・学位授与機構	教育研究評価研修会	東京
08／3月	北里大学	遺伝子検査の脱医療化・市場化に関する国際シンポジウム	東京
08／3月	日本原子力研究開発機構	IPS08国際シンポジウム	水戸
08／2月	防災科学技術研究所	第２回シンポジウム「統合化地下構造データベースの構築に向けて」	東京
08／2月	農業環境技術研究所	第29回農業環境シンポジウム	東京
08／2月	農業環境技術研究所	第９回公開セミナー「外来植物のリスクを調べて蔓延を防止する」	神戸
08／2月	情報通信研究機構	nanotech2008 ブース出展	東京
08／2月	情報通信研究機構	ナノICTシンポジウム2008	東京
08／1月	産業技術総合研究所	AISTキャリアパスシンポジウム	東京
07／11月	農業環境技術研究所	遺伝子組換え公開セミナー	東京
07／11月	産業技術総合研究所	HARDMEKO2007	つくば
07／11月	産業技術総合研究所	水素エネルギーシンポジウム	東京
07／11月	農業・食品産業技術総合研究機構	AFFRC国際ワークショップ	つくば
07／10月	農業生物資源研究所	イネ機能ゲノミクス国際シンポジウム	つくば
07／10月	農業環境技術研究所	NIAES国際シンポジウム2007	つくば
07／10月	農業環境技術研究所	ESAFS 8	つくば
07／10月	株式会社インプレスR&D	NPG Photonics　テクノロジーコンファレンス	東京
07／10月	産業技術総合研究所	BERM11	つくば
07／10月	理化学研究所	IMGC2007	京都
07／10月	総合地球環境学研究所	第２回地球研国際シンポジウム	京都
07／9月	大学評価・学位授与機構	大学評価フォーラム	東京
07／8月	農業環境技術研究所	第７回公開セミナー「外来植物のリスクを調べて蔓延を防止する」	北海道
07／7月	情報通信研究機構	NITCシンポジウム	東京
07／7月	農業生物資源研究所	第46回ガンマーフィールドシンポジウム	水戸
07／6月	NPGネイチャーアジア・パシフィック	nature20周年シンポジウム	東京
07／6月	サイバネット株式会社	FCSNT2007	東京
07／5月	農業環境技術研究所	第27回農業環境シンポジウム	東京
07／5月	産業技術総合研究所	2007CERC国際シンポジウム	東京
07／5月	産業技術総合研究所	国際計量標準シンポジウム	つくば

詳しくはホームページをご覧ください。

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

お問合せ→ request@outreach.jp

www.会議運営.com　検索　Click!

nature DIGEST
volume 5 no.6 June

NEWS FEATURE

世界の水戦略

表紙：DAVID PARKINS

HIGHLIGHTS
02 vol. 452 no.7189, 7190
vol. 453 no.7191, 7192, 7193

EDITORIAL
07 高温超伝導フィーバーが再燃か

NATURE NEWS
08 金融トレーダーの男性ホルモン値が景気を左右する？

NEWS
09 そういうあなたも使ってる？
Brendan Maher

NEWS FEATURE
12 iPS研究に参入するための基礎知識５か条
David Cyranoski

SNAP SHOT
16 火山噴火物と稲妻

NEWS FEATURE
17 長く乾燥した夏
Quirin Schiermeier

22 凍土に眠る未来
Michael Hopkin

NEWS & VIEWS
25 血球分化の系列図を修正
Thomas Graf

28 太陽系外惑星にメタンの気配
Adam P. Showman

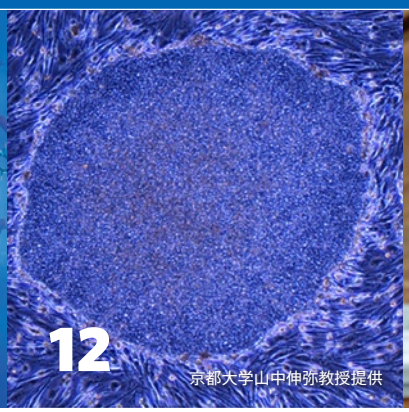
JAPANESE AUTHOR
30 メキシコ湾流の気候への長期的影響を解明！── 見延庄士郎
坂元 志歩

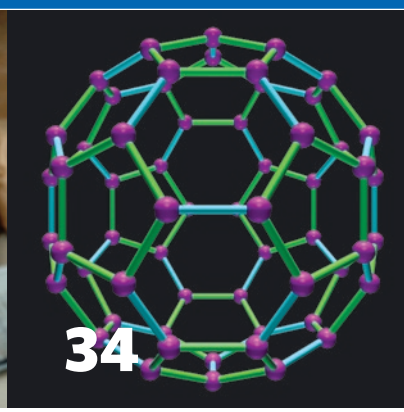
HIGH SCHOOL SCIENTISTS
32 渦を巻く風を作り出し、目に見えない動きを可視化（群馬県立高崎高等学校）
西村 尚子

英語で NATURE
34 Buckyballs give flash a boost
バッキーボールでフラッシュメモリの性能を強化する

www.nature.com/naturedigest

© 2008 年 NPG Nature Asia-Pacific
掲載記事の無断転載を禁じます。





2008年6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

発行人：ディビッド･スウィンバンクス
副発行人：中村康一
編集：北原逸美、中野美香、田中明美

デザイン／制作：村上武、中村創
広告：米山ケイト
マーケティング：池田恵子

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

Volume 452　Number 7189　17 April 2008　　※「今週号」とは当該号を示します。

グリーンランドは溶けているか？：証拠を吟味する

IS GREENLAND MELTING?: Weighing the evidence

グリーンランドには世界の氷の約 10 分の 1 が存在するが、それが溶け始めているのかもしれない。2 つの衛星を使った GRACE（Gravity Recovery and Climate Experiment）計画で得られたデータから、2002 年から 2006 年にかけて氷が激減し、年間 150 ～ 250 立方キロメートルもの量が失われていることが示された。しかし、ほかの指標はこのデータと矛盾しており、このような融解が地球の海面レベルにどのような影響を及ぼすかはむずかしい問題である。News Feature では A Witze が、密接に関連した 3 つの疑問を提起して、グリーンランドで何が起こっているのかについての現在の大多数の見解をはっきりさせようと試みている。第 1 の疑問は、現在の二酸化炭素排出の結果として既に「進行している」温暖化が、将来も海洋の温度を上昇させて、その結果氷床の融解を後戻りできない限界点まで押し進めることがあるのかどうか、第 2 は、我々はこのような限界点にどの程度近づいているのか、そして第 3 は、氷床の融解は時が経つにつれてどのくらい加速するのだろうか、というものだ。これまでに観察された変化に基づいて、このような過程には数千年がかかるだろうという前提は再検討されつつある。

News Feature p.798 参照

一般相対性理論でぴたりと予測

General relativity spot on

ブラックホールは、天文学の分野では確証されたものであり、一般に知れわたっている。しかしその概念は、アインシュタインの一般相対性理論が正しい重力理論であるという前提に、いまだに依存している。強い重力場における一般相対性理論の最良の検証は、ブラックホールを含む系を使ったものだ。Valtonen たちは、クェーサー OJ 287 にあると考えられているブラックホール 2 個からなる近接連星系で行った検証結果を報告している。このクェーサーは、12 年間隔で準周期的な可視光領域のアウトバーストを示し、1 回の周期でバーストの強度ピークが 2 つ観測される。2007 年 9 月に起こった最新のアウトバーストは、ブラックホール連星系モデルと一般相対性理論に基づいて予測された時刻の 1 日以内という誤差範囲で発生した。

Letter p.851 参照

1 人の人間のゲノム

One man's genome

次世代の塩基配列決定技術によってヒトゲノミクスは大きく変わりつつあり、ゲノム概要配列が安価かつ迅速に得られるようになると期待されている。今回、このような技術の 1 つを使って、1 人の人間の遺伝コードの大半が解析された。それは、「二重らせん」の発見者の 1 人、James D Watson のゲノムである。この方法ではゲノム DNA のクローン化は行われず、最新の「454」高速塩基配列決定装置が使われ、解読の費用は 100 万ドル足らずで、しかもわずか 2 か月しかかかっていない。これに対して、ヒトゲノム解読で注目を集めた Craig Venter のゲノム解読は従来の方法によるもので、その費用は約 1 億ドルと報じられている。ゲノム解読はこれでもまだ大事業には違いないが、「個人のゲノム」「個別化医療」というゴールに向け、また一歩前進したといえるだろう。

Letter p.872, N&V p.819 参照

意匠を凝らした摂食者

A fancy eater

現代の甲殻類の摂食戦略は極めて多様である。これは、サイズやタイプが異なる食物を扱うのに必要な口器や付属肢に、たくさんの種類が存在することからも明らかである。しかし、カンブリア紀にまでさかのぼると摂食戦略ははるかに単純なものであったろうと、今までは考えられていた。今回、食べ散らかしをする原始的なカンブリア紀の節足動物の中に混じって、エビのように選択的で効率的な摂食能力をもつ甲殻類がいたことが報告された。この比較的大型の動物は、粒子を捕捉する大型甲殻類が大規模に展開する年代の 1 億年以上前に、細かい食物粒子を巧みに操ることができたことから、適応放散の推進には生態的背景が関与していることがうかがわれる。

Letter p.868 参照

漁業が魚類資源を脅かすわけ

Why fishing threatens fish

生態学では、漁獲対象となる魚種の個体数がそうでない魚種の個体数よりも大きく変動するのは、漁獲対象になっていることと関連しているのではないかと長い間疑われてきた。その説明として提唱されている主要な仮説は 3 つある。第 1 の仮説は、変動する漁獲圧それ自体が直接的に資源量の変動性を増大させるというものである。ほかの 2 つの仮説は魚齢短縮効果と関係したもので、成魚が減少することで個体群が若齢化し環境変動の影響をより受けやすくなるという第 2 の仮説と、内的増加率などの要因が変化することで個体群動態が不安定になるという第 3 の仮説である。今回、カリフォルニア海流内漁場での 50 年にわたる子魚個体数の記録を用いて、これらの仮説の可能性が比較検討された。その結果、第 1 の仮説はまったく証拠が得られず、2 番目もあまり裏づけが得られなかったが、第 3 の仮説には支持が得られた。漁業は個体群動態の不安定性を増大させ、資源量の系統的な減少の前兆となる不安定な激増・激減を招くことがある。これは、資源の枯渇を防止する漁獲制限策がなければ、経済的に重要な多くの漁業が破綻を来す可能性を意味している。

Article p.835, N&V p.825, Author page 参照

1/4 の電荷でうまくいく

Doing it by quarters

量子コンピューターは「キュービット」（あるいは量子ビット）を使う。キュービットは、同時に「0」と「1」の両方であることを意味する量子状態をとりうる。しかし通常、電子あるいは光子などの単一粒子が使われる従来型のキュービットの設計では、こうした量子状態は擾乱を受けやすく、容易に失われてしまう。これに代わると考えられている別の候補がトポロジカルキュービットで、これは 2 次元準粒子からできた一連の「組みひも」として情報を保持する。トポロジカル量子コンピューターを仮説段階から原理証明の段階へと転換するような「e/4」準粒子の存在を示す確かな証拠が発表され、この新しい形の計算方式が一歩近づいた。

Article p.829, N&V p.823
News Feature p.803 参照

スプライソソームの構造に迫る

The splice of life

スプライシングとは、不要なイントロンを切り取って機能を備えた完全な形の RNA を作り出す過程で、スプライソソームとよばれる大きな RNA-タンパク質複合体の中で起こる。この複合体は複雑なため、スプライシングに必要なコア成分を決定することは困難だった。この問題の解決に必須なのは、追加因子がなくても活性をもつスプライソソーム複合体を精製することである。この目的で、Bessonov たちは、スプライシング反応における 2 つの中間複合体を精製した。これらの複合体の差異から、触媒活性をもつコアの組成についての重要な手がかりが、ついに得られたのである。

Article p.846 参照

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

Volume 452 Number 7190 24 April 2008

トランスジェニック作物のゲノム：ウイルス耐性パパイアのゲノムを解読

A TRANSGENIC CROP GENOME: Virus-resistant papaya sequenced

1990 年代初期にハワイ・プナ地区のパパイア果樹園では、パパイア輪点ウイルス（PRSV）が大発生して、重要な作物であるパパイアが深刻な打撃を受けた。それ以後、「サンアップ」と「レインボウ」という 2 種類のウイルス耐性トランスジェニック品種が導入され、収穫の維持に役立ってきた。サンアップは果肉の赤いトランスジェニック品種で、PRSV の弱毒性変異体のコートタンパク質遺伝子を発現し、これにより転写後遺伝子サイレンシングを介したウイルス耐性を示す。レインボウはサンアップの F1 雑種で、果肉が黄色いため、人気はこちらのほうが高い。今回、サンアップのゲノム概要配列が解読された。商品化されたウイルス耐性トランスジェニック果樹としては初めてのことである。これをシロイヌナズナなどのゲノムと比較すれば、生合成、デンプンの貯蔵、光合成調節、パパイアに特徴的な香りのもとになる揮発性化合物の合成経路など、さまざまな性質の進化について手がかりがつかめるだろう。表紙は、重度の感染によって成長が阻害され、枯れかけている非トランスジェニック品種サンライズと、その近くで栽培されても感染の起こらないトランスジェニック品種レインボウである。

Letter p.991, Author page 参照

甲虫のゲノム解読

Cereal offender

コクヌストモドキ（*Tribolium castaneum*）は貯穀害虫の一種で、穀粒や小麦粉、米などを食い荒らす。だが、この甲虫は実験モデルとしても広く使われており、線虫（*C. elegans*）と同様に全身性 RNA 干渉実験を容易に行える利点と、昆虫の典型としてショウジョウバエを超えているという利点をあわせもつ。このたび、コクヌストモドキゲノム解読コンソーシアムが、この甲虫のゲノム塩基配列を発表した。これは初めて公表された甲虫ゲノムであり、昆虫の発生研究や害虫研究に役立つ貴重な情報源となるだろう。

Article p.949 参照

昆虫の嗅覚受容体

Insect odorant receptors

線虫からヒトに至る多くの生物で、匂いは大きなファミリーを形成する 7 回膜貫通型受容体によって感知されるが、これらの受容体は今までは G タンパク質共役型受容体に分類されていた。しかし昆虫では、極めて簡単で効率的な嗅覚が進化しており、これが正しく機能するには第 2 の構成要素、イオンチャネルを形成するシャペロンタンパク質 Or83b が必要である。佐藤幸治たちは、これらのヘテロマー受容体が G タンパク質共役型セカンドメッセンジャーとは関係なく機能するリガンド作動型陽イオンチャネルを形成することを示し、ほかの 7 回膜貫通型タンパク質も同様のイオンチャネル活性を示す可能性があると推測している。関連するもう 1 つの論文で Wicher たちは、嗅覚受容体へのリガンド結合は直接的なチャネル活性化に加えて、G タンパク質共役型チャネルの活性化も引き起こすことを示している。以上の結果は、蚊のような疾患媒介昆虫の宿主探索行動の制御に使えそうな昆虫嗅覚受容体阻害物質の探索にもかかわってくる。

Letters pp.1002, 1007, N&V p.944 参照

キクイムシが切り替える森林炭素動態

Forest carbon switch

カナダのブリティッシュコロンビア州の森林は現在、キクイムシの一種である *Dendroctonus ponderosae* による深刻な被害に見舞われている。気候変動により、以前は非生息域であった地域にまでこの昆虫の生息域が拡大したことが、今回の大発生の深刻さの一因となったと考えられている。2000 ～ 2020 年の間にこのキクイムシの大発生がもたらすと考えられる影響を解析した結果から、この森林は小さな正味の炭素シンクから大きな正味の炭素源に変身することが示唆された。この変化は、ほかの害虫や森林火災による類似の影響とともに、北アメリカの森林の炭素シンクを危機に陥れる可能性があり、気候変動が炭素循環に与える影響をモデル化するときに考慮に入れるべきだと考えられる。

Letter p.987, Author page 参照

脂質で血糖値を調節

Blood glucose regulation

げっ歯類とヒトでは、腸内に脂質が存在するだけで腸 - 脳神経軸が活性化され、栄養摂取が減少することが知られている。最近の研究で、げっ歯類では脳 - 肝神経軸を介して脳が血中の脂質を直接感知し、グルコース産生を抑制してグルコース恒常性を維持することが示されている。今回、腸上部に脂質が存在すると、腸 - 脳 - 肝神経回路を介して急速にグルコース産生が阻害されることが初めて実証された。ラットを用いた研究で、小腸に入った脂質または脂肪が、脳への求心性神経シグナルの引き金となり、脳はわずか 15 分ほどでグルコース産生と血糖値を低下させるためのシグナルを肝臓に対して送ることがわかった。しかし、高脂肪食を 3 日間とるだけで、このシグナルは遮断されて作用しなくなり、ほかの臓器に対して血糖量を低下させるシグナルが伝達されなくなる。この結果から、肥満または糖尿病の患者で血中グルコース、つまり血糖値を低下させるための新規標的が見つかることが期待される。

Letter p.1012, N&V p.941 参照

ブレーザー発生の原因をとらえた

Blazars: model behaviour

ブレーザーは最も活発な活動銀河核で、降着の生じている超巨大ブラックホールから互いに反対方向にほぼ光速度で噴き出すプラズマジェットを伴っている。これらのジェットは、ブラックホール降着円盤の微分回転、または慣性系を引きずるエルゴ球によってねじれた磁場で加速されるとしてモデル化されてきた。しかし、ジェット形成に関するこの一般的描像と、アウトバーストの起こる場所は、これまで検証されたことがなかった。Marscher たちは今回、ブレーザーであるとかげ座 BL の高分解能電波画像と可視領域での偏光測定の結果を報告している。この新しい測定によって、可視波長域から TeV 領域のエネルギーをもつ γ 線まで、2 回の輻射フレアの原因となるジェットの光り輝く特徴的構造が明らかになった。この構造は、この現象がらせん状磁場のある領域で始まることを示唆しており、モデルの予想と一致している。

Letter p.966, N&V p.945 参照

ストレス応答と Y 因子

The Y factor

ストレスや不安は多くの疾患のリスク因子だが、こうしたものに対処する能力は個人間のばらつきが非常に大きく、また、情動的回復力にかかわる因子は複雑である。今回、米国立アルコール乱用・依存症研究所の研究者たちが、脳にあって不安を緩解する作用をもつペプチドであるニューロペプチド Y の脳での発現の遺伝的差異によって、一部の人のストレスに耐える力がほかよりも強い理由が説明されることを明らかにしている。

Letter p.997 参照

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

Volume 453 Number 7191 1 May 2008

※「今週号」とは当該号を示します。

局在化 RNA：RNA 局在化への APC 腫瘍抑制因子のかかわり

POLARIZED RNA: APC tumour suppressor implicated in RNA localization

RNA 局在化は、極性の確立や維持にかかわる多くの生物学的過程で重要である。これまで、哺乳類細胞に極性が生じる際に局在化する RNA の包括的な同定は行われていなかったが、今回、遊走刺激に応答する繊維芽細胞を用いて研究がなされた。全ゲノムスクリーニングにより、マウス繊維芽細胞の細胞突起に局在する RNA が 50 以上同定された。RNA は微小管の「プラス」端に集中する顆粒に係留される。これは RNA の新たな RNA 係留機構であり、また微小管プラス端の予想外の機能でもある。これらの顆粒内の RNA は腫瘍抑制因子である APC（adenomatous polyposis coli）と関連している。APC は、Wnt シグナル伝達経路の因子として詳細な検討がなされている多機能性タンパク質で、細胞遊走、細胞接着および細胞分裂にも関連すると考えられている。表紙は細胞突起の先端の RNA 顆粒（青色）で、アクチンフィラメントも染色されている。

Letter p. 115 参照

10 年スケールの気候予測

Decadal climate prediction

北大西洋の気候変動は、ハリケーン活動や、北アメリカからヨーロッパ、アフリカに及ぶ地域の地表温度と降水の変化を引き起こし、社会に大きな影響をもたらす。原理的には、海洋の現在の状態がわかればこれらの変化を予測できるのだが、必要な亜表層の観測が不足している。Keenlyside たちは、海洋の状態に関する詳細な情報は、10 年スケールの有効な予測を行うには必ずしも必要でないことを示している。彼らの方法は、「後ろ向き」予測、つまり過去にさかのぼっての予測では有効なことが証明されており、既存の海面温度の観測結果を使って気候モデルの予測能力を改善する。この新たなモデルは、次の 10 年間にわたって、北大西洋と熱帯太平洋における気候の自然変動によって、予測される人為起源の温暖化が一時的に相殺されると予測している。つまり、ヨーロッパと北アメリカの地表温度は、この期間中にわずかに低下する可能性すらあるようだ。

Letter p.84, N&V p.43 参照

メムリスタンスの登場

Memristance movement

基礎電子工学の教科書には、3 つの基本的な受動回路素子、すなわちレジスター（抵抗）、キャパシター、インダクターが載っている。しかし約 40 年前、L Chua は第 4 の素子であるメムリスター（memristor）、すなわちメモリー付き非線形抵抗の存在を予測した。そして、ヒューレット・パッカード社の研究者が今回、固体電子輸送とイオン輸送が外部バイアス電圧下でカップリングするナノスケール系で、メムリスタンス（memristance）が自然に生じることを報告した。この発見は、過去 50 年間に電子デバイスで電流 - 電圧特性に観測された多くの見かけ上異常なヒステリシス挙動の例を説明するのに役立つかもしれない。メムリスターは機能密度を、トランジスターで実現できるレベルを超えて大幅に増大させることによって、将来の電子回路に重要な影響を及ぼす可能性がある。

Letter p.80, N&V p.42 参照

毒素と自己免疫

Toxins and autoimmunity

アリール炭化水素受容体（AHR）は、ダイオキシンなどのアリール炭化水素の毒性を仲介することで最もよく知られている転写因子であり、その活性化は、解毒酵素の産生を誘導する。AHR は毒物学やがん研究との関連でよく研究されてきたが、免疫系との機構的つながりはまったく知られていなかった。今回、2 つのグループが、自己抗原に対する寛容と病原体の除去を担う免疫調節系の一部である 2 つの T- リンパ球集団である T_{reg} 細胞と T_H17 細胞の間のバランスの維持に、AHR がかかわっていることを報告している。2 つのグループはともに、多発性硬化症のマウスモデルである実験的自己免疫性脳脊髄炎の重症度に AHR が影響を与えることを明らかにしている。この研究は、環境因子による AHR 刺激が、自己免疫疾患の発症に関与する可能性を明らかにし、AHR が免疫修飾のための薬剤標的となる可能性を示している。

Article p.65, Letter p.106, N&V p.46 参照

ネットワークの不足部分を推測する

Refining the network

ネットワークは現在、インターネットや社会的ネットワーク、食物網、タンパク質ネットワーク、遺伝子ネットワークなどの複雑系の構造を表現する際に至るところで使われている。あいにく、このようなネットワークを記述するデータは、不完全であったり偏ったりしていることが多い。今回新しい研究で、ネットワークの頂点をグループやサブグループに分けていく一般的な手法が報告された。基盤となる階層性を明らかにすることで、部分的なデータで欠けている連結部分を既存の手法より高い精度で予測できるようになる。

Letter p.98, N&V p.47 参照

時計を気にする網膜細胞

Clock watching

哺乳類の網膜には、桿体、錐体、メラノプシン含有細胞という 3 種類の光受容細胞が存在する。桿体と錐体は視覚にかかわるが、ほかに概日時計の光同調にも関与していることがわかっている。Güler たちは、桿体と錐体が担っている像形成とは関係ないほうの役割（概日周期機能）に、メラノプシン含有細胞を介したシグナル伝達が含まれていることを明らかにした。今回の知見から考えて、睡眠障害や季節性のうつに悩む患者では、視覚に問題がない場合でも、光感知やメラトニン抑制の検査が役立つ可能性がある。

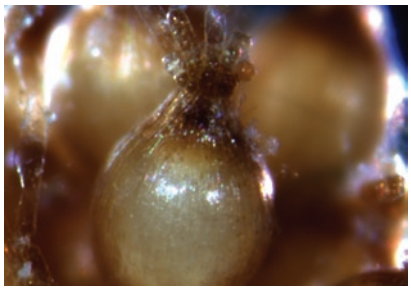
Letter p.102 参照

原始の被子植物の残存種

An early flowering relic

地味な水生植物であるヒダテラ科は、中生代に初めて出現した被子植物の仲間であり、極めて原始的なものであることが最近わかった。このほど W Friedman は、ヒダテラ（*Hydatella*）には珍しい複数の発生学的特徴がみられるが、ヒダテラ以外でそれらがまとまってみられるのは、やはり原始的な植物であるスイレン目のみであることを明らかにした。ただし、ヒダテラには、これ以外にもう 1 つ特徴がある。それは、胚性組織からではなく、母性組織から種子に栄養が供給されることである。この特徴はほかの被子植物にはみられないが、裸子植物（針葉樹類）には一般的なものであり、被子植物の初期の進化史の名残であると考えられる。

Letter p.94 参照



©2008 NPG Nature Asia-Pacific

Volume 453 Number 7192 8 May 2008

カモノハシのゲノム解読：塩基配列の解析から得られる初期哺乳類の進化の手がかり

THE PLATYPUS GENOME: Sequence analysis reveals clues to early mammalian evolution

カモのようなくちばしをもつカモノハシ（*Ornithorhynchus anatinus*）は卵を産む唯一の哺乳類で、生まれた子どもは乳で育て、毒をもつ。また、水中で餌を探すための電気的センサーも備えている。カモノハシは哺乳類の最も原始的な系統の子孫である単孔類に属し、爬虫類の性質と哺乳類の性質とをあわせもっている。今回、国際コンソーシアムがカモノハシゲノムの塩基配列を解読し解析したことを報告している。カモノハシのゲノムは爬虫類、哺乳類とカモノハシに独自の性質との混合物であり、このゲノムから、あらゆる哺乳類のゲノムの機能や進化に関するさまざまな手がかりを得ることができる。ゲノムインプリンティングの起源の解明に役立つばかりでなく、カモノハシと爬虫類の毒素タンパク質が同じ遺伝子ファミリーから別々に生じたことがわかった。乳汁タンパク質遺伝子が保存されており、免疫遺伝子ファミリーの拡大はカモノハシの生物学的特性に直接結びついている。このゲノムの塩基配列は、比較ゲノミクスにとって非常に価値ある情報源であり、単孔類の保全にも重要な役割を果たすだろう。 Article p.175 参照

HIV のひっくり返る酵素

HIV's flipping enzyme

ヒト免疫不全症ウイルスは逆転写酵素という不可欠なタンパク質をコードしており、これは AIDS 治療薬の主要な標的となっている。この酵素には、ウイルス RNA ゲノムを鋳型とする DNA 合成と、DNA-RNA ハイブリッドの開裂という 2 つの機能がある。どちらの機能にも、酵素が DNA と RNA の両方に結合することが必要だ。しかし、酵素は基質上でどちらの活性を発揮すべきかを、どのようにして知るのだろうか。単一分子計測技術により、酵素は RNA と DNA とに異なる配向で結合し、基質から離れることなく配向と活性を切り替えられることが示された。切り替え動態は、主要な抗 HIV 薬である非ヌクレオシド逆転写酵素阻害剤によって強力な調節を受ける。このことから、これらの薬がウイルス複製を阻害する機構が示唆される。

Article p.184, N&V p.169 参照

長もちする分子磁石

Magnets with staying power

分子磁石とは、そこに含まれる複数の磁性イオンのスピンが強固に結合して、単一の「集団」スピンを生じる分子種をいう。この集団スピンの量子力学的性質は、量子コンピューターの機能ユニットの基盤となる可能性があるため、注目を集めている。現在まで、このような分子的実体の量子スピン状態が、有効な計算を行えるだけの十分に長い寿命をもつかどうかはわからなかったのだが、新しい研究によって十分長いことが示された。Bertaina たちは、このような 1 つの分子磁石のスピン状態間に、はっきりした量子振動を観測した。少なくともこの系では、振動は長寿命の量子コヒーレンスと一致する。彼らはまた、入念な材料設計を通して、これらの性質を実地に使用できると考えられる系の概略を述べている。

Letter p.203, N&V p.167 参照

作業記憶の仕事ぶり

How working memory works

ヒトの脳は、膨大な貯蔵量の長期記憶を保持するだけでなく、ほんの数秒しか保持されない短期記憶も形成している。これは、2 つの数字を足したり、2 つの顔のどちらが魅力的かを比較したりするような作業を行うのに不可欠である。短期記憶が限られた量の情報しか保持できないことはわかっているが、少数の事物について高品質の表現を保持するのか、それとも、ほぼ無数の事物について低品質の表現を保持するのかについての議論は決着していなかった。視覚の作業記憶に関する新しい研究の結果、「高品質」説に有利な形で決着がついた。短期の情報貯蔵では、量を優先して質を捨てることはなく、比較的少数の対象がそれぞれ一定の品質での表現として保持されていた。

Letter p.233 参照

中立説を考察する

Neutral observers

ミシシッピ－ミズーリ流域にみられる河川の巨大ネットワークは、生物多様性と生態系サービスの重要な源である。今回、NatureServe データベースにある淡水魚の生息分布の解析から、この河川流域にみられる魚類多様性の大規模パターンを、単純な中立メタ群集モデルによって予測できることが実証された。生物多様性の中立説では、餌資源を共有する種からなる群集の構成種間の違いは「中立」なものであり、相対的成功度に影響しないと考える。こうした説をめぐっては議論が続いているが、今回の例に関しては中立説がうまくあてはまる。最小限のパラメーター・セットしかない単純なモデルで、複雑な景観内で観察される生物多様性パターンをとらえられるということは、環境変化の効果的な監視が可能であって、それにより資源管理や保全戦略に寄与できることを示唆している。 Letter p.220 参照

幹細胞の自己複製

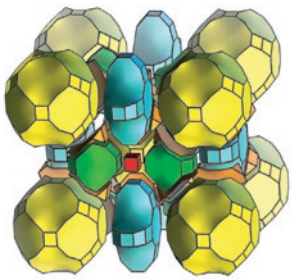
Self-renewal in stem cells

幹細胞は、自己複製能をもつために、生物の一生にわたって維持される。多能性前駆細胞は、何種類もの分化した細胞を作り出せる点で幹細胞に似ているが、自己複製はできず、寿命も限られている。マウスでの遺伝子ノックアウト実験により、わずか 3 個の遺伝子を欠失させるだけで、多能性前駆細胞を長期にわたって自己複製する細胞に変換させられることが明らかになった。この 3 個の遺伝子 $p16^{Ink4a}$、$p19^{Arf}$、*Trp53* の本来の役割は、前駆細胞の自己複製を防ぐことである。これらの遺伝子がかかわる経路は通常、がんでは抑制されていることから、これは前駆細胞での腫瘍化性変異の機構と考えられるものを示唆している。 Letter p.228 参照

二酸化炭素をケージに閉じ込める

Get cagey with the CO_2

ゼオライト型イミダゾレート骨格（ZIF）は、有機イミダゾレート・リンクが遷移金属と結合して四面体骨格を形成する多孔質結晶材料である。単にリンク - リンク相互作用を調節するだけで、さまざまな ZIF 構造体を作ることができる。Wang たちはこの手法を使って、構造がこれまでめったにみられなかったスケールと複雑さをもつ新材料を 2 種類作製した。作製されたケージは、細孔ネットワーク内に最高 264 個の頂点を含み、7524 個もの原子から構成されている。これらのケージは、高い効率で二酸化炭素を選択的に捕捉し貯蔵することができ、安定で合成が容易である。そのため、巨大 ZIF は、二酸化炭素排出削減を目的とする技術向けの有望な候補となる。 Letter p.207 参照



©2008 NPG Nature Asia-Pacific

Volume 453　Number 7193　15 May 2008　　※「今週号」とは当該号を示します。

気泡に閉じ込められていた情報：南極氷床コアから得られた 80 万年前までさかのぼる温室効果ガス記録

MESSAGE IN A BUBBLE: Antarctic ice-core greenhouse gas record goes back 800,000 years

南極大陸のボストークおよび EPICA ドーム C 氷床コアに閉じ込められていた気泡から、過去 65 万年間にわたる大気中の二酸化炭素とメタンの濃度の記録が得られている。今回、大気中に含まれるこの 2 種類の気体の濃度記録が、さらに 2 つの氷期サイクル分延びて 80 万年前まで拡張された。この新たなデータは、ドーム C コア最深部の 200 メートルの長さの層から得られたものである。氷床コアの深さは、深さ 3260 メートルのところで岩盤からわずか数メートル上にまで達していた。今週号の 2 つの論文は、この深いところにあった氷の解析結果に関するもので、1 つの氷床コア中で今までに測定された中で最も低い二酸化炭素濃度が得られている。大気中の二酸化炭素濃度は、8 つの氷期サイクルを通して南極大陸の気温と強く相関しているが、今から 65 万～ 75 万年前の期間にはかなり低めになっている。表紙は、南極大陸（バークナー島）で得られた氷床コアの深さ 120 メートルの箇所の切片。

Letters pp.379, 383, N&V p.291, Editorial p.257, News p.268 参照

熱を帯びる高温超伝導体探し

The heat is on...

高温超伝導を示す新材料探しが再び活発になっている。ランタンとヒ素を含む複雑な鉄系酸化物は、フッ素イオンをドーピングすると約 26 ケルビンの転移温度（T_c）を示すことが最近見いだされた。これはすばらしい結果だが、銅酸化物系超伝導体の転移温度の高さとは比べものにならない。高橋博樹たちは今回、約 4 万気圧の圧力を加えることによって、この材料の T_c を約 43 ケルビンまで大幅に上昇できることを示している。これは、非銅系材料の報告では最高の T_c である。しかも、この記録はすぐに破られそうだ。というのは、この種の「鉄オキシプニクタイド」は複雑な化合物であり、かなり自由に化学組成を変えられるからだ。つまり、さらに高い転移温度の報告が期待できる。

Letter p.376 参照

ロドプシンの構造

Rhodopsin structure

無脊椎動物の眼にあるロドプシンは光で活性化される G タンパク質共役型受容体であり、その活性は G_q 型 G タンパク質に伝えられる。村上緑と神山勉（こうやま）は、イカ・ロドプシンの分解能 2.5 オングストロームでの結晶構造を報告している。これにより、推定されていた G タンパク質結合部位が明らかになった。新しく得られた構造は、可視光の偏光面の方向を検出できるという無脊椎動物の眼の新規な性質の 1 つを説明するのに役立つだろう。

Article p.363, N&V p. 292 参照

代謝プロファイリングでリスクを予測

A promising profile

血液中や尿中に存在するさまざまな代謝物の相対的な濃度を分析する代謝プロファイリングは、特定の疾患発症のリスクに食事と生活様式がどのように関与しているかについて、多くを明らかにすることができる。INTERMAP 疫学研究に参加した 4000 人を超える被検者から得た尿検体のプロファイリングでは、国と国の間で、また各人口集団内で、代謝にかなりの差異があることが示された。人口集団に特徴的な代謝物と、冠動脈性心疾患と脳卒中の主要なリスク因子である血圧のデータとの関連づけが行われ、ギ酸、アラニン、馬尿酸の排泄量が血圧関連マーカーとなることがわかってきた。全体として、今回のデータは、生活様式が代謝を決定する支配的な特性であることを明らかにしている。この研究は、分子疫学へ向けた「メタボローム全体にわたる関連」を調べる手法の基本となるものだ。

Letter p.396, Author page 参照

磁気を感じとる

Feeling the force

さまざまな種類の動物が地磁気によって定位することは、以前から知られている。問題は、こうした動物たちがどうやっているかだ。いくつかの種では、磁鉄鉱の粒子が磁気感受に使われていることがわかっている。しかし、その他の動物では地磁気による定位に眼が関係しているらしく、そこにはおそらく、光化学反応の磁気による変調が介在しているようだ。しかし、地磁気は比較的微弱であり、そのような変調が何らかの化学系において可能かどうかは不明だった。今回、前田公憲たちは、微弱な磁場によって光化学反応を予測どおり変調できることを示した。このモデル系は完全に人工的なもので、反応温度はかなり低い。しかし、この説の正しさは立証されたわけで、研究者は新たに確信をもって、実際の定位や渡りに用いられているメカニズムを探ることができる。

Letter p.387 参照

気候への人間の影響を見つけ出す

Human influence tracked

気温が徐々に上昇してきたのにつれて、自然界に存在する生物系や物理系の多くが変化しつつある。こうした変化は大陸のすべてと海洋のほとんどで、少なくとも 1970 年以降に生じてきた。今回、観察された変化を人間活動が原因の気候変化と初めて本格的に結びつけた論文が発表された。この研究は、最近発表された IPCC 報告書よりも大規模なデータベースを使ったメタ解析の結果で、土地利用の変化などの複雑な状況を考慮に入れている。そして著者たちは、人為起源の気候変化は物理系や生物系に全球的な規模で影響を与えていると結論している。しかし、F Zwiers と G Hegerl は News & Views で、2 段階の推論を行う joint attribution の原理に基づく今回の論証は、人間活動と観察された変化とを、気候システムへの影響を介するのではなく、直接に結びつける「エンドツーエンド」モデルが与えると考えられる統計的確実性には至らないことを指摘している。

Article p.353, N&V p.296 参照

衛星の極移動

Wander on a moon

ボイジャー、ガリレオ、ニューホライズン探査機からの画像データを使って、木星の衛星エウロパ表面にある湾曲した同心円状の溝の地図が作られた。このような地形は、最大のもので長さ数百キロメートル、深さ 1.5 キロメートルのほぼ完全な円で、これまで太陽系でみられたどのような地形とも異なっている。エウロパの極移動は、浮遊している外側の氷殻がその下にあるコアに対して向きを変えることで起こるが、これが、エウロパ表面に多数みられる大規模地形のうちの一部を作り出したのかもしれないと考えられてきた。しかし、全球的な移動が引き起こすと思われる地殻応力パターンとよく一致する全球的な地形は、これまで見つかっていなかった。だが、これらの「新しい」地形は、80 度の極移動に起因する地殻応力のパターンと非常によく一致している。これは多分、この形成過程がエウロパで生じているという最初の具体的な証拠であり、土星の衛星エンセラダスの同様な自転についても同じことがいえそうだ。

Letter p.368 参照

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

社　説

高温超伝導フィーバーが再燃か

Superconductors *redux*

Nature Vol. 452 (914) / 24 April 2008

複合酸化物に予想外の新発見

このほど、日本の研究者たちが新しい系統の高温超伝導物質を発見したことで（*Nature* 2008 年 4 月 24 日号 922 ページ参照）、かつての高温超伝導フィーバーが再燃することになるかもしれない。1986 年、IBM チューリッヒ研究所のゲオルグ・ベドノルツとアレキサンダー・ミューラーは、バリウム、ランタン、銅からなる複合酸化物が 35K（ケルビン）で超伝導を示すことを発見した。この発見は激しい研究競争を引き起こし、90K という高温で超伝導転移を示す関連化合物（イットリウム・バリウム・銅酸化物）が発見された。これは、比較的安価な液体窒素を使った冷却により実現できる温度である。ベドノルツとミューラーはわずか 1 年後に 1987 年度ノーベル物理学賞を受賞した。

こうした興奮が巻き起こったのは、超伝導を応用した電力損失のない送電や磁気浮上などの夢が低コストで実現できると期待されたからである。電流が流れるとき、電気抵抗があると熱が発生してエネルギーが失われてしまう。超伝導体では、電流は電気抵抗なしに流れる。1986 年までは、ほとんどの超伝導物質は金属や合金であり、その転移温度は一般に低く、23K を超えるものは見つかっていなかった。

今回、東京工業大学の細野秀雄らは、ランタン、鉄、ヒ素と少しのフッ素を含む別の複合酸化物に約 4 万気圧の圧力をかけると、43K で超伝導になることを示した（H. Takahashi *et al*. advance online publication: doi:10.1038/nature06972）。これは、銅酸化物を除けば最も高い転移温度である。新しい物質は、銅酸化物と同じく、伝導層と絶縁層が交互に重なったサンドイッチ構造になっている。そして、これも銅酸化物と同じように、ドーピング（酸素原子の一部をフッ素原子で置き換えること）によって超電流に寄与する伝導層に電子を注入している。

銅酸化物材料はいくつかの用途に応用されたものの、列車を浮上させるなど、1980 年代後半に期待されたほどの応用は実現しなかった。このもろい材料を線材に加工することはむずかしいことがわかり、研究は遅々として進まなかった。物事を冷ややかに見る人たちは、今回の新発見も銅酸化物材料と同じように当初の期待を裏切るだろうというかもしれない。

しかし、新しい化合物は、すでに多くの知見をもたらしている。第一に、複雑な固体化合物にはまだ知られていないことがどれほど多く残っているかを教えてくれた。4 種類以上の元素の組み合わせ方はあまりにも多く、化合物の探索を自動化する取り組みが進められているものの、これまでに調べられた物質はごく一部にすぎない。今回の発見は、昔ながらの合理的な化学的直観の産物である。ベドノルツとミューラーは、超伝導の実現に必要な電子間相互作用を強めるような結晶化学的性質を推測することにより、0.3K まで冷却しないと超伝導にならず、明らかに見込みのなさそうなストロンチウムとチタンの酸化物を見限って、銅酸化物に取り組んだ。細野らも同じように、2006 年に関連物質が約 4K で超伝導になることを発見してから、系統的に研究を進めてきた。4K という温度はあまりにも低く、ほとんど関心を引かなかったが、彼らは 2008 年の初めには 26K に引き上げることができた。彼らはここで圧力をかければさらに温度が上がるだろうと推測し、それは正しかった。

最も重要なのは、高温超伝導は銅酸化物の独壇場ではないことを、この「鉄を主成分とするオキシプニクタイド」という新材料が示したことである。銅酸化物の場合と同様、新材料の超伝導も材料の磁気的ふるまいと関係していると考えられる。しかし、その詳細については不明である。今回、まったく新しい系統の化合物が発見されたことにより、その仕組みの謎が明らかになってくる可能性が出てきた。高温超伝導を説明する理論ができれば、はるかに高い転移温度をもつ超伝導物質を設計することも、夢物語ではなくなるかもしれない。新たなノーベル賞の対象となる可能性もある。確かなのは、今回のオキシプニクタイドの発見が超伝導研究者の世界をざわつかせ始めており、そのようすが 20 年前の高温超伝導フィーバーを思い出させるということだ。■

nature

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

金融トレーダーの男性ホルモン値が景気を左右する？

The testosterone of trading

ホルモン値の変動が金融市場での成功に影響しているのかもしれない。

doi:10.1038/news.2008.753 / 14 April 2008

Geoff Brumfiel

本や映画では、金融トレーダーは、マッチョなギャンブラーとして描かれることが多い。今回、そのようなイメージを裏づける科学的証拠が得られたようである。2人の研究者が、ロンドン市場で働くトレーダーたちのテストステロン値と運用益に関連性があることを見つけたのである。

トレーダーから神経科学者に転身した英国ケンブリッジ大学のJohn Coatesは、金融市場で働いていたころの経験を基にして研究を始めた。証券取引の立ち会い所にいるトレーダーたちは、大きな利益を上げたときには激しく興奮し、損失を被ったときにはがっくりと落ち込んだ。「それは、まるで典型的な躁うつの行動でした」と彼はいう。

Coatesの目には、少数ながらいる女性トレーダーたちは「男性に比べて影響を受けていない」ように映った。そこで彼は、ホルモン、なかでも典型的な男性ホルモンであるテストステロンが男性トレーダーの行動にかかわっているのではないかと、うすうす感じ始めたのだという。

これをはっきりさせるため、Coatesはケンブリッジ大学の同僚であるJoe Herbertと、ロンドン金融市場で連続8営業日の間、17人の男性トレーダーを追跡調査した。2人は、1日の取り引きが始まる前と終わった後に、トレーダーたちから唾液サンプルを採取した。そして、そこに含まれるテストステロンと、先行き不安な状態に置かれると産生されるコルチゾールの2種類のホルモン値を解析した。

因果関係か相関関係か？

その結果はCoatesによると、*Proceedings of the National Academy of Sciences* 誌上で発表されたように明らかなものだった[1]。「トレーダーたちは、テストステロン値が平均以上の日には、平均以上の利益を上げていました」。17人のうち14人のトレーダーでは、朝のテストステロン値が高かった日に、より多くの利益を出していた。

トレーダー業で好成績を上げることに、テストステロンが関係しているのだろうか。Coatesはそうだと考えている。しかしHerbertは、今回の結果は、テストステロンがリスクを冒す行動を推進していることを実証するには十分ではないと、慎重な態度をとっている。「相関関係はあるが、因果関係があるとまではいえない」という。

一方コルチゾール値は、取り引きの成功や失敗とは相関関係がないようである。このホルモンの値はむしろ、市場の相場が乱高下するのに伴って上昇するようすがみられた。相場の乱高下は、トレーダーたちの生活にいっそうのストレスをもたらしている可能性がある。

ホルモンの「高値」

今回の知見は1つの興味深い可能性を示すものだ、とCoatesはいう。すなわち、金融市場の抱える不合理性がホルモンによって増進されている可能性である。市場の「バブル」で目を見張るほどつり上がった高値は、トレーダーたちのテストステロン値上昇によってさらにつり上がる可能性があり、また一方で、相場の暴落と売り急ぎはコルチゾールによってさらに状況が悪化する可能性があると、Coatesは考えている。

解析対象の標本サイズが小さいせいで、そうした憶測が幅を利かせてしまうのだ、とゲント大学（ベルギー）の生物社会学者であるHans Vermeerschは苦言を呈している。Vermeerschは既に、十代の若者でテストステロンと危険を冒す行動の間に関連性があることを自身の研究で明らかにしており、性的活動や食習慣、さらには朝の通勤といったほかの多くの要因がトレーダーのホルモン値にかかわっているのではないかと話す。そしてCoatesたちの論文は、市場も同じようにホルモン値に影響を及ぼしていることを示すものだと彼はいう。

テストステロンとコルチゾールは、さまざまなストレス誘発要因を反映して値が変動しているのかもしれない。

「今回の結果は私にとってはさほど驚くものではない」と、ロンドンで金利トレーダーをしているBenedict Stoddartは話す。「利益を上げたり損失を出したりするときには、感情的な反応が伴います」。しかし、だからといってトレーダーをテストステロン全開の一匹オオカミだとする世間の見方が正しいわけではない、と彼は付け加えた。実際、大部分の雇用主は、たとえホルモン値が「乱高下」しても沈着冷静であり続けようとするトレーダーを雇いたいと考えているはずである。■

1. Coates, J. M. & Herbert, *J. Proc. Natl Acad. Sci. USA* **105**, 6167-6172 (2008).

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

Poll results: look who's doping

科学者の薬物使用に関するアンケート調査結果

そういうあなたも使ってる？

Nature Vol. 452 (674-675) / 10 April 2008

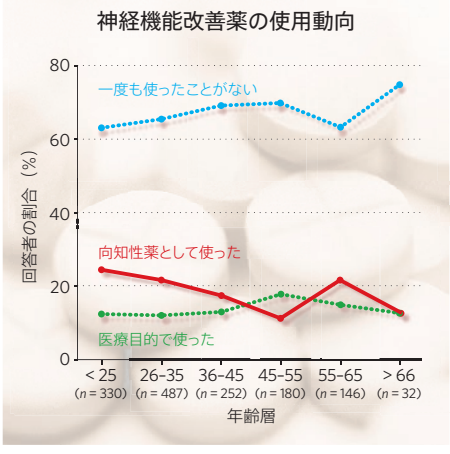
去る 1 月に *Nature* は、読者の向知性薬の使用に関する非公式なアンケート調査を行った。*Nature* の Brendan Maher による集計からは、向知性薬が読者に広く使用されている実態と、同薬に対するさまざまな考え方が浮かび上がってきた。

米国立衛生研究所（NIH）は、4 月の初めのプレスリリースで、プロビジルやリタリンといった能力を向上させる薬物を使って「頭脳ドーピング」をした科学者を厳重に取り締まっていくという方針を発表した。実は、このプレスリリースは、カリフォルニア大学デービス校（米国）に所属する進化生物学者の Jonathan Eisen が思いついたエイプリルフールのいたずらであり、プレスリリースのリンク先だった World Anti-Brain Doping Authority のウェブサイトも偽モノだった。とはいえ、Eisen のジョークの片棒をかついだ人々が、「R01 研究助成金を初めて受け取る科学者には、アンチ・ドーピング宣誓供述書が送付される」といううわさを流したため、向知性薬の使用に関する *Nature* のアンケートに答えることをためらった読者も多少はいたと考えられる。

Nature のアンケートのきっかけとなったのは、ケンブリッジ大学（英国）の行動神経科学者 Barbara Sahakian と Sharon Morein-Zamir の Commentary 論文（*Nature* 2007 年 12 月 20/27 日号、1157 ～ 1159 ページ）だった。この 2 人の科学者は、同僚の研究者を対象として、集中力や注意力を向上させる効果があると称される薬物の使用に関する調査を実施した。薬物を使って「知能を高める」ことを考えることがあるだろうかと問いかける彼らの論文は非常に大きな反響をよんだため、*Nature* は独自にオンラインでの非公式なアンケート調査を実施し、60 か国の 1400 人から回答を得た。

このアンケートでは、メチルフェニデート（商品名「リタリン」）、モダフィニル（同「プロビジル」）、β（ベータ）遮断薬の 3 種類に絞って質問した。メチルフェニデートは、通常、注意欠陥多動性障害（ADHD）の治療に用いられる精神刺激薬であるが、大学のキャンパスでは「勉強の友」として、よく知られている。モダフィニルは、睡眠障害の治療薬として処方されるが、承認された適応症ではない全身疲労や時差ぼけに対しても使われている。心不整脈の治療薬として処方されるベータ遮断薬には抗不安作用もある。これらの薬物を服用したことのない回答者や、病気と診断されたときに処方薬として服用したことのある回答者は、そのまま、向知性薬に対する一般的な考え方に関する簡単なアンケートに進んで回答する。一方、医療目的以外の認知能力の改善を目的として、これらの薬物やその他の薬物を服用したことがあると答えた回答者は、向知性薬の使用に関する一連の質問にも回答する。その結果は、以下のようになった。

回答者の 5 人に 1 人は、医療目的ではなく、注意力や集中力や記憶力を高めるために薬物を使用したことがあると答えている。薬物の使用率を年齢層ごとに比較したところ、大きな差はみられなかった（下の折れ線グラフ参照）。この点に意外性を感じる人もいるだろう。米国立薬物乱用研究所（NIDA、メリーランド州ベセズダ）の Nora Volkow 所長によると、複数の世帯調査から、精神刺激薬の使用率が最も高いのは年齢 18 ～ 25 歳の人々と学生であることが示唆されているという。



©2008 NPG Nature Asia-Pacific

使用している薬物についてはメチルフェニデートという回答が最も多く、62％であった。続いて、モダフィニルが44％、プロパノロールなどのベータ遮断薬が15％となっており、これらを重複して使用している回答者がいることがわかる。また、ほかの薬物を使用していると回答した者が80人いた。その中で最も多く用いられていたのは、メチルフェニデートに似たアンフェタミンの一種であるアデロールであった。このほかには、セントロフェノキシン、ピラセタム、デキセドリンや、代替医療で用いられるイチョウ、ω（オメガ）-3脂肪酸といった回答もあった。

このような薬物を服用する理由としては、「集中力を高めるため」という回答が最も多かった。僅差で2位となったのは、「特定の作業に対する注意力を改善させるため」という回答であり（これを集中力と区別するのがむずかしいことは認めざるをえない）、時差ぼけの解消が4位だった。3位は「その他」で、「パーティー」「家の掃除」「前述のCommentary論文の妥当性を実際に確認するため」といった興味深い理由もいくつかあった。

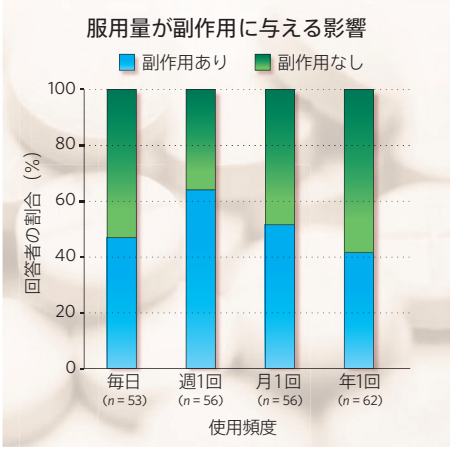
医療目的以外に薬物を使用したことがあるという回答者での薬物の使用頻度は、毎日、週1回、月1回、年1回以下が、ほぼ同じ割合だった。ただし、その約半数が不快な副作用を経験しており、副作用のために薬の使用をやめたという回答者もいた。副作用の経験は使用頻度の低さと正の相関をすると予想する人もいるかもしれないが、今回の調査サンプルについては、そのような相関はないようである（下の棒グラフ参照）。回答に示された副作用としては、頭痛、神経過敏、不安、不眠があった。

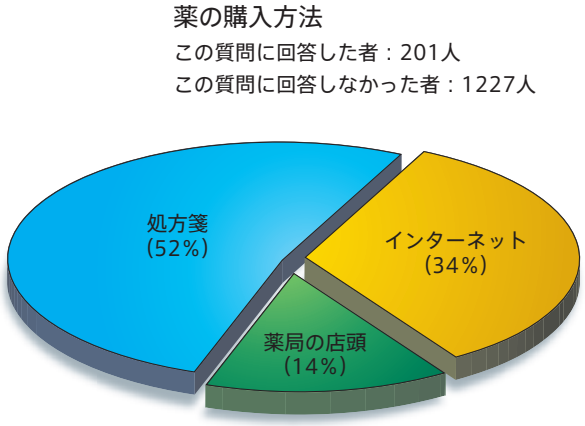
ペンシルベニア大学（米国フィラデルフィア）に所属する神経科学者のAnjan Chatterjeeは、こうした薬物や、神経機能を向上させるその他の製品や方法が利用できるようになれば、その使用量は増えていくと予測している（A. Chatterjee *Cam. Q. Healthc. Ethics* **16**, 129-137; 2007）。美容整形の場合と同様、向知性薬をめぐる生命倫理的問題と心理的問題が解決され（右ページの「懸念の声」参照）、文化的に受け入れられるようになれば、向知性薬の使用量が増えていく可能性は高い。Chatterjeeは、「美容整形と向知性薬の違いの1つに、向知性薬の使用が、外科医のような医療専門家の養成に依存していないことが挙げられます」と指摘する。「インターネットで入手できることも、使用量の大幅な増加につながるでしょう」。

今回のアンケート調査では、医療目的以外に使用された向知性薬の3分の1がインターネットで購入されたものであったことがわかった（下の円グラフ参照）。残りは、薬局の店頭で購入されたものか、処方箋によって購入されたものだった。処方箋によって購入された神経機能改善薬が、本人以外の人物に処方されたものだったのか、別の目的あるいは用量で本人に処方されたものだったのかは不明である。こうした薬物の入手経路を国別に調べたところ、米国ではインターネットからの購入が他国よりもやや少なかった。英国で、この質問に回答した者の数は少なかった（14人）が、13人がインターネットから購入したと回答している。

このアンケートでは、回答者の全員に、神経機能改善薬に対する考え方に関する10項目の質問をした。その結果、回答者のほぼ全員（96％）が、記憶力や集中力に重度の障害のある精神神経疾患の患者には向知性薬を投与するべきだと考えていた。また、健康な成人であっても、必要な時には神経機能改善薬を使えるようにするべきだと考える回答者が全体の80％に達していたが、この数字は意外に思われるかもしれない。さらに、回答者の69％は、自分が神経機能改善薬を使うときには、少しぐらいの副作用のリスクは覚悟するだろうと答えている。

16歳未満の健康な子どもに対する神経機能改善薬の使用を禁止するべきかという質問に対しては、回答者のほとんど（86％）が禁止するべきだと答えた。これは予想通りの結果であった。ところが、回答者の3分の1は、我が子のクラスメイトが神経機能改善薬を服用していたとしたら、我が子にも服用させなければというプレッシャーを感じるだ





©2008 NPG Nature Asia-Pacific

月本佳代美

懸念の声

生命倫理学者は、神経機能改善薬の使用には 4 つの懸念があるとしている。*Nature* の今回のアンケート調査に対する回答は、この分析を裏づけている。

安全性

「軽い副作用が積み重なって、やがて大きな問題となり、依存症を抑えるために、より強い治療法が必要になるかもしれません」

ナイジェリアの 26 ～ 35 歳グループの回答者

信用の失墜

「向知性薬は使いません。それは自分自身を裏切ることであり、私を手本と考える人々を裏切ることだからです」

ガイアナの 25 歳以下グループの回答者

分配の公正

「薬物を入手できない人々は、事実上、不利な立場に置かれてしまいます」

米国の 55 ～ 65 歳グループの回答者

仲間集団からの社会的圧力

「私は、プロフェッショナルとして、自分の能力を人類のために最大限に活用する義務があると考えています。『機能改善薬』が、この人道的な貢献に役立つのなら、それを利用するのが私の義務なのです」

米国の 66 歳以上グループの回答者

ろうとも答えている。Morein-Zamir は、この点を非常に興味深く感じている。「この結果は、子供に対する神経機能改善薬の使用が制限されたら、親のほうが困る可能性があることを強く示唆しています」と彼女は話す。

神経機能改善薬の使用の蔓延や、この種の薬物に対する人々の考え方を深く掘り下げた研究は、ほとんど行われていない。また、神経機能改善薬の効果や長期的な副作用に関するデータも少ない。Volkow によれば、このような研究に資金を提供しているのは米国国防省であり、NIDA は資金を提供していない。Chatterjee は、ペンシルベニア大学（米国）の Martha Farah と共同で、こうした薬物が学生に与える影響に関する小規模な研究を行っているという。

Chatterjee によると、*Nature* が行った今回の調査で最も多くの回答者が使用していた薬物による神経機能改善効果は、極めて弱いようである。彼は、マスコミがこれらの薬物に寄せている過大な関心を「ニューロゴシップ（neurogossip）」とよんでいる。にもかかわらず、アンケート調査の結果は、研究者の間で薬物の使用が広がっていることを示唆していた。Eisen によるエイプリルフールのいたずらはブログからブログへと広がっていったため、どれだけの人がこのいたずらに加担し、どれだけの人がメッセージを額面どおりに受け取ったのかを見分けることはむずかしかった。Eisen は当初、いたずらが目的であったにせよ、ほとんどの人がクスクス笑ってしまうようなばかげたことをしようと思っていた。彼は今、自分が人々の痛いところを突いてしまったのかもしれないと心配している。「実際のところ、ジョークがリアルすぎて、おもしろみが薄れてしまったようです」。 ■

http://tinyurl.com/4huoqr では、このアンケート調査のデータの閲覧とダウンロードができ、読者自身による分析も投稿できる。

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

5 things to know before jumping on the iPS bandwagon

iPS 研究に参入するための基礎知識 5 か条

Nature Vol 452 (406-408) / 27 March 2008

人工多能性幹細胞は胚性幹細胞と瓜二つであるが、作製が容易で倫理上の大きな問題もない。この急激に進展している分野に関して「真」と「偽」を、David Cyranoski が切り分ける。

ILLUSTRATIONS BY C. ALLEN-FLETCHER

生物医学研究と治療に対する可能性、そのうえ作製が簡単という魅力に引き寄せられ、多くの研究者が人工多能性幹細胞（iPS 細胞）研究への参入をうかがっている。成人の細胞から簡単な遺伝学的操作で作られる iPS 細胞は、見かけ上、胚性幹細胞（ES 細胞）の性質、つまり「万能性」を回復しており、人体のあらゆる細胞に分化する能力をもつと考えられている。このコンセプトは極めて魅力的であり、胚を破壊しなければならない治療用クローン作製や ES 細胞研究などの類似研究は中止すべきだと主張する科学者や政治家さえいる。しかし、生物学者にとって、iPS 細胞には、いまだに未知なる「ブラックボックス」が存在する。iPS 細胞研究に多額の資金が投入され、患者の期待が高まる中、一部の専門家は誇大宣伝されているのではないかと考えている。今回 *Nature* は、人々が考える iPS 細胞関連の重要問題を 5 つ取り上げ、その現況を検証する。

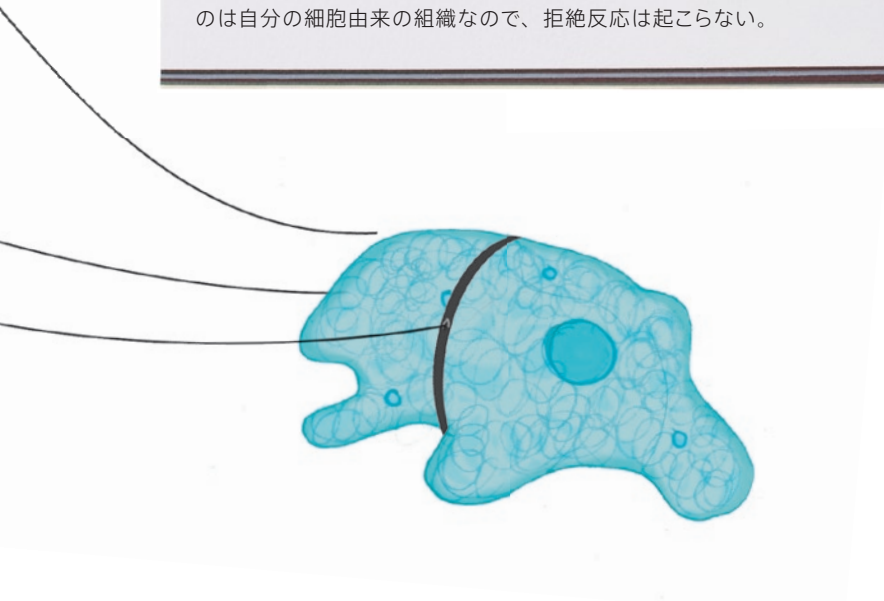
1 誰にでもできる

4 種類の遺伝子で成体マウス細胞が再プログラムされることを

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

iPS 細胞と再生医療

ヒトの体は、1 つの受精卵が細胞分裂を繰り返し、適材適所の遺伝子が機能することで分化してできあがる。細胞は一度分化してしまうと、分化前と同じ遺伝子を保持しているのに逆戻りできない。手や足になってしまった細胞の遺伝子を初期化して、目や心臓を再生することはできないのである。山中らは、皮膚の細胞に 4 つの因子を導入することで、遺伝子の初期化に成功した。つまり、分化してしまった皮膚の細胞が、皮膚だけでなくさまざまな組織に分化できる能力、「万能性」を取り戻したのである。これは、脊髄損傷や心筋梗塞など、細胞が傷つけられたり壊死してしまったりして機能不全に陥った組織を、自分の細胞から作製して移植する医療、すなわち再生医療に大きな前進をもたらした。この場合、移植されるのは自分の細胞由来の組織なので、拒絶反応は起こらない。



京都大学の山中伸弥と高橋和利が発見したとき、2 人はそれを半年にわたって秘密にし続けた。毎週の研究室ミーティングを中止し、高橋は同僚に対してすら自らの研究の真実を語らずにいた。それは、作製プロセスがあまりにも単純だったためである。「もし誰かが見つけたら、あっという間に追いつかれてしまったでしょう」と高橋は振り返る。

山中の「オリジナルレシピ」に載っている *Oct3/4*、*Sox2*、*c-Myc*、それに *Klf4* というよく知られた遺伝子が、その秘密である[1]。これらの遺伝子をウイルスベクターに導入して適切な条件で培養皮膚細胞に加えるだけで、再プログラムされた細胞ができあがるのだ。

しかし、iPS 細胞の作製は、いうほど簡単なものではない。カリフォルニア大学ロサンゼルス校（米）の Kathrin Plath は、再プログラム用遺伝子のそれぞれ（Plath が使用したのは 6 種類）が所定の細胞を生み出す可能性は、15% しかないと見積もる。6 種類すべてがうまく働いたとしても、完全に再プログラムされている可能性は 5% に過ぎない。こうした効率の低さが専門家には課題となっているが、生検材料には何百万という細胞が利用可能であることから、阻害要因とはならない。ハーバード幹細胞研究所（米、マサチューセッツ州ケンブリッジ）の Konrad Hochedlinger によれば、1 番技術を要するのは、再プログラムされたごく一部の細胞を見つけてそれを培養することだという。しかし、この新たな iPS 細胞はなかなか気むずかしく、分化の進んだ細胞に変わっていくのを止めるための適切な培養条件（ちょうど ES 細胞と同じような条件）が必要である。「ヒト ES 細胞を培養するときのノウハウが絶対的に重要なのです」と Hochedlinger は語る。

しかし、この種のノウハウはどんどん一般的なものになってきている。山中の成果は、山中らを含む 3 グループにより、1 年以内にマウスで再現、改良された。そして山中[2] とウィスコンシン大学マディソン校（米）の James Thomson[3] が別々に、初めてヒト iPS 細胞を作製した 2007 年 11 月以降、ほかにいくつものグループがその域に達している。簡単な技術を習得するだけで高額の見返りが期待できるので、多くの研究者がこの分野に群がってくる、と Thomson は話す。「今や世界中が iPS 細胞に取り組んでいるのです」。

現況：（ほぼ）真

2 誰でもオーダーメードの細胞をもつことができる

「治療用クローン作製」（欠損したり損傷したりした組織を、ヒト胚をクローン化した幹細胞を用いて、拒絶反応の危険を伴わずに置き換える治療法）は、1990 年代後半に初めて提唱されて以来、なかなか進展できずにいる。これは主に、ES 細胞の作製に必要なヒト卵の入手が、思いのほか困難なことによる。一方、iPS 細胞は、患者固有の幹細胞を得るという同じゴールをめざして全速力で突進している。

しかし、いつでもすぐにオーダーメード（注文生産）の細胞ができると考えてはいけない。細胞に遺伝子を導入するためのウイルスベクター、それに導入される遺伝子自体の中には、発がん性を示すものがあるのである。カギとなる遺伝子をタンパク質や薬物で刺激したり、遺伝子を安全な方法で細胞に送達したりするなど、代わりとなる方法を発見する競争は激しくなり、おそらくはここ 2 年の間に結果が出るのではないかと専門家は考えている。

しかし、カリフォルニア大学アーバイン校の Hans Keirstead は、「臨床的

ISTOCKPHOTO

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

ILLUSTRATIONS BY C. ALLEN-FLETCHER

に意義のある高純度の細胞集団を作るという、一番の難題は残されたままです」と語る。細胞株の樹立に 2 か月、増殖に数か月、iPS 細胞のコロニーを必要な種類の細胞に分化させるのに数か月、その増殖にも 2 ～ 3 か月、そしてその細胞が腫瘍を形成しないことを確認するのに丸々半年かかるのである。細胞の取り扱いは GMP（医薬品の製造および品質管理に関する基準）に適合した施設で行わなければならず、コストも大幅に増大する。

オーダーメード細胞の利用には「とてつもない巨額の費用がかかることでしょう」と国立病院機構大阪医療センターの脳神経外科医、金村米博は語る。極めて数の少ない患者に特異的な皮膚の移植には現在でも 10 万米ドル（約 1000 万円）かかっているが、オーダーメード細胞はその数倍もかかるだろうと金村は推測する。また、製品まで約 2 年もかかるプロセスも、脊髄損傷のような、損傷を最小限にするために迅速な処置が必要な疾患の治療には、時間がかかりすぎる。

金村の考える解決策は「レディーメイド」（既成品）の iPS 細胞である。今年の 4 月から金村は、山中および慶応大学の岡野栄之と共同で、提供される胎盤と臍帯血の組織から治療にすぐ使える細胞株の国有ライブラリーを整備する。当初はウイルスベクターを使用するが、準備ができしだいウイルスフリー株に切り替えていく計画である。今後 5 年で、iPS 細胞 200 株と、それに由来する神経細胞 200 株の作製をめざしている。

この細胞は患者ひとりひとりに特異的なものではないが、京都大学の中辻憲夫は、50 株を適切に選べば、日本人の 90% に対してほぼ免疫学的に適合する細胞が得られるものと推算する。緊急を要する患者は完全に適合しなくても最も適合性の高い株を利用し、慢性疾患の患者は費用をかけて自身に特異的な株を作ってもよい、と金村はいう。富裕層の中には、いざというときのために自分の iPS 細胞を作り置きしておこうという人がいるかもしれず、こうしたニーズに投資しようという企業は必ず現れるだろう。

現況：（裕福でないかぎり）偽

3 治療は道半ば

iPS 細胞によってもたらされる最初の恩恵は疾患のモデルであり、治療はその次であろう。筋萎縮性側索硬化症患者の運動ニューロンや、心疾患患者の心筋細胞、黄斑変性患者の網膜細胞などは、ディッシュの中でまもなく培養されようになると考えられる。そうした株は、選別された後、疾患の発生が観察され、バイオテクノロジー企業によって予防薬や治療薬を研究に利用されることになるだろう。

なかでも、カリフォルニア大学ロサンゼルス校とハーバード幹細胞研究所は、この目的で iPS 細胞バンクの立ち上げ計画を検討している。ハーバード幹細胞研究所が念頭に置いているのは「神経変性疾患、代謝疾患、心血管疾患、糖尿病といった重要な疾患」であると Hochedlinger は話す。臨床応用は、モデル研究のように、iPS 細胞がどれだけ忠実に損傷した細胞に分化するか、体内に安全かつ効果的に送達する方法が開発されるかどうかに左右されるだろう。既に財団は設立されている。

例えばマサチューセッツ工科大学（米、ケンブリッジ）の Rudolf Jaenisch は、マウス iPS 細胞から作った血球前駆細胞を用い、ヒト型鎌状赤血球貧血のマウスモデルを治療した [4]。細胞移植例の多い血液疾患では早い時期に iPS 細胞が応用されるかもしれない、と Jaenisch はいう。パーキンソン病のサルモデルで ES 細胞由来の神経前駆細胞を研究した京都大学の高橋淳 [5] は現在、ES 細胞と iPS 細胞の双方に由来する神経前駆細胞を用いた臨床治療を研究しており、いずれも 5 年以内に臨床試験を始めたい考えである。

治療用の分化細胞の培養物に未分化の ES 細胞や iPS 細胞が残っているかどうかは、重大な問題である。「ごくわずかでも未分化の幹細胞が移植されると、おそらくたった 1 個の多能性細胞であっても、腫瘍形成の危険が生じます」とカリフォルニア大学サンフランシスコ校の Arnold Kriegstein は語る。今年半ばには、ES 細胞を利用した初めての臨床試験が予定されており、誰もが注目している。これは、ジェロン社（米、カリフォルニア州メンローパーク）が ES 細胞に由来する乏突起神経膠細胞を脊髄損傷患者に移植するものである。「iPS 細胞の応用は、この臨床試験の結果にかかっています」と岡野はいう。

マウスの脊髄損傷治療に iPS 細胞を用いた岡野の未発表の研究成果は、治療への応用を加速させる可能性がある。彼によれば、危険性のある細胞をマウスへの移植前に排除する方法があるのだという。

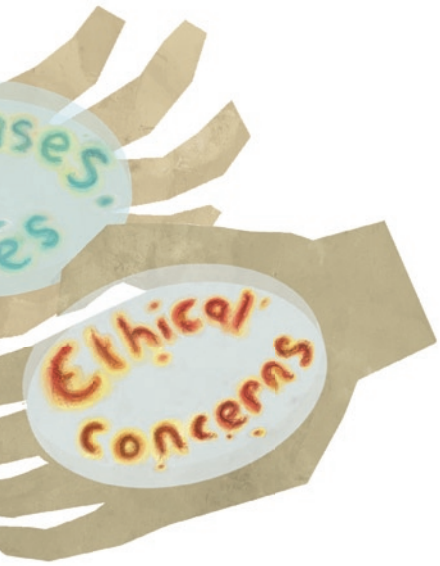
現況：真偽は間もなく明らかに

4 ES 細胞は iPS 細胞と同じである

ヒト iPS 細胞の形態、染色体プロファイル、遺伝子発現を厳密に解析した Plath [6] は、「ES 細胞と iPS 細胞で、今のところ大きな違いはありません」という。

しかし、多くの研究グループは iPS 細胞が ES 細胞と同じように安定的かつ多様に分化するのかどうかという重要な問題を検討し始めており、また誰

©2008 NPG Nature Asia-Pacific



しも iPS 細胞の腫瘍形成の危険性を回避しようとしている。さしあたり iPS 細胞のパイオニアは、2 種類の細胞に特徴的なタンパク質マーカーなど、かすかな手がかりに注目している。しかし Hochedlinger は「マーカーには意味がない」という。例えば、腫瘍細胞の中には多能性のタンパク質マーカーを発現するものがあるが、それが腫瘍細胞以外のものになることはないのである。

そして、iPS 細胞の特性に関するいくつかの論文には矛盾がある。たとえば Thomson は、iPS 細胞について、ES 細胞と似た遺伝子をただ発現するだけではなく、より持続的に発現しているということを見いだした[7]。このことは、ES 細胞よりも分化が予測しやすい可能性を示している。一方、アドバンスト・セル・テクノロジー社（米、カリフォルニア州ロスアンゼルス）の Robert Lanza によれば、iPS 細胞は多様性がはるかに高いという。「ES 細胞ならどれでも、程度の差こそあれ、同じ多能性をもちます。しかし、iPS 細胞では、少数しか多能性マーカーを発現しないものがあったり、すべて発現するものがあったりするので、そこから分化する細胞もやはり異なる性質をもつものと考えられます」」と Lanza はいう。

iPS 細胞株がねらった細胞に分化しているようにみえても、株どうしの差は生じる。ジェロン社の試験に携わる Keirstead は、株ごとに厳密な検査が必要だろうと話す。「腫瘍形成能、分化能、移動性は株ごとに異なり、宿主体内での反応もそれぞれであり、そのため、得られる「製品」も異なります。この前提を踏まえてよく検査する必要があります」。同じ理由から、Plath は、あらゆる試験や薬物探索を複数の株で行うことを勧めている。

iPS 細胞に関しては懐疑論もあるが、カギとなる研究者の多くは ES 細胞よりも好ましい代替物として受け入れている。1998 年に初めてヒト ES 細胞株を樹立した Thomson は、「しばらくすればわかることですが、私には ES 細胞研究の結末がわかっています」と語る。Thomson のいうとおりであれば、これは 1 つの時代の終わりなのかもしれない。「iPS 細胞と ES 細胞が区別できないのであれば、ES 細胞は結局、歴史上の『異端者』になるでしょう」と Thomson はいう。

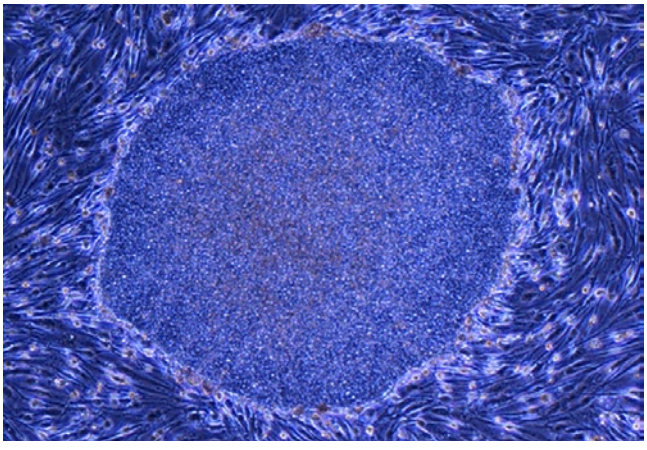
現況：（とりあえず今は）真

5 iPS 細胞には倫理上の問題がない

山中と Thomson がヒト iPS 細胞の作製を発表してから数日後、ブッシュ米大統領はこの研究を「倫理的制約を越えない科学の進歩」の表れと認め、自らの功績でもあるとした。

しかし 1 週間後、山中は *Nature* に対し、「我々は新たな倫理的問題を提起しています。多くの人が秘密裏に実験することができるのですから、より質が悪いのかもしれません」と語った。山中が懸念しているのは、iPS 細胞を使って配偶子（人間の生殖細胞）が作られてしまうかもしれないという点である。例えば、ある男性の iPS 細胞から卵と精子の双方を作り、体外受精に使うことも可能なのである。遺伝子は配偶子形成時に再分配されるため、結果的には完全なクローンとは異なると考えられる。それは「得体がしれなく、また危険性をはらんだもの」と山中はいう。しかし、iPS 細胞から作られた配偶子は不妊治療の需要に応えるものかもしれない。そして、男性の iPS 細胞から卵を作ることは、男性同性愛者どうしの子孫を可能とするかもしれないのである（精子を作るのに Y 染色体の遺伝子が必要なため、女性同性愛者のカップルにはご利益がない）。

こうした不妊治療には安全性の問題がつきまとうと考えられるが、ES 細胞での実験から判断して、すぐには実現しないであろう。卵も精子も、ES 細胞からは既に形態の似たものが作られている。ただ、1 つのグループのみが ES 細胞由来の配偶子（マウスの精子）を作り、正常卵と組み合わせて仔マウスを得ているが、この結果は今後再現性の検証が必要である[8]。



ヒトの iPS 細胞の顕微鏡写真。中央のかたまりが、iPS 細胞の集まり（京都大学山中伸弥教授提供）。

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

iPS 細胞を使って生きたクローン人間を作ろうという取り組みも行われかねない。Jaenisch は、2 細胞胚の細胞を融合させて作った特別仕立ての胚に iPS 細胞を導入して、クローンマウスを作ろうとした。こうしてできた胚を代理母に移植することにより、iPS 細胞の元の個体と遺伝的に変わらない胎児が作られた（無事に生まれたものはなかったが、Jaenisch はたまたまできなかっただけだとしている）。

Jaenisch によれば、この実験を人間で再現することは「原理的には可能」であろうという。しかし、成功するにはおそらく「100 個以上」の胚が必要と考えられ、本当に実行するのは非現実的でばかげている、と付け加える。ただ、クローン化で使う新鮮な卵よりも受精胚の方が入手しやすいことから、一匹狼的な研究者の中にはこれをやってみようとする者があるかもしれない。ある個人から作られた iPS 細胞を受精胚に組み込み、キメラの赤ん坊を作り出すことも可能である。

こうした生殖産業的な戦略は、少なくとも現状の技術では失敗に終わるものと考えられる。しかし、技術革新は日々進歩し、幅広くいろいろな目的で iPS 細胞が利用される可能性があり、危険な実験を監視することはますますむずかしくなっていくだろう。「かつては、生殖補助医療に従事する医師という監視を行う特別の団体がありました。しかし自己規制に大きく依存する米国などでは特に、iPS 細胞の登場により監視はむずかしくなるでしょう」とスコットランド再生医療センター（英、エジンバラ）の Paul De Sousa は語る。

山中の倫理面の懸念は、Paul De Sousa を規制に向けた政府への陳情に動かした。2 月 21 日、文部科学省は、日本のすべての大学と研究機関に対し、「人間や動物の子宮に iPS 細胞から作製した胚を移植すること、そのほかのあらゆる方法を用いて iPS 細胞から人間を作り出すこと、胚や胎児に iPS 細胞を導入すること、それに生殖細胞を iPS 細胞から作製すること」を特別に禁止する通達を発した。

現況：偽（目的による）

iPS 細胞が提起した難題は専門家ではなく、社会が迅速に処理しなければならないと、山中は語る。「私はこの技術を誇りに思いますが、大きな責任も感じています」。 ■

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

1. Takahashi, K. & Yamanaka, S. *Cell* **126**, 663–676 (2006).
2. Yu, J. *et al. Science* **318**, 1917–1920 (2007).
3. Takahashi, K. *et al. Cell* **131**, 861–872 (2007).
4. Hanna, J. *et al. Science* **318**, 1920–1923 (2007).
5. Takagi, Y. *et al. J. Clin. Invest.* **115**, 102–109 (2005).
6. Lowry, W. E. *et al. Proc. Natl Acad. Sci. USA* **105**, 2883–2888 (2008).
7. Yu, J. *et al. Science* **318**, 1917–1920 (2007).
8. Nayernia, K. *et al. Dev. Cell* **11**, 125–132 (2006).

SNAPSHOT

Charged clouds

火山噴火物と稲妻

Nature Vol.453 (267) / 15 May 2008

C. GUTIERREZ/UPI PHOTO/NEWSCOM

9000 年以上も休眠状態にあったチリ南部のチャイテン火山が噴火して、上空約 30km まで火山灰を噴き上げている。噴煙は数百 km にわたって広がっており、隣国アルゼンチンを横切って、大西洋にまで達している (写真は 2008 年 5 月 3 日の真夜中に撮影)。今回の噴火は周辺地域を煤の層で覆い、数千人の住民が避難を余儀なくされ、火山から 10km 離れたチャイテンの町も埋没の危機に瀕している。火山噴出物はシリカ（二酸化ケイ素）を多く含んでおり、硫黄粒子は少ない。そのため、この噴火が気候に大きな影響を及ぼすおそれはない。

火山の噴火を観察する科学者たちは、数十年にわたってこの写真のような稲妻を見てきたが、その起源は完全には解明されていない。アラスカの火山の研究からは、クレーターから噴出する火山灰粒子が強く帯電していることが明らかになっている（R. J. Thomas *et al. Science* **315**,1097;2007)。専門家は、これらの「黒い雷雨」の背景にも同様の粒子があると考えている。 ■

Geoff Brumfiel

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

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。

熱波によって干上がった農業用のため池。2003 年 8 月南西フランスで撮影。

AFP=時事

A LONG DRY SUMMER

「特集：水」より

長く乾燥した夏

Nature Vol.452 (270-273) / 20 March 2008

現在、安定した食糧供給が期待できなくなっている地域では、今後、不安定な気候が、土壌、植物、人々に対してさらなるストレスをかけることが予想されている。Quirin Schiermeier が、乾燥していく世界の水戦略について報告する。

2003 年にヨーロッパを襲った記録破りの熱波には、前兆があった。その年の春は異常に乾燥しており、ヨーロッパ大陸全体の土壌がカラカラに乾いていたのである。土壌含水量の不足は、土壌からの水分蒸発と、それに伴う冷却効果を激減させて、夏の猛暑を引き起こした。

気候学者は、今世紀の後半には地球規模で温度が上昇するため、夏の猛暑と干ばつは例外ではなく常態になると考えている。また、ヨーロッパで年初から土壌含水量が急激に低下することは、その年の夏に熱波に襲われる前兆であるとされている [1]。そこには、暑さが土壌を乾燥させ、乾燥した土壌が暑さをエスカレートさせるという悪循環が生じているようである。

土壌含水量の変化は、ほかにも影響を及ぼしている可能性があり、土壌浸食、表土流出、土壌の栄養分、雲の形成などへの影響が考えられている。しかし、気温の上昇が土壌の乾燥に及ぼす影響については、いまだに非常に不確かである。気候モデル作成者たちは、アフリカと南米に関しては、シミュレーションした変化の徴候に確信をもつことができずにいる。

「私たちは、気候が変動しやすくなり、一部の地域で乾燥が進むおそれがあると教えられています。けれども、その詳細についてはほとんど知らされていないのです」と、水文学者であり、水管理の専門家である、ストックホルム国際水研究所（スウェーデン）の Malin Falkenmark はいう。それにもかかわらず、Falkenmark はほかの水文学者とともに、気候の変化に応じて水管理の方法を変えていくことを勧告し、ようすをみる時期は終わったとよびかけている [2]。

「今後、気候の変化がどのように進んでいくのか、はっきりしたことはわかりません。けれども、変化が起こりつつあり、何らかの準備が必要であることについては、もはや疑問の余地はないのです」と Falkenmark はいう。「例えば、一部の乾燥地域では、河川の流量が最

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

大で 40 パーセントも減少する可能性があります。それなら、水資源計画の手法を変えていかなければなりません。実際にそうなるまで待っているわけにはいかないのです」。

現在の気候モデルからは、雨量は増加するが、降雨回数は減少すると予測されている。これは、土壌含水量が極端に少なくなる期間が長引くことを意味している。北米、ヨーロッパ、アフリカ南部、オーストラリアなど、複数の地域での観察結果は、1 回ごとの降雨はより激しくなり、その間の乾燥した期間はより長くなるという傾向を裏づけており、この傾向は夏に強まることがわかっている[3]。

土壌含水量を把握する

土壌含水量の観測からは、はっきりした傾向はみえにくい。土壌は、山岳の氷河や極地の氷床などに比べて、地球温暖化に対して柔軟に応答しているようである。土壌含水量についてすぐれた観測データがある地域はほとんどないが、科学者たちが 45 年にわたって土壌含水量を測定してきたウクライナなどでも、土壌含水量の大幅な減少傾向を示唆する証拠は見つからなかった。

米国国立大気研究所（コロラド州ボールダー）の気候研究者であり、「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」の筆頭著者である Jerry Meehl は、「土壌含水量は、容易に測定できる量ではないのです」と話す。「大陸中央部で夏季の土壌乾燥が強まることを IPCC が最初に予測したのは、20 年近く前のことでした」。けれどもその後、IPCC の予測を支持する観測も否定する観測も行われていないため、この分野の科学はほとんど進展していない。

どの気候モデルも、2050 年以降は南極大陸を除くすべての大陸で夏季の土壌乾燥が強まると予測している。しかし、どの地域で、どの程度の変化が起こるかについては、モデルによって予想が大きくくい違っている（下の地図を参照）。また、Falkenmark らの水管理の専門家が関心をもっているのは河川流域またはそれより小さなスケールでの土壌含水量であるが、どのモデルも、このスケールで予測ができるだけの水準には達していない。

あいまいさが生じる主たる理由は、降雨モデルの構築が、気温モデルの構築に比べてはるかにむずかしいからである。降雨を制御する過程（雲や水滴の形成など）のスケールは、既存の気候モデルが用いるスケールに比べて非常に小さい。土壌もまた、場所による違いが大きすぎて、現在のモデルでは適切に再現することができない。最後に、降雨、蒸発、二酸化炭素の濃度、植物の成長と土壌含水量の間の複雑な相互作用をコンピューターで処理するのは容易ではない。

土壌含水量と降雨は相互に影響を及ぼし合うため、モデルを改良するためにはよりよい土壌データが必要不可欠である。しかし、世界の土壌は、気温や降雨ほどは観測されていない。現地での観測はほとんど行われておらず、観測が行われている地域もまばらである。複雑な相互作用を解きほぐすためには、科学者は、土壌含水量を直接かつ連続的に測定する方法を考案しなければならない。

そこで期待されているのが、人工衛星を利用した観測である。欧州宇宙機関（ESA）も米航空宇宙局（NASA）も、ESA の ERS-1 衛星と ERS-2 衛星の任務を拡大して、土壌含水量を観測するミッションを計画している。計画されているミッションで搭載されるマイクロ波センサーは、地球のほぼ全域をカバーし、土壌含水量をリアルタイムで測定することになる。植生の密度が高く、土壌が隠れている地点では、緑の多さを土壌含有量の代用とすることができる。

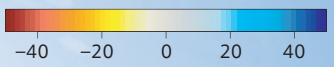
その一方で、コンピューターの処理能力の向上は、研究者がモデルを改良することを可能にしている。エクセター大学（英国）の気候モデル作成者である Peter Cox は、現在のモデルにまだ改良の余地があることを認めている。例えば、現在のモデルには、個々の熱帯低気圧のモデルを構築できるほどのきめの細かさはない。しかし Cox は、一部の局所的モデルは、かなり細かくなってきていると指摘する。

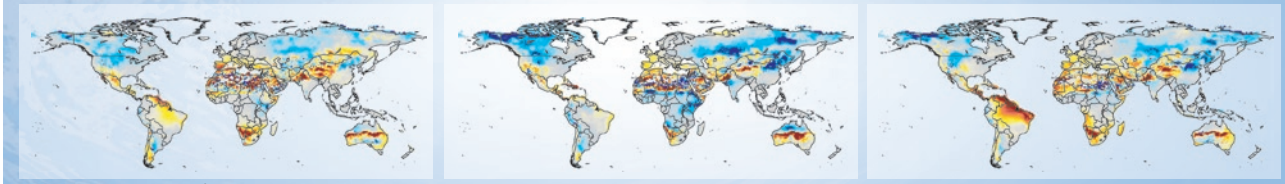
「ポイントは、さまざまな情報源を用

気候モデルが予測する土壌含水量

3つの地図は、温室効果ガスの排出量の予測によって、1960-90年と比較した2068-98年の土壌含水量がどのように変わってくるかを示している。それぞれの地図は異なる気候モデルに基づいており、ポツダム気候影響研究所の科学者により、世界の植生と水のモデルに関する同一のモデルを用いて作成された。

年間平均土壌含水量のパーセンテージ変化
（2068-98年 対 1960-90年）





マックス・プランク気象研究所　米国大気研究所　ハドリー・センター

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

熱を感じる：2003 年にヨーロッパを襲ったような干ばつの頻度は、今後、増加していく可能性がある。

ロイター / アフロ

い、これらを組み合わせて、大域的なデータセットを構築することにあります」と Cox はいう。「気候モデルと人工衛星による観測のスケールと解像度が一致してくれれば、気候モデルに衛星観測データを取り入れて、より強力にすることができるのです」。

一般の人々は通常、水不足と聞けば飲み水がなくなることを考える。けれども、世界的な水不足がもたらす主要な問題は、渇きではなく飢えなのである。一般に、土壌含水量が低下することは、干ばつの危険が増すことを意味している。ゆえに、水不足の危険にさらされているすべての地域の作物を管理するためには、予想される土壌含水量の変化をモニターし、理解することが必要不可欠なのである。

研究者は、気候変動により最も厳しい影響を受けるのは、湿潤気候から乾燥気候への移行帯であると予想している。極めて湿潤な地域では、土壌含水量が常に多く、蒸発と降雨は土壌含水量にほとんど影響されないし、極めて乾燥した領域では、蒸発量が少なすぎて、いずれにせよ、たいした降雨はないからである。

世界気候研究計画が進めている全球陸地 - 大気連結実験のマルチモデル研究は、現時点で最もすぐれた見積もりの 1 つであるが、これによると、土壌含水量と降雨を連結するホットスポットは、北アメリカ、サハラ砂漠以南のアフリカ、およびインド北部の平原にあるという[4]。これらの地域、特にサヘルからアフリカの角にかけての「ハンガー・ベルト（飢餓地帯）」は、気候変動の影響を最も受けやすく、干ばつや洪水の頻度の増加や土壌浸食の加速などが懸念されている。

土壌は、植物の根の周りに雨水を蓄える。河川や湖や地下水として蓄えられる水が「ブルーウォーター」とよばれるのに対して、こうした水は「グリーンウォーター」とよばれている。通常、乾燥した地域では、「ブルーウォーター」は非常に少なく、しばしば水収支の全体の 10 パーセント未満しか占めていない。灌漑が普及していない熱帯およびサバンナ地方のすべての天水農業は、ほとんど降らない雨を蓄えるのに土壌の能力に依存している。

1990 年代初頭に「グリーンウォーター」という用語を作った Falkenmark は、「『グリーンウォーター』は、干ばつが起こりやすい地域の水と食糧の安全を守るためのかぎとなります」と指摘する。けれども専門家たちは、世界のサバンナ地帯（すべての大陸に存在する、中等度に湿潤な地域から乾燥した地域）に降る雨のうち、生産的に利用されているのは 10 ～ 30 パーセントにすぎないと考えている。

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

食糧の供給が不安定な地域の水不足に気候の変化が及ぼす影響は、しだいに明白になってきている。最近、Falkenmark をはじめとする各国の専門家たちは、「人間が気候や水にこれだけ干渉している以上、給水管理については（人間の影響を考えずに）自然の変化のみを考えていればよいという考え方は、もはや通用しない」と宣言した[2]。発展途上国が現在必要としているのは、第 2 の『緑の革命』である。その目的は、「グリーンウォーター」の管理法を改良し、土壌を保全し、長期にわたる乾燥から作物を守って、作物の収穫量を増やすことにある。

もちろん、「グリーンウォーター」と「ブルーウォーター」は別々の資源ではない。灌漑は、「ブルーウォーター」を「グリーンウォーター」に変える技術である（下の写真を参照）。しかし、乾燥した地域では、ダムなどの技術により水の有効利用を進めていくのは困難である。「ですから、大部分の水技術者が、もっぱら『ブルーウォーター』のことばかり考えているのは、非常に困ったことなのです」と、Falkenmark は語る。

アフリカの乾燥地域で「グリーンウォーター」を蓄えるためには、農民は、より土壌にやさしい方法で畦を作るなどして、乾燥した期間の後に降った雨が土壌に浸透できるようにする必要がある。ラテンアメリカでは、すでにこの方法により収穫量を増やしている。専門家は農民に、流去水（地中に吸収されずに流れる雨水）を蓄えておき、作物の生育期の乾燥した時期に使用するように勧めている。

「グリーンウォーター」へ

気候の変化がなくても、サバンナ地帯の雨は不規則である。例えば、サハラ以南のアフリカでは、「雨の多い」年にも乾燥した時期があるのが普通である。「アフリカの『雨季』とは、雨が降ることが可能な季節という意味であり、雨が降る季節という意味ではないのです」と、Falkenmark はいう。

土壌含水量と「グリーンウォーター」にとって、局地的な降雨の頻度と強度は、少なくとも総雨量と同じくらい重要である。大雨は、カラカラに乾いて硬くなった土壌には浸透することができない。研究者たちは、水および土地利用を効率よく管理することができなければ、影響を受けやすい地域では降雨の変動が大きくなり、流去水、浸食、植物が受ける水ストレス、洪水などが増加するおそれがあると警告している。

どの気候モデルも、地球温暖化の結果、蒸発から降雨を経て流去に至る水循環の全過程が増幅されると予測している[5]。全世界の陸地、特に、北半球の一部や熱帯領域への降雨量はわずかに増加し、豪雨として降る雨の割合が高くなる。

マックス・プランク生物地球化学研究所（ドイツ、イェーナ）に所属する炭素循環の専門家である Markus Reichstein は、より極端な降雨が生態系に及ぼす影響について検証した。彼は、流去水から土壌蒸発や栄養分の利用可能性まで、生態系のすべてのレベルと過程が影響を受ける可能性があると指摘する。15 名の研究者からなる学際研究チームは、その未発表の総説において、変化はすべての気候帯に影響を及ぼすが、一部の生態系はほかの生態系とはまったく異なる応答をするかもしれないと結論づけている。

温暖化する世界で植物が生き抜いていくためには、水分と栄養分の利用可能性の変化に適応する能力が不可欠になるかもしれない。生態学者は、変化がある閾値を超えると、植物がストレスを受けるようになると考えている。しかし、この閾値は生態系ごとに異なっているため、気候の変化に対する植物の反応にもばらつきがある可能性がある。

一般に、土壌に含まれる水分の利用可能性は、植物の成長と光合成に制約を課す。しかし、土壌中の栄養分の利用可能性は、乾燥した時期に増加する。乾燥は、栄養分の無機化よりも、植物による栄養分の取り込みを厳しく抑制するからである。

それでも、すべての乾燥気味の地域において、より極端な降雨は、作物や

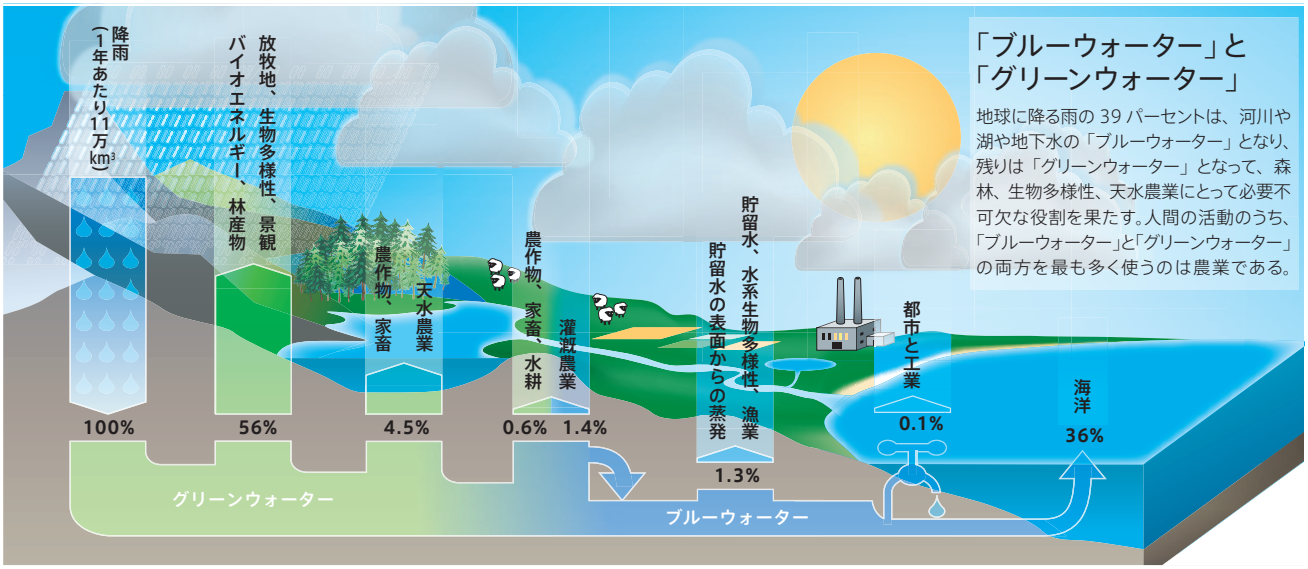
R. KAUTSKY/AZOTE IMAGES

タンザニアのこの灌漑システムは、乾燥している時期の給水を補うために雨水を蓄えるようになっている。

ISTOCKPHOTO

南アジアやアフリカ南部では気候変動によって、トウモロコシなどの作物が最も影響を受けやすい。

©2008 NPG Nature Asia-Pacific



SOURCE: INTERNATIONAL WATER MANAGEMENT INSTITUTE

植生のストレスを増大させると科学者は考えている[6]。残念ながら、こうした地域は、食糧生産が不安定な人口稠密地域でもある。サハラ砂漠以南のアフリカでは、乾燥した時期が長くなれば植生に悪影響が出て、灌漑により水を補給しなければ作物の収穫量も減少するだろう。

品種改良の問題

気候の変化に適応するにはどうすればよいのだろうか？　2003 年にヨーロッパを襲った熱波が一部の国々の収穫量を 50 パーセント以上も低下させたことは、豊かな国々も地球温暖化の影響を免れることはできず、変化に適応していく必要があることを示している。しかし、気候の変化が、貧しい国々の食糧の安定供給に対してはるかに大きな脅威となることは明らかである。

専門家は、発展途上国では貧困のために天水農業が不可能になる傾向があると警告する。貧しい農民が作物のために投資することができないならば、外国からの投資援助や低利の融資が必要である。

最近、食糧供給が不安定な 12 の地域について気候が収穫量に及ぼすリスクが分析された結果、南アジアとアフリカ南部におけるアブラナ、トウモロコシ、小麦などの作物が最も影響を受けやすいことが明らかになった。論文の著者らは、農業への投資と適応のための努力をこれらの作物と地域に集中させることを提案している[7]。

この論文の著者の 1 人であり、スタンフォード大学（米国、カリフォルニア州）の農業生態学者である David Lobell は、「我々は、大きな問題に直面しています」といい、植物の品種改良を進めるための研究資金が不十分であると警告する。

彼は、「高温と干ばつに強い新しい品種を緊急に開発しなければなりません。また、トウモロコシだけでなく、ほかの作物も必要です」と話す。「我々は、懸命かつ迅速に取り組む必要があります。農民たちが新しい品種を採用するまでには 15 年もの開発努力が必要になる場合もあることを忘れてはなりません」。

しかし、国際水管理研究所（スリランカ、コロンボ）の研究ディレクターであり、IPCC に似た農業のための国際機関である「開発のための農業科学技術国際評価（IAASTD）」の筆頭著者である Deborah Bossio は、まずは水と土地の管理に対する投資がなければ、作物を適応させる努力の一部は無駄になってしまうと指摘する。

南アジアとサハラ砂漠以南のアフリカでは、水への投資が特に重要であると Bossio はいう。その際には、貯水と配水の方法について、極めて小規模のもの（土壌に蓄えられる水分やため池）から、共同体で貯水池を作る計画まで、あらゆる可能性を考慮する必要があると彼女はいう。

けれども Bossio は、農作物ばかりを重視していると、農作物と家畜のどちらに優先的に水をまわすべきかをめぐって争いになり、気候の変化の影響をさらに受けやすくなるおそれがあると警告する。「水不足に脅かされる地域の生計にとって、家畜は常に非常に重要な構成要素だったのです」と彼女はいう。水不足への適応に関しては、人命に影響を及ぼすすべての構成要素を考慮していかなければならない。 ■

Quirin Schiermeier は、ミュンヘンに拠点を置く *Nature* の記者である。

1. Fischer, E. M., Seneviratne, S. I., Lüthi, D. & Schär, C. Geophys. Res. Lett. **34**, L06707 (2007).
2. Milly, P. C. D. *et al. Science* **319**, 573-574 (2008).
3. New, M., Todd, M., Hulme, M. & Jones, P. *Int. J. Climatol.* **21**, 1889-1922 (2001).
4. Koster, R. D. *et al. Science* **305**, 1138-1140 (2004).
5. Intergovernmental Panel on Climate Change in *Climate Change 2007: The Physical Science Basis* 760-789 (Cambridge Univ. Press, New York, 2007).
6. Porporato, A., Vico, G. & Fay, P. A. *Geophys. Res. Lett.* **33**, L15402 (2006).
7. Lobell, D. B. *et al. Science* **319**, 607-610 (2008).

水特集についての詳細は、www.nature.com/news/specials/water/index.html を参照してください。

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

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。

Frozen futures

凍土に眠る未来

Nature Vol.452 (404-405) / 27 March 2008

左の建物は、ノルウェー領スバールバル諸島最大の島、スピッツベルゲン島にある世界種子貯蔵庫の入口。

北極圏の永久凍土の中に「世界滅亡の日に備える地下貯蔵庫」が作られた。この施設は、世界各地にある種子バンクのバックアップとしての役目を果たすものだ。しかし、食用の植物や動物の多様性を守っていくためには、これだけでは十分ではない。Michael Hopkin 記者が報告する。

AFP= 時事

世界滅亡の日に備える地下貯蔵庫は、その役目にふさわしく世界の果てにある。ノルウェーのスバールバルに向かう飛行機に乗り込むと、ほかのどんな民間航空路線よりも北へ飛び、北極点から 1000 キロメートルの圏内に到着する。スバールバル諸島にあるスピッツベルゲン島は美しいが寂寥としており、現在ここには、鉱山関係者、ホテル経営者、北極研究者らわずか 2000 人が暮らしている。しかし、あと数年のうちに約 150 万品種の作物の種子もここに加わることになる。

2008 年 2 月 26 日に、当局関係者、政治家、科学者、報道関係者からなる少人数のグループがこの島に集まった。そして、北極圏の凍った山腹を深く掘って作られた、氷で覆われたトンネルをくぐり抜け、「スバールバル世界種子貯蔵庫」に種子を初めて運び入れた。今後 4 ～ 5 年かかる種子収集が終わると、人間が日常的に栽培し食糧としている 150 種の作物の知られるほとんどすべての品種の種子が、この地下貯蔵庫に集められる。その中には、10 万品種の米も含まれる。米は世界で最も重要な主食であり、世界中の人間が摂取するカロリーの 20％以上をまかなっている。

作物の生物多様性の保存は早急に取り組む必要がある。「気候変動に関する政府間パネル」（IPCC）は、植物種の 25 ～ 30％は次世紀に絶滅するか、絶滅の危険にさらされると予測している。スバールバル貯蔵庫の種子収集を企画推進する「世界作物多様性トラスト」の Cary Fowler 事務局長は、「作物の多様性は日々失われており、騒がれることもなくひっそりと消えていっています」と訴える。「そういう意味では、本当に毎日が滅亡の日といえます」。

この貯蔵庫は、ノルウェー政府が 4500 万クローネ（約 9 億 2000 万円）をかけて建設したもので、内部は種子貯蔵に最適なー 18℃に冷やされている。スバールバル諸島に作られた理由の 1 つは、貯蔵庫を永久凍土の中に設ければ、予想外の事態が将来起きても、外界から隔離されて低温状態が保たれると考えられたからだった。

スバールバル貯蔵庫で保管する種子は、世界各地に約 1400 施設ある既

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

存の国営種子バンクや地域の種子バンクがすでに保管している種子と同じものになる予定だ。貯蔵庫には「世界滅亡の日のための貯蔵庫（Doomsday vault）」というよび名がついているが、これは、世界各地の種子バンクが停電、洪水、戦争といった不測の事態に見舞われた場合に予備の保管庫の役目を果たすからである。「この種子貯蔵庫を10年前に作っていたら、少なくとも10回は使われていたことでしょう。例えばイラクやアフガニスタンでは遺伝子（種子）バンクが消失してしまいました」とFowlerは話す。いってみれば、スバールバル貯蔵庫は予備の「保険」なのだ。

しかし、どんなにうまく計画し運営したとしても、スバールバル貯蔵庫だけでは絶滅の危機にさらされている世界中の生物資源（食用であれ、それ以外であれ）を保存することはできない。数十億人が食用としたり生計の手段としたりしている家畜品種や、作物および家畜と併存する複雑な生態系を保存するには、1つの種子貯蔵庫ではとても足りない。これらを保存し、人類の食糧供給を確実にするには、北極圏の地下貯蔵庫よりも大がかりな計画が必要だろう。とはいえ、「地球滅亡の日のための貯蔵庫」の手法は、種子以外の資源の保存をめざす人々にヒントを与えてくれるかもしれない。

スバールバル貯蔵庫は、英国のキュー王立植物園が進めている「ミレニアム種子バンク・プロジェクト」と理念を同じくする。この英国の種子バンクは、大邸宅の温暖な庭園に設けられており、凍った山を掘って作られた貯蔵庫ほど大がかりではない。しかし、この英国の貯蔵庫は、世界中から集めた種子を保管する施設としてはスバールバル貯蔵庫以外で唯一のものであり、一部の作物を含む2万4000種以上の野生植物を保存することをめざしている。しかし、スバールバル貯蔵庫とミレニアム種子バンクを合わせても、世界の植物種のほんの一部しか保存することができない。

動物については手つかず

動物の「予備」の保存は、植物以上に困難な課題である。冷凍保存の専門家であり、米国ノースカロライナ州にある非営利組織「アメリカ家畜品種保護団体」（ALBC）の元事務局長であるDon Bixbyは、「動物の素材を冷凍保存することに比べたら、ハツカダイコンの種子1000個を冷凍保管することなど造作ありません」と話す。しかし、多様性減少の問題は家畜でも作物の場合と同じくらい大きな問題である。2007年の国連食糧農業機関（FAO）による調査で、記録されている牛、豚、羊、家禽の在来品種7600種のうち20％は絶滅の恐れがあり、また、9％はすでに絶滅していることがわかった。

こうした結果に至った主な原因は、生産量の高い家畜品種の比率が増えたことにある。その一例が、白黒模様でおなじみのホルスタイン種の乳牛で、現在120か国で飼育されている。国際的な品種改良企業はこうした品種の販売促進に努め、生産量を上げたい農家も進んでそれらを採用してきた。世界に約10億頭いるホルスタインは、突き詰めれば、わずか数十頭の雄牛の子どもである。これらの雄牛は、生まれてくる娘の乳生産量が多くなるように品種改良されたもので、その精液は集めて冷凍され、世界中に売られている。「私たちが扱っているのは、全部でわずか30～35頭から成るたった1つの有効集団ということです」とBixbyは話す。これは「非常に憂慮すべき数字」である。どの乳牛も同質であれば、地域的な乾燥気候に適応することもなく、病気への耐性をもつこともないからだ。

絶滅の恐れのある家畜を対象に、スバールバル種子貯蔵庫のような施設を作ることはできるのだろうか。それはなかなかむずかしい問題だ。植物の種子は通常、冷凍後も発芽が可能だが、動物の精子や卵子や胚はデリケートで、種子に比べて冷凍による損傷をずっと受けやすい。しかも、それぞれの種に特有の生理特性に合わせて冷凍保存法を改良しなければならない。牛の精子の保存には成功している。「50年間保存された精液でも子牛を産ませることができます。しかし、ほかの多くの種では、生きた動物個体を再び作り出せる素材の保存はまだ実現していません」とBixbyは話す。

スバールバル種子貯蔵庫の動物版の開発に希望をつなぐものがあるとすれば、米農務省が展開している国内各地の動物組織バンクからなるネットワークがそれかもしれない。米農務省はすでに、国内にいるすべての家畜品種から生殖用素材を収集する取り組みを行っており、その主な目的は、将来の食糧生産を維持するのに役立つ遺伝子の保存である。この取り組みは、世界の生物資源の保存に大いに役立つ可能性がある。米国には、有用な形質を備えた動物を輸入して品種改良を行ってきた歴史的経緯があり、その結果、多くの外国産品種が米国に集まっているからである（こうした過去の行いは、現在であればバイオパイラシーすなわち生物資源の盗賊行為とみなされるだろう）。ただし、米国の動物組織バンクは、動物の多様性の世界的な貯蔵庫となるようには作られておらず、そうした貯蔵施設を別の場所で始動させるという話も今のところない。

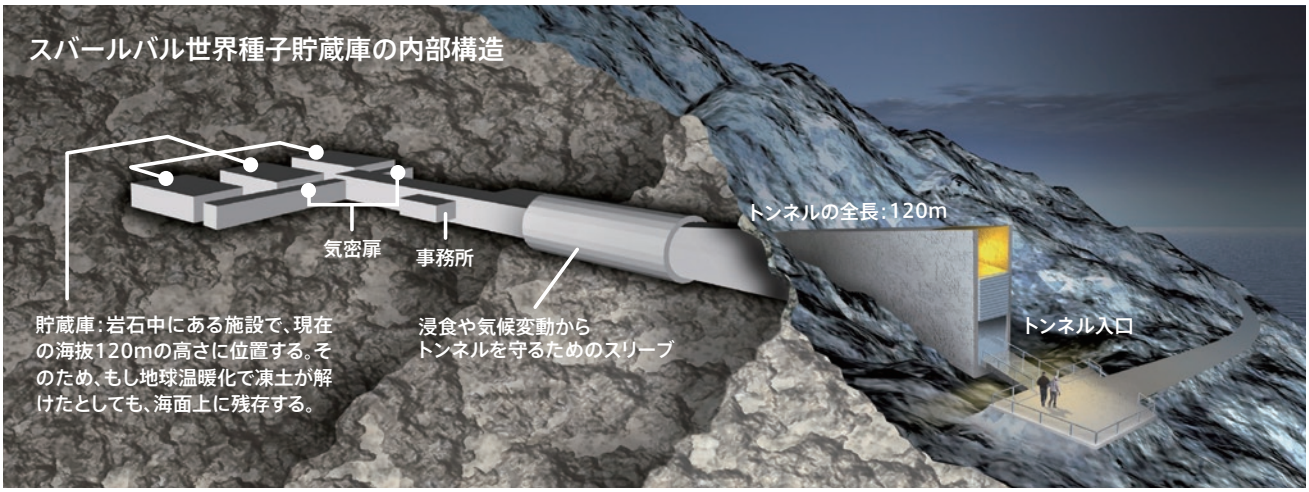
しかし、冷凍バンクでは完全な解決にはなりえず、野生生物の保存の場合もそれは同じである。野生生物の場合、冷凍保存素材を使った繁殖は最後の手

CIMMYT

インドネシアのバリ島の米も、スバールバル種子貯蔵庫へ送られる150万品種にはずだ。

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

NEWSCOM



段とみなされている。取り巻く自然環境も消えてしまっていたら、冷凍した種子や胚から植物や動物を生き返らせてもほとんど意味がないというのがその理由だ。「野生生物の保全においては、単にアザラシ 1 頭やウズラ 1 羽を保存するだけでは不十分なことが、15 年か 20 年前にはっきりと認識されています。それらの生物が生きている生態系も保存しなければならず、多くの場合、家畜や食用植物にもこれが当てはまります」と Bixby は話す。

しかし農業は、本質的に人工的なものであるという理由で、生物資源保存の取り組みから除外されることが多い。一部の人たちは、在来の作物や家畜とそれを取り巻く生態系を保全するのに、有機農法が役立つと考えている。

スバールバル種子貯蔵庫の創設は、ほぼあらゆる方面から好意的に受け止められている。しかし、その支持者でさえ、世界滅亡の日以降に備えて既存の生物多様性を保存するには、この貯蔵庫では十分でないことを認めている。そうした支持者たちは、いかなる脅威にも耐えられる品種を作り出すことで、差し迫った厄災に耐えられるようにする取り組みも必要だと主張している。

英国の国際開発省（DFID）の首席科学顧問である Gordon Conway は、バイオテクノロジーの手法は生物多様性を守るのに役立つはずだと主張する。バイオテクノロジーを使うことにより、乾燥耐性などの貴重な形質をもたらす遺伝子を、従来の品種改良よりも短時間で、1 つの品種から別の品種へ移し入れることができると彼はいう。Conway はその例として、Ug99 という甚大な被害をもたらす新型の小麦サビ病菌をあげた。Ug99 は現在、東アフリカからインド亜大陸へと広がりつつある。国連は 3 月に、イランでも Ug99 が検出されたことを報告している。

サビ病に感染しやすい小麦品種と、Ug99 耐性遺伝子をもつ天然の変異系統を交配させる取り組みが、現在行われている。「この耐性遺伝子をアジアの品種に入れる必要があり、しかも早急に事を運ばねばなりません」と Conway は話す。この意味では、時に問題視されることもある遺伝子組み換えなどの技術を、環境保護論者も受け入れる必要があると彼はいう。

スバールバル貯蔵庫の創設者たちは、保管してある種子を将来、遺伝子バンクとして使おうとは今のところ考えていない。しかし、この貯蔵庫は「基本計画に含まれる唯一の要素ではない」と Fowler は話す。世界作物多様性トラストは、貯蔵庫を管理するほかに、2 億 6000 万ドル（約 270 億円）以上の活動資金を集めた。その多くは、品種改良によって丈夫な作物を作り出したり、国営や地域の種子バンクを強化したりするプロジェクトに使われる予定である。資金を提供したのは、ビル・アンド・メリンダ・ゲーツ財団、英国国際開発省、デュポンをはじめとする大手の農業バイオテク企業などで、最近になってノルウェー政府もそこに加わった。植物の品種改良の実効性を上げるために、利益を追及する農作物関連多国籍企業はもちろんのこと、ロックフェラー財団などの国際的慈善団体も活動しており、世界作物多様性トラストもここに参画することになる。

こうしたことから、農場は食物の多様性を守る闘いの場といえる。農場は、現在多くの食用品種が育つ場所であり、また理想をいえば、そうした品種が完全な形で保存されるべき場所である。身を切るような寒さの中でスバールバル貯蔵庫の開所式に出席した人々には、貯蔵庫を覆う氷がいつか解けるなどという想像はとてもできなかった。そして、氷が解けなければ、それにこしたことはないだろう。結局のところ、「保険がおりる」ような事態になることをだれも望んではいないのだから。 ■

Michael Hopkin は *Nature* のロンドン駐在のシニア記者。

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

Blood lines redrawn

血球分化の系列図を修正

Thomas Graf

血球の形成過程は複雑である。ここ数年間、多数の研究者によって盛んに研究が行われてきたが、最新の研究によれば、教科書にも載っている従来の過程に書き直しが必要になりそうだ。

Nature Vol.452 (702-703) / 10 April 2008

血液の主な有形成分は、赤血球、白血球、血小板と、一見ごく単純である。突きつめると、これらの成分はすべて、共通の細胞供給源である造血幹細胞から生じたものである。また、白血球には免疫防御という共通の一般的機能がある。しかし白血球には、赤血球や血小板に比べて特殊化した非常に多様な細胞種があり、それらを生み出す中間段階のさまざまな前駆細胞については、まだ少しばかり謎に包まれている。

Nature 2008 年 4 月 10 日号 p. 764 と p. 768 で、Bell および Bhandoola[1] と、和田はるかたち[2] は、血球の分化に関するこれまでの定説に見直しが必要なことを示す、決定的な証拠を提示している。今回の 2 つの研究結果とこれまでの研究成果を考え合わせると、血球分化がリンパ球系と骨髄球系の 2 系列に分けられるという従来の定説が当てはまらないことが明らかとなった。ただし、この新説の真価を見極めるには、系列図に登場する各種の細胞とその機能について、もっと詳細な情報が必要である。

免疫細胞には、自然免疫にかかわるものと獲得免疫にかかわるものがある。自然免疫系を構成する細胞は、ナチュラルキラー（NK）細胞、単球 / マクロファージ、顆粒球（好中球、好酸球、好塩基球など）、肥満細胞、樹状細胞である。獲得免疫系を構成する細胞は大きく 2 群に分けられ、抗体を産生する B 細胞と、2 種類の T 細胞からなる。2 種類の T 細胞とは、細胞傷害性 T 細胞とヘルパー T 細胞で、それぞれの特徴として前者は細胞表面タンパク質 CD8 を、後者は細胞表面タンパク質 CD4 を発現している。

これまでの定説では、NK 細胞、B 細胞、T 細胞はリンパ球系造血系列で生じ、赤血球や血小板などのほかの血球はすべて骨髄球系の系列で生じると考えられてきた。特に T 細胞は、骨髄で分化するほかのほとんどの血球と異なり、骨髄で生じた後、胸郭上部の小さい臓器である胸腺で成熟する。

こうした定説が生まれたのは、1997 年にリンパ球系共通前駆細胞（CLP）が報告されたこと[3] がきっかけだった。その報告によると、リンパ球系共通前駆細胞からは NK 細胞だけでなく B 細胞や T 細胞も産生されたが、骨髄球系の細胞は生じなかった。この 3 年ほど後に、同じ研究グループが骨髄球系共通前駆細胞（CMP）を見つけ[4]、リンパ球系細胞と骨髄球系細胞へ対称的に枝分かれする血球分化の系列図が作られた。これが、造血過程における血球分化の定説となったのである（図 1）。この定説では、リンパ球系共通前駆細胞は骨髄から胸腺へ移動して T 細胞への分化を開始すると予測されていた。ところが、胸腺へ移動した大部分の細胞はリンパ球系共通前駆細胞には似ておらず、もっと初期の造血前駆細胞の特徴をもっていることが後に報告され[5]、従来の定説に疑問が出てきた。

胸腺での T 細胞の分化過程は驚くほど複雑で、最大 9 つもの連続的段階を経て起こり、各段階は遺伝子発現や分化能の違いで区別される[6]。これらの分化段階は以下の 4 つに簡略化できる。初期 T（細胞）前駆細胞（ETP、または DN1 細胞［CD4、CD8 を両方とも発現していない二重陰性細胞］）、

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

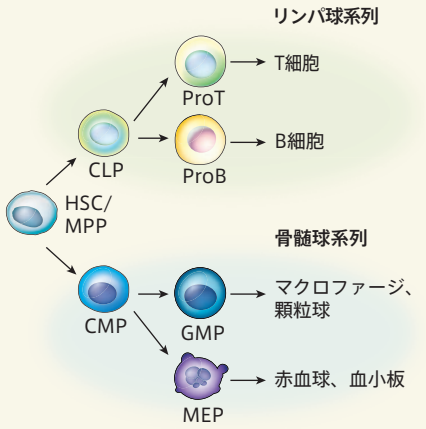


図 1　初期にリンパ球系と骨髄球系に枝分かれする、造血の古典的系列図。HSC/MPP は造血幹細胞 / 多能性前駆細胞、CLP はリンパ球系共通前駆細胞、CMP は骨髄球系共通前駆細胞。ProT と ProB は、いくつかの段階を経てそれぞれ最終的に T 細胞と B 細胞を生じる前駆細胞。GMP は顆粒球マクロファージ前駆細胞。MEP は巨核球赤血球前駆細胞で、赤血球や血小板を生じる。T 細胞は胸腺に特化され、ほかのすべての系列は骨髄で生じる。矢印は細胞の分化を示す。

DN2 細胞（DN1 細胞から分化が進行した段階）および DN3 細胞（DN2 細胞から分化が進行した段階）、CD4/CD8 二重陽性細胞、そして、CD4 と CD8 のどちらかをもつ単一陽性 T 細胞である。これらの多様な分化段階は、前駆細胞が胸腺を通過移動する際に接触するさまざまな微小環境によって制御される[7]。

胸腺の T 前駆細胞は、どの段階で別の細胞種への分化能を失うのだろうか。マウスを使った実験で、強力な T 細胞制御因子である Notch1 を阻害すると、胸腺 B 細胞の数にはリンパ球系共通前駆細胞モデルに一致する増加がみられるが、骨髄球系細胞の数には一見したところ増加はみられない（参考文献 6 と 8 の論評）。このモデルへの反論として、最も初期の T 前駆細胞がマクロファージや樹状細胞への分化能をもっていることを示す論文がいくつか出された（参考文献 6、9 および 10 の論評）。しかし、これらの実験は、リンパ球系細胞へも骨髄球系細胞へも分化できるような条件の下でクローン化したものではなかったので、T 細胞にも骨髄球にも分化できる前駆細胞の存在は実証されていなかった。また、たとえそうした前駆細胞が存在したとしても、これらの細胞が実際に、胸腺にある成熟 T 細胞と骨髄球系細胞の両方の形成に関与しているかどうかは不明なままだったろう。

Bell および Bhandoola[1] と、和田たち[2] は今回、前駆細胞 1 個ずつの分化能を解析できる方法を用いて、DN2 細胞だけでなく初期 T 前駆細胞／DN1 細胞も B 細胞への分化能をもたないこと、また、これらの細胞のうちかなりの割合が、T 細胞にも骨髄球系細胞にも分化できる能力をもつことを実証した。DN3 の段階へ進むと、骨髄球系細胞への分化能は失われる。T 細胞 / 骨髄球系細胞のコロニーでは、骨髄球系細胞として主にマクロファージが観察されるが、顆粒球[1] や、樹状細胞、NK 細胞[2] もみられる。さらに T 細胞欠損マウスの胸腺内へ DN1 細胞を移植する実験[2] から、マクロファージのおよそ 3 分の 1 が T 前駆細胞に由来することが明らかになった。このときマクロファージが胸腺の皮質で検出されたが、これは胸腺マクロファージの通常存在する位置であった。

加えて、胸腺から単離された骨髄球系細胞では、T 細胞の機能に必要な T 細胞受容体の遺伝子に、初期 T 前駆細胞 /DN1 細胞に特徴的な再編成がみられた。最終的には、胸腺顆粒球の大部分は、ある特定の酵素活性を示す細胞まで系列を追跡することができた。RAG リコンビナーゼというその酵素は、T 細胞受容体の多様性を作り出すのに中心的役割を果たしており、こうしたことから、この骨髄球系細胞集団は動物の初期 T 前駆細胞 /DN1 細胞から生じると考えられる。

今回の 2 つの新知見によって、T 前駆細胞は生理学的に関連性のある骨髄球系細胞にも分化できることがほぼ確実となり、リンパ球系と骨髄球系に分岐

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

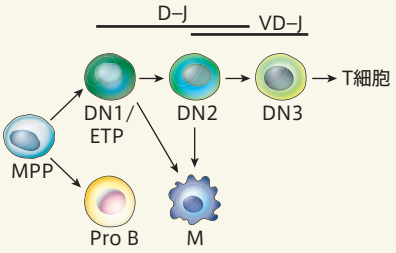


図 2　胸腺 T 細胞の分化について修正された系列図。図 1 との大きな違いは、B 細胞分化能を失った後に骨髄球系への分化能を失う点にある。ETP は初期 T 前駆細胞もしくは DN1 細胞。DN1 細胞と DN2 細胞は、図 1 の ProT に含まれる細胞分化段階である。DN3 細胞は PreT に属する。胸腺へ移動してきた前駆細胞（この図では MPP となっている）は、骨髄から循環器系を介してやってくる。この細胞の本当の性質については議論が多く、おそらくさまざまな前駆細胞の亜集団からなると考えられる[5,14,15]。マクロファージ（M）への移行頻度は DN1/ETP 段階から DN2 段階に進む過程で減少し、T 細胞への分化拘束点にあたる DN3 段階では失われる。DN1/ETP と DN2 細胞にはほかの分化能もあるが、この図では示していない。D–J と VD–J の下線は、分化の最中に起こる T 細胞受容体 β 鎖の再編成とそのタイミングを示す。

する従来の胸腺由来細胞系列図の修正が必要となった（図 2）。この種の分岐は発生過程で保存されているとみられ、胎仔の肝臓では、T 細胞 / 骨髄球系前駆細胞は見つかるが T 細胞 /B 細胞前駆細胞は見つからない[2,11]。リンパ球系–骨髄球系前駆細胞の存在を考慮することによって、T 細胞受容体の再編成を示す急性骨髄性白血病についても説明できるかもしれない。そして、分化の方向づけがなされた T 前駆細胞を、骨髄球系の遺伝子転写因子を用いてマクロファージや樹状細胞になるよう非常に簡単に方向修正できる[12]ことからも、この血球分化系列図の修正が裏づけられる。

多くの T 細胞 / 骨髄球系前駆細胞が樹状細胞、NK 細胞、顆粒球への分化能を維持していることを示す観察結果から、最も初期の系列決定は順次起こるのか、それともランダムに起こるのかという疑問が出てくる。順次起こる可能性の裏づけとして、系列追跡実験を用いて樹状細胞への分化能の有無で 2 種類の DN2 細胞群が識別できることを示した知見がある[13]。しかし、NK 細胞や顆粒球へさらに分化するよう方向づけされた細胞小集団が存在するかどうかは、明らかになっていない。

発生免疫学は、リンパ球系と骨髄球系に対称的に枝分かれする簡潔でエレガントな血球分化の系列図を元に、大きく発展してきた。しかし、現実はそれほどすっきりしていないようである。系列図の修正から得られた大きな教訓は、1 個の前駆細胞の分化能だけで生体内での実際の役割までを、必ずしも推定できるとは限らないということだ。したがって今後の課題の 1 つは、生体内での主要な血球分化の経緯を、質的にも量的にも正確に表す系列図を樹立することである。前駆細胞が成熟細胞へ分化する際に起こる転写因子ネットワークや分子的背景の変化をうまくモデル化するためには、それぞれの血球分化系列の類縁関係を正しく把握することが不可欠である。Bell および Bhandoola[1] と、和田たち[2] のおかげで、T 細胞分化の研究は、目標達成が見込めそうな最重要段階へ一歩近づいたのである。 ■

Thomas Graf、ゲノム制御センター（スペイン）

1. Bell, J. J. & Bhandoola, A. *Nature* **452**, 764–767 (2008).
2. Wada, H. *et al. Nature* 452, 768–772 (2008).
3. Kondo, M., Weissman, I. L. & Akashi, K. *Cell* **91**, 661–672 (1997).
4. Akashi, K., Traver, D., Miyamoto, T. & Weissman, I. L. *Nature* **404**, 193–197 (2000).
5. Bhandoola, A., von Boehmer, H., Petrie, H. T. & Zúñiga-Pflücker, J. C. *Immunity* **26**, 678–689 (2007).
6. Rothenberg, E. V., Moore, J. E. & Yui, M. A. *Nature Rev. Immunol.* **8**, 9–21 (2008).
7. Petrie, H. T. & Zúñiga-Pflücker, J. C. *Annu. Rev. Immunol.* **25**, 649–679 (2007).
8. Maillard, I., Fang, T. & Pear, W. S. *Annu. Rev. Immunol.* **23**, 945–974 (2005).
9. Ceredig, R. & Rolink, T. *Nature Rev. Immunol.* **2**, 888–897 (2002).
10. Laiosa, C. V., Stadtfeld, M. & Graf, T. *Annu. Rev. Immunol.* **24**, 705–738 (2006).
11. Katsura, Y. *Nature Rev. Immunol.* **2**, 127–132 (2002).
12. Laiosa, C. V., Stadtfeld, M., Xie, H., de Andres-Aguayo, L. & Graf, T. *Immunity* **25**, 731–744 (2006).
13. Masuda, K. *et al. J. Immunol.* **179**, 3699–3706 (2007).
14. Iwasaki, H. & Akashi, K. *Immunity* **26**, 726–740 (2007).
15. Lai, A. Y. & Kondo, M. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **104**,

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

A whiff of methane

太陽系外惑星にメタンの気配

Adam P. Showman

太陽系外惑星の研究は、どんどん洗練されてきている。このほど、ある太陽系外惑星の大気中に炭素を含有する分子が存在することが確認された。

Nature Vol.452 (296-297) / 20 March

太陽系の天体の多くは、大気中にメタンを含んでいる。地球、火星、土星の衛星であるタイタン、巨大ガス惑星である木星、土星、天王星、海王星の大気は、いずれも微量のメタンを含んでいる。メタンの存在量は少ないが、その存在は、惑星の形成、進化、気象、光化学的性質につき（地球の場合は生命についても）、重要な手がかりとなる。これまでに270個以上の太陽系外惑星が見つかっているが、そのほとんどは、質量と軌道の特徴しかわかっていない。太陽系惑星は地球から非常に遠いところにあり、主星に比べてはるかに弱い光しか発していないため、観測に基づいてその組成を推定するのは極めて困難である。

けれども今回、Swainら[1]は、まさにそれを成し遂げた。彼らは*Nature* 3月20日号329ページで、太陽系外惑星の大気中にあるメタン（CH_4）の検出に初めて成功したことを報告している。この惑星はHD 189733bとよばれており、すでに水蒸気が検出されていた[2]。今回の観測では、水蒸気の存在を改めて確認し、その存在量をより確実に推定することもできた。HD 189733bは、主星との距離が地球-太陽間距離のわずか0.03倍しかなく、強烈な光を浴びるため、大気の温度は1000Kに達する。このような太陽系外惑星は、「ホット・ジュピター（熱い木星）」とよばれている。

炭素を含有する分子が太陽系外惑星で見つかったのは、今回が初めてである。それが可能になったのは、HD 189733bが「トランジット惑星」だったからである。トランジット惑星とは、地球から見たときに、たまたま主星の前を周期的に通過（トランジット）するような位置関係にある惑星のことである。トランジット惑星は比較的検出しやすく、地上の小さな望遠鏡でも探し出すことができる[3]。HD 189733bが主星の前を通過するときには主星からの光の2パーセント以上をさえぎるため、惑星の半径を直接予想することもできる。ここで、主星からの光が惑星の大気中を通過する際に吸収される波長がわかれば、大気の組成の手がかりが得られるが、吸収量の微妙な変化を検出するのは非常にむずかしい。惑星の大気により吸収されにくい波長は地球に届きやすいが、吸収されやすい波長は地球に届きにくく、観測される全吸収量は大きくなる（図1）。Swainら[1]は、HD 189733bの大気を透過してきた主星の光をハッブル宇宙望遠鏡に搭載されたNICMOSカメラを使って観測し、惑星の赤外線スペクトルを得た。そのスペクトルは、惑星の大気中でのメタンと水蒸気の吸収特性をはっきりと示していた。

この測定から、惑星の挙動についてどんなことがわかるのだろうか？　木星、土星、天王星および海王星のメタンの存在量はそれぞれ、太陽大気中の炭素/水素比（太陽大気中に含まれる炭素はすべて原子の形で存在している）の3倍、7倍、約30～40倍に相当する。これらの値は、惑星が形成される際に、原始太陽系星雲のガス（その炭素/水素比は、太陽の炭素/水素比に近かったと考えられる）から炭素を受け取っただけでなく、炭素質の岩石や氷も大量に吸収していたことを示唆しており、惑星の形成について重要な手がかりを与えてくれる。太陽系外惑星についても、その炭素/水素比は、ほかの重い元素と水素の比と同様に、どれだけの量の固体材料がガスとともに集まっていったかを示す重要な手がかりとなる。

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

しかし、HD 189733b については、話はもっと複雑である。観測により推定されたメタンの存在量[1]は、モル分率（水素を豊富に含む背景ガスに対するメタンの比率）でいうとわずか 5×10^{-5} 未満であり、主星の炭素 / 水素比の 10 パーセント以下しかない。それでは、炭素はどこにあるのだろうか？　温度が 1000K 以上になると、炭素がメタンを形成するのは熱力学的に不利になり、酸素と結合して一酸化炭素（CO）を形成したほうが有利になる。HD 189733b の温度はこの転移温度に近いため、当初から、炭素は主として一酸化炭素の形で存在しており、微量のメタンも検出できるだろうと予測されていた[4]。ゆえに、HD 189733b におけるメタンの存在量が太陽系の天体に比べてはるかに少ないという発見は、理論的に説明がつく。実際、スピッツァー宇宙望遠鏡による最近の観測データ[6]に基づいて構築された赤外線放出スペクトルのモデル[5]は、一酸化炭素の存在を間接的に示唆している。

興味深いことに、Swain ら[1]も Tinetti ら[2]も、HD 189733b の水蒸気のモル分率は 5×10^{-4} であると推定している。この値は、惑星の酸素 / 水素比と炭素 / 水素比に重大な影響を及ぼすため、HD 189733b の形成と進化の過程を絞り込むことができる。どのようにして？　太陽における元素存在比は、HD 189733b の主星のそれに近いと考えられており、10^3 個の水素分子に対して約 1 個の酸素原子が存在している。同様に、10^3 個の水素分子に対して約 1/2 個の炭素原子が存在している。HD 189733b では、炭素は主として一酸化炭素の形で存在していると推測されているが、この場合、酸素原子の半数は一酸化炭素を形成し、残りの半数は水を形成して、水のモル分率は約 5×10^{-4} となる。この一連の論理によれば、HD 189733b における水の存在量の推定値が示唆する炭素 / 水素比および酸素 / 水素比は、太陽（と、おそらくは HD 189733b の主星）での値と整合性がある。HD 189733b の炭素 / 酸素比が不明であるため断定することはできないが、これらの値は、HD 189733b における炭素や酸素などの重い元素の存在量が主星に比べてあまり多くないことを示唆している。これは、太陽系の巨大惑星とは対照的である。

メタンの存在量は、この「ホット・ジュピター」の異常な気象の手がかりにもなる。大気の組成が化学平衡に達している場合、熱い昼側ではほとんどすべての炭素原子が一酸化炭素の形で存在しているのに対して、低温の夜側ではメタンの形が重要になってくる。この惑星の昼夜の温度地図[7]は、温度をすみやかに均等化する速い風の存在を示唆している。メタンと一酸化炭素との相互変換に必要とされる時間は有限であるため、メタンと一酸化炭素の存在量（およびその空間的なばらつき）は、大気の温度と輸送の時間的尺度に関する情報を含んでいるはずである[8]。ただし、この情報を取り出すためには、さらなる観測とモデルの構築が必要である。

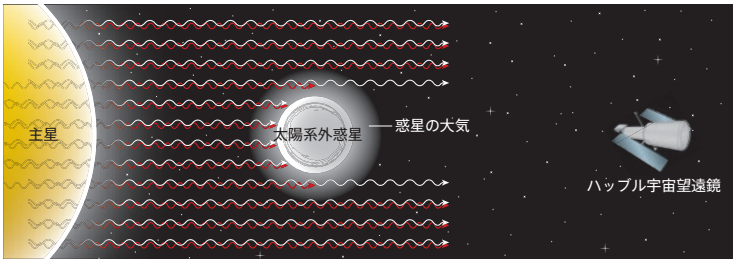


図 1　メタンを検出する。地球から見た太陽系外惑星が主星の前を通過するとき、主星からの光のうち、惑星の大気に吸収されやすい波長（赤で示す）は、吸収されにくい波長（白で示す）に比べて地球に届きにくい。Swain ら[1]は、ハッブル宇宙望遠鏡を使って「ホット・ジュピター」である HD 189733b の透過スペクトルを得て、惑星の大気にメタンが存在していることを明らかにし、水蒸気の存在を確認した。

現在、太陽系外惑星の研究は、活気にあふれている。近年は、HD 189733b をはじめとするトランジット惑星の高精度観測がさかんに行われるようになり、「ホット・ジュピター」の物理的特性が明らかになってきた。太陽に似た主星のまわりを公転する太陽系外惑星が最初に発見されてから 13 年目を迎えた今、我々はついに、太陽系外惑星を見つけるだけの段階から、このような惑星がどのような性質の天体であるかを本当の意味で明らかにしていく段階に来たのである。現在、これらの発見の立役者であるハッブル宇宙望遠鏡とスピッツァー宇宙望遠鏡は老朽化しつつあり、NASA のジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡などの次世代の研究基盤の開発が進められている。我々が目にしている成果は、人類にとっての惑星の世界を、太陽系のはるか彼方にまで広げていく革命ののろしにすぎないのである。 ■

Adam P. Showman、アリゾナ大学（米）

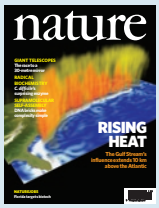
1. Swain, M. R., Vasisht, G. & Tinetti, G. *Nature* **452**, 329-331 (2008).
2. Tinetti, G. *et al. Nature* **448**, 169-171 (2007).
3. www.transitsearch.org
4. Fortney, J. J., Saumon, D., Marley, M. S., Lodders, K. & Freedman, R. S. *Astrophys. J.* **642**, 495-504 (2006).
5. Barman, T. S. *Astrophys. J.* (in the press); preprint available at http://xxx.lanl.gov/abs/0802.0854
6. Charbonneau, D. *et al. Astrophys. J.* (submitted); preprint available at http://xxx.lanl.gov/abs/0802.0845
7. Knutson, H. *et al. Nature* **447**, 183-186 (2007).
8. Cooper, C. S. & Showman, A. P. *Astrophys. J.* **649**, 1048-1063 (2006).

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

メキシコ湾流の気候への長期的影響を解明！

見延 庄士郎

今回、北海道大学大学院の見延庄士郎教授らのグループは、衛星から得られた詳細な観測データと大気大循環シミュレーションを使って、メキシコ湾流が長期にわたる大気圧や風の収束・発散、降水量、さらには対流圏の上層にまで影響を及ぼしていることを世界で初めて発見した。詳細は *Nature* 3 月 13 日号で発表され、その 3D 画像が表紙を飾った [1]。見延教授に研究の成果や意義などについて聞いた。



2008 年 3 月 13 日号

暖流の膨大な熱が高度 10km まで影響を及ぼす

Nature Digest — 今回の成果のポイントを教えてください。

見延 — メキシコ湾流（以下、湾流）が比較的短期間の気象に及ぼす影響については、以前からもよく知られていました。しかし、長期間にわたる気候への影響やそのメカニズムは、正確にはとらえられていなかったのです。今回我々は、湾流の放出する熱が、表層から高度 10km に及ぶ対流圏上層に至るまで、気候を構成するさまざまな要素に影響を与えていることを世界で初めて発見しました。

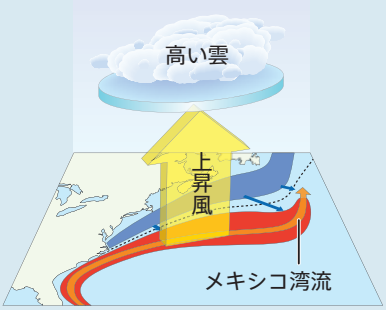


図 1　メキシコ湾流に対する大気応答。海洋表面水温の前線（黒波線）の沖側、メキシコ湾流の直上で相対的に低い大気圧が生じ、表面風の収束と降水の強化（赤）が起こる。一方、前線の岸側では、相対的に高い大気圧に伴う風の発散が生じる（青）。収束と発散は、海洋表面水温の前線を横切る風によって生じている（青矢印）。風の収束の上空では、対流圏上方に及ぶ上昇風（黄色矢印）が生じ、それは上層の発散（青い楕円）と高い雲の発生に密接に関係している。

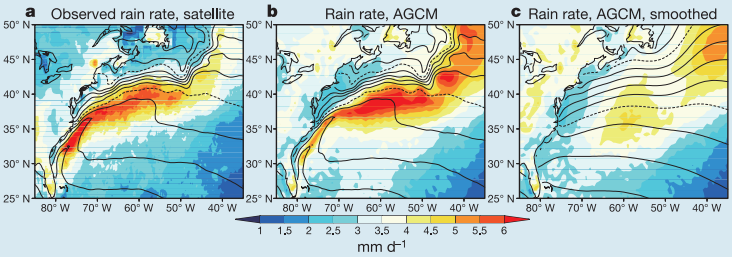


図 2　降水量の年平均値。赤いほど多く、青いほど少ない。等値線は海洋表面水温を示し、間隔は 2℃ごと、10℃と 20℃は点線。a) 衛星による降水観測、b）観測された表面水温を与えた大気大循環シミュレーション（数値モデル）、c）表面水温を平滑化し、湾流のはたらきを消した大気大循環シミュレーション。大気は、表面水温を平滑化すると、湾流に沿って存在した降水帯が消えることがわかる。

ND — 湾流が気候に与えるメカニズムとは？

見延 — 基本となっているのは、湾流の運ぶ熱です。湾流は、北大西洋の低緯度から中高緯度へ熱を運ぶ世界最大の暖流です。この熱は大気を直接暖めるほか、海水を蒸発させ、その水蒸気を通じて大気を暖めます。この 2 つの熱放出が気候に影響を与える根幹の仕組みです。湾流直上で蒸発が盛んに起きます。熱によって軽くなった水蒸気を含む大気は上昇し、上空ではしだいに冷やされて水蒸気が凝結し、雲を作ります。このとき水蒸気は、気体から液体、固体へと相を変えることで熱を周囲に放出します。この凝結熱によって周囲の大気は暖められ、軽くなってさらに上昇気流を生み出します（図 1）。一方、その根元の海表面付近では、風が流れ込む、つまり風が収束した形になり、上昇気流の源となります。ヨーロッパ中期気象予報センターが提供している気象解析データを用いて、我々が行った解析から、湾流で蒸発によっては最大 290W/m^2 の熱量が放出されていることがわかりました。これは 10m^2 あたり 1 台のカセットコンロが火を燃やしているのと同じ計算になります。これほど膨大な熱量が湾流によって放出されているのです。

ND — なぜ、こうした発見が可能になったのですか？

見延 — 1 つには衛星による詳細なデータが 1999 年以降、蓄積されたためです。また 2001 年には高解像度の気象解析が、2002 年には地球シミュレータの運用が始まり、高解像度の解析と数値計算が可能になりました [2]。それまでは、数値モデルの解像度はせいぜい 2 ～ 2.5 度程度だったのです。それが地球シミュレータを駆使することによって、計算量では 10 倍以上の 0.5 度という解像度を得られるようになりました。こうした精度の高い観測値と解像度の高い計算結果によって、海洋が大気におよぼす影響と大気の自由な運動とを区別することが可能になったのです。

ND — 対流圏上層にはどのように影響しているのでしょう？

見延 — 従来、湾流などの直接的な影響は大気境界層とよばれる高度 1km 以下の場所に限られ、なかでも特に 100m 以下の接地境界面で顕著であると提案されていました [3]。今回我々は、4 年以上の観測・解析データを解析することで、

Minobe S. *et al. Nature*, **452**, 206-209 (2008)

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

見延庄士郎（みのべ・しょうしろう）／北海道大学北海道大学大学院理学研究科自然史科学専攻地球惑星ダイナミクス講座教授。博士（理学）。1962 年、北海道生まれ。 1985 年、北海道大学理学部地球物理学科卒業。1989 年、北海道大学大学院理学研究科博士課程中退。1989 年、北海道大学大学院理学研究科助手、1997 年、同大助教授を経て、2005 年より現職。

海洋と大気の相互作用に興味をもち、大気・海洋における 10 年～ 100 年スケール変動や、熱帯太平洋における大気・海洋の季節変動などの研究を行ってきた。

今回の論文は海洋と大気上層との関連性を示したことで、2002 年以来停滞気味だった海洋がどう大気に影響を及ぼすかという研究において大きなブレークスルーになると期待されている。

表紙画像の説明。 メキシコ湾流上の年平均の上昇風速（赤い部分）と海表面の地衡流速の 3 次元分布。上昇風速は赤いほど速く、地衡流速は白いほど速い。地衡流は湾流の流れの強さを示している。上層風速は、かなり上空まで上昇気流が到達していることを示している。

上昇気流を示す上向きの風速の存在を、対流圏の最上層である高度 10km 付近で発見しました。湾流の熱によって蒸発した水蒸気は、前述のメカニズムで周囲の大気を暖めて上昇気流を作ります。これが上向きの風速の正体です。さらに、湾流に沿った対流圏上層で雲の発生頻度が高いことも、衛星の観測結果から見いだすことに成功しています。湾流から生じた水蒸気が、高い雲を周囲よりも頻繁に出現させていたのです。これほど上層まで影響を与えているという結果には、驚かされました。

表面風速の解明と狭い降水帯の発見

ND — 表層付近では、どんなことがわかりましか？

見延 — 例えば、湾流の熱による湾流付近の表面風への影響がみられます。これまで、なぜ湾流の上で風の収束が起き、湾流よりも大陸側で風の発散が起きるのか、理由は不明でした。その理由を知るには、衛星解析では得られない情報を得る必要があったのです。我々は衛星観測では得られない海面気圧に注目し、気象解析データを調べました。すると、海面気圧の微妙なでこぼこが、観測で得られている風の収束・発散ととてもよく一致したのです。これは先ほどの湾流の熱を基軸にしたメカニズムで説明可能です。つまり湾流直上で大気が暖められて空気が軽くなって，その結果周囲よりも気圧が少し下がるために、そこに風が流れ込んで、風の収束が起きていたのです。一方湾流よりも沿岸に近い部分では、それほど暖められないために、相対的に高気圧性となり、風は発散します。

ND — 当然、降水量とも関連しますよね？

見延 — ええ。海面の風の収束によく対応する、湾流とともに蛇行する狭い降水帯の存在を突き止めました。これは湾流の熱が海水の蒸発を促し、雲を発生させ、雨を降らせるためです。逆に、風が発散している湾流よりも沿岸に近い場所では、降水量は少なくなっていました。湾流からの熱放出は、強く降水量と関係しているのです。この関係は、地球シミュレータでの「大気大循環シミュレーション（AFES: Atmospheric general circulation model For the Earth Simulator)」という数値モデルを使って湾流自体をなかったものにすることで証明できました。大気は、海表面の温度変化を通じて、そこに湾流が流れているということをいわば感じているといえます。そこで我々は、観測値から得られた海表面温度そのままの場合と、海表面温度を滑らかにして湾流の存在を大気から見えないようにした場合のシミュレーションを行ったのです。すると、湾流を見えなくした場合は、湾流に沿って存在した降水帯が消えることがわかりました。つまり、湾流の運ぶ熱とその大気への放出がなければ、湾流上の降水帯も存在しないのです（図 2)。結局、湾流の直上で，表面風の収束，対流圏上層に到る上昇気流，そして降水の帯が生じており，これらはすべて湾流からの熱放出によっているのです。

地球温暖化によるメキシコ湾流への影響

ND — 湾流の世界の気候への影響はどうでしょう？

見延 — 対流圏上層に影響が出るとなると、湾流の付近にとどまらずより遠方への影響も考えられます。「線形モデル」とよばれる、原因と結果を結びつけやすい数値モデルで計算すると、湾流からの熱放出が地球の自転に伴う大気の波として水平伝播し、ヨーロッパ付近にまで影響を与えているという結果が得られました。ただし、実際の大気では、一般風などのほかの気候要素との相互作用も重要で、線形モデルで求めた結果と同じ伝播をするとは必ずしもいえません。現状では、湾流の影響を示唆したというものです。

ND — 地球温暖化が進むと、どのような影響が出ますか？

見延 — IPPC 第 4 次報告書では、温暖化によって大西洋の熱循環が弱まることが指摘されています。湾流はこの熱循環と関係しているため，湾流が弱くなる、あるいは南北に移動するという影響が出る可能性があります。その場合、我々の研究結果は、湾流の周囲の降水量分布などに直接的な影響が出ることがまず確実であり，さらに大気の波を通じて遠方にも影響する可能性を示しています。

ND — 今後の課題を教えてください。

見延 — 湾流についてさらに研究を深めていく予定ですが、もう 1 つには、同じ研究手法を使って黒潮についても詳しく解析したいですね。黒潮は湾流と並ぶ北半球最大の暖流であり、海洋と大気の相互作用に興味がありますから。

ND — ありがとうございました。 ■

聞き手は坂元志歩（サイエンスライター）。

1. Minobe S. *et al. Nature*, **452**, 206-209(2008)
2. Enomoto, T., *et al. in High Resolution Numerical Modeling of the Atmosphere and Ocean Ch.* **5**, 77-98 (Springer, New York, 2008)
3. Chelton D. B., *et al. Science* **303**, 978-983 (2004)

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

左から下澤さん、深澤さん、鈴木さん、込山さん（昨年 8 月）。

渦を巻く風を作り出し、目に見えない動きを可視化

群馬県立高崎高等学校　（平成 17 年度 SSH 指定校）

渦を巻く風といえば、台風、竜巻、ビル風など。いずれも、交通網に支障をきたす、建物などの構造物を破壊する、時に人の命をも奪うといったやっかいな風だ。こうした風はどのようにして発生し、どのような動きをみせるのか？高崎高校の込山和毅さんたちは、独自に開発した風洞装置を用いることで人工的なつむじ風を作り出し、その流れを可視化することに成功した。

安友康博

おだやかに晴れているのに、高層ビル群の谷間に入った途端、全身を巻き上げられるような風にさらされることがある。「ビル風」として知られる迷惑な風だ。この風は、高層の大きな建物の周辺だけで局地的に発生し、建物の形や配置などによって複雑な流れとなるのが特徴である。群馬県立高崎高等学校で編成されている SSH クラスの課題研究グループ（下澤雄太さん、込山和毅さん、鈴木悠平さん、深澤至貴さん）は、ビル風のような渦を巻く風がどのようにして生じるのかという点に着目し、その発生過程を可視化しようと試みた。研究成果は 2007 年 8 月に開催された平成 19 年度スーパーサイエンスハイスクール (SSH) 生徒研究発表会で紹介され、「独立行政法人　科学技術振興機構理事長賞」を受賞した。

時には、頑丈な建物や構造物を破壊したり、航空機を操縦不能にして大きな被害をもたらす風。物理学的には空気の流れ全般を指し、「向き（風向）」と「速さ（風速）」の構成要素から成る。風が生じる要因は高気圧や低気圧などによる気圧の差で、地球規模の風としては偏西風や貿易風が知られている。例えば偏西風は、中緯度の高圧帯から極地に向かって吹き出す風が、「コリオリの力」とよばれる慣性力によって東向きに傾いたものだといえる。

偏西風や貿易風は航空機や船舶の航行に利用できる「ありがたい風」だが、夏から秋にかけて発生する台風（ハリケーン、サイクロンを含む）は、被害をもたらすことの多い「迷惑な風」である。台風は、赤道付近の海上で発生した水蒸気が凝結するときの熱をエネルギー源に成長した大型の熱帯低気圧で、その中心の最大風速は秒速 17 メートル以上に達する。気象衛星による写真でおなじみのとおり、北半球における台風は反時計回り（コリオリの力による）に巨大な渦を巻く。

より局地的な風としては竜巻が有名である。竜巻は発達した積乱雲や積雲に伴って生じ、渦を巻いた激しい上昇気流と下降気流をもたらす。アメリカの中部では、トルネードとよばれる時速 100 キロにも及ぶとされる竜巻が、各地に甚大な被害をもたらしている。比較的規模の小さい竜巻でも、下降気流で突然生じる風（ダウンバースト）が航空機の運航に重大な影響を与えることもあり、ドップラーレーダーとシミュレーションモデルを駆使した予測システムの開発が急がれている。

ハニカム構造を利用して風の渦を作る

「あるテレビ番組で、学校の校庭につむじ風が生じて草木や砂やカバンなどが巻き上げられる映像を目にした下澤君の話から、風がなぜあれほど大きく成長したのか、その理由を知りたくなって SSH 課題研究の研究テーマにすることにしたのです」。込山さんは研究を始めた経緯をそう振り返る。さっそく研究メンバーを募り、渦が生じるような風を人工的に作り出して、その流れを可視化する方法を考え始めた。

実は、高崎高校には以前にも風の流れの実験を行ったグループがあった。込山さんらは、当時の研究記録を分析したうえで、東北大学流体科学研究所

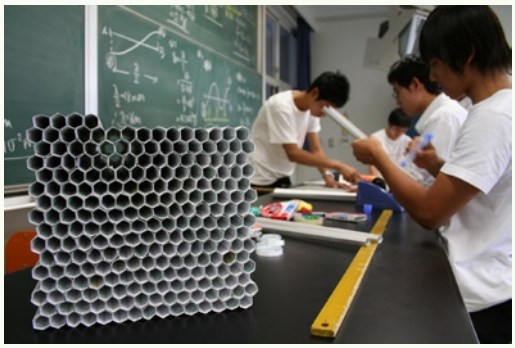
高崎高等学校の「科学者のタマゴ」を育成する理科教育

高崎高校では、1 年次から SSH クラスを編成し、特別な科学教育を実施している。その目的は、将来、積極的に科学技術にかかわろうとする「科学者のタマゴ」を育成することにある。今年度は、今回の研究を引き継いだ「風洞」に関する研究のほか、「散開星団と球状星団の比較」「モデルロケットの飛行」「プラナリアの再生」といった合計 9 テーマの研究が進められている。

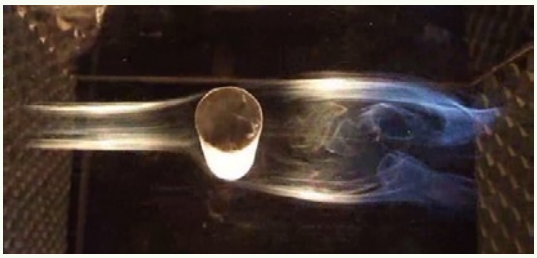
「3 年次には、週に 1 時間の授業で課題研究を実施することになっており、現在は文化祭での課題研究中間発表に向けて意欲的に取り組んでいます」。同校の理科を担当する小林正好教諭は、そう話す。昨年の受賞は、こうした理科教育の開始 6 年目にして、初の快挙となった。「受賞で得られた喜びは大きく、高崎高校全体として、科学への興味や関心が高まってくれたらうれしい」と前 SSH 主任の関根正弘教諭も語る。自分の将来像を自らの意志と責任で描けるように働きかけることが目標だという。

目下の悩みは、計画書や報告書作成などの雑務に多くの時間をとられてしまうこと。「学校全体として、さらなる組織化をはかるなどの対策を講じ、一層充実した SSH 活動を行いたい」と意欲をみせる。

©2008 NPG Nature Asia-Pacific



試行錯誤しながら風洞装置を作るメンバーたち。チームワークが試される。



完成した風洞装置での実験のようす。風が構造物に当たることで渦が生じることがわかる。

群馬県立高崎高等学校

の小宮敦樹先生にアドバイスを仰ぎ、人工的に作り出した風の流れを整える装置（整流器）を使うことにした。

「初めは、直径 20 センチの塩化ビニールパイプの内側にトイレットペーパーの芯を詰め、それを整流器とする風洞装置を作りました。そこに風を送り、細い糸をなびかせて風のようすをとらえようとしたのですが、うまくいきませんでした」と込山さん。試行錯誤を重ね、1 辺 2 センチ、長さ 40 センチほどの六角形の筒（ヘキサパイプ）を 80 個作り、それぞれをすき間がないように貼りつけたものを整流器として使うことを考えついた。さらに、1 辺 1 センチの小型のヘキサパイプを 400 本作り、整流器の一部として用いた。

風の流れを可視化するには線香を使うのがよいことも見いだし、ようやく「線香を並べる棚、ヘキサパイプ（大）群、透明なアクリル板で囲った観測部位、ヘキサパイプ（小）群、トイレットペーパー整流器、扇風機」からなる風洞装置を完成させることができた。「風を作り出す扇風機は、空気を送り込むために使うのではなく、空気を吸い出すために使いました。その方が風量を調節しやすく、より安定した流れを作り出しやすかったからです」と込山さん。

ビル風の正体を突き止めた？

こうして、ようやく実験できる環境が整った。込山さんらは、風洞構造内の観測部位に、円柱、直方体、楕円柱と、さまざまな形や大きさの模擬構造物を入れたうえで線香に火をつけ、その煙を扇風機で吸い込ませてみた。その際、部屋は真っ暗にし、観測部位内の「風の流れをみたいエリア」の煙だけをライトで照らすようにした。

その結果、構造物を単独で置いた場合には、渦を巻いた風が、直方体で最もよく発生することがわかった。次に、その直方体を 2 つ用いて、配置を変えながら同様の実験を行った。「この場合には 3 つのことが明らかになりました。第 1 点は、すべての構造物に上から回り込んで吹き降ろす風が発生し、縦方向の渦を生じること。第 2 点は、構造物の後ろへ回り込んだ風はほかの構造物にぶつかることで流路を曲げられ、単体での実験よりもはっきりとした渦を生じること。第 3 点は、風が遅い時ほど構造物の真後ろに、風が速いときほど構造物から離れた位置に渦が生じることです」と込山さん。ただし、観測されたほとんどの渦が短命で、持続して渦を巻くものはなかったという。

一連の実験を終えたメンバーは、「複数の直方体を置いた場合にはさまざまな方向からの流れが生じ、この現象こそが、日頃、私たちが経験するビル風の正体なのではないか」と考察したが、一方で「今回の風洞装置で得られたデータを、そのまま現実の世界にあてはめることはできない」と結論づけた。物理現象を示す計算式にはさまざまな変数が出てくるが、風を流体として考える場合には、その速度、粘性係数、密度などの変数が必要となる。このとき、構造物の大きさを 10 分の 1 にしたからといって、単純に風速や粘性係数も 10 分の 1 にすればよいということにはならないというのである。

とはいえ、シミュレーションモデルは「規模の小さい単純な系」を積み上げていくことで確実性が増すことも事実である。例えば、竜巻の規模は「F スケール（F0 から F5 まである）」で表されるようになっているが、この指標を考案した竜巻研究の第一人者、シカゴ大学の藤田哲也博士（故人）は、アメリカで実際に発生したトルネードによる建物の破壊の程度を詳しく解析していくことで、その最大風速を推定する方式を考案したとされている。

メンバーは今春に高校を卒業したが、風の研究は在校生に引き継がれているという。そのうち、高崎高校での研究を大学で発展させたいという生徒も出てくることだろう。

不思議だと思うことを納得するまで

冒頭で述べたとおり、込山さんらの研究には平成 19 年度の科学技術振興機構理事長賞が授与された。メンバーは「発表会におけるプレゼンテーションで、私たちが研究の過程で感じた面白さや好奇心、探究心をまっすぐに伝えられたことが勝因だったのではないか」と声を揃える。込山さんは「苦労したのは風の整流で、ヘキサパイプにたどり着くまではたいへんでした」とコメントし、難題を克服できたのは、自分の意見だけを押し通すのではなく、他人の意見を聞き入れるチームワークを発揮できたからだと強調する。

込山さんの夢は医師になることだという。今は希望の大学に入学し、医学の修得に向けて勉学に励む日々。分野は異なっても、高校での研究が「科学者としての糧」になるに違いない。 ■

執筆：西村尚子（サイエンスライター）

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

携帯電話やデジタルカメラなどのメモリカード、あるいはUSBメモリなどにみられるように、フラッシュメモリは、私たちに身近な記憶デバイスとして普及しています。今回は、「バッキーボール」を使って、このフラッシュメモリの性能をさらに高められる可能性があることを伝えた記事を取り上げます。

右ページの用語解説を頼りに、読み進めてみましょう。

NEWS 語数：436 words 分野：工学・材料・化学

Published online 22 April 2008 | *Nature* | doi:10.1038/452921a

Buckyballs give flash a boost

Fullerenes could be used to reduce amount of power needed in memory devices.

http://www.nature.com/news/2008/080422/full/452921a.html

Eric Hand

ISTOCKPHOTO

フラッシュメモリ。

1. Flash memory, the workhorse of mobile phones and digital cameras, could be made more efficient by using buckyballs. These spherical fullerene molecules, comprised of 60 carbon atoms, would allow flash memory to operate at a lower voltage and save on power, researchers reported last week.

2. "We're the first ones trying to borrow molecular electronics concepts and put them into non-volatile memory," says electrical engineer Tuo-Hung Hou of Cornell University in Ithaca, New York, who led the research (T.-H. Hou *et al. Appl. Phys. Lett.* **92**, 153109; 2008).

3. Most desktop computers use a type of random access memory (RAM) that is lost when the power is shut off. Non-volatile memory, however, keeps its content even without power, and flash has become the dominant type. Flash memory holds its zeros and ones in a circuit that contains an island transistor, insulated by a thin layer of silicon oxide.

4. To write or erase the memory, current is pumped across the barrier, either injecting electrons into the transistor or sucking them out. The charge stays put — most flash memory is guaranteed to last for ten years — but electrons eventually leak through the barrier. The barrier has to be thick enough to prevent leakage, but thin enough for current to pass through during a write or erase.

5. The necessary current is relatively high, which translates to relatively high voltages. Cycle after cycle, the voltage can wear down the flash memory circuits. It also requires peripheral circuitry — which takes up precious space — to boost the low voltages available from batteries or USB ports. And most importantly, it wastes power that could otherwise extend battery life. "The major bottleneck of the current flash memories is the voltage," says Hou.

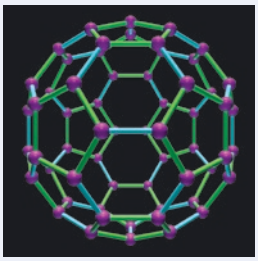
6. Enter the buckyball. By adding buckyballs to the barrier layer, the Cornell engineers create resonances that amplify the current during the high-voltage write or erase phase. So the voltage needed during writing or erasing is lowered, by an order of magnitude or more. "It's a very interesting twist," says Sanjay Banerjee, an electrical engineer at the University of Texas at Austin, who was not involved in the research.

7. Chenming Hu, an electrical engineer at the University of California, Berkeley, says that the concept is attractive, and could help extend the tenure of flash as the dominant form of non-volatile memory. But he cautions that other types are already nipping at the heels of flash, such as magnetic RAM, which stores information using the polarity of ferromagnetic plates, and phase-change RAM, which relies on switching between amorphous and crystalline phases of tiny glass filaments. "The general feeling is something else will replace flash," he says.

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

Topics フラーレン（fullerene）とは？

炭素原子だけで構成されたかご状のクラスターのこと。最も有名なものが、60 個の炭素原子からなるサッカーボール型のバックミンスターフラーレン（バッキーボール；**buckyball** ともいう）である。この C_{60} のほかにも、C_{70} や C_{76} など、さらに多くの炭素原子をもつ高次のフラーレンが存在する。現在知られているフラーレンはどれも、6 員環（炭素が 6 つ結合して六角形になっているもの）が数十個と、5 員環（炭素が 5 つ結合して五角形になっているもの）が 12 個が結合してできており、5 員環どうしは隣り合わない。生成するには、黒鉛にレーザーを照射、炭化水素を真空高温で燃焼などの方法がある。フラーレンのナノ構造や電気的性質は、それ自体で電子デバイスなどへの応用が期待できるが、誘導体も新素材として注目を集めている。例えば、炭素繊維強化プラスチックにフラーレンを添加して強度を高めた軽いテニスラケットなどが、既に商品化されている。また、エイズウイルスの酵素の阻害剤になったり、抗酸化作用があったりするので、医薬品への応用も期待されている。



バックミンスターフラーレン。直径は約 0.7 ナノメートル。

Science key words

タイトル **flash (memory):** フラッシュメモリ
電気的にデータの書き換えが可能で、電源を切っても記憶しているデータが失われない（これを不揮発性という）半導体記憶素子。携帯電話やデジタルカメラなどのメディアとして広く普及している。

2. **molecular electronics:** 分子エレクトロニクス
集積回路は、チップに精密な回路を刻み込むことで計算速度を向上させてきた。しかし物理学的空間が限られており、精密さに限界がある。これに対し分子エレクトロニクスでは、電子素子の役割をもった分子を組み立てて新しいナノ構造をもつ集積回路を作製する。

2. **non-volatile memory:** 不揮発性メモリ
フラッシュメモリの項参照。

3. **random access memory (RAM):** ランダム・アクセス・メモリ
電源を切るとデータが失われる揮発性の半導体記憶素子。データの書き込みと読み出しが可能である。コンピュータのメインメモリとして広く使用されている。

3. **transistor:** トランジスタ
電流を増幅したり、スイッチの役割をしたりする半導体素子。ゲルマニウムやケイ素（シリコン）を材料にして作製されることが多い。

3. **silicon oxide:** シリコン酸化物
シリコン、つまりケイ素の酸化物。主として二酸化ケイ素。

5. **peripheral circuitry:** 周辺回路

6. **resonance(s):** 共振
振動している物体に外部から周期的な力（エネルギー）が加わると、元の振動と外部の振動がやがて重なって大きな振幅となる。これを共振という。物体の振動だけでなく、音、光、電気回路などでもみられる。

7. **magnetic RAM:** 磁気 RAM
磁気を利用した不揮発性の記憶素子。磁気とはいえ磁気ディスクとは違って、原子内の電子のスピンの向きを利用している。この分野はスピントロニクスとよばれ、現在注目を集めている。

7. **polarity:** 極性
分子内に存在する電気的な偏りのことをいう。ここでは、電子のスピンの向きの偏りのことを指す。

7. **ferromagnetic:** 強磁性の
外部から磁化を加えなくても、物質内部に自発磁化をもつことを強磁性といい、その物質を強磁性体（ferromagnetism）という。簡単にいえば、磁石にくっつく物質が強磁性体である。

7. **phase-change RAM:** 相変化 RAM
物質の相をアモルファス（下記参照）と結晶の間で変化させてデータを書き込み、状態変化に伴う抵抗変化を利用してデータを読み出す不揮発性の記憶素子。

7. **amorphous :** アモルファス、非晶質
物質は通常、固体では原子が規則正しく並んだ結晶構造をとり、液体では原子は自由に動き回って流動状態である。アモルファス状態では、原子に自由度があるにもかかわらず、流動性がない。酸化物、金属、半導体、高分子など多くの物質系でアモルファス状態は存在する。また同じ物質でも、結晶状態とアモルファス状態では、電気伝導性、光学特性、磁性、物理的強度、耐食性、超伝導性などに違いがある。

Words and phrases

タイトル **give ... a boost:**「後押しする」「高める」「助長する」
5. の boost は動詞として用いられ、「（電圧を）上げる」という意味。

1. **workhorse:**「丈夫で信頼できるもの」「大きく貢献するもの」
「馬車馬などの使役馬」のことで、転じてよく働くことを表す。

1. **(be) comprised of ...:**「…で構成されている」

1. **voltage:**「電圧（値）」

3. **become the dominant type:**「主役になる」

3. **zeros and ones:**「二進数データ」

3. **(be) insulated by ...:**「絶縁されている」

4. **(be) pumped across the barrier:**「絶縁膜に（電気）を流して」
pump A across B は「A を送り込んで B を透過させる」こと。

4. **suck(ing) ... out:**「…を吸い出す」

4. **stay(s) put:**「一定の状態でとどまる」「動かずにじっとしている」
「そこにいて！」「じっとしていなさい」という口語表現としてよく用いられるので、覚えておくと便利。

4. **leak through ...:**「…を通して漏れ出す」

5. **cycle after cycle:**「データの書き込みと消去があるたびに」
直訳すれば「毎サイクル」ということ。ここでの cycle は、反復性のある一連の事象のことで、具体的にはデータの書き込みと消去のこと。

5. **wear down:**「すり減らす」「劣化させる」

5. **bottleneck:**「ネック」
「びんの首」「ほかよりも狭くなっている部分」のことで、比喩的表現として使われる場合に「障害」「障壁」といった意味がある。

6. **Enter ...:**「…登場」 脚本のト書きで使われる表現。

6. **amplify:**「増幅する」

6. **order of magnitude:**「（十進数の）桁」

7. **tenure:**「在任期間」

7. **nip(ping) at the heels:**「かなり追い上げられている」
nip は「かむ」こと。追いかけてくる相手が、自分のかかとにかみついてきている状態。

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

NEWS 参考訳

Published online 22 April 2008 | *Nature* | doi:10.1038/452921a

バッキーボールでフラッシュメモリの性能を強化する

フラーレンを使うことで、記憶デバイスが必要とする電力量を減らせる可能性がある。

http://www.nature.com/news/2008/080422/full/452921a.html

エリック・ハンド

建築家リチャード・バックミンスター・フラーによるジオデシック・ドーム。これと同様の構造をもつことから、C_{60} はバックミンスターフラーレンとよばれている。

1. フラッシュメモリは、携帯電話やデジタルカメラで大活躍しているが、バッキーボールを使うことで、その効率を高められる可能性がある。バッキーボールとは、60 個の炭素原子からなる球形のフラーレン分子のことである。先週、研究者たちは、バッキーボールを使ったフラッシュメモリは、従来よりも低い電圧で作動することができ、電力の節約になると報告した。

2. 「私たちは、分子エレクトロニクスのコンセプトを借用して、不揮発性メモリに応用することを初めて試みているのです」。こう話すのは、今回の研究のリーダーを務めたコーネル大学（米国ニューヨーク州イサカ）に所属する電気工学者 Tuo-Hung Hou である（T.-H. Hou *et al. Appl. Phys. Lett.* **92**, 153109; 2008）。

3. ほとんどのデスクトップコンピュータにはランダムアクセスメモリ（RAM）の一種が使用されているが、電源を切ると、記憶内容は失われてしまう。これに対して、不揮発性メモリは、電源を切っても記憶内容は保持される。各種の不揮発性メモリの中で現在、最も優勢なのはフラッシュメモリである。フラッシュメモリでは、酸化シリコン薄膜で絶縁されたトランジスタアイランドを含む回路に二進数データが記憶される。

4. メモリにデータを書き込んだり、メモリのデータを消去したりする際には、絶縁膜に電流を流して、トランジスタに電子を注入したり、トランジスタの電子を吸い出したりする。この電荷は保持されるため、ほとんどのフラッシュメモリは、10 年の寿命が保証されている。しかし、電子はしだいに絶縁膜から漏れ出していく。絶縁膜には、電子の漏出を防げるだけの厚みと、データの書き込みや消去の際に電流を流せるだけの薄さが求められているのである。

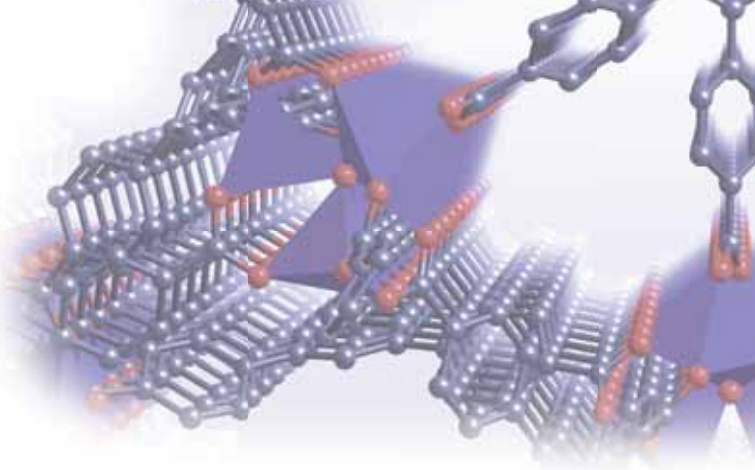
5. （フラッシュメモリには）比較的大きな電流が必要であるため、比較的高い電圧が必要となる。データの書き込みと消去のサイクルのたびに、この電圧がフラッシュメモリ回路を劣化させる可能性がある。また、フラッシュメモリには、内蔵バッテリや USB ポートから供給される低電圧電力を昇圧するための周辺回路も必要であり、そのために貴重なスペースを割かなければならない。最も重要な点は、フラッシュメモリが電力をむだに使っている点であり、これがなければバッテリの寿命を延ばせるはずである。「電圧は、現在のフラッシュメモリの主要なネックとなっているのです」と Hou はいう。

6. そこで登場するのがバッキーボールである。Hou たちは、絶縁膜層にバッキーボールを加えて共振を生じさせることで、高電圧でのデータの書き込みや消去の際の電流を増幅させた。これにより、データの書き込みや消去に必要とされる電圧が 1 桁以上低下した。この研究には参加していなかったテキサス大学オースチン校（米国）の電気工学者 Sanjay Banerjee は、「これは予想外の展開で、非常に興味深いものがあります」と語る。

7. カリフォルニア大学バークレー校（米国）に所属する電気工学者 Chenming Hu は、このコンセプトには魅力があり、フラッシュメモリが不揮発性メモリの主流であり続ける期間を延長するのに役立つ可能性がある、と指摘する。けれども彼は、強磁性板の極性を使って情報を記憶する磁気 RAM（MRAM）や微小ガラスフィラメントの非晶質相と結晶相との相変化を利用した相変化 RAM(PRAM) など、ほかの種類の不揮発性メモリがフラッシュメモリを追い上げてきている点にも注意を促す。「フラッシュメモリは何か別のものに置き換わるだろう、というのが一般的な見方なのです」と Hu は語った。

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

nature chemistry



Announcing *Nature Chemistry*

2009年4月に創刊する*Nature Chemistry*の日本語ホームページをリニューアルいたしました。創刊まで、毎週1本*Nature Chemistry*の編集者が執筆したRESEARCH HIGHLIGHTを日本語に訳し、ウェブサイトに掲載していきます。ぜひお楽しみください。

無料公開中の最新RESEARCH HIGHLIGHT

自己集合：芳香族分子を積み重ねる / 東京大学の研究チーム

最高9個の積層芳香族分子を包接する錯体を、数種の単純な構成ブロックからワンステップで組み立てることができる…

オリゴアミド・フォルダマー：らせん状のホスト

芳香族アミノ酸モノマーの配列をうまく選択することによって、特定のゲスト分子を捕捉する三次元構造を形成できる…

アルカロイド生合成：自然の選択

近縁関係にある菌類から抽出されたインドール・アルカロイドの研究から、「それらの生化学的経路がどのように進化したのか」という疑問が生じている…

創刊前の特別価格もお見逃しなく！　2年購読で1冊あたり約830円

1年定期購読　~~19,840円~~ ⇒ 14,880円（約25%OFF）
2年定期購読　~~29,760円~~ ⇒ 19,930円（約33%OFF）

定期購読お申込み方法

- **クレジットカードによる一括払い**
  下記のＵＲＬより必要項目を記入の上、お申込み下さい。
- **郵便振込みによる一括払い**
  下記のＵＲＬより必要項目を記入の上、お申込み下さい。後日専門振込み用紙を送付いたします。

詳しくは **www.naturejpn.com/chem**

nature asia-pacific

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

- **Highlights** 論文ハイライト
- **Editorial** 社説
- **News** 科学ニュース
- **News Feature** 科学ニュース読み物
  興味あるテーマを親しみやすく解説
- **News & Views** 科学論説

オリジナル編集記事

- **Japan News Feature**
  日本の科学ニュース
- **Japanese Author**
  日本人科学者へのインタビュー記事
- **High School Scientist**
  スーパーサイエンスハイスクールへの取材記事
- **英語で*Nature***
  *Nature*に掲載の記事から生きた英語を学ぶ

Anniversary 5th nature DIGEST

2008年1月号より8ページ増量!!

*Nature Digest*定期購読お申込みはこちらから **www.naturejpn.com/digest-f08**

Printed in Japan
ISSN 1880-0556

定価 680円
本体648円

nature asia-pacific