ISSN 1880-0556

nature DIGEST

日本語編集版
MAY 2007
VOL. 04, NO. 5
5

http:// www.nature.com/naturedigest

真の系統樹を求めて

20th anniversary
npg nature asia-pacific
Established 1987 as Nature Japan K.K.

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、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
06／1月	情報通信研究機構	分子通信ICTワークショップ	品川
06／1月	情報通信研究機構	バイオコミュニケーション国際シンポジウム	品川
06／3月	福武学術文化振興財団	財団創立20周年記念シンポジウム	市ヶ谷
06／3月	農業環境技術研究所	第2回公開セミナー「外来植物のリスク評価と蔓延防止策」	岡山
06／3月	農業環境技術研究所	MAGEワークショップ	つくば
06／3月	農業環境技術研究所	日韓共同国際ワークショップ	つくば
06／3月	農業環境技術研究所	イネゲノム解読記念シンポジウム	つくば
06／5月	高エネルギー加速器研究機構	ICFA HB-2006 ワークショップ	つくば
06／6月	産業技術総合研究所	第５回糖転移酵素国際シンポジウム	つくば
06／7月	農業生物資源研究所	第45回ガンマーフィールドシンポジウム	水戸
06／8月	農業環境技術研究所	第３回公開セミナー「外来植物のリスク評価と蔓延防止策」	岡山
06／8月	甲南大学	ISBC2006	神戸
06／8月	シュプリンガー・ジャパン株式会社	シュプリンガーセミナー2006	東京・大阪
06／8月	日本原子力研究開発機構	QUBS2006	東海村
06／10月	農業環境技術研究所	第4回公開セミナー「外来植物のリスク評価と蔓延防止策」	福岡
06／10月	農村工学研究所	チェンライ国際会議	タイ
06／11月	総合地球環境学研究所	地球研国際シンポジウム	京都
06／11月	物質・材料研究機構	第4回「スウェーデン・日本バイオナノシンポジウム」	つくば
06／11月	NPGネイチャー アジア・パシフィック	Fuji Film-Nature Methods Life-science Symposium	小田原
06／11月	産業技術総合研究所	第4回「水素エネルギーシンポジウム」	東京
06／11月	ベネッセコーポレーション株式会社	義務教育改革シンポジウム	東京
06／12月	味の素株式会社	味の素研究所50周年記念式典	東京
06／12月	農業環境技術研究所	第5回公開セミナー「外来植物のリスク評価と蔓延防止策」	東京
06／12月	農業環境技術研究所	NIAES国際シンポジウム	つくば
06／12月	高エネルギー加速器研究機構	日本・台湾シンポジウム	つくば
06／12月	情報通信研究機構	第7回「分子エレクトロニクス国際会議（ICNME2006）」	神戸
07／2月	情報通信研究機構	ナノICTシンポジウム2007	東京
07／2月	（株）アイキューブつくば	ネイチャー論文投稿ランチョンセミナー	東京
07／3月	国土交通省 国土技術政策総合研究所	都市・住宅・地球環境セミナー	インドネシア
07／3月	農業生物資源研究所	シンポジウム「ダイズゲノムの解明と活用」	東京
07／3月	防災科学技術研究所	シンポジウム「統合化地下構造データベースの構築に向けて」	つくば
07／3月	慶應義塾大学	創立150年記念 未来先導基金プログラム 公開講演会	東京

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

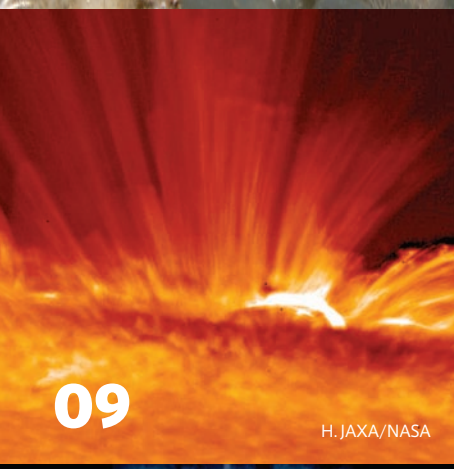
詳しくはホームページをご覧ください。

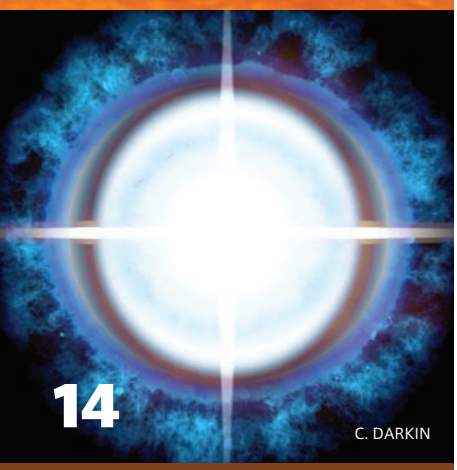
お問合せ→ request@outreach.jp

www.会議運営.com　検索　Click!

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

08 J. GUTT/ALFRED WEGENER INST.


09 H. JAXA/NASA


14 C. DARKIN

nature DIGEST

05 volume 4 no.05
May
www.nature.com/naturedigest

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

NEWS FEATURE

真の系統樹を求めて

表紙：Jovan Djordjevic

HIGHLIGHTS
02 vol. 446　no.7134, 7135, 7136, 7137

AUTHOR
05 ショウジョウバエの交尾行動を制御するフェロモン受容体
—— Barry Dickson

EDITORIAL
06 地球の両極に目を向ける

NEWS@NATURE.COM
07 アンデス山脈が高いわけ

NEWS
08 棚氷の消えた南極海の生態系
Lucy Odling-Smee

SNAPSHOT
09 太陽の新たな横顔

NEWS FEATURE
10 われら地球家族、真の「家系図」を求めて
John Whitfield
14 究極の光
Ed Gerstner
18 祖国を離れたイラク人学者たち
Jim Giles

NEWS & VIEWS
22 ヨウ素原子にタキシードを着せる
Phil S. Baran and Thomas J. Maimone

JAPANESE AUTHOR
24 臨床試験が進む、がんの再発予防ワクチン療法
—— 田原秀晃
西村尚子

英語でNATURE
26 Blood made suitable for all
万人向けの血液を作り出す

発行人：デービッド・スウィンバンクス
編集：北原逸美
デザイン／制作：村上武
広告：米山ケイト
マーケティング：吉原聖豪

2007年5月1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

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

Vol.446 | no.7134, 7135, 7136, 7137

心肥大が心不全につながる仕組み
Heading off heart failure

心臓の拡大、つまり心肥大は、心臓の作業量が増加したことへの生理的な応答で、心機能維持を助ける。しかし、この状態が長く続くと心不全を発症することがある。心肥大のマウスモデルを使った研究から、心肥大から心不全への移行が起こる仕組みについて、新しい知見が得られた。こうしたマウスでは心臓が大きくなると、肥大心臓を支えるために新しい血管が生じる。しかし、約2週間後、がん抑制因子であるp53タンパク質が心臓細胞に集積して血管新生が阻害され、心不全が起こる。この過程を標的としてp53の阻害あるいは血管新生の促進を行えば、心肥大から心不全への移行を防ぐ手段となるかもしれない。

22 March 2007 Vol.446 / Issue 7134
Letter p.444 参照

爆発的進化は捕食者が引き起こす
Bursting to evolve

生物の多様性は、断続的な進化の「爆発」すなわち「適応放散」を通じて生じたと考えられている。では、このような爆発はどのような条件で起こるのだろうか。また、爆発的進化が大量絶滅の後や島々で起こったり、時間をおいて散発的に起こったりするのはなぜなのだろう。J MeyerとR Kassenは、原生生物の*Tetrahymena thermophilia*とその餌の細菌からなる群集を用いて、進化の爆発を引き起こす進化的過程が捕食者の影響を受けることの実験的な証拠を示した。捕食者は、被食者個体群を減少させるため、被食種が新形態に分岐する速度を遅くする。また捕食者は無人島や大量絶滅時には少ないが、これは、捕食者の不在がそのとき起こる進化の爆発を引き起こす触媒になることを示唆している。Fukamiたちによる別の論文は、モデルとして細菌個体群を用いて、生物多様性が、群集内への移入の生態的過程と、群集内での多様化という進化的過程の両方の産物であることを示している。

22 March 2007 Vol.446 / Issue 7134
Letters pp.432, 436, N&V p.386 参照

保護基よ、さらば
Spurning protection

より単純な開始物質から複雑な有機分子を作り上げる全合成は、過去50年間に大きな進歩を遂げた。こうした進歩にもかかわらず、生物学研究に用いる巨大な天然物を十分な量生成できる合成経路の構築は、現在もなおむずかしい問題である。今回、合成過程で常用されていた保護基使用を撤廃することがこうした目的につながると、ある化学者チームが気づいた。分子内のどこかで化学変換が行われている間、別の反応部位を隠しておくのに保護基が必要とされることは多い。しかし今回、海洋性アルカロイドの大きなグループに属する複数の化合物が保護基を1つも用いずに合成され、「保護基を使わない」方法のもつ能力が実証された。従来は20段階以上の化学操作を要していた分子が、この方法によって10段階以下の化学操作で大量に得られるようになったのである。

22 March 2007 Vol.446 / Issue 7134
Article p.404, N&V p.383 参照

ビタミンB_{12}への長い道のり
The long road to vitamin B_{12}

ビタミンB_{12}（コバラミン）は、これまで知られている天然の非ポリマー化合物のうちで最も大きなものの1つで、微生物だけが合成できる唯一のビタミンである。長年の研究にもかかわらず、ビタミンB_{12}の生合成過程の一部についてはよくわかっていなかったのだが、今回、最後に残った未解明部分が明らかになった。分子状酸素を使ってフラビンモノヌクレオチド補因子を切断することによりビタミンB_{12}の下方配位子を形成する酵素、BluBのX線結晶構造が決定されたのである。この反応は、酵素が1つの補因子を破壊して別の補因子を合成するという珍しい反応の一例である。

22 March 2007 Vol.446 / Issue 7134
Letter p.449, N&V p.387 参照

力を感じよ：化学反応の禁制経路を開く
FEEL THE FORCE:
Opening forbidden chemical pathways

化学反応の大半で、反応が進行するには反応物がエネルギー障壁を乗り越えなければならない。これに必要なエネルギーは熱、光、圧力あるいは電位によって供給されるのが普通である。しかし、今回意外にも、このリストに力学的な力が加えられることになった。つまり、力学的な力は反応を文字どおり「一押し」するのである。特別に設計されたポリマーに超音波を照射すると、転位反応が加速され、反応進行経路が変わって、熱または光で誘起された反応からは得られない生成物が生じる。このポリマーは、伸長流から受ける力が最大となる部位にメカノフォア（mechanophore）が位置している。この研究は、化学反応の新しい制御方法を提供するばかりでなく、損傷が起こる前に警告シグナルを出したり、構造を修飾して損傷速度を遅くしたり、さらには自己修復までするポリマーといったような、力学的適応性のある材料の実現につながるかもしれない。表紙は、Benjamin Grosser（イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校ベックマン研究所イメージングテクノロジーグループ）による。

22 March 2007 Vol.446 / Issue 7134
Letter p.423, N&V p.381 参照

プロテオゲノミクスは情報の鉱脈
Mine of information

各地でみられ重大な環境問題となっている酸性鉱山排水は微生物群集によって生成され、そうした微生物群集は*Leptospirillum* II群に優占されている場合が多い。この微生物群は、有毒金属を高濃度で含む硫酸溶液（通常はpHが1.0未満）中で増殖する。米国カリフォルニア州のアイアンマウンテンにあるリッチモンド廃鉱で得られるバイオフィルムは、含まれる微生物種の数が比較的少ないため、こうした微生物群集の研究に理想的である。分解能の高いプロテオゲノミクス研究から、近縁細菌集団間および個体間で行われる大きな変異遺伝子群の交換が、この過酷な生態ニッチへの適応に極めて重要であることが示唆された。この結果は、自然環境にある微生物集団に関する研究を大きく進展させるものであり、プロテオゲノミクスを使った今回のような手法は病原体の系統分類などほかにも応用の場があると考えられる。

29 March 2007 Vol.446 / Issue 7135
Letter p. 537 参照

キラルなネオペンタン
Reflections on neopentane

ある分子とその鏡像を重ね合わせることができない場合、その分子は「キラル」である。DNA、タンパク質などのほかにも多くの小分子がキラルであり、この性質は自然界の至るところで極めて重要である。X線異常散乱法は分子の絶対立体配置を決定する最も信頼できる方法となったが、この方法は、分子が例えば臭素のような「重い」原子を含んでいる場合でなければ使用できない。Haeslerらは、ラマン光学活性の計測技術

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

※「今週号」とは当該号を示します。

の進歩に量子化学計算を組み合わせて、重い原子を含まない分子の絶対立体配置を決定できることを示した。今回使われたのは、非対称な質量分布の結果キラルとなる分子すべての典型である特別に合成されたキラル重水素化ネオペンタンである。この分子の絶対立体配置を分光学的に決定することは、可能性の限界ぎりぎりという非常な難題だったのである。

29 March 2007 Vol.446 / Issue 7135

Letter p.526, N&V p.505 参照

哺乳類出現までの長い道のり

The long hello

現在みられる哺乳類は、6500万年前に非鳥類型恐竜が絶滅した後に爆発的に進化したのだろうか。それとも、現在のような姿で現れるまでにもっと長い時間がかかったのだろうか。これについては喧々諤々の議論が続いており、古生物学者は一般に「導火線」の短い「爆発」モデルを支持し、分子系統発生学の研究者たちは哺乳類の起源がもっと古くまでさかのぼると考えている。Bininda-Emondsたちは今回、大量の分子データを用いて、哺乳類の進化の起源が古いだけでなく、現生哺乳類の系統分類上の「目」が恐竜絶滅の何百万年も後まで確立されなかったことを示した。そうすると、白亜紀末の大量絶滅は哺乳類の進化に対してほとんど影響を及ぼさなかったことになる。

29 March 2007 Vol.446 / Issue 7135

Article p.507, N&V p.501 参照

ルネッサンスの人名録：『キリストの鞭打ち』に隠された暗号

WHO'S WHO IN RENAISSANCE ITALY: Hidden codes in Piero della Francesca's *Flagellation*

表紙は、1460年ごろにピエロ・デッラ・フランチェスカにより描かれ、現在はイタリアのウルビーノ市にある国立マルケ州美術館で展示されている『キリストの鞭打ち』である。床のタイルの描写からもわかるように、ピエロは遠近法の使い方が特に優れており、そのためもあってこの絵はルネッサンス期の最も有名な傑作の1つとなっている。しかし、この絵は謎めいた点が多いことでも名高く、とりわけ右に立つ3人の男性がいったい誰なのかは不可解とされてきた。今回、科学史家D Kingが謎解きに加わり、謎めいた人物すべてを一挙に特定する革新的な仮説を発表して、多くの美術研究者を仰天させた。News FeatureでJ Marchantは、Kingによる人物特定の基盤となった、15世紀のアストロラーベ（古代の天文観測儀）に残された銘文から始まる歴史学的・数学的な推理について論じ、またKing説とは対立するが、美術研究分野でより広く受け入れられている見解についても解説している。

29 March 2007 Vol.446 / Issue 7135

News Feature p.488 参照

脊椎動物の起源

Vertebrate origins

ヌタウナギはヤツメウナギと近縁の顎のない脊椎動物である。現存する最も原始的な脊椎動物として知られているが、あまりにも原始的なので脊柱をもたない。この生物の発生を調べると脊椎動物の起源について多くのことが明らかになると思われるが、生きた胚を得るのが非常に困難なため、そうした研究はなかなかうまくいかない。ヌタウナギの最初の発生学的研究は、B Deanによって1899年に発表されたが、その後はごくわずかな試みしか行われてこなかった。今回やっと、神戸の理化学研究所発生・再生科学総合研究センターの研究チームによって、ヌタウナギの胚発生に関する画期的な研究結果が報告された。彼らは、研究室の水槽からヌタウナギ（*Eptatretus burgeri*）の胚を6個手に入れ、組織標本作製時の固定処理の前に卵殻から胚を取り出すことで、1世紀前にDeanの標本が被った組織の歪みが起こらないようにした。今回得られた組織学的知見から、脊椎動物の主要な特徴である神経堤の発生を示す遺伝的マーカーが、ヤツメウナギと同様の発現様式をとることがわかった。

5 April 2007 Vol.446 / Issue 7136

Letter p.672, N&V p.622 参照

免疫を飼いならす

Immunity tamed

$CD25^{+}CD4^{+}$制御性T細胞、つまりTregは免疫系の非常に重要な細胞で、自己免疫疾患やアレルギーなどの異常な、あるいは過剰な免疫応答を抑制している。小野たちによって、Tregが、転写因子AML1/Runx1とFoxp3との相互作用を介して機能することがわかった。したがって、この相互作用は免疫応答を制御する治療標的となる可能性がある。

5 April 2007 Vol.446 / Issue 7136

Letter p.685 参照

光で神経回路を操作

Neural circuits in a new light

巧妙な神経工学技術によって、生きた脳の回路の画像化や制御が可能になりつつある。今回報告されたこの分野の最新の進歩により、微生物の光駆動性塩素イオンポンプをマウスの海馬ニューロンに導入し、ミリ秒の時間スケールで神経活動を抑制できるようになった。この方法は、藻類の光活性化型チャネルを用いてニューロンを興奮させる既存の方法と補完的な関係にある。そして、この2種類のチャネルは異なる波長の光に応答するので、同じ回路の神経活動を双方向にすばやく制御することができる。また、無傷の動物にも適用でき、これらのチャネルを組み込んだトランスジェニック線虫の運動は光に影響を受ける。このシステムは、遺伝子操作により特定種類のニューロンに選択的に導入できるので、神経疾患の光学的治療への道を開く可能性もある。

5 April 2007 Vol.446 / Issue 7136

Article p.633, N&V p.617 参照

微化石の矛盾する説明

Microfossils: mixed message

中国南部のドウシャンツオ（Doushantuo）累層で見つかったリン酸塩化した微化石が初期動物の胚だとする報告をめぐっては、今も議論が続いている。ほぼ6億年前のこの微化石は、現在生息している*Thiomargarita*属に近い巨大な硫黄酸化細菌である可能性が最近示唆されたが、今回その検証が行われ、少なくとも化石標本の一部についてはその可能性がないことが明らかになった。新たな観察から、この胚様の化石群の一部が、有機物からなるアクリタークとよばれる精緻な小胞の中にあることがわかったのである。これは胚の休眠という繁殖戦略と一致する状況で、休眠の際には初期胚は「卵嚢子」期に入る。このことは、これらの生物が真核生物であったことを示唆している。さらに、オンライン版のBrief Communications Arisingにも、「巨大細菌」とする解釈への反論が掲載されている。それによると、細菌のようにみえる微化石は、化石の形成·保存過程で被った予測できない変化によって、被嚢が外れてしまった可能性もあるらしい。

5 April 2007 Vol.446 / Issue 7136

Letter p.661, doi:10.1038/nature05753 参照

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

オーキシンの作用機構：着剤として働いている植物ホルモン分子

AUXIN ACTION REVEALED:
Key plant hormone acts as 'molecular glue'

植物ホルモンのオーキシンが植物の成長を制御する機構は、ダーウィンの時代から科学者を悩ませてきた。オーキシンはTIR1受容体に結合し、Aux/IAA転写抑制タンパク質のユビキチンに依存する分解の促進によって遺伝子発現を調節することが知られている。今回、3種類のオーキシンおよびAux/IAAペプチドとTIR1との複合体の結晶構造が決定され、オーキシンが「分子の接着剤」として働いて、受容体と分解標的であるタンパク質との相互作用を促進することが明らかになった。この研究は、オーキシンの作用機構を明らかにしただけでなく、植物ホルモン受容体の構造モデルを初めて提唱している。オーキシンのような低分子物質がユビキチンリガーゼを制御できることを明らかにしたこの知見から、ユビキチンリガーゼ異常に関連したヒト疾患に対する治療法開発にも新たな戦略が考えられるかもしれない。表紙は、TIR1（青色）とIAA7ペプチド（橙色）との間の空洞内にあるオーキシンを空間充填モデルで示している。

5 April 2007 Vol.446 / Issue 7136
Article p.640, N&V p.621 参照

光合成の原動力

Making photosynthesis tick

光合成は、地球上のほぼすべての生物にとっての一次エネルギー源となっている。その注目すべき特徴の1つが、光合成装置を構成する光捕集複合体内でのエネルギー移動効率の高さである。光合成系の中核でのエネルギー移動過程には量子的なやり方が使われているのではないかと考えられてきたが、この予想が今回、新しい分光学的研究により確かめられた。この研究は、緑色硫黄細菌*Chlorobium tepidum*のバクテリオクロロフィル複合体内で波のようなエネルギー移動に特徴的な電子の量子ビートが生じていることを明らかにしている。エネルギー移動過程がこのような波動様特性をもつことで、光合成の極めて高い効率を説明することが可能になる。この方法なら、エネルギー移動にとって最も効率のよい経路を見つけるために、広大な位相空間を効果的に探索することが可能になるからである。

12 April 2007 Vol.446 / Issue 7137
Letter p.782, N&V p.740 参照

光で形を変える

Shaped by the light

光を当てると大きさや形が変わる材料がある。これらは直接触れなくても機械的変形が起こるため、遠隔操作できるアクチュエーターとして応用できる可能性があり、関心がもたれている。しかし、これまで開発された光変形するポリマーやゲルはいずれも応答が比較的遅く、変形後は不安定になる。小畠たちが開発した新しい材料ではこれらの欠点が解消されており、大きさ10～100 μmのジアリールエテン系分子結晶の2つの異なる安定状態間を、紫外光あるいは可視光をそれぞれ照射することによって、迅速かつ可逆的に切り替え可能である。また、この材料の棒状結晶を表面に付着させておいてスポットライトを当てれば、「バットのように」動いてごく小さな金粒子を打ち飛ばすことまでできる。動作中の結晶のビデオストリームはwww.nature.com/natureでみることができる。

12 April 2007 Vol.446 / Issue 7137
Letter p.778, N&V p.736 参照

根と枝の幹細胞

Root and branch stem cells

植物では、一見異なる2種類の幹細胞ニッチがあって、絶えず分裂して新しい組織や器官を形成している根および茎の分裂組織にそれぞれ存在している。これまでの研究は、これら2つの系がもつ発生様式や制御遺伝子の違いに注目してきたが、今回Sarkarらは、2つの間に密接な機構的関連があることを明らかにした。両方のニッチで、シグナル伝達中心近傍の幹細胞を未分化のままに維持するのに、シュートでは*WUSCHEL*、根では*WOX5*という近縁の転写因子が用いられており、これら2種類の転写因子はいずれの分裂組織でも正常な機能の維持に働いている。この知見は、現在の高等植物の祖先である陸上植物で、根とシュートが分離する以前に幹細胞調節システムが形成されたことを示す分子的証拠となる。

12 April 2007 Vol.446 / Issue 7137
Letter p.811 参照

過ぎたるは及ばざるがごとし？

Too much of a good thing?

生物多様性はどうして生じるのだろうか。1つの理論によると、さまざまな資源が不足している生態系では、水分やリン、窒素などの欠乏に対処するべく適応した種がそうした条件に有利となるので、多様性が増大すると考えられている。資源の豊富な条件では、生産力は増大するだろうが、そこで勝ち残るのは最も短時間で増殖して競合種を圧倒するごく少数の種だけだろう。資源の制限だけが種数の多さを説明する因子ではないが、HarpoleとTilmanは、資源の制限によってセジウィック（米国カリフォルニア州）の実験草地にみられる植物の生物多様性が説明でき、また、英国ロザムステッドにおける世界最古の生態学実験の結果もこれによって説明可能であることを示した。この研究結果は、富栄養化など、生物の生息場所を単純化させてしまいがちな人間活動による生物多様性の喪失についての新たな説明ともなる。

12 April 2007 Vol.446 / Issue 7137
Letter p.791 参照

がんのゲノミクス：急性リンパ芽球性白血病の遺伝的基盤

CANCER GENOMICS: The genetic basis of acute lymphoblastic leukaemia

SNPのマイクロアレイを用いて、DNAのコピー数の異常を見つけ出すという高分解能の全ゲノムプロファイリングにより、小児に最も多いがんである急性リンパ芽球性白血病に関連する遺伝子損傷が検出された。242名の患者由来の白血病芽球細胞を解析した結果、B前駆細胞性急性リンパ芽球性白血病患者の40%で、Bリンパ球の発生に重要な調節因子をコードする遺伝子の欠失、増幅、点突然変異および構造的な再編成が認められた。最も高頻度に異常がみられた遺伝子は*PAX5*であった。この結果は、これらの遺伝子損傷によって引き起こされる障害を回避できるような低分子分化誘導剤が新しい治療法研究の中心となること、またもっと一般的にみれば、同じような全ゲノム解析法ががんにおける新たな分子損傷を見いだす手段として有望らしいことを示している。表紙は、白血病細胞の蛍光*in situ*ハイブリダイゼーションの結果で、第9染色体p13に存在する*PAX5*（赤色）が第18染色体q11.2のZNF521（緑色）と融合していることを示している。

12 April 2007 Vol.446 / Issue 7137
Article p.758, N&V p.739 参照

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

MAKING THE PAPER

Barry Dickson

Nature Vol.446(xi)/29 March 2007

ショウジョウバエの交尾行動を制御するフェロモン受容体

ウィーンにある分子病理学研究所のBarry Dicksonたちがショウジョウバエの交尾習性の研究に取りかかったのは、5年ほど前のことだ。彼がめざしていたのは、行動を制御する脳内の神経回路を解明することで、その出発点として交尾行動は格好の材料に思えたのである。「交尾行動は安定した行動の1つで、ショウジョウバエはこの行動を実に上手にやってのける」とDicksonはいう。

ショウジョウバエでは、性別に特異的な行動が、神経系で発現される*fruitless*という遺伝子に制御されている。Dicksonたちは2005年に、匂いを感知する50種類のニューロンのうち3種類でこの*fruitless*が発現していることを見つけた。そこで彼は、これらの「fruitlessニューロン」は性フェロモンを感知しているのではないかと考えた。性フェロモンは動物が作り出す化学物質で、同じ種のほかの仲間に自分の性別や交尾の意思といった情報を知らせる働きをする。

Dicksonは性フェロモンに関して、ある手がかりを握っていた。3種類の「fruitlessニューロン」のうち1種類は、雄の性フェロモンであるcVA（11-*cis*-vaccenyl acetate）を感知すると考えられている受容体も発現していたのである。大学院生のAmina Kutrovicが、cVA受容体と考えられている遺伝子をもたないショウジョウバエを遺伝子操作によって作り出し、ポスドクのAlexandre Widmerの助けを借りて、それらのハエの行動を調べた。

正常であれば、雄バエは雌バエに求愛行動を示し、雄が雄に求愛することはなく、また、雌は雄と交尾する。ところが、cVA受容体をもたない変異体の雄バエは雄に向かって求愛行動を示し、同じ変異をもつ雌バエは交尾をあまりしたがらなかった。そこで、cVA受容体の活性化は雌と雄で正反対の作用を及ぼすと思われた。つまり、雄では交尾行動を抑制し、雌では交尾行動を促進するのである。

この考え方をさらに検証するため、研究チームは雄バエに遺伝子操作をして、正常であれば本来はcVA受容体を発現する種類のニューロンが、雌のガが発する性フェロモンの受容体を発現するようにした。次に、雌バエの腹部にこの雌ガの性フェロモンをなすりつけ、雌バエから雌のガの匂いがするようにした。すると、ガの性フェロモン受容体を発現する雄バエは、雌ガの匂いのする雌バエを敬遠したが、ガの性フェロモン受容体をもたない雄バエはいそいそと、雌ガの匂いのする雌バエに求愛した（*Nature* 2007年3月29日号の542ページ参照）。研究チームは、一見すると直観に反したこの結果から、雄の求愛行動を抑制するには、正常にcVA受容体を発現しているニューロンの活性化が必要かつ十分条件であることを悟ったのである。

腐りかけの果物の匂いのように日常的なありふれた匂いは、各種のニューロンにある多種多様な受容体を活性化させ、活性化した複数の受容体の組み合わせによって匂いが符号化される。しかし、フェロモンのように生物にとって特別な重要性をもつ匂いは、1種類の嗅覚ニューロンを活性化させて、明確な1つのシグナルを脳へ伝えているのかもしれない。

cVAに対する雌雄の反応の違いは、シグナルが脳内でどのように処理されるかで決まるとDicksonは考えている。「感覚情報処理は一見すると、雌雄で同じにみえる」とDicksonはいう。「雌雄の違いがどこで生じるのか厳密にはわからないが、嗅覚ニューロンそのものが違いを生じる場所ではないようだ」。

彼の研究チームは現在、cVA受容体からのシグナルを処理する高次の経路を追跡しているところだ。「こうした化学シグナルが神経回路を活性化して行動を引き起こす仕組みを知りたいと思っている」と彼は語る。「*fruitless*と*Or67d*の2つの遺伝子はヒトには存在せず、そのためこれらの知見をヒトの行動に直接当てはめることはできない。けれども、相同性ではなく類似性を探すことで、ほかの種にこの結果を拡大し応用することができるかもしれない」。■

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

地球の両極に目を向ける

The ends of the Earth

Nature Vol. 446 (110)/8 March 2007

論説

歴史に残る国際極年をめざして

1957年に前回の国際極年が始まったときの世界は、今日とはまったく違っていた。当時の世界は冷戦の真っ只中にあり、極地は、興味深い科学的発見が行われる土地というよりはむしろ、ソ連と米国が政治的駆け引きを繰り広げる舞台であった。それでも、第3回国際極年（第1回は1882年、第2回は1932年）と第1回国際地球観測年が重なった1957-58年は、科学研究における国際協力について語るうえで欠かすことのできない画期的な年になった。

国際地球観測年は、いくつもの科学的大発見をもたらした。その多くが冷戦の要請に関連したものであったことを否定することはできない。James Van Allenは、米国初の人工衛星であるエクスプローラIを使って地球を取り囲む放射線帯を発見したが、この衛星はソ連のスプートニクに対抗して打ち上げられたものだった。また、米国の原子力潜水艦ノーチラス号は、極秘の航海により、氷の下の北極点に最初に到達した艦船となった。

今回の国際極年への政治的関心は、もっぱら気候変動に向けられている。北極では海氷の融解の詳細な測定が行われることになっているし、南極ではこれまでで最高の気候変動記録を求めて調査を行うことになっている。

けれども、こうしたミッションへの支援を求める科学者たちは、少なくとも米国では、かなり厳しいスタートを切ることになった。予算の逼迫の結果、全米科学財団への資金が一時的に2006年のレベルに凍結されていたのである。ぎりぎりの交渉の結果、今年の1月になってようやく3億3400万ドルの追加予算が認められた。これには、国際極年に向けて提案された研究のための資金も含まれている。けれども、研究に参加する科学者の多くは、いまだに自分たちのプロジェクトへのゴーサインを待っている状態にあり、心中の焦りを隠せずにいる。

よりはっきりした見通しが立っているところもある。例えばカナダは、極付近の分離帯水路（北極の海氷と海岸の氷の間にある水域）について研究するための大規模な国際プログラムに必要な資金を確保することができた。カナダはまた、現地の人々を研究プログラムに引き入れることにも成功している。ケベックのラバル大学を本拠地とする学際的なArcticNetプロジェクトは、極地方の変化に関する情報を収集し、その変化により最も直接的な影響を受けることになる人々に情報を提供することを目的としている。

こうした国際的な努力により、長年にわたり北極研究の悩みの種になってきた問題のいくつかが解決されるかもしれない。その一例が、気象観測基地の衰退である。ソ連の崩壊は、無数の観測基地を閉鎖に追い込んだのである。今回の国際極年の目標の1つに、一部の主要な観測基地の質を高め、長期にわたり観測を行うことが挙げられている。例えば、米国海洋気象局は、アラスカ州バロー岬の気象観測基地を改善し、カナダのユリーカ基地とロシアのチクシ基地にも同様の改善を行う予定である。気候変動の観測に必要な長期的データを収集するためには、こうした観測基地の働きが欠かせないのである。

国際極年は、気象観測ネットワークを設立し、その運営を軌道にのせるための絶好の機会である。資金面の問題が早期に解決し、この機会を活かして国際極年2007にふさわしい成果があがることを期待したい。 ■

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

アンデス山脈が高いわけ

Why are the Andes so tall?

プレートテクトニクス研究によって、未解明だった一部の山の高さの謎が解けるかもしれない。

doi:10.1038/news070312-4 / 15 March 2007

Nicola Jones

従来の地質学理論では、南米のアンデス山脈の高さを十分に説明することができなかったが、今回、地球を覆うプレートの3次元モデルで解明できる可能性が出てきた。鍵は、南米大陸の長さにあるのかもしれない。

地球で最も高いヒマラヤ山脈は、2つの大陸プレートの大規模な衝突から生まれた。一方、アンデス山脈は、海洋プレートが大陸の下にすべり込むところで生まれた。沈み込みにより大陸プレートに「しわ」が寄って山脈ができるわけだが、ここで、アンデス山脈中央部の高さが平均約4 kmにもなるというところが問題になる。なぜならば、プレートテクトニクスモデルに基づく従来の計算に従えば、その半分程度の高さにしかならないはずなのである。

この謎を探るため、オーストラリア国立大学（キャンベラ）のWouter Schellartらは、地球の構造プレートの数百年間にわたる運動のようすを再現するコンピューターモデルを作った。彼らは、地球の各プレートの強度と密度を考慮し、密度の高いものが重力によって下に引っ張られるようにしたうえで、何が起こるかを観察した。チームが特に関心をもっていたのは、沈み込むプレートと乗り上げるプレートの境界線（沈み込み帯）を上空からみると、どのような形状になるかということだった。シミュレーションの結果、端から端までの長さが短い沈み込み帯は比較的速く移動し、上空からみたときには急速にU字型になることがわかった。これに対して、長い沈み込み帯（全長7400 kmもある南米沿岸沖の沈み込み帯など）は、もっとゆっくり移動して、W字型になることがわかった。

プレートが地下に潜り込むにつれて、沈み込み帯は一般に後退していくことがわかっている。例えば南米の沈み込み帯では、沈み込むプレートは東に向かって動くが、沈み込み帯は西に向かって動こうとする。その結果、乗り上げるプレートと沈み込むプレートとの間にすき間ができるため、ここを岩石で埋める必要が生じてくる。ここで、沈み込むプレートの下にある上部マントルの岩石が、沈み込むプレートの両端を回り込んで流れることで、このすき間を埋めようとするのである。

モデルによると、沈み込み帯の長さが数百km程度にすぎない場合には、すき間を埋める岩石は容易に流れることができる。その流れは沈み込み帯の両端を回り込み、同様にして沈み込み帯も曲げる結果、沈み込み帯はU字型になる。

しかし、沈み込み帯が長い場合には、沈み込むプレートの中央付近のマントルの岩石が、プレートの両端を回ってはるばる移動し、反対側にあるすき間を埋めることは困難であることがわかった。南米の場合には、沈み込み帯の北端や南端はやはり曲がるものの、中央部のボリビア付近はあまり動かないという結果になる。

日本にも大山脈ができる？

南米では、乗り上げる側のプレートが毎年約2 cmずつ西に向かって動いているため、沈み込み帯の中央付近で激しいぶつかり合いが起きている。「ここ3000万年ほどの間、大陸のこの部分は、南北300～350 kmにわたって西に向かって動こうとしてきた。しかし、どうしても進むことができなかったため、上に向かって動いたのだ」とSchellartは説明する。

Schellartは、太平洋の反対側にある「日本沈み込み帯」でも、同じプロセスが鏡像の形で起きていると指摘する。しかし、こちらの衝突は始まってから1000万年もたっていない。「日本付近でも大きな山脈ができる可能性が高いが、今はまだ初期段階にある」と彼はいう。

この山々は、プレートが珍しい方法でぶつかり合うことで生まれた。

ROB CRANDALL / ISTOCK CONNECTION WORLDWIDE / NEWSCOM

これまで研究者たちはアンデス山脈が異常に高い理由を、沈み込むプレートと大陸の間の海溝に堆積物を流し込むような川がないため、摩擦が大きい地帯ができて山を支えているからだと説明してきた。しかしSchellartは、南太平洋のトンガ沖合の沈み込み帯のように、堆積物がないのに大きな山ができない沈み込み帯が存在すると指摘する。

ノースウェスタン大学（米国イリノイ州）のSeth Steinは、「これはよくできた全地球モデルだ。小さなプレート境界ほど速く形状を変えるという仮説はとてもすばらしい」と評価する。このモデルでは、長靴型のイタリア半島が短期間のうちに大きく回転した理由も説明できる。イタリア半島は、ほんの1500万年前にはちょうど南北方向に向いていたのだが、そこにある短い沈み込み帯の形状が変化したために、プレート境界が左回りに移動したと考えることができるのだ。けれどもSteinは、アンデス山脈に関する地質学的問題のすべてがこのモデルにより説明できるとは思っていない。「アンデス山脈は、乗り上げる側の大陸の地質学にも深く関係しているが、Schellartらのモデルではこれが考慮されていないからだ」と彼はいう。 ■

1. Schellart W. P., *et al. Nature*, **446**, 308–311.(2007).

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

Letting the light in on Antarctic ecosystems

棚氷の消えた南極海の生態系

Nature Vol.446 (9) / 1 March 2007

Lucy Odling-Smee

この写真のラーセンA棚氷のあった海域に群生するホヤは、生物多様性の増大の現れである。また、雌の産んだ卵を抱きかかえている雄のウミグモ（右）は新たに発見された種である。

J. GUTT / ALFRED WEGENER INST.

この10年あまりの間に、南極半島の東側では大きな棚氷が2つ崩壊し、数千年にもわたって氷に隠されていた海底の一部に日光が届くようになった。1月下旬に終了した10週間の調査では、この海の生物学に光明が投じられ、この海域から約1000種の試料が収集されたが、その一部は新種ではないかとみられている。

「これは、気候変動で極地の海の状態が変化したときに何が起こるのかを知るための第一歩になる」と話すのは、アルフレッド・P・スローン財団（米、ニューヨーク）のプログラムディレクターを務めるJesse Ausubelだ。この財団は、国際極地年の活動の一環として13件の調査航海を計画している「南極海洋生物センサス」に資金を拠出している。

14か国の海洋生物学者約50名がドイツの観測船ポーラーシュテルン号に乗り組み、カメラを搭載した遠隔操作探査機による深海調査やトロール式の試料採集など、さまざまな方法で調査を行った。ラーセンA、ラーセンBという2つの棚氷のあったジャマイカと同じくらいの面積の海底について、深さ850メートルまで調査された。

調査の大きな目的は2つあった。1つは棚氷の下にどのような生物が生息しているのかを明らかにすること、もう1つは棚氷がなくなってしまうと生物群集はどうなるのかを追跡することであった。この海域では、深海でよくみられるはずの意外な種が比較的浅いところに生息していた。

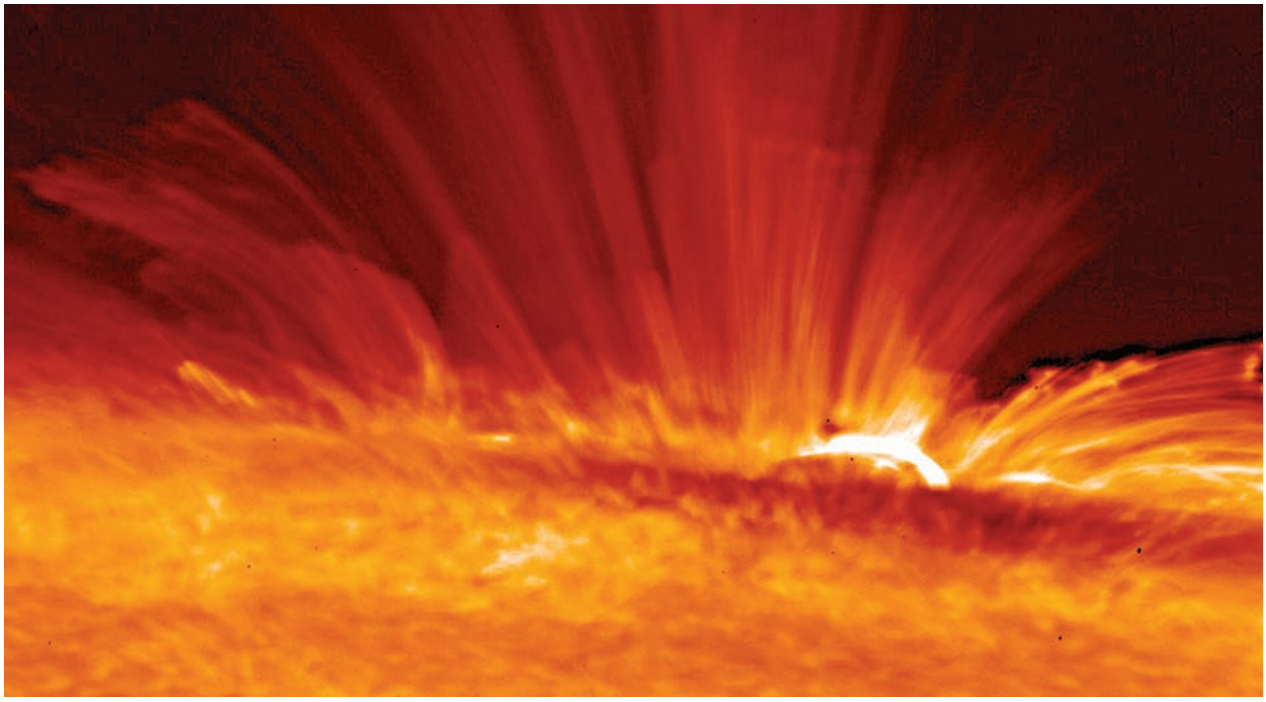
国際極地財団（ベルギー、ブリュッセル）に所属してこの調査を指揮する生物学者のGauthier Chappelleは、「ペルー沖の深さ2000～3000 メートルの海でしか見つかっていなかったウニの一種が発見された」と話す。氷の下に存在していたことから、おそらくそうした種は資源の乏しい条件への適応能力が高いのだろう。

もう1つの発見は、ラーセンA海域にみられた六放海綿類（ガラス海綿類）の幼形であった。ラーセンA棚氷は12年前に崩壊したが、ラーセンBの崩壊からはわずか5年しか経っていない。六放海綿類は成熟して成体になるのに何百年も要するが、ほかの種に生息場所を提供していることから、南極海の生態系を構成する生物として重要なものである。「この系は、南極のほかの海域にみられるような豊かな生物群集を支える方向に移行しつつあるようだ」と、アルフレッド・ウェゲナー極地・海洋研究所（独、ブレーマーハーフェン）に所属する海洋生態学者でありポーラーシュテルン号の調査の主任研究者であるJulian Guttは話す。

Guttによれば、この海域が南極沿岸海域に典型的な生物群集にまで成熟するには、おそらく1000～5000年はかかるだろうという。また、今後の気候変動によって、海岸から土壌が流入して海水の透明度が損なわれ、濾過摂食をする南極の動物たちが作り出す豊かな生物群集への遷移がこれ以上進まなくなる可能性もある。■

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

SNAPSHOT



H. JAXA/NASA

太陽の新たな横顔

Nature Vol.446 (477) / 29 March 2006

現在、太陽の活動を鮮明に捉えた画像が、我々の手元に続々と届けられている。これらの画像は、科学の謎を解明する手がかりになると同時に、新たな謎を投げかけてもいる。

太陽観測衛星「ひので」は、日本宇宙航空研究開発機構（JAXA）が主導する国際プロジェクトとして2006年9月に打ち上げられたものであり、現在は、太陽の観測に適した軌道で地球を周回している。「ひので」に搭載された3つの主要観測装置から送られてくる最新データは、おなじみの太陽を、ダイナミックで、荒れ狂う、謎めいた磁気活動の場として描き出している。

研究者たちは以前から、太陽の最外層大気（コロナ）の温度が約100万度にも達し、太陽表面の約100倍も高温であることを不思議に思ってきた。1つの説明として、太陽から突き出た磁場が荒れ狂う環境の中でねじ切られ、このときに熱としてエネルギーを放出しているのではないかとするものがある。「ひので」のX線望遠鏡から送信されてきたデータは、この理論を裏づけるものだった。

「コロナの構造が、ねじれたりちぎれたりするようすが見てとれる。予想されていたとおりの現象だ」と、ハーバード-スミソニアン宇宙物理学センター（マサチューセッツ州ケンブリッジ）のLeon Golubはいう。けれども、観察データの中には、解釈に苦しむものもあった。宇宙物理学者たちは、磁場のアーチがつぶれるビデオ画像に驚いた。「我々はこれまで、外側に出ていく磁場ばかり見てきた」とGolubは語る。しかし、この磁場は反対の方向に進んで行ったのだ。「どうしてこんなことが起こるのか、説明することはできない」とGolubは続ける。彼は、これもコロナの温度の高さに関連している可能性があると考えているが、これまでのところ、この種の活動を予言する理論はないという。

「太陽の表面に見られるような過程は直観的には理解しにくく、その説明は困難だ」と述べるのは、ロッキード・マーチン先端技術研究所（カリフォルニア州パロアルト）のAlan Titleだ。Titleは、「ひので」の第3の観測装置である可視光望遠鏡の開発に携わった。

「ひので」は、さらなる意外な発見をもたらしてくれる可能性がある。「我々の理解を越えたデータが、ほとんど毎日のように送られてくるのだ」とGoulbは述べた。■

ビデオは、www.nature.com/news/2007/070319/full/070319-11.htmlで閲覧できる。

©2007 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。

We are family

われら地球家族、真の「家系図」を求めて

Nature Vol. 446 (247-249)/15 March 2007

ダーウィンをアップデート：塩基配列データは系統樹にどう影響を及ぼすだろうか。

ILLUSTRATION : N. SPENCER, SEQUENCE DATA:SPL/PPS

生命の系統樹を更新して精度を高めていくには、進化生物学のスキルとゲノム解析研究で得られたデータの両方が必要だ。しかし、両者とも正念場にありながら、互いを無視しているのが現状である。John Whitfieldが報告する。

1858年の7月1日、ピカデリー街に建つロンドン・リンネ協会の堂々とした新古典派様式の建物内で、生物学は後戻りできない道を踏み出した。その夜、同協会の主事であったジョン・ベネットは、アルフレッド・ラッセル・ウォレスとチャールズ・ダーウィンの2人の生物学者の手による研究論文を読み上げたのである。そのとき以来、リンネの分類体系は生物を記載して分類するだけの科学ではなくなり、形質に基づいて生物の進化上の類縁関係を明らかにし、その生物を生命の系統樹上のしかるべき位置にすえる方向に向かった。このような樹状図を初めて掲載したのが、ご存知の通り、その翌年に刊行されたダーウィンの『種の起原』である。

系統樹を再構築しようというこの構想は、過去30年の間にDNA塩基配列解読によって大革命がなされた。遺伝子の塩基配列を比較解析することで、古細菌という新たな「ドメイン」（上位の分類階級で、生物を真核生物・細菌・古細菌の3ドメインに分ける）の存在が明らかになっただけでなく、我々ヒトに最も近縁な動物はゴリラでなくチンパンジーであることも確実になった。また、わずかだったデータ量もしだいに大量となり、主要な塩基配列解読機関だけでも毎秒約5000塩基のDNAを読み取っている。現在では、およそ1000種の生物についてゲノム塩基配列が解読済みであり、さらに毎月のようにゲノム配列が報告されている。

この押し寄せるゲノム情報のおかげで、生物の進化上の類縁関係を研究する系統分類学は、もう一度立て直しを迫られている。「ゲノム情報は地球生命の系統樹を把握するうえで、これまでにないすぐれた視点をもたらしつつある」と英国エディンバラ大学の進化生物学者Mark Blaxterはいう。「革命はまだ始まったばかりで、新しいゲノムが解析されるたびに系統樹が見直されている」。そう語るBlaxterは、系統ゲノム学（phylogenomics）の旗の下に集結した数名の研究者の1人である。系統ゲノム学とは、大量の遺伝的データ（完全なゲノムだけにとどまらない）を土台に生命の系統樹を構築する学問である。

それと同時に明らかになったのは、多くの問題はデータを積み重ねても容易には片づかないということだ。「1000塩基の配列で解決できない問題は、100万塩基の配列をもってしてもまず解決できない」と、ウォールナットクリーク（米国

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

カリフォルニア州）にある共同ゲノム研究所のJeffrey Booreは話す。系統ゲノム学が最高の力を発揮するには双方向性をもつことだ。ゲノム研究者が遺伝子の機能を解明したり、みっともない誤りを回避したりするには、進化生物学者の助けが必要なのである。

なかでも最も注目を浴びた誤りはおそらく、ヒトゲノム計画による2001年の発表内容だろう。ヒトの100～200個の遺伝子は、細菌から直接持ち込まれたものだと報告されたのである。解析から、ヒトにも細菌にも存在するがヒトに近縁な種のどれにも存在しない遺伝子が見つかったのだ。こうした遺伝子はおそらく遺伝子の水平伝播によって細菌からヒトへ移入したのだろう、というのがゲノム計画の研究チームが出した結論だった。つまり、一方の細胞から他方の細胞へとDNAのかたまりが受け渡される一種の種間交雑によると考えたのである。この解析結果は、ヒトゲノム計画のもたらした大きなニュースの1つとして大きく取り上げられた。

Jonathan Eisenが初めてこの知見を知ったのは、ロックヴィル（米国メリーランド州）のゲノム研究所にある仕事場のテレビで記者会見を見ているときだった。「吐き気を催してしまったよ。彼らは、ヒトの脳の発生に関与する遺伝子が細菌に直接由来したものだと話しているところだった。ちょっと考えてみるだけで、とんでもない話だとわかりそうなものだが」と彼はいう。Eisenは当然のことながら、同じように唖然としたほかの進化生物学者たちと、記者会見の発表内容に対して即座に異議を唱え、問題の遺伝子群はヒトと細菌の共通祖先に存在していたが、その後他の系統では失われてしまった可能性が高いことを示した[1]。

ゲノム学が進化を無視して間違いを犯してしまう例は、この話だけにとどまらない。「分子生物学者は、進化研究を特に厳密な科学とみなさない傾向がある」と、現在はカリフォルニア大学デイビス校で研究するEisenはいう。「しかし、進化の解析なしにまともなゲノム解析をすることはできない」。系統ゲノム学はこの2つの分野を統合しようとするものだと彼は話す。

形態と機能

スタート時は危なっかしかったが、ゲノム配列解読機関も現在では進化の重要性を認識しており、Eisenはゲノム学分野の中枢域で研究する数名の進化生物学者の1人となっている。これは、恥ずかしいミスを犯さないようにしようという意図からだけではない。進化生物学の手法を導入することで、遺伝子を見つけ出して、そのコードするタンパク質が何をするかを解明するといった、ゲノム解析研究の別の側面を強化することにもつながる。

機能のわからない遺伝子が出てきた場合、ほかの生物の塩基配列内で、すでに機能のわかっているよく似た遺伝子を探すことができる。もっと厳密なやり方は、配列データを使って、問題の遺伝子のさまざまなバージョンの系統樹を構築することである。こうすることで、その遺伝子の進化の道筋を追ったり、その機能がどう変化してきた可能性があるかを推測したり、ほかの遺伝子のうちどれが問題の遺伝子に最も近縁なのか（最も配列の似ている遺伝子とは限らない）を突き止めたりできる。ソフトウエアでこの処理を自動化することができ、単純な配列比較よりももっと正確にタンパク質の機能を予測できる。

系統樹の構築は、現在でもまだ非常に慎重を要する作業だ。系統分類研究では、遺伝子や種またはもっと上位の分類群について、最終共通祖先で生じて子孫種で共有されている形態学的・生化学的・遺伝学的な特徴を検索することで、遺伝子間や種間または上位の分類群間の類縁関係を解明していく。そうした共有される特徴の例としては、例えば哺乳類の授乳がある。しかし、対象種がわずか10種でも系統樹は3400万通り考えられる。系統分類の研究者たちは、可能性のある系統樹の中から現実を最も反映していると思われる系統樹を見つけ出すための複雑なアルゴリズムを開発してきた。

正しい系統樹を拾い上げることは、なかなかむずかしい。「15年の間、1つのボタンを押すだけでこれらの問題を解けるようなソフトウエアの登場が切望されてきた。しかし悲しいかな、実現していない。これはアルゴリズム的にみて、ものすごくむずかしい問題なのだ」とBooreはいう。とりわけ困難なのは、ある形質が1つの共通祖先から受け継がれたものなのか、それとも、同じように見えるものの類縁関係のない分類群から独立に進化した形質なのか（例えば鳥類の翼とコウモリの翼）、さらには、いったん進化したが後の子孫系統で失われてしまった形質なのか（例えば洞窟にすむ魚類では眼が退化してしまっている）を見極めることだ。多くの場合、1つのデータを同程度に説明できる系統樹は数通り得られる。また、同一の組み合わせの生物群を対象としても、遺伝子が異なれば推定される系統樹も異なってくる場合が多い。

枝分かれ

遺伝子が異なると推定される系統樹も異なる場合には、ゲノムサイズのデータセットがあれば役に立つ。一度にたくさんの遺伝子を解析することで、進化の全体パターンを浮かび上がらせることができ、風変わりな遺伝子や紛らわしい形質の影響を薄めることができる。系統ゲノム学の初期の成功例の1つは、齧歯類やコウモリ、食肉類、有蹄類といった哺乳類分類群の間の類縁関係を明らかにしたことだった。哺乳類はどうやら恐竜の絶滅後

REINHARD DIRSCHERL / VISUAL&WRITTEN / NEWSCOM

ホヤ類はちょっとの間だけ、頭索類になり代わって、脊椎動物に最も近縁な仲間の地位についた。

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

に急激に進化を遂げたものらしく、そのため、それらの多様な共通祖先はほとんど時間をおかずに、子孫系統の目印にもなるような固有の特徴を進化させたとみられている。ところが、1個の細胞核から得た20～30個の遺伝子と、細胞内エネルギー生成装置で独自の小型染色体をもつミトコンドリアの全ゲノムとを組み合わせた複合解析では、どの分類群とどの分類群が近縁かに関して、1つの安定した解答が得られた。

ただし、すべてがそううまくいくわけではない。線虫の例を挙げてみよう。この10年、線虫の系統樹上の位置づけについては議論が堂々巡りをしてきた。線虫のように体の作りが単純な生物は、特に系統分類学者にとって困りものである。祖先がどんな状態だったかをうかがい知る手がかりがほとんどないからだ。その形態から、線虫は動物の系統樹の根元付近に位置づけられた。線虫には軟体動物や昆虫、脊椎動物にみられる「体腔」という構造がない、という理由からである。しかし1990年代後半になって、分子レベルの解析から、線虫類は実は体腔を失ったのであって、脱皮をして成長する「脱皮動物（Ecdysozoa）」とよばれる分類群（昆虫もここに入る）に属するのではないかと提案された[2]。

線虫の*Caenorhabditis elegans*とキイロショウジョウバエ（*Drosophila melanogaster*）の2種は、モデル動物として最も重要な部類に入るため、線虫の系統分類上の位置づけや昆虫との類縁関係の程度は、ゲノム学に幅広く重要な意味をもつ。脱皮動物が真の分類群であるとすれば、類縁関係におけるヒトからの距離は線虫もショウジョウバエも等しくなる。しかしそうでないとすれば、線虫よりもショウジョウバエのほうがヒトに近いことになる。ヒト、線虫*C. elegans*、キイロショウジョウバエはゲノム解読が最も早く完了した動物種だ。これらの全ゲノムが解読されれば、ゲノム解析以前の遺伝学解析から引き出された脱皮動物の存在を語る進化の筋書きとは違う進化史がみえてくるのではないかと思われていた。ところが、それらのゲノム解析から読み取れたのは、分子レベル解析以前からあった古いほうの筋書きだった。ヒト、ショウジョウバエ、線虫のゲノムから構築された系統樹[3]では、線虫が仲間はずれになったのである。

身元確認

相反する系統樹のどちらかを選ぶ方法の1つは、解析にもっと多くの種を加えることだ。動物ではもうすぐ、1種のゲノム配列解読が完了しようとしている。ただし、多数の種について一部の配列データを得るやり方と、少数種について大量のデータを得るやり方の間をとった第3の方法がある。それは、発現配列標識（EST）という、細胞内で発現している遺伝子からなるDNA配列を使うものだ。ESTライブラリーからは、1種について数百の遺伝子に関するデータを比較的短時間かつ低経費で得ることができ、より多くの種の解析が可能となる。モントリオール大学（カナダ）のHervé Philippeの研究チームが、ほぼ150個の遺伝子に相当するESTを用いて35生物種を含む1つの系統樹を構築したところ、その系統樹は脱皮動物の存在を裏づけるものとなった[4]。

系統ゲノム学研究者の多くは現在、脱皮動物という分類群を支持するこのデータを信じる方向に傾いている。しかし十分な解析から、この問題について反対の見解が正しい可能性もまだ残っていると考えられると、マサチューセッツ工科大学（米国ケンブリッジ）のゲノム学研究者Antonis Rokasはいう。「いっそ自分が不可知論者だったらどれほどよかったか。私自身は系統発生学上の証拠をみただけでは、どちらが正しいか確信がもてない」。

こうした堂々巡りの状態は珍しくなくなった。データが蓄積していくにつれて議論がまず一方に傾き、やがて別の方向に傾くということが起こるからだ。昨年、Philippeの研究チームは、脊椎動物に最も近縁な仲間は、従来考えられていたように魚類に似た頭索動物ではなく、ゼリー製の袋のような姿のホヤ類（被嚢動物）であることを示唆した[5]。Philippeの研究では、頭索動物が棘皮動物（ウニなど）と同じ1つの分類群にまとめられ、魚類様の動物は2度進化したか、あるいは脊椎動物とウニの共通祖先が魚類に似ていたのかのどちらかであるという厄介な予想になった。昨年11月、ロンドン大学ユニバーシティカレッジの進化生物学者Max Telfordたちのグループは、ヒトデなど他の分類群から3万5000アミノ酸のデータセットを加えた。その新しい系統樹では、頭索動物が以前置かれていた位置に戻った[6]。「大きな安堵のため息がもれた。Philippeでさえ、最初の結果をあまり信用していなかったのだ」とTelfordはいう。

総じていえば、動物の「門」（軟体動物門や節足動物門といった大きな分類階級）どうしの類縁関係は今もよくわかっていない。「動物の進化には長年頭を悩ませてきた。我々は今、壁に突き当たっている」とRokasはいう。動物の「門」はすべて、6億年ほど前に急激に進化したとみられている。Rokasは、複数の同じ遺伝子に基づいて構築された菌類と動物の系統樹を比較した[7]。菌類の遺伝子は一定の速度で変化してきたと考えられ、菌類から構築された系統樹ははっきりとした姿になる。一方、動物の系統樹は今にも崩れ去りそうな形になる。

もっと多くの塩基配列が得られれば助けになるのだろうか。「全ゲノムの塩基配列が得られても解けないと思われる問題がいくつかある」とTelfordはいう。彼は例として、毛顎動物（ヤムシ類）という海にすむ捕食性の蠕虫を挙げた。この仲間では、70を越える遺伝子が解析されても、進化上の位置づけを明らかにするところまでいかなかった[8]。「我々は非常に多くのデータを手にしていながら、毛顎動物の系統樹上の位置を定めることができなかったのだ」と彼はいう。

系統分類学の責務

塩基配列が役立たない場合、そのゲノムのほかの特徴が役立つ可能性もある。例えば遺伝子の位置も受け継がれるし、遺伝子の並び順の変化に進化過程の分岐が反映されていることもある。Booreはこ

©2007 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。

「家庭内」のごたごた：ヒト、キイロショウジョウバエ、線虫は全ゲノム塩基配列が最も早く解読された動物だが、この3者の進化上の類縁関係はまだ謎に包まれたままである。

M. MELVIN / CDC　ALAMY / PPS　CHUCK KENNEDY / MCT / NEWSCOM

の手法を開拓し、ミトコンドリアの遺伝子の並び順から、昆虫と甲殻類がお互いに、クモ類やムカデ類に対するよりも近縁なことを明らかにした[9]。

同様に、トランスポゾンとよばれる「ジャンプする遺伝子」が塩基配列に入り込む箇所は、哺乳類の進化史を再構築するのに使われ[10]、DNAの転写からタンパク質への翻訳までの間に切り落とされる遺伝子内のイントロンというDNA片の位置は、脱皮動物の存在を裏づけるのに使われた[11]。ある分類群の中で1つの珍しい遺伝的な出来事が共有されている場合、その分類群は確実に1つの共通祖先から派生したものだと、Booreはいう。

こうした手法が役立つことはまだ広く一般に認められていない。「私自身は、ゲノムの多くの特徴が進化史の再構築にあまり役立たないことに以前から気づいていた。こうした特徴は過度に分岐進化の傾向を示すからだ」とEisenはいい、同一遺伝子群の並び順はおそらく異なる複数の分類群で独立にたびたび生じたものだと説明する。Philippeは、塩基配列データは現在もまだ最も信頼できる情報だが、いずれほかの手法も十分使えるようになるはずだと考えている。

この問題の一部は、これまで塩基配列解読のなされたヒト以外のゲノムの大部分が、実験用モデル生物や病原体や経済的に重要な生物のものだったことに起因するのかもしれない。どの生物も、進化を解明するうえで理想的ではないのだ。モデル生物種や農作物は世代交代が速く、そのため非常に高速度で進化する種である。「モデルに選ばれた生物は、ゲノムの点からみると変わり種的な生物学的特徴を備えたものだ」とBlaxterはいう。

しかし進化生物学者たちは、ゲノム塩基配列の研究者が間もなく研究の焦点を切り替えるだろうと期待している。「多数のゲノム解読計画が完了を迎えようとしており、ゲノム解析機関は次になすべきことを探しているところだ」と、ロンドンにある自然史博物館のTim Littlewoodはいう。その標的となりそうなものの1つは真核生物の系統樹である。真核生物とは、細胞内に区画のある生物をすべて含むドメインで、おなじみの動物界や植物界、菌界のほか、原生生物（プロチスタ）界という種数の非常に多い単細胞生物群も含まれる。前者3つの分類群のうちどれが、原生生物に最も近縁で、多細胞へと進んで動物を生じた祖先をもつのかは、いっさいわかっていない。「系統ゲノム学が取り組める最も興味深い問題の1つは、真核生物の進化の概要をつかむことだ」とPhilippeはいう。

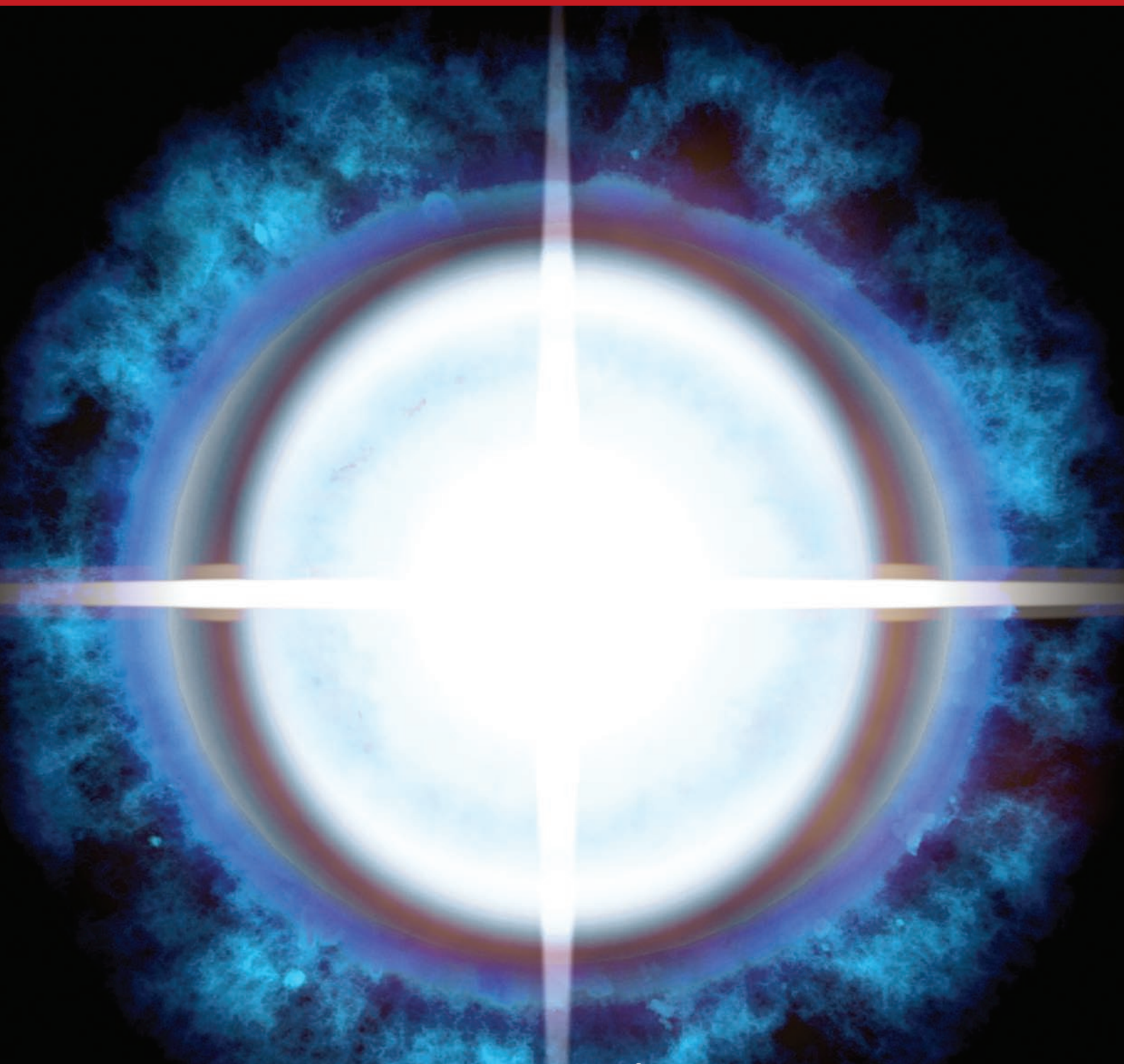
ただし、進化についての謎それ自体が塩基配列解読計画の進み方を速めることにはならないだろう、とBooreはいう。1つ心配なのは、農作物や病原体のゲノムをひととおり配列解読してしまったら、研究費が途絶えてしまう可能性があることだ。「これまで、比較ゲノム解析に対する欲求は驚くほどあったが、物事がどう進んでいくかなど予測できるものではない」とBooreは話す。塩基配列を解読する生物を選ぶ際には、ヒトの生物学的特徴や疾患を解明するうえで役立ちそうかどうかが強い論拠となる。奇妙な海洋生物種の系統について議論が盛り上がったとしても、配列解読の切実性は低いのである。

「ゲノム研究者は系統分類学の必要性をよくわかっている」とLittlewoodはいう。系統分類学は古臭くて難解な学問だというイメージがもたれているが、現在流行している分子研究が系統分類研究に依存していることを示せば、少なくなっている系統分類学の仕事や資金を回復させる助けになるはずだ、と彼は語る。「いろいろな意味で、ゲノム学は系統分類学からもっと多くのものを学ぼうとすべきであり、逆もまたしかりである。手を貸そうといい出すべき責務は、系統分類学者の側にあるのだ」。■

John Whitfield はロンドンに拠点を置くサイエンスライター。この記事は、カール・フォン・リンネ生誕 300 年を記念する特集の一部である。

1. Genereux, D. P. & Logsdon Jr, J. M. *Trends Genet.* **19**, 191–195 (2003).
2. Aguinaldo, A. M. A. *et al. Nature* **387**, 489–493 (1997)
3. Blair, J. E., Ikeo, K., Gojobori, T. & Hedges, S. B. *BMC Evol. Biol.* **2**, 7 (2002).
4. Philippe, H., Lartillot, N. & Brinkmann, H. *Mol. Biol. Evol.* **22**, 1246–1253 (2005).
5. Delsuc, F., Brinkmann, H., Chourrout, D. & Philippe, H. *Nature* **439**, 965–968 (2006).
6. Bourlat, S. J. *et al. Nature* **444**, 85–88 (2006).
7. Rokas, A., Krüger, D. & Carroll, S. B. *Science* **310**, 1933–1938 (2005).
8. Matus, D. Q. *et al. Curr. Biol.* **16**, R575–R576 (2006).
9. Boore, J. L., Collins, T. M., Stanton, D., Daehler, L L. & Brown, W. M. *Nature* **376**, 163–165 (1995).
10. Nishihara, H., Hasegawa, M. & Okada, *N. Proc. Natl Acad. Sci. USA* **103**, 9929–9934 (2006).
11. Roy, S. W. & Gilbert, W. *Proc. Natl Acad. Sci.* USA **102**, 4403–4408 (2005).

©2007 NPG Nature Asia-Pacific



C. DARKIN

Extreme light

究極の光

Nature Vol.446 (16-18) / 1 March 2007

物理学者たちは、時空の織物を引き裂く強力なレーザーを開発しようと計画している。Ed Gerstnerが報告する。

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

欧州原子核共同研究機関（CERN）が37億ユーロ（約5900億円）の費用を投じて建設したラージハドロンコライダー（LHC）は、初期の加速器の約1億倍の高エネルギーを達成することができ、この100年間で驚くべき進歩を遂げてきた物理学の1つの到達点といえるものになっている。LHCは2007年の後半に正式に運転を開始し、2008年には設計どおりのエネルギーを達成する見込みになっており、このレベルの高エネルギーでなければ見つけることができないヒッグス粒子などの重要な粒子の探索に着手することになる。しかし、素粒子物理学者たちの目は、LHCが動き出す前からその先に注がれており、より高いエネルギーを達成できる国際リニアコライダー（ILC）の建設が計画されている。ILCの建設には、約67億ドル（約7900億円）の費用がかかると見積もられている。

LHCがヒッグス粒子を探している頃には、米国カリフォルニア州のローレンスリバモア国立研究所の国立点火施設（NIF）が完成する。こちらも約40億ドル（約4700億円）という多額の費用がかかった物理学研究施設であるが、LHCほどには期待を集めていない。NIFは、192本のレーザーを組み合わせて、地球上のすべての発電所が作り出す電力の50倍以上のエネルギーを10億分の1秒間だけ出すことができる。その目標は、レーザーの焦点にある小さな水素ペレットに核融合の火をともし、これをヘリウムに変えることにある。

NIFでの研究は、恒星内部で起きている反応を小規模で再現することにより、宇宙物理学を実験室にもち込むことになる。さらには、未来の発電の基礎技術にもなるかもしれない。しかし、NIF建設の主たる目的は、米国の核兵器を確実に使える安全なものにすることにあり、だからこそNIFはこれだけの予算を集めることができたのである。NIFの数年後に「点火」を達成するとみられているフランスのレーザーメガジュール（LMJ）も、同様の目的をもつ施設である。

LMJとNIFのレーザーは、物理学者を興奮させるという点ではLHCなどの加速器には及ばない。少なくとも、現時点ではそうである。しかし、今後数十年のうちにNIFよりもさらに強く、はるかに低いコストで生み出されるレーザービームが、粒子加速器に代わって物理学の最先端の研究を担うようになるかもしれない。今後、LHCやILCに比べて格段に高い出力の従来型粒子加速器が登場することはないかもしれない。しかし、NIFの100万倍の強さのレーザーは、すでに物理学者の頭の中で計画されており、彼らはそのための研究資金を求めて動き出している。

真空は可能性の海

研究者たちが極限レーザー（超高強度レーザー）を作りたいと考えるのは、光と真空の相互作用を調べたいからである。場の量子論によれば、真空は「可能性の海」であり、この奇妙な海では、仮想の粒子と反粒子の対が絶え間なく現れたり消えたりしている。光が十分に強いとき、光を構成している電磁場は、この「海」との間で奇妙な相互作用をし始める。真空はもはや単純で予測可能な媒質ではなくなり、まったく奇妙で予測不可能で非線形な何かになる。

真空に十分なエネルギーを注入すると、仮想の粒子対が現実の粒子対になり、その途端に非常に強い場によって引き離される。これには8×10^{18} Vm^{-1}よりも少し大きな電場が必要になると考えられており、この場の強さを「シュウィンガー限界」とよぶ。真空の海はここで沸騰し始める。

極限レーザーの研究に力を入れている南カリフォルニア大学（ロサンゼルス）のTom Katsouleasは、「一般の人たちにこの話をすると、夢中になって聞いてくれる」という。問題は、シュウィンガー限界がはるかに遠いことである。8×10^{18} Vm^{-1}の電場を作るためには、10^{30} Wcm^{-2}を超える強度のレーザーが必要なのである。これはNIFの1000兆倍の強さである。NIFの建設に数十億ドルを要したことを考えると、あまりにも遠大な目標のようにみえる。

しかし、パリ近郊の応用光学研究所の所長であるGérard Mourouが率いる研究チームは、この目標を比較的少ない費用で達成できると考えている。彼らはまた、最終目標への途上で、いくつもの驚くべき物理現象に出会うだろうと予測している。レーザーは、その歴史を通じて常に光の新しい可能性を切り開き、物理学者たちに刺激を与えてきた。1960年代に開発された初期のレーザーは、媒質の屈折率を変えるほど強力であったことから、非線形光学への新たな展望を開いた。今日の最先端研究のキャッチフレーズは「相対論的光学」である。これは、レーザー光に伴う場が、媒質中のすべての電子を光速近くまで加速するような系についての研究である。

ハイパワーレーザーをめざして

Mourouが提案する極限光研究施設（ELI）は、電子だけでなく電子がはぎ取られたイオンまでも光速近くまで加速して「超相対論的な系」を研究しようとするものである。Mourouは、「1960年代にレーザーが明らかにした非線形効果は、予想をはるかに超えていた。予測されていたのは氷山の一角にすぎなかった」と指摘する。彼は、ELIで達成できるエネルギーがもたらす成果についても楽観的だ。

フランス政府は2007年2月15日、ELI計画の意義を認め、ELIがうまくいくかどうかを調べるために、応用光学研究所に新しいレーザービームラインを建設する予算を認めたと発表した。「ELI計画が実現すれば、科学者はこの施設を利用して物理学の根底に迫る興味深い研究をすることができるはずだ」とMourouは話す。もしかすると、ELIにかかる費用が比較的安く、建設に1億3800万ユーロ（約220億円）、運営には年間600万ユーロ（約10億円）しかかからない点のほうが重要であるかもしれない。これは、例えば英国に最近完成した大型放射光施設「ダイヤモンド」の3億8000万ポンド（約900億円）と比べるとかなり少ない。

ハイパワーレーザーのすさまじい強度は、比較的少量のエネルギーを極めて短

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

時間のパルスに押し込め、パワー（エネルギーを時間で割ったもの）を押し上げることによって達成される。だから、NIFのレーザーのパワーは信じられないほど高いように思えるが、実際には比較的少量のエネルギーしか使わない。1つのパルスに含まれるエネルギーは2000キロジュール（約0.5キロワット時）にすぎない。このエネルギーが10億分の数秒という短時間に押し込められていることがポイントなのだ。

チャープパルス増幅

ELIは同じ原理をさらに進めたものである。ELIはかなり早い段階で、NIFの100万分の1に相当する5フェムト秒（1フェムト秒は10^{-15}秒）のパルスを作ることにより、わずか数ジュールのエネルギーからペタワット（10^{15}ワット）を超えるピークパワーを作り出せるようになると期待されている。わずかなエネルギーしか必要としないELIでは、いろいろなことがNIFに比べて容易になる。ELIの提案者らは、パルスの長さをさらに約100分の1に短縮し、数十アト秒（1アト秒は10^{-18}秒）にすることにより、100ペタワットを超えるピーク強度に到達したいと考えている。

ELIの超短パルスは、Mourouが1980年代半ばにロチェスター大学（ニューヨーク州）で開発したチャープパルス増幅とよばれる技術を使って作られる。チャープパルス増幅ではまず、プリズムのように働くストレッチャー（パルス伸長器）という回折格子を使って、レーザーパルスの中の光を分解する。引き伸ばされたパルスの成分は、空間と時間の両方で広がった形で個別に光増幅器に送り込まれる。そして、この逆の働きをするように設計されたコンプレッサー（パルス圧縮器）という回折格子がパルスの成分を再結合して、元のパルスよりもはるかに短くて強いパルスにする。

このストレッチャーとコンプレッサーは現在、ナノ秒（10^{-9}秒）程度の比較的長いパルスが必要なNIFやLMJなどをのぞく、世界の高出力レーザーのほとんどすべてで使われている。大阪大学とラザフォードアップルトン研究所中央レーザー施設（英国ディドコット）は、いずれもペタワットを出すチャープパルス増幅レーザーをもっている。ロチェスター大学なども、チャープパルス増幅レーザーを作成中である。Mourouやその他の研究者たちは、この技術には今のところ明確な限界はないと感じている。パルスはさらに短くできそうなのである。

2006年に欧州の国際研究プロジェクトへの資金支援を行うために「欧州研究基盤ロードマップ」が検討され、ELIは35件のプロジェクトの1つに選ばれた。ロードマップには、チャープパルス増幅レーザーを使う計画がもう1件選ばれている。それが、中央レーザー施設が率いる研究コンソーシアムが建設しようとしているハイパワーレーザーエネルギー研究施設（HiPER）である。HiPERの建設費用はELIよりも多く、8億5500万ユーロ（約1400億円）である。HiperはNIFやLMJとは少し異なる道筋から核融合をめざすことになるが、軍事的な目的はない。NIFとLMJは、メガジュールビームを使ってターゲットを押しつぶすことで核融合を引き起こそうとするのに対して、HiPERはターゲットを比較的やさしく押しつぶし、はるかに短時間のハイパワーパルスを用いて核融合を起こそうとする。

HiPERには、NIFよりもはるかに高い頻度でレーザーを発射できるという利点がある。パルス回数が多く、兵器研究の必要もないHiPERでは、核融合以外の研究を行うチャンスもずっと大きくなるはずだ。NIFでは、核融合以外の研究は1週間に1パルス程度に制限されるだけでなく、出せるパワーも小さい。中央レーザー施設の施設長であるMike Dunneは、チャープパルス増幅の技術がもっと進めば、HiPERのビームを結合させて、ペタワットどころかエクサワット（10^{18}ワット）を達成できる可能性があると予測する。「これはまだ相当不確実な話だが、そうしたビームラインをコヒーレントに結合することができたら、2エクサワットまでのビームが実現可能だと考えている。実際には極めてむずかしいだろうが」とDunneは話す。

ブラックホールに迫る

基礎物理学の観点からみれば、エクサワットレベルのエネルギーを実現できれば、真空の奇妙な性質がみえてくる可能性があり、非常に興味深い。これにより、ブラックホールの境界でみられるような現象を初めて研究できるようになるかもしれない。スティーブン・ホーキングは1970年代に、ブラックホールのわずかに外側で仮想粒子・反粒子対が生まれると、ブラックホールの重力による局所的な真空の強いゆがみがその対を引き離し、1つはブラックホールの中に消え、もう1つはその外側で物質として生き残るだろうと予測した。

この効果は、シュウィンガー限界での電場による電子・陽電子対の生成と似ている。ラザフォードアップルトン研究所のBob Binghamは「真空は、電場であろうと、磁場であろうと、重力場であろうと気にしない。それどころか、弱い相互作用の場なのか、強い相互作用の場なのかさえ気にしない。十分なエネルギーを真空に押し込めることさえできれば、真空から粒子を励起させることができるのだ」という。ホーキング放射の興味深さは、それが重力場に依存している点にある。これは、放射の詳細が場の量子論と一般相対論との関わり合いに依存していることを意味しており、重力の量子論について何らかの示唆を与えてくれる可能性があるからだ。

極限レーザーを建設しようとする研究者たちは、ホーキング放射を見いだすためにブラックホールを作ろうと考えているわけではない。その必要はないのだ。一般相対論の等価原理は、重力場と加速度は、それを経験する物体にとっては同じものであると主張しているからである。だから、1970年代に理論物理学者のウィリアム・アンルーが指摘したように、時空の曲率と構造に関するある仮定が正しいならば、十分な加速度で加速された粒子は、それ自身の座標系でホーキ

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

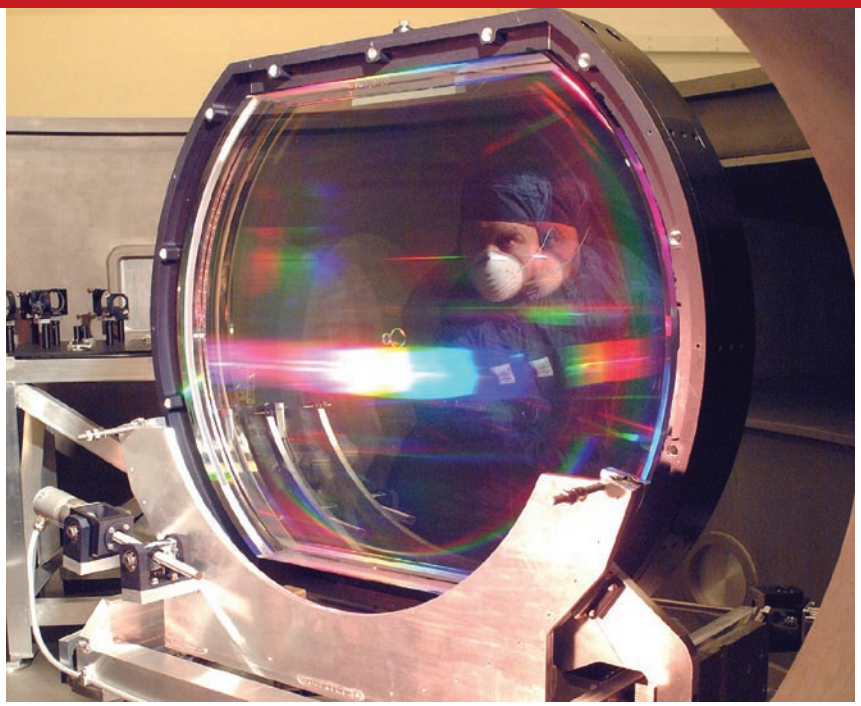
ング放射のような放射を経験し、その影響を受けることになる。

アンルー放射がみられるような加速は、従来型の加速器には不可能であるが、ELI規模のレーザーには可能であるかもしれない。Binghamは、「超高強度レーザーが作る場に近い場を作れるものは、おそらくブラックホール以外にはない。ラザフォードアップルトン研究所のレーザーの一部は約3兆V cm^{-1} の場を作る。これほどの場を作れるものはほかにはない！」と話す。

ELIやHiPERやほかの極限レーザーには、アンルー効果が生じるほど電子を加速することはむずかしいかもしれない。現在はカナダ・バンクーバーのブリティッシュコロンビア大学にいるアンルーは、「それほど強く短いパルスを作ることは、非常にむずかしいように思われる。しかし、実験家がひとたび心を決めたら、驚くべきことをやってのけてしまうことも知っている」と話す。

レーザーが加速器のお株を奪ったり加速器の性能を上げるのを助けたりする方法は、これだけではない。相対論的光学はその定義上、光速近くまで電子を加速することを必要とする。このとき、LHCやILCの限界を超えた素粒子物理学研究を行うことが可能になるかもしれない。光速近くまで電子を加速する方法の1つに、レーザー航跡場加速器というアイデアがある。これは、プラズマ中を進む強力なレーザーパルスが残す「航跡」に電子を乗せて加速するという方法である。

Katsouleasは、「レーザー航跡場加速器研究の進歩と、ELIで実現しようとしているパワーのことを考えてもらえれば、プラズマ中のごく短い距離で粒子を（ILCのエネルギーまで）加速できる可能性について理解してもらえるだろう」と話す。しかし、こうした加速器の開発過程で直面すると思われる大きな技術的課題が乗り越えられたとしても、現存する加速器やこれから建設される加速器に取って代わることはないだろう。レーザー航跡場加速器の平均パワーは、これらに比べてはるかに小さいからである。



CCLRC RUTHERFORD APPLETON LAB.

極限パワーを達成するペタワットレーザーで使う2つの回折格子の一方を、研究者が調べている。

従来型の巨大加速器は、ビームに大量のエネルギーを蓄えることができるのだ。

この点についてKatsouleasは、「このレーザーの平均パワーは、高エネルギー物理学に必要なルミノシティー（粒子の衝突頻度を表す量）を得るためにも、無理のない時間内にイベントを検出できるようにするためにも不十分であり、3桁くらいは上げていく必要がある。しかし、そのための方法はすでにいくつも考えられている」と話す。

次世代の主役をめざして

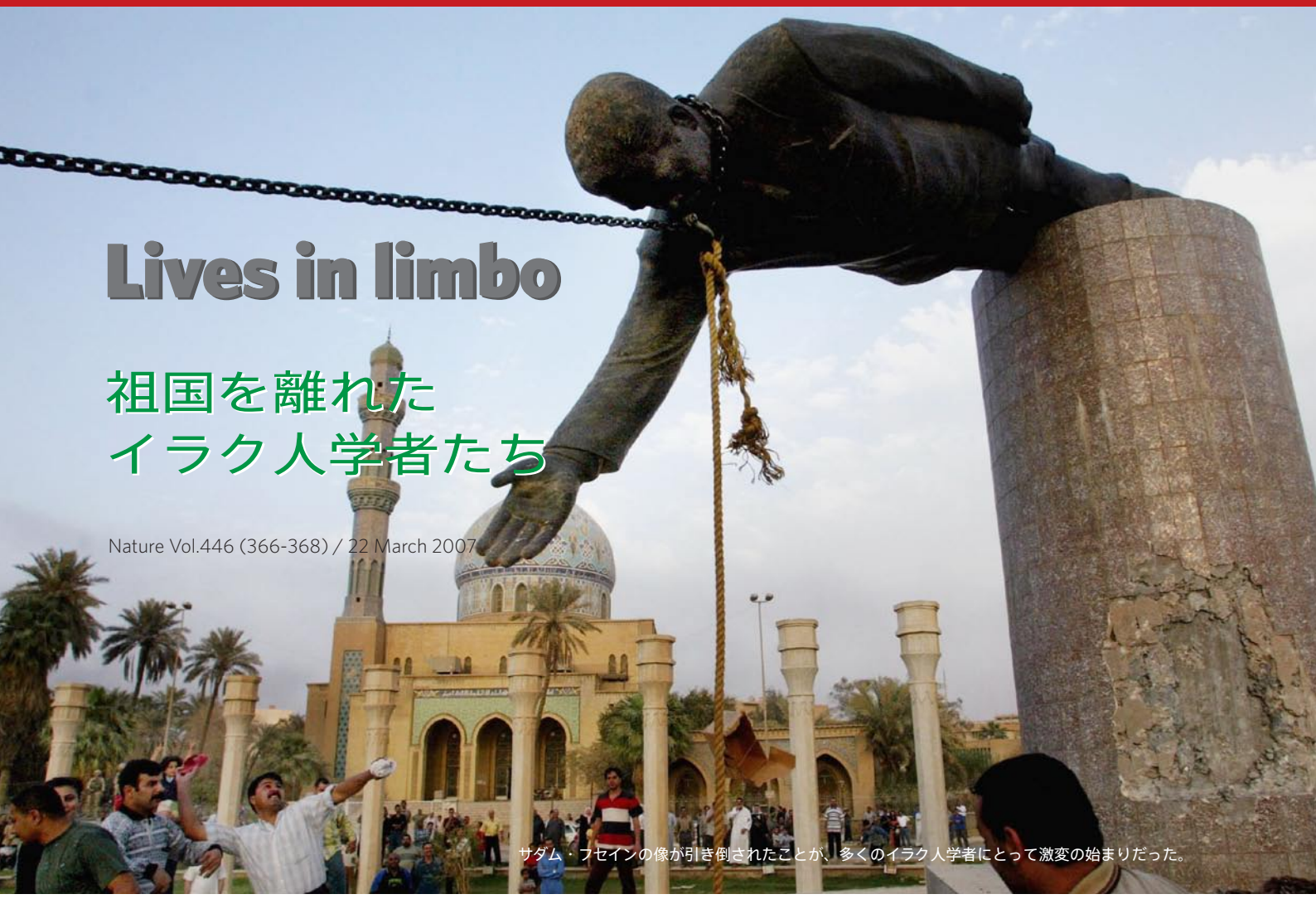
ILCの国際設計作業チーム（GDE）のリーダーを務めるBarry Barishは、レーザーを使って粒子を加速する方法にも興味を示し、これが素粒子物理学を前進させる未来の技術の1つになるかもしれないと考えている。「この方法は試してみる価値がある。明らかな限界はないように見えるし、長期的には何かの役に立つ可能性があるからだ」と彼は話す。しかし彼は、この方法が唯一のものであるとは思っていないし、確実に成功するとも考えていない。「これよりもっとすばらしい方法が出てくる可能性がある。この方法は、ばく大な資金や人手を必要としないというなら研究しておこうという程度のものにすぎない」と彼は話す。

Mourouはレーザー航跡場加速器に関しても強気である。彼は、レーザーを使ったILCの後継装置について、「たぶん20年以内に実現する！」と宣言してから、少しだけいい直した。「設計と建設には10年程度の時間がかかる。また、こうしたものは必ず既存の技術で作られる。だから、20年というときには、極めて慎重にならなければならない。しかし、10年か20年後にはこの技術が手に入っていて、もう10年あれば建設できることだろう」。Mourouらは、もっと注目すべき技術があるという。今日の加速器の100万倍のエネルギーを実現できるガンマ・ガンマ衝突器、さらには光をシュウィンガー限界に近づけ、それを超えさせる「相対論的鏡」である。

Mourouは熱っぽく強調する。「私たちは真空の屈折率を変えようとしているのだ」。彼は、屈折率を変えるというレーザーの特性を究極の形で実現することを想像している。「私たちは新しい粒子を作り出すだろう。真空はすべての粒子の母なのだ。私たちはさらに多くのことを発見するだろう」。■

Ed Gerstnerは、*Nature Physics*のシニア・エディター。

©2007 NPG Nature Asia-Pacific



Lives in limbo

祖国を離れたイラク人学者たち

Nature Vol.446 (366-368) / 22 March 2007

サダム・フセインの像が引き倒されたことが、多くのイラク人学者にとって激変の始まりだった。

DAILY MIRROR GULF COVERAGE / GETTY / NEWSCOM

多くのイラク人学者が、死の脅威から逃れるために国外へ脱出している。しかし、彼らの経験や資格は亡命先で受け入れられず、脱出先の入国管理当局の扱いも冷たいという現実が待ち受ける。Jim Gilesが話を聞いた。

今から20年ほど前、Ali Althamirはイラク国内で快適な生活を送っていた。ある大学の学部長を務める電算処理の専門家として、その暮らしぶりは裕福な中流階級のものだった。中東の著名な研究機関に所属していたこともある。サダム・フセイン政権が制裁措置によって傾くまでは、ほかの多くの研究者と同じく、研究資金を獲得し、時には海外の学会へも参加していた。

しかし、そんなAlthamirの生活は激変した。2003年の英国亡命以来、入国時に採取された彼の指紋は警察のファイルに収められており、彼は月に1度、警察署に出頭することになっている。そして、それ以外の時間はなかなか埋まらない。大学の講堂で講義することはおろか、講堂を掃除する仕事に就くことも法律で禁止されているのだ。時間を割いてインタビューに応じてくれたことに対して感謝の念を伝えたときには、こう答えられてしまったほどだ。「気にしないでください。ほかにすることがありませんから」。

どんよりと曇った今年1月のある日、私はロンドン・サウスバンク大学の一室で、Althamirをはじめとするイラク人科学者や臨床医らと会った。彼らは、ロンドンのあちこちにある社会福祉施設や、慈善団体が運営する安い賃貸住宅に住んでいる。Althamirのほかに同席したのは、レーダー技術の専門家、土木技師、そしてバグダッドで最も著名な医学系大学院の元講師。彼らには50年以上にわたる研究経験があり、祖国から逃げ出すという辛い決断を下さざるを得なかったうえに、将来の展望がほとんど開けないという共通点がある。

彼らがどのような感情を吐露するかは予想できた。なぜ今、祖国を侵略した国からひどい扱いを受けなければならないのかという怒り、不可解な英国の入国管理法に対する苛立ち、本国に残した家族や同僚の心配といったことである。彼らは今、死の脅威からは逃れたものの、移民に冷たい入国管理制度や、過去の経験を認めないことの多い冷淡な学界の態度に直面している。

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

英国ではここ数年間、移民人口の増加が厳しい政治的緊張の原因となっており、それが入国要件の厳格化や入国管理規則の複雑化につながってきた。しかし、彼らはその事実を知らなかった。また、学部長といった経験が就職にほとんど役立たないことも、事前に知ることはなかったという。しかし彼らにとって、このような障害を前もって確認しておくことは必ずしも優先課題ではなかったし、そもそも、それが可能だったかどうかもわからない。

これは、2003年のイラク侵攻以来、数多くの人々がたどった身体と感情の遍歴である。国連の推計によれば、昨年だけで50万人ものイラク人が祖国を脱出している。なかでも研究を続けたいと願う一部の学者たちは、英国を目指した。英国とイラクは歴史的に強い結びつきがあり、また、多くのイラク人研究者は英国留学からキャリアをスタートさせていたからだ。米国に移住する者も多い。米国は研究と資金提供の点で定評がある。確定的な統計はないものの、侵攻後にイラクを脱出した学者の数は数千人にのぼり、そのうち少なくとも100人が英国と米国に入国したと考えられている。

精神科医で研究者のAli Omar（仮名）は、多くのイラク人学者にとって思い当たる節のある話をしてくれた。2003年4月9日、彼の人生は急転した。米軍が、バグダッドの中心街に立っていたサダム・フセインの像を引き倒したことで有名な日だ。それとほぼ時を同じくして略奪が始まった。彼は当時を思い出してこう話す。「ドア、エアコン、照明器具……。全部盗られてしまいました」。

Omarの診療所も破壊された。彼はその後、イラク在住の精神科医のネットワークを作り、戦争によって心に傷を負った人々を支援することに多くの時間を費やした。彼が開催した会議はメディアにも取り上げられた。それは大成功のはずだった。しかし、会議後、彼は親戚から1本の電話を受ける。そして、世間から注目されることは、学者を誘拐・殺害する民兵や犯罪組織にねらわれることになる、と諭された。結果は、親戚のいうとおりだった。

命をねらわれた人々

人権団体や報道によれば、侵攻後に約300人の学者が殺されている。悪いのはシーア派、スンニ派、バース党、反バース党のいずれなのか、そもそもなぜ学者が標的となるのか、誰にもはっきりしたことはわかっていない。

一部の研究者は、イラクの中流階級を壊滅させ、宗教による支配の樹立を目指しているとされるイスラム原理主義グループの犯行だと非難する。しかし、裕福な大学教授や研究者の誘拐で金銭を得たいと考える犯罪組織のかかわりも十分に考えられる。

Omarの場合、2005年に会議出席のために外出したときから災難が始まった。まず、不審人物が彼の家のようすを探っているのを近所の人々が見かけた。そして2006年4月、彼のもとに「去れ。さもなくば命はない」と警告する電話がかかってきた。1時間とたたないうちに彼は家族と共に近くの親戚のもとへ逃げ込み、7月にはヨルダンへ出国した。

同じ月、Omarはロンドンの英国精神科医師会の学会に出席するため、6か月有効の観光ビザで英国に入国した。そして入国後、友人を通じて法廷弁護士に相談する手配をしたという。この弁護士から助言を受けた彼は、ある希望をもった。というのも、彼は殺害の脅迫を受けていたことから、数か月以内に亡命が認められ、家族も移住できるはずだと考えたのだった。

しかし、私が複数の移民弁護士に尋ねたところ、この法廷弁護士の助言には誤りがあるという。Omarの亡命申請が内務省に提出されてから、この3月で8か月がたつが、いまだに何の決定もなされていない。しかし、決定の遅れは当初から予想されたことだと移民弁護士は話す。現在、内務省には予算不足や複雑な入国管理法令などの理由から、6000件の亡命申請が滞留しているといわれている。また、Omarは観光ビザで入国しているために就労できず、金銭的利益を受けることも禁じられている。イラク国内の財産を売り払って得た金銭をもってきたが、それも底をついてしまった。それでも今、英国を出国してしまうと、彼の亡命申請は放棄されたことになってしまう。「もう絶望的です。どうすればよいのかわからない」と彼は話す。

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。

AP IMAGES

イラクに住む多くの学者は、その社会的地位のために命をねらわれた。

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

支援体制

Omarのような学者にとって、唯一の収入源は慈善団体だ。彼の場合には、『Council for Assisting Refugee Academics（CARA、難民学者支援評議会）』が支援に乗り出した。ナチスによって国外追放された学者の支援を目的に1933年に設立されたCARA（本部・ロンドン）は、Omarに宿泊施設と生活維持のための給付金を提供し、彼の家族を安全なカイロまで飛行機で移送した。

CARAのような団体が難民となった学者を熱心に支援する理由について、CARA事務総長代理のKate Robertsonは、「学者たちは、祖国の科学的、文化的資本の核であり、国家の再建に重要な役割を果たすからです。教育者として、そして独自に思考できる人として、彼らは特に影響力が大きいと考えられています」と語る。

また、そうした人材の保護には、地球レベルでの重要性もある。1930年代にCARAの支援を受けた数千人の学者のうち、実にその後16人がノーベル賞を受賞しているのだ。

イラク人学者たちは、Omarと同様、英国での永住や就労を求める際に直面する官僚主義という難関を知らなかった。一部の学者は、十分な資格をもつ者に入国を許可する「高度技能移民プログラム」に申請することができる。しかし、そのためには最近発行された給与明細書と納税申告書を提出して、その分野で雇用されていたことを証明しなければならない。だが、イラクではそのような文書は発行されないことが多い。これとは別に、英国への入国に先立ち、スポンサーとなる機関を通じて就労許可書を入手しておくというルートもある。しかし、その場合にスポンサー機関は、適任者を欧州国内で探す努力をしたが見つからなかった、という証明をしなければならない。これがむずかしいため、組織の内部に申請者の擁護者が必要となるケースが多い。

政治的障壁

英国への亡命申請には政治的な障害も加わっている可能性がある、とCARAで法律顧問をしてきたBates Wells and Braithwaite法律事務所の移民弁護士、Chris Randallは話す。この1年間にイラク人の亡命申請の90パーセントは却下されたのだが、その一因として、亡命を正当化するほどイラクの状況が悪化していることを認めたくない英国当局の意向が影響しているのでは、とRandallは考えている。「政府としては、イラク情勢は改善しているとの見方を作り出したいのだ」と彼はいう。このような状況では、申請結果の発表を待つ人々が神経をとがらせるのも無理はない。この記事で紹介する際には仮名とすることを条件に求めた学者たちは、祖国に残る親族への報復を心配すると同時に、英国の入国管理当局の心証を害することも恐れていた。内務省は、イラク人の亡命申請者に対する政治的偏見を否定し、各事案は個別の事情に基づいて判断されると表明している。

たとえイラク人学者たちが法的障壁を克服しても、その次には職探しの苦労が待っていることが多い。かつてバグダッド医科大学で歯学研究をしていたSabrine Gilel（仮名）は、イラク侵攻の前に祖国を離れた。当時、サダム・フセイン率いるバース党の上級幹部たちは、自分の子どもたちをバグダッド医科大学に入学させ、試験に失敗しても資格が取得できることを当て込んでいた。しかしGilelは、学生たちが試験をすり抜けるのを許さなかった。さらにはサダム・フセインに反対する親戚がいるとの理由から、彼女は目をつけられた。

Gilelの転換点は1994年にやってきた。国連の兵器査察官が、イラク国内の兵器施設の規模を調査していたときのことだった。ある日の休憩時間中、Gilelと同僚は、大学の構内で樽型の容器を運ぶ男たちを見つけた。「（それを見て）2人で笑ったんです。あれが化学薬品なんだ、うちの大学にもあったんだ、なんていいながら」。Gilelは気づかなかったが、それを誰かが立ち聞きしていた。翌日、同僚が行方不明になった。その数週間後、ある警備当局者から自分もねらわれていることを知らされたGilelはヨルダンへ逃げた。

移住先で認められない

1999年、北アフリカの大学での仕事を経て、Gilelは英国へたどり着いた。彼女は歯学研究の道に戻ることを望んだが、彼女の場合も、研究職や助成金を得ることはできなかった。当初、彼女には永住資格がなく、それだけで一部の機関は彼女の雇用をためらった。また、英国の医師を監督する医学協議会（GMC）は彼女の歯科医師資格を認定せず、患者が参加する研究を行うことを認めなかった。「それまでの経験はすべて無駄になってしまいました」と彼女はいう。英国内で歯科医として働くにしても、2年間の研修を経て、資格を再び取得する必要があった。昨年の11月になって、彼女はようやくそれを達成した。

祖国で豊富な経験を積んでいても、イラク人学者が英国の大学で職を得るのは至難の業だ。多くの学者は英国にコネがなく、各大学のウェブサイトに掲載されているあらゆる連絡先に申請書を送るのだが、まったく成果はない。言葉の壁もあるし、英国の研究資金調達制度を理解できないことも、彼らの立場を不利なものにしている。CARAでは、イラク人学者に対する助言や支援ができるような大学間の連絡者ネットワークを立ち上げ、この問題に取り組んでいる。

もう1つの厳しい現実として、祖国を脱出したイラク人研究者には、学界で競争するうえで必要となる技能や評判、研究論文が不足しがちだという問題がある。1990年、イラクがクウェートに侵攻すると、制裁措置によってイラクの大学は世界から隔絶されてしまった。多くの学者にとって、ジャーナル誌に掲載さ

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

れた論文を読むのにさえ、誰かをヨルダンの図書館に送り、論文のコピーを取ってこさざるをえなくなった。海外の研究室に所属しない限り、どんなに才能のある研究者であっても、海外の同僚に後れを取るのは必然だった。「制裁措置が実施されていた時期に世界の知識レベルが大きく伸びたため、かなり多くの研究者は取り残されてしまったのです」とRobertsonはいう。

Hatem Al-Delaimiは、3冊の教科書を執筆し、20年以上も工学を研究してきた。そんな彼も、最新の技能を身につけようと現在、必死に努力している。2002年に祖国を離れて英国に移住して以来、彼は数え切れないほどの求人応募書類を送付してきたが、オファーを受けるどころか、ただ1通の返事さえ受け取っていない。それでも彼は、ロンドン大学キングズ・カレッジにおけるロボット工学のプロジェクトで無給の仕事を得て、CARAから年間の研究費用として3100英ポンド（約73万円）を給付されている。これは画期的なことだが、一時的な状況にすぎないともいえる。CARAからの給付金が底をつけば、Al-Delaimiは再び大学に就職の働きかけをしなければならないのだ。ただし、それまでに少なくとも2本の論文を発表したいと彼は考えている。

祖国を脱出した多くのイラク人研究者は米国にも向かっているが、移民にとっての情勢は、こちらの方がやや明るいようだ。それでも職探しには苦労する、と学者の人権を擁護する活動を行っている『Scholars at Risk Network（危険にさらされた学者のためのネットワーク）』（本部・ニューヨーク）のディレクター、Rob Quinnはいう。しかし、Quinnをはじめとする米国のイラク人支援関係者は、米国での厳しさは英国ほどではないと口を揃える。

その理由の1つに、米国のビザ制度が英国よりも柔軟なことが挙げられる。イラク人は、例えば一時ビザで米国に入国して就労し、その所属機関がビザ延長申請を支援すれば、一般的にビザを繰り返し延長してもらえる（Randallによると、これに相当するビザは英国にはない）。国際教育協会（米国、ニューヨーク）に本部のある『Scholar Rescue Fund（学者救援基金）』は現在、一時ビザをもつ約20人のイラク人学者に資金を提供している。

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。

AP IMAGES

イラク人研究者たちは、所属していた研究室を離れて海外の研究室へ向かった。

資金の増額

とはいえ、いったん米国入国を果たしても、イラク人学者たちは自分が一定の水準に達した雇用する価値のある人間であることを研究機関側に納得してもらわなければならない。だが、これも以前よりは容易になったと思われる。その一因は、提供される資金が少しずつ増額されていることにある。米国の大学予算は英国よりも柔軟で、1年契約に対する予算をつけやすい。特に学者救援基金のような組織が費用の一部を捻出する場合には、その傾向が強い。

英国内務省は、自国の出入国管理制度を見直し、米国型の制度に近づけることを検討している。例えば、単に移民の人数を管理するのではなく、適切な技能をもつ移民の入国を認めることを重視する、といったことだ。しかし、移民側の代理人を務める弁護士たちは、新制度の詳細が明らかになるのを慎重に待ちたいと話す。

このような制度改革の実現までには数年かかる可能性もあり、冒頭のコンピューター科学者、Althamirのようにすでに英国内で生活するイラク人たちにとってはなぐさめにはならないだろう。しかし、Althamirに会ってから数週間後、彼が英国内の大学の人工知能研究チームから仕事の依頼を受けたことを知った。亡命申請中であるため給料は受け取れないが、国からの補助金とCARAからの2000英ポンド（約47万円）の研究資金で、彼は何とか生活できそうだ。元学部長であるような人物が期待する待遇とは雲泥の差があるが、それでも、研究生活への復帰に向けての第一歩だ。

仕事に戻ることをどのように受け止めているかとAlthamirに尋ねたところ、彼は私の問いかけを訂正してこういった。「研究チームに加われて、とても幸せです。これで、少なくとも最先端の研究に追いつけます。でも、これは仕事に戻ることではありません。『仕事』とは、お金のもらえることだと私は理解しています」。■

Jim Gilesは*Nature*（ロンドン）のレポーター。

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

A tuxedo for iodine atoms

ヨウ素原子にタキシードを着せる

Phil S. Baran and Thomas J. Maimone

ヨウ素原子に分子の上着を着せることで、単純な炭素鎖を、ヨウ素を含む複雑な分子へと転換する反応を制御できるようになる。このような反応は、以前は酵素にしかできなかったものである。

Nature vol.445 (826-827) / 22 February 2007

ホペン分子の生合成では、酵素が触媒する魔法のような反応をみることができる。炭素原子が単純に連なったしなやかな鎖が、環化酵素の働きにより、いくつもの分子環が整列した明確な三次元構造をもつ複雑な系へと、一瞬にして変化するのである[1,2]。この環化過程により、5つの炭素 - 炭素結合と9つの立体中心（不斉炭素原子。これを制御下で合成することは非常に困難である）が生成する。さらに、この反応にはエナンチオ選択性があり、2つの鏡像異性体がある分子（キラルな分子）の一方の鏡像異性体だけが生成するのである。化学者はこれまで、分子レベルのこの精密な制御過程を羨望のまなざしで見るしかなかった。

驚くべきことに、同様の反応はほかにもある。この反応は、生体分子を作り出すために自然に起きている数百種類にも及ぶ同様の反応の1つにすぎないのである。こうした反応に共通するのは、酵素の水素原子が反応生成物の決まった位置に受け渡されていることである（図1a）。けれどもほかに、酸素や、変わったところではハロゲン（塩素、臭素、ヨウ素）などの原子も、酵素を使ってこの位置に導入できる可能性がある。化学者はすでに、こうした環化過程のある側面を模倣することには成功しているが、ハロゲン原子の導入は非常に手強かった。臭素が誘導する環化過程が最初に観察されたのは40年以上も前のことであるが[3]、それは副反応にすぎず、エナンチオ選択性もなかった。*Nature* 2007年2月22日号では、石原とその同僚[4]が、大きな成果について報告している。彼らは、ハロゲン原子が誘導する、非酵素的で、高収率で、エナンチオ選択性のある環化反応に初めて成功したのである。

近年では、化学者はこうした反応における酵素の役割をかなりのところまで再現できるようになっている。実際、石原と山本のグループ[5]はすでに、キラルな水素イオン（H^+）に相当する分子を利用して基質を環状化し、一方の鏡像異性体を他方よりもやや多めに生成させることに成功している。これは、ホペンの生合成の模倣といってよい。彼らは人工の環化酵素を設計し、基質の一方の側からのみH^+を受け渡せるようにした。この人造酵素は、H^+イオンに着せるタキシードのようなものである。すなわち、H^+イオンの周囲を分子で取り巻くことにより、天然の環化酵素にみられるようなキラルな環境を再現するのである。組み立て過程の全体を活性化するためには、ルイス酸（ほかの分子から電子対を受け取る分子）を添加して、H^+イオンの酸性度と反応性を大幅に高めるという方法が採用された。

ここまではよいが、目標がまだ1つ残っていた。それは、いわゆる「ハロ環化」を実現することである。ハロ環化は、上述の反応と同じ種類の反応であるが、H^+イオンの代わりにハロゲン原子を利用する。自然界の物質からは数千種類にも及ぶ風変わりなハロゲン化物が単離されており、その多くがさまざまな疾患の治療薬のリード化合物となることが期待されている。こうした化合物のいくつかは、ホペンの環化過程に似ているが、H^+ではなくハロゲン原子により開始された酵素反応によって生じたと考えられる構造をもって

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

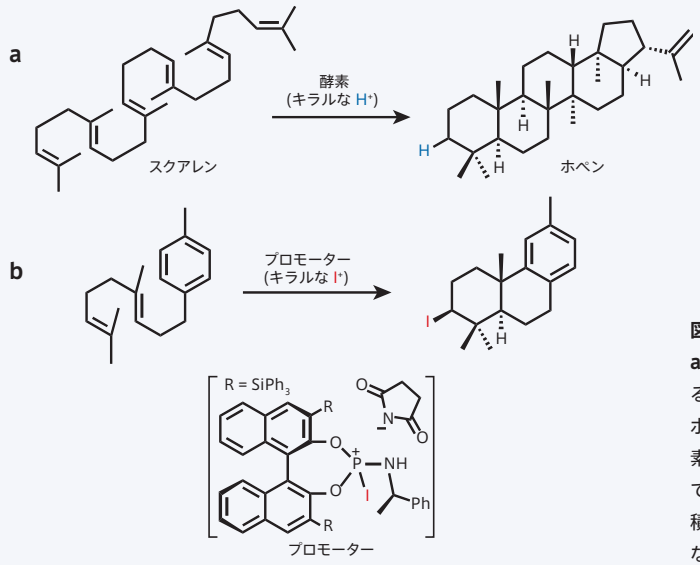


図1　酵素反応と人為的な環化反応。
a. 細菌は、キラルな水素イオン（H^+）に相当する酵素を使った環化反応により、スクアレンからホペンを生合成する。**b.** 石原ら[4]は、基質にヨウ素イオン（I^+）を受け渡すキラルな分子を設計して同様のハロ環化反応を成功させ、有機化学の積年の夢を実現した。この反応では2つの可能な鏡像異性体のうちの一方のみが生成する。

いる[5]。この理由から、人為的なハロ環化には大きな期待が寄せられている。けれども、実験室でこの反応を成功させるためには、多くの問題を解決する必要がある。このことが、今回の石原らの成果[4]をいっそう興味深いものにしている。

著者らは、ハロ環化反応において基質にハロゲンを受け渡し、キラルな反応生成物のうち1種類の鏡像異性体のみを作るような、反応性の高い試薬を必要としていた（図1b）。彼らはヨウ素を使って、概念的には上述のキラルな H^+ 複合体に似た試薬を設計した。この新しい試薬は、ヨウ素原子に着せる分子のタキシードのようにその周囲を取り囲んでキラルな環境を作り、その反応性を高める。組み立てを活性化させるためには、ルイス酸ではなくルイス塩基（電子対供与体）を利用した。こうしてできた「ハロ環化酵素」は、酵素に近いエナンチオ選択性をもって単純な炭化水素にヨウ素を付加し、炭素環を含む構造物に変えることができる。著者らは、このすばらしい選択性が生じる理由を、2人の人が互いに向かい合ってから握手をするように、出発物質とヨウ素原子が互いに最適な配置をとってから反応が始まるからではないかと提案している。

あらゆる画期的な研究がそうであるように、この研究にはさらなる課題が残っている。まずは、今回のハロ環化は臭素からも開始できるが、ヨウ素を使った場合にしかエナンチオ選択性がみられないという問題がある。著者らは、反応生成物のキラルな形に影響を及ぼすことなく（これが肝心だ）、ヨウ素原子をほかのハロゲンに変換できることを示すことで、この問題を回避した。次に、この反応には1モル当量のキラルなプロモーターが必要であるという問題もある。基本的には少量のプロモーターで十分であるはずなので、これは効率が悪い。これに対して著者らは、ほかの単純なプロモーターを触媒として利用できることを示すことで（ただしエナンチオ選択性はない）、この領域の今後の発展への道を開いた。最後に、さらなる「ハロ環化酵素」が必要であるという問題がある。今回の研究で報告されたハロ環化の多くは最初の環が形成されたところで終わっており、残りの環を形成するには、酸に触媒された第二の段階を必要とするのである。

この研究の前には、酵素の精密なエナンチオ選択性に迫るハロ環化の方法はなかった。ここまで微妙なコントロールは、複雑な生物学的触媒にしかできないようにも思われていた。石原らの方法は、比較的単純な試薬を使ってこの反応を実現した点で、強い印象を与えるものである。ヨウ素に着せるためのキラルなジャケットを手に入った今、この反応を触媒的に改変したり、自然界にあるハロゲン化物を合成したりするための基礎が打ち立てられたのである。 ■

Phil S. Baran & Thomas J. Maimoneare、スクリプス研究所（米）

1. Wendt, K. U., Schulz, G. E., Corey, E. J. & Liu, D. R. *Angew. Chem. Int. Edn* **39**, 2812-2833 (2000).
2. Yoder, R. A. & Johnston, J. N. *Chem. Rev.* **105**, 4730-4756 (2005).
3. van Tamelen, E. E. & Hessler, E. J. *Chem. Commun.* 411-413 (1966).
4. Sakakura, A., Ukai, A. & Ishihara, K. *Nature* **445**, 900-903 (2007).
5. Ishibashi, H., Ishihara, K. & Yamamoto, H. *J. Am. Chem. Soc.* **126**, 11122-11123 (2004).
6. Butler, A & Carter-Franklin, J. N. *Nat. Prod. Rep.* **21**, 180-188 (2004.)

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

臨床試験が進む、がんの再発予防ワクチン療法

田原秀晃

東京大学医科学研究所の田原秀晃教授は、同研究所の中村祐輔教授との共同研究によって複数種がんワクチンを開発し、順次、第1相臨床試験を始めている。これらのワクチンは、がん細胞の遺伝子発現解析データをもとに開発されたもので、患者ごとのがんの種類や性質に合わせたオーダーメード的なワクチンである。実用化されれば、これまで完治の見込みのなかった患者に新たな可能性が開けることになり、手術後の再発も減らすことができると期待されている。

外科医の経験がワクチン開発へ向かわせた

Nature Digest — なぜ、がんワクチンの研究を始められたのでしょうか？

田原 — 私は外科医で、現在、東京大学医科学研究所（以下、医科研）附属病院外科の責任者です。がん治療を志して医師になりましたが、研修医時代を送った1980年代当時は、「がんを治療するのは外科医」という風潮でした。研修医時代には実に多くの手術を手がけてきましたが、残念ながら、手術した段階で「これは近いうちに再発するな」と思われ、実際にそうなる例が多い現実に直面することになりました。私の学位論文は、食道がんの患者さんの免疫反応に関するものなのですが、そこでは、手術後に再発がなく予後のよい例では、しばしばCD4やCD8などリンパ球ががん細胞に多数浸潤していることについて検討を行いました。こうした経緯のなかで、免疫系を制御できれば治療の手だてのない患者さんにもチャンスが生まれると考え、がん免疫療法の開発を始めることにしたのです。

ND — これまで、どのような研究をされてきたのでしょうか？

田原 — 1991年にアメリカ、ピッツバーグ大学に基礎研究者として着任し、その後、外科助教授となると同時にピッツバーグ遺伝子治療センター・ベクター部門の部長と分子遺伝生化学科の助教授を併任することになりました。ここではサイトカイン[*1]の研究が盛んで、IL-12[*2]の機能解析が進められていました。私はIL-12に抗腫瘍効果があることを発見し、IL-12を用いた治療の第1相臨床試験[*3]にも参加しました。しかし、IL-12の全身投与は毒性が強すぎることがわかり、途中で断念せざるを得ませんでした。そのほか、樹状細胞が免疫の誘導に重要だということを突き止め、樹状細胞を体外で増やして体内に戻す「樹状細胞療法」で、がんがコントロールできないかといった検討も行いました。また、ピッツバーグ大学ではがんの遺伝子治療研究も進められていたので、遺伝子導入の手法についても学びました。ただし当時は、*p53*のようながん抑制遺伝子でがんを死滅させるのは遺伝子導入技術ではむずかしいと感じ、それよりも免疫を強化するための遺伝子を導入する方がよいのではないかと思いました。このような経験から、免疫系を制御することでがんを抑える「免疫療法」が有効なのではないかと考えるようになりました。

がん抗原の一部をがんワクチンにとして使う

ND — 開発されたがんワクチンとはどのようなものですか？

田原 — 細胞は、外界とのやりとりのために、さまざまなタンパク質を細胞の表面に提示しています。細胞が悪性化すると、提示するタンパク質の種類も変化してしまい、正常細胞ではみられないようなタンパク質を提示するようになります。こうした、がん細胞でしかみられないタンパク質は「がん抗原」と総称され、現在のところ、50～100種あると考えられています。免疫細胞の一種であるCD4やCD8は、こうしたがん抗原を認識するとともに、免疫刺激を司るシグナルによって活性化されることで、がん細胞を特異的に攻撃すると思われます。そこで私たちは、さまざまな種類のがん細胞を用いて、どのようながん抗原が提示されているのかを調べ、その構造の一部（エピトープ・ペプチド）をがんワクチンとして使おうと考えました。

ND — どのようにしてがん抗原を探されたのですか？

田原 — 実は、ピッツバーグ大学時代には、自分の手でがん抗原を探すことはしていませんでした。1999年に帰国し、医科研に着任することになったのですが、それが幸運な出会いを生みました。医科研のヒトゲノムセンターには中村祐輔先生がおられ、マイクロアレイを用いた遺伝子発現解析によって、がん細胞でのみみられる分子を探しておられました。「中村先生の研究は、がん抗原の探索にも使える」と思い、中村先生と私たちとの共同研究として、新たながん抗原探しを始めることができたのです。具体的には、中村先生に、マイクロアレイを用いた網羅的な遺伝子発現解析によって、がん細胞でのみ高発現しているタンパク質群を見つけていただき、私たちが、そのタンパク群の一部である複数種のペプチドの中から、試験管内でヒトのCD8を誘導できるものを同定しました。最初に着手したのは大腸がんで、9割以上の患者さんに高発現しているがん抗原を見つけることができました。このような基礎研究結果を踏まえて臨床開発を計画し、臨床試験に使用しうる品質の大腸がんエピトープ・ペプチドを製造したうえで、2003年から医科研附属病院で臨床試験（第1相）を始めました[1,2,3]。その後2004年には、私たちの研究が文部科学省の「がんトランスレーショナル・リサーチ・プロジェクト[*4]」に採択され、現在は、私たちが同定した9種のエピトープ・ペプチドを用いて、順次、臨床試験を始めているところです[4]。

ND — 臨床試験は順調に進んでいますか？

田原 — 今のところ、大腸がん、胃がん、胃腸の肉腫、乳がん、食道がん、メラノーマなど、6種のがんを対象としています。これまでに手術や抗がん剤などによる標準的な治療を行ったも

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

田原秀晃（たはら・ひであき）/ 東京大学医科学研究所附属病院外科、同先端医療研究センター臓器細胞工学分野教授。1958年、神戸市出身。1983年大阪大学医学部卒業。大阪大学医学部第二外科、大阪府立成人病センターなどにて外科研修。1991年よりピッツバーグ大学医学部外科に留学し、翌年より助教授。1999年、東京大学医科学研究所附属病院外科助教授として帰国し、翌2000年より現職。外科研修後、大阪大学に帰学し腫瘍免疫の研究を始める。留学後、遺伝子治療も含めたがん免疫療法の基礎研究と臨床開発を進め、日本人として初めて、アメリカにおける遺伝子治療臨床試験を責任医師として開始。その後、サイトカインや樹状細胞の臨床応用も進める。帰国後は、新規腫瘍抗原ペプチドを同定し、それらを用いたワクチン療法などトランスレーショナル・リサーチを進めている。

のの、予後がよくないと推定される患者さんに参加していただいています。腫瘍に対する免疫反応を誘導する治療ですので、ある程度以上の免疫能を保っていることが条件になります。1種類のペプチドを用いた臨床試験に参加していただく患者さんの数は6人くらいずつを予定して、さらに参加者を募っているところです。第1相の臨床試験では、安全性を確かめ、本当に免疫反応が誘導されるのかを確認するのが重要ですので、抗がん剤などの前治療終了後4週間以上が経過した患者さんに、1種類のワクチンを単独で投与し、ほかのがん治療は併用していません。投与前には、患者さんのがん細胞の遺伝子発現解析を行い、ワクチンに用いるがん抗原が確かに提示されていることを確かめています。安全性や効果についてはまだ発表できる段階にありませんが、今のところ、安全に行えており、今年中になんらかのデータが発表できればよいと考えています。

がんワクチン療法を企業化へのモデルケースに

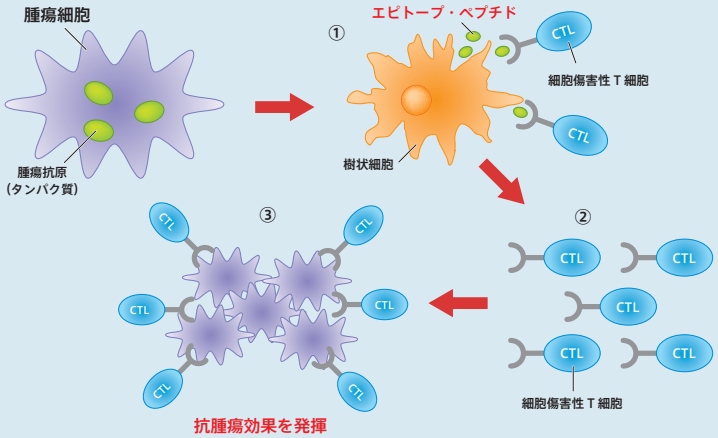
ND — がんワクチン療法の展望について、どのようにお考えですか？

田原 — 固形がんで、外科手術で目に見える腫瘍は取り除いたものの、かなり高い確率で再発が予想される場合、手術後にワクチンを投与することによって、再発が抑えられるのではないかと考えています。5年生存率が少しでも延び、患者さんが元気でいられる時間を少しでも多く確保できれば、それが私たちにとって大きな喜びです。順調にいけば、第2相試験も私たちでることになりますが、そのときには抗がん剤とがんワクチンとの併用や、複数のがんワクチン投与もあり得るでしょう。「がんトランスレーショナル・リサーチ・プロジェクト」はあと2年続きますが、その間に基礎を固め、5年後にはこのワクチン療法がよいのか悪いのかを、はっきりさせる試験を始めたいと思います。

ND — 日本のがん治療について、どんなご意見をお持ちですか？

田原 — 欧米では腫瘍学が確立されており、外科医も内科医も情報や知識を共有することで臨床を行っています。冒頭でも述べたとおり、日本では長い間「外科医ががんを治療する」というのが一般的で、腫瘍学の概念がなかなか確立されませんでした。現在では、ようやく臨床腫瘍学会などができ、外科医も内科医もともに議論をする機運になってきました。このようななかで、学術機関に属する私たちががんワクチンの成功例を示し、そこに民間企業が加わることで、誰もが受けられるがんワクチン開発に結びつくとよいと思います。そして、私たちの試みが、医薬分野の新手法を企業化に結びつける新たなモデルケースとなるとよいと思っています。これまで、何をしてもうまくいかなかった患者さんが、私たちのワクチンによって少しでも有意義な時間をもち、患者さん自身が治療に納得できるようになること。それが私の目標であり、夢でもあります。

ND — ありがとうございました。 ■



がんワクチンが効く仕組み。がんワクチン（エピトープ・ペプチド）を、樹状細胞あるいはワクチン作用を補助する薬剤とともに投与すると（①）、体内でがん細胞の増殖を抑制し、がん細胞を破壊する機能をもつ特定のリンパ球が増える（②）。これらのリンパ球が働くことにより、がんの再発や転移を防ぎ、進行を遅らせる効果がもたらされる（③）。

聞き手は西村尚子（サイエンスライター）。

＊1　サイトカイン
多種多様な血球細胞の増殖と分化を制御する生理活性物質の総称。リンパ球や上皮系細胞、繊維が細胞など多くの細胞から産生される。免疫系の制御や炎症反応、細胞の複製、分化、恒常性の維持など、実に多くの機能をもつ。

＊2　IL-12（インターロイキン -12）
インターロイキンはサイトカインの一種で、現在では 30 種以上に分類されている。そのうちの 1 つである IL-12 は、ナチュラルキラー細胞（NK 細胞）刺激因子ともよばれ、NK 細胞を活性化したり、細胞傷害性 T 細胞を誘導できる免疫反応（Th1 反応とよぶ）を促進するなどの機能をもつ。

＊3　臨床試験
「臨床試験」とは、新しく開発された薬が医薬用薬品として国の許認可を得るために行われるもので、いくつかの段階がある。いちばん初めに前臨床として動物実験が行われ、その後人における試験（治験）に入る。治験には第 1 相から第 3 相まである。第 1 相試験は、健常者を対象として行われるが、抗がん剤などに関しては例外的に患者を対象とする。

＊4　がんトランスレーショナル・リサーチ・プロジェクト
トランスレーショナル・リサーチとは、基礎研究のすぐれた成果を次世代の診断・治療法の開発につなげるための橋渡し研究をいう。文部科学省では平成 16 年度から、がん免疫療法や分子標的治療法などにおけるトランスレーショナル・リサーチの推進を目指すプロジェクトを開始した。

1. Uchida N. *et al, Clinical Cancer Research* **10**, 8577-8586(2004)
2. Watanabe T. *et al, Cancer Science* **95**, 498-506 (2005)
3. Mushiroda T. *et al, Cancer Science* **97**, 411-419 (2006)
4. http://www.gan-science.net

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

日本人は、血液型の話題にとても敏感だといえるでしょう。血液型による占いや性格診断を信じるかどうかは別として、少なくとも大多数の人がすぐに自分の血液型をいえるのではないでしょうか。また、血液型による親子関係の判定や、異なる血液型の間で輸血可能かどうかということも、比較的よく知られています。

今回は、どんな血液型でもO型に変えてしまう酵素が開発されたことを報告したNEWS記事を取り上げます。全体の流れはとらえやすいので、まずはざっと目を通してから、語句解説を頼りにもう一度読んでみましょう。

NEWS news@nature.com　語数：567 words　分野：バイオテクノロジー・医療・生化学

Published online: 1 April 2007 | doi:10.1038/news070326-17

Blood made suitable for all

Stripping blood of antigens means it can be given to anyone.

http://www.nature.com/news/2007/070326/full/070326-17.html

Alison Abbott

PHOTOS.COM / JUPITERIMAGES / NEWSCOM

1. Scientists have discovered enzymes that can efficiently convert blood groups A, B and AB into the 'universal' O group — which can be given to anyone but is always in short supply.

2. The two novel glycosidase enzymes were identified in bacteria by an international team led by Henrik Clausen of the University of Copenhagen in Denmark. The researchers hope that the enzymes will both improve the erratic supplies of blood around the world, and also the safety of transfusions. Clinical trials to test the safety and effectiveness of their converted blood are being planned.

3. The **ABO blood-type system** is based on the presence or absence of the sugar-based antigens 'A' and 'B' on red blood cells. Type O blood cells have neither A nor B antigens, so may be safely transfused into anyone. But types A, B and AB blood do, and cause life-threatening immune reactions if they are given to patients with a different blood group. The bacterial glycosidase enzymes strip these antigens away from A, B and AB blood.

4. The idea of such antigen-stripping goes back to the early 1980s, with the discovery of an enzyme in coffee beans that removes B antigens from red blood cells[1]. Early-stage clinical trials showed that the converted blood could be safely transfused into individuals of different blood groups; no traces of enzyme or antigen remained to cause reactions[2]. But the enzyme reaction was far too inefficient to make large-scale conversion practical.

5. Clausen's team screened 2,500 extracts from different bacteria and fungi for their ability to cleave off A and B antigens. The newly discovered bacterial 'B' enzyme is nearly 1,000 times more efficient than the coffee-bean B enzyme — the additional discovery of an enzyme to remove A antigens means that all blood types can now be converted. The work is reported in *Nature Biotechnology*[3].

Common stock

6. Type O is the most common blood group, but stocks constantly run low because it is used in all emergency situations where there is no time to determine the patient's own group.

7. An additional pressure on type-O blood, particularly in the United States, comes from the mismatch between blood donors and recipients. Most US donors are Caucasian, amongst whom 45% of people are blood group O. But more than half of African Americans, and nearly all native Americans are O, and so require type-O blood.

8. Also the donor population is shrinking as fears of transfusion-transmitted infections of new diseases such as SARS, mad-cow disease and West Nile disease remove from the pool donors who may have been exposed.

9. "Restrictions are getting almost comical," says Martin Olsson, head of the Lund University Hospital Blood Centre in Sweden, and a member

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

of the international team. "At different times, the US excluded from donation those who had recently visited Europe in case they had contact with BSE, and Europe has excluded those who recently visited the US where they perceive a higher risk of HIV."

10. Yet in practice the greatest risk in blood transfusion is not the transmission of disease but the accidental transfusion of the wrong blood group, he says. "As a clinician, I see the biggest advantage of the new enzyme technology as eliminating incidents of giving the wrong blood."

11. The Boston-based company ZymeQuest is developing the enzyme technology for commercial use in blood centres. Early-stage clinical trials are underway. If all goes well, blood centres could be using the technologies in just a few years.

References

1. Goldstein J., *et al. Science*, **215** . 168 - 170 (1982).
2. Lenny L. L., *et al. Transfusion*, **35** . 899 - 902 (1995).
3. Liu Q. P., *et al. Nature Biotechnol.*, doi:19.1038/nbt1298 (2007).

Topics ABO blood-type system とは？

「ABO式血液型システム」は最も一般的な血液分類法。1900年、カール・ラントシュタイナー（1930年ノーベル医学・生理学賞受賞）によって発見された。文中にあるとおり、赤血球の表面を覆っている糖鎖抗原の種類や有無によって、A型・B型・AB型・O型に分けられる。抗原の種類が違うと、輸血時に抗体が形成され拒否反応が起きる。そのため、緊急時など患者の血液型が不明な場合には、A型やB型の抗原をもたないO型の血液を輸血する。血液分類法には約300種類あるが、ほかに一般的なものとしては、Rh式（主に赤血球膜のD抗原の有無で判別する）とHLA型（白血球に存在する型で、骨髄・臓器移植の成否に影響する）などがある。

Science key words

リード. **antigens：抗原**
免疫細胞上の抗原受容体に結合し、免疫反応を引き起こす物質。3.のsugar-based antigensは糖鎖抗原。

2. **glycosidase enzymes：グリコシダーゼ酵素**
配糖体あるいはオリゴ糖のグリコシド結合を加水分解する酵素の総称。

2. **clinical trials：臨床試験、治験**
患者の協力を得て、新しい治療法の有効性や安全性を評価するための試験研究。

3. **immune reactions：免疫反応**
免疫応答（immune response）ともいう。体内に抗原が入ったときに起こる抗原抗体反応などを指し、アレルギー症状や拒絶反応などがこれに当たる。

8. **SARS：重症急性呼吸器症候群（SARS）**
Severe Acute Respiratory Syndromeの略。2002年11月に中国広東省で最初の患者が発生したとされる感染症で、2003年に入ると香港やシンガポール、トロントなどへと広まった。最終的に患者数は8000人を超え、死亡者は774人に上った。病原体は新型のコロナウイルス（SARSウイルス）で、感染者の飛沫や体液を通じて感染すると考えられている。主な症状は、高熱やせき、呼吸困難など。2003年のゴールデンウィークには、SARSの感染を恐れて、日本からの海外旅行者が激減した。

8. **mad-cow disease：狂牛病**
9.のBSE（bovine spongiform encephalopathyの略、牛海綿状脳症）を表す俗語。BSEは1986年に初めて英国で確認された家畜伝染病。ウシの脳に空洞ができてスポンジ状になり、痙攣を起こしたり立ち上がれなくなったりし、いずれは死に至る。原因因子は十分に解明されていないが、異常型プリオン（感染性のあるタンパク質）に汚染された肉骨粉だといわれている。ヒトの変異型クロイツフェルト・ヤコブ病と関連があるとされている。検査体制や特定危険部位の範囲の違いなどから、日本では牛肉の輸入問題につながった。

8. **West Nile disease：西ナイル熱**
1937年にウガンダの西ナイル地区で最初に分離された西ナイルウイルスによる感染症の一種。1990年代以降、アフリカだけでなく、アメリカやオセアニア、中東などに広がっている。ウイルスに感染したトリからカを介してヒトに伝染する。発症率は約20％で、感染から3～14日後に発症し、発熱や頭痛、咽頭痛、関節痛などの症状がある。発症者の3～3.5％が西ナイル脳炎を起こし、激しい嘔吐や高熱、呼吸不全などの結果、死に至ることもある。2005年10月、日本国内でも初の発症例が報告された。

Words and phrases

リード **Stripping～of ...：**「…から～をはぎ取る」
同様に、3.のstrip ～ awayも「～をはぎ取る」「～を取り除く」という意味。

1. **convert：**「転換する」「変換する」
4.のconversionは名詞形で、「転換」「変換」という意味。

1. **'universal'：**「万能な」
ここでは、O型の血液が誰に対しても輸血可能であることを表している。Universal design（文化の違いや障害・能力の差異を問わず、誰にでも利用できるデザイン）のuniversalと同じ。

1. **in short supply：**「（供給が）不足している」

2. **novel：**「新しい、新規の」「新奇な」

2. **erratic：**「不安定な」「一定しない」

3. **bacterial：**「細菌に由来する」
このほかにも、「細菌の」「細菌性の」「細菌内（で）の」「細菌による」といった意味で用いられることもあるので、それぞれの文脈から判断すること。

5. **screened～for ...：**「…に関して～を調べた」「…の有無について調べた」
screenは選別に使う「ふるい」のことで、そこから「選別する」「審査する」という意味になった。

5. **extracts：**「抽出物」
植物や動物の組織から得られる有効な成分のこと。

5. **fungi：**「菌類」
カビ、キノコ、酵母などを含む真核生物の一群。

5. **cleave off～：**「～を切断し、切り離すこと」
cleaveは、「切断する」「切り裂く」「分割する」という意味。専門用語としては、「開裂」「劈開」という訳語もある。

6. **run low：**「少なくなる」「不足する」

7. **donors and recipients：**「ドナー（与える者）とレシピエント（受け取る者）」
輸血の場合には「供血者」と「受血者」、臓器移植の場合には「提供者」と「移植患者、移植希望者」と訳される。

9. **perceive：**「（～だと）考えている」「（～だと）受けとめている」

10. **in practice：**「実際には」「実践上は」

11. **underway：**「進行中」

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

NEWS news@nature.com 参考訳

Published online: 1 April 2007 | doi:10.1038/news070326-17

万人向けの血液を作り出す

赤血球から抗原をはぎ取ると、誰にでも輸血できる血液ができ上がる

http://www.nature.com/news/2007/070326/full/070326-17.html

アリソン・アボット

PHOTOLIBRARY.COM PTY. LTD. / INDEX STOCK IMAGERY / NEWSCOM

1. A型、B型、AB型の血液を「万能な」O型の血液に効率的に転換できる酵素が発見された。O型の血液は誰に対しても輸血できるが、常に不足している。

2. コペンハーゲン大学（デンマーク）のHenrik Clausenをリーダーとする国際チームが、細菌の中から2種のグリコシダーゼ酵素を新規に同定した。この酵素により、世界での不安定な血液供給が改善し、輸血の安全性も高まる、と彼らは期待している。なお、転換された血液の安全性と有効性を検証するための臨床試験が計画されている。

3. ABO式血液型システムは、赤血球上に糖鎖抗原「A」や「B」があるかどうかを基準とした分類法である。O型の赤血球にはA型抗原もB型抗原もないため、誰にでも安全に輸血できる。しかし、A型、B型、AB型の血液には（抗原が）あるため、血液型が合わない人に輸血すると、命にかかわる免疫反応が起こる。上述した細菌に由来するグリコシダーゼ酵素は、A型、B型、AB型の血液から、これらの抗原をはぎ取るのである。

4. このように抗原をはぎ取るという考え方は、赤血球からB型抗原を取り除くコーヒー豆の酵素が発見された1980年代初頭にさかのぼる[1]。初期段階の臨床試験では、この酵素で転換された血液が、血液型の異なる人々にも安全に輸血しうることが明らかになり、免疫反応を引き起こす酵素や抗原は分解されていた[2]。しかし酵素反応の効率が低すぎて、大量の血液型転換を行うことは実用的でなかった。

5. Clausenのチームは、さまざまな細菌や菌類の抽出物2500種についてスクリーニング検査を行って、A型抗原とB型抗原を切断する能力があるかどうかを調べた。新たに発見された細菌由来の「B型」酵素は、コーヒー豆のB型酵素より約1000倍も効率が高く、さらにA型抗原を除去する酵素が発見されたため、すべての血液型の血液を転換できることになった。この研究成果は、*Nature Biotechnology*誌[3]で報告された。

万能血液のストック

6. O型は、最も高い割合でみられる血液型だが、備蓄量は常に不足している。患者の血液型を調べる時間がない緊急時に必ず用いられるからである。

7. 特に米国では、O型血液の供給がさらに切迫している。ドナーとレシピエントの血液型の量的不均衡がその理由だ。米国では、ドナーはほとんどが白人で、白人におけるO型の割合は45％である。ところがアフリカ系アメリカ人は半数以上がO型で、先住アメリカ人もほとんどがO型のため、O型血液の需要が大きいのである。

8. また、ドナー人口も減少傾向にある。これは、輸血によってSARS、狂牛病（BSE）、西ナイル熱といった新種の病気に感染する恐れから、これらの病気にかかった可能性のあるドナーが除外されるからである。

9. 「制限は、こっけいなほどになっています。時を異にして、米国ではBSE感染を考えて、最近ヨーロッパを訪れた者の献血を除外し、ヨーロッパでは、米国でのHIVのリスクが高いと考えているため、米国を最近訪れた者の献血を除外したのです」。こう語るのは、国際チームのメンバーで、ルンド大学病院血液センター（スウェーデン）のセンター長のMartin Olssonである。

10. しかし実際には、輸血の最大のリスクは病気の感染ではなく、適合していない血液型を誤って輸血することだ、とOlssonはいう。「臨床医としていえば、間違った血液型による輸血ミスをなくす点が、この新しい酵素技術の最大の利点だと思います」と彼はいう。

11. 米国ボストンに本社のあるZymeQuest社は、血液センターでの商業的利用のために酵素技術を開発している。現在は初期段階の臨床試験が行われており、すべて順調に行けば、数年後には、この技術が血液センターで使われるようになるだろう。

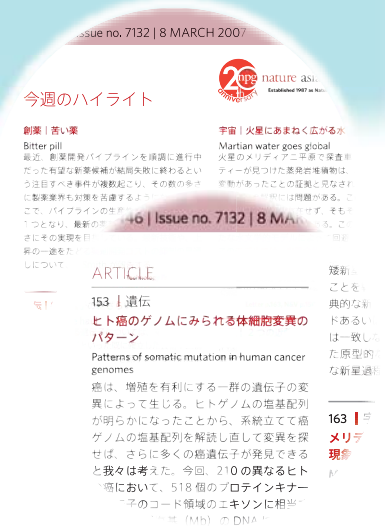
©2007 NPG Nature Asia-Pacific

nature がいつも身近に

nature 定期購読で様々な特典をお楽しみください。

日本語アブストラクト

今週の Nature の概要を
素早くキャッチ



Nature オンラインアクセス

- 英文フルテキスト (Current Issue)
- 日本語アブストラクト
- アーカイブ *

* アーカイブにはアクセス制限があります。

nature DIGEST プラス nature DIGEST Online

News@nature.com アクセス

科学ニュースサイト (有料) にアクセス

日本語編集された nature DIGEST を毎月無料でお届けします。
nature DIGEST Online では、2004 年 1 月以降のコンテンツにアクセスできます。

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

日本語で読む nature

nature DIGEST は、ご好評につき、刊行4年目に入りました！

月刊でお届けする『Nature Digest』は、Nature を日本の皆さまにより身近に親しんでいただけるよう日本語で編集した科学雑誌です。英国本社で作成されたNature本誌や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え、充実した1冊となっています。

日本オリジナル記事

❶ Japan News Feature
鳥インフルエンザや地震、宇宙開発、幹細胞、プリオンなど、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。

❷ Japanese Author
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。

❸ 英語でNature
Natureの記事を英語で読むシリーズ。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。科学英語を学ぶ教材としても使用できます。

Nature Digest 定期購読は…

ジャーナルなら**月々670円**（年間購読7,980円／1年）、オンラインのみの購読なら、**月々550円**（年間購読6,000円／1年・10,800円／2年）と、大変お求めやすい価格でご購読いただけます。

Nature Digest購読はこちらから

www.naturejpn.com/digest-f07

Printed in Japan
ISSN 1880-0556

定価 680円
本体648円

npg nature asia-pacific