# nature DIGEST

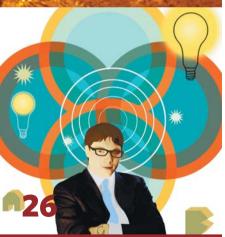
日本語編集版 JULY 2006 VOL. 03, NO. 7 7

http://www.naturejpn.com/digest

太陽の嵐が近づいている







## nature **DIGEST**

volume 3 no.07 www.naturejpn.com/digest

© 2006 年 NPG Nature Asia-Pacific 掲載記事の無断転載を禁じます。

### 太陽の嵐が近づいている

表紙: NASA/SOHO

#### **HIGHLIGHTS**

**02** vol. 441 no. 7091, 7092, 7093, 7094, 7095 **EDITORIAL** 

04 特許制度の新たな試み

### NEWS@NATURE.COM

- 05 単純な響きが確実な投資への鍵
- 06 バッタの大群が生まれるとき
- 07 透明マントはもう目の前
- 08 腸内細菌で食物が高カロリーに

### SPECIAL REPORT

10 ネット上での名指し告発に潜む恐怖 David Cyranoski

### **NEWS FEATURE**

12 エピジェネティック・コード Jane Qiu

16 太陽の嵐が近づいている Stuart Clark

### **BUSINESS NEWS**

20 生き残りをかける日本の大学発ベンチャー企業 冬野いち子

### NEWS & VIEWS

22 細菌をやっつけるダイオード Asif Khan

### JAPANESE AUTHOR

**24** 35 億年前のメタン生成菌を オーストラリアで発見――上野雄一郎 三森八重子

### 英語でNATURE

**26** Econophysicists matter 経済物理学者の重要性

> 編集:北原逸美 デザイン/制作:村上武 広告:浅見りの子 マーケティング: 吉原聖豪

発行人: デービッド・スウィンバンクス | 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

### 病院内の殺し屋と闘うまったく新しい抗生物質

Novel antibiotic fights hospital killers

増加しつつある抗生物質耐性に対抗できる、 久しく待ち望まれてきた抗生物質が自然界から見つかった。J Wang たちが発見したこの 強力な抗生物質は、多くのグラム陽性菌を殺 す力をもち、その中には病院にとって最大級 の脅威であるメチシリン耐性黄色ブドウ球菌 (MRSA) やバンコマイシン耐性腸球菌 (VRE) が含まれている。

Wang たちは、25万の天然物抽出物について、細胞レベルでの分析と生化学的分析によるスクリーニングを行い、南アフリカの土壌試料から得られた放線菌 Streptomyces platensis の株の1つが作る低分子化合物、プラテンシマイシンを見つけ出した。

プラテンシマイシンはこれまで知られていなかった型の抗生物質で、脂質の構成成分である脂肪酸の合成にかかわる酵素を阻害する。このように脂肪酸合成を標的とするものは、既存の抗生物質には存在しない。この抗生物質によってマウスの黄色ブドウ球菌感染が一掃され、しかも有害な副作用は認められなかった。

18 May 2006 Vol. 441/Issue 7091 Letter p.358, N&V p.293 参照

with one mutation

性格の改善:社会性細菌は単一の変異により裏切り者から卓越した協力者へ変貌する CHARACTER REFORM: A social bacterium switches from cheat to usurping cooperator

土壌に生息する社会性の粘液細菌 Myxococcus xanthus は多細胞からなる移動集団を形成し、獲物を殺傷・分解する代謝産物を分泌してほかの微生物を捕食し、細胞外栄養プールを作り出す。この細菌は飢餓状態になると 10 万個ほどが集まって集合体となり(表紙)、細胞間シグナルをやり取りして子実体を形成し、ストレス抵抗性のある胞子へと分化する。「協力戦略」対「裏切り戦略」の進化の解明は進化生物学における積年の課題であるが、問題解決の糸口を探るうえで

M. xanthus は思いもよらないようなモデルを提供してくれる。この細菌には子実体を発達させられない遺伝子型のものがあり、混成集団内で子実はを発達させられる遺伝

2



子型のものを裏切って「搾取」する。ところが、この裏切り個体に特定の変異が自然発生的に1回生じると、それだけで協力的な子実体発達が復活し、しかも、祖先型の裏切り個体に

よる搾取を受けないなど、双方の祖先遺伝子型よりも高い適応度を得るのである。

18 May 2006 Vol. 441/Issue 7091

Article p.310, N&V p.291, www.nature.com/podcast 参照

#### より高性能のシリコン

Outperforming silicon

半導体ナノワイヤーを使った電界効果トラン ジスター (FET) は将来、超小型電子回路で 標準的なシリコン、MOSFET に取って代わる かもしれない。MOSFET、すなわち金属 - 酸 化物半導体電界効果トランジスターは、高速 スイッチングやコンピューターの集積回路に 使われている、ありふれたトランジスターで ある。ゲルマニウムのシェルとシリコンのコア からできた特殊な構造のナノワイヤーは、ほ ぼ完全な電子伝導チャネルをもつため、ナノ メートルスケールの電界効果トランジスター として有望である。トランジスター配置では、 このゲルマニウム / シリコンナノワイヤーは、 コンダクタンスが高くスイッチング遅延時間 が短いといった点で最新の MOSFET よりも優 れた特性をみせることが今回明らかになった。

25 May 2006 Vol. 441/Issue 7092

Letter p.489 参照

### がん幹細胞の機能:白血病幹細胞と血液幹細胞を Pten で区別する

**CANCER STEM CELL FUNCTION:** 

Pten distinguishes leukaemic from blood stem cells

がんを発症させて維持する幹細胞は、正常な 幹細胞とよく似ているため、がん細胞だけを 特異的に標的とする薬剤を設計するのはむず かしい。だが例えば、白血病治療の際に血液 幹細胞が損傷を受けると造血不全や死につな

がることもあることから、これは深刻な問題である。今回、白血病などのがんで不活化されていることが多いPTENという腫瘍抑制因子に関する研究から、正常な幹細胞とがん幹細胞の自己複製に



おける重要な違いが的確に示された。PTENは通常、ホスファチジルイノシトール-3-OHキナーゼのシグナル伝達経路を阻害し、細胞の増殖や生存を制限している。PTENがないと、白血病性幹細胞は増殖するが、正常な幹細胞は激減する。このことから、PTEN様の作用をもつ薬剤は抗白血病作用をもつが、血液幹細胞は維持される可能性があると考えら

れる。実際、Pten 欠損マウスでは、ラパマイシンによって白血病性幹細胞が死滅するが、正常な幹細胞機能は回復することがわかった。また、別の研究により、血液幹細胞の調節における PTEN の役割が確認された。

25 May 2006 Vol. 441/Issue 7092

Article p.475, Letter p.518, N&V p.418 参照

#### ダウン症候群

Down's syndrome

ダウン症候群は染色体を余分に1本もつことによって起こる。21番染色体にある、1つあるいは複数の遺伝子の遺伝子量が1.5倍に増加することが、この症候群にみられる広範な影響を何らかの形で引き起こしているのだ。遺伝子ノックアウトマウスを使った研究から、この症候群に関与する有力な候補として2つの遺伝子が同定された。DSCRIおよびDYRKIAの遺伝子量が1.5倍になると、転写因子NFATにかかわるシグナル伝達経路の調節が不安定になるのである。この発見は、NFATc1~4やカルシニューリンに変異をもつマウスがダウン症候群のほとんどすべての特徴を示すという、以前に示された予想外の知見に続くものだ。

これとは別の研究で、ショウジョウバエのゲノム全体にわたる RNA 干渉を使ったスクリーニングから、保存された NFAT 調節因子の存在が明らかになった。NFAT は脊椎動物にのみ存在する転写因子で、この研究では、哺乳類種のタンパク質を人工的に導入したショウジョウバエ細胞を使ってタンパク質の機能を研究するという方法によって、新たな研究分野が開拓された。NFAT タンパク質の細胞内局在を調節する経路は種を越えてよく保存されており、またこの新しい方法によって、通常は脊椎動物に発現する転写因子の調節体を新たに見つけだすことが可能となるかもしれない。

1 June 2006 Vol. 441/Issue 7093

Article p.595, Letter p.646, N&V p.582 参照

### ホモキラリティーを生み出す不斉増幅 Chemistry mirrors life

分子における右手型と左手型の存在、すなわちキラリティーの問題は、パスツールによる鏡像形の酒石酸結晶の発見以来、化学者の興味をかきたててきた。単一のキラル型の分子の合成は通常、最初からキラルな物質を用いて行われる。しかし、片方のキラル生成物の形成だけが増幅されるようにみえる反応も存在する。最近の説明のほとんどでは、この不斉増幅は自己触媒が関係して起こると考えられている。しかし今週号でまた別の機構が明らかになった。今回の新しい方法は、アミノ酸の固液相平衡挙動に基づくもので、一方の

| July 2006 | volume 3 ©2006 NPG Nature Asia-Pacific

※「今週号」とは当該号を示します。

キラル型だけを生じるような強い偏りが、初期の小さな不平衡から生じる。この反応は水溶液中で起こるため、このプロセスによって、左手型分子と右手型分子が同数存在した生物出現以前の世界から、一方のキラル型だけに生体分子が偏っている生命界へと変わった仕組みを説明できるかもしれない。

1 June 2006 Vol. 441/Issue 7093 Letter p.621 参照

### 新生代の北極海: 5500 万年の間に起こった「温室」から「氷室」への移行

### THE CENOZOIC ARCTIC OCEAN: Greenhouse to icehouse in 55 million years

北極海の環境の変遷については、2004年に 北極海掘削計画による深海掘削が実施される まで、ほとんどわかっていなかった。最近、 430 mの海底堆積物コアが得られて解析が 行われ、その結果が今週号に報告されてい る。このコアからは、温暖な「温室」気候か ら寒冷な「氷室」気候への移行期を含む過去 5600万年間にわたる気候記録が得られた。

そして、新生代に起 さった以下のような複 数の重要な事象が明 らかになった。すなわ ち、暁新世/始新世境 界温暖極大期 (5500 万年前) の海面水温 は、これまで見積もられていたよりもはるか



に高かった。また、表層水の低塩分化から、約4900万年前には水循環学的サイクルが活発だったことが確かめられた。そして、海氷や氷山によって運ばれた石片が最初に出現したのはこれまで考えられていたよりも3500万年早い、約4500万年前だった。北極域の最初の寒冷化開始時期が修正されたことで、寒冷化の開始時期は南極域と一致するようになり、これは全球的な気候変化が両極で対称的に起こったという考え方を裏づけている。

1 June 2006 Vol. 441/Issue 7093

Article p.601, Letters pp.606, 610, N&V p.579 参照

#### 炭素が支える円盤

#### Carbon adds steel

我々の太陽系の近くにある若い星、がか座 β 星を取り巻く円盤は、我々に真横を向けている典型的な「残骸円盤」で、太陽系の彗星や小惑星に似ていた可能性のある固体の天体が破壊されて生じた物質でできている。従来の研究では、こうした円盤のガスは星から急速に吹き飛ばされたはずだと考えられてきたが、これは観測事実にそぐわなかった。今回、

新たに NASA の FUSE 衛星を使って得られた遠赤外データから、この矛盾を説明できそうだ。円盤のガスは炭素を極端に多く含んでおり、このためにガスが安定化して吹き飛ばされるのを免れたらしい。

8 June 2006 Vol. 441/Issue 7094 Letter p.724 参照

### 生物多様性を示す岩:34億年前のストロマトライト礁にみられる生態系規模の化石

BIODIVERSITY ROCKS: An ecosystem-scale snapshot of early life in a 3.4-billion-year-old stromatolite reef

始生代 (25 億年以上前)の地球に生命が存在していたか否かについては、熾烈な論争が続いてきた。この論争の大部分は、ストロマトライトとよばれる層状の堆積構造が、現在みられるような微生物群体の活動によりできたのか、あるいは何らかの非生物学的過程を示してい

るのかという点に集中している。ストロマトライトが生物起源であることを裏づける有力な証拠が、西オーストラリアの長さ10kmに及ぶ珍しい岩石露頭の新しい分析から得られた。ここのストロマト



ライトは、およそ 34億 3000 万年前のもので、若い微生物礁にみられるものと似た特徴を示しており、孤立した化石群というよりは、生態系全体が化石となったかのようだ。つまり生命は、このはるか昔の時代にも存在していたばかりか、繁栄していたのだ。表紙は、礁露頭の円錐形のストロマトライトで、スケールバーはないが、natureのロゴの下からのぞいているサングラスに比べるとその大きさがわかる。

8 June 2006 Vol. 441/Issue 7094

Article p.714, N&V p.700, www.nature.com/podcast 参照

### ありそうもない結合

#### An unlikely union

物理学では、互いに引力を及ぼし合う物体は、もっているエネルギーを下げることにより安定な束縛状態を形成するというのが常識だ。しかし、斥力相互作用をしている場合でも、特定の条件下では安定な複合物が存在する。今週号には、そのような珍しい束縛状態を作り出したことが報告されている。この状態は、光格子中にある極低温のルビジウム原子のペアが作り出すものだ。強い斥力相互作用をするこの原子ペアは、光格子中で特定の位置にあると、自らの位置エネルギーを運動

エネルギーに転換できないために崩壊しなくなり、安定となる。この現象は、極低温の量子気体の構造を記述するボーズ - ハバード模型の拘束条件によって説明できる。

15 June 2006 Vol. 441/Issue 7095 Letter p.853, N&V p.820 参照

#### きれい好きは健康のもと

A tidy cell is a healthy cell

細胞成分タンパク質の分解と除去過程は、神経系の健康の維持においてこれまで考えられていた以上に重要かもしれない。マウスの脳細胞でオートファジーを阻害すると神経の変性が起こり、早期に死亡することを2つの研究グループが明らかにしたのだ。オートファジーは細胞成分を分解して再利用する仕組みのことで、細胞の正常な成長と発生に重要である。神経の健康を維持するためには細胞成分の絶え間ない分解除去が不可欠だというこの知見は、神経変性疾患の研究に新たな道を開くだろう。

15 June 2006 Vol. 441/Issue 7095 Letters pp.880, 885, N&V p.819 参照

### 飛行計画: 夜間飛行の削減で飛行機雲による 温暖化を低減

FLIGHT PLAN: Night-flights cuts could reduce contrail-induced climate warming

高空を飛ぶ航空機により形成される飛行機雲は、地球のエネルギー収支に対して高層の薄

い氷雲と似た影響を及 ぼす。これらの雲は地 球や大気からの外向き 長波放射を捕捉し、入 射する太陽放射を反射 する。平均すると、長 波放射の影響のほうが 大きく、正味として大 気を暖めている。この



影響はほかの放出物に起因する影響に比べると小さいが、空の交通量が増加するにつれて、この現象の解明が重要になってきた。英国南東部上空における調査から、この影響は飛行機雲の形成される時期に極めて大きく左右されることがわかった。夜間の飛行は全体の4分の1にすぎないが、飛行機雲による温暖化の原因の最大80パーセントを占めている。しかも、飛行機雲による1年間分の温暖化の半分は冬季の3か月間に生じている。飛行機雲の放射特性と短い寿命を考えると、空の交通が気候へ及ぼすこのような影響は、航空機の運航スケジュールを調整することで最小限にできるかもしれない。

15 June 2006 Vol. 441/Issue 7095 Letter p.864, www.nature.com/podcast 参照

3

# 特許制度の新たな試み

### Patents for the people

Nature Vol.441(256)/18 May 2006



特許当局が査読制度の導入を検討している。

偉大な発明とは、すぐれた科学技術によって生み出されるものだ。一方ですぐれた特許出願は、難解な特許法を駆使することで生み出される。これこそが特許制度のかかえるパラドックスで、特許制度が押しつぶされそうになっている理由の1つに、知的財産のできるだけ大きな分け前を得ようと考える人たちからの無数の複雑な特許出願がある。

欧米の特許機関は、拡大しすぎた特許制度を前に深刻な状態に陥っている。米国特許商標局(USPTO)では100万件を超える特許出願が未処理のまま積み上がっているとされ、欧州特許庁(ドイツ、ミュンヘン)では5月9日、過剰な仕事量に抗議する特許審査官たちによるストライキが起きた。

そうしたなか、5月12日に米国バージニア州アレクサンドリアで開かれた USPTO の会議では、この問題に対する新たな取り組みについての検討が行われた。「コミュニティによる特許出願審査(Community Patent Review)」(http://dotank.nyls.edu/communitypatent)と名づけられたこの計画では、特許プロセスをいま一度科学者や技術者の手中に返し、当事者である彼らから特許出願に関するフィードバックを得ようとしている。

新たに提案されたこのシステムでは、特許出願が公開されると、それに関連する分野を専門とする研究者ボランティアの元に通知が行く。それを受けて研究者は、電子掲示板を使い、その特許出願と関連する可能性のある先行特許や先行出願を掲示する。このほかにも、すでに掲示されている先行特許や先行出願を関心度合いによってランクづけすることもできる。そうして作成される先行技術のリストは適切にランクづけされたものになるはずで、特許審査官はそれを参考に個々の特許出願が本当に画期的なものかどうかを判断する、という姿を理想としている。

このコンセプトを思いついたのはニューヨーク・ロースクールの Beth Noveck で、これには IBM 社が真っ先に賛同の意を表明した。同社は世界最多の特許件数を有するコンピュータメーカーだが、今回の支援は特許制度

改革に向けた幅広い推進活動の一環だとしている。現在 USPTOでは、この考え方をもとにしたパイロットプロ ジェクトの実施が慎重に検討されている最中だ。IBM 社 は、プロジェクトの開始当初には自社の特許出願の一部 を無償で提供する意向を示している。

USPTOの会議に参加した弁理士のなかには、この新しい考え方によい顔をしなかった者もみられたが、それも当然かもしれない。彼らは、構想されている特許プロセスの結果には法的な異議申し立てが起こされる余地があると指摘する。たとえば、寄せられたコメントの一部を特許審査官が無視した場合、彼らは「不公平な行為」をしたと追求され、特許の無効事由となるかもしれないのだ。また、ウェブサイトにコメントを掲載することは、特許出願の審査段階で特許審査官と外部者がコミュニケーションをとることを制限している現行法に違反する可能性もある。

なにより、このようなプロセスにわざわざ参加するのは誰かという問題がある。研究者が科学論文の査読に参加するのは、研究者のコミュニティがそれを期待するからというのが主な理由だ。それに対し、研究者が特許出願の査読にかかわるべきとは誰も期待していない。となると、このウェブサイトを訪れるのは出願者にとってのライバル会社およびその弁護士、そして常温核融合反応炉や永久機関を発明したといっては金を得ようとする「発明家」という名の変人たちだけかもしれない。

とはいえ、ほかの分野の「オープン」な査読システムは 完全に失敗しているばかりではないので、USPTOにとっ ても少なくとも試してみる価値はある。科学論文の査読 は、研究論文の公正さを保つうえで役立っているとされ ることが多い。特許出願の査読は、あいまいな文言の特 許出願によって利益を得ようと考える出願者のニセ特許 申請を排除できるかもしれない。それにたとえうまくいか なかったとしても、山積みとなっている特許出願の処理 をなんとか進めていくのに必要なヒントがこのパイロッ トプロジェクトから得られる可能性は十分あるだろう。

### 単純な響きが確実な投資への鍵

### Simple sounds make for sound investments

発音しやすい名前の銘柄はよく売れる。

doi:10.1038/news060529-2/30 May 2006 Mark Peplow

複雑な株式市場で銘柄選びに苦戦している皆さん、耳寄りな話がある。心理学の研究から、少なくとも短期間では、複雑な名前の銘柄よりも発音しやすい銘柄のほうが一貫してよく売れることがわかったのだ。

プリンストン大学(米国ニュージャージー州)のAdam Alter と Daniel Oppenheimerによると、すべての鍵は発音にあるという。人は複雑な情報を理解しようとする際、最も単純な部分に注目する傾向にある。つまり、人は自然と発音しやすく考えやすい情報を好むということだ。

このような人間の習性が株式市場での 銘柄選びに影響を与えているのかどうか を検証するため、2人は10人の学生に、 架空の60銘柄について名前の発音のし やすさを評価させた。ここで、「Hillard」 や「Baring」などの会社は発音しやす い名前、「Xagibdan」や「Creaumy」 は発音しにくい名前と判定された。

次に2つ目のグループの学生に、それぞれの銘柄が市場でどのような値をつけるかを予測させた。予想通り、学生たちは簡単に発音できる名前の銘柄のほうが市場で高値をつけると予測した。

### 株の吟味

企業の良し悪しを判断するための情報 もなしに、学生が利害を抜きに選んだ 架空の銘柄に一体何の意味があるのか といわれるかもしれない。しかしこの 実験は、まったく新しい銘柄の株式が 市場に公開されるときの状況を概略的 にシミュレートしていると、研究者た ちは主張する。この時点で投資家は、 その会社について名前以外何も知らな いことが多く、結果的に名前が重要な 判断材料になりうるのだ。

さらにこの結果を裏づけるため、Alter と Oppenheimer は 1990 ~ 2004年にニューヨーク証券取引所で実際に取引された 89 銘柄について、2つ目の実験を行った。16 人の学生に銘柄の発音のしやすさを評価させ、その後各銘柄の動きを調べたのだ。

案の定、名前が複雑な銘柄ほど、株式上場初日の売り上げは少なかった。時間の経過とともにこの効果は弱まるらしく、おそらく新銘柄についてより多くの情報が得られるようになったと考えられる6か月後には、名前だけではどの銘柄の値動きも予測することはできなかった。

しかし少なくともこの場合、銘柄の名前はポートフォリオ全体に十分な影響を与えた。Alter と Oppenheimer は、最も発音しやすい 10 銘柄と発音しにくい 10 銘柄に 1,000 ドル (約 11 万円)を投資した場合、それぞれいくらの利益が出るかを計算した。早くも翌日には、発音しやすい銘柄はそうでないものと118 ドル (約 1 万 3,000 円)の差をつけており、1 年後にはその差は 333 ドル (約 3 万 7,000 円)にまで開いていた。

Oppenheimer は Proceedings of the National Academy of Sciences 誌でこの結果を発表し、「これはたいへんな影響力だ」と話す。しかし、現在までに彼らが調査したのは一部の銘柄のみで、この効果が実際にどれほど強力なのかはさだかではない。「投資家には、この実験結果によって投資のしかたを変えないようにしてほしい」彼は語っている。

### いいやすい名前で株価好調

この現象については単純に、大きな会社にはマーケティングの人員が多く、覚えやすい名前を考え出しやすいとか、特定の業界ではより単純な、発音しやすい名前が自然と好まれるという説明もできる。しかし徹底的な統計分析の後、この2人の心理学者たちは企業の業種や規模と株の動向には何の関連もないと結論づけた。

これを証明するため 2 人は最後に、企業自らが選らんだものではない 3 文字の証券コードによって、株の売れ行きを分析した。驚いたことに、なおも「KAR」のような発音しやすい証券コードは、「RDO」のように発音しにくい証券コードよりよい値動きをみせる傾向にあった。2 人は再び架空の 1,000 ドルを投資し、1 日目にして発音しにくいコードよりも発音しやすいコードが85 ドル(約9,400 円) 多い利益をあげるという結果を得た。しかし 1 年後には、この差は20 ドル(約2,200 円) にとどまった。

名前のえり好みのような心理的な 要因を考慮に入れることでも、経済 モデルを向上することができると Oppenheimer は主張する。株の取引 を行うのは人間であるため、人間の習 性は間違いなく株式市場の動きに影響 すると説明している。

まさに勝利の方程式のようにも聞こえるが、Alter と Oppenheimer は粋な名前のついた銘柄にすべてを賭ける用意はあるのだろうか。「そうはいかない」と Oppenheimer はいう。「私には投資する資金などないのだから。」

<sup>1.</sup> Alter A. L.& Oppenheimer D. M. . *Proc. Natl Acad. Sci*, doi:10.1073/pnas.0601071103 (2006).

### バッタの大群が生まれるとき

### When locusts swarm en masse

### 昆虫の密度が臨界に達すると集団行動につながる。

doi:10.1038/news060529-7/1June 2006 Michael Hopkin

バッタの脅威はその数にある。数十万匹もの大群が、行く手にあるものすべてを食べ尽くしながら進んでいく。今回、このバッタたちが「気ままな単独行動者」から、まるで1つの食べる機械のようにふるまう「マーチングバンド」へと変貌する転換点が突き止められた。

アフリカ北部やオーストラリアなど 干ばつに悩まされる地域では、農作物 を食い荒らすバッタの大群に苦しめら れてきたが、大群発生が引き起こされ る仕組みが解明されたことで、対策へ の手がかりが得られるかもしれない。

低密度のバッタ集団でも、餌をあさって原野を移動することはある。しかし、本当に壊滅的な被害が出るのは、バッタたちがいっせいにそろって移動し始めたときである。そうなると、1匹の個体が何らかの餌を見つけただけでも、大群全体がまるで1つの個体のように向きを変えてその餌に襲いかかり、草木をなぎ倒すように進んでいく。「食べ物の位置に関する情報は集団全体に非常に効率よく伝えられる」と英国オックスフォード大学の David Sumpter はいう。

シドニー大学(オーストラリア)の Jerome Buhl に率いられ、Sumpter たちは、このバッタの集団行動が発生する 仕組みを探るため、若虫とよばれる若齢 のバッタを実験室で調べた。研究チーム は、幅80センチのリング状の容器に、 いろいろな数の若虫を入れ、それらの行動をビデオ撮影した。

密度が低いときには、バッタたちは無秩序に動き回った。ところが1平方メートルあたり約25匹の密度に達すると、バッタたちは時おり自発的に進行方向を変えながら、一群となってリングの中を行進し始めた。

研究チームの話によれば、これは野 生状態でみられる本物のバッタ集団の



過密状態で同じ方向に進むバッタの集団。

ふるまいに極めてよく似ているという。 野生のバッタの大群では、1 平方メート ルあたりの密度は通常約 50 匹である。 研究チームは、これらの結果を Science 誌に報告している  $^{1}$ 。

#### 一丸となって前進

こうした集団行動はバッタに限ったことではないと Sumpter はいう。魚類や鳥類、さらにはヒトも含む広範な動物でみられる集団移動行動は、よく似た単純なルールに従っているのかもしれない。

「道を歩いている人々は、密度が低い場合には何のパターンも示さない」とSumpterは説明する。「ところが密度が高くなると、歩行レーンの形成など、特定のパターンがみられ始める。」

Sumpter はまた、突然の方向転換をともなう一律にそろった集団移動行動は、野生のバッタ若虫だけでなく飛翔力のある成虫でも起こると考えている。

バッタがどのように互いに協調して

いるのかは正確にはわかっていないと Sumpter はいう。バッタは共食いする ことでも知られており、互いにぶつかる のを避けるために全員が同じ方向に進む のかもしれないと彼は推測している。「食 べられたくなければ、並行して進むほう がいいのではないか」というのだ。

研究チームは今、バッタの行動を予測できるかどうかを調べるため、オーストラリアで実際のバッタの大群のようすを撮影中である。

興味深いことに、この実験では1平方メートルあたりの密度が約75匹を超えると、バッタの若虫たちは自発的な方向転換をしなくなった。こうした超過密状態では、バッタたちはただひたすら前進し続ける。そのため、超過密状態のバッタ大群の進路は、より低い密度の場合よりも予測しやすいかもしれない。

1. Buhl J., et al. Science, **312**. 1402 - 1406 (2006).

### 透明マントはもう目の前

### Invisibility cloaks are in sight

### 物体を見えなくする2つの新しい方法が発表された。

doi:10.1038/news060522-18/ 25 May 2006 Philip Ball

「透明人間になるマント」を作る方法が2つ、英国と米国の物理学者によって発表された。この研究者たちは、こうしたマントを作るために必要な技術は原則的には既にそろっているという。発表を行った研究者の1人、セントアンドリュース大学(英国)のUlf Leonhardtは「透明マントの実現はもう目前だ」と語る。

Leonhardt とロンドン大学インペリアルカレッジ(英国)の John Pendry らはそれぞれ独立に、中に物体を隠すことができる目に見えない「穴」を空間に作り出す方法を報告した。両者の方法は似通っている。彼らによると、水が川の中の岩をよけて流れるように、穴を迂回するように光を導き、中の物体を見えなくすることができるという。

光線は、空気と水などの異なる屈折率をもつ物質の間を通過するときに曲がる性質がある。しかし、光を曲げて空間のある領域を迂回させ、再び元の進路の延長線に沿って進むようにすることはむずかしい。このため、透明マントは、屈折率が調節可能な物質で作る必要がある。

そのような物質は、いわゆる「メタ物質」という形で既に作られている。メタ物質は、プリント基板にエッチングされ、はりあわされた金属線のコイルや輪でできている。これらは、入射する光の電磁場と相互作用し、光の進路を変えるアンテナとして働く。このようなメタ物質はたとえば、負の屈折率により光を異常な方向へ曲げるといった奇妙な光学的特性をもちうるのだ。

Leonhardt と Pendry の研究チームはそれぞれ、うまく調節された光学的特性をもつメタ物質を使って物体を迂回するように光線を導く方法を理論的に示した。この研究は Science 誌に報告されている <sup>1,2</sup>。

### 光の穴

透明マントの生地としてメタ物質を使うことが提案されたのは、今回が初めてではない<sup>3</sup>。しかし、これまでの方法では、隠す物体ひとつひとつに、専用に作ったマントが必要だった。それに対してLeonhardtと Pendry らが提案した方法なら、何でも穴の中に隠すことができる。

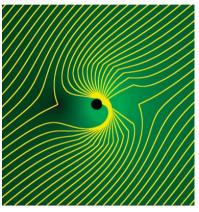
光のふるまいに関する数学的理論によると、すべての光を完全に散乱・吸収しないようにすることは不可能だ。つまり、ものを完全に目に見えなくすることはできないということである。

しかし、「その欠陥はほとんど問題にならないほどに小さくできる。今回の装置ならおそらく、わずかなもやができるだけだろう」と Leonhardt は話す。

戦車や航空機を隠すことができれば、 どこの軍の幹部にも歓迎されるに違い ない。現在のステルス機は、単にレー ダー波の反射を抑えるように作られた もので、レーダー上で「黒く」はなる が、本当に見えなくなるわけではない。 「既に軍はこのような装置の研究に取り 組んでいると考える根拠が私にはある」 と Leonhardt は話す。

### 「闇」の魔術

Leonhardt は、彼が考案した理論的な透明マントを、ブラックホールのようなものに例えている。「光の穴」のすぐそばを通過する光線が穴の周囲に沿って曲げられる一方、ある軌跡を進んでいた光線は穴の内部に引き込まれてしまう。「むずかしいのは、光を穴の中の世界から外へやさしく引き戻してやらなければならないことだ」と彼はいう。これは、穴の中の空間の屈折率をうまく変化させ、レーダー技術で使われている特別なレンズに似た特性を与えることによって実現できるそうだ。



光を曲げる物質の 1 つのモデル。物体を隠してしまう「ブラックホール」ができている。

今回の透明マントは両方とも、メタ 物質の個々の部品の大きさに近い波長 でのみ機能するはずである。つまり、可視光で機能するためには、マイクロもしくはナノレベルの加工技術をもって作る必要がある。

しかし、Pendry らは高い屈折率をもつ物質に「光の穴」を埋め込むことにより、かなり広い幅の波長(たとえば可視スペクトル全域)で見えないようにすることは可能なはずだと考えている。

どちらのデザインも、実際に作製できるかどうかはまだわからない。しかし Leonhardt によると、Pendry の方法は Leonhardt の方法の技術的に最も困難な点の一部を回避する方法を示唆しているという。Leonhardt は「まだ彼らの論文を見ただけだが、それ以来、2つの異なる方法をどう組み合わせればよいのか考え続けている」と語った。■

- 1. Leonhardt U., et al. Science, advance online publication (2006) [doi:10.1126/science.1126493].
- 2. Pendry J. B., et al. Science, advance online publication (2006) [doi:10.1126/science.1125907].
- 3. Alu A.& Engheta N. . Phys. Rev., **E72**. 016623 (2005).

### 腸内細菌で食物が高カロリーに

### Stomach bug makes food yield more calories

ある種の腸内細菌を多くもつマウスは太っている。

doi:10.1038/news060522-19/26 May 2006(31 May 2006 訂正) Helen Pearson

食物からより多くのカロリーを摂取するのに鍵となる腸内の微生物が同定された。この発見は、腸内にすむ微生物の種類によって太る量が決まるため、特定の菌を腸に植えつけることで肥満対策ができるかもしれない、とする説を支持するものだ。

腸内は、食物の消化を助ける細菌などの微生物であふれている。しかし、暗くじめじめした腸管の中でうごめく無数の微生物ひとつひとつの働きは、ようやくわかり始めたばかりだ。

ワシントン大学(米国ミズーリ州セントルイス)の Buck Samuel たちは、廃棄物処理細菌とでもよぶべき Methanobrevibacter smithii という微生物に着目した。この細菌はほかの微生物が出す排泄物と水素を取り込んで、人間がおならとして日々放出しているメタンに変換する。Samuel は、「この細菌の腸内の微生物叢に占める割合は小さいが、与える影響は大きい」と愛想よく話す。

この研究により、M. smithii は、きれいとはいえないが重要な役割を果たすことが示された。腸内細菌は人間が消化できない食物繊維の一部を消化し、人間が利用できる物質に変換するが、M. smithii は排出物を片付けることによりこれを助けているというのだ。この細菌がいないと排出物がたまり、ほかの腸内細菌の活動が妨げられる。

そして今回、腸内に M. smithii を多く もつマウスは、もたないマウスよりも 太っていることが明らかになった。

### カロリー計算

この発見から、食品のカロリー表示は正確でないおそれが出てきた。同じバナナやチーズバーガーでも、腸内にもつ微生物叢によって、人により摂取するカロリー量が違ってしまうかもしれないのだ。

85% の人は M. smithii やその近縁細菌を腸内にもっている。Samuel の研究チームは現在、この種の細菌が肥満の人に多く、痩せすぎの人には少ないのかどうかを調べようと考えている。

この説が人間にも当てはまるのであれば、腸内にさまざまな微生物を導入することにより体重を増減させることができるかもしれない。ただ、現段階では「まったくの推測」だと Samuel はいう。

この結果はオーランドで開かれた米 国微生物学会で発表されており、近々 Proceedings of the National Academy of Sciences 誌にも掲載される見通しだ。

#### 脂肪酸

Samuel らは、無菌環境で育ち腸内に 微生物をもたないマウスに、Bacteroides thetaiotaomicron という人間では極めて 一般的な腸内細菌を接種した。また一部 のマウスには、M. smithii も同時に与えた。

B. theta と M. smithii の両種とも導入したマウスでは、B. theta のみのマウスに比べ、約 100 倍もの微生物が結腸に定着した。このことは、廃棄物を処理する M. smithii の存在がほかの細菌の増殖を何らかの形で助長したことを示唆している。「おもしろいことが起こっているのだ」と Samuel はいう。

M. smithii と共存するとき、B. theta



チーズバーガーから摂取するカロリーは、 みな同じなのだろうか。

はフルクタン(タマネギ、小麦、アスパラガスに多い食物成分で、人間は腸で自力消化できない)の分解・代謝に関与する遺伝子群を活性化させた。フルクタンは B. theta によって脂肪酸に変換され、マウスの腸から一部吸収された後、エネルギー源として利用されたり脂肪として蓄積されたりする。

人間では、摂取カロリーの 10% 程度がこうした微生物の作る脂肪酸に由来している

数週間後、両方の微生物種を与えたマウスでは、酢酸とよばれる特定の脂肪酸の血中量が約40%、体脂肪が15%増加していた。

# Named and shamed

### ネット上での名指し告発に潜む恐怖

Nature Vol.441(392-393)/25 May 2006

中国で過熱化する科学的不正への批判に対し、文化大革命時に行われたいわれのない迫害の歴史を彷彿させるという 懸念を抱く人たちがいる。David Cyranoski が報告する。

中国の科学研究は、まるで両刃の剣の両辺 ともで斬り落とされてしまいそうだ。かた やはびこる科学的不正、かたや根拠のない 疑惑で追い詰められる恐ろしさだ。

公的機関が不正をきちんと調査しないという人々の不信感を背景に、中国では科学者の経歴や論文が正当なものであるかどうかに疑問を問いかけるウェブサイトが注目を集めている。しかし一方では、調査も行わずに根拠のない疑惑を投げかけるそうした手法が生み出す弊害について懸念する声も多く聞かれてきている。このほど米国に拠点を置く100人以上の中国人科学者から中国政府に送られた公開書簡は、指摘された科学的不正の疑惑に対し、公正な調査を保障する公的機関を設置するよう要求するものであった。

論文の盗用、およびデータのねつ造や 改ざんを含む科学的不正が中国国内で深 刻な問題となっていることは、中国政府 も認めている。不正の規模がどれほどか は不明だが、最近の相次ぐ疑惑の浮上が、 この問題の広がりを浮きぼりにしている。

3月、北京にある清華大学医学院の副学院長 Hui Liu が、業績をよくみせかけるために別人の H. Liu の論文を自分の論文リストに加えていたという理由で解雇処分となった(Nature 440,728;2006参照)。伝えられるところによると、Liu は疑惑を否定しており、事務処理時の手違いだったと主張している。また4月には、成都の四川大学が中国のマスメディアから批判を受けた。論文のねつ造を疑われていた同大学の教授が潔白であると

結論づけたためだ。問題の論文については2000年の発表以来、ほかの研究者から疑念の声が上がっていた。さらには5月半ばになると、2003年に中国で最初にデジタル信号処理チップを発表し愛国心をかきたてた1人である上海交通大学のJin Chen について、大学側が、研究はねつ造されたもので、海外企業のデザインの盗用も行われていたと発表した。

これらの3つの疑惑すべてにおいて、一般の人々の感情にさらに油を注ぐ中心的な役割を果たしたウェブサイトがある。 人気の高い中国語のウェブサイト、New Threads(www.xys.org)だ。このサイトは中国の科学的不正を暴くことで評判になっている。

最初の2ケースでは、New Threadsへ 疑惑が投稿されたことをきっかけに中国の マスメディアが記事として取り上げた。ま た、ウェブサイトの管理人でカリフォルニ ア州サンディエゴを拠点にする生化学者の Shi-min Fang は、Chen の件についても、 海外から入手したチップのラベルを張り替 えていたとされる会社の名前を最初に掲載 したのは自分だと主張している。

そうしたなか、適切な公的調査機関が 欠如している中国では今、いやおうなし に科学者を巻き込むウェブサイトの力が 大きな懸案事項となっている。

インディアナ大学(同州インディアナポリス)の免疫学者 Xin-Yuan Fu は、四川大学の一件で、中国科学技術大臣や中国科学院学院長などの主要な政策当局に対し、何らかの対応策を講じるよう求め

る公開書簡を書くことを決意したと話す。この書簡の内容は、彼の仲間内で深い共感をよんだ。在米の中国人生物学者たちの間で5日間回覧され、中国を拠点に置く研究者2人を含む120名分の署名を集めた。「とても驚いた」とFuはと話す。

この公開書簡で Fu はまず、不正はいかなる場合であっても公表されるべきであるとしたうえで、根拠のない疑惑、特に実験過程に故意の作為があったという証拠をなんら示すことなく、科学的主張に対して批判を展開することの問題性に言及している。書簡は最後に、「適切な調査が行われないままに……公の場において匿名で個人を攻撃する」傾向を強く非難する内容で締めくくられている。

Fu は、四川大学のケースがその典型的な例だという。同大学の副学長 Yuquan Wei は 2000 年、ドナー由来の内皮細胞を腫瘍の成長を予防するワクチンとして使用する方法について詳しく述べた論文を Nature Medicine に掲載した。この論文で Wei は、マウス実験での成功を主張し、この方法をヒトに適用できる可能性も示唆している (Nature Med. 6, 1160-1166; 2000)。

しかし2001年、Weiの助成金申請を検討していたときにこの論文を初めて目にした西安交通大学の免疫病理学者Lusheng Si は、論文にはねつ造データが含まれているのではないかと疑った。その後、さらに多額の助成金申請にWeiが同じ論文を使っていると聞いたSi は、今年3月26日、New Threads上でその論文を告発した。

この投稿をきっかけに中国メディアが 騒ぎ立て、大学側は学内調査に動いた。 そして四川大学は、Wei はいかなる不正 も働いておらず、Wei の研究について起 きている論争はどこにでもある学術的な 意見の相違であると結論づけた。その後 も中国メディアは Wei と四川大学への批 判を続けたが、一方で多くの科学者は、Si の主張は無責任であり、科学的コンセプ トや実験過程に対するあやふやな解釈に 基づいたものだととらえている。

たとえば、Si はマウスの免疫システムは外来細胞のあらゆるタンパク質に反応するはずだと強く主張するが、反対にWei の論文は、免疫性を与えられたマウスは選択的にごく少数の抗原に反応するとしている。「このこと自体、免疫学の基本的な法則に反する主張だ」とSi はいう。

だが、Fu の公開書簡への署名も行ったジョンズ・ホプキンス大学医学系大学院(メリーランド州ボルティモア)の免疫学者 Lieping Chen は、Si の意見に賛成していない。Chen によると、1 つないし少数の抗原タンパク質に対する選択的な免疫反応は、よく知られた免疫優勢とよばれる現象の特徴の1つだという。

Si はまた、Wei が実験に使った約4万 匹とも推定されるマウスの数にも疑問をもっており、「これほど大量のマウスを使ったとは信じがたい」と述べている。 Chen の支持を受けた Wei はこの件に関して、Si が計算を誤ったもので、実際に使われたマウスの数は5,000 匹に満たないとしている。

しかしながらWeiを擁護する人々も、Weiの対応は疑惑を晴らすには不十分だと認めている。たとえば、多くの研究者はWeiが生データを公表すれば問題は解決すると考えているが、Siが要求するデータの公開をWeiはいまだに拒んでいる。ネイチャーの取材に対してWeiは、「調査が入った場合に生データを公開できないとはいっていない」と述べたものの、データを今後公開する用意があるかどうかについては明確にしなかった。取材の中でWeiは、疑われている不正行為はなかったと全面的に否定した。

しかし、大学側の調査は透明性に欠けており、多くの人々はいまだに真実が完全に明らかになったとは考えていない。「不正疑惑に関する四川大学の学内調査は、まったく話にならない」と話すのは、カリフォルニア大学バークレー校の神経生物学者で、上海神経科学研究所の所長を務める Mu-ming Poo だ。ネイチャーは、大学側の行った調査の詳しい内容や調査委員会のメンバーに関する情報の提供を大学に依頼したが、回答はWei に委任された。本記事が掲載された5月25日号の Nature が印刷にまわされる時点で、依然 Wei からの回答は得られなかった。

Poo はこの一件をめぐり、中国のほとんどの大学には適切な学内調査を実施する能力が欠けていることを確信したという。「(学内調査の) 結果は、大学の評判を落としたくないなどの大学側の思惑に左右されがちだ」と Poo は話す。

5月8日に送られたFuの公開書簡は、 科学技術省や中国科学院(CAS)、中国国家 自然科学基金委員会(NSFC)などの資金 配分を行う政府上層機関がこの問題にきち んと関与するよう要求している。

これらの機関はすでに、独自の調査機関をもっている。CAS は 1997 年に倫理委員会を設立し、2001 年にはガイドラインを草案した。1998 年に設立された NSFC 委員会は、設立 5 年で(同期間に助成金を受け取った、推定 3 万件の研究プロジェクトのうち)445 件の不正疑惑を調査したという。悪質な不正が行われていた場合、委員会により無期限で助成金申請を阻止される。

しかし、多くの科学者はこれらの委員会は問題の解決に役立っておらず、委員会に対するこうした不信がインターネット上で告発が飛び交う原因だと感じている。たとえばSiは、CASや科学技術省宛てに疑念を伝えようとしたものの、どちらの連絡先も見つけることができなかったため、New Threadsへ投稿することにしたという。ネイチャーでも CAS やNSFC の委員会に連絡を取ろうと試みたが、失敗に終わった。

Fu は、「(正しく)機能していない公的 機関の存在こそが、New Threads の重要 性を高めている」と話す、しかし人権擁護者でもある Fu は、ウェブサイト上で自分の身元も明かさずに投稿されるような無責任な疑惑を取り上げるマスコミの行き過ぎた取材合戦は、中国のポスター「大字報」を思い起こさせるとの懸念を示している。

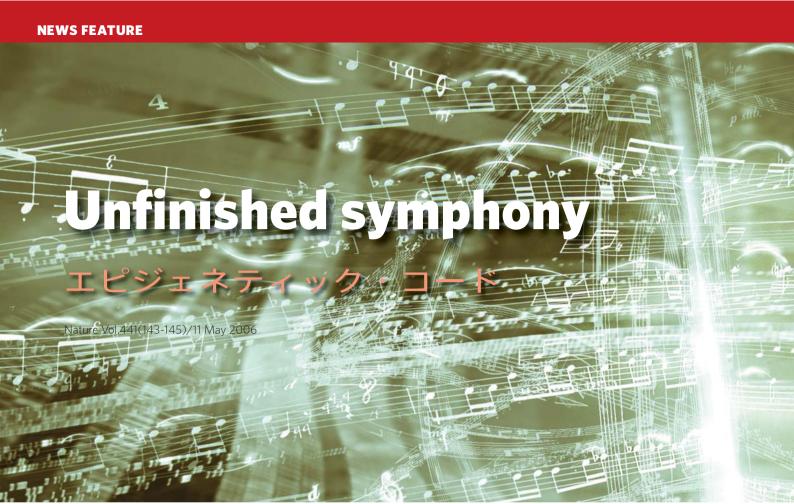
この壁に張り出された手書きのポスターは、1970年代の文化大革命下の中国で、政府の敵とみなされた者を迫害するために使われた。「誰でも好き勝手に書くことができ、それを読んだ者は書かれた内容が真実であると思い込んだ」と Chen はいう。「もし、それと同じことが中国の学術界で繰り返されるとすれば、痛ましいことだ」。

2001年のサイト立ち上げ以来、倫理を欠いた科学研究を批判し、研究倫理に対する中国国内での関心を高めようと努力してきたとして多方面からの評価を受けた Fang は、ウェブサイトへの投稿を擁護する。Fang は、送られてくる投稿文のうち採用するのは1割ほどにすぎず、なかでもウェブサイト上に公開する不正疑惑はFangに身元を明かした投稿者によって書かれたものだけだという。さらに、彼自身が予備調査を行ったり、外部の専門家に意見を求めたりすることもあると話す。

その一方で、ネイチャーに寄せられた科学者からの意見の中には、あまりにも強大になった Fang のウェブサイトの影響力に対する不安を述べたものがいくつかあった。ただしこれらの科学者は、Fang に敵とみなされるのを恐れ、名前は伏せてほしいとのことだった。

中国政府には、科学的不正疑惑を適切に調査できる、訓練を受けた専門家で構成される新しい調査機関を設立してもらいたい、米国研究公正局のような機関が理想的だろうと Fu は語る。Nature Medicine の編集長 Juan-Carlos Lopez も、Si 対 Wei の一件を解決するためにもそういった機関が必要だという。「『ああ言えばこう言う』の繰り返しはもうたくさんだ。監督官庁が腰を上げる時ではないか」と Lopez は話す。

実際それが実現するか否か、先行きは不透明だ。Fu や共同署名者たちのもとには、いまだ中国政府からの回答は届いていないという。



ゲノム上に書かれた DNA の「楽譜」を正しく演奏するために、細胞はゲノム DNA の上位にある暗号、すなわち「エピジェネティック・コード」とよばれる音楽記号を読み取る必要がある。 このしくみの解明を目指す国際的な取り組みの動向について、 Jane Oiu が報告する。

Manel Esteller の電話は、数週間にわ たって鳴りやむことがなかった。それ は 2005 年の夏、スペイン国立がんセ ンター(マドリード)の Esteller の研 究グループが、一卵性双生児を対象に DNA 発現活性の比較研究を行った成果 を発表した直後のことだった。不安にか られて電話をかけてきたのは、双子の兄 弟や姉妹の一方にがんや糖尿病などの重 い病気にかかっている者をもつ人たちが ほとんどだった。「研究結果は、自分も 双子の片方と同じ病に倒れる可能性があ るかどうかを知るのに役立つのでしょう か」。「双生児は DNA 配列が同じですが、 病気のかかりやすさに対する遺伝的素因 も同じということなのでしょうか」。そ んな内容の問い合わせだった。

意外なことに、2番目の質問の答えは「そうとは限らない」である。一卵性双生児は遺伝子が共通しているにもかかわらず、その体質は大きく異なる場合があり、また発症する疾患が異なる場合もあることは以前から知られていた。従来の説明によれば、我々の遺伝子は何らかの形で環境と相互作用しており、そのため人によって異なる身体的属性、すなわち「表現型」が生じるのだとされている。ただし、そのしくみの正確なところは依然としてわかっていない。

Esteller たちの論文では、エピジェネティックスとして知られる現象が「氏と育ち」を結ぶミッシングリンクである可能性が示唆された<sup>1</sup>。エピジェネティックスとは、ゲノム DNA の配列

上に書き込まれる潜在的な化学的・物理的コードのことである。「エピジェネティックス」という用語は、英国の発生学者で遺伝学者でもあった Conrad Waddington によって 1940 年代に作られ、当初は「遺伝子と環境が相互作用することで表現型が現れる現象」を意味した<sup>2</sup>。この用語は現在、DNA配列そのものを変えることなく遺伝子の発現パターンに影響を与える、別の階層の指令のことをいう。

3歳から74歳までの80組の一卵性 双生児を対象に研究を行ったEstellerの 研究チームは、エピジェネティックな差 は幼い双生児の間ではほとんどみられな いものの、年齢が上がるにつれてその差 が著しく大きくなることを見いだした。

こうした違いは、遺伝子の活性に大きな影響を及ぼしていた。活性の異なる遺伝子の数は、50歳の双生児の間では3歳の双生児の場合より3倍以上も多かった。「つまり、人間は遺伝子だけで作られるわけではないということです。DNAの配列も重要ですが、遺伝子の活性は環境の影響を大きく受けるのです。このように考えることで、多くの一卵性双生児で疾患に対する感受性が異なる理由を説明できる可能性があります」と Esteller は語る。

#### 違いに注目

一卵性双生児からの問いに答える以外 にも、エピジェネティック・コードを 解読することにより、多様な人間集団 でみられる疾患についての理解が劇的 に変わるものと期待されている(コラ ム「病気に目印をつける」参照)。たと えば一部のがんは、エピジェネティッ ク機構の不調が原因である可能性があ る。またエピジェネティック・コード を解読すれば、環境が生物個体の体質 に影響するしくみの未解明部分につい てもわかってくるだろう。たとえば、 妊娠マウスのえさを単純に変化させる だけで、生まれてくる子マウスの毛色 が完全に変化したり<sup>3</sup>、あるいはストレ スに対する反応が変化したりする 4 と されているが、エピジェネティックな 変化をもとにそういった理由も説明で きるかもしれない。

「エピジェネティック機構の解明は、生物学における重要な疑問のいくつかに回答を与えることになるだろう」と、ウェルカムトラスト・サンガー研究所(英国ケンブリッジ)の免疫学者でヒトゲノム計画にも参画した Stephan Beck は語る。ある細胞が細胞に固有のゲノム上のプログラムを実行する、その時間的・空間的機構が明らかになれば、発生や疾患だけでなく、ヒトをヒトたらしめている謎についても今後、新たな光が当たることになるだろうと Beck は語る。

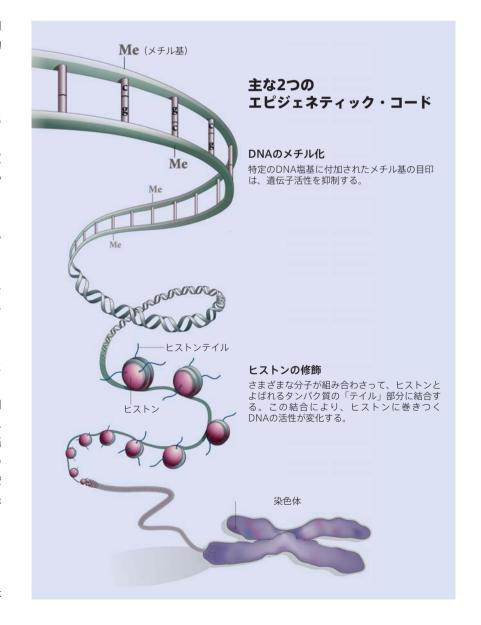
「エピゲノム」とよばれる、ヒトゲノムのエピジェネティック・コードの総体

については過去 10 年の間にますます多くの研究がなされてきた。そして研究者たちは現在、このコードの解読という野心的な試みに乗り出している。Beck たちによって 1999 年に最初に提案された「国際ヒトエピゲノム計画(IHEP)」は、2001 年にヒトゲノム計画(G文字からなる DNA 概要配列を発表したヒトゲノム計画の跡を引き継ぐ計画である。しかし、IHEPの実現には大きな障害が立ちはだかる。ヒトゲノムの配列はヒトの身体を構成する全細胞で同じであるが、エピゲノムは組織によっても異なるし、また細胞が置かれた環境に対する反応によっても変化する。はたして研究者は、

このように広大で複雑、かつ絶えず変化するコードをほんとうに妥当な方法で解読できるのだろうか。

#### タンパク質がパッキング

ゲノムの DNA 配列を交響曲の楽譜だとすると、エピゲノムはさしずめ、メロディーの音符がどのように演奏されるべきかを示す調号やフレージング、強弱記号のようなものだ。遺伝子発現のエピジェネティックな制御は2つの主要経路で行われる。1つは DNA そのものが化学的に修飾される経路、そしてもう1つは、DNA を染色体の主要構成要素であるクロマチンに束ねる働きを



するタンパク質が修飾される経路である。このタンパク質はヒストンとよばれるもので、クロマチンが緊密にパッキングされるかどうかを決める。クロマチンがきつく束ねられた状態だと遺伝子の発現は抑えられ、また逆にゆるんだ状態では遺伝子の発現は活発となる。

第1の経路は、DNAに付加されるメ チル基の形状をとる。 DNA メチル化の 主な標的は、すぐ後ろにグアニンが続 くシトシン塩基である(図参照)。メチ ル基は、クロマチン構造の調節を介し、 遺伝子発現のスイッチを入れたり切っ たりするタンパク質によって認識され る。第2の経路はさらに複雑で、染色 体 DNA が巻きつくヒストンの変化が関 与する。個々のヒストンからは「テイル」 が突き出ていて、この部分にちょうど ブレスレットのチャームのような形で 20 種類以上の化合物の標識を結合する ことができる。こうした標識分子の一 部、または複数の標識の組み合わせは 「ヒストンコード」とよばれ、弛緩した 状態のクロマチンを形成する。またそ れ以外の標識は、逆に緊密な状態のク ロマチンを形成する。

エピジェネティック・コードは、 DNA 配列と比べて環境からの影響を受 けやすい。「このことから、生活習慣や 有毒化学物質が疾患感受性に影響する しくみを説明できます。特定の疾患にか かる要因の最大 70% は非遺伝的なもの です」とサンガー研究所の Vardhman Rakyan は語る。実際、Esteller の研究 チームが得た重要な知見の1つに、別々 に育ったかもしくは明らかに異なる生 活習慣を送ってきた双生児のエピジェ ネティックなプロファイルは、ある程 度一緒に育った、あるいは生活環境や 経験が似ている双生児のプロファイル とは大きく異なるというものがある $^{1}$ 。 Rakyan 自身は、糖尿病に関連するエピ ジェネティックな変化の発見を目指し、 片方だけが1型糖尿病患者である一卵 性双生児の集団を研究している。

Rakyan の研究室をはじめとして、 すでに世界各地のさまざまな研究室で 独自の研究が始められているが、組織的な取り組みを始める時期にきてここと考える研究者も少なくない。こことが月の間、国際的なヒトエピゲノの国際の価値や展望を評価するための、専門家や政府による報告書が発表されたりないる。計画の究極の目標は、あらいる種類の正常なヒト組織の全染とである。

ヒトゲノム計画のときと同じように 国際コンソーシアムを立ち上げるとなれば、全体としての優先順位を決め、 個々の研究の調整を図り、材料とリソースを集中化し、必要な技術を開発し、 研究の進捗をモニタリングしていくことになるだろう。

### 一歩ずつ着実に

「今日のエピゲノミクスは、個々の研究者がそれぞれのテーマに取り組んでいた30年前のゲノミクス研究と同じような段階にある」と南カリフォルニア大学(ロサンゼルス)のがん生物学者Peter Jones は指摘する。Jones はかつて、フィラデルフィアに本拠を置く米国がん研究学会(AACR)の代表を務めていた。「大きなテーマを掲げる必要があります。国際的な協力態勢も求められます。そうすることでIHEPは独自性を打ち出せると思います」。

ウェルカムトラスト、AACR、米国立癌研究所、米国立ヒトゲノム研究所 (NHGRI) といった一部の資金提供団体は、議論に参加するなどして興味を示してはいるが、財政的支援や計画の立案などを決めた資金提供機関はいまのところまだない。

### 準備万端

ヒトゲノム計画の完了以降、数百万ドル、なかには数十億ドルを要する数多くの多施設研究が計画されてきた。ヒトのがんにおける遺伝的変異の同定、およびカタログ作成を目指している米国

立衛生研究所の「がんゲノムアトラス」 などに代表されるこうした取り組みの 一部は、研究規模や費用対効果をめぐ る論議にはずみをつけている。資金提 供団体にとって重要な課題の1つは、 IHEP が新たな数百万ドル規模の計画に なるのかどうかという点である。計画 の支持者たちは、そうはならないと話 す。「IHEPの目標はもう1つのビッグ プロジェクトを作ることではなく、可 能なかぎりのすぐれた費用対効果で解 析を進め、現在進行中の優秀な計画ど うしを相互に関連づけ、重要なパイロッ トプロジェクトに資金を提供すること にあります」とジョンズホプキンス大 学(メリーランド州バルティモア)に 設けられた「一般的なヒト疾患に関す るエピジェネティックス研究センター」 の代表 Andrew Feinberg は語る。

いくぶん小規模の多施設エピゲノム計画は、すでにヨーロッパや米国、インド、日本で進行中または検討中だ。その最も顕著な試みは、2000年に欧州ヒトエピゲノム計画(HEP)コンソーシアムによって企画されたものである。2004年のパイロットプロジェクトの発表<sup>6</sup>に続き、欧州 HEP コンソーシアムは近く、6番、20番、22番の各染色体全体のエピジェネティックスに関して得られたデータの公表を予定している。

国際的なヒトエピゲノム計画の重要性を疑う者はほとんどいないが、その進め方については依然として論争が続いている。重要な課題は、生じるエピゲノムの見極めと、対象細胞の種類の決定である。計画ではまず、血球細胞を対象とすべきだと主張する研究者がいる。血球細胞は採取や取り扱いが簡単で、さらには健常者と病人両方の正とゲノムをつなぐ主要な「窓」的存在だからだ。高解像度の血液エピゲノムをなだまない。高解像度の血液エピゲノムと比較する際の基準となるだろう。

しかし、エピゲノムは細胞の種類に よって異なることから、パイロットプロ ジェクトを1つの組織、または組織発 生の特定時期に制限するのはおかしいという話も聞かれる。最近実施された3つの国際ワークショップでの徹底的な議論を受け<sup>5,7-9</sup>、エピジェネティックス研究者たちは当面、血液を含む8~10種類の組織の研究を並行して進めることで合意している。究極的には、胚性幹細胞を含むあらゆる組織のエピゲノムマップが作られることになるだろう。

もう1つの課題は、実験室で成長さ せた細胞と、生検で得られた組織由来 の細胞のどちらを対象にするべきかと いう問題だ。生検試料にはさまざまな細 胞が含まれるため、解像度の面で劣る ことが予想される。一方、実験室で育て た細胞の場合、異常なエピジェネティッ ク標識を含むおそれがある。現時点で 一部の生物学者は、2つの選択肢の短所 を検討したうえで、実験室で樹立した 細胞を対象とするほうに傾いている。だ が、正常組織と比較して対象細胞系列 のエピゲノムが実際にどの程度異なる のかという問題は残る。提案中の IHEP のパイロットプロジェクトにさまざまな 細胞系列を含めることで、この問題は解 決を図られるべきであろう。

#### 最後のフロンティア

おそらくIHEPが直面する最大の課題は、技術上の問題である。エピゲノムの解読には大量生産方式のツールの開発が不可欠で、あふれかえるデータを適切に保存・解析できる必要がある。現在のところDNAメチル化部位の決定に用いられている主な方法の信頼性は高いものの、その実施には非常に高額の費用がかかる。一方でヒストン上の標識を調べるための技術には、精度と再現性の点で難がある。

研究者たちは、実験室でなじみが深く、その実験技術も比較的進んでいる酵母やショウジョウバエ、マウスのエピゲノムに関するプロジェクトとIHEPとを結びつけることでこうした課題をクリアできないかと期待している。計算科学者たちも、多次元のエピゲノムデータの保存と解析に必要とされるすぐれたバイオインフォマティクスツールの開発を進めている。

こうした技術上の課題を考えれば、IHEPのような大規模事業に対する準備状況に疑問を抱く人たちがいるのも当然のことだ。だがヒトゲノム計画の当初段階の経験を踏まえ、エピジェネティックス研究に取り組む研究者たちは目標達

成に不安はないという認識で一致している。研究者たちは、IHEPを進めていくうえで利用可能とされる国際資産の管理プランをすでに策定している<sup>5,7-9</sup>。また、ヒトゲノム計画のときと同様、IHEP自体の歩みが計画の進展を触媒していくだろうと考えている。「100%万全な準備というのはありえません。我々はすでに、計画を進めるにあたって6割がたの技術を手にしています」とウィーンバイオセンター分子病理学研究所(オーストリア)の分子生物学者Thomas Jenuwein は話す。「残り4割の技術は、ひとたび計画にはずみがつけば必ず現れてきます。展望は大きくもつべきです」。

### Jane Qiu は *Nature Reviews Neuroscience* の編集部員。

- Fraga, M. F. et al. Proc. Natl Acad. Sci. USA 102, 10604 -10609 (2005).
- 2. Waddington, C. Endeavour 1, 18-20 (1942).
- 3. Waterland, R. A. & Jirtle, R. L. *Mol. Cell. Biol.* **23**, 5293 –5300 (2003).
- Weaver, I. C. G. et al. J. Neurosci. 25, 11045–11054 (2005).
- Lieb, J. D. et al. Cytogenet. Genome Res. 114, doi:10.1159/000091922 (2006).
- 6. Rakyan, V. K. et al. PLoS Biol. 2, e405 (2004).
- 7. Feinberg, A. P. & Jones, P. A. Workshop on Defining the Epigenome http://dcb.nci.nih.gov/Workshoprpt.cfm (2006)
- 8. Rauscher, F. J. III *Cancer Res.* **65**. 11229 (2005).
- Jones, P. A. & Martienssen, R. Cancer Res. 65, 11241– 11246 (2005).

### 病気に目印をつける

細胞に対し、DNAにつづられた遺伝的指令をどのように「演奏する」かを指揮するエピジェネティック・コードは、発生、老化、がん、メンタルヘルス、不妊などの過程で中心的な存在となりつある。特にがん研究者は、診断や予後予測のためのツールや薬剤の開発を念頭に、エピジェネティック・コードの研究に取り組んでいる。

エピジェネティックスは、 DNA 自体の変異と共に、が んの発生に大きく寄与してい る可能性がある。たとえば、Wnk2という遺伝子の活性は腫瘍の発生を抑制すると考えられているが、一部の脳腫瘍では同遺伝子の欠失によるのではなく、エピジェネティックな変化によって活性が抑制されている場合が多い。

エピジェネティックな目印はまた、臨床転帰の予測に役立つ可能性もある。エストロゲン受容体をコードする遺伝子に生じたエピジェネティックな修飾パターンは、薬剤タ

モキシフェンを使用した治療 によるがん患者の生存率と相 関するという報告がある<sup>9</sup>。

エピジェネティックな変化は、それに関与する化学標識の付加や除去によって、遺伝子変異と比べて容易に逆転する。この逆転を起こさせる薬剤は現在、がん治療の最前線にある。たとえばPharmion社(コロラド州ボールダー)が製造する薬剤Vidazaは、「前白血病」として知られる骨髄異形成症候群の治療薬として

米国食品医薬品庁 (FDA) の 承認を得た。

DNAのメチル化をブロックするこの薬剤は、理論上はあらゆる細胞で活性を示すはずである。ところが、実際にはがん細胞だけで活性を示す発えられており、がんの発生を抑制する遺伝子などの多などの遺伝子の発現を促す。現在、ほかにも数種類のエピジェネティック薬が臨床試験のさまざまな段階にある。



太陽から地球に吹きつける荷電粒子の嵐は、ときに人工衛星を故障させることもある。こうした太陽嵐の予測はむずかしいが、一部の物理学者たちの予測によると、ここしばらくのうちで最も大きな嵐が迫っているという。 Stuart Clark が報告する。

たしかにハロウィーンは、不思議な現象や不気味な事件が起こるとされるときではある。しかし、どう考えても2003年10月の後半に起こったことは異常だった。世界中の通信が混乱し、米航空宇宙局(NASA)の衛星の半分は正しく機能せず、スウェーデンでは5万人が停電にあい、そして世界中の航空会社は数億円もの損失をこうむった。

これらの事件を結びつけるのは超自然現象ではない。もっとよく知られたもの、つまり太陽だ。太陽の活動は11年周期で変動するが、当時はなかでも活動がいちばん活発な時期だったために、このような混乱が起きた。そして一部の予測によると、今から5~6年後には2003年10月に起こったこととは比べものにならない事態が起きる可能性があるという。

米国立大気研究センター(NCAR、コロラド州ボールダー)の物理学者 Peter Gilman は、「次周期の太陽活動の影響は、かつてないほど深刻なものかもしれない」と警告する。問題に直面するのは人工衛星や電気通信だけではない。一部の研究者は、太陽活動は地球大気、特に雲の形成に影響すると考えている。この説は地球温暖化に対して懐疑的な人たちをひきつけ、気候変動の原因は人間活動よりもむしろ太陽にあるのだという主張が聞かれるようになった。

太陽の 11 年周期の原動力は、その磁場にある。磁場は、太陽風という荷電粒子の流れを作り出す。11 年周期の中でも静かな時期の活動はかなり穏やかで、太陽風は比較的一定している。しかし、太陽活動の極大期には黒点(曲

がりくねる磁場によって、太陽表面にできる暗い斑点)が現れる。巨大な太陽フレアが黒点の上空で爆発すると、太陽風に乱流を起こし、宇宙空間を突き進む荷電粒子の流れを作り出す。

いちばん最近の活動周期は、黒点の数でみるとかなり穏やかな周期だった(グラフ参照)。しかし、その活動周期がピークを迎えた3年後の2003年10月後半、2つの巨大な黒点が出現した。2つはともに地球直径の10倍以上の大きさで、双方ともほぼ絶え間ない爆発を続け、数十億トンの荷電粒子を噴出した。

そしてこの荷電粒子が地球の大気に 当たったことで、前述のような被害が 引き起こされたのだった。世界的な海 の緊急事態通報システムが停止し、エ ベレスト登山隊との通信が途絶え、全

地球測位システム(GPS)の精度が落ちた。NASAの衛星が正しく機能しなかったほか、日本の地球観測衛星も機能を失い、運用が断念された。航空機は低高度を飛ばなくてはならなくなり、航空路が混雑したうえに燃料の消費量が増え、航空会社にとってはコスト負担が増えることになった。

#### 幸運な回避

太陽の自転に伴って移動する太陽表面 の黒点は、2週間にわたり地球に向けて 断続的な荷電粒子の爆撃を行ったとさ れる。そして 11 月 4 日、2 番目の黒点 が見えなくなりかけていたとき、すさま じい爆発が起こった。それは有史以来、 最も大きな太陽フレアの1つだったと 太陽物理学者は算定する1。まったくの 偶然により、その太陽フレアは地球を直 撃せずに宇宙空間へ向かって爆発した ため、地球へは側面の流れが吹きつけ ただけですんだ。それを見た人たちは 安堵のため息をつき、こんなフレアが地 球に向かって爆発していたらいったい どれほどの被害があったことか、と思っ たという。しかし、次の太陽活動周期に 関する最新の予測が現実のものとなれ ば、私たちはそのすさまじさを体験する ことになるかもしれない。

こうした太陽爆発の時期や強さを予測すること明らかに重要だが、太陽内部のしくみについてはまだあまりよくわかっていない。そこで来年には、次の太陽周期の始まりに合わせ、過去最大規模の太陽に関する共同研究計画が立ち上げられることになっている。この国際太陽年計画では、太陽が地球の気候に影響を及ぼしている可能性にのの意識を高め、さまざまな分野の研究者に太陽活動の研究に関心をもってもらうことをねらいとしている。

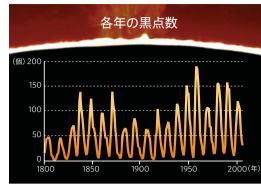
現在、太陽の活動は極小期にある。 たいていの予測では、次の5~6年後 の極大期の太陽活動は比較的弱いもの になるとされている。しかし、初めて 完全に物理的太陽モデルに基づいて算 出された最新発表の予測によると、話 は逆になる。

この予測を行ったのは、NCARのMausumi Dikpati たちだ<sup>2</sup>。Dikpati らは、太陽内部の磁気ダイナモと、太陽プラズマが表面近くで循環するしくみについての理論を組み合わせたコンピューターシミュレーションを開発した。そして、肝を冷やすような結論に達した。研究チームの一員であるGilmanは、「次の太陽活動の極大期には、前回よりも黒点数と活動レベルが30~50パーセント大きくなるという予測結果を得た」と話す。

こうした規模での太陽活動は、1958年を最後に起きていない。当時、地球周回軌道上に人工衛星はほとんどなかった。しかし、今ではその事情はまったく異なる。地球を取り巻く活動中の衛星の数は現在、数千個にものぼる。

人工衛星の運用者は、太陽活動の予想をもとに宇宙ミッションの寿命を見積もっている。太陽風が地球の希薄な高層大気を暖めると、大気密度が上がり、空気抵抗が大きくなる。太陽活動が30パーセント上昇すれば高度300キロメートルの大気密度はほぼ2倍になり、低高度の人工衛星に影響を及ぼすとGilmanは推定する。

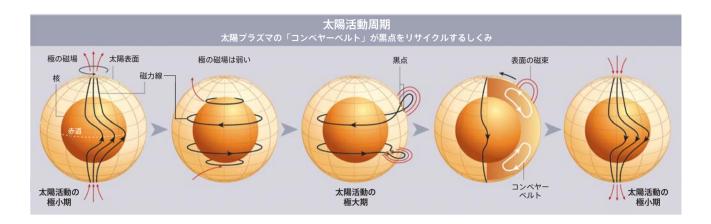
ミッションの運営に2012年までを 考慮に入れている場合、そのミッション の計画者たちは人工衛星をさらに高い 軌道に上げるか、さもなければ衛星の 寿命が短くなることを受け入れなけれ ばならないかもしれない。しかも高度 800 キロメートル以上の上空では、空 気抵抗の心配はないが別の危険が残る。 太陽風が荷電粒子の密度を上げて、敏 感な装置のショートや焼損を引き起こ すのだ。2003年の太陽フレアの爆発の 際に日本の地球観測衛星「みどり2号」 が機能を失ったのは、これが原因だった とみられている。さらに、軌道上で故障 する衛星の数が増えると、衛星運用者 は宇宙ゴミの回避についても心配しな ければならない。大きな太陽嵐の余波



で大気の抵抗が変化すれば、宇宙ゴミ の軌道が変わる可能性もあり、活動中 の衛星は危険にさらされることになる。

最近では太陽を理解しようという機 運が高まりをみせているが、こうした 人工衛星などへの影響はその動機の1 つにすぎない。そのほかにも、太陽活 動周期が地球気候に与える影響、特に 雲形成を通じた影響の可能性について 注目が集まっている。この太陽活動と 地球の気候との関連性は、1997年に 初めて提案された。コペンハーゲンに あるデンマーク気象研究所の気象学 者 Henrik Svensmark と Eigil Friis-Christensen が、1979 年 から 1992 年までの気象衛星の記録の分析を行い、 太陽活動の極小期には、極大期よりも 地球全体の雲量が3%多いことを発見し たのである<sup>3</sup>。さらに2人は、太陽活動 の極小期に宇宙空間から地球へと降り 注ぐ高エネルギー粒子、つまり宇宙線 の量が、極大期と比べて25%多いこと を見いだし、宇宙線が雲形成の種子を 供給している可能性に思い至った。こ の発見を 2 人は、「太陽-気候関連にお けるミッシングリンク」と名づけた。

地球温暖化の原因は人間活動ではないと主張する人々は、この結果に飛びついた。こうしたデータは、地球の気候変化の主たる原因は太陽であることを示している、と彼らは主張する。昨年、ある2人のロシア人懐疑論者もそう考え、次の周期の太陽活動は弱くなるという想定のもと、2012年から2017年までの地球全体の平均気温が、1998



年から 2003 年のそれと比べて下がる ほうに 1 万ドルを賭けた  $^4$ 。

とはいえ、太陽と気候に関連がある いう説を支持する科学者たちの多くは もっと慎重だ。ラザフォード・アップ ルトン研究所(英国ディドコット)の 物理学者 Robert Bingham は、「すべ ての雲が太陽活動によって形成される と提案しているわけではない。雲形成 過程は太陽活動によって変化する可能 性があるといっているだけだ」と話す。 Bingham は、「CLOUD」(Cosmics Leaving Outdoor Droplets の略) と いう国際共同実験に参加している。こ の実験では、フランスとスイスの国境 にある欧州原子核共同研究機関 (CERN) の粒子加速器を使い、地球の大気を模 した気体を入れたチャンバーに荷電粒 子を打ち込み、雲が形成されるかどう かを調べることになっている。

### 国際的な太陽監視網

18

国連は、次に太陽活動が活発になる時期を積極的に活用しようと、191 の加盟国すべてに無線受信機を導入する構想を先導している。そうすれば、太陽から吹きつける絶え間ない荷電粒子の衝突に対する超高層大気の反応が、初めて地球規模で監視されることになる。宇宙は公式には高度約100キロメートルから始まるが、この領域の研究はむずかしく、わかっていることはまだほとんどない。

国連の計画は、国際太陽年の計画の 1つである。国際太陽年は独自の研究予 算をもたないが、あらゆる分野の科学者が太陽観測装置やデータに容易にアクセスできるようにすることをねらいとした研究計画の募集を始めた。国際太陽年の英国の共同責任者である、ラザフォード・アップルトン研究所のRichard Harrisonは「科学者のコミュニティ全体からアイデアを募っています」と話す。

2007年は、太陽-地球相互作用の 研究のため、これまでにない数の人工 衛星群を科学者たちが使えることにな る年となるはずだ。太陽活動を追跡す る人工衛星はすでに軌道上に12機あ り、さらにこれまでで最も高度な観測 衛星を含む3機の打ち上げが今年予定 されている。その1つ、NASA の太陽 観測衛星「STEREO」はほぼ同じ形状 の2機の衛星からなり、別々の場所か ら太陽の観測を行うことになる。1機 は地球の公転軌道上で地球より前方に、 もう1機は地球後方に位置する。この 結果、太陽の3次元立体画像が得られ、 粒子噴出の3次元構造を追跡するこ とができるようになるだろう。そして STEREO は、太陽フレアの爆発が起き て粒子が地球に向かって吹きつけられ ようとしたとき、その速度と方向を前 もって知らせることができるようにな るかもしれない。

こうした情報は、衛星の運用者が差し迫った危険に対応するのに役立つはずだが、きちんとした計画の立案には太陽活動の長期的予測が必要だ。 Harrisonら一部の研究者は、有意味な 長期予測をするのに十分なほどにはまだ太陽を理解できていないと考えている。たしかにこれまでの予測は、将来の太陽活動の指標となるものに重点が置かれていて、その背後にあるしくみにまではあまり気をかけてこなかった。

たとえば天文学者たちは 1970 年代に、活動周期が頂点に達した後に太陽の極で磁場が強まることと、その次の周期の活動の強さには関連があることに気がついた。ちょうど昨年、この予測方法の先駆者の 1 人である Leif Svalgaardは、太陽の極の磁場をもとに、次の周期の太陽活動は過去 100 年の間で最も弱いものになると予測した5。このほか、太陽から届く波長 10.7 センチの電波の強さを調べたり、太陽の極近くの明るい点の数を調べたりといった「指標」を使った予測でも、次は弱い活動周期になることが予測されている。

このような「指標」を用いた予測方法のなかで、次回は強い活動周期になることを唯一予測しているのは、NASAマーシャル宇宙飛行センター(アラバマ州ハンツビル)の太陽物理学者David Hathaway とRobert Wilsonだ。彼らは 2004 年、太陽活動の強さは 2 周期前の黒点数と相関することに気づいた。この経験則を次の周期に応用すると、2012 年は活動が強いという予測になった $^6$ 。Dikpatiのモデルはこの予測と一致している。そして重要なのは、Dikpatiのモデル予測には物理的根拠が与えられているということだ。

物理学者たちはここ 10 年間で、太陽プラズマに巨大なコンベヤーベルトが存在することを発見した。このコンベヤーベルトの流れは時速 30~65 キロメートルで、両半球で赤道から極へと流れているらしい。黒点の活動が活発なのは、それが見えなくなるまでのおよそ数週間だが、それに付随する磁場の活動はすぐには消えない。この弱い磁場は流れによって運ばれ、太陽の表面下に沈む前に極に集まる。沈み込んだ磁場はその後、赤道へ向かって流れ戻るらしい<sup>7</sup>。

Dikpatiの研究では、1900年代にまでさかのぼる太陽黒点の観測データと、太陽の磁気ダイナモおよびコンベヤーベルトのコンピューターシミュレーションとを結びつける(図参照)。シミュレーションによると、コンベヤーベルトは古い黒点を押し流し、極でそれを表面下に沈める。そして深いところを流れる帰りの流れの間に、太陽の自転

が古い磁場を回復させ、新しい黒点と 新鮮な活動領域を作り出す。

これはあらゆるステップに物理学に基づいたコンピューターモデルを当てはめた唯一の予測であることから、太陽物理学者たちはその結果をまじめに受け止めている。「Dikpatiのモデルは物理学に基づいた確かな根拠のあるものであり、ほかの予測方法で簡単に反論できるものではない」と Hathaway は話す。

#### 20 年の記憶

Dikpatiの予測における重要な鍵は、太陽のコンベヤーベルトの速度にある。深いところを流れる帰りの流れの速度は測定できないが、モデルでは、その流れは表面の流れよりも遅く、時速わずか5キロメートルと見積もられた。それが正しければ、帰りの行程には20年かかることになる。「となると太陽は約20年間、その磁場の記憶を保持することになる」と Dikpati は話す。

つまりモデルによれば、太陽活動は直前の周期の磁場にだけでなく、もっと前の周期の磁場との相互作用にも影響されるというわけだ。これに対し、指標を用いた予測方法のほとんどは、直前の周期が次の周期の活動を直接的にスタートさせるものと仮定している。Svalgaard は Dikpati の結論には同意していないものの、「いろいろな予測がなされるのは科学の進展のためによいことだ」と話す。

太陽物理学者は今、この物理学に基づいたモデル予測が正しいのかどうか確かめることができる機会を心待ちにしている。そしてそれを確かめるのに、太陽活動が次のピークを迎える6年後まで待つ必要はなのかもしれない。というのも、どの予測方法も黒点の平均数だけを予測しているが、これまのの記録によれば、活動の活発な周期はいつも早いことがわかっている。つまり、活発な太陽周期を示す兆候は、今から3、4年以内には明らかになるはずだ。

「だれが正しいのか、母なる自然に教わるべきときです」と Svalgaard は話す。一方 Dikpati たちはモデルを改良し、活動の早い開始などの特徴を予測できるかどうか確かめたいと考えている。いずれにせよ、これからどんな太陽風が吹くのか、人工衛星の計画担当者から気候変動の懐疑論者まで、たくさんの人たちが今後しばらく太陽を見つめていくことになるだろう。



太陽監視衛星:NASAの双子衛星「STEREO」は、太陽を監視し、嵐が接近すると警報を出す。

Stuart Clark は、英国ハートフォードシャーを 拠点とするフリーランスライター。

- Tsurutani, B. T. et al. Geophys. Res. Lett. 32, L03S09 (2005).
- 2. Dikpati, M., de Toma, G. & Gilman, P. A. *Geophys. Res. Lett.* **33**. L05102 (2006).
- Svensmark, H. & Friis-Christensen, E. J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 59, 1225–1232 (1997).
- 4. Giles, J. Nature **436**, 897 (2005).
- Svalgaard, L., Cliver, E. W. & Kamide, Y. Geophys. Res. Lett. 32, L01104 (2005).
- Hathaway, D. H. & Wilson, R. M. Solar Phys. 224, 5-19 (2004).
- 7. Hathaway, D. H. *et al. Astrophys. J.* **589**, 665–670 (2003).

### Japanese spin-offs face struggle for survival

### 生き残りをかける日本の大学発ベンチャー企業

Nature Vol.441(280-281)/18 May 2006

大学の研究者による起業が花盛りだ。しかし、そうしたベンチャー企業は成功に不可欠な資金を確保できているのか。 冬野いち子が探る。

Xueliang Song(宋学良)が中国の 吉林省から 12 年前に来日したとき、 将来は大学か大企業で研究キャリア の本流に身を置くことを考えていた。しかし 2004 年、東京大学で電子工学分野の博士号を取得したあと、 Song は指導教官から「自分の研究を基盤に起業してみてはどうか」と打診を受けた。数日ほど考え、 Song はありきたりの研究キャリアより面白 そうだという結論に至った。「ただ大きな研究所で働くのではつまらなそうでした」と Song は話す。

先端フォトニクス株式会社を3月に設立したSongは、早くも光学技術の研究開発と経営を両立させるむずかしさを感じている。「研究からビジネスに足を踏み入れたとき、また外国に行ったような感じを受けました」とSongはいう。

日本では近年、自らの研究成果を基盤とした事業化に関心をもつ Song のような大学研究者の数が増えてきている。10年ほど続いた経済不況を打開する策の一環として、政府は大学・公的研究機関のビジネス活動に関する規制を緩和したり、資金支援を強化したりしてきた。

起業化支援の大きな旗振りが始まったのは2001年のことだった。 このとき経済産業省は、3年間で大学発の企業を1,000社に倍増させると いう目標を設定した。2004年3月の報告では、その時点までに1,100社が設立されたと発表され、現在、その数は1,300社近くにのぼるという。経済産業省は今年度、設立後間もないそうした企業を支援するため、研究、訓練、インフラの補助金として530億円の予算を組んでいる。

しかし専門家からは、こうした企業の多くが本当にやっていけるのかどうかを危ぶむ声も聞かれ始めた。 実際、存続に苦労している企業が多いことは政府関係者も認めている。 また、政府の目標達成を支援するため、健全なビジネスプランもないままに起業を推進してきた大学側を批判する声もある。そして、起業を支援する民間からの投資は盛り上がりをみせていないのが現状だ。

1月に発表された政府の調査報告書では、回答を得られた大学発ベンチャーのうち半数はいっさいの収入を得ておらず、株式を公開した企業は2002年以降で12社にとどまっていることが明らかにされた。日米両国のベンチャーキャピタルについての本を執筆した東京大学のRobert Kneller は、十分な資金を確保し、それなりの収入を得ることができる日本のベンチャー企業の数は、バイオ分野で約50社、その他の分野では20社未満と推測している。

Knellerをはじめとする専門家は、ベンチャーキャピタルが未成熟な国でベンチャー企業が成功を収めるのはまだ極めてむずかしいと話す。日本のベンチャーキャピタル業界によれば、昨年の国内投資総額は約2000億円。これに対し、米国は約2兆4000億円、欧州は約1兆4000億円である(欧州は入手可能な最新データである2004年の金額)。しかし、日本の実際の額はもっと少ないと考える向きもある。

東大TLO (東京大学の技術移転組織)の社長である山本貴史は、日本で活動するベンチャーキャピタルには中小企業を育てる能力のある投資家が不足していると話す。一因として、日本のベンチャーキャピタルは銀行などを融機関の子会社であることが多く、投資担当者も出向者であり、経験を積んでも2、3年で異動してしまうことが挙げられる。また、(米国のベンチャー向け株式市場である)ナスダック株式市場である)ナスダック株式市場に相当するマザーズが東京に開設されたのはようやく1999年になってのことだったが、新規株式公開が許される企業はまだ比較的少ない。

こうしたさまざまな要因のため、経営環境はベンチャー企業にとって厳しいものとなっている。しかも日本では、新規ビジネスの大口顧客となり得る大企業が既存の取引先からなかなか乗り



Xueliang Song (左上) は、日本でスピンオフ企業を経営している多くの大学研究者のひとりである。

換えようとしないために問題が悪化していると経済の専門家は話す。また日本では、公共部門も中小企業からの調達をあまり好まない。

大学からのスピンオフが増加しているものの「そのビジネス環境は非常に厳しい」と語るのは、筑波大学で科学技術政策を専門とする菊本虔だ。菊本が行ったある調査では、ベンチャー企業の3分の2は運転資金が3000万円に満たず、さらにその大半は研究者自身や知人から集めたものであることがわかった。そうした状況では企業の長続きは望めないと菊本はいう。

東京のベンチャーキャピタルである先端科学技術エンタープライズ (ASTEC) のパートナー、若林拓朗は「創業してから間もない、リスクの高い企業に投資したがる投資家は少ない」と語る。ASTEC は出資金 10 億円の投資ファンドを 2002 年に立ち上げ、これまで先端フォトニクスをはじめとするベンチャー 16 社に投資している。日本の大学には数々の有望なビジネスシーズが埋もれている

が、そういったものは大事に育てていく必要があると若林は考えている。「ビジネスチャンスは確かにある。でも、放っておくとあっという間につぶれてしまいます。」

新興企業の研究者は、まず十分な ビジネス教育を受ける必要があると いう。先端フォトニクスが一例だ。 同社は超高速でデータを伝送する光 学装置の開発に取り組む Song の研 究成果をビジネスに活かそうとして いる。米大手コンサルティング会社 であるマッキンゼーの経営コンサル タントを経て、現在 ASTEC のジェネ ラル・パートナーを務める中井弘亮 は、Song の光学デバイスは NEC の ような大企業が開発中の競合品にも 勝ると確信している。しかし、先端 フォトニクスに足しげく通うなかで 中井は、貸借対照表の作成法など基 本的なビジネス技能を Song に教え 込む必要があった。中井は現在、先 端フォトニクスに常勤の代表取締役 を置き、Song を研究に集中させよう と考えている。一方で Song は、自 分の着想を気軽に外部の人間に話さ ないなどのビジネスライクな振る舞いを学んでいるところだ。

ASTEC の支援を受ける同社ではこ のほど試作品を完成させたが、2010 年までに商品化にこぎつけたいとい う。ASTEC が支援する企業のなかに は、すでにビジネスの歩を進めてい るところもある。2001年に東京大学 からスピンオフし、がん治療用の抗 体薬の開発を目指しているペルセウ スプロテオミクス(以下ペルセウス 計)は、当初 ASTEC などのベンチャー キャピタルから6億円の出資を受け た。2004年に常勤の社長を置くま では、ASTEC の若林自らが黒子とし て経営にあたったという。今年2月 には同社株式の 22 パーセントを富士 フィルムが 10 億円で取得し、来年の 治験開始を見込む抗体を有する。ペ ルセウス社が受けた出資はこれまで に総額24億円にのぼる。

一方、政府は新興企業支援策としていくつかの手を打っている。経済産業省は全国から地理的「クラスター」12か所を選び出し、その各クラスターで大学のスピンオフビジネスを監督する一流の学識経験省所を指名した。経済産業省合開発機構(NEDO)は、産業技術総の育にで、大学や研究する若手研究者や研究コーとしている。活動資金を提供している。

しかし、こうした支援が広く薄くになりすぎだという反省点は政府関係者も承知しているようだ。「すべてを支援することはできません。大学発ベンチャー支援の第一ステージは終わりました。われわれは護送船団であるわけにはいきません。きちんとしたところを応援していくのが、今後の課題です。」と NEDO 研究開発推進部長の橋口昌道は話している。

### A bug-beating diode

### 細菌をやっつけるダイオード

Asif Khan

従来のどんなダイオードよりも波長の短い光を放射するダイオードは有害ではあるが、技術的に は非常に有望である。しかし、この期待が確実に実現されるためには、さらなる研究が必要である。

Nature Vol. 441 (299) / 18 May 2006

地球のオゾン層は、太陽光に含まれる波長の短い紫 外線(「UVC」領域)を完全にさえぎっている。そ のため、地球上の生物はこの紫外線に対する耐性を 発達させておらず、人工的に発生させた UVC 領域 の紫外線は細菌、酵母、ウイルス、カビやキノコな どの菌類の処理や駆除に役立つ手段となっている。 今のところ、水銀ランプ、キセノンランプ、重水素 ランプが主な UVC 領域の紫外線源だが、作動させ るには高電圧が必要でサイズが大きいため、水銀が 環境に悪影響を与えることとあいまって、消毒や空 気・水の浄化手段としても生物医学にも用いられて いない。Nature 5月18日号で、谷安たち<sup>1</sup>は窒化 アルミニウムをベースとした半導体発光ダイオード (LED) を用いて UVC 領域の紫外線を発生させたこ とを報告しているが、これは革命をもたらす可能性 を秘めている。この LED は、電圧の低い太陽電池 を電力源にできるからだ。

一般的に、LED は2つの異なるタイプの伝導性をもつ半導体の接合で構成されている。この2つとは電子伝導とホール伝導で、それぞれ負の電荷坦体と正の電荷坦体の運動に対応する。接合部で、電子とホールが再結合し、エネルギーが光の形で放射される。半導体の窒化アルミニウムインジウムガリウム (AlInGaN) を用いた効率の高い青緑色 LED は、1990 年代初期に初めて報告された<sup>2</sup>。その結果、赤、青、緑の3原色すべての小型低電圧光源が初めて手に入るようになり、照明産業とディスプレイ産業に数

十億ドルのマーケットがひらけたのである。その後続いて、UVA、UVB、UVC に分類されるさらに波長の短い紫外線を放射する LED が現れた <sup>3,4</sup> (図 1)。

青緑色 LED と紫外線 LED の双方を開発するうえでの最大の障害は、適切な光学特性をもつさまざまな窒化アルミニウムインジウムガリウム材料の伝導特性の操作がむずかしいことである。このような材料の伝導性のタイプと程度は、ドーピングとよばれるプロセスでシリコンやマグネシウムといった不純物を混合して制御できる。アルミニウムやガリウムを含まない窒化インジウムは可視光と紫外線を吸収し、一般的に良導体である。ドーピングによってその伝導性を操作することも比較的容易だ。同じことが窒化ガリウムにも当てはまるが、この化合物は紫外線のみを吸収し、可視光に対しては完全に透明である。

一般的に、半導体 LED が放射する光の波長は、吸収する光の波長とほぼ同じである。そして、合金中のアルミニウムの割合が多くなると、より波長の短い紫外線領域での透明度が低下する。したがって、窒化インジウムガリウムをベースとした LED が可視光を放射するのに対して、窒化アルミニウムガリウムや窒化アルミニウムをベースとした LED は、それぞれ太陽スペクトルの UVB 領域と UVC 領域の波長の紫外線を発生する。しかし残念ながら、アルミニウムの割合が多くなると、ドーピングのむずかしさも増す。何よりも窒化アルミニウムは絶縁体である。

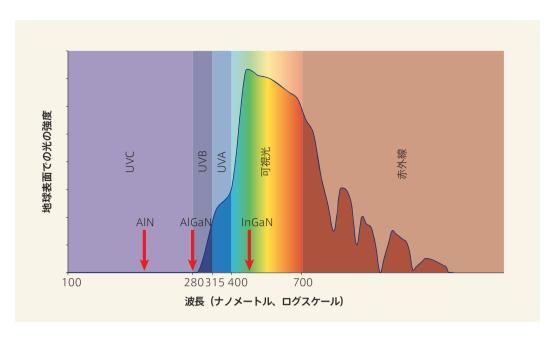


図 1 太陽光スペクトルと LED。青線は紫外線から可視光を経て赤外線に至る波長における、地球大気を通過する太陽光のおおよその強度を示す。UVC 領域の短い波長の光は大気中のオゾン層によって完全に吸収され、地球上の生物はその光に対する耐性を発達させなかった。それゆえ、UVC 領域の光を放射する小規模で低出力の光源は殺菌に利用できる。これまでの研究で、青色の光を放射する窒化インジウムガリウム発光ダイオード(LED) 2 と UVB 領域の波長の紫外線を放射する窒化アルミニウムガリウム LED 4 が得られた。しかし、これまで 1 窒化アルミニウムの伝導特性を制御することがむずかしかったため、UVC 領域の波長の LED は製造できなかった。

室化アルミニウムやアルミニウムの割合の多い窒化アルミニウムガリウムを導体に変えることがむずかしい理由はいくつかある。正負の電流キャリアを余分に生成するには多くの不純物原子を混合する必要があるが、高品質の結晶窒化アルミニウム層を成長させるために必要な高温条件で起こる熱振動効果は、混合プロセスを妨げるように働く。さらに、窒化アルミニウム層はサファイアなどの非窒化物材料の上に蒸着されるので、大量の欠陥が生じ、ドーピングを妨げる。混合されたドーパント種の数が多くなりすぎても欠陥が生成され、その結果として実際に伝導性を減少させる自己補償効果が生まれる。最後に、伝導特性に対するドーピング材料の効果は、製造工程の一部で使われる水素ガスのような別の物質の効果によって補償されることがある。

谷安たちは標準的な成長条件を変えて、これらの障害の克服に大きく貢献した<sup>1</sup>。彼らはドーパントの量を精密に制御して自己補償を防ぎ、アニーリング工程を用いて水素などの反応ガスによる補償効果を妨げた。その結果、正負双方の電流キャリアの十分な伝導性を窒化アルミニウムに与えることができた。

彼らは2つのタイプの伝導特性をもつ層を組み合わせて、波長210nmのUVC領域の光を放射するLEDを製造した。今のところ、この波長は電流注入型のLEDの中で最も短い。

このような UVC LED をデバイスに使用できるところまで改良するには、2つの分野での進展が必要である。第1に、効率を少なくとも100万倍向上させること、第2に、動作電圧を谷安たちが用いた25V¹よりもずっと低くすることである。第1の点を解決するには、窒化アルミニウム層の結晶の品位を大きく向上させる必要がある。第2の点については、室温での伝導性を1,000倍近く向上させるために、より効率的なドーピングが必要になる。これらの課題は両方ともむずかしい。UVC LED に対する期待を実現するには、さらに大胆で革新的な研究が必要になるだろう。

### Asif Khan、サウスカロライナ大学(米)

- 1. Taniyasu, Y., Kasu, M. & Makimoto, T. Nature 441, 325-328 (2006).
- 2. Nakamura, S. et al. Jpn J. Appl. Phys. **34**, L797–L799 (1995).
- 3. Kinoshita, A. et al. Appl. Phys. Lett. 77, 175-177 (2000).
- 4. Sun, W. et al. Jpn J. Appl. Phys. 43, L1419-L1421 (2004).

### 35 億年前のメタン生成菌をオーストラリアで発見

### 上野雄一郎

東京工業大学の上野雄一郎助手らは、西オーストラリアにある 35 億年前の地層の鉱物中に生物が作り出したメタンがあることを発見した。これは当時、すでにメタン生成菌が存在していたことを示し、これまでの記録を 7 億年も塗り替えるメタン生成菌の最古の証拠となった。この研究成果は Nature 3 月 23 日号で発表された。

#### 生物進化に時間軸を入れる

Nature Digest ── 今回の発見にはどんな意義があるのでしょうか? 上野 ── 生物進化の解明と初期の地球環境の解明という 2 つの意義があります。まず生物学的意義ですが、生物の系統樹は現存する生物の遺伝子解析をもとに描かれています。この手法では、どれが原始的な生物かはおおまかにわかりますが、いつ分岐が起きたのかまではわかりません。今回、35 億年前の地層からメタン生成菌の証拠を見つけました。これはメタン生成菌が属する古細菌と大腸菌などが属する真正細菌が、当時すでに分岐していたことを示します¹。つまり、生物の進化に時間軸を組み入れた意味があります。

ND — 生命の最も古い痕跡として、38 億年前の化石が見つかっていると聞いています。

上野 — 1996 年にグリーンランドで発見されました <sup>2-3</sup>。38 億年前の地層から採取した変成岩の中に炭状物質のグラファイトが入っていて、その炭素同位体\*1を分析したところ、生物由来の同位体組成だったのです。しかしこの状態では、それがどういう生物だったかはわかりません。私たちが知りたいのは「どの種類の生物が、いつごろ地球上に現れて、どのような場所に生息していたか」です。

**ND** — 初期の地球環境についてはどんなことがわかりましたか? **上野** — メタンは、二酸化炭素と同じく温室効果ガスです。大 気中に微量しか含まれていませんが、温室効果は二酸化炭素 の50倍もあります。いわゆる「暗い太陽のパラドックス<sup>\*2</sup>」は、 初期地球の大気組成が現在とはまったく異なり、現在よりも 温暖で液体の水が存在していたことを示しています。米国ペ

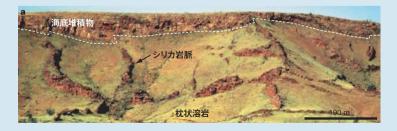


写真1: 西オーストラリア・ノースポール地域の35億年前の熱水性シリカ岩脈が地表に現れた現場の写真。点線より上の部分は当時の海底堆積物が堆積しており、堆積が起きた当時ここが海底面だった。その下は枕状溶岩でできている。海底に向かって熱水が通っていた当時の割れ目は現在鉱物で満たされ、シリカ岩脈とよばれる壁状の岩石となっている。

ンシルベニア大学のキャスティング博士たちは「もし、初期地球にメタン生成菌がいなかったなら、当時のメタン濃度は現在の1,000倍ほどだった」との計算結果を発表しました4。今回、メタン生成菌の証拠が見つかったことによって、地球を暖め、凍結から防ぐのにメタンが重要な役割を果たしたらしいことがわかってきました。

#### 「流体包有物」からメタンを取り出す

ND - メタン生成菌をどのようにして発見したのですか?

上野 — 西オーストラリアのピルバラに近いノースポール地域にある 35 億年前の地層には、海底に向かって熱水が通っていた割れ目を埋める形でシリカ岩脈が形成されています(写真 1 参照)。海底付近は 0℃程度の低温のため、海底下から熱水が上昇するにつれて水温がしだいに下がっていき、熱水に溶け込んでいた成分(シリカ、二酸化ケイ素)が結晶化したのです。その岩石を採取してきました。

**ND** — その中にメタン生成菌がいたのですか?

上野 — メタン生成菌そのものがいたわけではありません。たとえ鉱物の中にメタン生成菌がいたとしても、形だけを見て特定することは不可能です。メタン生成菌は古細菌に分類される、とても原始的でシンプルな生物体だからです。私たちは環境条件からメタン生成菌の存在を推測し、その生成物、つまりメタンそのものを特定しようとしました。結晶化してできたのは石英で、顕微鏡で水と気泡の「流体包有物」が見えました。気泡のほとんどは二酸化炭素でしたがが、メタンもごく微量含まれていました(写真2参照)。メタンには、メタン生成菌が作るもの、マグマからの放出ガスに含まれるもの、地層中にたまった生物死骸の有機物に熱が加えられて放出されるものなどがあります。同位体分析でそれが微生物由来であることを確かめました。

ND — 今回の研究の成功の秘訣はどこにあったのでしょうか? 上野 — 目のつけどころです。どの種類の生物が初期地球にいたかを特定するのは、実に困難な仕事です。従来の研究のように生物の細胞の形を研究するのではなく、生物活動によって生成された気体を岩石から取り出し、分析することで生物の種類を特定するという手法が成功を導きました。

また、流体包有物をこういった視点から分析した研究はこれ までありませんでした。もっと高温の地殻の火山活動を調べる



上野雄一郎(うえの・ゆういちろう)/東京工業大学地球史研究センター助手。理学博士。1974年、神奈川県生まれ。1997年、東京工業大学理学部卒業。2002年、同大学大学院地球惑星科学専攻博士課程終了。同年4月、東京大学総合文化研究科で日本学術振興会特別研究員、2004年12月から現職。

地球初期、特に太古代 (40 億~ 25 億年前) の生物活動の痕跡を地質記録から読み取り、生物活動が当時の表層環境にどのような影響を与え、かつ環境変動とともにどのように進化したかについての解明をめざす。そのため、炭素や硫黄などの安定同位体を用いた地球化学、原核生物化石の古生物学、および地質学という 3 つの独立な知見から研究を行っている。



写真2:石英にみられる流体包 有物。ほとんどが水だが、二酸 化炭素とごく微量のメタン(矢印) も含まれる。

のに使われてきたのです。さらに流体包有物はひとつひとつが 1ミクロンほどの大きさしかなく、そのほとんどが水で、メタ ン含量率は100万分の1にすぎません。その微量のメタンを 岩石から取り出し、分析する技術を独自に開発したことが今回 の成果につながったと思っています。

ND — どのような技術ですか?

上野 — まず、岩石から破砕法とよばれる方法でガスを取り出し、ガスクロマトグラフで水、二酸化炭素、メタンに分離します。岩石中のメタンの量は非常に微量なので、分析を行うためには大気中のメタン等、ほんのわずかな混入も許されません。そこで、まず岩石の洗浄法などを工夫して汚染なくメタンを岩石から取り出す方法を開発しました。さらに、メタンと二酸化炭素を別々に質量分析計で分析し、炭素の同位体である 12 C と 13 C の比率から、取り出したメタンが生物由来であることを確認しました。今、私が所属する研究室はこれまで大気や海水中に溶存している微量ガスの分析を行っており、岩石の研究をしたことはありませんでした。私の地質学の知識とこの研究室の微量分析技術を組み合わせたのです。

ND — もともと分析化学に興味があったのですか?

上野 ─ 私は以前、東京工業大学の地球惑星科学科で、初期地球の研究をしていましたが、昔の地球にどのような生物がいたかに興味があり、これまで7回、西オーストラリアの野外調査に参加しました。その際に採集した数多くの鉱物が東京工業大学に保管されています。これらのサンプルからどういった情報を取り出せるかに研究の軸足を移そうと、現在の分析化学の研究室へ移ってきました。

#### 全球凍結イベントの原因を突き止めたい

ND — 今後はどのような研究を行う予定ですか?

上野 ─ 23 億年前に初めての「全球凍結イベント\*3」があったといわれていますが、たいへん興味深いテーマです。なぜ23 億年前に地球がまるごと凍結してしまったのか。その理由として、このイベントの直前に酸素を作り出す生物(光合成

生物)が出現し、地球に酸素が満ちあふれるようになり、酸素とメタンが反応してメタン濃度が急激に減り、温室効果が少なくなったからという仮説があります。これを実証するためには、全球凍結イベント前後のメタン濃度を調べなければなりません。今回と同じく、流体包有物からメタンを取り出す技術を使って、研究しようと思っています。西オーストラリアのほか、南アフリカの古い地層も利用する予定です。

ND — 地球外生命体の研究にも、この手法は使えるのでしょうか? 上野 — この種類の研究は、最近日本でも始まりましたが、米 国では「アストロバイオロジー\*4」と称して以前から盛んに 行われています。今のところ、私たちは地球以外の天体についての研究はしていません。しかし、太古の地球は現在の地球とは異なる星といえます。大気組成、海のようす、生息している生物もまったく異なります。過去の地球を研究するなかで培われた手法は、地球外天体の研究にも十分応用できると考えています。将来を見据えて、今はまず地球の過去を研究しているというところです。

ND - ありがとうございました。

### 聞き手は三森八重子 (ジャーナリスト)。

- \* 1 炭素には原子量が 12 ( $^{12}$ C) と 13 ( $^{13}$ C) の安定同位体とがある。生物体は軽い  $^{12}$ C のほうを取り込みやすい性質があるため、メタンに含まれる炭素の同位体組成を調べることにより、それが生物由来かどうかわかる。
- \*2 数十億年前の太陽は現在の70~80%の明るさしかなかったため、当時の地球の大気組成が現在と同じであったなら、地球は完全に凍りついていたはずだ。ところが実際には、現在よりも暖かで液体の水も存在したと考えられている。この矛盾を「暗い太陽のパラドックス」とよぶ。
- \*3 地球全体が厚さ1キロメートル以上の厚い氷で覆われた状態になってしまうこと。46 億年前に地球が誕生して以来、約23 億年前と7~6億年前の2度起きたといわれている。
- \*4 宇宙との関連から生命の起源を探り、地球上での生命の起源と進化だけでなく、ほかの天体に生命が存在するかどうかなどについて、ゲノムレベルから銀河系のレベルまでで探求する新しい学問。
- 1. Ueno, Y. et al, Nature, 440, 516-518 (2006)
- 2. Mojzsis, S. J. et al. Nature, **384**, 55-59 (1996)
- 3. Rosing, M. T. Science, 283, 674-676 (1999)
- 4. Kasting J.F, Precambrian Research, 137, 119-129 (2005)



### **Editorial**

Nature 441, 667 (8 June 2006) | doi:10.1038/441667a; Published online 7 June 2006

### **Econophysicists matter**

http://www.nature.com/nature/journal/v441/n7094/full/441667a.html Economics and physics are two disciplines that, contrary to widespread perceptions, have significant common agendas. Shame, then, that the professionals don't do more to recognize the fact.



- 1. After hearing a talk on the application of physics to the social sciences, a physicist in a notoriously traditional department was heard to mutter that it was all very well but it wasn't 'real physics'. It was an article of faith to him that many-body theories in physics could not be applied to animate objects.
- 2. Now that it seems clear that bacteria, locusts and even road traffic undergo types of dynamic phase transition, this objection is hard to sustain. But the idea that physics can tell us something about a human system as complex as the economy that there exists a kind of econophysics seems harder to swallow.
- 3. Would-be econophysicists can therefore find themselves damned from both directions: physicists don't think of the field as physics, whereas economists don't recognize it as their discipline either. Acceptance by the economics community seems a particularly long way off: even fully fledged economists are ostracized by the mainstream if they do not embrace the tenets of 'neoclassical' economic theory, no matter how untenable its principles identical, utility-maximizing economic agents operating in an equilibrium market now seem.
- 4. The refusal of the economic mainstream to engage with econophysics is lamentable and makes it difficult for physicists to recognize and learn from their mistakes. But it is going to be a fact of life for some time to come. Nevertheless, there is now a body of respected economists who acknowledge the potential value of ideas and tools taken from other sciences, including physics, and who are receptive to the efforts of physicists.

- 5. As the News Feature on page 686 illustrates, this opportunity to build links with receptive economists should not be squandered by a lack of quality control in econophysics. Current standards in the field are extremely variable; there is sometimes a sense that physicists are content to find a vaguely plausible way of mapping some economic question onto a familiar physics-based model, to characterize its behaviour and plot a phase diagram, and leave the matter at that.
- 6. This is not particularly good physics; it is certainly poor social science; and it may prove irrelevant to the questions that really matter in understanding economic behaviour. Journals that are willing to publish econophysics must be more vigilant and thorough in their review procedures, and be willing to seek out sympathetically minded economists (who do exist) for advice.
- 7. But as some econophysicists argue, it will be hard to improve standards while their efforts are necessarily a sideline tolerated only as long as they also work on 'real' physics (for example, there is not a single chair of econophysics anywhere in the world). This encourages not only the perception but also the reality of a certain dilettantism in the field.
- 8. Economics cannot be something for physicists to dabble with. Indeed, the challenge it poses is in some ways even more daunting than that facing physicists who wish to work on biological problems at least in biology there is a core body of knowledge that, however complex, represents more or less a consensus view. In economics it seems likely that the fundamental principles have yet to be defined, whatever



neoclassical theorists say. That is why no single textbook will bring physicists up to speed, and why they have some serious homework to do. They need to be given time to do it.

9. Econophysics has yet to assemble the critical mass needed to be self-sustaining. If it is not to become extinct, it needs to be made a more attractive career option than it currently is.

#### Science key words

1. many-body theories: 多体論

多くの粒子からなり、個々の粒子が強く相互作用する系において、個々の粒子の運動の詳細を考えずに全体の性質を理解するという手法。物理学において相転移(下記参照)を理解するために広く用いられる。

2. phase transition: 相転移

相(物質の状態)がある点を境に突然別の相へと変わること。同じ物質が固体、液体、気体と姿を変えるのも代表的な相転移の1つだ。いろいろな科学分野で応用される概念で、文中の例では、ある細菌種は飢餓状態になると社会性をもつ集団を形成し(p.2、2番目の記事参照)、バッタはある密度に達すると単独行動をする定住的な孤独相から集団で飛び回る群生相へと変化する(p.6参照)。自動車が増えると、道路が渋滞するのもある意味、相転移といえるかもしれない。

- 3. **neoclassical economic theory**: 新古典派経済学説 競争原理の働く市場メカニズムを第一とし、自由な市場を提 唱する経済学の学説。しばしば長期的視野にたち、数学的に 緻密な理論を特徴とする。
- equilibrium market: 均衡市場
  需要と供給のつりあいがとれている状態の市場のこと。

#### **Topics**

#### 学際的研究分野と経済物理学

近年、科学分野の細分化・専門化が進み、ほんの少し分野が違うだけで話が通じなくなることも多くなった。その一方で、異なる分野間をつなぐ学際的研究も増えてきており、今回の主題である経済物理学はその最も極端なものといえるだろう。

この記事では経済物理学をめぐる厳しい状況についての記述が大部分を占めるが、社会科学である経済学と自然科学を結びつける試みは、何もこれが初めてではない。進化の見地から動物、ひいてはヒトの行動を分析する社会生物学では、ヒトの経済行動を研究対象とする研究者もいる。また神経学も、経済心理学やヒトの認知プロセスに関する研究を通じて、経済学と比較的かかわりが深い。

一方、物理学もその理論・手法が生物学に応用され、「生物物理学」という分野を確立するに至っている。しかし、物理学的理論が社会科学に応用されることはめったになく、自然界における普遍的法則を追究するこの学問と、人間主体のシステムを扱い、いまだ統一見解をもたない経済学との隔たりは確かに大きい。それがこの「経済物理学」という新分野の斬新さ・突飛さなのだが、この自然科学・社会科学の枠を超えた分野が認知されるにはまだ時間がかかりそうだ。

### Words and phrases

- リード **Shame that ...**:正式には「It's a shame that …」となり、「…なのは残念だ」という意味になる。「shame」というと「恥」と思いがちだが、この場合は「残念な」「遺憾な」を意味する。英国で多く使われる表現。
- it was (is) all very well but ...:「それは結構なこと だ」と皮肉たっぷりにほめておいて、but 以下で、話者 の本心を明らかにする表現。話者は「結構」だなんて、 これっぽっちも思っていない。
- article of faith: 信念や信条のこと。特に宗教上のもの を指すことが多い。
- 3. **would-be:**「~志望の」「見せかけの~」という意味。 この記事では、経済物理学者を志す者を指す。
- 3. **damned:**「非難される」という意味。「damn」はもともと「永遠の罰(地獄行き)を宣告される」という意味の神学用語だが、非難の意味が強いため、悪態をつくときもよく使われる単語である。
- fully fledged:鳥の羽が生えそろった状態のことで、人間にすると、「一人前の」とか「本格的な」といった意味になる。「full-fledged」ともいう。
- 3. **ostracize**:「追放する」「排斥する」「村八分にする」という意味。ギリシャ語の「ostrakon(陶器の破片)」が語源となっている。追放したい人の名前を陶片に書いて投票し、一定の票数を得た者を追放するという古代ギリシャの制度に由来する。
- 3. **tenet**: 学派、宗派、政党や個人が固守する原理、原則、 教義、主義などのこと。
- untenable:議論や行動などが「支持できない」、「維持できない」こと。前出の「tenet」ともにラテン語の「tenet」 (英訳「he holds」)から来ている。
- 4. **lamentable**:「嘆かわしい」「ひどい」「非難すべき」といった意味。「lament(嘆く)」+「able(できる)」と覚えればよい。
- 4. **fact of life:**「(避けがたい) 人生の現実」。ただし fact が複数形になった「the facts of life」には、別の意味があるので気をつけたい。
- for some time to come: 「for … to come」の…の部分に日、週、月、年やそれに準じたものが入り、「今後~の間」という意味になる。ここでは「some time」で、「今後しばらくの間」といった意味になる。
- 4. **receptive (to):**何かを受け入れる能力、あるいは性質 のあることをいう。
- 5. squander:もともとの「(金、物や時間を)浪費、散財する」という意味から、「無駄にする」「失う」といった意味ももつようになった。
- vigilant:寝ずに番をすることから、「注意する」「油断 しない」という意味で使われる。
- 7. **chair**: 教官が座って講義するための「椅子」のこと。転 じて、大学の教授職あるいは講座という意味になった。
- 7. dilettantism: 真剣な目的を持たず、生半可な態度で芸術や科学に手を染める者を軽蔑的に指す言葉。もとは「dilettante (イタリア語で「芸術愛好家」の意味)」の行動様式、方法、特徴や気質を指した。
- 8. dabble with: (道楽半分に)「手を出す」「首を突っ込む」「生 かじりする」という意味。このような態度の人を「dabbler」 といい、その同義語が「dilettante」(上記参照)である。
- 8. **bring ... up to speed**: くだけた文体の慣用句で、「… に予備知識を与える」「状況を把握させる」という意味。



Editorial 参考訳

Nature 441, 667 (8 June 2006) | doi: 10.1038/441667a; Published online 7 June 2006

### 経済物理学者の重要性

http://www.nature.com/nature/journal/v441/n7094/full/441667a.html 世間一般の認識に反するが、経済学と物理学という 2 つの研究分野には、共通の重要な課題がある。しかし、その事実を認識するために、専門家が積極的な行動をとらないのは残念なことだ。



- 1. 物理学を社会科学に応用するという話を聞いた後、慣習的なことで有名な学科である物理学の学者はつぶやいた。とても結構な話だが、それは「本物の物理学」ではない、と。物理学の多体論は命あるものには応用できない、というのが彼の信条だったのだ。
- 2. 細菌やバッタ、そして道路交通までが一種の動的相転移をするということが明らかにされている今、このような反論を認めることはむずかしくなっている。しかし人間が作り出したシステムの中でも複雑な経済について、その一部でも物理学によって説明できるとする考え方、すなわち経済物理学のようなものが存在するという考え方を受け入れることは、それ以上にむずかしそうだ。
- 3. そのため経済物理学者を志す者は、2つのどちらからも非難を受ける可能性がある。物理学者はこの分野を物理学とは考えておらず、経済学者もまた経済学とは認識していないのだ。特に経済学の研究者の間で認知されるのはかなり先のことになると思われる。似たような経済主体がそれぞれ効用の最大化を目指して1つの均衡市場で活動するなどという「新古典派」経済学説の原理が、今となってはどんなに筋の通らないものにみえても、これを受け入れないと、一人前の経済学者でさえ主流派から排斥されてしまうのである。
- 4. 主流派の経済学者が経済物理学とのかかわりを拒んでいるのは嘆かわしいことである。それによって、物理学者が経済物理学を認知することも、認知しないという誤りから学ぶこともむずかしくなる。しかし当分の間は、これは動かしがたい現実となるだろう。一方で、高い評価を受けている一部の経済学者が、物理学を含むその他の科学分野に由来する考え方や研究手段に潜在的価値を認め、物理学者の研究成果を受容する姿勢をみせている。
- 5. News Feature (Nature 2006 年 6 月 8 日号 p.686) で も示されているように、経済物理学で品質管理が行われ ていないからといって、受容性のある経済学者との関係を 構築するチャンスを逃す手はない。現在の経済物理学の

- 水準には極めて大きなばらつきがある。物理学者は、何らかの経済上の問題をよく知られた物理学ベースのモデルに当てはめ、その挙動の特徴を解明し状態図を描く、表面上もっともらしい方法を見つけるだけで満足し、それで終わりとしている、と感じられることがときどきある。
- 6. これはあまり質の高い物理学とはいいがたく、社会科学としても確かに質が低い。これでは、経済活動を理解するために本当に重要な問題点を解明するうえで不適切とされるかもしれない。経済物理学の論文を掲載しようという専門誌には、通常以上に徹底した査読過程でさらなる注意を払い、経済物理学に共感する経済学者(実際に存在する)を見つけ出し、その助言を求める意思がなければならない。
- 7. しかし一部の経済物理学者が主張するように、経済物理学研究が「真の」物理学研究を行う限りにおいて許容される「副業」とならざるを得ない状況では、この分野の水準を引き上げるのはむずかしいだろう。(たとえば経済物理学講座をもつ大学は世界に1つもない。)このことは、経済物理学が生かじりの知識による素人芸だという認識のみか、それが現実となることも助長してしまう。
- 8. 経済学は、物理学者が生かじりできるような研究分野ではない。実際、経済学に取り組む際に直面する課題は、生物学的問題に取り組もうとする物理学者が直面する課題よりもある意味で手ごわい。生物学であれば、少なくとも一連の中核的知識があり、それがいかに複雑なものであっても、おおよそ通説となっている。経済学の場合には、新古典派の学者の主張が何であれ、いまだに基本原則が定まっていない可能性が高い。そのため、簡単に予備知識がつけられるような教科書がなく、物理学者は相当な下調べをしなくてはならない。経済物理学者にはそのために時間が必要なのだ。
- 9. 経済物理学は、その自立に必要な臨界質量に達していない。経済物理学を消滅させないためには、今よりも魅力あるキャリアの選択肢としていく必要がある。



プロジェクト評価会議、運営評価会議、 成果発表会、一般公開セミナーほか

目的に合わせた形で納品します!

録音データ(カセットテープ、音声データなど)をお送りいただくだけで、 そのまま印刷やWEB掲載が可能なクオリティにて納品いたします。 納品は全文議事録作成だけでなく、高度な技術と会議内容に対する 深い理解が必要な要約文の作成にも対応します。 また、インタビューなどのテープ起こしも承ります。

### ●議事録作成実績

- 産業技術総合研究所 第4回運営諮問会議
- · 平成17年度第2回国際計量研究連絡委員会
- 平成16年度文部科学省独立行政法人評価委員会
- 平成17年度文部科学省独立行政法人評価委員会
- 公開セミナー「外来植物のリスクを調べて、その蔓延を防止する」
- ・洪水被害軽減国際ワークショップ
- ・リスクマネジメントセンター設立記念式典
- ・第4回地球研フォーラム(総合地球環境学研究所)

<b>通常納期価格</b> (1時間あたり)	分 野	
	ビジネス一般	科学技術専門
日本語(全文または要約)	29,400円	42,000円
英 語(全文または要約)	88,200円	115,500円

※録音システムレンタルおよび録音作業も承ります。(料金別途)

※通常納期目安: 1時間程度=4営業日

※詳しい内容については、別途お問い合わせください。(特急料金あり)

お見積り・お問い合わせはこちらへ



つくば初のプライバシーマーク認定企業

R<sub>&</sub>D 研究支援サポート企業

株式アイキューブつくば



www.icube-t.co.jp

