

nature DIGEST

日本語編集版

JANUARY 2006

VOL.03, NO.1

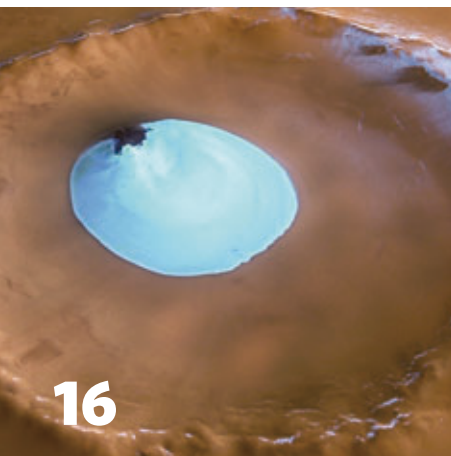
1

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

RNAが開く

ゲノムの

新たな扉



16



26



28

© 坂本昇久

nature DIGEST

01

volume 3 no.01
January
www.naturejpn.com/digest

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

JAPAN NEWS FEATURE

RNAが開く、ゲノムの新たな扉

表紙：月本佳代美

HIGHLIGHTS

02 vol. 438 no. 7067, 7068, 7069, 7070

EDITORIAL

04 データを共有するという文化

NEWS@NATURE.COM

05 マラリアのほとんどは「一部の不運な人々」が感染か

NEWS FEATURE

06 検索エンジンを使いこなせ

Jim Giles

09 ヒマラヤが解けている

David Cyranoski

JAPAN NEWS FEATURE

12 RNAが開く、ゲノムの新たな扉

西村尚子

NEWS

16 2005 GALLERY: 科学に眼福あり

NEWS & VIEWS

19 ホイヘンスでタイタンの新たな顔が明らかに

Tobias Owen

BUSINESS NEWS

22 中国における知的財産権

David Cyranoski

JAPANESE AUTHOR

24 半導体の精密な製造技術を健康医療分野にも
応用したい——品田賢宏

小島あゆみ

英語でNATURE

26 Beat Alzheimer's with exercise

運動すればアルツハイマー病が防げる

NATURE GALLERY

28 極北の夜空を彩るオーロラ

坂本昇久

発行人：デービッド・スウィンバンク
編集：北原逸美、セラ・ハリス
デザイン／制作：村上武
広告：浅見りの子
マーケティング：吉原聖豪

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

©2006 NPG Nature Asia-Pacific

光に反応する大腸菌で作ったフィルム E. coli sees the light

細菌を材料とした「生きた写真用フィルム」が作り出された。このシステムは細菌の平らなマットで、細菌細胞は光が当たっていない時だけ色素を生産するようにされており、生きた細菌によって高解像度の白黒画像を表すことができる。

細菌細胞が極めて小さいために、このフィルムではほぼ 2.5 cm² 当たり最大 100 メガピクセルという驚異的な解像度が得られた、とこのシステムを開発した C Voigt たちは述べている。彼らは、ラン藻と呼ばれる光合成を行う微生物の光に反応する遺伝子を取り出し、遺伝子工学的手法でこれを大腸菌の細胞膜に導入してフィルムを作った。

この大腸菌には、黒色の色素を生産する *lacZ* と呼ばれる遺伝子も組み込まれている。この遺伝子は光に反応する遺伝子と連結されていて、光にさらされると色素生産が停止するようになっている。こうして白黒画像が細菌マットの表面に「刷り出される」。Voigt たちは、この技術は細菌が遺伝子発現を介してシグナルを交換する機構の研究にも使えると述べている。

24 November 2005 Vol. 438/Issue 7067
brief communications p.441 参照

合成生物学：人工的に作る生命体

SYNTHETIC BIOLOGY:

Life is what we make it

「合成生物学」は急速に成長しつつある分野であり、今週号ではその発展について考察する。D Sprinzak と M B Elowitz は、生物学では合成生物学は天然に存在するシステムのモデルの検証に用いられていると論じている。D Endy は工学分野での合成生物学の扱いに関して考察し、遺伝子工学やバイオテクノロジーといった技術の延長上にあるものと捉えている。合成生物学でどんなことができるのか、その例は MIT で開かれた第 1 回国際大学対抗遺伝子工学技術応用機械コンペティション (iGEM) の展示で明らかになった。合成生物学には大きな将来性があるが、リスクもまた存在する。Commentary では G Church が、合成生物学分野の研究者たちは、核物理学や遺伝学が犯した過ちに学び、今回は一般大衆の懸念を払拭するような安全策をすぐに講じ始めるべきだと主張している。表紙



は『合成生物学の冒険 (Adventures in Synthetic Biology)』の一部で、このコミックは Nature ウェブサイト [http://www.nature.com/nature/comics/syntheticbiologycomic] で閲覧できる。

24 November 2005 Vol. 438/Issue 7067
review articles p.443, 449, news features p.417, commentary p. 423 参照

いかにして「猫」をコヒーレントに保つか How to keep a cat coherent

物理学者たちが、いわゆるシュレーディンガーの猫の超小型版を作った。シュレーディンガーの猫とは、量子力学の逆説的な法則によって、同時に生きているとも死んでいるとも見なせる有名な猫だ。今回のポイントは、「猫」がたった 6 個の原子でできている点である。

量子系は一度に 2 つ以上の状態として、より正確に言えば状態のいわば「重ね合わせ」として存在できる。量子物理学の父の 1 人であるオーストリア人の物理学者、E・シュレーディンガーは、ある量子系が特定の 1 つの状態をとった場合にこの猫が銃で撃たれるという状況を作り上げ、この考えのむずかしさを説明した。しかし量子力学で考えるようにこの系がいくつかの状態の重ね合わせであれば、銃の引き金は引かれたかもしれないし、引かれなかったかもしれない。つまり、この猫は生きているとも死んでいるとも言える。

現在、こういう状況を作り出すのは事実上不可能と考えられている。それは、自らの運命を量子現象にゆだねる猫のような多数の粒子からできた物体は、その周りの環境と相互作用するので、重ね合わせを混ぜこぜにする、言い換えれば「崩壊させて」しまい、その結果明確な巨視的な結果が生まれるからである。これがデコヒーレンスと呼ばれるものである。

デコヒーレンスは、わずかに握りの粒子の重ね合わせの場合ですら避けるのは非常にむずかしい。そして、シュレーディンガーの「猫状態」を生じるように系を制御するのは特にむずかしい。それは、こうした状況が猫の「生きている」状態と「死んだ」状態を反映している、つまり 2 つの最大限に異なる量子状態の重ね合わせだからである。しかし、今週号で D Leibfried たちは、電磁場中にトラップした最大 6 個の金属ベリリウム原子の「猫状態」を生成したと報告している。

また H Häffner たちも今週号に、最大 8 個のトラップされたイオンからなる上記と近い状態（いわゆる、「W」状態）を形成して、似たような量子「均衡作用」を実現したと報告している。これらの状態は特に安定で、いくつか粒子を取り除いても崩壊しない。こう

した状態は「オンデマンド」で生成され、より多数の粒子でも実現可能と思われることから、この技術によって大規模な量子コンピューターを構築する道が開かれるかもしれない。

1 December 2005 Vol. 438/Issue 7068
letters p.639, 643 参照

膜の構造：レンズのタンパク質の構造から明らかになった脂質二重層の内部

MEMBRANE ORGANIZATION:

Lens protein structure reveals inner secrets of a lipid bilayer

アクアポリン-0 (AQP0) は哺乳動物の目のレンズにある繊維細胞の膜で最も豊富に見られるタンパク質であり、水を通すチャネルとして、また細胞接合部の接着分子として働いている。膜中で AQP0 を取り囲んでいる脂質と AQP0 が共存しているときの構造（表紙）が、電子顕微鏡により水 1 分子を識別できるほどの高分解能で決定された。この構造は、



膜タンパク質が脂質二重層に埋め込まれているようすを、初めて間近に見せてくれる。レンズ繊維細胞間に接合部が形成されるときには、AQP0 との相互作用で部分的に固定された会合脂質が格子接触の仲立ちをする。AQP0 の変異は白内障を引き起こすことが知られているが、これらの変異は、AQP0 と脂質の相互作用を妨害し、AQP0 の二重層への組み込みを阻むらしい。

1 December 2005 Vol. 438/Issue 7068
articles p. 633, N&V p.569 参照。

明らかになったタイタンの姿

New views of Titan

ホイヘンス突入機が土星の衛星タイタンに着陸して、この巨大衛星の大気と地表についての初の直接観測データが送られてきた。今週号の 7 編の論文には、気候システムを持ち地質活動も起こっているという原始地球に似た世界が描き出されている。

G Israël たちは、タイタンの雲を形成するエアロゾルに、炭素と窒素を含む複雑な有機物でできた固体の核があると報告している。これらの化合物は、メタンを豊富に含むタイタンの大気の光化学スモッグ中で形成され、最終的には降雨と大気循環によって地表に運ばれる。

H Niemann たちは、大気ガス中のアルゴン、窒素、炭素の原子の同位体存在量を測定した結果、タイタンのメタンが生物活動に由

※「今週号」とは当該号を示します。

来すると考える根拠はないと結論している。しかしメタンは絶え間なく供給されている。これはおそらく地質学的活動によって、タイタン内部にある大規模な炭素の貯蔵場所から放出されているのだろう。またこの研究チームによると、大気中の窒素はもともと、アンモニアを含む氷の微惑星によって運ばれてきたもので、このアンモニアが地球で起こるように分解されて、最後に窒素となったらしい。

F Ferri たちは、タイタンの大気最上層から地表までの温度と圧力の厳密な測定を行い、地表はマイナス 179℃という極寒さであることを明らかにした。そして、大気が複数の層にはっきりと分かれていることや、稲妻が発生している証拠までもを発見した。M Bird たちは、タイタンの風が平均すると自転と同じ方向に吹いていて、地表面の近くでは非常に弱く、歩く速度と同程度であることを発見した。

M Tomasko たちは、ホイヘンスの降下中に観測された干上がった河床と流水路について論じ、液体メタンが雨あるいは超低温火山からの噴出物として降り、時折地表一杯に溢れ流れることを立証している。ホイヘンスの着地点は、岩石や小石と見られるものが散在しているが、地霧を発生するほど気体メタンが多くはない。J Zarnecki たちは、ホイヘンスの着地点が、氷の粒で覆われた比較的平坦な地表で、湿った粘土や砂と同じかたさの場所であることを発見した。温度の高い探査機が着地したときには、この地表からメタンが噴出した。

そして O Witasse たちは、ホイヘンスの降下と着地を概観・検討している。「タイタンについて調べるべきことは、ホイヘンスで得られた豊富なデータを解析した後も、まだたくさん残っているだろう」と、T Owen は News and Views で語っている。

8 December 2005 Vol. 438/Issue 7069
articles p.758, 765, 779, 785, letters p.792, 796, 800, N&V p.756 参照

ドーパミンがなくても起こる喜び

Pleasure ensues without dopamine

脳が喜びを感じるのに、シグナル伝達分子ドーパミンは必要ないという可能性が示唆された。これは意外な発見で、これまでの研究によれば、ドーパミンの放出は、食物や性交、モルヒネのような習慣性薬物といった快感を与える刺激と関連があるとされていた。

T Hnasko たちはドーパミン欠損マウスに特定の環境でモルヒネを与え、このマウスがその場所にどのくらいの頻度で戻るか調べた。これは、薬物から動物がどの程度の快感

を得るかを測定するために通常使われている方法である。実験の結果、このマウスはドーパミン合成能力がないにもかかわらず、モルヒネを投与された場所で過ごす時間が明らかに長かった。著者たちは、今回の結果はドーパミンと快感についてのこれまでの見方を変えることになるだろうと述べている。

8 December 2005 Vol. 438/Issue 7069
letters p.854 参照

イヌゲノム解説

THE DOG GENOME

遺伝学的には、イエイヌのゲノムは地球上の 5,500 種の哺乳類の中で、最も興味深いものといえよう。イヌの系統間で顕著な行動的および身体的多様性は、それらの形質に対して比較的短期間に人間が行った徹底的な選択によって作り出されたものであるから、イヌゲノムはゲノムの進化と構成、また疾患の素因を解明するために重要な手がかりを含んでいると考えられる。今週号では、Lindblad-Toh たちが、イヌゲノム（ターシャという名の雌ボクサー犬のゲノム）の高品質概要配列を公表し、また系統間のいくつかの遺伝的差異について略述している。イヌゲノムとヒトやげっ歯類のそれとの比較解析は、遺伝子やゲノムの進化についての全体的な展望を与えてくれる。

今週号では、Lindblad-Toh たちが、イヌゲノム（ターシャという名の雌ボクサー犬のゲノム）の高品質概要配列を公表し、また系統間のいくつかの遺伝的差異について略述している。イヌゲノムとヒトやげっ歯類のそれとの比較解析は、遺伝子やゲノムの進化についての全体的な展望を与えてくれる。

8 December 2005 Vol. 438/Issue 7069
articles p.803, N&V p.745 参照

かき混ぜても元に戻せる液体

Unstirring stuff

コーヒーにクリームを入れてかき混ぜてしまったら、もう元に戻すことはできない。しかし一部の流体混合過程は、反対方向にかき混ぜることによって逆戻りさせることができる。今週号には、この可逆的な挙動を支配する鍵となる諸要因についての報告が掲載されている。

D Pine たちは、2 つの同心円筒の間に閉じ込められた粘性流体に懸濁させた微小高分子ビーズの動きを調べた。この円筒は、2.5 ミリメートルだけ離れるようにしてあり、互いに相対的に回転できる。低濃度のビーズを少し攪拌した場合、混合は可逆的となり得るのでビーズは最初の位置に戻ると Pine たちは実験に基づいて予測している。ビーズが高濃度、もしくはもっと長く攪拌した場合には、混合は不可逆的になる。

この不可逆的な挙動の出現は個々のビーズ間の衝突に起因する、と Pine たちは述べている。もし、攪拌中に粒子が互いに衝突しなければ、混合過程は逆戻りさせることができる。しかし、それぞれのビーズが 1 回以上衝突すれば混合は不可逆的となる。

T Shinbrot は「これらの結果は、薬剤懸濁液の製法をはじめとする多くの実用上の問題を解明する」と News and Views で述べており、また混合プロセスは実験室レベルから生産プラントへの規模拡大が困難だが、これは混合の際の挙動変化が予測できないからだと説明している。懸濁粒子間の衝突の影響が解明されれば、この問題の新たな解決法が浮上するかもしれない。

15 December 2005 Vol. 438/Issue 7070
letters p.997, N&V p.922 参照

石に刻まれた歴史：アルプス以北の人類活動開始は 70 万年前

WRITTEN IN STONE: Human activity north of the Alps as early as 700,000 years ago

英国の東アングリア地方で出土した石器群の年代が約 70 万年前とわかり、北ヨーロッパの人類活動を示すものとして、従来よりも約 20 万年さかのぼる最古の記録となった。温暖な南ヨーロッパには 75 万年前に人類が存在していたが、北ヨーロッパで見つかった、ほぼ確実に最古とされる人工遺物はそれよりも年代がずっと新しかったため、人類は 50 万年前までアルプス山脈より北に進出できなかったと考えられていた。しかし、英国ローストフトに近いペイクフィールドで見つかったフリント石器群によって、ブリテン島および北ヨーロッパ地域全体における人類の活動開始年代は、南ヨーロッパの場合と同じくらい古い年代までさかのぼることになる。これらの石器は有名なクロマー森林層から出土したもので、この層では 100 年以上前から氷河時代の化石が見つかる。しかし今回の発見が注目に値する点は、表紙にあるスクレイパーなど 32 個の加工フリント群が、明確に年代判定のできる層序構造の中で発見されたことである。

ブリテン島および北ヨーロッパ地域全体における人類の活動開始年代は、南ヨーロッパの場合と同じくらい古い年代までさかのぼることになる。これらの石器は有名なクロマー森林層から出土したもので、この層では 100 年以上前から氷河時代の化石が見つかる。しかし今回の発見が注目に値する点は、表紙にあるスクレイパーなど 32 個の加工フリント群が、明確に年代判定のできる層序構造の中で発見されたことである。

15 December 2005 Vol. 438/Issue 7070
letters p.1008, N&V p.921 参照



データを共有するという文化

Let data speak to data

Nature Vol.438(531)/1 December 2005



いまやウェブツールを使うことで、論文の発表と並行してデータの共有や非公式の議論ができるようになった。しかし、そのメリットを十分に享受するために、研究者たちは文化を共有し、データベースをめぐる見通しを再考しなければならない。

自分の生データをアップロードして他人と共有し、自分のブログのインパクトファクターを高める道に進むか、それとも研究活動を断念するか。そのいずれかの選択を迫られる時代はまだ到来していないが、ブログのような個人的な情報発信ツールから電子実験ノートにいたるさまざまなウェブ技術が、ウェブの性格を、大型図書館のようなものからユーザー主導型の共同作業場を提供するものへと様変わりさせつつある。

この動きは、やがて数多くの研究分野に抜本の変革をもたらすことになるだろう。バイオインフォマティクスや高エネルギー物理学などの分野では、すでにこのような変革が起きている。いまから 10 年前、たとえば天文学の分野では、それぞれの研究グループが独自の観測データを保有し、その研究成果を個別に発表していた。それが今では、大規模なデータセットを中心にして研究が進み、データはコード化されて、学界全体が共有して利用できるようになっている。だが、より小規模で多様な研究者集団が互いにデータを共有しようとするには、データのタイプとフォーマットがきわめて多いためむずかしい課題が残る。

この現状を変えうる重要な技術変革が、集中型データベースから「ウェブサービス」への移行だ。ウェブサービスとは、データとソフトウェアへのアクセスを簡素化する公開インターフェースのことである（稼動中のウェブサービスの一例として、www.ebi.ac.uk/xembl/index.html）。こうしたインターフェースができたことで、最近まで熟練したプログラマーが扱ってきた領分であるデータ処理と解析も、プログラミングの基礎知識をもつだけで自動化できるようになった。

コンピュータで解説、操作でき、データベース間で「対話」ができるようなフォーマットによって、さまざまな種類のデータが保存されるようになり、その数はますます増えている。これによってユーザーは、複数のソースから得たデータを抽出、解釈する技術を利用し、まったく新しいデータ製品やサービスを作り出せるようになった。

たとえば、生物多様性の研究では、集中型の巨大データベースを構築するのではなく、必要なデータが収められている複数の既存のデータベースからデータを取得し、特定の種に関連するすべてのデータ（分類、遺伝子配列、地理的分布など）をまとめあげるといったことが考えられる。データベースは個人や研究室の研究プロジェクトの成果であることが多い

め、不安定な資金提供や、人材や研究室が新分野へ移ることによる影響を受けやすいという問題があるが、データを分散化すれば、そうした問題の解決にも役立つ。

研究分野に特化したデータベースが重要な役割を果たすことに疑いの余地はないが、研究者は、将来的なデータの維持管理が保証され、だれもが容易に利用できる大規模な総合的データ保管についても考える必要がある。それが理想論だと思うなら、インターネットアーカイブ (Internet Archive) とクリエイティブ・コモンズ (Creative Commons) によって創設された「OurMedia」というサービスを考えてみるとよい。これは、どのようなデジタル著作物でも（ホームビデオや休日写真でさえ）無料で保存し、データの共有を永続的に行うサービスだ。2005 年 11 月には、Google 社がグーグルベース (Google Base) を立ち上げた。これは、Google の巨大なプラットフォームに何でもアップロードできるようにしたサービスである。

このようなサービスの登場により、公開データについての新たな考え方も必要になっている。ウェブサービスは、コンピュータがリアルタイムで自由にデータにアクセスできることを前提としている。GenBank や数多くの大型データベースがデータへの無制約のアクセスを保証する反面、数多くの研究機関で書類によるデータ使用の許可手続きが存続しており、ウェブサービスによるデータ利用の妨げとなっている。

収集に莫大な投資を要したデータについては、論文発表までの間は、関係する研究者がアクセス権を独占するとしてもその正当性が認められるかもしれない。しかし、秘密にしておく必要のない膨大なデータが存在するのもまた事実である。クリエイティブ・コモンズのライセンス (<http://creativecommons.org/license> 参照) によって、データの再利用に関する権利内容と著作権表示を規定したうえで、コンピュータによるアクセスを妨げることなくデータを公開する方法もあるのだが、ほとんどの組織はそれを知らないようだ。

ウェブサービスが研究者に力を与えていくと考えられるなかで、このようなビジョンの達成にとって最大の障害は文化的な要素になるだろう。研究者は、今後も絶えず競争にさらされる。しかし、現代の研究者が世界にひろがる学界に対して貢献できることの幅をひろげる、データを共有する者にとって意味のある著作権表示方法の開発が非常に重要なのだ。

マラリアのほとんどは「一部の不運な人々」が感染か

Most malaria affects 'unlucky few'

体臭や居住地によって、マラリアにかかりやすい人とそうでない人がいるらしい。

doi:10.1038/news051121-7/23 November 2005

Michael Hopkin

サハラ砂漠以南のアフリカで収集された健康状態に関するデータの分析結果によれば、集団の中でのマラリア感染例は、大部分が比較的少数の人々に集中しているという。こうした感染リスクの高い人々を特定することができれば、公衆衛生政策にかかる資源をより有効に活用できるのではないかと今回の研究を行った研究者は語っている。このように報告したのは、米国立衛生研究所（メリーランド州ベセスダ）のDavid Smithをリーダーとする研究グループだ。地域ごとに調べたところ、それぞれの人口のわずか20%がマラリア感染例の80%を占めていた。その「一部の人々」の特徴を明らかにすることが、次の研究課題となる。

マラリアに感染しやすい人がいることについては、明白な理由が挙げられる。たとえば、蚊帳が買えないほどの貧しい暮らしや、蚊が繁殖しやすいよどんだ池のそばに住んでいることなどが考えられるとSmithはいう。このほかにも、息や汗、汚れた衣服から発生する化学物質にも原因があるかもしれないが、この点は解明が進んでいない。

「『私は蚊にさされやすい』という人がよくいるが、蚊が人をさすパターンを真剣に調べる価値があるとわかってもらえると思う」とSmithは話す。

Smithの解析では、アフリカの90を超える子どもの集団におけるマラリア症例に関する既存のデータを使い、その個人差の程度が明らかにされた。Natureに発表されたこの解析結果¹は、マラリアの撲滅活動に直接役立つかもしれないとSmithは主張する。「蚊にさされやすい人がわかれば、防止対策を集中的に行えるからだ」。



蚊帳を使えば、マラリア感染率の高い地域での感染を減らすことができる。

多くの人々を救うには

現在、年間3億人超がマラリアに感染していて、そのほとんどがサハラ砂漠以南のアフリカに集中している。マラリアに感染するリスクのある人々すべてに十分な薬剤、ワクチン、蚊帳を配ることは困難、あるいは不可能であることがすでに判明している。

最もマラリアにかかりやすい人を特定できれば、必要なところに資源を集中させるのに役立つとSmithはいう。これに対しては、各集団の中でマラリアの感染リスクが最も高い人々を特定するのではなく、実際にマラリアに感染している人々に医療活動を集中させることが最善の策だと主張する関係者もいる。

Smithの研究グループが発見したパターンは都市部で役立つかもしれない、と世界保健機関(WHO)のロールバック・マラリア部に所属するコーディネーター Charles Delacolletteは考えている。20%のハイリスク集団は、既知

の蚊の繁殖地域に近い低所得者居住地域の住民である可能性が高いのではないかとのことだ。

ところが、辺ぴな農村部では、それぞれの村落でマラリア感染リスクの最も高い20%を特定するのはもとより、医療物資をどうやって届けるのかが主な問題となっている。「感染リスクが最も高いのは、保健医療を受けられない人々。ここに大きな問題がある」とDelacolletteは話す。

Smithは、効果が高いマラリア予防策はコストも高いと反論し、だからこそ、それを最も必要とする人々を特定することが、マラリアに対する公衆衛生上の全体的な負担を減らすうえで重要なのだと主張する。「ハイリスクな人々を正しく特定できれば、つまりはすべての人々を守ることができるのだ」。

1. Smith D.L., Dushoff J., Snow R.W. & Hay I. Nature, **438**, 492-495 (2005).

Start your engines

検索エンジンを使いこなせ

Nature Vol.438(554-555)/1 December 2005

C. DARKIN

Google 社が新たな検索サービスを立ち上げた。今回は科学者向けだ。この新しい検索エンジンは、利用者の望みどおりスムーズに動くのか。Jim Giles が検討した。

1980年代半ば、インドの大学生だった Anurag Acharya は、欲しい論文を探し出せず、科学者に手紙を出さざるをえないことがあったという。穏やかな口ぶりで話すコンピュータ技術者の Acharya は、そのころを思い出して笑う。現在 Google 社で検索ツールを開発する彼は、それをインド人学生からイラン人教授にいたる、あらゆる人が一番に使うツールに仕立てたいと考えている。Acharya は「言語や分野を問わず、あらゆる学術情報を得るための定番にしたい」と話す。そして、そのような野心については、率直に「言うは易く、行は難しだ」と認める。

単発の学術論文を探す人たちにとって、グーグル・スカラー (Google Scholar、以下スカラー) は理想的だ。

無料でアクセスでき、使い勝手も本体の Google 検索エンジンと変わらない (コラム「検索の裏話」を参照)。しかし、すでに所属する大学機関などで文献情報源が購入されているような場合、そうした学者を、どうすればそれに乗り換えさせることができるだろうか。科学者の多くは論文を探すとき、米国立衛生研究所の PubMed や NASA の宇宙物理学データシステムをはじめとする特定分野のデータベースなど、使い慣れた手段を利用しているものだ。

2005 年 11 月の立ち上げ以来、Acharya のスカラーは評価が割れた。この検索エンジンの進歩を追跡するブログを立ち上げた図書館職員までいる。詳細な調査は行われていないが、教職員や学生がこの検索エンジンを使うよ

うになってきたと話す図書館職員は多く、スカラーがほかのすでに確立されている高価な検索ツールに取ってかわるのではないかとみる者もある。学術出版社のデータからも、スカラー利用者の急増がうかがわれる。Nature のウェブサイトも、学際的な科学検索エンジンとしてはスカラーからやってきたアクセスが最も多くなっている。

マックス・プランク神経生物学研究所 (ドイツ・マーティンスリッド) の神経科学者 Thomas Mrsic-Flogel はよく PubMed を利用していたが、スカラーを使うようになった。自分が何を探しているのがよくわからないとき、この検索エンジンが役立つからだという。検索結果にはほかの論文への引用リンクが含まれているため、リンクをたどってい

くうちにおもしろそうなものに行き着くことがある。引用を追跡する機能がない PubMed では、このようなことができない。Mrsic-Flogel は「引用のつながりを追いかけると、思いがけない論文にたどり着く。ほかではできないやり方で論文を見つけている」と語る。

この引用追跡のおかげで、スカラーは科学出版社が発売している従来の有料検索エンジンと直接競合することになった。エルゼビア社が検索エンジン「スコーパス (Scopus)」を発売した 2004 年まで、引用追跡はトムソンサイエンティフィック社の「ウェブ・オブ・サイエンス (Web of Science)」の独壇場だった。被引用数によって研究者や研究施設、学術誌は個々の論文の影響度を経時的に追跡することができ、多くの学者にとって悩みの種であり喜びでもある、インパクトファクターなどの指標が得られる。

スコーパスやウェブ・オブ・サイエンスと異なり、スカラーでは査読済み文献以外のものも検索できる。プレプリントアーカイブや会議議事録、また、無料でアクセスできる論文を置いておきがちな著者の個人サイトを保存していることの多い研究施設のリポジトリなど、従来とはちがう多数の検索ができるようになったことを評価する利用者もいる。こうした非公開文献 (グレイリテチャー) の重要性は増しているが、その明確な定義はまだない。一般的には、ある情報が別の学術情報に引用されていれば Google は、その元の情報も学術的なものと判断していると考えられている。だが、オンライン出版が盛んになっていくなかで、こうした定義もまた変わっていくだろう。また、科学文献へのアクセス拡大を推進する立場からは、スカラーの登場で自分の論文を無料のオンラインリポジトリに置く科学者が増えることが期待されている。

しかし、スカラーは実際にどれほど機能するのだろうか。検索エンジンをいくつか使って体系的に検索を行った

図書館職員は「使いものになる」と話す。100 本を超える論文を対象とした 2005 年の調査では、対抗する商業検索エンジンと同程度の数の引用文献がヒットしたと結論づけられている¹。ただし、その結果の解釈は慎重に行う必要があると情報科学者は話す。この調査では、引用文献のエントリーに重複や誤りが含まれていないかどうかを考慮されていないというのだ。

スカラーの検索結果をよくみると、重複がままあることがみてとれる。ハワイ大学 (米・ホノルル) の情報科学者でスカラーに最も批判的な Péter Jascó は、何度もこの検索エンジンを試用した。そして、その結果をトムソンサイエンティフィック社のウェブサイトで冷評している。極端な例だが「computers」(コンピュータ) と「intractability」(取り扱いにくさ) に関する文書の検索でヒットする上位 100 件には、*Computers and Intractability* という名の書籍に関する引用が 92 件 (違いはわずかしかな) 顔を出しており、この本と関係しないものは 8 件に過ぎなかったという。

ヒットしないことも

この問題の根源は、Google が学術インデックスにレコードを加える際の方法にある。ウェブ・オブ・サイエンスとスコーパスでは、各ジャーナルの印刷版の文献抄録と参考文献をスタッフが調べ、出版社が提供する専用の電子媒体を利用する。対照的に、スカラーの処理は自動化されている。ソフトウェアロボットがウェブ上を巡回して科学論文とみられる文書を探し出し、続いて著者名や発行日などの関連情報を抽出するアルゴリズムが用いられる。これはきわめて安上がりで迅速な方法だが、今のところ更新が毎日行われているわけではなく、重複の削除や誤分類レコードの修正を行うための人の目によるチェックもない。

Google が掌握する学術出版社の中には、論文の全文検索を認めていると

ころが多数あるが、ウェブ・オブ・サイエンスなどでは概して抄録のみの検索に制限されている。しかし、スカラーのインデックスはオンラインソースに限定されているが、ウェブ・オブ・サイエンスのアーカイブは 1900 年にまでさかのぼる。また、自動処理ということでスカラーの引用追跡がおかしな結果を表示する場合もある。たとえば、ウェブ・オブ・サイエンスでポリメラーゼ連鎖反応に関する 1988 年の *Science* 誌の論文² について調べると約 14,000 件の引用がヒットし、これが同誌史上最も引用された回数の多い論文であることがわかる。だが、スカラーでヒットするのは 3,000 件に満たない。

結局のところ、スカラーが探し出す非公開文献の引用と、元の文献から追跡される引用との間には、ほとんど共通部分がないと考えられる。たとえ被引用数がほぼ一致する場合でもだ。現時点で、図書館職員の考え方は一致している。徹底的な文献検索や正確な被引用数が必要ならウェブ・オブ・サイエンスやスコーパスを使い続けることだ。両エンジンは網羅する範囲が広く、レコードのインデックスが良好でエントリーの誤分類も少ない。図書館職員は、スカラーはまだ実験版、つまりベータ版にすぎないとも警告している。Google 社は検索アルゴリズム、つまり何をインデックスとしているのかについての詳細を開示しようとしていないが、被引用数を確認するためのツールとしてスカラーを用いるのは時期尚早だという。

この 3 種類の検索エンジンは、いずれも進化し続けるだろう。スコーパスとウェブ・オブ・サイエンスは研究施設のリポジトリなど新たな情報源をデータベースに加える計画で、そうした情報源を検索するための新たな方法も導入しようとしている。たとえばスコーパスにはある化学データベースが組み込まれ、利用者は文献検索からそのまま目的とする分子構造の情報に行

検索の裏話

科学検索エンジンは文献検索に利用できるが、科学者は当然ながらさらに幅広い情報をウェブに求めている。本体のGoogle 検索エンジンを利用した検索なら、多少手がかかる場合があるが、ちょっとした工夫で肝心な関連情報を早く見つけられるようになり、テーマについての多様な視点を得られる。

Google 検索のアドバンスオプションでは、詳細な用語を使うことで検索を絞り込んだり、類義語で検索の幅を広げたりすることができる。ここでは薬のタミフル (Tamiflu) を例にとり、あまり知られていない検索の秘訣をいくつか紹介する。

Site:

ウェブサイトを探しあてての苦労することは多い。際限のないクリックに時間を浪費するのをやめるには、クエリーにウェブサイト名を入力してから「site:」と加えればよい。検索はドメイン名に限定することもできる。たとえば、「site:gov」では検索が米国政府のサイトに限定され、「site.nih.gov」では米国立衛生研究所のサイトに限定される。世界保健機関のサイトでタミフルを検索するときに「Tamiflu site:who.int」とすれば約 100 件がヒットする。検索の幅を広げて「tamiflu site:edu」などとすれば、米国内の大学の 40,000 件以上がヒットする。

Filetype:

スマートな検索に役立つのが、「filetype:」クエリーを利用した特定文書形式の検索だ。検索「Tamiflu filetype:ppt」では、会議の発表でよく用いられるパワーポイント形式のファイルのみが抽出される。「filetype:doc」とすればプロジェクトの企画書や政府文書が多くヒットし、「filetype:pdf」では科学的な情報が多く拾われるだろう。

Define:

この単純なクエリーでは、続けて入力した言葉の定義が各種のオンライン情報源から選び出される。たとえば「define:Tamiflu」というクエリーで

は、何か国語かのウィキペディアで定義を見ることができる。

引用符

究極的にいえばウェブは人間に関するものであり、連絡先、または共同研究者を探すための方法はあるものだ。「avian influenza”workshop participants”」というクエリーではヒットが数百件現れ、上位のヒットには世界中の専門家の詳細な連絡先情報が得られるものが多い。どの科学分野でも同じように応用が可能だ。

Declan Butler

きつけるようになっている。しかし、この手の検索エンジンがスカラーほど手広く非公開文献を調べ上げるようになるとは考えにくい。エルゼビア社にはサイラス (Scirus) という別の無料検索エンジンがあり、ウェブ上の科学情報を検索できるが、引用文献を追跡することはできない。

「Google Scholar を、分野を問わずあらゆる学術情報を得るための定番にしたい」

— Anurag Acharya

では、Acharya の大胆な目標はどうなるのだろうか。図書館職員は、あるテーマに関して通常 2、3 の重要論文が入手できれば十分という大学生や、不案内な分野についてっとり早く調べたい研究者による検索が、スカラーの現在の高い利用率をもたらしているのだろうと話す。Acharya はスカラーについて、そうした利用を目論んでいたと話

す一方、専門分野の最新論文に常に触れておく必要がある学者を引き寄せたいともいう。トムソン社とエルゼビア社が新たなサービスへの投資を続行するなか、スカラーがそれに伍していくことができるのかどうか興味深いところだ。

ふたりの会社

Acharya とともに働くフルタイムのスタッフは 2 名しかいないことから、Google 社にとってスカラーは優先順位が低いのでは、と感じるかもしれない。しかし、同社がスカラーのデータベースを開発する過程で、社外のコンピュータープログラマーにソフトウェアを書いてもらうということも考えられる。それはかつて、同社が成果を出すために取った方法だ。スカラーでも同じ手法をとれば、図書館職員や学者たちが使い勝手や機能を拡張していつてくれるだろう。

では、スカラーはソースを社外に公開するのだろうか。現時点でそれはないと Acharya はいう。ただ、多くを語ろ

うとはしないものの、その可能性は排除せず「構想に近づいてくれば再検討することになるかもしれない」と話す。

また、スカラーの盛り上がり拡大し続ければ、同社のチームによる見直しもあるかもしれない。ヴァージニア工科大学 (米・ブラックスバーグ) の図書館職員はすでに、インターネットブラウザ用に LibX というフリーの拡張ソフトウェアを開発した。これを利用すると、強調表示されているテキストをマウスでクリックするだけで、スカラーから論文を引き出すことができる。LibX を使えば、どんな文献もそこにありさえすれば、コンピュータ上から直接アクセスできる。そして、そういったものが Google 社、図書館職員双方が意とするツールなのである。 ■

Jim Giles は Nature のシニアレポーター (ロンドン)。

1. Bauer, K. & Bakkalbasi, N. *D-Lib Magazine* 10:1045/ september 2005-bauer (2005).
2. Saiki, R. K. *et al. Science* **239**, 487-491 (1988).

The long-range forecast

ヒマラヤが解けている

Nature Vol.438(275-276)/17 November 2005

NASA

「世界の屋根」であるヒマラヤ山脈が解け始めている。気温の上昇で山脈周辺の氷河が解け、数百万の人々の生活を脅かす。David Cyranoski が報告する。

いくつもの国にまたがる巨大なヒマラヤ山脈は、たくさんの少数民族の故郷である。その山脈沿いの地域に住む人々が、ある1つの問題を共有していることに気づきつつある。自分たちの生活が、環境の変化に脅かされているというのだ。

ネパールでは気温の上昇により、氷河湖の水位があふれ出すところまで高まっている。チベットの山脈地帯では、放牧者たちが徐々に荒廃していく土地で家畜になんとかエサを食べさせている。近年、地元の人々は、問題の多くの原因は地球温暖化にあると主張し始めた。そして、収集が進むデータをみると、彼らの主張は正しいようにも思われる。

世界自然保護基金（WWF）中国支部のLifeng Liは「地元の人々は、気候変動についてそれほど知っているわけで

はない。しかし、自分たちに影響を及ぼしつつある変化が存在することはよくわかっている」と話す。

ヒマラヤ山脈に由来する水には、何十億という数の人々が依存している。この山脈は世界で最も高い14峰を擁し、この地域の雪の堆積から流れ出る水は、複数の大河に流れ込んでいる。

水文学のモデルによると、気候変動が地域に及ぼす作用は広範囲にわたる¹。さらに2005年に発表されたレポートでは、氷河が消え、水の供給量が減少するといった厳しい現状が報告されている^{2,3}。将来は、洪水、干ばつ、土地の浸食、生物多様性の減少、降雨や毎年のモンスーンの変化などが起こる可能性がある。このため、科学者たちと環境保護団体は、この地域の監視を続けつつ、住民が環境の変化に順応

するのを援助するにはどのようなことが必要かをたずねてまわっている。

牛も橋も発電所も

こうした取り組みで支援を受けることになりそうなのが、ネパールのシェルパ族の山岳ガイドやチベットで牛を放牧する者たちだ。気候変動は、彼らの生活にすぐにも大きな影響を与える可能性がある。1985年、ネパールのゴート村に住む高僧Nawa Jigtarは、大きな物音を聞いてあわてて外へ飛び出した。そして、飼っている牛たちが大水で運ばれていくのを見送るしかなかったという。「もし、大水が夜に襲ってきいたら、だれも生き延びることはできなかっただろう」。最近制作されたドキュメンタリー「Meltdown in Nepal」の中で、JigtarはWWFにこう話していた。



研究者たちは気候変動がヒマラヤ山脈周辺に与える影響を調べている。チベットの家畜放牧者から聞き取り調査を行ったり（上）、氷河を測定したりしている（右ページ）。

この洪水は、氷河湖の1つであるディグ・チョーが決壊して起こった。洪水で、新しい水力発電所のほか、12か所を超える橋が押し流された。ネパールでは少なくとも20の氷河湖が決壊の恐れがあり、ブータンでもさらにいくつかの湖がそのような状態にあることが、経済協力開発機構（OECD）などによる調査でわかっている⁴。こうした湖は氷河の雪解け水で自然にできるものだが、気候変動により氷河がかつてない速さで後退し、余った水が湖にあふれこんでいる。OECDの気候変動担当者のShardul Agrawalaは「水と下流の集落の間にあるのは、壊れやすいモレーン（氷河が後退して残った岩や小石がたい積してできた自然のダム）だけだ」と説明する。この自然のダムは、地震、地すべり、斜面の不安定性などによって崩壊する恐れがある。

事態はさらに悪化しそうだ。2005年3月、WWFのチームは、ヒマラヤ山脈の氷河がどれほどの速度で解けているか、さらにそれがインドや中国、ネパールの水供給に及ぼす影響について報告した²。ネパールの気温は、過去数十年間にわたって着実に上昇しており、気候変動モデルの予測では、2050年までにさらに1.2℃、2100年までに総計で3℃上昇するという。その結果、氷河湖はその数も大きさも増大しつつある。

中国甘粛省蘭州にある寒区旱区環境与工程研究所（CAREERI）の雪氷学者 Ninglian Wang は「ほとんどの氷河が後退しており、氷河湖はより多くの水を保持しなければならなくなっている」と話す。ネパールの氷河は、10年間あたり30～60メートルの速度で小さくなっている⁴。

中国科学院青藏高原研究所（北京）のTandong Yao 所長が集めたデータによると、ヒマラヤ山脈のチベット側では、1950年から1980年までに氷河の50%が後退した。そして、この数字は1980年代には90%に、1990年代には95%にまで進んだ²。中国で解けた氷河から流れ出る水量は現在、黄河の年間流量にほぼ匹敵する。

気候資源の専門家であるサウサンプトン大学（英国）のNigel Arnell は「解けつつある氷河は、気候変動を示す最も説得力のある証拠の1つだ」という。しかし、チベットにおける土地の荒廃の原因などを示すデータとなると、明確な話を描くのはむずかしくなる。

2005年夏、環境保護団体「グリーンピース」がスポンサーとなり、CAREERIの研究チームが黄河源流域で縮小している氷河と湖を調査した³。黄河の源はチベット高原で、数多い中国人の重要な水資源だ。研究グループの調査で、この地

域では植生が毎年3～10%減少していることがわかった。もし、気温が現在の速度で上昇し続ければ、利用できる水量は今後50～100年で20～40%減り、小麦、米、トウモロコシを含む農業の総生産高は2030～2050年までに10%減少すると研究チームは予測している。

荒れる土地

しかし、土地使用に関する問題、とくに過度の放牧の問題が事態を複雑にしている。地元の人々は、土地の荒廃の責任の一部は自分たちにもあるという考えを受けつけない傾向がある。たとえば、揚子江の源近くに暮らすチベットの家畜放牧者たちはWWFの研究者に聞かれた際、放牧地の量と質が荒廃したのは気候変動のせいだとかたくなに主張した。彼らは、ネズミなどの動物による病気の蔓延が増えたのも気候変動のせいだとした。中国科学院のメンバーが加わってまとめられた続報レポート²の主な結論の1つは、過度の放牧が生態系を破壊したという考えの誤りを正すことだった。

しかし多くの科学者たちは、過度の放牧が植生の減少の重大な原因だと考えている。問題は、ではどれほどがその原因に依存するのかということだ。この問題は、気候変動によって起こった変化を見積もろうとする場合に直面するむずかしさを示している。専門家たちは、この地域のデータの大部分は不確かな調査によるものであるとして、この種の証拠に頼りすぎることがないように戒めている。英国気象庁の上級特別研究員Martin Parryは、「この地域の研究は厳密ではないことが多い」と指摘する。さらに彼は「もし、気候の変動量を見積もることができたら、今日の農業への影響を調べることはできるだろう。しかし、将来の農業はまた別の話だ。社会的、経済的、政治的な変化を考慮に入れる必要がある」と話す。

地元政府は時折、気候変動の影響をやわらげようとする施策を行ってきた。中国政府は2005年2月、揚子江と黄河の源流地域の保護計画に75億元（約

1100 億円) の予算を配分した。「政府は土地荒廃の問題を解決するため、チベットの家畜放牧者の多くをよそに移す計画を考えているようだ」と Li は話す。しかし、そのような方法は財政的にも、文化的影響という点からもあまりに犠牲が大きいだろう、と彼は主張する。そして、「人々を移動させるよりも、土地の生産性を向上できないか考えてみるべきだ」と話す。たとえば、よりたくましい種類の草を植えることや、灌漑を改善するといった方法が考えられる。

枯れる井戸

氷河湖の脅威への対処については、その費用を用意できるとすれば、もう少し簡単な話となる。オランダは 300 万ドル(約 3 億 6000 万円) を費やし、ネパールの最も危険な氷河湖の 1 つであるツォ・ロールパの排水事業を 1998 年から行った。しかし、「この対策で水位は 3 メートル下がったが、猶予は一時的にすぎない。湖はすぐに雪解け水でいっぱいになりそうだ」と Agrawala はいう。

ネパールの状況を調査した OECD の新しい報告書は、地域の集落が直面している危険に対処するためには、洪水の早期警報システムなどの手段が必要だと提案している⁴。また、大きな発電所を 1 つだけ作っても、1985 年に起こった洪水のように 1 回の湖の決壊で押し流されてしまう恐れがある。より小さな水力発電所を複数の川に分散して建設すべきだ、と報告書は提案している。

こうした解決法は、多面的な問題に対するひとつのアプローチにすぎない。地域の政策立案者は、地球温暖化にどう対応するか考える一方で、社会的、経済的な問題にもうまく対処しなければならない。「気候変動に関しては、さまざまな懸念が取りざたされている。しかし、どうすればそこに国の政策立案者の目を向けさせ、対策に取り組んでもらえるのだろう」と Agrawala は嘆く。

国連気候変動枠組み条約の締約国会議が、カナダのモントリオールで 2005 年 11 月に行われた。この会議で話し合



J. NOVIS/GREENPEACE

われた「適応基金」が、ヒマラヤ山脈の問題に対する 1 つの対応策となるかもしれない。このしくみは、干ばつが起こりやすい国や山岳地の生態系を抱える国など、地理的に気候変動による影響が大きい発展途上国へ、資金や保険、技術を供与するものだ。

中国がこれからどのような援助を受けるかはわからないが、ここでは今後起こりうる事態の一端がすでに現れつつあるといえるのかもしれない。揚子江の源流に近いクラマ依市では最近、井戸が枯れ、小さな川が完全に消えた。気候学者が正しければ、こうした水不

足はヒマラヤ山脈周辺で今後起き始めることの前兆なのだろうか。■

David Cyranoski は、ネイチャーのアジア・パシフィック担当記者。

1. Barnett, T. P., Adam, J. C. & Lettenmaier, D. P. *Nature* **438**, 303-309 (2005).
2. WWF Nepal Program An Overview of Glaciers, Glacier Retreat, and Subsequent Impacts in Nepal, India and China (WWF, 2005); available at http://www.panda.org/downloads/climate_change/himalayaglacierrreport2005.pdf.
3. Ding, Y., Liu, S., Xie, C., Zhang, Y. & Wang, J. *Yellow River at Risk: An Assessment of the Impacts of Climate Change on the Yellow River Source Region* (Greenpeace, 2005); available at http://activism.greenpeace.org/yellowriver/yrs-english_web.pdf.
4. Agrawala, S. (ed.) *Bridge Over Troubled Waters: Linking Climate Change and Development* (OECD, Paris, 2005).

RNA が開く、ゲノムの新たな扉

西村尚子（サイエンスライター）

月本佳代美

マウスの場合、全ゲノムの約 95% はタンパク質をコードしていないが、その 70% 以上の領域が RNA に写し取られていることが明らかになった。タンパク質を作らない RNA は、何をしているのか？ RNA の多彩な役割が解明されつつある。

「ゲノムの大半は、がらくた」。こうした見解が誤りであることが、ますますはっきりしてきた。ヒトの場合、全ゲノム 30 億塩基対のうち、遺伝子として機能する部分は、わずか 2% ほどしかないことがわかっている。残りの大半は、ほぼ不要なものであると解釈されてきたが、最近になって「そんなはずはない」と考える研究者が、少しずつ増えてきたところだった。

たとえば、東京大学医科学研究所遺伝子動態分野の中村義一教授は、「ヒトの遺伝子は 2 万 2000 個ほどで、体長わずか 1 ミリの線虫の遺伝子数とほぼ同じだ。同じ遺伝子数で、ヒトははるかに複雑な生命現象を営んでいる。複雑さをもたらすような未知のしかけが、

遺伝子以外のゲノムにあるにちがいない」と考えて研究を続けてきた。

このような状況のなか、2005 年 9 月に、理化学研究所ゲノム科学総合研究センター遺伝子構造・機能研究グループの林崎良英博士らは、マウスゲノムで実に 70% 以上の領域が RNA に写し取られていることを明らかにした。これらの RNA のうち 53% は「タンパク質を合成する」という遺伝子発現の機能を担っていなかった。タンパク質を作らない RNA は、いったい何をしているのか？ 実は、そこに「未知のしかけ」を解くヒントが隠されていた。

転換期を迎えた RNA 研究

RNA は DNA と同じように、4 種の異

なる塩基が鎖状に連なった構造をもつが、二重鎖の DNA とは異なり、通常は一本鎖やループ状をしている。鎖の骨格はリン酸と糖からなるが、DNA が糖としてデオキシリボースをもつのに対し、RNA はリボースをもつ。また、DNA は塩基としてアデニン (A)、チミン (T)、グアニン (G)、シトシン (C) をもつが、RNA は T のかわりにウラシル (U) をもっている。

RNA 研究は、1960 年代の分子生物学の登場とともに始められた。最初に行われたのは、DNA の遺伝情報が発現され、タンパク質が合成される過程で仲介役をつとめる伝令 RNA (mRNA)、転移 RNA (tRNA)、リボソーム RNA (rRNA) の構造と機能についてだ。そ

して「DNAの情報がRNAへ転写されるしくみ」「転写されたRNAの情報がリボソームに運ばれるしくみ」「3つの塩基が1つのアミノ酸に翻訳されるしくみ」などが明らかにされていった。

1980年代に入ると、トム・チェックとシドニー・アルトマンによって、自らのRNA鎖を切断したり、連結したりする反応を触媒するRNA（リボザイム）が発見され、RNAの動的な機能が注目されるようになった。続いて、フィリップ・シャープが、真核生物のmRNAは遺伝子発現に必要な部位のみが切り出されてつながれていること（スプライシング）を突き止め、そのメカニズムを明らかにした。これら2つの研究には、1990年を前後して、ノーベル賞が授与された。

1990年代には、RNAの動的機能を解明する流れがさらに加速し、これまで想像されなかった多様なメカニズムが明らかにされていった。その最たるものは、1998年にアンドリュー・ファイアーとクレイグ・メローによって発表された「RNAi（RNA干渉:RNA interference）」だろう。これは、30塩基対ほどの二本鎖のRNA断片を細胞に導入すると、きわめて強力に遺伝子発現が抑えられる現象だ。ほどなくRNAiは、線虫やショウジョウバエの遺伝子をノックダウンする手法として、広く用いられるようになった。

ただし、30塩基対ほどのRNA断片をほ乳類の細胞で使おうとすると、「インターフェロン応答」とよばれる免疫反応が引き起こされ、細胞死してしまうのが難点だった。ところが2001年に、トーマス・トゥッシュェルらが、20塩基対程度の短いRNAであれば、ほ乳類細胞でも遺伝子発現を抑制する効果が得られることを明らかにした。現在、RNAiは遺伝子ノックダウンの有力な手法として、世界中の研究室で使われるようになっている。

30塩基対程度の断片によるRNAi現象は、昆虫、植物、菌類、分裂酵母などのさまざまな生物種間で保存されて

いる。いずれも、病原微生物やウイルスなどの侵入を核酸のレベルで防御する目的があると考えられているが、ごく最近になって、21～22塩基対の小さなRNA（マイクロRNA:miRNA）の存在が明らかになり、遺伝子発現機能の調節、発生・分化の制御といった新たな機能にも注目が集まっている。

RNA 新大陸の発見

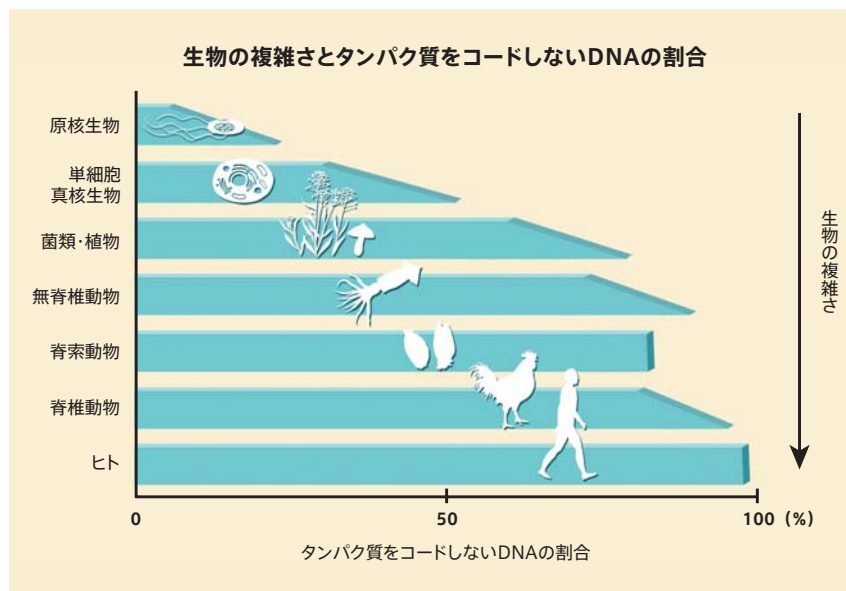
こうしてRNA研究に新風が注がれるなか、理化学研究所は、1995年に「マウスゲノムエンサイクロペディア計画」を立ち上げた。目的は、マウスが受精・発生・分化を経て成長するまでに、ゲノムのどの領域が読まれているのかを、転写されるRNAを用いて調べることだ。プロジェクトリーダーに着任した林崎博士は、7年をかけて、マウス個体のあらゆる発生段階のRNAを集め、そこから6万個ものDNA（完全長cDNA）を写しとる作業を行った¹。

その後2005年までに、これらのcDNAから同定された約4万の遺伝子（TU; Transcriptional Unit）のうち2万3000個以上がタンパク質を作り出していないことが明らかになっ

た²。これらのcDNAのもとになったRNAは、「タンパク質をコードしない」という意味から「non-coding RNA（ncRNA、非コードRNA）」とよばれるようになっている。さらに林崎博士は、タンパク質をコードするmRNAとncRNAを合わせると、全ゲノム配列の実に70%以上が読まれて、RNAに転写されていることを明らかにした。

ここで、「タンパク質をコードする役目をもたない領域が、なぜRNAに転写されているのか」という最大の疑問が浮かび上がることになる。林崎博士はこの疑問に答えるために、病原体などの異物を飲み込んで破壊する免疫細胞（マクロファージ）が、分化・成熟していく現象を利用した。ncRNAに何らかの重要な機能があるとすれば、ncRNAを作り出せないようにしたときに、正常なマクロファージが作られなくなるだろうと予想したのだ。

「実は、少し前から、ncRNAに遺伝子発現を調節する機能があるとしたら、その一部は『DNAの両方の鎖が読まれる領域』から作り出されているらしいということ突き止めていた」。そう話す林崎博士は、マクロファージが成熟



簡単な構造をした原核生物から、真核生物、脊椎動物など複雑な生物になるほど、タンパク質をコードしないDNA領域が多く存在することが明らかになってきた。ヒトでは、全ゲノムの98%がタンパク質の情報をもたないと考えられている。

していく過程で ncRNA に転写される DNA 領域のなかから、「DNA 二重らせんの両方の鎖（センス鎖とアンチセンス鎖）が読まれる領域」を選び出し、それぞれの鎖を別々にロックダウンして、その影響を調べた。

結果は、林崎博士の予想どおりだった。ncRNA をロックダウンすると、正常なマクロファージは作られなかったのだ。「一連の研究結果は、ncRNA に『遺伝子が、いつ、どこで、どの程度はたらくべきかを調節する機能』が秘められていることを明確にあらわすものとなった。がらくただと思われていたゲノムにこのような RNA を作り出す領域があったことから、『RNA 新大陸』とよぶようになったが、こうした事実は、従来の遺伝子の定義をゆさぶるほどの衝撃を与えたかもしれない」。林崎博士は、そうコメントする。

明らかにされる ncRNA の多彩な機能

ヒトゲノムをはじめ、すでに 250 種ほどの生物ゲノムが解読されている。その結果、脊椎動物、ほ乳類などの高等生物になればなるほどタンパク質をコードしない DNA 領域が多く存在することがわかってきた。その割合は、大腸菌などで 10～30%、カビや植物で 70～80%、マウスで 95% ヒトでは 98% といった具合になる。タンパク質をコードしない DNA 領域のこうした割合は、各々の生物種における ncRNA の数とほぼ相関

関係にあると考えられる。つまり、最も ncRNA の数が多いのはマウスやヒトなどのほ乳類で、最も少ないのは大腸菌などのバクテリアだと解釈できる。

「高等生物になるほど多くみられる ncRNA こそ、複雑な生命現象を維持する機構を担うものだろう」。日本の RNA 研究の第一人者である中村教授は、そう考える。自身は、「分子擬態」というあまり耳慣れない分野の研究を行っている。擬態は、昆虫が色や形を葉に似せて外敵から身を守るなど、生態系の中ではよくみられる現象だ。

同様の擬態が、分子レベルの生命現象でもみられる。たとえば、マラリア原虫はヒトの免疫システムを回避するために、ヒトの赤血球上で発現している遺伝子とほぼ同じ配列をゲノムにもっている。自らの体を、ヒトに似せたタンパク質でおおうことで、抗原として認識されるのを防いでいるのだ。

「生体高分子のレベルでも、タンパク質が RNA のある構造を擬態する現象がある」と中村教授。タンパク質と RNA は、素材がまったくちがう。にもかかわらず、大きさも形も同じような構造体が存在し、その機能までが似通っているという。「たとえば、約 80 塩基対からなる tRNA と、185 個のアミノ酸からなるリボソーム再生因子というタンパク質は、立体構造や分子量がそっくりで、働き方も似ている」と話す。

tRNA とリボソーム再生因子は、とも

に、リボソーム上でタンパク質を合成する際に働くが、一方の tRNA は遺伝子がコードするアミノ酸を運んでくるのが仕事で、他方のリボソーム再生因子は、リボソーム・mRNA・tRNA からなるタンパク質合成装置を解体する役割を担う。このほかに、tRNA の位置をずらすタンパク質や、tRNA にかわって終止コドンを読み解くタンパク質もあり、こうしたタンパク質も、構造の一部が tRNA によく似ているという。

これらはいずれも、タンパク質が RNA の形を擬態したもので、バクテリアなどの下等生物からヒトにいたるまで普遍的にみられるしくみだ。中村教授は「逆に、RNA がタンパク質を擬態するメカニズムもあるはずだ」と考えている。そして、「そのメカニズムこそ、高等生物だけが獲得した ncRNA の遺伝子発現調節機構にちがいない」と確信している。

RNA アプタマーという概念の誕生

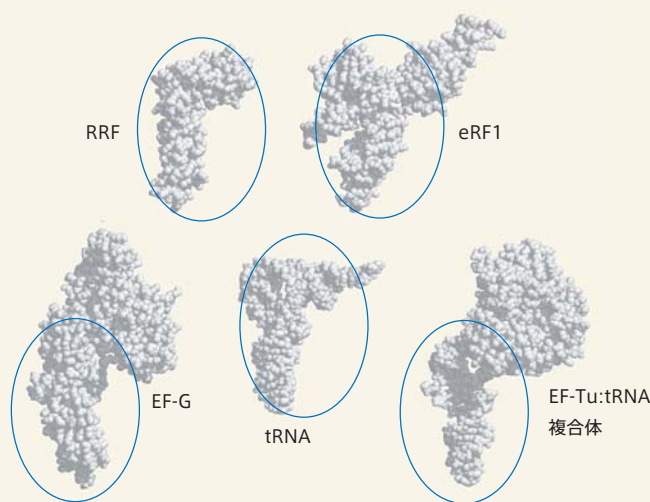
タンパク質をコードする mRNA、短い RNA 断片による RNAi、林崎博士が解析した ncRNA は、いずれも塩基配列の相補性に依存して機能を発揮する。ところが、中村教授が提唱する ncRNA の機能は、配列ではなく、RNA の立体構造そのものに依存すると考えられる。

すでに中村教授は、次のような実験によって、自らの考えが可能性としてあり得ることを示している。まず、比較的扱いやすい 40～50 塩基対からなる 1 本鎖の RNA をランダムに作り、自由な立体構造をとらせる。RNA は 4 種の塩基からなるので、理論上の組み合わせは $4^{40} \sim 4^{50}$ 通りになる。もちろん、そのすべてを作ることは不可能なので、そのうちのごく一部をランダムに作ることにする。次に、「セレクトス法」とよばれる特殊な手法を用いて、ランダムに作った RNA の中から、目的のタンパク質に形が似ているものを探し出す。似ているものがまったくなければ、「次のひとすくい」を試すことになるが、セレクトス法では、少しでも似ているものがあれば、その RNA の配列を人工的

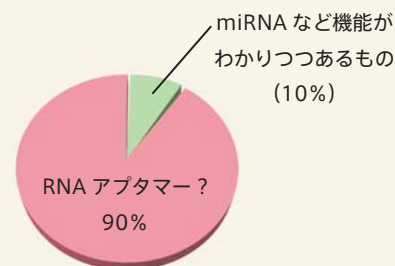
RNA の多彩な機能

	機能	種類	
構造性 RNA	転写・翻訳にかかわる	mRNA	非コード RNA (ncRNA)
	転写・翻訳にかかわる	rRNA	
	転写・翻訳にかかわる	tRNA	
機能性 RNA	触媒作用をもつ	リボザイム	
	スプライシングにかかわる	mRNA 前駆体	
	RNA 干渉作用をもつ	miRNA, siRNA	
	遺伝子発現（分化・増殖・アポトーシスなど）を調節	miRNA, mRNA 上の制御スイッチなど	
	代謝物に結合する	RNA アプタマー, リボスイッチ	
	分子擬態作用やタンパク結合性をもつ	RNA アプタマー	
	RNA 修飾にかかわる	snoRNA, guideRNA など	

tRNA と翻訳因子の間の分子擬態



非コード RNA の内訳



左の5つの分子モデルは、tRNAとそれを擬態したさまざまなタンパク質である。丸で囲んだ部分の構造がよく似ているのがわかる。分子擬態したタンパク質は、tRNAにかわって終止コドンを読み解いたり、tRNAの位置をずらすなど、さまざまな機能をもつと考えられている。上は非コードRNAの内訳を表したグラフ。東京大学の中村義一教授は、タンパク質をコードしないRNAのうち、miRNAなどの機能がわかりつつあるものは全体の約10%で、残りの90%のほとんどは、RNAアプタマーとしての機能をもっているのではないかと考えている。

東京大学医科学研究所 中村義一

に操作することで、より似ているものへと改変することができる。改変操作を繰り返すと、目的の立体構造をもつRNAがかなりの確率で得られるという。

「すでに、ホルモンやサイトカインを擬態したRNAを作る作業を始め、第一世代のRNAを分離した³。ただし、これらのRNAは、レセプターに結合することで、ホルモンやサイトカインの結合を阻害するタイプのもの。将来的には、レセプターに結合して生理作用をもつようなアゴニスト的なRNA、たとえばインシュリン分泌を促すようなRNAを作りたい」と中村教授。

このような、タンパク質様の機能をもつRNAは「RNAアプタマー」とよばれる。RNAアプタマーは、未知のゲノム機能を調べるためだけでなく、創薬や診断技術の開発にも応用できると期待される。特に注目されるのは、RNAアプタマーがほかのタンパク質と相互作用するときに発揮する強い親和性や結合力で、すでに抗体の1000倍もの結合力をもつRNAが得られているという。

ぞくぞくと発掘される「お宝」

ヒトゲノムの98%を占める「タンパク質をコードしない領域」に対して、日

夜「未知なる、お宝」を求めた発掘作業が続けられている。ごく最近では、2005年12月に、東京医科歯科大学難治疾患研究所の石野史敏教授らによって、ほ乳類ゲノムの3分の1以上を占める「レトロトランスポゾン」とよばれる配列の一部から、母体と胎児をつなぐ胎盤を作る際に必要な*Peg10*という遺伝子が作り出されていることが明らかにされた⁴。レトロトランスポゾンは「動くDNA」と称される配列で、自らをコピーしてはゲノムの他の部位にペーストするという特異な性質をもつ。

石野教授らは、*Peg10*遺伝子を破壊した受精卵をメスのマウスに移植すると、胎盤形成が異常になり、受精10日目にすべての胚が死んでしまうことを確かめた。この結果について石野博士は、「ほ乳類の共通祖先の時代に、*Peg10*遺伝子がウイルスなどによってゲノム中に持ち込まれ、進化にともなって胎盤形成のために使われるようになったのではないかとコメントしている。

さまざまな生物種で膨大な量のゲノム情報が蓄積されるにつれ、遺伝子とともに、タンパク質をコードしない領域の解析もますます重要になっている。こうした解析の一部は、配列情報をも

とにしたバイオインフォマティクスにより可能だと思われる。しかし、RNAアプタマーのような、配列に依存しないRNAの解析には、現在のゲノム科学の手法では歯が立たない。中村教授は、「RNAアプタマーは、今のところ、ごくわずかの例しか知られておらず、網羅的に扱うことが不可能だ。この状況を打破するには、解析や分析のためのまったく新しい基盤技術が必要だ」と話す。

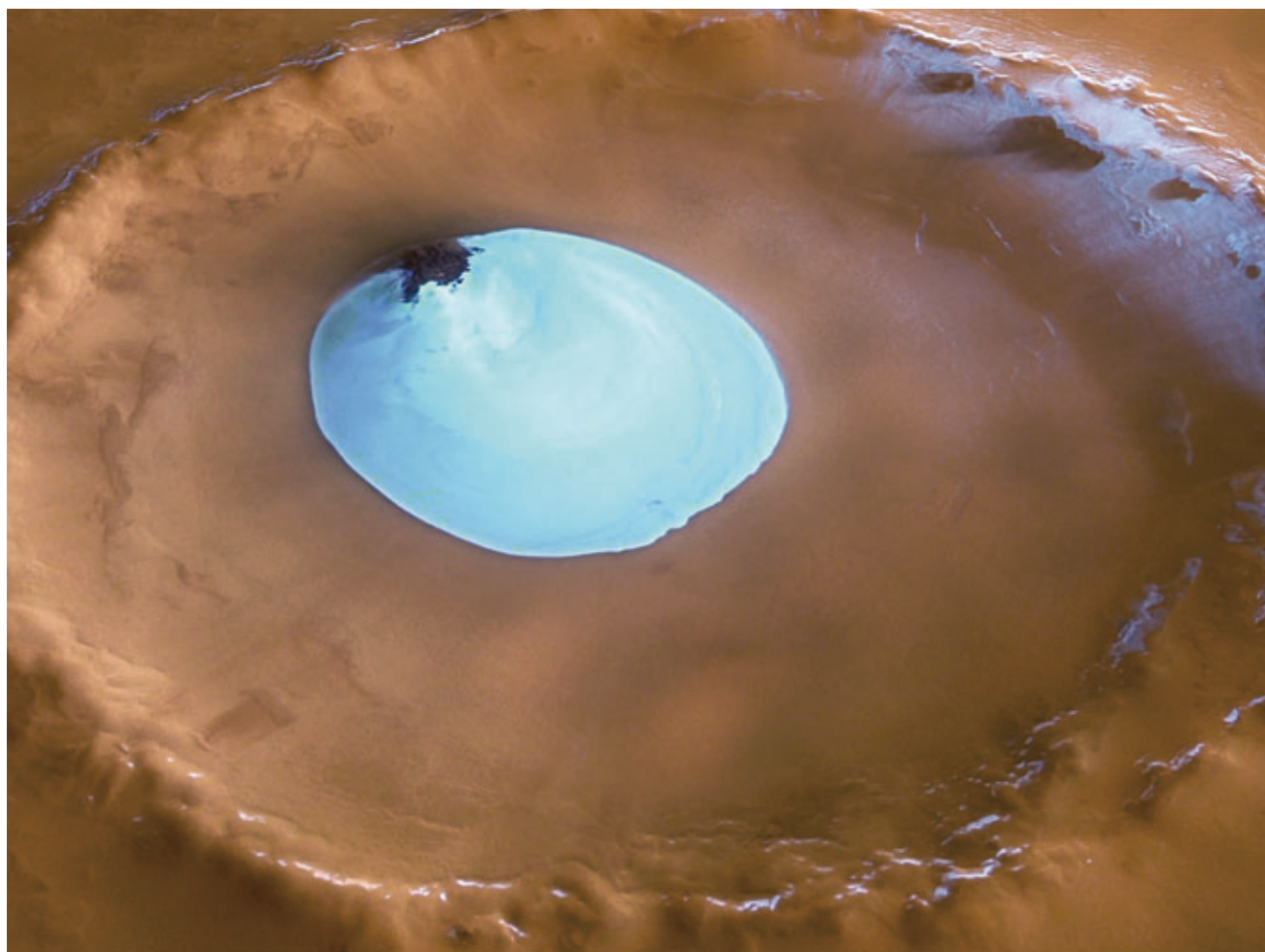
ncRNAは時間を追って、非常にすばやく変化し、その量もごく微量だと考えられる。これらをもれなくとらえて解析するのは、至難の技だろう。ただし、ncRNAが相互作用する相手の多くはタンパク質。タンパク質研究を得意としてきた日本ならではの発想で、新たな解析基盤が作り出されることを期待したい。

1. The FANTOM Consortium and the RIKEN Genome Exploration Research Group Phase I & II Team, *Nature* **420**, 563-573 (2002)
2. The FANTOM Consortium and RIKEN Genome Exploration Research Group and Genome Science Group, *Science* **309**, 1559-1563 (2005).
3. RIKEN Genome Exploration Research Group and Genome Science Group (Genome Network Project Core Group) and the FANTOM consortium, *Science* **309**, 1564-1566 (2005)
4. 2005年12月11日付 *Nature Genetics* オンライン速報版

2005 GALLERY: FIRST GLIMPSE...

科学に眼福あり

Nature Vol.438(1064-1067)/22/29 December 2005



G. NEUKUM/ESA/DLR/FU BERLIN

科学の偉大な発見は出尽くした。ときにはそんなふうに思えることもある。でも結局は毎年、初お目見えの生き物や天体、物質や分子のようすを目にしては、それらに思いをめぐらすことになる。2005年に発表された「驚異の世界」を映し出す写真を紹介しよう。

こうした写真の多くは科学論文といっしょに発表されたものだが、学術的な文章では伝えきれない力をもって

いる。とにかく人は自分の目で確かめるまで物事を信じようとしらないものだが、そんな私たちのために、ここにあるのは信じるに足る10の画像。逃げようとする怪物をとらえた粗く臨場感あふれるショットもあれば、宇宙で撮影された芸術作品かと思まがうほどすばらしい画像もある。

(取材構成 :Emma Marris)



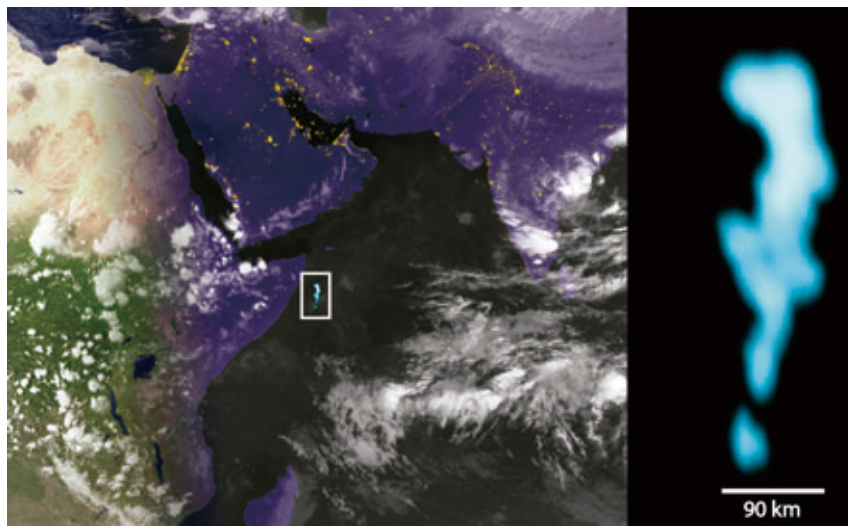
火星

欧州宇宙機関のマーズ・エクスプレス・オービターが撮影した、火星の凍った湖。この画像に神秘的な雰囲気を感じるのはなぜだろう。オリジナルの白黒画像の上に彩色された色調ゆえか、それとも、クレーターの周囲にうっすらと見える早朝の霜のような白い縁取りゆえか。



◀ ミクロの刷毛

このカーボンナノチューブ製の刷毛の重さはたった 50 マイクログラムで、ヒトの髪の毛 2 本分に当たる、幅 300 ミクロンの管の内壁を塗装できる。同種のものとして世界初のこの刷毛は、レンスラー工科大学（ニューヨーク州トロイ）の Anyun Cao と彼のチームが作製した。



◀ 光る海

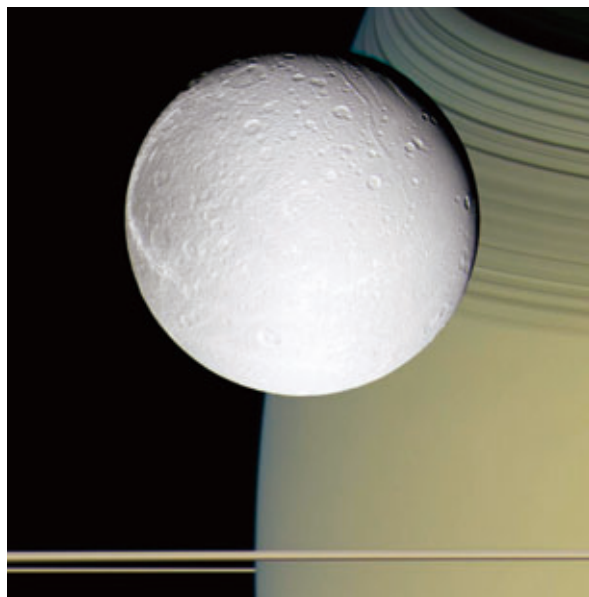
船乗りの間で語り継がれてきた 2 つの話は本当だった。海底に置いたセンサーによって、船を飲み込む「ローグ・ウェーブ」（突如現れる大波）が本当に存在することが確認された。また、左の衛星画像からは『海底二万里』にも登場する伝説の「ミルキー・シー」（夜に光り輝く海）の存在が裏づけられた。インド洋で一隻の船が見つけたこの光り輝く海域の広さはコネチカット州ほどで、光を出しているのは発光細菌だと考えられている。写真提供はカリフォルニア州モンテレーの米国海軍研究所。



▲ 道具を使う野生のゴリラ

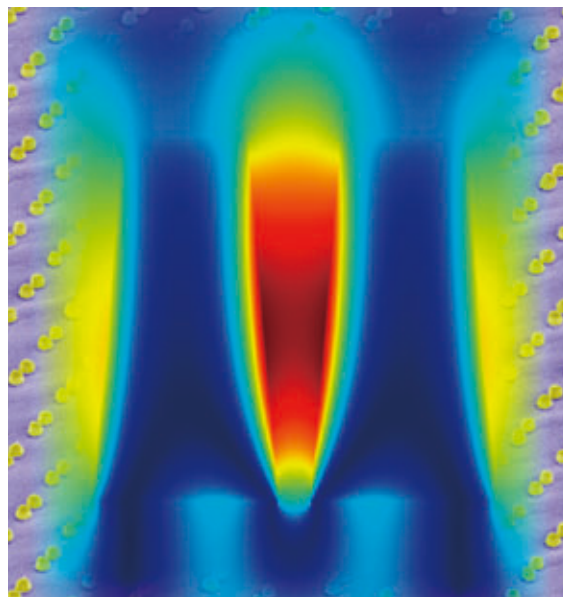
飼育されているゴリラは道具を使用することが知られている。2005 年は、野生の類人猿でも道具を使っているところが見つかった。2 頭の雌ゴリラが、枝を使って深さを調べたり、橋渡しに利用したりしていたのである。ニューヨークにある野生生物保護協会の Thomas Breuer とチームメンバーたちがそのようすをカメラに収めた。

NASA/JPL/SPACE SCIENCE INST.



土星を背にした満月

土星探査機カッシーニ・ホイヘンスが2004年に土星に到達して以来、NASAのカッシーニ・オービターは、環に囲まれたこの巨大な惑星を周回しながらすばらしい写真を送ってきている。また、ホイヘンス・プローブは土星の月タイタンの表面に降下した。この写真は、カッシーニがもう1つの月ディオネを撮影したもので、氷におおわれた表面がこれまでにないほど細かくとらえられている。またその後ろには、土星本体とそこに映った環の影が見える。



光のショータイム

英国マンチェスター大学のAlexander Grigorenkoの研究室では、光をまったく反射しない完璧なレンズが半ばまで仕上がっている。この画像の青い部分は、整然と並んだ微小な金の柱のおかげで、光の磁気成分が反射されない領域である。

A. GRIGORENKO ET AL. NATURE 438, 335-338 (2005)

A. LEVSKAYA ET AL. NATURE 438, 441-442 (2005)



ある肖像写真

初期の銀板写真を彷彿とさせるこの写真。実は細菌でできており、現像も細菌自身の手による。(画素にあたる)大腸菌を遺伝子操作し、通常は黒い色素を産生するところを、光に反応して色素の産生を止めるよう改造した。テキサス大学オースティン校とカリフォルニア大学サンフランシスコ校の学生たちが主体となったチームが、担当教授の1人であるAndrew Ellingtonのこの肖像写真を作製した。

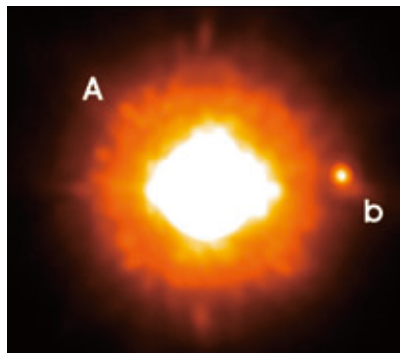


深海の怪物

ついに巨大なダイオウイカ (Architeuthis) の生きた姿が撮影された。日本の研究者たちが、餌をつけたひもを海中深く垂らして全長8mのイカをおびき寄せたのだ。撮影に成功したのは国立科学博物館の窪寺恒己と小笠原ホエールウォッチング協会の森恭一で、ひもにかかって切れたこの巨大イカの腕(長さ5.5m)も回収された。「あまりの興奮に『ダイオウイカがかかったぞ!』と叫ばずにはいられなかった」と窪寺はいう。

T. KUBODERA & K. MORI PROC. R. SOC. LOND. B 272, 2583-2586 (2005)

R. NEUHÄUSER ET AL. ASTRON. ASTROPHYS. 435, L13-L16 (2005)/ESO



惑星見つかる

この画像にある右側の点 (b) は、初めて撮影された太陽系外惑星とみられる。400光年離れた「おおきみ座 GQ 星」という恒星の周りを回るこの惑星は、木星より大きいと考えられている。この惑星から主星 GQ までの距離は、太陽から海王星までの距離の3倍あり、公転周期は地球の1,200年に相当する。ドイツのイェナ大学天体物理学研究所および大学天文台のRalph Neuhauser率いるグループが、このまばゆい画像を撮影した。

Huygens rediscovers Titan

ホイヘンスでタイタンの新たな顔が明らかに

Tobias Owen

土星最大の衛星タイタンに着陸したホイヘンス突入機から送られてきたデータをもとに、さまざまな解析が始められている。そこから、地球に似ているものの、形成初期の段階で凍ってしまい発達が止まった「ピーター・パン」の世界の素顔がみえてくる。

Nature Vol. 438 (756-758) / 8 December 2005

1980年と1981年に2機のボイジャー探査機が太陽系の6番目の惑星、土星のそばを通り過ぎて以来、複雑で変動する磁気圏に包まれた美しいリングと30以上の衛星をもつこの惑星を再び訪れることが強く求められてきた。この要求に応えるべく、NASAとヨーロッパ宇宙機関(ESA)は共同して、1997年10月15日にケプカナビナルから土星探査機カッシーニ・ホイヘンスを打ち上げた。Nature12月8日号では、ホイヘンス突入機による土星最大の衛星タイタンへの大気中降下とそれに続く衛星表面への着地についてのあらましが述べられている¹。さらに、搭載されている6つの計測機器によって得られた最初の成果も掲載されている²⁻⁷。これらのデータは、解析の非常に初期の段階ではあっても、得るところがとて多く、好奇心をそそる謎も生まれている。

この段階に達するには、カッシーニ・ホイヘンス・ミッションはきわめて多くの政治的・技術的な難題を何よりも先に乗り越えなければならなかった。土星探査に必要なハードウェア、つまり周回機と少なくとも1機の大気突入機は1つの宇宙機関のもつ資力を超えており、新しい形の国際協力が求められた。そこでNASAは、土星系全体を調査するためのさまざまな計測機器を搭載するカッシーニ周回機(土星の月のうち4つを発見した天文学者ジョバンニ・ドメニコ・カッシーニにちなんで命名された)を製作し、一方でESAは、タイタンの大気に入り、表面に向かって降下するホイヘンス突入機(タイタンを発見したオランダの物理・天文学者クリスティアーン・ホイヘンスにちなんで命名された)を製作

した。NASAとESA双方の科学者と技術者がプロジェクトのすべての段階に参加し、周回機と突入機の両方に計測機器を提供した。

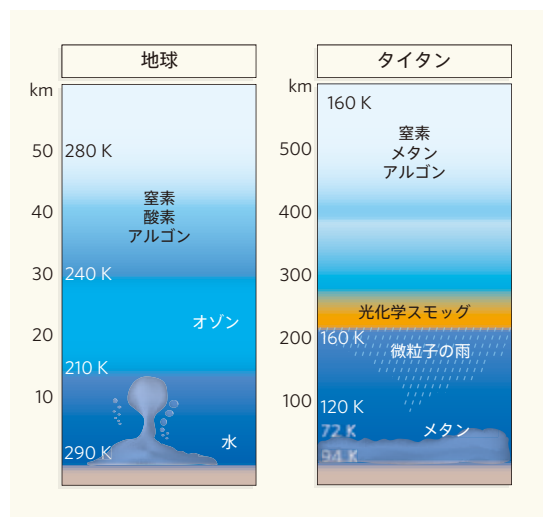
この大胆な決断は輝かしい成功をおさめ、土星探査機カッシーニ・ホイヘンスは7年間の飛行の後、土星の周回軌道へ投入され、その後2004年12月25日にカッシーニはホイヘンスを放出した。ホイヘンスは2005年1月14日にタイタンの大気に突入、続いてパラシュートを開き、2時間27分かけて衛星表面へと降下した。表面に到着後、カッシーニと地球を結ぶアンテナ網を介して、ホイヘンスはさらに69分間にわたってデータをドイツ・ダルムシュタットにあるヨーロッパ衛星運用管制センターに送信した。これらは、太陽から地球までの距離より10倍も太陽から離れた場所にある、衛星の凍った表面から送られた最初の信号である。そのとき待機していた科学者や技術者の反応は、木星の衛星を発見したときのガリレオの気持ちを想像しようとした際に、ホイヘンス自身が用いた次の言葉でよく表される。「少なからぬ歓喜」。

しかし、なぜタイタンなのか。タイタンは太陽から非常に遠いため、形成のきわめて初期段階で凍結したが、将来太陽が年老いて赤色巨星となりタイタンを融かしてしまうまで、今の状態のままではいるだろう。タイタンは水星よりも大きく、地球よりも10倍も厚い窒素を主とした大気をもつ。それは十分重く、かつ寒冷な世界である(図1)。きわめて温度が低いため、水は凍ったままで、水蒸気でさえ大気中に存在しない。対照的に、火星、地球、金星などの内惑星はあたたかく、水蒸気に活性があり、炭素化合物は急速に酸化される。

酸素の供給源としての水がないために、タイタンでは数十億年の間、原始的で水素の豊富な状態が続いたと考えられる。炭素を含む主要な気体が二酸化炭素ではなくメタン (CH_4) である、という事実がその証拠である。この大気では、光化学反応によって有機物スモッグの厚い層ができていて、可視光の波長ではタイタンの表面をみることはできない。ホイヘンスに搭載された大気構造測定装置 (HASI) によって測定されたタイタンの表面温度は -179°C であり²、この温度では液体メタンが湖や川として存在すると考えられる。さらに、この風変わりできわめて燃えやすい世界から、地球の形成初期の隠された歴史を明らかにするさまざまな知識が得られる。

タイタン大気の基本的な物理特性は、ホイヘンスが降下している間に、HASI とドップラー風速測定によって計測された。ドップラー風速測定によって、タイタン大気の低空では風がおおむねタイタンの自転方向に吹いており、高度約 120 キロメートルでは秒速 120 メートル (430kmh^{-1}) に達することが確かめられた³。この「スーパーローテーション」は金星大気でもみられ、地球からのタイタン観測と理論モデル⁸ 双方の裏づけとなる。タイタン表面の風は、逆に非常に弱く、秒速約 1 メートル (3.6kmh^{-1}) 以下であることが HASI によってわかった³。この観測結果から提起される難問は、このようなそよ風でもタイタン表面でみられる地形的特徴を説明できるのか、それとも強い突風が必要なのかということである。

ホイヘンスのエアロゾル収集装置・加熱装置 (ACP)⁴ は、降下中にタイタン大気中のエアロゾル、および浮遊する液体粒子や固体粒子を捕獲して加熱し、その排出物はガスクロマトグラフ・質量分析器 (GCMS)⁵ に送られて分析された。最初の分析から得られた証拠により、窒素を含む有機化合物の存在が示されており、これにはアミノ基、イミノ基、ニトリル基が含まれている可能性がある (存在している化合物を正確に確かめるため、さらに進んだ分析が行われている)。このようなエアロゾルは、有機物の雨のようなものとしてタイタン表面に絶えず降り注いでいるはずであり、それは全球を覆う層を作り、層の厚さは 1 キロメートル以上になっていると考えられる⁹。これは、ACP から得られた情報を使って、表面上で生成される可能性のあるさらに別の化合物を予測できることを意味する。おそらく、タイタン表面の赤外線画像にみられる暗い斑は、比較的新しい堆積物だろう¹⁰。この現象によって大気中のメタンが除かれると考えられる。実際、何らかの (まだ見つかっていない) 供給源から連続的にせよ、一時的にせよ供給されなければ、ほんの 1000 万 ~ 2000 万年でタイタンの大気中からメタンは完全に消失してしまうかもしれない。



NASA

図1 地球とタイタンの大気の比較。ホイヘンス突入機の降下によって、土星の衛星タイタンの大気に関する研究が初めて可能になり、地球の大気との驚くほどの類似点とはっきりとした相違点が見えてきた。双方の大気は窒素が主だが、タイタンではその温度の低さから、大気中に含まれる炭素を含む気体は二酸化炭素 (345ppm しか存在しない) ではなく、メタン (全体の 1.6%) である。メタンにかかわる光化学反応は大気中層にスモッグを作り、メタン有機物の雨と窒素を含むエアロゾルがタイタン表面に絶え間なく降り注ぎ、広大な河川網によってできた地球に似た景観を形成する。放射崩壊によってできたアルゴン (^{40}Ar) は、地球大気ではその 1% を構成するが、タイタンではほとんど存在しない (たったの 43ppm)。原始的なアルゴン (^{36}Ar) はさらに少なく、大気中の窒素が窒素分子ではなくアンモニアのような化合物の形でもたらされたにちがいないことを示している。

ホイヘンスに搭載されたいくつかの計測機器によって得られた結果から、地球上の水で起きているものと似た相変化サイクルがメタンに影響を与えていると推測される。GCMS と降下カメラ / スペクトル放射計 (DISR)⁶ の両方によって、大気の低高度領域でメタンのもやが検出された。また、地表科学パッケージによって着陸地点の地面は湿った砂と同じくらいのかたさで、おそらく氷の細片、凝結したエアロゾルおよび少量の液体の混合物でできていることがわかった。この少量の液体は、ホイヘンスが着地した後、GCMS によって検出されたメタンの信号が急に強くなったことから、凝縮したメタンであると特定された。この強いレベルの信号は、残りの 69 分間のカッシーニ周回機との通信中も持続した⁵。

このことから、タイタンの雨は主にメタンであろうと思われる。しかし、風変わりな物質が作り出したという事実にもかかわらず、ホイヘンス着地点近くの景観は地球に非常に似ており、DISR が撮影したすばらしい画像によって、周囲の地形に刻まれた、非常にはっきりとした輪郭をもつ流路系の存在が明らかになった (図2)。メ

タンの雨と表面下の泉が組み合わさって、厚い氷でできた岩盤を削り、このような河川網ができたにちがいない。

大気中に窒素が豊富に存在することは、タイタンと地球に共通したもう1つの特徴である。しかしながら、地球大気中の存在量と比べると、タイタンでは窒素の軽い同位体 ^{14}N が枯渇しており、これはタイタンが形成されてから今までに、現在大気中に存在している量のほぼ5倍が流出したことを示している⁵。(宇宙への流失は、ある種の同位体が選択的に除去される唯一の妥当な経路であり、火星で観測されている¹¹。)メタン中に存在する炭素はこのような異常な同位体比を示していない。これは、タイタンでメタンが継続して補充されていることを示すさらなる証拠である。

メタンが補充されるために考えられる経路の1つには、タイタン内部から物質を放出する低温火山か、またはこれに似たメカニズムがある。タイタン大気中にアルゴンの同位体 ^{40}Ar が発見されたことは、この可能性を裏づけるものである。 ^{40}Ar の起源は放射性カリウムの崩壊だけであり、カリウムは大部分がタイタンの氷と水でできたマントルの下にある岩石中に存在しているはずである。対照的に、始原的な同位体 ^{36}Ar は大気中にごくわずかししか含まれていない。この事実から、タイタン形成時の状況に関する重要な手がかりが得られる。つまり、窒素はアンモニアのような化合物の混合物としてタイタンにもたらされたことを示しているのだ(実際に地球にそれが来たように)。単純な窒素分子 N_2 は 45K (-228°C) 以下の温度では、タイタンを形成した氷の微惑星のようなものにのみ捕獲され、このような温度では

周囲の ^{36}Ar の大部分も捕獲される。もっと高い温度では、アンモニアのような化合物は捕獲されるが、始原的なアルゴンは捕獲されない。

しかし、タイタン大気から失われているのは始原的な希ガスだけではない。厚い窒素大気をもつ世界では、炭素の量はタイタンで実際に見つかっているよりも4~20倍あるはずで、炭素もどこかに隠されているのだ。(この範囲は自然界の他の場所でわかっている割合から算出したもので、最小値は太陽中の存在比から、最大値は彗星と内惑星で見いだされたものである^{12,13}。)地球では、失われた炭素は地殻中の膨大な炭酸塩岩中に見つかっている。タイタンでは、炭素の一部はエアロゾルの太古の堆積物として存在し、かつて次々とタイタンに新しい表面を作った衝突クレーターを隠している氷の層の下に埋もれている可能性がある。しかし、メタンの供給源が必要なことから、炭素の膨大な堆積物がタイタンの深部に、おそらくずっと昔にタイタンのマントル中に作られたメタンの形で、今も隔離されていると思われる。このメタンは、タイタンの地殻の下にあるとされている海の底で、かごのような構造をした水分子(クラスレート・ハイドレートとして知られる形)の中に今は保持されているのかもしれない。あるいは、もともとの形(有機化合物、二酸化炭素、炭素粒)で炭素が保持されている貯蔵庫が表面のはるか下に存在し、そこでは、今なおメタンに転換されているかもしれない⁵。

失われたメタンの謎は解かれるべき多くの問題の1つに過ぎない。ホイヘンスのデータがもたらした豊かな収穫物が解析された後も、タイタンは多くのことを私たちに語ってくれるであろう。ホイヘンスが着地した地域は、かつてヨーロッパ大陸とアメリカ大陸の間にあったと考えられていた架空の島にちなんで「アンティリア」と名づけられた。このシンボルはカッシーニ-ホイヘンス計画の国際的な性格を表し、激しく凍結した初期地球の模倣物に向けて飛び立つ、次なるミッションの刺激となるはずである。

ハワイ大学天文学研究所(米)、Tobias Owen

1. Lebreton, J.-P. et al. *Nature* **438**, 758-764 (2005).
2. Fulchignoni, M. et al. *Nature* **438**, 785-791 (2005).
3. Bird, M. K. et al. *Nature* **438**, 800-802 (2005).
4. Israel, G. et al. *Nature* **438**, 796-799 (2005).
5. Niemann, H. B. et al. *Nature* **438**, 779-784 (2005).
6. Tomasko, M. G. et al. *Nature* **438**, 765-778 (2005).
7. Zarnecki, J. C. et al. *Nature* **438**, 792-795 (2005).
8. Hourdin, F. et al. *Icarus* **117**, 358-374 (1995).
9. Strobel, D. F. *Planet. Space Sci.* **30**, 833-838 (1982).
10. Porco, C. C. et al. *Nature* **434**, 159-168 (2005).
11. McElroy, M. B. et al. *J. Geophys. Res.* **82**, 4379-4388 (1977).
12. Owen, T. & Bar-Nun, A. *Icarus* **116**, 215-226 (1995).
13. Grevesse, N. et al. *EAS Publ. Ser.* **9**, 1 (2005).

ESA/NASA/JPL/UNIV. ARIZONA

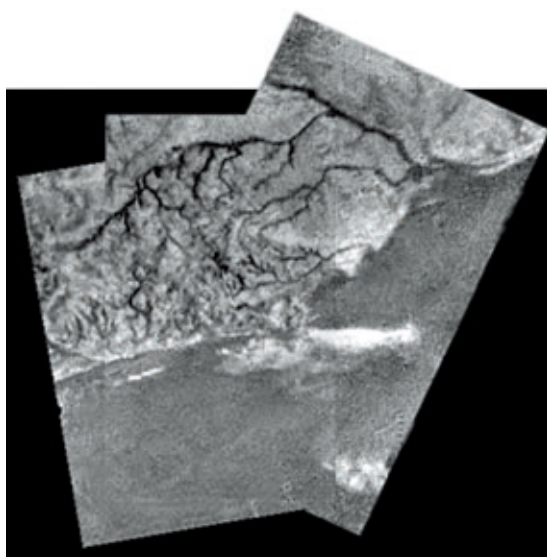


図2 メタンの川。ホイヘンス突入機が高度16kmから写したタイタン表面の3枚の連続写真は、1点に集まる河川系を明らかにした。

Property rights go East

中国における知的財産権

Nature Vol.438(420-421)/ 24 November 2005

David Cyranoski

中国の特許権に対する取り組みが大きな転換期を迎えている。David Cyranoski が報告する。

北京や上海の街を歩いていると、海賊版 DVD や偽物のロレックス時計を売る店を何軒も目にする。これを見て多くの旅行者は、特許権が中国国内でまったく保護されていないと単純に思い込む。

しかしあまり知られていないことだが、その舞台裏で中国は、知的財産保護への取り組みを急速に強化してきているとみる知的財産権の専門家が增多している。そうした専門家たちは、特許権侵害を恐れて中国への進出を避けてきた研究集約型産業の各企業が、中国国内で急増中の、適切に保護された数多くの発明を利用するチャンスを実は逃がしているのかもしれないと指摘する。

北京大学分子医学研究所の開設を記念して、2005 年 10 月 17～18 日に開催されたフォーラムでは、これらの論点が大きく取り上げられた。知的財産研究所（ロンドン）の会長 Ian Harvey は、会場を埋めつくした研究者や製薬会社関係者を前に、中国の知的財産保護の状況について意外なほど楽観的な報告を行った。

「法的インフラは世界でもトップクラスだ」と話す Harvey は、ブリティッシュ・テクノロジー・グループの前会長で、30 年前から中国を訪れている。北京にある国家知識産権局（特許庁）は、「良質な特許をリーズナブルなコ

スト」で付与すると彼はいう。中国の知的財産基本法は、1984 年に制定されて以来、数回の改正を経ている。また、国家知識産権局では、2001 年の世界貿易機関（WTO）加盟以降、数百人の審査官を新規採用している。

特許付与件数の増加

中国が知的財産保護に真剣に取り組むようになったことには、十分な理由がある。中国国内で自分たちが取得する特許件数が増えているのだ。Harvey のデータによれば、2002 年の中国の大学からの特許出願数は米国のそれに匹敵し、英国の 6 倍にもなる（グラフ参照）。出願特許の内容にはバラツキがみられるのかもしれないが、特許出願が活発になっているという事実は否定できない。香港大学の副学長 Paul Tam は、中国の知的財産重視の傾向は大学での研究活動のあり方を変えつつあるとし、「特許が研究レベルの証だと考えられるようになってきている」と話す。

「中国人民が数千件の特許を所有しているという事実ほど、特許の保護にとってよい状況はない」。こう語るのは、製薬メーカー Wyeth 社（米国マサチューセッツ州）の心臓血管・代謝疾患部門の責任者である Robert Schaub だ。先のフォーラムに出席した数多くの製薬会社の関係者にと

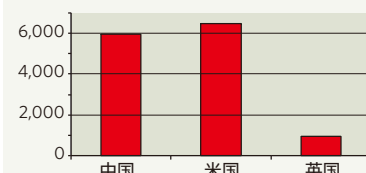
もに、Schaub も中国での共同研究の機会を積極的に探っている。

中国の特許制度における弱点は、法の執行にある。この問題が未解決であることは Harvey も認識していて、北京や上海といった沿岸部の都市では裁判所による特許法の執行が行われているが、内陸部の一部の地域ではそれが行われていないという極めて対照的な状況が存在するのだという。しかし特許侵害訴訟を審理する裁判所の数は増えており、迅速に判決を得られることが多くなっている。訴訟費用も低めである。Harvey によると、訴訟は通常 1 年未満で結審する。これに対してドイツでは 18 か月、英国では 2 年、米国では 5～6 年を要している。

特許法の執行は実効性をあげ始めている、と北京に本拠を置く法律事務所 Liu, Shen & Associates のパートナー Jianyang Yu はいう。特許侵害訴訟の提訴要件となる最低損害額が 2004 年の最高人民法院判決によって引き下げられ、訴訟を起こしやすくなった。2004 年に中国国内の裁判所で審理された特許侵害訴訟の数は 2,500 件を超え、2003 年比で 20% 増となった。「訴訟件数の伸びは、法制度に対する信頼の高まりを表している」と Yu は話す。

それでも、まだ多くの企業は納得していない。中国で特許出願をする偽物作りに情報を漏らすことになりかねないとして、一部の企業が中国国内で特許出願をしない状況を指摘するのは、Taylor Wessing 法律事務所（上海）に所属する弁護士

大学の国内特許出願状況（2002年）



Ralph Koppitz だ。彼は以前、欧州商工会議所の中国事務所知の財産部に勤務していた。

特許保護制度が施行されると、こうした戦略は大きな負担となって跳ね返ってくる危険性があると Koppitz は説明する。「多くの企業は、いざ特許侵害訴訟を提起しようとして、中国国内で特許を得ていなかったことに気づくのだ」。

このような見方に懐疑的な論者は、ファイザー社の勃起不全治療薬「バイアグラ」を例に挙げて、中国の特許保護に対する手ぬるさを指摘することがある。「バイアグラ」の特許は中国国内の裁判所で無効とされ、現在控訴中である。「バイアグラ」はもともと心臓血管疾患の治療薬として特許を付与されたものだが、この訴訟ではファイザー社が同剤の二次用途に対する保護を求めているために問題が複雑化している、と NuPharm Intellectual Property（英国ホームズチャペル）に所属する特許専門の弁護士である Steve Smith は指摘する。

少ない紛争

Smith は、中国における大規模な知的財産権侵害に対する不安について、製薬のような科学主導型産業の企業にとって「現実問題というよりは意識の問題なのだと思う。具体例をたずねても、実際に挙げられる人はいない」と話す。

製薬業界では、特許をめぐる紛争はわずかしきみられない。これに対し、他の業界では紛争の数が増えている。これについて Yu は、新薬開発や臨床試験のコストが非常に高いため、初めから裁判に持ち込まれても勝てるような薬剤を使ったビジネスを考える人がほとんどだからだと説明する。「他人の特許を侵害する可能性のあるような会社に 1,000 万ドル

中国におけるバイアグラ（ファイザー社）などの薬剤のコピー品生産販売は、まもなく衰退する可能性があるといわれている。

（約 12 億円）を投資する人がいるだろうか。十中八九いないだろう」。

これに対して中国における商標保護の問題や偽医薬品も含む工業製品の偽造は、未解決の重大問題である。地方都市の裁判所は、地元の偽物メーカーに制裁を発動しないと Koppitz はいう。しかし、研究に基づく新たなアイデアは有効に保護できるため、それに気づいたハイテク企業が中国への委託研究を増やしている。

このようなトレンドの恩恵を受けている企業の 1 つが WuXi PharmaTech 社（上海）だ。同社は 2001 年に創業したばかりだが、すでに世界の製薬会社のトップ 20 社のうち、18 社の薬剤を受託生産している。

アイデアの盗用が大きな脅威であることは、同社社長の Ge Li も認めている。そこで WuXi 社の工場では、厳重なセキュリティ体制が敷かれている。相手方企業から受け取った資料についてはデジタルコピーを作成し、公証人に認証してもらい、特許紛争になったときにその文書を先例とできるようにしている。「顧客企業は、私たちの会社を訪れると安心して帰っていく」と Li はいう。

しかし Li の最強の武器は、不正行為を行う従業員に対して、法的制度に訴えることも辞さない点にある。もし社内で知的財産と関係するものを盗む者がいれば、「その責任を追及する。知的財産の保護は、我が社にとっての生命線だ」。

このような献身的な姿勢が、研究指向型の企業を納得させている。2004 年 11 月、ロシュ社が中国での開発部門の開設を発表し、2005 年はノバルティス社がそれに続いた。

今はしずくのような小さな流れも、中国の研究施設がみせている科学的技能の向上と、中国の製薬市場の拡大（2004 年には前年比 28% 増の 200 億ドル市場に成長、世界第 7 位となった）に企業が呼応するようになれば、まもなく洪水のような流れとなる可能性がある。また、中国人研究者やエンジニアによる米国特許の出願件数は、2002 年に約 600 件だったものが、昨年は 1800 件となった。中国をより真剣に考えるときがきていると Harvey は断言する。そして、「中国は知的財産の主要国の 1 つになるだろう。場合によっては最強国となる可能性もある」と話した。 ■

半導体の精密な製造技術を健康医療分野にも応用したい

品田賢宏

半導体デバイスの超小型化に伴って、製品ごとのばらつきを抑えながら、歩どまりや性能を向上させることが課題になっている。早稲田大学先端科学・健康医療融合研究機構の品田賢宏講師は、半導体のドーパント原子（不純物原子）を規則的に配列することで、この問題を解決する糸口を見つけ、*Nature*2005年10月20日号に発表した。品田講師にこの研究の内容や今後の展開についてうかがった。



品田賢宏（しなだ・たかひろ）／早稲田大学生命医療工学研究所講師、先端科学・健康医療融合研究機構・ナノ・IT医療ドメインメンバー。工学博士。1973年北海道生まれ。1994年に早稲田大学理工学部電子通信学科を卒業、2000年、同大学大学院理工学研究科博士課程修了。同大学理工学部助手。2001年、ドイツのルール大学固体物理研究所に客員研究員として短期留学。2004年から現職。

早稲田大学理工学部電子通信学科の大泊巖教授のもとで研究。2000年、単一イオン注入法によって半導体のトランジスタ上にドーパント原子を1つずつ照射し、半導体の電流のゆらぎを減らすことに成功¹。その後、ナノサイズの半導体デバイスにもドーパント原子を注入できる技術を開発した²。その技術をもとにナノサイズの半導体にドーパント原子を規則的に配列、閾値電圧の低下を証明した³。

*1 ドーパント原子

半導体などに電気伝導性などの物性を変えるために少量加えられる、基盤結晶とは別の原子。不純物原子ともいわれる。

*2 閾値（しきいち）電圧

2つの電極間を電流が流れ始めるとき、つまりスイッチをオンするための最小の電圧。

*3 量子コンピュータ

超高速のコンピュータで、量子力学的な重ね合わせの状態を用いて超並列計算を実現する。

ドーパント原子の数と位置の両方を制御したのがポイント

Nature Digest — トランジスタ上のドーパント原子^{*1}の個数と位置をコントロールした半導体を世界で初めて作製されましたが、これにはどのような意味があるのでしょうか？

品田 — 半導体は固体結晶のトランジスタに異なる種類のドーパント原子を入れて、電流の流れを制御します。今回発表した半導体技術のポイントは、そのドーパント原子を規則的に並べたこと、そしてそれによる半導体の電気的特性の向上を証明したことです。

具体的には、シリコン結晶にドーパント原子としてリン原子を規則的に並べた半導体を製作し、ドーパント原子がランダムに分布した半導体と閾値（しきいち）電圧^{*2}を比べました。閾値電圧は、電気的なスイッチのオンオフを決める電圧です。予想通り、規則的に並んでいるほうがデバイスごとのばらつきが少なく、しかも平均で-0.2V少ない電圧でスイッチが入るとわかったのです。これは均一なクロール電位ができて電子が流れやすくなったからだと推測しています。

半導体の超小型化には半導体を使う製品のサイズを小さくできるだけでなく、消費電力が低下し、動作が速くなる利点があります。しかし、小型化にあたって、デバイスあたりのドーパント原子がランダムに分布していると、性能がばらつきます。現在使われているイオン注入装置で照射されたドーパント原子は、微細にみると均一ではありません。それを解決するために、1個ずつ決めた場所に打ち込む「単一イオン注入法」を用い、規則配列にしたわけです。

ND — 単一イオン注入法という技術は、特殊なものなのでしょうか？

品田 — 単一イオン注入法は1993年に恩師の早稲田大学の太泊巖教授が発案され、その最初の装置は94年にできました。その後、私も多くの先輩や後輩たちとともに試作を重ね、2000年にほぼ完成といえるところまで来ました。当初の予想より時間がかかり、結果をみずに卒業された先輩たちもたくさんいます。

ND — 早稲田大学理工学部にある、世界唯一のこの装置はどのように半導体上にイオンを打ち込むのですか？

品田 — イオンの塊である集束イオンビームを小さな穴の上で一定方向に往復させると、ある割合で穴からイオンが出てきます。穴の大きさや集束イオンビームの電流量、チョッピングのスピードをうまく調節することで、集束イオンビームを約100回振るとイオンを1個切り出せるようになりました。正確に打っているかは、原子間力顕微鏡で確認します。究極的には、ドー

パント原子が1個しか入っていないナノサイズの半導体を作りたい。さらには、実現がむずかしいとされるシリコン型の固体量子コンピュータ^{*3}につながればと期待しています。

DNA チップやタンパク質チップへの応用を研究中

ND — 実用化にはどのような課題がありますか？

品田 — まずはイオンを注入できるサイズです。市販のトランジスタの寸法は約40nm四方。今回作った半導体は幅が300nm、原子の間隔も100nmですから、まだまだ小型化が必要です。現在、10nm幅に配列できるよう、装置を改造し始めていますが、ばらつきなく打てているかを確認するのに時間がかかりそうです。もう1つは半導体の製造にかかる時間です。10億個のトランジスタに1個ずつ照射する場合を試算すると、装置をフル稼働しても10日間。ですから、量産ではなく、この技術でしかできない半導体の製造を目指すのが1つの方向です。一方、微細加工技術を駆使すれば、一般の半導体でもドーパント原子の位置の制御はできるかもしれません。規則的に並べる以外にも、たとえば片側に偏在させると特性が変わるというような製造指針になる研究も進めたいと思います。また、今回の研究ではシリコンにリン原子を入れています。ドーパント原子としてはほかに15種類の原子が使えます。ドーパント原子の個数と位置、さらには元素の多様性を生かしたいですね。

ND — 2004年7月からこの技術を健康医療分野に生かすべく、研究を進めていらっしゃいますね。

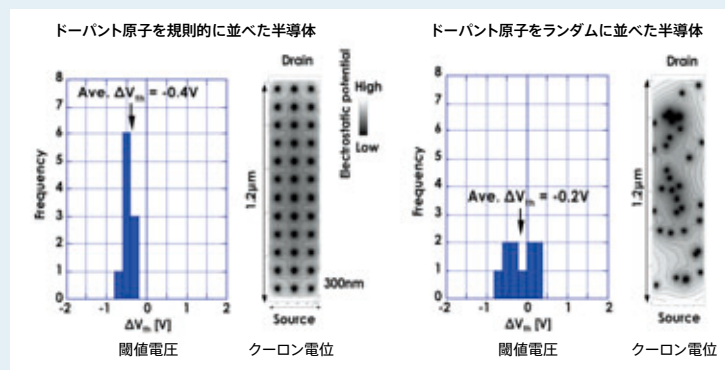
品田 — DNAやタンパク質、細胞を規則的に配列する空間を作るべく、まさに勉強を始めたところです。たとえばチップの表面の物性を変えて、ある性質をもつタンパク分子やDNAをくっつきやすくするのです。この機構では医師や生化学者など、さまざまなバックグラウンドをもった若手研究者が集まり、接点を探っています。ただ、最先端科学との融合を目標にするとはいえ、私自身は研究のトレンドに関係なく、半導体に軸足を置いて研究していきます。

与えられたテーマと環境の中でベストを尽くす

ND — 早稲田大学理工学部電気通信学科に入学された理由は？

品田 — 北海道生まれで、小学生から14年間アイスホッケーをしていました。小6のときに試合中に腹部を強打し、審判をしていたスポーツドクターに治療してもらったのを契機に、スポーツドクターを目指しました。ところが、高校から大学推薦の話があって。物理や化学は好きだったし、そのドクターにもチャンスだといわれ、入学しました。初心とは変わりましたが、現在のポジションを通じて、健康医療分野とかかわりたい。大泊教授の教室は講義が魅力だったのと同時に、厳しそうだから入室しました。単一イオン注入法の装置を発明された年に入ったのはめぐり合わせですね。

ND — 学部から機構へポジションが変わっても研究生生活を楽しんでいらっしゃいますが、その秘訣は何でしょう？



ドーパント原子を規則的に並べた場合（左）とランダムに並べた従来の場合（右）の、それぞれの閾値電圧とクーロン電位を示す。左では、閾値電圧 (V_{th}) が $-1 \sim 0V$ の間にそろい、ばらつきが少ない。さらに右に比べて $0.2V$ 少ない。クーロン電位の等電位線図では、暗いところが電位の低い部分で、ドーパント原子が規則的に配列しているほうが全体的に黒っぽく、より低い電圧で電流が流れることがわかる。

品田 — 性格かもしれませんが、与えられたテーマと環境で楽しんで研究し、ベストを尽くして発見を形にしてきました。たとえば今回の研究でも、当初の目標であったドーパント原子の数のばらつきを抑えても半導体の性能にはばらつきがあり、そこからドーパント原子の位置も関係すると考えついたのです。そこで今度は自らの判断で、100nm 間隔で照射できるよう装置を改良しました。

ND — 今後はどのような方向に進みたいと考えていらっしゃいますか？

品田 — 研究を地道に続けるのも素晴らしいのですが、私自身はいろいろな角度から物をみてみたい。ここでは若手研究者に経営の素養を身につけさせる方針があり、現在早稲田大学のビジネススクールで MBA（経営学修士）の取得を目指して勉強中です。経済や会計管理もおもしろいですね。将来は研究一筋にはこだわっていません。ただ、どういうキャリアパスを経るにせよ、自分の経験を後進に伝えたいとは考えています。

ND — 学生や若い研究者へのアドバイスをお願いします。

品田 — 研究生生活の最初は教授から仕事を与えられるケースが多いのですが、いわれたからしかたなくやるのではなく、チャンスととらえてほしい。研究は泥臭い仕事の連続で、楽しくやらないと続きません。そして最後までやること。原理的にあるいは技術的にむずかしいとわかったら、少し目標を下げ、自分がいいと考えた方向自体は変えないほうがいい。私も2年間ほとんど成果が出ずに苦しんだ経験がありますが、粘り強さで乗り越えられたと思っています。

ND — ありがとうございます。

聞き手は小島あゆみ（サイエンスライター）。

- Shinada, T. et al. *Jpn. J. Appl. Phys.* **39**, L265-L268 (2000)
- Shinada, T. et al. *Jpn. J. Appl. Phys.* **2**, 41(4A), L287-290 (2002)
- Shinada, T. et al. *Nature* **437**, 1128-1131 (2005)

NEWS

Published online: 2 December 2005; | doi:10.1038/news051128-14

Beat Alzheimer's with exercise

Study shows how exertion keeps brain cells healthy in mice.

<http://www.nature.com/news/2005/051128/full/051128-14.html>

Charlotte Schubert



- Exercise helps to flush a toxic molecule from the brain and causes a beneficial one to move in and protect nerve cells, research on mice shows. The discovery might help to explain why staying fit and keeping mentally active seem to **fend off** Alzheimer's disease in humans.
- "Our experiments support the idea that exercise is a good approach to all types of problems in the brain and that a **sedentary** lifestyle is a risk factor," says Ignacio Torres-Aleman, who led the study at the Cajal Institute in Madrid.
- Torres-Aleman and his colleagues were **intrigued** by previous studies showing that exercise slows mental decline in mice engineered to **mimic** Alzheimer's disease. They **set out** to discover the reason.
- They found that exercise doubled the levels of a protein that helps to flush **molecules** thought to underlie **Alzheimer's disease** out of the mice's brains and into their blood. The protein, called megalin, ejects a potentially destructive protein called amyloid-beta. In Alzheimer's patients, amyloid-beta accumulates in clumps throughout the brain.
- Megalín also binds to a beneficial molecule in the blood, called **insulin-like growth factor**, and transports it to the brain. This growth factor is perhaps best known for bulking up muscles after exercise, but it also helps to keep nerve cells healthy.
- To reveal the tricks of megalín, the researchers manipulated levels of the protein in the brain of mice with Alzheimer's-like disease. Artificially boosting megalín partly improved mental performance, as measured in a **maze test**.
- Levels of megalín decline with age in normal mice. The researchers suggest that this hints at a molecular link between ageing and **neurodegenerative disease**.
- The findings appear in the *Journal of Neuroscience*¹. But whether they will hold true **remains to be seen**. Paul Adlard, a neuroscientist at the University of California, Irvine, has looked at the brains of mice in a different model of Alzheimer's disease. His data, although only preliminary, suggest that exercise does not boost levels of the protective insulin-like growth factor.
- Adlard says that the findings of Torres-Aleman and his colleagues are "**tantalizing**", but that more study is needed.

Bright future

- Others are more optimistic. "It's a new idea," says Mark Mattson, a researcher at the National Institute on Aging in Baltimore, Maryland. The findings, he says, open the door to developing drugs that could boost levels of the megalín shuttle and help keep the brain healthy.
- "It's initial data but I think it has potential to be very **relevant** to people," he adds.
- Mattson notes that the link between exercise and brain health is still not certain in humans, although the evidence is mounting up. Other research has found that staying mentally **agile** or even maintaining a slim **physique** may help to protect against Alzheimer's and other brain disorders.

References

1. Carro E., et al. *The Journal of Neuroscience*, **25**, 10884 - 10893 (2005).

How to read?

news@nature.com の記事は、最初のパラグラフ（段落）に話の大筋が示されている。初めに大筋（結論）を示して、順次、具体的に説明するのが英語論文のスタイルだが、それがここでも生きているのだ。1つのパラグラフの中でも、同じ構造をとることがある。たとえば第4パラグラフ。第1文が大筋の説明で、第2、第3文が具体的な説明だ。同じ言葉の繰り返しを避けるため、第1文の「flush」が第2文では「eject」になっているが、意味は同じようなものだ。すべての言葉の意味がわからなくても、このような構造を頭に入れておけば、話の大筋はつかめる。

NEWS

参考訳

Published online: 2 December 2005; | doi:10.1038/news051128-14

運動すればアルツハイマー病が防げる

身体運動で脳細胞の健康を保てることがマウスを使った実験で明らかになった。

<http://www.nature.com/news/2005/051128/full/051128-14.html>

シャルロット・シューベルト

1. 身体の運動は、有害な分子を脳から取り除き、有益な分子を脳に取り入れて、神経細胞を守るうえで役立つのだそうだ。今回の発見により、人間が心身両面の健康を保てば、アルツハイマー病の予防になると考えられる理由の解明に近づけるかもしれない。
2. 「身体運動が、すべてのタイプの脳疾患に対する良い解決法であり、ほとんど身体を動かさないライフスタイルは危険因子の1つであることが、我々の実験によって裏づけられた。」こう語るのは、カハール研究所（スペイン・マドリッド）で、今回の研究を指揮した Ignacio Torres-Aleman だ。
3. 以前、アルツハイマー病に似た症状を示すように作られたマウスを使った実験において、身体運動で知能の低下に歯止めがかかるという結果が発表されていた。Torres-Aleman たちは、これに興味を感じ、その理由を見つけるための研究を始めた。
4. その結果、アルツハイマー病の一因と考えられている分子をマウスの脳から血流中に排出するうえで役立つタンパク質の濃度が、身体運動によって倍増することがわかった。このタンパク質とは「メガリン」のことで、有害な作用を及ぼしうるタンパク質（アミロイドベータ）を脳から排出する作用がある。アルツハイマー病患者の脳内では、アミロイドベータの塊が、いたるところに沈着している。
5. また、メガリンは、血液中の有益な分子（インスリン様増殖因子）とも結合し、この分子を脳内に運び込む。おそらく、インスリン様増殖因子は、運動による筋肉増強において果たす作用で最もよく知られていると思われるが、神経細胞の健康を保つうえでも役立つのだ。
6. Torres-Aleman たちは、メガリンの作用を明らかにするため、アルツハイマー病に似た病気を持つマウスの脳内でのメガリンの濃度を操作した。メガリン濃度を人工的に引き上げて、迷路テストを行ったところ、マウスの知能が部分的に改善することがわかった。
7. 正常なマウスの場合、メガリン濃度は加齢によって低下する。Torres-Aleman たちは、ここに、老化と神経変性疾患の分子レベルの結びつきが示唆されている、と記している。
8. 以上の研究成果は、*Journal of Neuroscience* に発表された¹。しかし、この仮説が正しいかどうかは、今後の研究にかかっている。カリフォルニア大学アーバイン校（米国）で神経科学を研究する Paul Adlard は、別のアルツハイマー病モデルのマウスの脳を調べた。彼の実験データは、まだ暫定的なものだが、脳を保護する作用のあるインスリン様増殖因子のレベルは、身体運動によっては増えないことが示されている。
9. Torres-Aleman たちの実験結果には「興味をそそられる」が、さらなる研究が必要だ、と Adlard は言う。
10. より楽観的な研究者もいる。「これは、新しい考え方だ。」こう語るのは、国立老化研究所（米国メリーランド州ボルチモア）で研究を進める Mark Mattson だ。Torres-Aleman たちの研究成果によって、メガリンによる物質輸送を活発化させ、脳の健康維持に役立つ新薬を開発する道が開かれた、と Mattson はいう。
11. 「まだ始まったばかりの研究によるデータだが、人間にとって非常に重要な意味をもつ可能性を秘めている。」(Mattson)
12. 人間における身体運動と脳の健康の関連性は、証拠が蓄積されてきているものの、明確にはなっていない、と Mattson は指摘する。別の研究では、頭の回転を保ち、あるいは、ほっそりとした体型を維持することが、アルツハイマー病を始めとする脳疾患を予防するうえで役立つ可能性が見出されている。

知力を高める

6. Torres-Aleman たちは、メガリンの作用を明らかにするため、アルツハイマー病に似た病気を持つマウスの脳内でのメガリンの濃度を操作した。メガリン濃度を人工的に引き上げて、迷路テストを行ったところ、マウス

Words and phrases

1. **fend off:** 抗生物質を「かわす」、害虫や病気、老化を「避ける」といった使い方がある。
2. **sedentary:** 「運動をしない」という意味で、癌、糖尿病などの病気、肥満、脳の機能との関係で典型的に使われる。
- 3,9. **intrigued by, tantalizing:** ともに「興味をそそられる」という意味。研究成果に他の研究者や関係者が興味をそそられたとか、興味をそそられて研究を始めた、という流れでよく出てくる。
3. **mimic:** 「まねる」という意味。ここでは、アルツハイマー病に似た症状を示すように作った実験用マウスということ。別の鳥の鳴きまねをする鳥、ホルモンの作用をまねる薬剤、大気の動きをまねたコンピュータシミュレーション、など数々の用例がある。
3. **set out:** 「(研究や実験)に着手する」というのが典型例。
4. **molecule:** 分子。分子生命科学でも物理科学でも登場する基礎概念。ここでは、タンパク質分子の意味。
8. **remain to be seen:** 「今はわからない」、「今後の研究に委ねられる」という意味で、研究成果の意義を説明する際によく使われる。
11. **relevant to:** 「～と関連する」が本来の訳だが、「～にとって適切な」、「～にとって意義深い」という意味になることもある。
12. **agile:** 「機敏な」という意味だが、ここは「mentally agile」で、「頭の回転が速い」という意味。
12. **physique:** 「体型、体格」のことで、肥満や糖尿病、人間の骨格化石の話に出てくる。

Science key words

4. **Alzheimer's disease:** アルツハイマー病
初老期の痴呆（認知症）の代表的なもの。1905 年、ドイツの病理学者アロイス・アルツハイマーが初めてこの病気を報告した。アルツハイマー病になると、短期記憶を失い、新しい情報の学習が困難になる。病気が進行すると、徘徊や多動傾向が見られ、昼夜逆転も生じる。混同が起き、最後には認識機能を完全に失ってしまう。患者の脳は全体的に萎縮し、大脳皮質に「老人斑」とよばれるβアミロイドが沈着し、糸くずのような「神経原繊維」が現れる。原因は不明で、治療法は確立していない。60 歳以上では、10 万人あたり 2000 人を超える有病率。
5. **insulin-like growth factor:** インスリン様増殖因子
インスリンと類似の活性をもつタンパク質として発見されたが、強い増殖因子作用があり、各種細胞の分化・増殖に重要な役割を果たす。
6. **maze test:** 迷路テスト
迷路を用いて動物の学習行動を探る心理学的実験方法。マウスなどに出発箱から迷路を通過して目標箱に向かわせ、学習を評価する。
7. **neurodegenerative disease:** 神経変性疾患
さまざまな神経が変性していく病気の総称。アルツハイマー病のほか、パーキンソン病、筋萎縮性側索硬化症(ALS)、ハンチントン舞蹈病、クロイツフェルト・ヤコブ病などがある。



1994年4月30日撮影。紫色のオーロラは、上層大気中の窒素原子が光っている色だ。白夜の季節の前後、夜中でも薄明が続くころによく見られる。しかし、光が弱いので肉眼では見えず、写真になって初めてその鮮やかな色がわかることも多い。

2000年4月4日撮影。太陽の極大期の影響で、この年はオーロラ現象が活発だった。オーロラの撮影を始めて以来、いつか鮮やかな赤いオーロラを撮りたいと思っていたのだが、10年間をかけてようやくめぐり会えた。この2日後には、北海道でもオーロラが観測された。



極北の夜空を彩るオーロラ

坂本昇久（自然写真家）

凍てついた極北の夜空を舞うオーロラ。ときに青く、ときに赤く、全天に広がる光の芸術だ。太陽は大量の電子と陽子を放射しており、それは「太陽風」とよばれる。オーロラの光は、太陽風が地球の磁場に捕らえられ、大気中の原子や分子と衝突することによって発せられる。地球上でオーロラが最もよく見える場所は、地磁気緯度にして65～70度のドーナツ状の地域で「オーロラ帯」とよばれる。北半球では、シベリアの北極海側からスカンジナビア半島の北、グリーンランドの南端、カナダ北部からアラスカの真ん中を通っている。

1991年8月、私はカナダからアラスカへ向かう旅の途中、初めてオーロラを見た。その神秘的な美しさに魅了されて写真を撮り始めるようになり、1年に数回、カナダのイエローナイフを訪れる生活が続いている。イエローナイフを拠点とするのは、オーロラの見える条件がいいだけでなく、そこに住む人々と波長が合って居心地がいいからだ。日本にいて夜空を見上げていると、居ても立ってもいられなくなることがある。気がつくと、極北行きのチケットを手に入れているのだ。今年もきっと、オーロラを屋根にして眠りにつくことだろう。