nature DIGEST

ISSN 1880-0556

日本語編集版
SEPTEMBER 2009
VOL. 06, NO. 9

9

科学ジャーナリズムの現在

www.nature.com/naturedigest

npg nature asia-pacific

研究者のインスピレーションを刺激し続ける

nature

*Nature*は、ご存知のように、さまざまセクションで構成されています。
論文はもちろん、*Nature*前半部分にあるEDITORIAL、NEWSなどからは、科学の現状や将来について、功績だけでなく問題点も含め、広い視点から情報・意見を知ることができます。また、専門分野外の研究から思いがけないヒントやアイディアを得られることもあるでしょう。*Nature*は、研究者を常にサポートし続けます。

EDITORIAL　鋭い視点で核心に迫る

*Nature*専属の記者・編集員が、話題となっている科学関連ニュースを鋭い洞察力で解説し、意見を述べています。時に社会に一石を投じ、問題を提起します。

NEWS　今、世界で何が起こっているのか－迅速かつ正確に伝える

世界各国に駐在する*Nature*特派員が、科学について、社会的側面、政治的側面、文化的側面から取材し、レポートしています。まさに"今"動いている世界の科学が見えてきます。

NEWS FEATURE　「最先端の科学」、「注目の人」が身近になる

1つのテーマを深く掘り下げ、自然科学だけでなく、社会、文化など、さまざまな分野の第一人者にインタビューし、あらゆる角度から分析します。取り上げるテーマも、研究成果にとどまらず、政策、注目の研究者など、多岐にわたっており、これまでとは違った視点で物事をとらえることができます。

NEWS & VIEWS　最新論文がよくわかる

*Nature*の掲載論文だけでなく、ほかのジャーナルに掲載された研究発表でも、非常に興味深く、注目に値すると思われるものを、編集部が精選し、その分野で活躍する一流の研究者に執筆を依頼しています。研究の背景、成果の功績はもちろんのこと、デメリットや問題点も指摘し、幅広い視点からわかりやすく解説しています。

nature DIGEST では、*Nature*前半部分に掲載の上記セクションの記事を日本語で取り上げています。

nature 定期購読なら、最先端の科学の進歩を見逃しません。

今なら、*Nature*定期購読新規お申し込みの方に、
*Nature Digest*1年分バックナンバー
(2008年7月号～2009年6月号)を進呈いたします。

「*Nature Digest* 1年分バックナンバー」付き
*Nature*新規定期購読お申し込みについて

www.naturejpn.com/nd-back

nature asia-pacific

nature DIGEST

volume 6 no.9 September

SCIENCE JOURNALISM

科学ジャーナリズムの現在

ILLUSTRATIONS BY J. FIELD

HIGHLIGHTS

02 vol. 460 no.7254, 7255, 7256, 7257

EDITORIAL

06 科学ジャーナリストは
チアリーダーか監視役か

07 アポロ計画と UNIX

NATURE NEWS

08 新型インフルエンザウイルスは
1918 年流行のものと似ている？

09 雨粒はどうやってできる？

SCIENCE JOURNALISM

NEWS FEATURE

10 ブログは学会・国際会議の敵か？
Geoff Brumfiel

ESSAY

13 科学ジャーナリズムの
「聖職者モデル」を超えて
Toby Murcott

15 科学ジャーナリズムの歴史的変遷
Boyce Rensberger

17 盛り上がるアラブ世界の科学ジャーナリズム
Nadia El-Awady

NEWS FEATURE

19 読み書きからナノファブリケーションまで
— 横浜市立サイエンスフロンティア高等学校
David Cyranoski

22 再定義されるケルビン
Nicola Jones

NEWS & VIEWS

26 砂の流れに現れる断続パターン
Detlef Lohse & Devaraj van der Meer

28 楕円銀河の解剖学
Luca Ciotti

30 中年の不老長寿薬？
Matt Kaeberlein & Brian K. Kennedy

JAPANESE AUTHOR

32 葛藤する脳の仕組みを調べる — 糸原 重美
西村 尚子

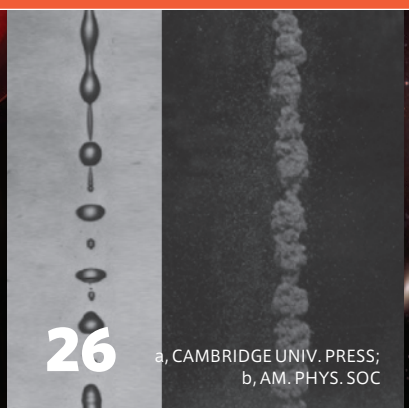
英語で NATURE

34 Asteroid belt's icy fringe explained
小惑星帯を縁取る氷の謎を解く

次号 10 月号は、10 月 8 日（木）の発行になります。

www.nature.com/naturedigest

© 2009 年 NPG Nature Asia-Pacific
掲載記事の無断転載を禁じます。



2009年9月3日
毎月第1木曜日発行
NPG ネイチャー アジア・パシフィック

〒 162-0843
東京都新宿区市谷田町 2-37 千代田ビル
Tel. 03-3267-8751 Fax. 03-3267-8754

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

デザイン／制作：村上武、中村創
広告／マーケティング：米山ケイト、池田恵子
編集協力：白日社

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

Vol. 460 No. 7254
23 July 2009

2つの観測衛星によるオーロラ撮影：宇宙からの観察で明らかになった地球両極のオーロラの非対称性

DOUBLE EXPOSURE: Views from space show polar asymmetry of Earth's aurora

北半球で見られる北極光と南半球で見られる南極光は、互いに鏡像関係にあると広く考えられている。しかし、常にそうだとは限らないことを示す新たな証拠が得られた。オーロラは、北極圏と南極圏の地磁気の磁力線によって結びつけられた場所で同時に発生しやすい。そして、この関係が、北極と南極のオーロラのパターン、位置、出現のタイミングを結びつけているのだろうと考えられている。2001年5月12日には、IMAGEとPolarの2つの地球観測衛星が、南極と北極の両方を同時に観測するのにちょうどよい位置にあった。こうして得られた画像が今回解析され、オーロラが非対称でありうることを示す明らかな証拠がもたらされた。非対称性は、両半球間に流れる電流（伝導率の違いによって生じると予測されているが、これまで実証されたことはない）によるものである可能性がある。表紙は、同時に撮影された南北両半球の画像で、上がIMAGE-WICの撮影した北半球、下がPolar VIS Earth Cameraの撮影した南半球である。

Letter p.491 参照

免疫：チンパンジーも「エイズ」にかかる

'AIDS' in chimpanzees

アフリカの霊長類に感染するサル免疫不全ウイルス（SIV）には40種以上が存在し、そのうち2つが種の壁を乗り越えて、ヒトでエイズウイルスHIV-1とHIV-2が生じた。今回、タンザニアのゴンベ国立公園で野生状態で生活しているチンパンジーについての包括的な自然史研究によって、HIV-1の前駆ウイルスであるSIVcpzに関する一般的な説、つまりすべてのSIVは自然宿主には病原性を示さないという広く受け入れられてきた考えが覆されることになった。9年以上にわたって94匹のチンパンジーを追跡調査した今回の研究によって、SIVcpz感染により、10倍以上の死亡リスク、出生率低下や進行性の$CD4^+$ T細胞数減少といったエイズに似た徴候がチンパンジーでもみられることが明らかになったのである。これらの近縁のレトロウイルスが病気を引き起こす機序をヒトとチンパンジーとで比較すれば、HIV感染の予防や治療のための薬剤やワクチンの開発に関係のあるウイルス因子や宿主因子の同定が可能になるかもしれない。

Letter p.515, N&V p.470 参照

環境：湖沼の生産力を制限するのは光

Light limits lake productivity

湖沼生態系の生産力は、利用可能な栄養素の量によっておおむね制限されると一般に考えられている。しかし、スウェーデン北部の12の天然湖沼に関する研究で新たな知見が得られ、その考え方に異議が出された。その湖沼群では、バイオマスの蓄積に対する制限要因が栄養素の供給量ではなく、光の供給量であることが明らかになったのである。天然湖沼の多くはこの湖沼群と同様に比較的小規模で栄養素の量が少ないことから、大多数の湖沼は光による制限を受けており、栄養素に生産力が左右されるのは、主として栄養素の流入量が特別に多い湖沼だろうと考えられる。

Letter p.506, N&V p.463 参照

量子情報科学：量子論で確かめられたコンテクスチュアリティ

Quantum theory in context

量子力学は、初めて導入されて以来これまで、ほぼ90年間にわたって大きな成功をおさめ、その予測は多数の実験で確かめられている。にもかかわらず、この理論の公理に満足していない物理学者の多くは、量子物理学の予測を古典論で説明しようと試みている。古典モデルの直感的な特徴は、ノンコンテクスチュアリティ、つまりどのような測定も、同時に行われ、両立可能なほかの測定の結果とは独立な値をもつという性質である。理論から、ノンコンテクスチュアリティは量子力学と矛盾することが示唆され、光子と中性子で行われた実験もこれを支持しているようだ。しかし、これらの検証には特殊な量子状態を発生させることが必要であり、いくつかの抜け穴が残っている。今回Kirchmairたちは、トラップイオンを使って、こうした問題を克服し、ノンコンテクスチュアルな観点では説明できない実験を行った。したがって、コンテクスチュアリティは、特殊な量子状態や量子もつれを発生させる必要のない自然界の性質であるということになる。

Letter p.494, N&V p.464 参照

細胞：p53とmiRNAのつながり

Link between p53 and miRNA

がん抑制因子p53は、増殖抑制作用をもつ多くの標的に転写アクチベーターとして作用することがよく知られており、p53の機能崩壊は大半のがんの発生時にみられる基本的現象である。マイクロRNA（miRNA）はがんの抑制にかかわる重要な因子であることがわかってきているが、今回、p53とmiRNAの間に意外な結びつきがあることが明らかになった。転写調節という役割とは全く別の相互作用において、p53はmiR-16-1、miR-143、miR-145などの増殖抑制作用をもつmiRNAの転写後成熟をDNA損傷に応じて促進する。このことは、miRNAの生合成を調節するp53の働きが、そのがん抑制機能に寄与している可能性を示唆している。

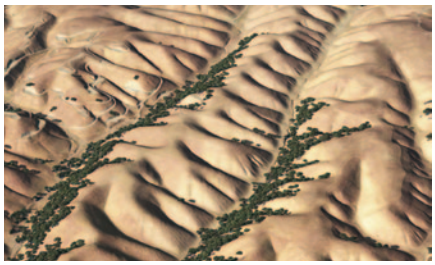
Letter p.529, N&V p.466 参照

地球：景観の説明

Landscape explained

多くの丘陵地帯の景観では、上空から見ると尾根と谷が一様な間隔で並んでいるように見える。景観進化に対する現在の物理モデルでは、現実のもののように見える地形が得られるが、自然景観にみられる等間隔で並んだ尾根と谷に典型的な「波長」は予測できない。Perronたちは、質量保存と堆積物輸送の方程式を用いて、地形進化モデル、およびカリフォルニア州のナパバレーやユタ州のポイントオブザマウンテンなど、米国内5か所の野外調査で得られた尾根と谷の波長と正比例する特徴的な長さスケールを導き出した。この知見によって、景観の最も広くみられる特徴の1つが定量的に説明され、谷の間隔は、物質の性質と気候が浸食過程に及ぼす影響を記録していることが示唆される。

Letter p.502, N&V p.468
Making the paper p.434 参照



IONUT IORDACHE/UC BERKELEY & TAYLOR PERRON/MIT

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

Vol. 460 No. 7255
30 July 2009

海洋動物が引き起こす混合：ダーウィンが考えた生物起源の流体混合は海洋混合における主要因子だった

MARINE ANIMALS CAUSE A STIR: 'Darwinian' motion a major factor in ocean mixing

高名なチャールズ・ダーウィンの孫である物理学者のサー・チャールズ・ダーウィンのほとんど忘れられていた成果が、海洋混合についての長年の論争を解決することになった。1953年に彼は、遊泳動物が海洋における水の混合に大きく寄与することになる機構を提案した。海洋で生物が引き起こす混合についての論争は現在のところ、動物運動の後流が起こす乱流と海洋乱流の比較に注目が集まっている。「ダーウィン」混合はこれとは異なり、流体の中を移動する固体が周辺の液体の一部を動かし、その動きが固体とともに伝搬していくときに生ずる。K Katija と J Dabiri は、離島の湖で遊泳中のクラゲについての野外測定結果を新しい理論モデルと結びつけ、ダーウィン混合という機構を介しての生物の海洋混合への寄与が、風や潮汐と同程度という、相当な規模になることを示している。表紙は、パラオの「クラゲ湖」で *Mastigias* sp. のクラゲが起こす誘起流体ドリフトを、色素により測定している際のものである。

Letter p.624, N&V p.581 参照

生化学：$P2X_4$ と ASIC1 の構造は似ている

$P2X_4$ and ASIC1 at the gate

P2X 受容体は ATP 依存性の非選択的陽イオンチャネルで、痛覚や炎症反応に関連しているが、その構造はまだわかっていない。Kawate らは今回、閉状態のゼブラフィッシュ $P2X_4$ 受容体の結晶構造を報告している。その三量体構造から、リガンド結合、陽イオンの進入やチャネル開閉の分子基盤のいくつかが明らかになった。同じグループのもう1つの論文では、ニワトリの脱感作状態にある酸感受性イオンチャネル1（ASIC1）の構造が示されている。P2X 受容体と同じように、ASIC も三量体だが、これら2つは全く異なるイオンチャネルファミリーに属する。ASIC1 の構造決定により、イオン透過と脱感作が起こる仕組みと思われるものが示された。また、ASIC と P2X の構造の比較からは、これらの機能的に異なるチャネルが同じような機構的な原理を採っていることが示唆される。

Articles pp.592, 599, N&V p.580 参照

宇宙：新たに得られた土星の自転周期

Saturn's rotation

土星の全体としての自転周期は、過去数十年間にわたり、目立った変化をしてきたとは考えられていない。そうすると、自転周期の代理となるような尺度も、ほとんど一定の値だったとしてよいはずだ。カッシーニ計画で得られた最近の成果は、従来土星内部の自転周期を決定しようと行われてきた、磁気圏の特徴の自転周期の測定という方法に疑問を投げかけている。なぜなら、このような方法では、ボイジャーが28年前に測定した10時間39分24秒より約7分長い周期が得られるからだ。Read たちは新たに、大気のポテンシャル渦度の分析に基づいて、土星の自転周期を10時間34分13秒 ±20秒と決定した。この基準座標系の変更は、互い違いに現れるジェットのパターンと一致するもので、土星の風はこれまで考えられてきた以上に、木星のものに似ていることが示唆される。

Letter p.608, N&V p.582
Making the paper p.550 参照

環境：泥炭から放出される炭素

Carbon released from peat

数百年から数千年前に形成された泥炭堆積物の呼吸活性化を介する CO_2 放出の気候温暖化による加速は、地球の気候に対する強い正のフィードバックとなる可能性がある。しかし、泥炭地帯、特にその深部に存在する炭素の長期的な温度感受性は、まだはっきりわかっていない。今回、亜北極域の泥炭地帯で行われた長期（8年以上）の人工温暖化実験により、約1℃の温暖化が生態系の呼吸を50%以上加速し、その加速の大部分が、永久凍土上の活性層の底部付近に存在する、取り扱いが困難な古い炭素に由来していることが明らかになった。この知見は、気候温暖化が、従来の想定を大きく超える規模で泥炭地帯の地中に蓄積された炭素の呼吸を加速しており、京都議定書で EU 全体が目標とする温室効果ガス排出量削減分のほとんどが、これにより相殺される可能性があることを示唆している。

Letter p.616 参照

神経：プレセニリンは神経伝達物質放出を制御している

Presenilins action

プレセニリン遺伝子は、家族性アルツハイマー病と遺伝的に関連があるが、この遺伝子がニューロンのどこで、どのように働いているのかはよくわかっていなかった。Zhang たちはマウスモデルを使い、プレセニリンはシナプス前部で働き、ニューロンの計算、学習、記憶に必須の過程である活動依存性神経伝達物質放出を制御していることを明らかにしている。この結果から、シナプス前機能不全が神経変性疾患における認知症の早期段階の原因である可能性が考えられる。

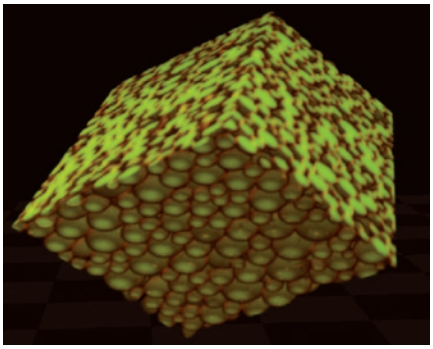
Letter p.632, Abstractions p.550 参照

工学：粉粒体パッキングのモデル化

Going with the grain

粉粒体がランダムに集合する性質は、物理学や数学の分野における遠い昔からの基本的問題であり、多孔質岩石を通した石油の抽出、穀物の貯蔵、粉末からの錠剤製造など、さまざまな場面で実際に適用されている。これまで、粉粒体に関して、結晶秩序化に類似する単純な基本的機構は知られていなかった。ニューヨーク大学のチームは、多分散エマルション滴のパッキングを測定し、全体的なパッキング構造の複雑さは、「granocentric（粒子中心的）」な観点から理解できることを見いだした。粒子周囲の利用可能空間と隣接粒子との接触率という、2つの単純な局所パラメーターに基づく統計モデルによって、連接性や密度を含めてパッキングの局所的および全体的特性の両方がうまく予測される。

Letter p.611 参照



© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

Vol. 460 No. 7256
6 August 2009

HIV-1 の内部事情：全 RNA ゲノムの構造

INSIDE HIV-1: Structure of an entire RNA genome

完全な HIV-1 ゲノム RNA の二次構造が決定された。これは、感染性ウイルス粒子から抽出された真正の HIV RNA の解析に基づくものである。ウイルスの一本鎖 RNA ゲノムの二次構造が機能的また調節的役割を果たすことは知られているが、今までのところ、どんなウイルスについても全 RNA の包括的な解析は行われていなかった。今回、HIV-1 ゲノム RNA が形成する全体構造の特徴を調べるのに、SHAPE（high-throughput selective 2′-hydroxyl acylation analysed by primer extension）という技術が使われた。高度に構造化されたモチーフが多数見いだされ、また、これらの多くについて機能の推定が行われている。RNA の構造要素の存在が、タンパク質の翻訳に影響し、またタンパク質の適切な折りたたみを促進していることがわかったのは重要である。これらの結果は、HIV-1 ゲノムが確かに構造をもち、その構造成分がウイルスの適応に非常に重要であることを強調している。この研究から得られる考察は、HIV-1 の生物学的性質の解明を進め、新しい抗レトロウイルス療法につながるだろう。

Article p.711, N&V p.696 参照

環境：先カンブリア時代の緑化

Greening the Precambrian

過去 10 年間に行われた数十件の研究で、新原生代の炭酸塩岩における炭素同位体の変動が報告されており、地球の炭素循環の変動と関連付けられている。P Knauth と M Kennedy は、炭素同位体分析の一部として必ず得られるものだが、見過ごされることの多かった酸素同位体測定値（標本数は 2 万点を超える）に注目するという独特の視点から、それらのデータを検討した。そして、酸素同位体組成と炭素同位体組成の組み合わせが、よく研究されている顕生代の標本と一致するという予想外の結論が得られた。この顕生代の標本は、陸上のファイトマス（植物系バイオマス）に由来する、光合成で作られた炭素が地下水に運ばれて大規模に流入した沿岸の間隙水中で石化したものである。新原生代の炭酸塩における $^{13}C/^{12}C$ の広く報告されている低下は、炭素循環の変動ではなく、顕生代標本との類似性によって解釈するほうが無理がない。またそれは、先カンブリア時代末期の、光合成を行う藻類やコケ類、菌類からなる敷物で覆われた地球の「緑化」を示唆している可能性がある。酸素とファイトマスを生み出すこのような事象は、先カンブリア時代のほとんど微生物だけだった世界から、カンブリア紀の後生動物の世界への決定的な移行の間接的原因となった可能性さえある。

Letter p.728, N&V p.698
Making the paper p.666 参照

考古：初期の音楽活動

Early music movement

今週号に掲載されている、ドイツ南西部のホーレフェルス洞窟で発見された鳥骨製の 5 穴の笛についての論文によれば、ヨーロッパに最も早くに住み着いた現生人類は、既に高度な音楽的伝統をもっていたらしい。この笛は、約 3 万 5000 年前のものである。年代が同じくらいの笛はほかにも知られているが、これほど洗練されて完成度の高いものはない。この笛は、同じ研究グループが最近発見したマンモスの牙で作られた女性小立像のすぐそばで見つかった。

Letter p.737, N&V p.695, Abstractions p.666 参照

人口統計学：世界人口の動向

Global population trends

国が豊かになるとそれに伴って出生率が低下するため、多くの先進国（と一部の発展途上国）では出生率が、人口置換水準（1 人の女性が一生の間に産む子どもの数が約 2.1 人）以下に低下している。この「少子化」と人口高齢化が合わさって、多くの難しい社会問題や政治問題が生じている。しかし、Myrskylä たちは今回新たに、合計特殊出生率と人間開発指数との関係を横断的および縦断的に分析し、経済がある程度以上に発展すると、出生率が再び上昇し始め、人口高齢化の速度が遅くなることを明らかにしている。その結果、現在の一般的議論や科学者による議論とは対照的に、最も発展した段階に達した国は、人口が比較的安定すると考えられ、ある程度の移民がある場合には、総人口が増える可能性が高い。

Letter p.741, N&V p.693 参照

医学：統合失調症のリスク因子

Schizophrenia risk factors

今週号では、3 つの論文が遺伝子変異と統合失調症のリスクについて考察している。国際統合失調症コンソーシアムは、主要組織適合遺伝子複合体（MHC）遺伝子座内に一般的な変異群を同定し、影響が非常に小さい数千の共通対立遺伝子を含む、ポリジーン構成要素が統合失調症のリスクに相当度関与していることの分子遺伝学的証拠を示している。これらの対立遺伝子群は、双極性障害のリスクにも関与している。H Stefansson たちは、一塩基多型に関する全ゲノム関連解析を行い、免疫、脳の発達、記憶および認知に関係するとされる個々の遺伝子座と統合失調症への素因の間に、有意な相関がみられることを報告している。J Shi たちは、症例対照研究を設計し、ゲノムの MHC ゲノムの遺伝子座と統合失調症の関連を明らかにしている。彼らの結果は、この疾患にクロマチンタンパク質がかかわっている可能性を示唆している。まとめると、約 1 万例の患者と約 2 万の対照とによるメタ解析は、一般的な複数の遺伝子変異が統合失調症のリスクに影響を及ぼしているが、大きな影響を及ぼす単一の一般的遺伝子座はごくわずかか、あるいは全くないことを示している。

Letters pp.744, 748, 753 参照

宇宙：火星でのメタン生成の謎

Methane making on Mars

火星上のメタンの最近の観測結果は、メタン濃度が局所的に高くなり、季節とともに変化していることを示唆している。しかし、メタンは、光化学反応における寿命が数百年という長さであるため、火星全体で均一に分布していると考えられている。F Lefèvre と F Forget は、化学反応を組み込んだ火星の全球気候モデルを使い、火星のメタンに最近観測された変化が、メタンの光化学反応についての我々の考えにどうかかわってくるかを調べた。現在考えられているような光化学反応では、メタン濃度に測定可能な変化が現れず、報告された観測データを説明するためには火星表面のメタンの分解が極端に速くなければならないだろうことが示された。火星のメタンに何が起こっているのかを正確につかむためには、*in situ* 観測を行う将来の火星探査機を待たなければならないだろう。

Letter p.720 参照

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

Vol. 460 No. 7257
13 August 2009

プラトン立体を詰め込む：プラトン立体とアルキメデス立体の充填の問題を解く

A PLATONIC AFFAIR: Solving the puzzle of packing the Platonic and Archimedean solids

粒子の高密度充填の幾何学的知見に基づくモデルは、液体、ガラス、結晶、粉粒体、生細胞など、多くの系の構造を説明するのに役立つ。この分野における以前の研究のほとんどは、球状粒子に注目しているが、このような理想的な形状の場合ですら、問題は非常に難しく、球の最密充填に関するケプラー予想が証明されたのは、2005 年になってからである。18 の古典的幾何形状、すなわちプラトン立体やアルキメデス立体（表紙に示されている）は古代ギリシャ時代から知られている形だが、それらの最密充填配置については、ほとんどわかっていない。今回、S Torquato と Y Jiao は、5 つのプラトン立体（四面体、立方体、八面体、十二面体、二十面体）と 13 のアルキメデス多面体の既知の最密充填体について報告している。これらの立体の対称性は、基本的な充填配置を決定するうえで極めて重要であり、中心対称性をもつプラトン立体とアルキメデス立体の最密充填は、対応する最密（ブラヴェ）格子充填で与えられると予想される。 Letter p.876, N&V p.801 参照

進化：初期の体内受精

Early internal fertilization

板皮類は、原始的な甲冑魚類に属する大規模な一群である。完全に絶滅してしまっているが、その不思議な体の構造は、人類を含む有顎脊椎動物（顎口類）の進化を解明する手がかりとなる。今回、新たな化石の発見で、*Incisoscutum* の生殖の仕組みが明らかにされた。この化石魚類は、板皮類の中でも重要で大きな分類群の 1 つである節頸類の一種として注目されている。最近、保存状態の良好な *Incisoscutum ritchiei* の雌成体の化石が胎仔を伴って発見され、体内受精が行われていたことが示された。今回の新たな化石は同じ種の雄のものであり、腹部に化石魚類のプチクトドゥス類（甲冑をもたない板皮類）やサメ類でみられるような陰茎様の鰭脚があったことを示している。

Letter p.888, Abstractions p.780 参照

細胞：酵母の同性接合

Same-sex mating in yeasts

酵母の仲間で、カンジダ症や重篤な全身性疾患の原因となるカンジダ菌 *Candida albicans* は、かつては無性生殖だけを行うと考えられていたが、通常はみられない接合生活環も存在することが現在では知られている。接合は一般に、近縁の酵母 *Saccharomyces cerevisiae* と同じ方式で、a 細胞とα細胞との融合が起こる。今回、カンジダ菌の新しい有性生殖様式がもう 1 つ見つかった。分泌型プロテアーゼをコードする遺伝子 *bar1* がないという特殊な条件下では、a 細胞どうしの間で同性接合が効率よく起こる。カンジダ菌の同性接合と、カンジダとは無関係な病原性真菌 *Cryptococcus neoformans* の同性接合との間に類似性があることから、この種の「ホモタリズム（同体性）」が、哺乳類宿主内でのこれら真菌の生存を助長している可能性が考えられる。

Letter p.890, N&V p.807 参照

がん：がん遺伝子の機能獲得型変異

Gain-of-function oncogenes

正常なヒト細胞は、両親それぞれに由来する完全な染色体セットをもっているが、がんの中には、特定の染色体の一部分が 2 つとも片方の親由来というものがあり、この現象は後天性の片親性二倍体とよばれている。骨髄腫瘍患者から採取した 200 例を超える骨髄試料のゲノム DNA 解析から、第 11 染色体の一部の 2 つのコピーの両方が片方の親由来という例が高率でみられることがわかった。こうした例では、腫瘍抑制因子 *C-CBL* の機能獲得変異が生じており、これが繊維芽細胞をがん化し、サイトカイン刺激に対して造血細胞の感受性を増加させる。今回のデータは、*c-Cbl* は増殖抑制型の腫瘍抑制遺伝子でありながら、変異が起こると、増殖を促進するがん遺伝子となるという考え方を裏付けており、これは腫瘍抑制遺伝子 *p53* で明らかにされているのと同じ状況である。

Letter p.904, N&V p.804 参照

細胞：テロメアを守る

Protecting the telomere

真核生物の直線状の染色体の末端には、テロメアとよばれる配列がキャップのようについている。テロメアは、DNA 二本鎖が切断されて生じた一本鎖部分と、基本的には同じ構造である。一般に二本鎖切断箇所は病原となる損傷なので、ゲノムの完全性維持のために修復されなくてはならないのだが、テロメアは通常、DNA 損傷修復経路を活性化しない。テロメア維持の過程で主に働くのは、MRE11、RAD50、および NBS1 という 3 つのタンパク質からなる MRN 複合体である。今回、マウスで全 MRN 複合体あるいは MRE11 のヌクレアーゼ活性だけを不活性化する対立遺伝子を用いた研究が行われ、MRE11 がテロメアで 2 つの機能を果たしていることがわかった。MRE11 は、突出（オーバーハング）部分の DNA 端の形成促進により新たに合成されたテロメア端を修復因子から保護し、またテロメアが適切に機能しないときには、このような突出部分を分解して融合修復を促進するのである。

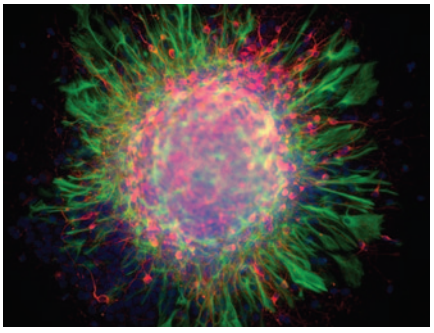
Letter p.914 参照

細胞：幹細胞の開放型クロマチン

Open chromatin in stem cells

扁形動物から哺乳類まで、多くの幹細胞のクロマチンには凝縮した領域、つまりヘテロクロマチンがほとんどなく、そのため転写調節因子が近づきやすい開放状態になっている。今回、マウス胚細胞で RNA 干渉による新規調節因子のスクリーニングが行われ、クロマチンリモデリング因子 Chd1 が胚細胞の開放型クロマチンや多能性の維持、および体細胞の多能性状態への再プログラム化に不可欠であることが示された。これは、開放型クロマチンと多能性との間の因果関係を直接示す証拠である。Chd1 は生殖系列幹細胞と成体幹細胞の両方で高度に発現していることから、幹細胞にみられる開放型クロマチンと分化能の関連性が一般的な現象である可能性が出てきた。

Article p.863, N&V p.802 参照



© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

社 説

Cheerleader or watchdog?

科学ジャーナリストはチアリーダーか監視役か

Nature Vol. 459(1033)/25 June 2009

科学ジャーナリズムが危機にさらされている。科学者が差し伸べることのできる救いの手とは、いったい何なのか。

ジャーナリストには、研究成果の報道価値を見抜く鋭い知性が求められている。もちろん、研究者の名前を間違いなく表記することも大切だ。では科学者は、彼らジャーナリストにそれ以上のいったい何を期待すべきなのか。

「あまりない」と答える科学者もたぶんいる。科学者の間では、科学ジャーナリズムは広報サービスの一種であり、純粋に新たな科学的知見を一般市民に説明するために存在している、と考える傾向が強い。彼らは研究成果の記事を読んで満足し、新発見のワクワク感を伝える書き手の能力を少しは認めるであろうが、基本的に、彼らが記事の良し悪しを判断する基準は、書かれた内容が科学的に正確かどうかだけである。

一方で、科学ジャーナリズムは自分たちの味方だととらえる科学者もいる。核兵器の拡散、ES 細胞、遺伝子組換え作物といった社会的議論が必要な科学関連テーマに関して、一般市民の理解を深める上で科学ジャーナリズムは有用だと考える。そして必然的に、自分たちの研究事業がうまく進んでいることを市民や政治家にアピールする際にも役に立つ、と考えている。

残念ながら、「科学を含めた公共の問題を、私利私欲を超えて公正かつ懐疑的立場に立って監視する」というジャーナリズムの深い価値を真に理解してくれる科学者は少数派だ。もちろん批判の声が届かないわけではない。例えばいかがわしい統計とか、進化に関する怪しげな主張に対して疑問を投げかける報道であれば、研究者は問題なく支持してくれるだろう。ところが、ずさんな動物実験の方法とか、気候変動に関する過大な主張、あるいは科学者の利益相反を批判する記事になると、そう簡単には賛同は得られない。しかし、この種の精査・考察は、研究事業全体の利益にかなうものである。科学に対する社会の信頼を勝ち取るには、科学を単に正確に伝えるだけでなく、科学の中身を吟味する必要があるからだ。このプロセスにおいて、ジャーナリストは極めて重要な一部分を担っている。

今日、ジャーナリズムの未来は限りなく不透明だ。読者、そして確実な収入源だった三行広告は、インターネットに移動しつつある。また、論文の無償公開という新しいビジネスモデルによって、デンマークなど一部の市場が混乱・崩壊してしまった。

市場の縮小は、科学のような専門領域をもつジャーナリストにとって、特に悪材料になる。科学ジャーナリストには書くべき内容に関する深い知識と理解が必要であり、また、適切なコメントを求める取材先、つまり新知見の背景や事情を説明でき、的を射た批判のできる専門家を把握していなければならない。ところが出版社は、予算を十分に確保できないとき、こうした専門性をぜいたく品と考える傾向が強い。プレスリリースや通信社の配信記事によって同じ誌面を埋められる場合、この傾向はさらに顕著となる。

現在のような人員削減の流れを止めるために、科学者はほとんど何もできない。しかし、こうした憂き目にあったジャーナリストと協働し、監視と知識に裏打ちされた科学ジャーナリズムを存続させるための行動をとることは、必ずや価値があるはずだ。今後、徹底した科学報道メディアとか、あるいは新しいタイプの解説メディアといった新規のビジネスモデルに移行することも想定され、それは社会貢献ないしは慈善事業のようなものになる可能性もある。もしそうであれば、科学ジャーナリズムはそこに組み込まれることになるだろう。科学者が健全な科学ジャーナリズムの存続に積極的に関心を示すのであれば、この流れは加速されるはずだ。今こうした努力をしておけば、少なくとも厳しい結末を遅らせることはできるかもしれない。上位 100 社リスト、声高なキャスター、コロコロ変わる視聴者の関心……、未来のマスメディアの悲惨な状況が目に浮かんでくる。

こうした混乱の中でも、知識に裏付けられた正確な科学報道がきちんと続くよう、科学者は裏から支えることができる。まずは、科学の経験が全くないレポーターと話をする機会が今後増えていくことを覚悟すべきである。カリフォルニア大学バークレー校（米国）の Brad DeLong と Susan Rasky が大学教員向けに執筆したアドバイス（http://tinyurl.com/nljleo）に目を通すとよい。また、締め切りに追われるジャーナリストが、記事のテーマを理解するために必要な専門家を見つけられるよう、科学系の学会や協会は一層の努力を払うべきである。

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

将来的な課題として、科学者コミュニティーは、ジャーナリスト養成学校や専門学会と力を合わせて、科学とは何かという基本テーマや、実験・審査・論文掲載という現実のプロセスを教える教程を、ジャーナリスト養成プログラムに組み込ませるよう努力すべきである。

科学とジャーナリズムは異なる文化と思われがちだが、実はそうではない。両者は同じ考え方を基盤に置いている。ともに結論を導き出すために証拠を必要とし、その証拠は万人に公開され、また、すべての事柄に疑問の声を発する自由をもっている。しかも、科学者とジャーナリストは、ともにプロの懐疑主義者なのだ。一方は実験に関心を向け、もう一方はニュースや新知見に関心を向けているが、互いにその批判的視点を高く評価することができるからだ。（菊川要 訳）■

Net gains

アポロ計画とUNIX

Nature Vol. 460(307)/16 July 2009

人類初の月面着陸はまさに世界を変えた。時を同じくして、世界を変える出来事がもう1つ起きていた。

40年前、多くの若者はアポロ計画に大きな影響を受けて科学者を志した。この事実は、多分野の研究者を対象としてNatureが実施した国際的調査で明らかになった（2009年7月16日 号314ページ）。

1969年夏、科学者はもちろん多くの人々が後に大きな力を得ることになる別の出来事が、コンピューターの世界で起こっていた。アポロ11号の飛行士が月面上に人類の第一歩を記そうとしていた時、AT&Tベル研究所のKen Thompsonは、新しい小型マシンの上に、もともとメインフレーム（大型機）用に作成したゲームプログラムSpace Travelを移植する作業を進めていた。この研究がきっかけとなって、Thompsonは後にDennis Ritchieらと共同でオペレーティングシステム（OS）を作成、UNIXと命名する。そこから先は周知のとおり。UNIXは、今も続く科学コンピューティングの引き金となり、オープンソースソフトウェア運動の手本となり、UNIXから派生した数々のプログラムとともにインターネットの基礎を築いた。

当初、UNIXは社内用だったが、1970年代にベル研究所が外部にライセンスするようになると、科学者の間に急速に広がっていった。UNIXは、その能力、単純さ、それに複数のユーザーとの情報交換を同時に実現できる点が支持された。

UNIXの成功にとって、もう1つ重要だったのが時代・タイミングだった。UNIXが登場したのは、ミニコンピューターがメインフレームの座を脅かし始めた頃だった。UNIXはこの小型計算機用に簡単に改変できた。最も重要だったのは、UNIXがC言語で書かれていたことかもしれない。この新しいプログラミング言語を使えば、プログラムの作成や共有などが簡単にできたので、研究者は早速それに取りかかり、オープンソース運動の先駆けとなる数々のイノベーションが生み出された。

しかし1980年代から1990年代にかけて、このオープンな性格が商業権益の標的となり、互換性のないUNIXが出回る事態になってしまった。そこを突いたのが新興企業マイクロソフトで、急成長するマイクロコンピューター市場で独自のOSを武器に支配的な地位を確立していった。

それでもUNIXの未来は、1970年代後半には約束されていた。米国防総省国防高等研究計画局（DARPA）が、その多くのプロジェクトに使用する基礎ソフトに、当時、カリフォルニア大学バークレー校で開発されていたUNIXのバージョンを選定したからだ。そして当時新しかったTCP/IPというインターネットの基盤をなすプロトコルを実装させる研究資金を同大学に提供し、UNIXを基本的にインターネット対応にしてしまった。その後のインターネットの展開において、オープンソース運動が中心的な役割を果たすようになり、1991年にフィンランドの学生Linus Torvaldsが作ったUNIXのクローンであるLinuxが支配的役割を果たすようになった。今日、インターネットの基盤構成要素や大半の携帯電話やGPS装置は、LinuxなどのUNIX系OSで運用されている。

トップダウンの巨大科学技術プロジェクトだったアポロ計画とUNIX開発。両者の間には決定的な差がある。しかし、ともに共同作業の力を示す実例とされ、後世に名を残しているのだ。（菊川要 訳）■

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

Swine flu shares some features with 1918 pandemic

新型インフルエンザウイルスは 1918 年流行のものと似ている?

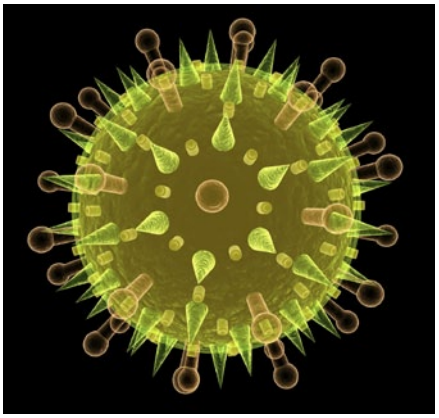
Heidi Ledford doi:10.1038/news.2009.680/13 July 2009

インフルエンザの世界的大流行に 1 度遭遇すると、その後の大流行に対する防御力が得られるのかもしれない。

現在世界中で流行している新型（ブタ）インフルエンザウイルス H1N1 は、ヒト免疫系の面からみると、1 世紀ほど前に世界的大流行により大きな被害をもたらしたインフルエンザウイルスに不思議な類似点があることが、明らかになった。

既に数か月前に明らかになっているが、新型インフルエンザの症状は高齢者よりも若者のほうが重くなる。この奇妙なパターンは、高齢の患者が過去に同様のウイルスに遭遇していた可能性があることを意味している。東京大学医科学研究所*の河岡義裕たちが *Nature* に最近発表した論文によれば、悪名高い 1918 年のインフルエンザ大流行を生き残った人は、新型インフルエンザに対して非常に高い防御力をもっているという[1]。

この研究では、マウスやミニブタ、フェレット、マカクザルなどいろいろな動物でも実験を行った。河岡らによると、新型ウイルスはブタ以外のすべての動物で肺感染を起こし、その程度は、普通の季節性インフルエンザで予想されるよりも重かったという。



ISTOCKPHOTO

ずっと以前に獲得した抗体のおかげで、新型インフルエンザにかからずにすむ人がいる。

ブタは発症せず

河岡らは、研究室で培養したヒト細胞では、オセルタミビル（ロシュ社、商品名「タミフル」）やザナミビル（グラクソ・スミスクライン社、商品名「リレンザ」）など一部の抗ウイルス薬が、新型インフルエンザウイルスに対して有効なことを実証した。これらの薬剤は既に、感染患者の一部で治療薬として使われている。

また、河岡らの研究成果は、その電子版発表とほぼ同時期に *Science* で発表された 2 つの論文の知見と重なる部分がある。この 2 つの論文は、新型インフルエンザウイルスのほうが季節性ウイルスよりも盛んに増殖し、フェレットでの症状も重くなることを報告している。河岡らは、新型ウイルスがマウスとマカクザルに対しても病原性をもつことを確認したが、ブタでは、このウイルスが呼吸器系で増殖可能だったにもかかわらず、表面的には疾患の兆候がみられなかった。これによって、今回ブタでのインフルエンザ流行が養豚業者から報告されなかった理由が説明できるのではないかと、河岡たちは考えている。

今回の動物実験では、ヒトが通常さらされる量よりも多い量のウイルスを使った。これは、この種の実験ではごく普通のやり方である。それを踏まえても、マカクザルの実験結果で気がかりなのは、肺全体に重篤な肺炎が発生したことだと、オタワ大学（カナダ）でウイルス研究に携わる Earl Brown は話す。「通常、肺炎は局所的に起こるからです。肺全体でひどい炎症が起こった場合、命にかかわってきます」と彼はいう。

河岡たちは、ヒトから採集した検体の解析も行い、1918 年以前に生まれた人たちは、新型ウイルスを中和する抗体を産生できる可能性が高いことを見いだした。こうした防御効果の存在はすぐに納得できるものではない。DNA 塩基配列の比較では、これら新旧のインフルエンザウイルスが際立って似ているわけではないからである。しかしながら、1 種類のウイルスによって発動される免疫応答が、ほかのウイルスに対する防御効果ももつ可能性はあると考えられる。

奇妙なことに、1920 年代から 1950 年代までに流行した類似のインフルエンザウイルスに出会っただけでは、効果的な抗体を産生するのに十分ではなかった。この結果は、60 歳以上だが 1918 年以降に生まれた人たちでも感染率が低いことと符合しない。それについて Brown は、ウイルスを完全に中和できない抗体でも感染に対してある程度の防御効果があるかもしれないという可能性を挙げている。

現在のところ、新型インフルエンザ感染例の大半は症状が軽く、今回の世界的大流行の深刻さは 1918 年のインフルエンザ大流行にははるかに及ばない。しかし専門家たちは、新型ウイルスが時間を経るうちに高い病原性をもつようになるのではないかと心配している。また一方、動物研究でみられた病原性も気にかかると、Brown はいう。「パニック状態に陥ることなく、現状をきちんと把握して適切な態勢で臨みたいものです。この点でちょっとした不安材料がありますね」と彼は語った。（船田晶子　訳）■

1. 1. Itoh, Y. *et al. Nature* **460**, 1021-1025 (2009).
(2009 年 7 月 13 日電子版発表)

*原文では、所属は、ウィスコンシン大学マジソン校となっていますが、本翻訳では、日本の活動拠点になっている東京大学医科学研究所としました。

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

How raindrops fall

雨粒はどうやってできる?

Fiona Tomkinson doi:10.1038/news.2009.705/20 July 2009

1 粒の水滴が破裂して、雨となる。

自然の雨のようにさまざまな大きさの小滴のシャワーが、たった 1 粒の水滴からできることを、フランスの研究者が簡潔な実験で示した。これまで、地上で見られるさまざまな大きさの雨滴は、雨滴どうしが落下中に互いに衝突することによってできると考えられていた。

エクス・マルセイユ大学（フランス）の流体力学研究者 Emmanuel Villermaux と大学院生の Benjamin Bossa は、小さな水滴が蛇口から滴るようすを撮影し、水滴が落下中にどう変化するのかを観察した。落下につれ水滴は加速し、空気抵抗が水滴の凝集力より大きくなると、水滴は破裂して小滴のシャワーになった。

Villermaux は「こうした実験には通常、10 メートルの高さが必要です。これは標準的な実験室で行うには、高すぎます」と話す。このため、Villermaux らは、水滴が落ちるときに受ける空気抵抗を増加させるために、上に向かって流れる空気噴流を利用し、より短い距離で水滴の落下を再現した。実験の結果、静止空気中では 1 粒の水滴は、初めはホットケーキ型に平たくなり、その後ひっくり返したおわん型に変形し、最後におわんが破裂して小滴になることがわかった。

Villermaux らは、こうした水滴の形の変化などの観察をもとに、1 粒の水滴の破裂を地上での雨滴の大きさの分布と結びつけた。彼らのモデルから、雨滴の大きさの分布は、水滴が破裂して小滴になることで十分に説明できることが明らかになった。この成果は *Nature Physics* に発表された [1]。

100 年前の実験がヒント

Villermaux の研究のヒントになったのは、米国バーモント州の農場経営者 Wilson Bentley が 100 年以上前に行った実験だった [2]。Bentley は、雨が降っている屋外に小麦粉で覆った板を短時間置き、小麦粉の湿った部分を測定して雨滴の数と大きさを記録した。

「Bentley の時代、我々がもっているような高速度カメラはありません。しかし、Bentley は優れた実験家でした。彼は、調べるべき問題は雨滴の大きさではなく雨滴の大きさがばらつく原因だ、と初めて気づいた人でした」と Villermaux は話す。

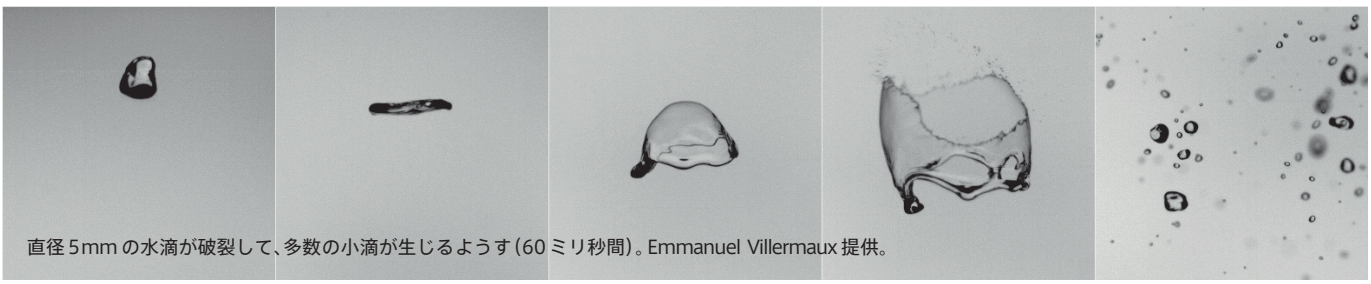
雨滴の大きさの分布は、降雨の強さと密接に関係している。マギル大学（カナダ、モントリオール）の Stewart Marshall と Walter Palmer は 60 年以上前に測定を行い、雨滴の大きさは細かい霧雨よりも強い嵐の場合に、より大きくばらつくと報告した [3]。今回 Villermaux と Bossa は、Bentley が問うた問題に答えるために行った実験で、Marshall-Palmer 粒径分布の再現に成功した。

「答え」は研究者たちが考えていたよりも単純だった。小滴の大きさの分布を決めるメカニズムは、1 粒の水滴が空気中を落下する際の動力学を考慮するだけで説明できるのだ。1 粒の水滴が雲から落下し小滴に分裂するのにかかる時間は、2 つの別の水滴が雲の中で衝突するのにかかるとみられる時間よりも一般的に短かった。

ブリストル大学（英国）の流体力学の専門家 Jens Eggers は、「『答え』は、たくさんの経験的な関係式を寄せ集めたもっと複雑なものになるだろう、と私は予想していました。しかし Villermaux らは、ちょっとした物理的なアイディアをもとに、きれいな関係、つまり、単純で普遍的な関係式で雨滴の平均の大きさと雨の強さの相関性を説明することができました」と評価する。

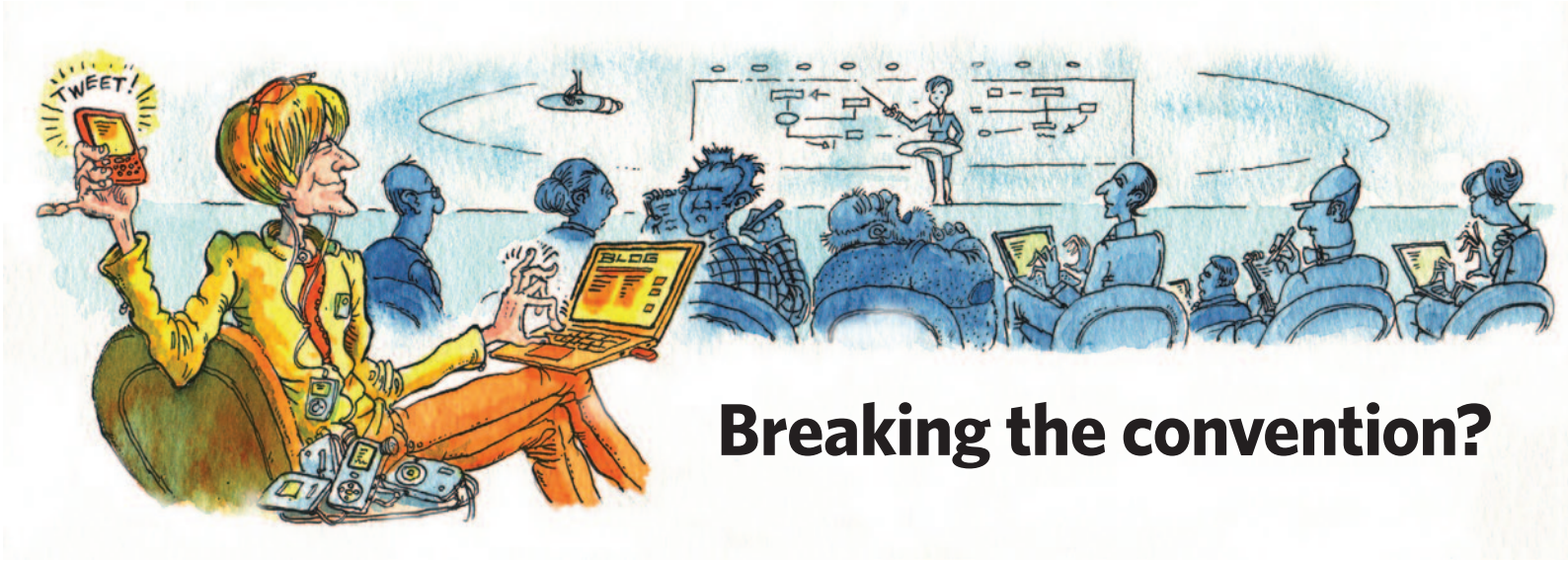
ブルックヘブン国立研究所大気科学部門（米国、ニューヨーク州アプトン）の Yangang Liu も「この研究は確かに新鮮でおもしろいですね」と話す。しかし、「まだ、調べなければならないことがたくさん残っています。例えば、地表で観測される雨の大部分、つまり地表で観測される雨滴の大きさ分布の大部分は、雪片が溶けて生じたものです」と指摘する。「Villermaux と Bossa の理論は、この種の降雨でも矛盾しないのでしょうか」と Liu は語っている。（新庄直樹　訳）■

1. 1. Villermaux, E. & Bossa, B. *Nature Phys.* doi:10.1038/NPHYS1340 (2009).
2. Bentley, W. *Mon. Weath. Rev.* **10**, 450-456 (1904).
3. Marshall, J. S. & Palmer, W. M. *J. Meteorol.* **5**, 165-166 (1948).



直径 5mm の水滴が破裂して、多数の小滴が生じるようす（60 ミリ秒間）。Emmanuel Villermaux 提供。

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved



Breaking the convention?

ブログは学会・国際会議の敵か?

Nature Vol.459(1050)/25 June 2009

近年、ブログやミニブログを利用して学会の会場内の様子を外部に詳細に報告する参加者が散見されるようになった。こうした技術は、出席していない研究者でもその学会に積極的に関与することを可能にする一方で、発表者の意図に反して未発表データを全世界に流してしまう危険性もある。

ILLUSTRATIONS BY D. SIMONDS

2008 年 7 月、コペンハーゲン大学のバイオインフォマティクス研究者 Lars Jensen は、ISMB（Intelligent Systems for Molecular Biology）学会に参加するために、トロント（カナダ・オンタリオ州）のガラス張りのコンベンションセンター大ホールにやって来た。この学会は毎年開催されており、出席者は約 1400 人だ。Jensen の小さなショルダーバッグには、ノートパソコン、携帯情報端末（PDA）、旅行写真を撮影するためのデジタルカメラが入っていた。いずれも、最近の学会に出席する研究者の誰もがもっているツールである。

Jensen は早速、無線ネットワークにログオンした。これもまた、学会に出席するほとんどの研究者が最初にすることである。彼は PDA を使って FriendFeed をチェックした。FriendFeed は Facebook に似たソーシャル・ネットワーキング・サービス（SNS）で、生物学者に人気がある。メンバーがこの学会のために開設したページには、スタンフォード大学（米国、カリフォルニア州）の大学院生 Shirley Wu による書き込みがあった。「今日のオリエンテーリングに参加する人はいる?」という彼女の問いかけに対して、Jensen は「いないと思うよ」と書き込んだ。「ブロガーには親睦イベントなんて必要ないし（笑）」。

顔合わせの集まりについての Jensen の冗談は真実を言い当てていた。ISMB に出席していた FaceFeed のグループメンバーは彼のほかに 30 人近くいたが、それからの数日間、彼らはもっぱら FriendFeed の画面上で会っていたからだ。セッションの間、多くのグループメンバーがノートパソコンや携帯電話から Twitter のウェブサイトに短いコメントを投稿し、その情報は FriendFeed にも自動的に投稿された。投稿の中には、トークについてのコメントやセッションの雰囲気を報告するものもあれば、関連論文へのリンクや会場周辺の写真などもあった。ときには「場内放送」にもなった。オレゴン保健科学大学（米国、オレゴン州ポートランド）のバイオインフォマティクス研究者 Shannon McWeeney は、「HL33：セッションの座長が行方不明。Yanay Ofran を見かけた人は、セッション会場に行くように伝えてください」という書き込みをした。

グループメンバーからの投稿はほとんどすべてのセッションをカバーしていたが、Jensen によると、最初からそのようなものにしようと計画していたわけではなかっ

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

たという。しかし、彼らが投稿を終了する頃には、数百件のコメントがグループに寄せられていた。Jensen や Wu らは、こうして網羅的に集まった情報を利用して学会の抄録を執筆し、のちにそれを発表した（N. Saunders *et al. PLoS Comp. Biol.* **5**, e1000263; 2009）。

ハイテク好きな人々やオープンサイエンスを支持する人々は、「これからの学会はこうでなくちゃ！」と思うだろう。オンライングループに入れば、学会の出席者は、研究発表を行いながらそれを投稿し、議論しつつ、同時に開催されている複数のセッションの推移を見守ることも可能になる。また、学会に出席していない研究者や、より広いコミュニティーにも、学会に積極的に関与する機会を与える。ドレクセル大学（米国、ペンシルベニア州フィラデルフィア）の化学者 Jean-Claude Bradley は、「これは非常に効率のよいやり方です」という。カリフォルニア大学デービス校（米国）の進化生物学者 Jonathan Eisen は、ほかの研究者の発表を聞きながら Twitter に投稿することで、そのトークにいっそう集中することができると付け加える。「内容を理解しそこなって、技術的に間違っていることや概念的に間違っていることを投稿したくはないですからね」と彼はいう。

その一方で、これらのツールが学会を台無しにするのではないかと危惧する人々もいる。学会に出席した研究者が、ほかの研究者が会場内で発表した内容をブログや SNS を通じて外部に報告することは、ジャーナリストと研究者の境界線を曖昧（あいまい）にする。学会で発表した内容が一瞬にしてインターネット上に投稿されるようになったら、競争の激しい分野の研究者たちは、新しい知見について話をするのをいっそう躊躇（ちゅうちょ）するようになるかもしれない。学会の会場で、発表者の話をろくに聞かずにネットサーフィンばかりしている参加者の存在がただでさえ問題視されている今、彼らによる投稿まで大目に見なければならないのだろうか？「率直にいって、学会の聴衆がてんでにキーボードを打っていたら、気が散ってしかたないでしょう」と、コールドスプリングハーバー研究所（米国、ニューヨーク州）の研究会・教育課程プログラムのディレクターである David Stewart は顔をしかめる。

無許可のブログ

コールドスプリングハーバー研究所では毎年ゲノム生物学会議が開催されているが、今年の 5 月に開催された会議で、Stewart は、期せずしてブログをめぐる議論に巻き込まれることになった。この会議には募集人数以上の申し込みがあり、多くの研究者が会議のネット中継を希望していた。コールドスプリングハーバー研究所は、登録し、料金を支払った人々に対してトークの動画のストリーミング配信を行ったが、この会議に出席したブロガーたちが非公式に作ったグループもまたネット中継を始めていた。

その 1 人である遺伝学者の Daniel MacArthur は、Genetic Future というブログをもっている。彼がネット中継を始めたのは、会議に出席できなかった数人の知人から依頼されたからだという。「セッションの間におもしろいことがあったら教えてくれないかといわれていたのです」。

MacArthur は会議の模様を逐一投稿し、多くの科学者がこれを読んだが、会議に出席していたジャーナリストたちはこの行動を問題視した。会議の規則には、記者が特定の発表について報道する際には、あらかじめ発表者の許可を得なければならないと定められていたからである。コールドスプリングハーバー研究所がこのような規則を定めた理由の 1 つに、*Nature* を含む一部の学術誌が、雑誌に掲載される前の研究成果を科学者がマスコミに漏らすことを禁じているという事情があった。しかし、会議に出席した研究者が、ほかの研究者の発表をブログで個人的に取り上げる行為はこの規制の対象になっていなかったため、いくつかのトークの詳細がブログに投稿されると、ジャーナリストたちがこの方針に対して Stewart に説明を求めてきたのである。この質問はまさに寝耳に水だった。「私は初めて、学会の出席者たちが、ほかの研究者のデータをブログに投稿していることを知ったのです」と Stewart は語る。

無断でブログに投稿されることは、学会で発表を行う研究者に著しい不利益をもたらすことがある。これまでの学会でも、未発表の結果への言及を控える研究者は少なくなかった。聴衆の中にライバルがいて、メモをとられるおそれがあったからである。今や、メモをとるという行為がネット上でリアルタイムに行われるようになり、これまでにない速さで広範囲に情報が流出するおそれが出てきた。「ここにあるツールをもって会場に入れば、発表者が見せるスライドを 1 枚残らず写真に撮り、ほんの数秒でインターネット上に掲載することができるわけです。トークが終わらないうちから、そんなことができてしまうのです」と Jensen はいう。

学会で発表した内容がリアルタイムでインターネット上に掲載されてしまうと、多くの企業研究者や応用科学者には困ったことになる。米国の特許は、それに関する情報が公知となった日から 1 年以内に出願しなければならないからだ。以前は、「公知となった日」を厳密に特定することは困難だったが、今では事情が違っていると、ナノテク会社 Oxonixa Materials（米国、カリフォルニア州マウンテンビュー）の CEO である Michael Natan はいう。インターネットが普及した今日では、ライバルたちは、研究者の発表の模様を撮影した画像ファイルの作成日時から、特許申請が可能な研究成果に関する発表が行われた時刻を厳密に特定することができるからだ。そのため、「企業研究者は、学会での発表内容を非常に慎重に選ぶようになっています」と彼は指摘する。

基礎研究者も、うかうかしてはいられない。昨年、ある理論物理学者のグループ

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

が、ほかの研究者が学会で発表したスライドの写真を撮影してデータを抽出し、それを自分たちで分析してオンラインで発表するという出来事があった（*Nature* **455**,7; 2008 参照)。この理論物理学者たちは発表者の許可を得ていたし、写真の引用方法も適切だった。しかし、この出来事は、学会で発表されたデータがどんなに容易に流出しうるかを如実に物語っている。多くの分野で非常に激しい競争が繰り広げられている現在、競争に勝ち残るためにはデータを隠す必要があると Natan はいう。

ブログ界の住人の目には、こうした懸念はいささか時代遅れに映っている。「科学者が学会で発表するのは、自分が行っている研究を世界の人々と共有するためではないのか」と、オンタリオ州立癌研究所（カナダ、トロント）の研究者 Francis Ouellette は問いかける。彼は、コールドスプリングハーバー研究所での会議に参加した際に、Twitter に「情報を共有する参加者が同じ室内にいるかどうかは重要ではない」と投稿している。

Ouellette をはじめとする活動的なブロガーの多くは、研究者が速やかにデータを公表することを奨励する「オープンサイエンス」運動にもかかわっている。

Bradley は、学会での発表が速やかにインターネット上に掲示され、誰にでも見られる形になることは、ほかの研究者が発表した内容を盗用しようとする人々に対して強力な抑止力になると考えている。「剽窃（ひょうせつ）者は大恥をかくことになるでしょう」と彼はいう。「もとになったトークは既にネット上にあり、Google にインデックスされているのですから」。

科学者の権利

ゲノム生物学会議での出来事を受けて、Stewart は現実的な解決策を編み出した。今後開催される会議では、ニュース記事にせよ、ブログにせよ、Twitter にせよ、その内容を第三者に報告しようとする者は全員、あらかじめ発表者の許可を得なければならないと定めたのである。「真の狙いは、個々の科学者が未発表データをトークで取り上げる権利を保護することにあります」と彼はいう。「ほかの研究者の発表をブログに投稿するなといっているわけではありません。ブログに投稿するのは大いに結構ですが、発表者の許可を得てからにしてほしいということです」。この新しい方針を知った MacArthur は、うまい妥協点を見つけたと評価しながらも、「ほかの学会は、もっとオープンな方針を採用してくれるとよいのですが」と言い足した。

Nature は、学会での SNS の利用について複数の主催者に質問したが、その回答は多岐にわたっていた。多くの主催者は、デジタルカメラでトークやポスターセッションの写真を撮影することを禁止していた。ブロガーはマスコミに含まれ、規制の対象となるとする主催者もあった。しかし、Twitter への投稿に関する方針まで定めている主催者はほとんどいなかった。米国細胞生物学会（メリーランド州ベセスダ）のスポークスマンである Kevin Wilson は、「これまで Twitter への投稿が問題になることはありませんでしたが、今後は、なんらかの配慮が必要になるでしょう」という。

学会での SNS の利用に対してどのような態度をとるべきか、学術誌も思案している。*Nature* 編集長の Philip Campbell は、*Nature* は基本的にソーシャルメディアツールを支持するという。そして、自分の研究成果を誇張して宣伝するなどの意図さえなければ、科学者がブログや Twitter を利用する同僚と交流するのは自由だと語っている。*Science* を発行する米国科学振興協会（AAAS）のパブリックプログラム部長である Ginger Pinholster も同意見である。科学者が一般市民に自分の業績を売り込もうとするなどの意図がないかぎり、SNS の利用は問題にはならない。彼女は、未発表データのブログへの投稿は「私たちがまだ遭遇したことがない問題」だと付け加えた。

コールドスプリングハーバー研究所が新たな規制を選択したのに対して、ISMB のオーガナイザーは完全な自由を選択し、6 月末からストックホルムで開催された今年の学会では、すべての SNS ツールの使用が許可された。それぞれのトークにつき FriendFeed のエントリーが作成され、基調セッションへのエントリーは ISMB のメイン・ウェブサイトに直接投稿された。これにより、実際にストックホルムに行かなくても学会の様子をつぶさに知ることが可能になった。

Lars Jensen は、今年は学会に出席しなかった。しかしそれは、この新しいシステムが導入されたからではない。主だった論文は既に発表されているため、出席しても得るところはあまりないと考えたからである。ウェブ上でセッションの推移を見守ってもよいが、昔ながらの方法でも間に合うだろう。「ISMB に出席する同僚がいるので、おもしろいことがあったかどうか、あとで聞けばいいですから」。

（三枝小夜子 訳）■

Geoff Brumfiel はロンドン在住の *Nature* の上級記者である。

Nature 2009 年 6 月 25 日 号 Editorial 1033 ページ、Essay 1054 ～ 1057 ページのほか、ウェブサイト http://tinyurl.com/sciencejournalism も参照されたい。

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

Science journalism: Toppling the priesthood

科学ジャーナリズムの「聖職者モデル」を超えて

Toby Murcott Nature Vol. 459(1054-1055)/25 June 2009

科学ジャーナリストにきちんとした批評をさせるには、科学的知見の生成過程を開示する必要がある。

科学報道には一定のリズムがあって、大手メディアにいればそのリズムは簡単にわかるし、科学ジャーナリストなら誰でも知っている。そのリズムとは、*Science*、*The Lancet*、*Nature* といったメジャーな査読論文誌の発行サイクルが生み出すものである。メールボックスに研究成果に関するプレスリリースが届くと、ジャーナリストは、話題性の有無を調べ、最も報道価値のあるものを選び出し、担当編集者に提案する。そして、科学ニュースが作られていくのである。

これはほとんど日常的なやり方だ。英国のジャーナリスト Nick Davies が、その著書『Flat Earth News』で指摘しているように、すべての分野に関する報道において、プレスリリースが中心的な役割を果たすケースは非常に多い。もちろん、ジャーナリストは、テーマとの距離感を保ち、単にプレスリリースの内容を報道するのではなく、批評を行い、その際には、問題の背景を説明し、幅広い観点から考察するよう訓練されている。ところが科学ジャーナリストにとっては、そのように記事を仕上げていくことが、特に難しい課題となっている。

我々科学ジャーナリストが読者に役立つ内容を報道するには、研究分野における新知見の位置づけを理解し、それぞれの新知見が重要かどうかを見極め、鋭い質問をするだけの知識と自信をもつ必要がある。私自身は、生化学の博士号を取得し、ポスドク研究を 3 年間行った経験があるので、私の専門分野での発見であれば、細かな技術論も無理なく理解できるだろうし、研究の全般的な歴史、学説の展開、論争の現状も理解できると思う。この分野の第一人者が誰で異端者が誰なのかもわかり、多数意見と少数意見を区別することもできるだろう。ところが、科学ジャーナリストの私に期待されていることは、生化学の報道にとどまらない。宇宙論、生態学、素粒子物理学、その他もろもろの研究分野における新知見についても報道できることが求められている。こうした分野の科学者の知識を利用するためには、まず、最適任の科学者を見つける必要があり、その学説と研究分野における位置づけを知らなければならない。これをすべて行うには時間を要するが、記者には時間的余裕のないことが多い。

このことが一因となって、かなり多くのジャーナリストが最小限の仕事、つまりプレスリリースの複製ですませるという状況が生じている。多くのジャーナリストは、プレスリリースに記された主著者の 1 人に電話し、あるいは電子メールのやりとりで、わずかな補充質問をする。しかし、その研究テーマに取り組むようになった理由やそのテーマの全体的な位置づけなど、詳しく報じるだけの時間と専門知識に恵まれるケースはまれなのである。

科学分野以外のジャーナリストは、この科学ジャーナリズムの問題点を認識しており、やっかいな状況だと感じている。私が BBC ワールドサービスの科学担当記者だったころ、ニュース編集室の一部の者は、口には出さなかったものの、科学ジャーナリストに対する日常的な失望感を

ILLUSTRATIONS BY J. FIELD

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

隠さなかった。新たに発表される論文に関する報道に、意味のある分析、詳細な検討や批判的コメントがなく、ただ科学者の発言を「翻訳」するだけになっている、と私の同僚は感じていた。

「聖職者」という感覚

このような姿は、ジャーナリストというよりも、権威ある情報源から情報をもってきて、信徒に伝える聖職者の姿に近いといえるかもしれない。

我々の役割を他分野のジャーナリストと比較するとき、この感覚はますます強くなる。例えば政治ジャーナリストは、政治討論で積極的な役割を果たし、政治過程の機微について熟練した意見を述べ、政策の長所、短所、隠れた危険を明確にする。政治家と対等の立場でインタビューし、その見解を追及し、特に、その発言の中から不一致点、矛盾点、誤りをあぶり出していく。ここのところは極めて重要である。

つまり、政治ジャーナリストは知識創造過程の積極的な参加者である。ところが科学ジャーナリストの場合、対等の立場で科学的討論をするには資格が必要なため、こうした参加の仕方ができない。科学ニュース報道が科学研究費や研究の優先順位に影響することはあるが、科学ジャーナリストは、科学的知見の生成過程そのものには関与していない。この点でも、科学ジャーナリストは聖職者とよく似ている。聖職者は、神の活動自体にほとんど、あるいは全く影響しないし、神の存続にとって実際には必要とされていないのだ。

このような科学ジャーナリズムの「聖職者」モデルは打破される必要があるが、しかしそれは口でいうほど簡単ではない。より詳細な内容、背景説明と批評が求められる中で、現代のジャーナリストは時間的制約という悪条件を抱えているからである。それでも、「聖職者」モデルの打破に取りかかる魅力的な方法がないわけではない。それは、科学者自身が手を貸して、科学的知見の生成・審査という非常に人間臭い過程を明るみに出し、科学者が絶対的権威という教会のような役割を演じられなくすることだ。また、大学や研究論文誌の広報担当者は、時間に追われて新知見や新発見に関する背景や状況に関する詳しい情報を入手できないジャーナリストに、そうした情報を提供することで助け船を出すことができるだろう。

これと並行して、科学ジャーナリズムは、政治ジャーナリズムあるいは文芸評論、芸術評論に似た役割を構築する必要がある。科学ジャーナリストは、その科学的知見を導き出した技術論を理解し、科学者相手におじけづかずに質問し、必要に応じて批判できるようになるため、専門知識の蓄積に意欲的である必要がある。

科学知識が作り上げられる過程

世界中の科学者、教育者、政策立案者が、一般市民による科学への理解や関心を高めるべきだと主張しているが、これは正論である。しかし多くの人々は、それは、例えば最新のゲノム配列の解読結果やハッブル望遠鏡で撮影された画像などの報道が増えることだと考えている。ジャーナリストも、そうした期待に応えて、その種の記事を書いている。しかし、一般市民が科学を本当に理解するには、科学知識が作り上げられる過程を理解することも含まれる。それは、科学者と研究論文誌の編集者が密接にかかわり合って、議論を重ねて論文を作り上げていくプロセスそのものである。より幅広い層の一般市民も、この過程を当然知るべきである。

ジャーナリズムは、歴史の第一草稿と称されることが多い。ところが、現代の科学ジャーナリズムの相当部分は、第二草稿あるいは第三草稿と考えられている。科学ジャーナリストは、国民生活の他の分野を報道する記者とは異なり、歴史的偉業の最初期の草稿を目撃することはできない。そうした草稿は、科学者内部だけの査読過程、いわゆるピアレビューの範囲内にとどまっているからである。

この問題に取り組む1つの方法として考えられることは、論文の最終稿とともに、匿名査読者のコメントをジャーナリストに閲覧させることである。このことは、論文誌が新知見を伝える方法論として重大な変更あるいは意味をもつことになるため、幅広く実施する前に、科学界で議論を深める必要があるだろう。ただ、*Biology Direct* など一部の論文誌では、既に論文の最終稿に加えて査読者のコメントも掲載している。結局のところ、私は、これが通例となることが、科学コミュニケーションにとって有益なことだと考えている。

論文誌に掲載された科学論文を読んでいると、その背景や今後の展開について、読者に感銘を与える話が数多くあるにもかかわらず、その論文が「最終的な言葉」と感じられてしまうことが多い。経験豊富なジャーナリストでないかぎり、そうした話を読み取ることはほとんど不可能で、論文の内容が、実は、批評、コメント、議論、主張、精緻化といった、広範な審査過程の賜物であることも感じ取ることはできない。しかし、ジャーナリストがこの過程の中身を知ることができれば、より深みがあり、説得力のある話を読者に提供できるようになると思われる。また、一般メディアで頻繁にみられるような、すべての新知見を「ブレークスルー」と報じる傾向、あるいは誘惑とでもいうべきものを弱めることにもつながるだろう。

査読過程に関する一般市民の認識を高めれば、我々すべてが恩恵を受けることができる。また、ジャーナリストが科学を報道する仕事をより徹底的に行いやすくなり、科学に関する一般市民の理解を深める上でも役立つに違いない。（菊川要 訳）■

Toby Murcott は、ライター、放送キャスターで、元BBC ワールドサービス科学担当記者。このエッセーの長編版は、2009 年 11 月に Ashgate から出版される『Communicating Biological Sciences』に所収予定。

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

Science journalism: Too close for comfort

科学ジャーナリズムの歴史的変遷

Boyce Rensberger Nature Vol. 459(1055-1056)/25 June 2009

100 年以上の歴史をもつ科学ジャーナリズムは、科学のチアリーダーから監視役へと進歩・変遷を遂げてきた。

1 世紀以上前に誕生した科学ジャーナリズムは、その深い部分で重大な歴史的変化を遂げてきた。それは現代の科学ジャーナリストが認識しているよりも、はるかに根源的な変容だった。今日の科学記者の中には、情報源との関係が近すぎて困るとか、あるいは特定の分野に対して公平無私の分析ができなくなっている、といった不満を抱く人が少なくない。それはもっともな態度だと私は思う。彼らにとって、科学ジャーナリストという職業の誕生から現在までの足跡を振り返ることは、必ずや何らかの役に立つはずである。

1890 年代にはまだ、たぶん米国にも英国にも専任の科学ジャーナリストは皆無だった。しかし、パートタイムの科学ジャーナリストなら有名な人物がいた。SF 作家 H. G. Wells である。彼はサイエンスフィクションを執筆する合間に、純粋な科学的知見について新聞記事を執筆していた。彼の主張は「ライターは、科学者の専門用語を翻訳し、文章技術を駆使して、専門外の読者の関心を引きつける必要がある」というものだった。1894 年に発行された *Nature* の中で、Wells は、今日「物語的ノンフィクション」とよばれている技法の必要性を、次のように指摘している。「ポーの『モルグ街の殺人事件』やコナン・ドイルの『シャーロックホームズ』シリーズのような小説の根底にある構成の基本原理こそ、科学ライターが指針とすべきものである」（*Nature* **50**, 300-301; 1894 参照）。

現在のニューヨークタイムズ紙を創刊した Adolph Ochs は、1904 年、伝説の男 Carr Van Anda を編集局長に採用した。この男はおそらく、20 世紀において科学に対する最も鋭い知性と感覚を備えた新聞社幹部だった。Van Anda は大学で天文学と物理学を学び、自ら科学記事を執筆するとともに、部下の記者たちにも科学記事を書くよう奨励した。彼が強調したのは、正確な記事を書くことだった。彼について頻繁に引用される逸話が残っている。それは、同紙の記事で取り上げたアルバート・アインシュタインの講義における数学的な誤りを、彼が印刷直前に訂正したというものだ。もちろんアインシュタインと相談した上でのことではあったが。

当時の大部分の科学記者の仕事は、今とは違って、専門用語を翻訳し、科学者や医学界の第一人者の発言内容を説明することだった。その他、少数ではあるが、コーネル大学（米国、ニューヨーク州イサカ）で科学ジャーナリズム史を研究する Bruce

Lewenstein が指摘するような考え方をもつ人々もいた。すなわち、1930 ～ 1940 年代の米国の新聞社に所属する少数の科学ジャーナリストたちは、社会を救済する手段として科学を一般市民が受け入れるよう、説得するのが自らの仕事だと信じていた（B. V. Lewenstein *Public Underst. Sci.* **1**, 45-68; 1992）。これは、米国史における革新主義の時代（Progressive Era）の産物・名残ともいえるものだった。革新主義は 1890 年代から 1920 年代までの米国を支配した考え方で、当時のあらゆるタイプの知識人は、社会を完璧なものにすることは可能であって、科学と技術の驚異によって、文明を理想状態に導くことができると信じた。

米国の科学記者は、こうした責務を果たすためには、科学者自身が科学記者をより真剣に受け入れる必要があると考えた。1934 年には科学著述者協会（NASW）

ILLUSTRATIONS BY J. FIELD

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

を設立し、自らの呼称についても、「ジャーナリスト」や「レポーター」ではなく、明確に「ライター」と名乗ったのである。このほうが、より専門性の高い職業というイメージを与えることができると考えたからだ。NASW の会員 12 人全員は、自分たちはエリート集団の一員であり、したがって安心して話をして欲しい、と科学者によびかけた。そして、会員以外は「真の科学ライター」ではないので、話をしないよう忠告した。かくして、私が科学報道の「これはすごい！時代（Gee-Whiz Age）」とよぶ期間が始まった。この時代は、科学の驚異と科学者への尊敬が重視・強調され、進行中の科学研究に対する分析やその社会に対する影響の予測には、全く力が注がれなかった。

1937 年、タイム誌の科学記者 George W. Gray は次のような言葉を残している。科学ジャーナリズムは、「科学的手法を社会大衆教育に不可欠な要素として組み込むために、そして、そのような社会教育を通して、科学的手法が文明的思考の普遍的な要素となるために」尽力すべきである、と。Gray は 1949 年に米国科学振興協会（AAAS）から表彰されたが、その時、彼は「一番大事なのは、科学者本人たちから認められることなのだ」とまくしたてた。

この時代の大半の期間、科学記者は 1 つの神話を追い求めていた。Lewenstein によれば、それは「科学者と科学ライターの正しい関係は、両者の間に信頼と尊敬が存在すること」というものだった。その典型的な例が、科学記者 William Laurence による世界初の原子爆弾開発をめざしたマンハッタン計画の記事にみることができる。

ニューヨークタイムズに記事を執筆していた Laurence は、一般市民が科学の真価を認めるよう望んでおり、彼のこの希望もまたよく知られていた。そのこともあって、米国陸軍省（現在の国防総省）は、マンハッタン計画と日本での原爆投下の機密を知らせる唯一の記者として、彼を選んだのである。実際、Laurence は軍内部に組み込まれた初期の科学ジャーナリストの一人だった。偶然にも彼は、第 33 代トルーマン大統領と陸軍省のために原子爆弾に関するプレスリリースを作成して、米国政府から給与を受け取っていたのだ。信じがたいことに、Laurence が政府のために働いていた事実は秘密にされなかった。今日のジャーナリストならば重大な利益相反行為と考えるだろうが、当時は誰も違和感をもたなかったのである。

チアリーダーから監視役へ

広島と長崎に原爆が投下された後、爆風が及んだ地域の外側であっても、多くの人々が病気になって死んでいるという噂が立った。そのため、陸軍省はニューメキシコ州のアラモゴード基地で記者会見を開いた。この件に関する Laurence の記事は次のように始まる。「地球上で初の原子爆弾の爆破実験が行われ、文明の新時代が始まった歴史的な、ここニューメキシコの地は、爆弾投下日以降も続出している死者の原因が放射能だとする日本の宣伝工作に対する、最も有効な答えである」。そしてこの記事で、アラモゴード基地の見学によって「そうした主張がウソであることが証明される」だろうと書いた。ジャーナリズム界は、Laurence が科学ジャーナリズムの極致を体現していると見なし、Laurence は 1946 年にピューリッツァー賞を受賞した。

1950 年代に入ると、科学ジャーナリストは、科学の実用的意義や社会への影響よりも、科学的発見、すなわち科学自体の喜びの方が重視されるべきである、という信念を記すことが多くなった。NASW 会員の間では、いかにすれば科学ジャーナリズムが「より効果的」なものとなるか、方法論についての議論が多くなった。しかしその目的は、科学ジャーナリズムが科学の監視役としての機能を強めるためではなく、従来よりも幅広い層の国民に科学の真価を認めさせるためであった。私は、この姿勢・態度こそが、当時の新聞社幹部が自社の科学ライターや医事ライターに不信感を持ち始めた理由だと考えている。結局のところ、ニュース編集室では、どの分野の記者であっても、取材対象に対しては公平無私、時には挑戦的ともいえる姿勢によって評価されるからである。

ほどなく、科学ジャーナリズムの「これはすごい！時代」に亀裂が生じ始めた。1962 年、レイチェル・カーソンの『沈黙の春（Silent Spring）』が出版され、殺虫剤 DDT によって鳥類の卵の殻が弱くなり、野生生物の殺戮（さくりく）につながることが浮き彫りにされた。ところが殺虫剤は、科学技術の驚異であり、一般市民が称賛・受容すべきものとして報じられてきたため、科学ジャーナリストは葛藤することになった。『沈黙の春』は感情的で偏見にとらわれている、と厳しく批判した者もいた。*Time* や *Fortune* に記事を書いていた Lawrence Lessing は、カーソンを攻撃し、科学の最高の著述は、米国化学会や賢明な化学業界との共同作業によって達成されると主張した。そこでは「現役の科学者と科学ライターが対話を深め、公共の利益にまで高めていく」という。しかし、『沈黙の春』と

F. GORO/TIME LIFE PICTURES/GETTY

著作権等の理由により画像を掲載することができません。

William Laurence（左）は、J. Robert Oppenheimer（右）の原子爆弾に関する記事を執筆する一方で、米国陸軍省のプレスリリースも作成した。

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

彼女の「産業界の主張を無批判に受け取るべきではない」という見解は、環境保護運動の立上げだけでなく、環境報道という新分野を生み出すことにもなった。環境分野の記者は、科学者、特に産業界から資金提供を受けている研究に対して、より批判的な姿勢をとるようになった。

1970 年代には、技術に潜むマイナス面がますます表に現れてきた。その象徴ともいえるのが、ペンシルベニア州ハリスバーグ近郊のスリーマイル島原子力発電所における原子炉溶融事故であった。その頃には、科学ジャーナリストが記事を書く際に、記事のテーマがもつ社会的・政治的影響を無視することはできなくなっていた。こうして、科学ジャーナリズム史における次の重要な時代である「監視役としての時代」が始まった。科学記者の姿は、ニュース編集室の他分野の同僚にかなり近づいていったのである。

紙メディアの衰退

この時代に、科学ジャーナリズムは量的にもブーム、繁栄期を迎えた。1978 年にニューヨークタイムズの科学欄が誕生したのは、その先駆けだった。ある統計によれば、このブームがピークに達した 1987 年には、147 の新聞に少なくとも週 1 回の科学記事のページが作られ、老舗の *Scientific American* と *Science News* に加えて、4 つのポピュラー科学雑誌が創刊された。しかし残念ながら、このブームは長続きしなかった。1980 年代後半になって雑誌の上げ潮期は終わりを告げ、現在も老舗誌のはざまで健闘している *Discover* を除き、新興雑誌はすべて黒字化を果たせず廃刊となった。新聞の科学欄の数も減り始め、今日も生き残っているわずかの科学欄を残して、すべて消滅した。

「デジタル時代」に入ったことが明らかな現代にあって、ジャーナリズムの定義そのものが変化しつつある。そして、その方向性も不透明だ。科学ジャーナリズムは、科学界の栄光のために仕える役割をやめ、独立性を取り戻し、一般市民に対して新たな責任を果たすようになっている。現在、伝統的な報道機関は衰退しつつあり、多くのジャーナリストは、インターネット上で自ら記事を発信し、全面的な独立を獲得して、一般市民との直接のつながりを得ている。一方で、科学者もインターネットを利用して、ジャーナリストを完全に飛び越えて、その研究成果や研究計画を一般市民に直接提示している。読者にとっては、公平無私な情報源と何らかの思惑のある情報源とを見分けることが、ますます難しくなってきている。

科学ジャーナリストが、再び、社会にとって意義ある存在となるには、新しいメディアを習得するだけでなく、新知見を解析、解釈し、資金提供者の意図までをも見抜くために、十分な科学知識を学ばなければならない。しかし事はそれだけではすまない。実用化までにはまだ時間のある開発段階の新技術であっても、一石を投じられる間に、その技術の社会的影響力を予測・予見できなければならないのである。

（菊川要 訳） ■

Boyce Rensberger は、1998 ～ 2008 年にマサチューセッツ工科大学（米国ケンブリッジ）の「ナイト科学ジャーナリズム・フェローシップ」プログラムのディレクターをつとめ、科学記者として 32 年間の実績がある。主にワシントンポスト紙とニューヨークタイムズ紙の記事を執筆した。

Science journalism: The Arab boom

盛り上がるアラブ世界の科学ジャーナリズム

Nadia El-Awady　Nature/Vol.459(1057)/25 June 2009

アラブ諸国で研究活動が活発化するに伴い、メディアも科学報道を増やしている。しかし、この地域のジャーナリズムにはなお改善の余地が多い。

10 年ほど前にエジプトの IslamOnline.net で科学を担当し始めたころ、「科学ジャーナリズム」をインターネット検索して、そのような職業が実在するのかどうか調べたことがある。少なくとも私は、それまでアラブ世界でこの複合語を耳にしたことはなかった。

しかし時代は変わった。2006 年に私が発足に関わったアラブ科学ジャーナリスト協会（ASJA）は、2009 年 5 月現在で、会員数 179 名を数えるまでになった。当協会は、米国科学ライター協会と共同で、2011 年の第 7 回世界科学ジャーナリスト会議をカイロに招致しようとしている（第 6 回会議は 2009 年 6 月 30 日からロンドンで開催された）。アラブ世界では科学ジャーナリズムが力を増しつつある。しかしなお、質が量に伴って向上するよう努力

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

する余地が残されている。

欧米のメディアでは科学スタッフがリストラに遭っているが、ASJA 会員を対象として 2009 年 1 月に行われた調査によれば、過去 5 年間にわたってアラブの科学ジャーナリストのフルタイム雇用は比較的安定しており、フリーランスの仕事はさらに多いとされている。例えば 1950 年代からウィークリーの科学ページを編集しているエジプトの日刊紙アルアハラムは、フルタイムの科学ジャーナリストを 20 名雇用している。発行部数が同程度の米紙ワシントンポストは 8 名だ。アラブの最大級の報道機関で知名度も高い衛星テレビ局アルジャジーラはフルタイムの科学記者をもたないものの、エジプトの科学研究チャンネル、アルマナラには 40 名のフルタイムスタッフがいる。こうした明るい状況は、科学に対するアラブ市民の関心の高さとともに、アラブ圏での科学研究や会議が増えていることとも関係している。

自地域の研究活動が活発になるにつれ、アラブの科学関連施設は、科学とそのコミュニケーションを促進する目的もあって、メディア活動の支援に対して関心を高めている。例えばアラブ科学技術基金（アラブ首長国連合、シャルジャ）は、ASJA 活動の多くに資金を提供している。また、エジプトの科学研究技術アカデミーは、地元の科学誌アルイルムと科学チャンネルのアルマナラに資金を供与している。このような資金提供とメディア重視の認識は歓迎すべきものだが、注意も必要だ。ジャーナリストは、資金を提供してくれる施設でも批判的に書くことができなければならない。

イスラム文化では科学者と医者に深い敬意が払われており、それゆえに、科学ジャーナリストは、調べようとする相手に対して気後れしないよう注意しなければならない。科学ライターの多くは現役の科学者でもある。ASJA 会員の 5 分の 1 は大学に籍を置き、研究活動を行っていたり、医師や獣医として活躍したりしている。このことが、ジャーナリストとしての仕事で批判的な見方を維持する際の障害となる場合もある。

さまざまな問題と課題

このように科学とメディアの結びつきは強いが、アラブの研究機関はなおジャーナリストに対してかなり閉鎖的だ。カイロのデスクにいる私にとっては、通りの真向かいにあるエジプト国立研究所で起こっていることよりも、地球の反対側にある米国の大学で起こっていることの方が情報を得やすい。アラブの科学系研究機関や大学には報道担当者が不足している。プレスリリースがジャーナリストに配信されることはほとんどなく、ウェブサイトのメンテナンスも不十分な場合が多い。

アラブ圏の科学ジャーナリズムには、もっと一般的な問題もある。多くのメディアの土台が政府に押さえられており、それゆえに、政府広報に批判的でない報道をするジャーナリストが多いのだ。その結果が現れた一例が、H1N1 豚インフルエンザの発生に関する最近のエジプトの報道だ。豚からウイルスが検出されたわけではないのに、大統領令によってエジプトの豚は全頭殺処分された。エジプトで最初の感染者が発生する前に、感染を封じ込めるため、エジプトの保健相 Hatem El-Gabaly は、礼拝や大学入試をモスクや室内ではなく屋外で行うよう求めた。エジプト各紙は、外科用の糸やひげそり用のブラシの原材料になる豚の腸と体毛の輸入を農業相が全面的に禁止したと報じている。こうした政策に対して無批判なエジプトメディアの報道は、一般市民の間に無用のパニックを引き起こした。

別の要因もこの問題に拍車をかけている。英語のスキル不足が、アラブ圏の科学情報源の欠如とあいまって、入手可能な情報や国際イベントへの参加を制限しているのだ。アラブ圏のジャーナリストや科学者の中には、インターネットを、それ自体単独で信頼できる情報源ととらえている人々さえいる。

アラブの科学ジャーナリストはこうした問題に立ち向かわなければならない。資金源を多様化し、資金源との距離を保つことの重要性を肝に銘じる必要がある。英語スキルの向上も必要だし、アラビア語でのトレーニングの機会も増やさなければならない。ジャーナリストと科学者には、どの情報源が信用できるのかを教育する必要もある。

興隆してきたアラブの科学ジャーナリズムを育成し、持続させなければならない。もしもその弱点をこのまま放置するようなことがあれば、現在の興隆は転落への序章となるかもしれない。（小林盛方 訳）■

Nadia El-Awady は、カイロを拠点とするフリーランスの科学ジャーナリスト。アラブ科学ジャーナリスト協会の設立当初からの会員で会長経験者であり、世界科学ジャーナリスト連盟の理事でもある。

Nature **459** 1061 ページ、およびウェブページ http://tinyurl.com/sciencejournalism を参照。

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

YSFH

READING, WRITING AND NANOFABRICATION

読み書きからナノファブリケーションまで

Nature Vol.460(171-172)/ 9 July 2009

2009 年 4 月に開校した新設高等学校、横浜市立サイエンスフロンティア高等学校には、電子顕微鏡や DNA シーケンサーから天体観測ドームまで備わっている。これほど科学設備の整った高校はほかに類がない。ここから未来の科学者が巣立っていくことが期待される。David Cyranoski が取材報告する。

横浜市立サイエンスフロンティア高等学校（YSFH）の 1 年生の時間割は盛りだくさんである。1 時間目は、アルゴンガスの中で単層カーボンナノチューブを成長させ、チューブのでき具合をマイクロラマン分光法で評価する。昼休みの後には、ポリメラーゼ連鎖反応（PCR）の実習が待っている。放課後ものんびりすることはなく、生徒たちは学校の天体観測ドームに集まり、星団や土星の環を見る。2009 年 4 月に開校したこの日本初の理数科高校の設備は、小規模な科学研究所に匹敵するといえるだろう。

この高校自体も、いうなれば手の込んだ 1 つの「実験」である。その第一の推進者で、ゲノミクスの先駆者である生物物理学者の和田昭允（あきよし）は、こうした理数科教育機関が全国的に登場し、生徒たちの数学や理科に対する意識を刺激して、そこから日本の科学界の未来のリーダーたちが生まれることを期待している。近年日本では、数学や理科に対する子供たちの関心が薄れる「理科離れ」という現象がみられ、関係省庁の懸念材料となっている。和田は、YSFH はそうした関心を呼び戻すカギになると考えている。

この高校には「スーパーアドバイザー」が 5 人いるが、和田は唯一の常任アドバイザーであり、同校の設立に力を尽くした。彼は、日本の科学を世界最先端のレ

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

ベルに維持し続けるために、その 40 年の経歴のほとんどを、大胆で意欲的なさまざまな科学プロジェクトの立ち上げや運営、管理に捧げてきた。横浜市から 10 年前に、新しい高校の企画委員会への参加を打診されたとき、和田も同様に大胆で確固とした構想を抱いていた。「和田先生がいたからこそ、この高校は理数科教育の理念と目標を確立することができたのです」と佐藤春夫校長は語る。

解決すべき困難な問題もいくつかある。この高校は、エリート主義を助長するものだという非難を受けてもおかしくない。また、設立予算は 95 億円と高額であるが、これには横浜市が提供した土地代は含まれていない。そのため、このモデルが本当に全国に広がる可能性があるのかどうか疑問視する向きもある。

しかし和田は、この質問が終わらぬうちにイエスと答えた。もちろん彼は、横浜のこの実験校には検証して明らかにすべきことが多いことを認めている。「日本の理数科教育の将来は、YSFH が成功するかどうかに大きくかかっているでしょう。また、それが重大な責務であることも私は承知しています」と彼はいう。

ニュートンとメンデルの木が見守る

和田の話し振りは穏やかである。彼は、先導役の英語教師、植草透公（ゆきまさ）の後について、鶴見川に臨む延床面積 2 万 5000 平方メートルの 5 階建て校舎を案内してくれた。和田は、校庭にある 2 本の有名な木、アイザック・ニュートンの家の庭にあったリンゴの木のクローンとグレゴール・メンデルの遺伝実験の一部で使われたブドウの木のクローン、そして壁を飾る著名な科学者たちの実物より大きい肖像を誇らしく思っているようだった。「説明文はすべて英語です。生徒たちは英語を学ぶ必要がありますので」と彼はいう。和田は週に 2、3 日来校し、そのかたわら「和田サロン」を開催して、クッキーをつまみコーヒーを飲みながら、生徒たちと最近の科学論文や倫理問題を議論している。

研究者が同校を訪れたなら、開閉式ドームにおさめられた口径 30 センチメートルの自動制御型天体望遠鏡をはじめとするさまざまな設備に、大いに心惹かれることだろう。この天体観測ドームを含む高価な設備について、同校ではあるシステムを考え出した。装置を操作する技能が認められた生徒にライセンスを授けて、顧問がいなくても使用できるようにするシステムである。

使用設備がここまでのレベルにある学校は、世界でもまれである。米国バージニア州アレクサンドリアにあるトーマス・ジェファーソン科学技術高校の Jim Jarvis 科学技術部部長は、同校も YSFH と同様に、天体望遠鏡や走査形電子顕微鏡、PCR 装置を備えていると話す。しかし彼の「欲しいものリスト」には、クリーンベンチやシーケンサーといった、YSFH にはあって同校にはないものもいくつか含まれている。

米国イリノイ州オーロラにあるイリノイ数学科学アカデミー（IMSA）Grainger Center for Imagination and Inquiry の所長、Judy Scheppler は、YSFH のナノファブリケーション（ナノスケールの製造加工）やナノスケール観察の設備は特に際立っていると話す。「米国をはじめ全世界には、このうちのいくつかを備えている学校もあるでしょう。しかし、1 つの学校にすべての設備があるというのは、驚くべきことです」と彼女はいう。

最先端の設備があっても、腕のよい指導者がいなくては意味をなさないが、YSFH には優れた人材も集まっている。例えば、溝上豊は YSFH に赴任する前に、東京大学の研究室で 1 年間研修している。そこで彼は共著者の 1 人として論文を発表したが、所属欄には現在の所属先として YSFH も併記されている [1]。彼が YSFH に来ようと決心したのは、それまで赴任していた高校では持ち時間の 10％しか実験に費やせないことに嫌気がさしたからだという。現在は持ち時間の 30％を費やすことができ、彼は大いに満足している。

YSFH の定員は各学年当たり 240 名だが、新設初年度の受験倍率は 5 倍を超え、神奈川県内で次に高かった公立高校の 3 倍という倍率を大きく引き離した。ある調査によれば、このように多数の受験生が集まった主な理由は、実験の機会が得られることだという。また、何人かの生徒にじかに聞いたところ、教師陣の話がおもしろかったからだと話してくれた。ある生徒は人工筋肉を作りたいといい、またある生徒はメタンハイドレートに興味があると語ってくれた。

こんなふうに生徒たちと話していると、「理科離れ」が進んでいるなどとは到底信じられない。しかし 2004 年以降、関係省庁は理数科教育について懸念を抱くようになった。その前年に世界各国で行われた標準テストで、日本の 15 歳の学力は、数学の順位が 1 位から 6 位に下がり、理科の成績も落ち始めていると報告されたからである。日本は常に、こうしたテストで 1 位もしくは上位を占めてきており、それを誇りにしてきた。この種のテストの最新データが得られた 2006 年の段階で、日本は数学で 10 位、理科で 6 位という順位に甘んじている。

巻き返しに出る

「理科離れ」の現象を受けて、日本政府は 2002 年より、理数系教育を重点的に行う高等学校を「スーパーサイエンスハイスクール」に指定し、理数科教育の強化のために、5 年間（2004 年までは 3 年間）で 5000 万円を各校に予算配分している。今年度の総指定校は、106 校になる。和田はこれを、「広いが浅い」第一歩だと表現している。標準テストの成績が下がったことに触れ、和田は胸を張ってこういった。「YSFH の生徒たちは、この流れを 180 度転換する先駆けとなるでしょう」。

和田は、科学が強い影響力をもつには時としてリソースを集中させることも必要だと、長年にわたって行政関係者を説得してきた。しかし、必ずしも思うようはい

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

和田昭允と YSFH の生徒たち（差し込み写真）。この高校（上）は理研ゲノム科学総合研究センターに隣接している。

かなかった。和田は、1970 年代に生物物理学者として大規模な自動シーケンシングを最初に構想した 1 人だったが、当時、それに対して懐疑的な生物学者に数多く出会った。これらの技術が海外で盛んになっていたにもかかわらず、官僚たちは明確な方策を打ち出さず、日本のゲノム研究は遅れをとってしまった。結局、ヒトゲノムプロジェクトが完了したとき、各国の担当した比率は米国が 59％、英国が 31％だったのに対し、日本はわずか 6％にとどまった。和田の努力が失敗に終わった経緯については、『ゲノム敗北』（ダイヤモンド社）という絶妙なタイトルの本で詳しく取り上げられている [2]。

その後、和田は自分の構想を実現する幸運に恵まれた。日本で 1989 年に開始した、ヒューマン・フロンティア・サイエンス・プログラム（HFSP）の立ち上げと維持に大きくかかわることができたのである。同プログラムには共同研究プロジェクトも含めて 3000 人の研究者が参加し、そのうち 13 人はその後ノーベル賞を受賞している [3]。1998 年に和田は、日本初の包括的ゲノム研究をめざして横浜市に設立された、理研ゲノム科学総合研究センター（GSC）の初代所長となった。惜しみなく資金が投入されたこの研究センターは、日本のヒトゲノムおよび霊長類ゲノムの塩基配列解読研究の先導役を果たし、マウスゲノムの遺伝子に機能注釈をつけ転写ネットワークを一覧化するプロジェクト（FANTOM プロジェクト［Functional ANnoTation Of the Mammalian Genome ; 哺乳動物ゲノムの機能注釈］）で世界的に高い評価を受けた [4–5]。「和田先生は率直に物をいう人で、時には手厳しいこともおっしゃいますが、先生のビジョンや判断は決してブレることがありません」と、理研の FANTOM プロジェクトを率いる林崎良英は語る。「皆が和田先生について行こうという気になる理由は、そこにあるのだと思います」。

では、YSFH に関して、和田と彼のビジョンに賛同してついて行こうとする人がいるだろうか。YSFH 設立の話し合いの中で最大の障害は開設費用だった。しかし、それは横浜市が支払うことで解決した。このような莫大な開設費用がかかるにもかかわらず、既にいくつかの地方自治体から、この高校に関する問い合わせがあったと和田はいっている。Scheppler によれば、理数科高校の豪華な設備から恩恵を得る生徒は一握りしかいないため、世間の風当たりがどうしても厳しくなりがちだという。「そうはいっても、優秀な生徒が高度な理数科教育を受けるのは、芸術的才能のある子どもに芸術系の高等教育をするのと同じで、悪いことではないでしょう」と彼女はいう。和田もこの点を気にかけている。「YSFH は際立った能力をもつ子どもなら、たとえ低所得の家庭でも、安い授業料で高度な教育を受けられるのです」と彼はいう。YSFH は公立高校なので、授業料は月額わずか 9900 円である。

ノーベル化学賞受賞者で理研の理事長を務める野依良治は、この高校が、「何から何まで平等主義的な日本の公教育制度」を脱する助けになるだろうと話す。日本ではこうした平等主義的な考え方が徐々に薄れてきており、大学の予算はしだいに競争的研究資金や中核的研究拠点へと集中しつつある。しかし、YSFH の生徒たちが特別に恵まれた環境で理数系進路に足を踏み出したからといって、それが卒業後も続くという保障は何もない。「卒業後に国立大学に入って、失望してしまう生徒がいるのではないかと心配です」と野依はいう。

和田は現在も熱心に、生徒たちを日本の最先端科学研究の一端に触れさせようとしている。YSFH は理研 GSC に隣接しており、連携･協力の協定を結んだことで、GSC の設備の一部を使用することも可能となっている。

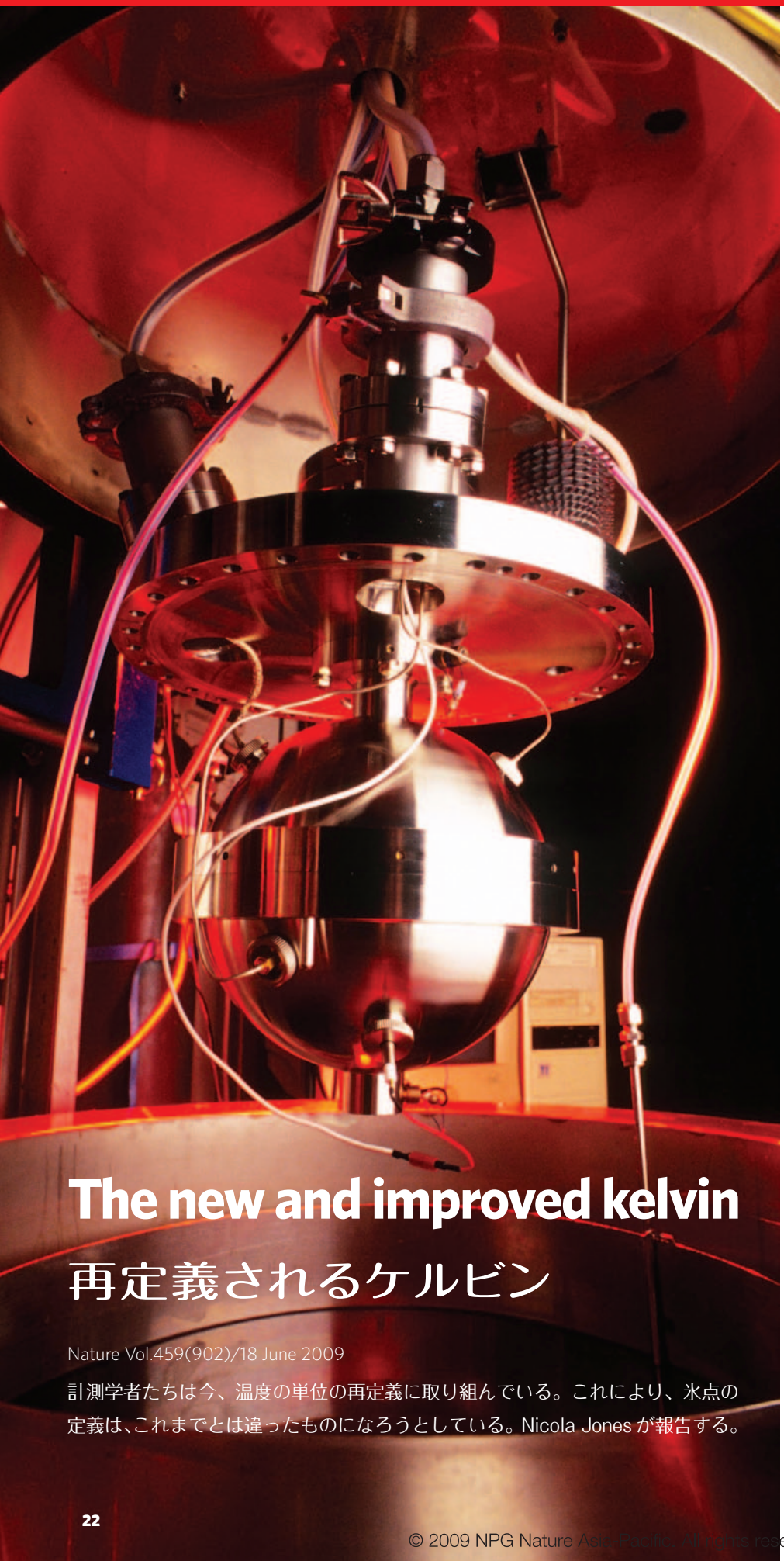
和田がかかわったほかの大きな冒険的事業と同じように、YSFH も、最終的には今後の成果に判定をゆだねることになる。ここで培われた独創性や、ここから派生した副次的効果が、標準テストの成績の向上につながるのだろうか。また、卒業生の中から新世代の科学者が生まれるのだろうか。Jarvis の話では、ジェファーソン科学技術高校の年間の卒業生 450 名のうち 3 分の 2 は科学関連分野で働いているという。YSFH のティーンエージャーたちも同様に、ナノファブリケーションや PCR を使った数々の実習によって科学への情熱を駆り立てられたなら、この理数科高校という壮大な実験は成功したといえるだろう。（船田晶子　訳）■

David Cyranoski は、*Nature* のアジア・パシフィック地域の特派員。

1. Nemoto, T., Watanabe, T., Mizogami, Y., Maruyama, J. & Kitamoto, K. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **82**, 1105–1114 (2009).
2. Ito, Y. *Nature* **433**, 107–108 (2005).
3. Wada, A. *Nature* **357**, 356 (1992).
4. Cyranoski, D. *Nature* **407**, 279 (2000).
5. Kawa, J. et al. *Nature* **409**, 685–690 (2001).

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

NATURE DIGEST | VOL 6 | SEPTEMBER 2009



M. BREGA

The new and improved kelvin

再定義されるケルビン

Nature Vol.459(902)/18 June 2009

計測学者たちは今、温度の単位の再定義に取り組んでいる。これにより、氷点の定義は、これまでとは違ったものになろうとしている。Nicola Jones が報告する。

20 年あまり前のこと、Mike Moldover は、「アルゴンガスを満たした球体」で演奏した曲により、精密計測科学のロックスターのような存在になった。彼の研究チームは、この球体内で音が反響するようすを測定することで、それまでにない高い精度でボルツマン定数（分子の平均運動エネルギーと温度との関係を示す定数）の値を定義することに成功したのだ。この結果に強い自信をもっていた Moldover は、論文で、「万が一、我々が得た値が 10ppm 以上違っていることが示されたら、この実験装置を食べてみせましょう」という大胆な約束までしたのだ (M.R.Moldover *et al. J.Res. Natl Bur. Stand.* **93**,85.144; 1988)。だが、Moldover がアルゴンガスを飲むことは、今後しばらくはなさそうだ。

米国国立標準技術研究所（NIST、メリーランド州ゲーサーズバーグ）に所属する Moldover らは、ボルツマン定数（k_B）の値を 1.3806513×10^{-23}J/K と決定した。その不確かさはわずか 1.8ppm であった。それから 20 年以上の歳月が過ぎた今も、この数値は研究者たちの目標となっている。英国国立物理学研究所（テディントン）の Michael de Podesta は、「科学者たちは、Mike に畏敬の念を抱いているといってもよいでしょう」という。de Podesta は現在、各国の研究者を相手に、Moldover の実験の不確かさを 1ppm まで小さくすると同時に、その結果を確認するという競争を繰り広げている。国際委員会は、ボルツマン定数がこのレベルの精度で測定されたら、その値を基準として固定し、これを利用して温度の単位の定義を根本的に変えようと計画している。Moldover は、「ボルツマン定数が固定されれば、世界中の人々が温度測定について頭を悩ます必要がなくなります」という。

確かに、ボルツマン定数の値が定まっていないことが気になって夜も眠れないという人や、それにより実害をこうむる人は、ほとんどいないだろう。しかし、これは学問的には重要な問題なのだ。今日の国際

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

単位系（SI）では、熱力学的温度の単位であるケルビンは、絶対零度と水の三重点（固体、液体、気体の水が平衡して共存する温度と圧力）により定義されている。現在、水の三重点の温度は 273.16K と定められている。この定義には歴史的な理由があり、当初は論理的だと考えられていた。しかし、今日の計測学者の目には、エレガントでなく、非論理的で、まったくもってけしからぬものとして映っている。

「この定義のしかたは、ちょっとおかしいのです」と de Podesta はいう。計測学の倫理規範によれば、1 つの物質（この場合は水）に特別な地位を認めることは不適切である。もっと悪いことに、ケルビンの定義ではこの「水」の種類まで決まっており、水素同位体と酸素同位体の比率が少なくとも小数第 7 位まで規定された「ウィーン標準平均海水（VSMOW）」でなければならないのだ。それに、極低温の世界を研究する低温物理学者や超高温の恒星を研究する科学者が測定する温度が、理論上とはいえ、恣意的に選ばれた氷の塊との比較に基づいて決められているというのは、理にかなっているとはいいがたい。Moldover のかつての同僚であり、フランスのセーブルにある国際度量衡局（BIPM）に所属する Richard Davis は、「ケルビンは、再定義すべき時期に来ているのです」という。

単位に関する取りまとめを行う BIPM は、2011 年までにこの不安定な状況を正そうとしている。ボルツマン定数は、現在は若干の不確かさを伴う測定値であるが、「定数」という名にふさわしく、固定した数値が宣言される予定である。また、ケルビンは、平均並進運動エネルギーを $1.38065XX \times 10^{-23}$ ジュールだけ変化させるような熱力学的温度変化などとして再定義される予定である（現在、*XX* に入る数字を決定するための測定が行われている）。

音波を使ってボルツマン定数を決定する

この変更により、計測学の長年の課題は、手品のように鮮やかに切り替わる。ボルツマン定数の測定値につきまとっていた不確かさは、定義上きれいさっぱり消えてしまい、今度は、温度の測定値の不確かさへと移行する。新しい温度の不確かさは非常に小さいため、どの研究室もパニックになることはまずないはずだ。大部分の研究者は、変化に気付くことさえないだろう。だがその一方で、温度の再定義により温度スペクトルの両端での精度が高まる。さらに、ケルビンは水との不安定な関係から解放され、物理定数という知的で堅固な基盤に基づくものとなる。計測学者たちは、あらゆる測定単位について同様の改定を進めている。

ケルビンを再定義するためのボルツマン定数の測定には、気体を満たした球形容器中で、特定の温度での音速を測定する「音響温度計測」という手法が好んで用いられている。ボルツマン定数は、気体の運動エネルギー（E）を熱エネルギーと関係付ける方程式（$E = 1/2mv^2 = 3/2k_BT$）から導かれる。ここで、m は原子 1 個の質量、v は原子の平均速度（ガス中の音速に比例している）、T は温度である。音速は、球形容器中で反響する音波の周波数の分析から導き出すことができる。この手法の長所は、音波の周波数を高い精度で測定できることである。de Podesta の研究室には、誤差 10^{13} 分の 1 という高精度のルビジウム時計がある。一方欠点は、反響を正確に分析するためには、ガスを入れる球形容器の容積が高い精度でわかっていなければならないことである。Moldover が 1988 年に行った画期的な実験では、最初に 3 リットルの球形容器を水銀で満たして重さを量り、その容積を決定している。（ちなみに彼はこの論文で、自分の結果が間違っていることが立証されたら、この装置を食べてみせるとも約束している。）

容積の測定は、今日でも最も難しい問題である。球形容器に液体を満たして重さを量るという Moldover の測定法は、今でも十分通用する。けれども、もっとエレガントな方法もある。その詳細は、Moldover のかつての同僚だったデラウェア大学（米国、ニューアーク）名誉教授 James Mehl により最近になって考案された。この方法のポイントは、球形容器に微小なアンテナを入れて空洞内でのマイクロ波の反響を測定し、得られた測定値を使って球形容器の容積を決定することにある。球形容器は、3 本の軸の長さがわず

Michael de Podesta らのチームは、ボルツマン定数の測定における誤差を小さくしようとしている。

A. HEUME

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

かずつ異なっているなど、意図的に歪ませてある。完全な球形に近い容器を使うと、反響が重なり合って複雑なパターンを生じてしまうからである。

「容器は、極めて厳密に、球形でない形でなければならないのです」と de Podesta はいう。そのため、彼らの球形容器は、ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡の鏡の製作にもかかわった業者により製作された。

Moldover よりも高い精度でボルツマン定数を測定することをめざして、英国国立物理学研究所、イタリア国立測定学研究所（トリノ）、フランス国立測定学研究所（パリ郊外）という 3 つの主要な研究所の間で友好的な競争が始まった。3 つの研究所は、いずれも音響温度計測によりボルツマン定数を測定しようとしているが、その装置はわずかに異なっている。彼らの研究は、あらゆる側面において、最大限の配慮を必要とする。イタリアの研究所の Roberto Gavioso は、「まずは、純粋な気体を購入します。気体は純粋であればあるほど好ましいです。それをさらに精製するのです」という。これは、延々と続く技術上の注意事項の 1 つにすぎない。2009 年末から 2010 年までの間に、いずれかの研究室がボルツマン定数の不確かさを 1ppm まで小さくしていることだろう。現在 69 歳の Moldover は、ボルツマン定数の決定を若い世代の研究者たちに託し、自分は応援にまわっている。

一方、ドイツ国立計測学研究所（ベルリン）のチームは、これとは別のアプローチでボルツマン定数を測定しようとしている。Bernd Fellmuth の測定装置は、温度を一定に保つために 1 立方メートルの水に取り囲まれた圧力室からなる。圧力室の内部にはコンデンサーが取り付けてあり、ヘリウムガスが注入される前後の電気容量を測定できるようになっている。これにより、音響温度計測を行うグループとは別の方程式群を使ってボルツマン定数を導き出すことができる。この手法では高い精度で圧力を測定することが求められるが、実際の測定は困難である。現時点の精度は約 4ppm にすぎず、求められるレベルに達するためにはチーム全体で取り組む必要がある。彼らは 2010 年 1 月に実験を開始し、同年末には 1 ～ 2ppm の精度を達成する予定である。Moldover は、彼らの目標は楽観的すぎるが、2011 年までに結果を出すことができれば、音響温度計測の結果と照らし合わせることができ、好都合だと語っている。

ボルツマン定数の測定結果が得られたら、次は国際会議での投票になる。BIPM のメンバーである 53 か国が国際度量衡総会に代表を派遣し、そこで最終的な決定がなされるのだ。この総会は 4 年に 1 度開催されており、次回は 2011 年である。

このようにケルビンの決着を急ぐのはなぜだろうか。すべてはキログラムのせいである。キログラムは国際キログラム原器の質量として定義されているが、特定の物体により定義されている単位は、今やキログラムだけになっている。国際キログラム原器は、プラチナとイリジウムからなる合金の塊であり、パリ郊外の BIPM の金庫室に保管されている。特定の物体により定義されていることは、1 キログラムの値に奇妙な影響を及ぼしている。1 キログラムの値は当然一定であるべきなのに、国際キログラム原器の表面に原子が付着したり、払い落とされたりするたびに、その値が変わってしまうのだ。もちろん、この値がどのくらい不安定なのかは誰にもわからない。比較するための基準がないからである。これでは、あらゆる質量の測定値の基礎として磐石であるとは到底いえない。

この問題を解決するために、さまざまな研究チームが、普遍的な量を基礎にしてキログラムを再定義しようと試みてきた。最も直観的な方法は、ケイ素 28 からなる完全な球体を作製し、その球体を構成する原子の個数を厳密に決定することである。こうすれば、決まった個数のケイ素原子の重さとして 1 キログラムを再定義することができる。しかし、これだけ完全な球体を作製するのは非常に難しいため、実現はほぼ不可能だと考えられている。

より現実的なのは「ワット天秤」を用いる方法である。ワット天秤は、地球の重力下で 1 キログラムのおもりと釣り合わせるために必要な電磁気力を測定する。この電気力を記載する方程式には、量子物理学の基本的なパラメーターであるプランク定数が含まれている。今のところ、ボルツマン定数と同様、プランク定数も測定によって決定しなければならない。しかし、プランク定数の値が固定されれば、その値に基づいてキログラムを再定義することができる。そのため、計測学者たちは国際キログラム原器にあると思われる不安定性よりも小さな不確かさでプランク定数を決定しようとしている。そうすれば、プランク定数の値を定めるための基準として使われた時代遅れの代物を引退させることができる。

どちらの方法による測定も積極的に進められており、それぞれの結果は他方の結果の確認に役に立つ。研究者たちは、できるだけ早く 1 キログラムの定義を変えたがっている。そうすれば、この値の「ふらつき」を止められるからだ。

著作権等の理由により画像を掲載することができません。

BIPM/AFP/GETTY IMAGES

BIPM に保管されている国際キログラム原器

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

キログラムの再定義に向けた取り組みが進むにつれて、計測学者たちは、ほかの懸案事項もすべてけりをつけてしまおうと考えるようになった。2005 年には、7 つの基本単位のうち、ケルビン、キログラム、アンペア、モルの 4 つにつき再検討することが決まった（ちなみに、残りの 3 つの基本単位は、メートル、秒、カンデラである）。4 つの基本単位は、いずれも定義に問題があり、再定義すべき時期に来ていた。このうち、アンペアとモルの再定義はキログラムの再定義とつながっているが、ケルビンはこれらとは関係がない。

そこで、温度測定の専門家たちは、測定学の世界における自分たちの管轄をさくっと片づけてしまおうと決めたのである。とはいえ、彼らの努力が世界に直接的な影響を及ぼす可能性はほとんどない。科学と産業の安定を乱さないために、当面は、定義以外なにも変えないことになっているからだ（下のコラム「万人のための温度」参照）。

しかし、研究成果が何にも影響を与えないということは、一部の科学者には実際、ストレスとなるかもしれない。de Podesta でさえ、「ときどき、こんな研究をしていてよいのかと気がとがめることがあります。私の研究は、飢えに苦しむ子どもを助けたりする役には立たないからです」という。けれども彼は、温度の小数第何位の小さな数字に頭を悩ませ、温度測定に確固たる真の基準が与えられることを切望している人々の存在を強く感じている。いつの日か、精確な熱力学的温度を必要とし、ボルツマン定数の値が固定されていることで救われる人が現れるだろう。「そのとき、私のささやかな研究が、世の中の役に立つのです」と de Podesta は語っている。（三枝小夜子　訳）■

万人のための温度

2011 年までに熱力学的温度の単位を再定義するという努力は、ほとんどの科学者には影響を及ぼさない。なぜならこれは、ちょっと値が違っているものについての変更であるからだ。それは、T_{90} とよばれる温度スケールである。

物質の熱力学的温度は、その原子の平均運動エネルギーである。これを正確かつ直接的に決定するためには、気体中の音波の反響を測定するなどの厳密な技術を必要とする（本文参照）。これは、一次温度測定と見なされている。しかし、ほとんどの研究室は、温度に応じて抵抗が変化する白金線などの単純な装置を使って温度測定を行っている。国立測定学研究所で較正を行えば、これらの温度計は非常に再現性の高いものになりうる（しばしば 0.1ppm という驚異的な精度になる）。そこで、科学者たちは複数の決まった相転移について白金線の抵抗を測定し、白金線全体の抵抗を温度と関連付ける方程式を導き出すのである。

そのためには、各国の国立測定学研究所は、主要な相転移の熱力学的温度を知っている必要がある。これらの値は、ありとあらゆる一次温度測定法を用いて何度も測定されているが、細かい数字が一致しないこともしばしばだった。そこで、各国の国立測定学研究所が同じデータを使用できるように、フランスのセーブルにある国際度量衡局（BIPM）が基準となる相転移温度をまとめた本を出版した。この本が 1990 年に出版されたことから、ITS-90（ITS は「国際温度スケール」の略）とよばれている。一般的な研究室の温度計を含めて、ITS-90 を用いて較正された温度計は T_{90} スケールになっている。

けれども現在、ITS-90 に掲載された温度の多くが間違っていることがわかっている。一次温度測定法の進歩により、いくつかの測定が不適切な方法で行われていたことが明らかになったのだ。例えば、金の凝固点は ITS-90 では 1337.33K になっており、複数の研究所で 0.01K 以内の精度で再現できる。しかし、より正確な一次温度測定により、実際の凝固点は 1337.38K に近いことが明らかになった。

再現性の高さは技術者を喜ばせるが、不正確さは計測学者を悩ませる。計測学者は、白金細線と同じくらい使いやすく、再現性が高く、現代最高の装置に匹敵する精度をもつ一次温度計が発明される日を夢見ている。そうすれば、ITS をお払い箱にできるからだ。この未来のシナリオでは、ケルビンの再定義を通じて計画されているとおりにボルツマン定数（運動エネルギーを温度と関連づける値）が固定されれば、温度測定の不確かさを最小限に抑えることができる。

ITS-90 の誤差は、20K 以下と 1300K 以上という両極端の温度で最大となる。こうした温度領域で研究を行う科学者は一次温度測定法を用いることが多いため、ボルツマン定数を固定することは、彼らにとっては有意義な変更である。例えば、天文学者の研究とは大いに関係がある。恒星の温度を測定するために温度計を差しに行くわけにはいかないからだ。しかし、今日の天文学者の多くは 1000 分の 1 の精度で足りているため、これを 100 万分の 1 まで改善しても、事実上、なんの違いも生じないだろう。一部の人々は、ケルビンが再定義されようとしていることさえ知らない。*Journal of Low Temperature Physics* の共同編集者である Horst Meyer も、*Nature* から聞くまで知らなかった。

「そこが重要なのです。一般の人々に気付かれてはならないのです」と、新しい定義の詳細について取りまとめを行っている BIPM 委員会の事務局長 Richard Davis はいう。「人々に気付かれるようになったら、プロジェクトはうまく行っていないことになります」。　**N.J.**

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

粒体の物理

Structures in sand streams

砂の流れに現れる断続パターン

Detlef Lohse & Devaraj van der Meer

Nature Vol.459(1064–1065)/25 June 2009

砂などの粒状の物質をさらさらと自由落下させると、その連続的な流れはやがて、断続的な複数のクラスター（固まり）へと分裂していく。高価な高速度ビデオカメラを数メートルの高さから落下させるという“独創的”な実験により、どうしてこのようなことが起こるのかが明らかになった。

池に石を投げ込むと、水が勢いよく飛び上がることはよく知られている。高速度ビデオカメラや連写カメラで撮影すると、噴出した水が小さな水滴に分裂していく様子が見える。この現象は芸術家のヒントにもなり、例えば Andrew Davidhazy（ロチェスター工科大学教授）などは、高速度撮影による写真作品を発表している。

一方で、これと非常によく似た現象が、粘着性のない細かい砂の上に石を落としたときにも観察されており[1]、まさに興味深く注目に値する。このような「粒体」の流れが液体とよく似た振る舞いを見せる理由は、粒子どうしの衝突が非弾性衝突であるために、粒子が集まってより大きな構造を作るからだとされ、私たちはこれまでこの説明を信じてきた[2,3,4]。しかし、米国・シカゴ大学の Royer らは、この見解が間違っていることを示す論文を *Nature* 6 月 25 日号 1110 ページに発表した[5]。大きな構造を作る原動力は、あまりに小さすぎてこれまではクラスター、つまり粒子の固まりを作ることはできないだろうと考えられてきた力によるのであった。

液体の流れにおける小滴の形成（図 1a）は、表面張力、つまり小滴の形を保たせている力が原因のレイリー・プラトー不安定性によって起こる。この不安定性の解明は、ベルギーの物理学者 Joseph Plateau と英国の物理学者レイリー卿らによって行われ、19 世紀後半に流体力学の概念を発展させる要となった。そしてそれ以来、教科書にも載っている基礎知識となった[6]。その一方で、砂のような「粒体」の流れ（図 1b）では、液体の流れとは対照的に、表面張力が働かないと考えられてきた。そして粒体は、衝突時に働く斥力を除いて「互いに力を及ぼし合わない粒子の集まり」と定義されてきた[7]。それゆえ、粒体の流れが液体の流れとよく似たクラスターに分裂することは、まさに驚くべきことだったのである。

Royer らは今回、粒体では、ナノメートルの範囲まで及ぶ粒子間に働く小さな力が微小な表面張力になり、その強さは水の表面張力の 10 万分の 1 にもかかわらず、砂の流れの中で粒子がクラスターを形成する現象を説明できることを示した[5]。彼らはこれを 2 つの技術を巧妙に組み合わせて達成した。1 つは、ナノメートルスケールで砂粒の間に働く力を原子間力顕微鏡で測定したことであり、もう 1 つは、メートルスケールで粒体の流れの発展を追跡したことである。実験では、砂やその他の粒体を漏斗から流出させ、流れといっしょに動く高速度ビデオカメラを使って撮影した。つまり、クラスター形成の動力学を、ほぼ 1 秒間にわたって流れとともに動く座標系で追ったわけだ。実際には、8 万米ドル（約 800 万円）もする高速度カメラを数メートルの高さから落下させる必要があった。着地時にカメラに加わる衝撃は十分に吸収されるようにしておいたとはいえ、文字通り息をのむような試みだった。

Royer らは、粒子間に働くナノメートル範囲の凝集力と、自由落下の最初の数メートルにおける流れ構造の発展との間の、直接的な相関関係を調べた[5]。そして、凝集力の強さを変えると、動力学つまり流れがクラスターに分裂する仕方が直接変化することを見いだした。粒子間の凝集力の強さは、具体的には、粒子表面の粗さや湿度を変えたり、あるいは異なる物質を使うことで変化させた。注目すべきことに、ナノメートルスケールの凝集力を抑えると、クラスター形成は起こらなくなったのである。

私たちは、この印象的な現象を 2 つの類似現象から説明

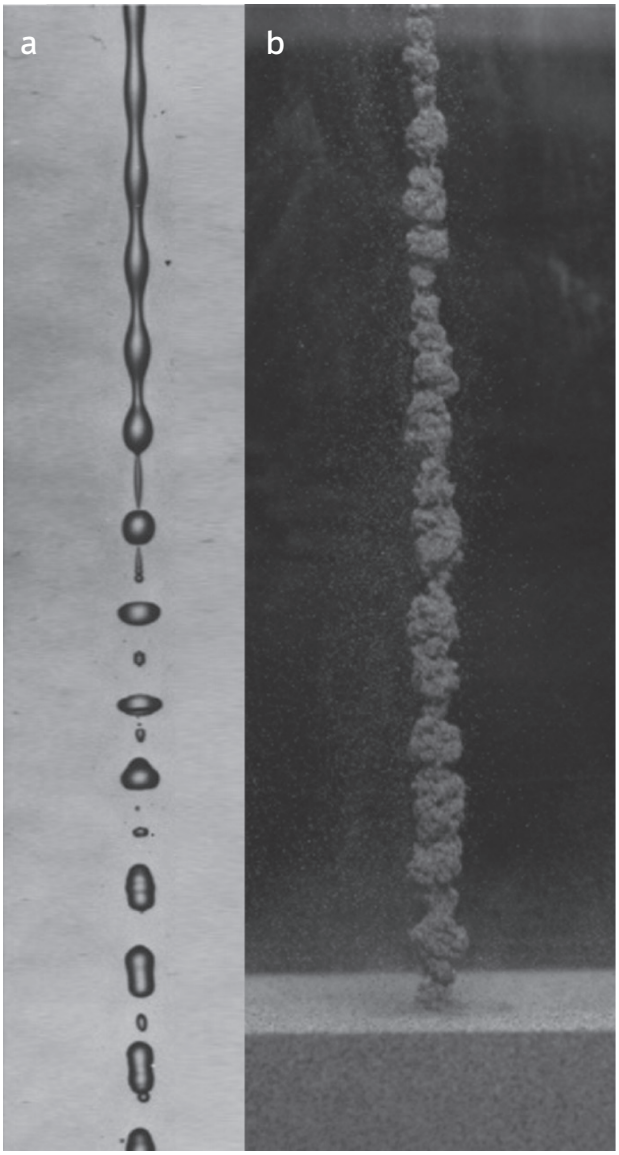
© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

しようと思う。1つ目は、粒子が形成するクラスター(固まり)の形に関連している。Royer らも指摘しているように[5]、クラスターの形は、分裂するときに2つの円錐形をつなげた形の「首」ができることを含め、液体をナノメートルスケールで噴出させた際にできる小滴とよく似ている。この現象は、分子液体をナノメートルスケールのノズルから真空中へ注入する様子をシミュレーションした分子動力学研究で最初に見つかった[8]。こうした研究から、ナノメートルスケールの流れの中の分子数が少なく、熱ゆらぎがあるとき、クラスターの形状は不規則になることがわかっており、この点は Royer らの粒体の流れで見られたクラスターと非常によく似ている。砂の流れに含まれている砂粒の数も、巨視的な液体の流れに含まれる巨大な分子数と比べればはるかに少ない。

2つ目の類似現象は、星を取り巻くガス円盤中の塵の粒子から惑星系が形成する現象だ。この場合、最初のステップはメートルサイズの岩の形成だが、このプロセスがどのようにしてキロメートルサイズの微惑星の形成へと続くのかは、岩の間に働く重力がとても弱いことを考えると未解明の問題である[9]。しかし、Royer らの研究は、十分な時間が与えられれば、たとえ微小な力でも構造を形成できることを教えてくれる。

これまで、「粉体」に対して「粒体」を定義する際に用いてきた性質の1つは、粒子の間に働く凝集力がないということだった[7]。しかし、Royer らによる粒体の流れにおけるクラスター形成の観察は、科学者たちがこれまで信じてきたことに反して、粉体と粒体の違いはもっと不明確であることを示している。事実、粒子の速度の差が小さく、時間スケールがかなり大きいとき、大きな粒子でさえ、粉のように振る舞うことがある。

小さな引力がおよぼす効果は、自由落下する粒体の流れ以外にもみられるかもしれない[1]。たとえば、柔らかくて細かい砂に重い物体が衝突すると砂が飛び上がるが、その砂の「はね」の部分に形成される構造は、同種の凝集力と関連している可能性が高い[1]。そのような関連性が実際に存在するかどうかを調べるには、Royer らが今回粒体の流れに対して行ったような先駆的な研究が今後必要だ。(新庄直樹 訳) ■



a, CAMBRIDGE UNIV. PRESS; b, AM. PHYS. SOC

図1：流れの分裂 (a) 水の流れは小滴に分裂する。これは表面張力によって起こる現象である(画像は参考文献10から転載)。(b) 同様に、砂などの粒体の流れもまた、粒子のクラスター(固まり)に分裂する(画像は参考文献1から転載)。粒体の具体例としては、粘着性のない細かい砂へ物体が衝突したときにできるものなどがある。粒体では、粒子の間のナノメートルの範囲に働く力によって、分裂とクラスター形成のプロセスが起こり、この力が通常の液体の10万分の1の表面張力を発生させることを Royer らは示した[5]。

Detlef Lohse と Devaraj van der Meer は、J.M. バーガーズ研究センター科学技術部門流体物理グループと、トゥエンテ大学の力学・プロセス・制御研究所 (IMPACT) と MESA+ ナノテクノロジー研究所に所属している。

1. Lohse, D. *et al. Phys. Rev. Lett.* **93**, 198003 (2004).
2. Jaeger, H. M., Nagel, S. R. & Behringer, R. P. *Rev. Mod. Phys.* **68**, 1259–1273 (1996).
3. Kadanoff, L. *Rev. Mod. Phys.* **71**, 435–444 (1999).
4. Goldhirsch, I. *Annu. Rev. Fluid Mech.* **35**, 267–293 (2003).
5. Royer, J. R. *et al. Nature* **459**, 1110–1113 (2009).
6. de Gennes, P.-G., Brochard-Wyart, F. & Quere, D. *Capillarity and Wetting Phenomena: Drops, Bubbles, Pearls, Waves* (Springer, 2003).
7. Duran, J. *Sands, Powders, and Grains* 1st edn (Springer, 1999).
8. Moseler, M. & Landman, U. *Science* **289**, 1165–1169 (2000).
9. Johansen, A. *et al. Nature* **448**, 1022–1025 (2007).
10. Rutland, D. F. & Jameson, G. J. *J. Fluid Mech.* **46**, 267–271 (1971).

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

銀河形成

Anatomy of elliptical galaxies

楕円銀河の解剖学

Luca Ciotti

Nature Vol.460(333-334)/16 July 2009

楕円銀河の仲間は、一定のルールに従った規則正しい構造をしている。この規則正しさの中に見られる「不規則性」を調べることによって、楕円銀河形成の謎を解明する糸口がつかめるかもしれない。

宇宙にはさまざまな天体が見られるが、最も古いものの1つが楕円銀河である。この「楕円銀河がどのようにして形成されたのか」というテーマは、現代の宇宙物理学でも最もよく議論されてきた。有望な形成メカニズムがいろいろ提案されている中で、いちばん人気の高いのが合体説である。この仮説によると、さまざまな形の親銀河どうしがいろいろな配置で衝突・合体して、多くの銀河ができたことになる。しかし、観測によれば、他のメカニズムでできた可能性も残っている。これまで、楕円銀河の構造に見られる規則性を理論モデルと調和させるべく、多大な努力が積み重ねられてきたが、楕円銀河がどのようにして形成されたかについては、なお合意は得られていない。テキサス大学オースチン校のKormendyらは、地球に最も近い銀河団の1つ「おとめ座銀河団」について、その中でわかっている楕円銀河すべてを詳細に調べ、研究結果を *Astrophysical Journal Supplement Series* に報告した[1]。彼らは、観測で見つかった規則性からの「逸脱」をもとに、楕円銀河の形成を引き起こしたプロセスを知ることができるかどうか調べている（次ページの図1）。

楕円銀河の最大の特徴は、その明るさの分布にある。銀河を構成する星が放つ光の合計光度は、中心からの距離とともに変化していくが、その変化の仕方が、銀河全体の全光度に基づいた一定のルール従うのだ。このルールをセルシックの法則とよぶ。要するに、楕円銀河の中心から周辺部にいたる光度分布曲線は、セルシックの法則で決まっている。楕円銀河の場合、全光度と関係するのは、銀河の大きさ、星の平均速度、金属含有量などである。楕円銀河のもう1つの共通点は、中心部に超大質量のブラックホールがあることで、その質量は、その銀河に含まれる星の質量の1000分の1のオーダーにも達する[2]。

Kormendyらはおとめ座銀河団の研究の中で、楕円銀河の中心から遠い領域までの光度分布を報告し、楕円銀河は、全光度の違いに応じて性質が連続的に変化するような天体群とは見なせない、と主張している[1]。そうではなく、楕円銀河は、全光度のある特定のしきい値によって、はっきりと2つのグループに分かれるようだ。銀河中心部に近い領域におけるセルシックの法則からの逸脱には、実は2種類あって、それが「明るい楕円銀河」と「暗い楕円銀河」という2つのグループに楕円銀河を分けている。第1の明るい楕円銀河では、光度分布曲線が銀河の中心部でとがった形（カスプ状）を示す。しかし、この中心部の光度は、中心から遠い部分ではよく合っているセルシック法則の光度分布曲線より低いのだ。この「法則よりも暗い中心部分」をコアとよぶ。つまり、この明るい楕円銀河は、中心に近いところで「光が少ない」のである。一方で、第2の暗い楕円銀河では、そうしたコアは見られない。コアなしなのだ。逆に、暗い銀河の中心部では、セルシック法則を上回る「余分な光」さえ見られるようだ（しかし、中心部の光度分布には別の解釈もある。Grahamらの論文[3]を参照）。

Kormendyらの研究結果により、楕円銀河が2種類に分かれることを暗示するその他の観測結果が、より重要性を増してきた。明るくてコアのある銀河は、ゆっくり回転し、どちらかといえば非等方的、つまり星の速度分布が方向に依存するなどの性質があり、三軸の形状（銀河の直径が三方向で異なっている）をもっている。さらに、かなり急峻なセルシック分布を示し、ほとんどの星がとても古く、星の形成にかかった時間も比較的短かったと考えられる。一方、暗くてコアのない楕円銀河の方は、速く回転し、より等方的で、大部分は扁球の形（楕円を短軸を軸に回転させた形）をしている。そ

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

して、かなりゆるやかなセルシック分布を示し、銀河を構成する星はもっと若く、星の形成にかかった時間はずっと長い。なお、コアのある楕円銀河は、X線を放出している高温ガスを含み、電波の放射が強い傾向があることもよく知られている。一方、コアのない銀河にはそうした傾向はみられない[4]。

これまでは、楕円銀河という銀河のグループが規則性をもつことから、その規則性をもとに有望な形成メカニズムが絞られてきた[5,6]。しかし今回のKormendyらの分析は、規則性からの「逸脱」を調べる研究が、さらに魅力的な手がかりになるかもしれないことを示している。以前から、1つの可能性として、明るく大きな楕円銀河のコアは、自然なプロセスとして2個のブラックホールによって侵食されて作られた、というシナリオが考えられてきた[7]。それぞれが中心にブラックホールをもつ小さな楕円銀河が2つ合体すれば、新たな楕円銀河の中心には2個のブラックホールが位置することになる。そして、合体という仕組みが楕円銀河の仲間すべての主要形成メカニズムだとすれば、コアなしの楕円銀河にも2個のブラックホールが見つかっていいはずである。ではなぜ、コアなし楕円銀河では、2個のブラックホールによるコア形成が妨げられているのだろうか。

Kormendyらは、もしも合体中の相手から低温ガスが十分に供給され、それが形成中のコアなし銀河の中心部へと運ばれ、星に変わって余分な光を出すなら、2個のブラックホールによるコア形成の効果がかき消されてしまう、と提案している[1]。Kormendyらのこの新しい提案では、明るいコアあり楕円銀河は、多数の古い星をもち、低温ガスをほとんど、あるいはまったくもたない親どうしの合体（「乾いた」合体）の結果であり、一方、暗いコアなし銀河は、低温ガスに富んだ銀河どうしの合体（「湿った」合体）の結果だ、ということになる[1]。湿った合体はスターバースト（爆発的星生成）を引き起こすであろう。2つの親のブラックホールが合体して最終的に1つのブラックホールができても、そこへのガス降着によって放出されるエネルギーは、このようなガスを熱し、星の形成を抑えるには十分ではないだろう。

Kormendyらが提案した仮説は魅力的だが、楕円銀河の形成メカニズムの決定版というわけではない。楕円銀河の中では、大規模な進化メカニズムが働いていると考えられている。例えば、楕円銀河の数十億年にわたる進化の中では、死んでいく星は、銀河の最初にあった星の質量の約20～30%に相当する量のガスを放出する。しかし、現在のブラックホールと銀河の質量比の観測結果によれば、経験則として、せいぜいこのガスの1%が中心のブラックホールへと降着するにすぎない。つまり、ガスのほとんどすべてはブラックホールへ降着するのではなく、何らかの方法で銀河の中でリサイクルされているのだ。ガスの一部が銀河の中心へ流れ、星に変わったのなら、暗い楕円銀河の中心部に見られる余分な光を生み出すのに十分かもしれない[8]。一方、銀河の合体がもたらす効果とは、単純に、明るい楕円銀河のコアを形成するだけなのかもしれない。

NASA/ESA/HUBBLE HERITAGE TEAM (STSCI/AURA)

図1：見た目は単純、中身は複雑な楕円銀河。ハッブル宇宙望遠鏡がとらえたAbell S0740銀河団の画像の中に、大型銀河ESO 325-G004（上左）などの楕円形をした銀河が写っている。これはかなり単純な天体に見える。Kormendyらは、こうした一見単純な銀河が思いがけない複雑さを備えていること、そして、その複雑さが楕円銀河の形成メカニズムを解明する糸口になりうることを示した[1]。

銀河形成にはさまざまな物理過程が関与しているが、それぞれがどの程度寄与しているのだろうか。この問題を解明するため、高度なコンピュータシミュレーションが次々と実行されている[9,10]。Kormedyらの研究結果は、かつてはあまりおもしろくない天体と考えられていた楕円銀河の研究が、銀河形成の謎に迫る重要なカギを握っていることを教えてくれる。（新庄直樹 訳）■

Luca Ciottiは、イタリアのボローニャ大学の天文学科に所属している。

1. Kormendy, J., Fisher, D. B., Cornell, M. E. & Bender, R. *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **182**, 216–309 (2009).
2. Magorrian, J. *et al. Astron. J.* **115**, 2285–2305 (1998).
3. Graham, A. W., Erwin, P., Trujillo, I. & Asensio Ramos, A. *Astron. J.* **125**, 2951–2963 (2003).
4. Pellegrini, S. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **364**, 169–178 (2005).
5. Toomre, A. in *The Evolution of Galaxies and Stellar Populations* (eds Tinsley, B. M. & Larson, R. B.) 401–426 (New Haven Yale Univ. Observatory, 1977).
6. Ostriker, J. P. *Comments Astrophys.* **8**, 177–180 (1980).
7. Merritt, D. *Rep. Prog. Phys.* **69**, 2513–2579 (2006).
8. Ciotti, L. & Ostriker, J. P. *Astrophys. J.* **665**, 1038–1056 (2007).
9. Hopkins, P. F., Lauer, T. R., Cox, T. J., Hernquist, L. & Kormendy, J. *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **181**, 486–532 (2009).
10. Naab, T., Johansson, P. H., Ostriker, J. P. & Efstathiou, G. *Astrophys. J.* **658**, 710–720 (2007).

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

老化

A midlife longevity drug?

中年の不老長寿薬？

Matt Kaeberlein & Brian K. Kennedy

Nature Vol.460(331-332)/16 July 2009

さまざまな病気の治療薬として認められている低分子「ラパマイシン」は、マウスの寿命を大幅に延ばすことがわかった。これは、人間の不老長寿薬に向けた一歩となるのだろうか。

不老長寿薬 ― 時計の針の動きを遅くして人間を本来よりもはるかに長生きさせる薬 ― は、昔からSF作家の創作意欲をかきたててきた。しかしごく最近、そんな物質が実在し、しかも我々の手に届くところにある可能性が、科学的に真実味を帯びてきた。*Nature* 7月16日号392ページで、Harrisonら[1]が、哺乳類の老化プロセスに薬理学的な介入が可能であることを示しているのだ。それによれば、餌にラパマイシン（無脊椎動物の寿命との関連が知られている物質）を添加すると、マウスの寿命が大幅に延びるのだという。

米国国立加齢研究所の介入試験計画（ITP）は、マウスの老化に作用すると思われる物質を試験する目的で立案された[1]。ITPの検討対象の物質は、科学界に身を置く者なら誰でも推挙することができる。検討後、選択された物質については、3か所の研究室で並行して寿命の試験が行われ、それにより自動的に3連の反復実験となって高い統計的検出力が得られる。いくつかの物質は、既に試験が行われている。その中で、3か所すべての研究室で、マウスの雄も雌も大幅に寿命を延ばすことができたのが、ラパマイシンだ。

科学の世界にはよくあることだが、この成果は偶発的な出来事から生まれた。実験を開始すると、ラパマイシンを餌に加えるだけではその濃度を高く保てないことがわかった。そこで、ラパマイシンをカプセル化して腸で溶解するようにした特別仕立ての餌が必要になった。その特別な餌の開発には1年以上を要したが、それにより、ラパマイシンを投与する最初のマウスの集団は、投与開始の時点で既に600日齢になっていた。Harrisonら[1]がいうとおり、これは「人間に換算すればだいたい60歳」に相当する。驚くべきことに、この中高年マウスの寿命は、中央値も最大値もラパマイシンの投与によって大幅に延びた。例えば、雌は1094日から1245日、雄は1078日から1179日に最高寿命（生存日数の90パーセント点と定義）が延びた。これは、ラパマイシン投与開始時点のマウスの平均余命を、雌で約38%、雄で約28%、それぞれ大幅に延ばしたことになる。現在行われている研究では、270日齢からマウスにラパマイシンが与えられているが、そこでも生存日数が大幅に延びる傾向が認められている。

ラパマイシンはもともと、イースター島（モアイ像で有名；図1）の土壌に棲む細菌 *Streptomyces hygroscopicus* が生産する天然物として同定された。この物質は、TOR（target of rapamycin ＝ラパマイシンの標的）キナーゼに対する阻害剤としての特性が知られていたことから、ITPの対象として取り上げられた。かつてTORシグナル伝達は無脊椎動物の老化プロセスと関連付けられていたが[2-6]、哺乳類の老化でもTORシグナル伝達が重要な役割を果たしているのかどうかについては、これまでのところ結論が出されていなかった。今回のHarrisonらの研究成果[1]により、TORは、酵母、線虫、ハエ、そしてマウスという4種類のごく一般的な老化研究用モデル生物のすべてで、寿命を調節することが明らかにされた最初のタンパク質となった[7]。

TOR活性はどうやって老化に作用するのだろうか。TORはさまざまな機能をもつが、その中に、リボソームによるメッセンジャーRNAからタンパク質への翻訳の促進や、リソソーム小胞で細胞の生産物を分解する（自食作用）経路の阻害がある。この役割は、どちらも無脊椎動物種の老化にかかわっている[7]。特に、TORによるmRNAの翻訳の調節は、酵母と線虫 *Caenorhabditis elegans* の間で高度に保存されている寿命決定経路と考えられるようになっている。酵母も線虫も、リボソームS6キナーゼ（タンパク質の翻訳に関与する酵素）やいくつかの転写開始因子、さまざまなリボソームタンパク質などのTORの標的が変異すると、寿命が長くなるのだ[8]。

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

また、TOR は、細胞の増殖、細胞周期の進行、ミトコンドリアの代謝、それにインスリンのようなシグナル伝達にも影響する。ラパマイシンによるマウスの寿命の延長に対して、こうしたプロセスのそれぞれが相対的にどれだけ寄与しているかを明らかにすることは、今後数年間、大きな関心をよぶことだろう。

TOR シグナル伝達は、食餌制限のメディエーターという役割をもつ可能性があることでも注目を集めている。食餌制限は、栄養失調を伴わない栄養量の削減として定義され、酵母からげっ歯類までさまざまな種の寿命を延ばすことが以前から知られている[7]。TOR 活性は食餌制限によって低下し、無脊椎動物モデルを使った遺伝学的研究では、TOR の阻害が食餌制限による寿命の延長と関連付けられている[7]。例えば、酵母を使った最近の研究では、TOR の阻害により栄養に反応する転写活性化因子 Gcn4 の量が増加することが明らかにされ、Gcn4 レベルの上昇が食餌制限による十分な寿命の延長に必要であることが示されている[9]。同じように、線虫では、食餌制限による寿命の延長に自食作用の誘導が必要とされている[10]。

こうした研究に基づけば、ラパマイシンは食餌制限を模倣する薬 — 食餌の量を減らすことなく食餌制限の効果が得られる低分子 — として作用しているのではないかと考えたくなる。無脊椎動物やげっ歯類などのモデル動物を用いた実験からは、食餌制限と同様に、TOR の阻害により、寿命を延ばすばかりでなく、心血管機能障害や食餌が誘導する肥満、それにがんなど、老化に関連する疾病が予防されることがわかっている[7]。特に、げっ歯類の食餌制限の特徴としてがんの阻害が注目されており、ラパマイシンに似た物質がある種のがんの治療で既に利用されている。

こうした関連はあるものの、Harrison ら[1]は、ラパマイシンがマウスで食餌制限と似た作用を示しているという考え方を全面的に支持してはいない。というのも、彼らのデータでは、ラパマイシンは体重を減少させずに寿命を延ばしており、また投与が開始されたのが中年期であるからだ。過去の研究では、食餌制限の開始が遅いと寿命に対する影響がばらつくことがわかっている。しかし、もし真の食餌制限模倣薬が、食餌の消費量を変えずに食餌制限に関係するシグナル伝達経路の進行とその下流の反応を模倣するのだとすれば、体重を減少させない可能性があることは、注目に値する。また、遺伝的背景が多様な Harrison らのマウスで食餌制限が深く研究されているわけではなく、このマウスの食餌制限がラパマイシンと似た作用を示すかどうかは予測が難しい。そのため、ラパマイシンがマウスで食餌制限模倣薬として機能していると断言するのは時期尚早である。

NEWSCOM

図 1　ラパヌイとラパマイシン。マウスの寿命を延ばすことが示されたラパマイシンは、モアイ像で有名なポリネシアのイースター島で採取された土壌サンプルから発見された。ラパマイシン類は、臓器移植時の免疫抑制剤、進行した腎臓がんの治療薬、それに血管形成術後の冠状動脈の狭窄を予防する薬として、臨床で使用されている。ラパマイシンという名前は、イースター島の現地語名「ラパヌイ」に由来する。

しかしながら、既に明らかになっている TOR の栄養反応での役割、それに無脊椎動物にみられる TOR シグナル伝達と食餌制限との遺伝子的な関係から、それは十分ありうることだと思われる。

今回の成果は、人間の不老長寿薬に向けた第一歩なのだろうか。確かに、健康な人はラパマイシンを飲んで老化を遅らせようなどと考えるべきではない。この物質の免疫抑制作用だけでも、十分警戒しなければならないものなのだから。しかし、動物モデルに基づいて、ラパマイシン、あるいは TOR シグナル伝達を阻害するより優れた方法は、老化に関係する病気の治療に役立つのではないかと考えるのはおもしろい。また、関連する下流の TOR 標的はもっと研究が進んでおり、有害な副作用がなく健康と長寿に効果をもたらす薬理学的戦略を編み出すことも可能かもしれない。現時点では、錠剤で人間の寿命を延ばすことはまだ SF の領域を出ないが、Harrison らの研究成果[1]は、「中年でも自分の歩く道のりを変える時間が残されている」という楽観的な考え方に現実味を与えている。（小林盛方　訳）■

Matt Kaeberlein および Brian K. Kennedy、ワシントン大学（米）。

1. Harrison, D. E. *et al. Nature* **460**, 392–395 (2009).
2. Jia, K., Chen, D. & Riddle, D. L. *Development* **131**, 3897–3906 (2004).
3. Kaeberlein, M. *et al. Science* **310**, 1193–1196 (2005).
4. Kapahi, P. *et al. Curr. Biol.* **14**, 885–890 (2004).
5. Powers, R. W. 3rd, Kaeberlein, M., Caldwell, S. D., Kennedy, B. K. & Fields, S. *Genes Dev.* **20**, 174–184 (2006).
6. Vellai, T. *et al. Nature* **426**, 620 (2003).
7. Stanfel, M. N., Shamieh, L. S., Kaeberlein, M. & Kennedy, B. K. *Biochim. Biophys. Acta* advance online publication doi:10.1016/j.bbagen.2009.06.007 (2009).
8. Smith, E. D. *et al. Genome Res.* **18**, 564–570 (2008).
9. Steffen, K. K. *et al. Cell* **133**, 292–302 (2008).
10. Hansen, M. *et al. PLoS Genet.* **4**, e24 (2008).

M Kaeberlein と B K. Kennedy は、酵母でのハイスループット寿命測定法の特許を申請中。

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

葛藤する脳の仕組みを調べる

糸原 重美

私たちは、日々、多くの葛藤や迷いに振り回されている。一応の理由をつけて何らかの行動に出るが、それは脳のどのような制御機構によるものなのか。理研脳科学研究センターの糸原重美チームリーダーらは、マウスの実験によって、あるタイプの葛藤の処理に「X11L」というタンパク質が関与していることを突き止めた。

Nature Digest — 葛藤に興味をもたれたのはなぜですか？

糸原 — 脳の高次機能に興味があったからです。これまで、生物学者は脳科学において「心」という言葉を使うことを避ける傾向にありましたが、私は「心＝脳の高次機能」ととらえています。心の状態は、複雑ではありますが、整然と統合された神経回路によって作り出されています。心はヒトに固有のものだという人もいますが、私はその原型が高等脊椎動物全般にあると考えています。そのうえで、マウスを使って、分子生物学と行動学の両方のアプローチから、神経回路の仕組みに迫るための研究を続けています。

葛藤は心の状態を表す重要な脳機能ですが、初めから葛藤に注目していたわけではありません。ある遺伝子の解析を進めたところ、葛藤制御の重要な側面に行き着いたのです。

葛藤とは何か

ND — そもそも、葛藤とはどのような心の状態だと考えられますか？

糸原 — 私たちは外界からさまざまな刺激を受け取りますが、その中には「自分を誘引するような刺激」がたくさんあります。このとき、誘引対象に接近したいという欲求と、そこから回避したいという欲求の両方が同時に起きるのが普通です。葛藤とは、こうした複数の欲求が天秤にかけられた状態だと解釈できます。結局は、その都度、自分の中で何らかの理由づけをし、回避か接近かのどちらかの行動を選択することになります。場合によっては、どちらをより好むか（より嫌うか）といった葛藤や、「知識と現実との矛盾が葛藤を生む」というようなことも経験するでしょう。

ND — 今回、*X11L* 遺伝子に着目された理由は？

糸原 — *X11L* は、共同研究を行っている北海道大学大学院薬学研究院の鈴木利治先生たちが、アルツハイマー病の研究で見つけられた遺伝子です[1]。アルツハイマー病の原因分子とされるアミロイド-β は、その前駆体がいくつかに切断されることで作られるのですが、X11L はこの切断に関与し、アミロイド-β 産生を抑制するタンパク質でした[2,3]。脳の病気に関わる分子は、脳の高次機能においても重要な生理活性を担っているはずと考え、その本来の機能を解析しようと考えたのが始まりです。

ND — ノックアウトマウスを使って実験されたそうですが、容易に行動の異常が観察できたのでしょうか？

糸原 — *X11L* 遺伝子のノックアウトマウスと野生型マウスを同じゲージで飼育しながら、さまざまな行動実験を行いました。約 2 年にわたり、さまざまな行動実験を試みたのですが、予想に反し、何の異常も見られませんでした。例えば情動を調べるのに、高架式十字迷路試験というものがあります。これは高さ 50 センチほどの十字迷路で、一方向には壁があり、一方向には壁がありません。野生型マウスは大半の時間を壁のある迷路で過ごすのですが、ときどき壁のない迷路に近づいたりします。「安全な位置にいようとするものの、安全でないところものぞいてみたい」という葛藤が生じているといえます。ノックアウトマウスの行動も野生型マウスと差がなかったのですが、私たちは「ノックアウトマウスには何らかの行動の異常があるにちがいないが、実験手法の検出限界により、それが見えてこない状態にある」と考えました。ところが、なかなか具体的な打開策を得ることができませんでした。

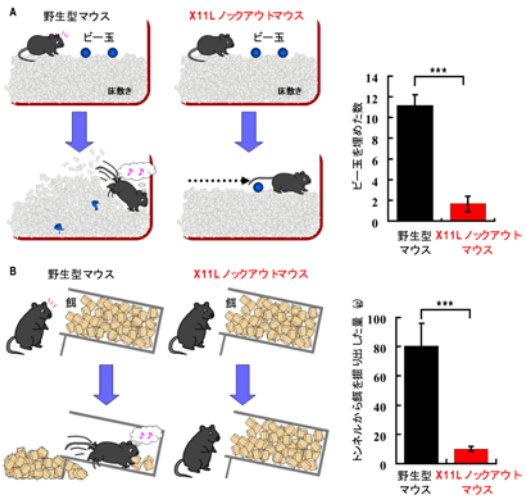


図 1　ビー玉埋め試験とトンネル掘り試験。ビー玉埋め試験 (A) では、厚さ 5cm の床敷きの上に 20 個のビー玉を等間隔に敷き詰め、マウスを自由に行動させた。野生型マウスに比べ、ノックアウトマウスでは、ビー玉を床敷きの下に埋める数が顕著に低下した。一方、トンネル掘り試験 (B) では、1 個約 2 グラムの餌の塊が 200 グラム詰まったチューブを、マウスの飼育ケージに置き、自由に行動させた。野生型マウスに比べ、ノックアウトマウスではチューブから餌の塊を出す量が顕著に低下した。

発見に結びついた行動実験

ND — 何が異常行動発見の糸口になったのですか？

糸原 — ある記憶実験をするために長期間の食餌制限をする必要があったときに、スケジュールの都合上、途中の一日だけ餌の与え方を変えた日があり、このことがきっかけとなりました。その次の日の測定で、野生型マウスとノックアウトマウスの体重に有意な差が見られたのです[4]。通常、餌は「食べ

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

糸原重美（いとはら・しげよし）／理化学研究所脳科学総合研究センター 行動遺伝学技術開発チーム チームリーダー。東京大学農学研究科獣医学専攻連携教授、早稲田大学理工学術院客員教授も併任。博士（農学）。専門は行動遺伝学、分子神経科学、発生工学。1978 年、山口大学農学研究科獣医学専攻修士課程修了。ニワトリの自然発生可移植性肉腫から新たなガン遺伝子 *yes* をもつレトロウイルスを分離同定した。同年農林水産省家畜衛生試験場に入所し、牛白血病ウイルスの感染増殖機構の分子生物学的研究に従事した。この研究で博士号を取得。1998 年よりポスドクとして、マサチューセッツ工科大学利根川進研究室で、マウスのγδT 細胞の発生と機能に関する研究に従事。当時の利根川研究室は免疫学研究の拠点である一方、将来の神経科学研究の方向性を議論する場であった。1993 年に京都大学ウイルス研究所助教授に就任。神経科学の研究を開始し、アストロサイト特異的遺伝子のノックアウトマウスの解析から、アストロサイトが学習記憶機構に関わる証拠を初めて示した。1997 年、創設直後の理化学研究所脳科学総合研究センターに赴任し、以来、マウスの行動を制御する高次脳機能についてマウスの発生工学的手法で取り組んでいる。
http://bgshige.brain.riken.jp/index.htm

きれないほどの量を、1 時間半という制限時間を設けて与える（餌取り競争は生じない）」という投与法でしたが、その日だけは「少なめの一定量を食べきるまで与える（競争が生じる）」という投与法をとっていました。

そこで、食餌制限実験をくり返してみました。その結果、「餌取り競争が生じる方法」ではノックアウトマウスの体重が野生型マウスよりも有意に減少し、「競争が生じない方法」では両者の間に差が生じないことがわかりました。また、ノックアウトマウスは野生型マウスと同居しているときにのみ、この状態を示すこともわかりました[4]。

ND — どのようなことが示唆されたのですか？

糸原 — ノックアウトマウスは、野生型マウスにくらべて競争環境下で負けやすくなっていることが示唆されました。ノックアウトマウスは身体的に虚弱なわけではないので、「負けやすい状態は、ノックアウトマウスが社会行動に何らかの不全をもった結果ではないか」と解釈しました。

ND — 結論づけるために、さらにどのようなことをされましたか？

糸原 — ある試験によって社会行動を評価してみました。雄マウスをしばらく 1 匹で飼育しておくと縄張りを作るのですが、そこに別の雄マウスを侵入させると、正常な場合は侵入してきたマウスに対して能動的に探索行動を行います。ところがノックアウトマウスでは、この行動が有意に低下していました[4]。社会行動は「接近すべきか、回避すべきか」の葛藤の結果として選択されたものです。ノックアウトマウスで社会行動が低下した理由としては、「回避の欲求が高まっている」、「接近の欲求が低下している」、「両方が複合している」という 3 通りの可能性が考えられます。ところが、先の高架式十字迷路試験においては、回避欲求による行動が強く現れますが、ノックアウトマウスでも異常はみられませんでした。こうした知見から、餌取りの行動異常は「接近要求が低下しているためではないか」と考えました。

このことを確かめるため、マウスが好む「ビー玉埋め」と「穴掘り」の実験もしてみました。前者は、ある深さの床敷きの上にビー玉があると積極的に埋めようとする行動で、後者は、筒の中に木くずのようなものが詰まっているとそれを掘り起こそうとする行動です。両方ともなぜマウスが積極的に行うのかは定かではありませんが、これらの行動そのものが報酬に値し、主に接近欲求を反映すると考えられます。実験結果は予想どおりでした。ノックアウトマウスでは、ビー玉埋めと穴掘りの両方の行動が顕著に低下していたのです[4]（図 1）。

ND — この結果から、どのようなことがいえるのでしょう？

糸原 — 回避欲求・回避行動と接近欲求・接近行動に、それぞれ独立した神経回路が存在すること。そして *X11L* 遺伝子が、接近欲求・接近行動の発現に深く関与しているということがいえそうです[4]。

ヒトの病気や行動と結びつくか

ND — X11L タンパク質はどのような回路において、どのような機能を果たしていると考えられるのでしょうか？

糸原 — 残念ながら十分には理解できていませんが、*X11L* 遺伝子ノックアウトマウスでは、海馬、線状体、大脳皮質などにおけるモノアミン系の神経伝達物質（セロトニン、ドーパンミン、ノルアドレナリン）の量バランスが、正常マウスと異なっていることがわかっています[4]。X11L タンパク質は、多様なモノアミンの量のバランスの制御にかかわっているのかもしれません。

一方で、ノックアウトマウスの前脳（海馬、線状体、大脳皮質など）の興奮性ニューロンだけに *X11L* 遺伝子を発現させると、正常に戻ることも明らかにしています。ただし、接近行動を起こしている最中に X11L タンパク質が必要なわけではありませんでした。X11L タンパク質は接近欲求・接近行動にかかわる回路が成熟する過程で必要とされるもので、その後はなくてもよいようです[4]。

ND — 今回の成果はヒトにもあてはまるのでしょうか？

糸原 — ヒトにもあてはまるかどうかはわかりませんが、ヒトの *X11L* 遺伝子の異常が自閉症と関与する可能性があると考えています。その理由は、自閉症の発症と連鎖する遺伝子座の近傍に *X11L* 遺伝子があることと、自閉症でみられる症状の一部が *X11L* 遺伝子ノックアウトマウスの行動特性と類似性をもつように思えるからです。

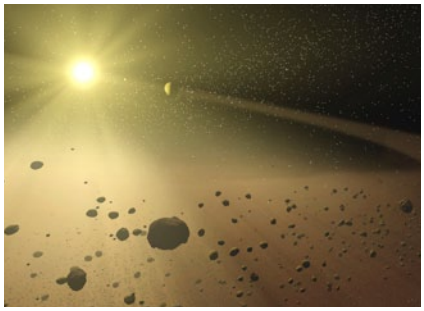
ND — ありがとうございました。 ■

聞き手は、西村尚子（サイエンスライター）。

1 Tomita *et al. J Biol Chem.* **274**, 2243-54 (1999)
2 Sano *et al. J Biol Chem.* **281**, 37853-60 (2006)
3 Saito *et al. J Biol Chem.* **283**, 35763-71 (2008)
4 Sano *et al. J Neurosci.* **29**, 5884-96 (2009)

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

9月中旬、夜9時半ごろ、南の空にはひときわ明るい星が見えます。木星です。そして日付が変わる前には、火星が東から昇ってきます。今回取り上げている小惑星帯は、木星と火星の間にあります。無数の非常に小さい石ころなので、もちろん肉眼で見ることはできません。しかしこれらは、太陽系の成り立ちを語ってくれる重要な天体です。さあ夜空を見上げて、「目には見えないけれどそこにあるものたち」に思いを寄せてみませんか。



NASA/JPL-CALTECH/T. PYLE (SSC)

小惑星帯の冷たい外縁は、巨大氷惑星の移動によって形成されたのかもしれない。

NEWS　**nature news**
語数：**489 words**　分野：宇宙・惑星・太陽系
Published online 15 July 2009 | *Nature* | doi:10.1038/news.2009.693
http://www.nature.com/news/2009/090715/full/news.2009.693.html

Asteroid belt's icy fringe explained

'Primordial objects' may have been captured during planetary realignment.

Geoff Brumfiel

1. A reshuffle of the planets in the early Solar System may explain how ancient ice balls ended up in the asteroid belt.

2. This new hypothesis, based on a popular theory of Solar System formation known as the 'Nice model', upends a previously held view that the asteroid belt is the remnant of a protoplanetary disc that surrounded the Sun early in its evolution.

3. "If the Nice model is true, then the old ideas about the asteroid belt must be wrong," says Harold Levison, a planetary scientist at the Southwest Research Institute in Boulder, Colorado. Levison and his colleagues published their new explanation of the belt's origins in this week's issue of *Nature*[1].

4. The asteroid belt is a roughly 180-million-kilometre-wide stretch of space between the orbits of Mars and Jupiter that contains millions of objects of various shapes and sizes. "The surprising thing about these objects is that they show a wide range of diversity in their chemical composition," says Levison. On the belt's inner edge, the asteroids appear rocky and scorched, whereas the outer edge of the belt is filled with icy objects full of water and organic molecules.

Planetary crime scene

5. Astronomers had believed the belt to be the frozen remains of the protoplanetary disc that once existed around the Sun. The line between rock and ice, they reasoned, was a 'snow line' beyond which large, icy planets could form.

6. But there were problems with this view, particularly for Uranus and Neptune, according to Stuart Weidenschilling, a senior researcher at the Planetary Science Institute in Tucson, Arizona, who was not involved in the latest work. At the distances at which those planets now orbit, the protoplanetary disc would have been moving too slowly for them to form properly.

7. Enter the Nice model. The model, which was introduced four years ago, has Uranus and Neptune forming at roughly half of their present-day distance from the Sun[2]. Beyond them, the model postulates, lay a vast disc of comet-like balls of ice.

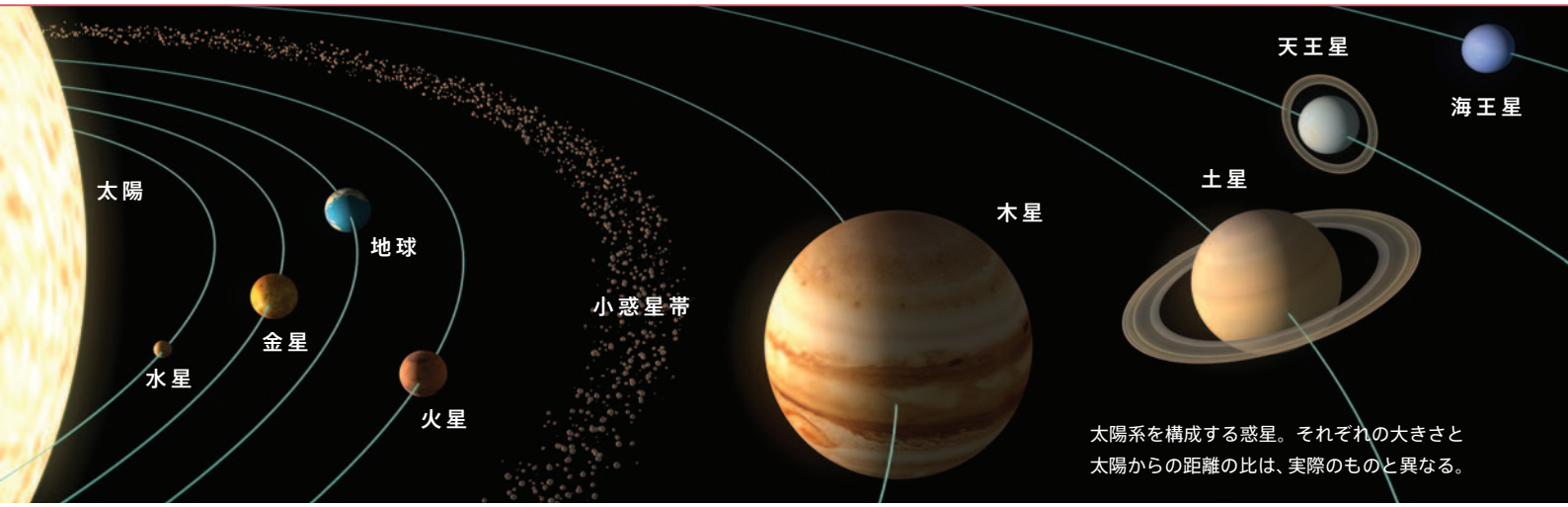
8. This set-up wasn't stable, Levison says, and "the orbits really just went kablooey". Jupiter moved inwards, while Saturn, Uranus and Neptune all moved away from the Solar System's centre. As they did so, they catapulted icy bodies from the early protoplanetary disc into the inner Solar System. The new simulations show that a fraction of these ended up in stable orbits around the outer edge of the asteroid belt, where they reside to this day.

9. Weidenschelling says that the latest work is yet another accomplishment for the relatively new Nice model. "It's another one of these little puzzle pieces that seem to fit in," he says.

10. Levison believes that, if this model is correct, detailed studies of the asteroid belt will tell astronomers more about how the early Solar System evolved. "It's sort of like a crime scene investigation," he says. "How the blood is splattered on the wall tells you more about what happened than the body itself."

References
1. Levison, H. F. *et al. Nature* **460**, 364-366 (2009)
2. Tsiganis, K., Gomes, R., Morbidelli, A. & Levison, H. F. *Nature* **435**, 459-461 (2005).

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved



太陽系を構成する惑星。それぞれの大きさと太陽からの距離の比は、実際のものと異なる。

TOPICS

太陽系（Solar System）と小惑星帯（Asteroid belt）

太陽とその周りを公転している惑星、彗星、準惑星、小惑星、塵、ガス、衛星、さらには太陽活動が影響を及ぼす空間までを含めて、太陽系という。太陽系の惑星は、下の表に示す 8 個である。惑星の公転軌道は、太陽を 1 つの焦点とした正円に近い楕円で、ほぼ同じ平面を回っている。海王星の外側には、彗星や準惑星、小惑星などさまざまな小天体があり、複雑な公転軌道をもつ（太陽系外縁天体）。また火星と木星の間には、小惑星帯（メインベルト）とよばれる小天体が集中している地帯がある。これは、惑星形成時に無数に存在した微惑星のうち、惑星に成長しきれずに取り残されたものだと考えられている。メインベルトには直径 1km 以下から 100km 以上のものまで、大小さまざまな小惑星が数百万個もあると思われる。メインベルトで、現在知られている最も大きいものは、直径約 950km の準惑星ケレスである。

惑星	赤道半径 (km)	自転周期 (日)	公転周期	質量 (地球 =1)	密度 (g/cm^3)	赤道重力 (地球 =1)	軌道長半径 (AU)	衛星数 (個)
水星 (Mercury)	2440	58.65	87.969 日	0.05527	5.43	0.38	0.3871	0
金星 (Venus)	6052	243.02	224.7 日	0.815	5.24	0.91	0.7233	0
地球 (Earth)	6378	0.9973	365.257 日	1	5.52	1	1	1
火星 (Mars)	3396	1.0260	1.88089 年	0.1074	3.93	0.38	1.5237	2
木星 (Jupiter)	71492	0.414	11.8622 年	317.83	1.33	2.37	5.2026	63
土星 (Saturn)	60268	0.444	29.4578 年	95.16	0.69	0.94	9.5549	63
天王星 (Uranus)	25559	0.718	84.0223 年	14.54	1.27	0.89	19.2184	27
海王星 (Neptune)	24764	0.671	164.774 年	17.15	1.64	1.11	30.1104	13

*AU（天文単位）は、地球の軌道長半径を 1 とした単位。1AU=1 億 4959 万 7870km　　* 衛星の数は 2009 年 1 月現在のもの

SCIENCE KEY WORDS

1. **early Solar System: 初期太陽系**
形成初期の太陽系。隕石の解析により、太陽系の進化を推察できる。

2. **Nice model: ニース・モデル**
惑星移動再編説の 1 つ。天王星と海王星は、現在の軌道で形成されたとすると、形成時間が太陽系の年齢（約 46 億年）を超えてしまう。ニース・モデルでは、土星、天王星、海王星は当初、今よりずっと太陽に近い位置にあった。ところが土星と木星の形成最終段階で、周囲の残存微惑星と惑星の重力の相互作用により、木星は内側へ土星は外側へ押しやられ、天王星と海王星が飛ばされた。このとき海王星は、外縁部の凍った小天体の中に放り込まれ、弾みでそれらが太陽系内部へと移動し、木星の軌道にとらえられたり、内側の惑星や衛星に大量に降り注いだりした。そして、メインベルトに飛び込んだものは、さらに大量の隕石の落下を引き起こした。

2. **protoplanetary disc: 原始惑星系円盤**
生まれてまもない恒星の周囲を回転している扁平な円盤状の濃いガス。水素・ヘリウムのほかに、質量で 1% 程度の塵が含まれており、これらが重力により集積し微惑星となり、衝突･合体を繰り返して惑星へ成長した。

5. **snow line: 雪線**
年間の積雪量と融雪量が等しい高度を結んだ線のこと。氷河形成の下限。ここでは、小惑星帯内で、岩石型と氷型の境界を「雪線」に例えている。

7. **comet: 彗星**
岩石と氷でできた直径数 km の塊が、太陽に近づくと熱せられ、ガスや塵が放出されて周囲に「コマ」とよばれる大気を作りだし、「尾」を引くようになったもの。

8. **inner Solar System: 内部太陽系**
火星より内側の太陽系。

WORDS AND PHRASES

リード　**primordial:**「原始（の）」、「初期（の）」
1.　**end(ed) up ～ :**「結局～になる」、「最終的には～となる」
2.　**upends:**「覆す」
2.　**remnant:**「残骸」
4.　**scorched:**「 焼かれた」、「焦げた」
7.　**enter ～ :**「～登場」。脚本のト書きで使われることの多い 3 人称命令法。
7.　**postulate(s):**「仮定する」
8.　**go(went) kablooey:**「ドカンと爆発する」、「バシャッと飛び散る」
8.　**inwards:** “inward” のこと。「内側へ」、「中心へ」
8.　**catapult(ed) into:**「勢いよく放つ」、「急激に動かす」
8.　**a fraction of ～ :**「～のほんの一部分」
8.　**reside:**「存在する」
8.　**to this day:**「今日に至るまで」、「現在でもなお」
10.　**splatter(ed):**「飛び散らす」

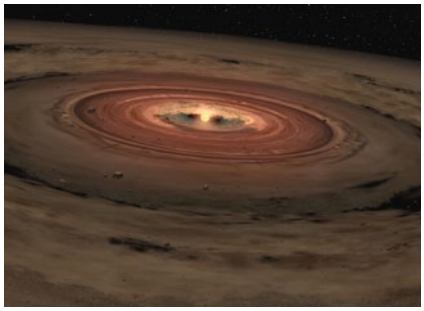
© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

参考訳

小惑星帯を縁取る氷の謎を解く

それらは、惑星の軌道配置が変化した際に「原始天体」が捕獲されたものかもしれない。

ジョフ・ブラムフィール



NASA/JPL-CALTECH

惑星は、原始惑星系円盤の中で生まれた微惑星が衝突・合体して形成された。

1. 小惑星帯に古い氷の玉が入り込んでいることは、初期太陽系において惑星の軌道配置が変化した結果として説明できるかもしれない。

2. この新しい仮説は、進化の初期段階にある太陽を取り巻いていた原始惑星系円盤の残骸が小惑星帯になったとする、従来の仮説を覆すものである。その基礎には、「ニース・モデル」という支持者の多い太陽系形成理論がある。

3. サウスウェスト研究所（米国、コロラド州ボールダー）の惑星科学者 Harold Levison は、「ニース・モデルが正しいなら、小惑星帯に関する従来の考え方は間違っていることになります」という。Levison らは、小惑星帯の起源に関する冒頭の新仮説を今週号の *Nature* に発表した [1]。

4. 小惑星帯は、火星と木星の軌道の間にひろがる幅約 1 億 8000 万キロメートルの空間であり、さまざまな形と大きさの天体が数百万個も分布している。「こうした天体の化学組成には、驚くほどの多様性があります」と Levison はいう。小惑星帯の内縁には、岩石を主成分とし、表面を焼かれたような天体がみられるのに対して、その外縁は、水分や有機分子を大量に含む氷でいっぱいである。

現場検証

5. 天文学者たちはこれまで、かつて太陽を取り巻いていた原始惑星円盤の残骸が凍って小惑星帯ができたと信じていた。そして、岩石天体と氷天体の分布の境界線が「雪線」にあたり、その外側では大型の氷惑星が形成されると考えていた。

6. 米国アリゾナ州ツーソンにある惑星科学研究所の上級研究員 Stuart Weidenschilling（今回発表された研究には関与していない）によると、この仮説にはいくつか問題がある。なかでも重要なのは、天王星と海王星に関する問題であるという。これらの惑星は、現在、太陽から非常に遠い軌道を運動しているが、この距離では原始惑星円盤の動きが遅すぎて、惑星が正しく形成されないと考えられるのだ。

7. そこに登場したのがニース・モデルである。4 年前に提唱されたこのモデルでは、天王星と海王星は、いずれも現在の太陽からの距離の約半分のところで誕生したとされている [2]。また、その外側には、彗星のような氷の玉が巨大な円盤状に分布していたと仮定されている。

8. Levison によると、この軌道配置は不安定で、やがて「文字どおりはじけ飛んでしまった」という。木星は太陽系の内側へと移動し、土星、天王星、海王星は外側へと移動した。一連の運動は原始惑星系円盤の氷天体にも影響を及ぼし、内部太陽系に向かう急激な運動を開始させた。今回発表された新しいシミュレーションでは、そうした氷天体の一部が小惑星帯の外縁付近で安定した軌道に入り、今日に至っていることが示された。

9. この最新の研究は、比較的新しいニース・モデルを証明するさらなる成果だと Weidenschelling は話す。「また 1 つ、正しいジグソーパズルのピースが見つかったようです」。

10. このモデルが正しいとすれば、天文学者は小惑星帯を詳しく調べることで、初期太陽系の進化についての理解を深められると Levison は考えている。「これは現場検証のようなものです。現場で何が起きたかは、死体を調べるよりも、壁に付いた血痕の飛び散り方を調べたほうが、よくわかるのです」。

（菊川要　訳）

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

地球の魅力 開拓中！

nature geoscience

Nature Geoscience は、学術研究機関の各領域や公的研究機関、石油化学業界など、あらゆる部門で研究を行うさまざまな人々を対象としています。

www.naturejpn.com/ngeo

nature asia-pacific

「ネイチャー・ダイジェスト」へのご意見やご感想、ご要望をメールでお寄せください。

メールをお送りいただく際には、お名前・ご職業・「ネイチャー・ダイジェスト」購読年数のご記入をお願いいたします。掲載内容についてのご意見・ご感想は、掲載号や記事のタイトルを明記してください。お寄せいただいた内容は、今後の本誌の編集に活用させていただきます。皆様のメールをお待ちしております。

宛先：naturedigest@natureasia.com（「ネイチャー・ダイジェスト」ご意見係）

nature グローバルな視点から「科学」を読む

*Nature*定期購読なら、世界の最先端の科学関連ニュースを英文オリジナルコンテンツと、日本語翻訳でお楽しみいただけます。

国際ジャーナルを読む

グローバルな視点から、幅広い分野の情報と「世界の動き」をタイムリーに把握できます！

Nature定期購読なら...

- ***Nature Digest* 無料定期購読**
  (*Nature Digest Online*無料アクセス含む)
- ***Nature*オンライン版**
  (PDF、HTML)
  フルテキストへの
  無料アクセス

日本語編集版を読む

*Nature*定期購読者には、*Nature Digest*を毎月無料送付します。*Nature*の中から、日本の読者に興味をもっていただける記事を吟選して、日本語に翻訳した科学月刊誌です。

nature 翻訳・編集記事

- **HIGHLIGHTS** / 論文ハイライト
- **EDITORIAL** / 社説
- **NATURE NEWS** / 科学ニュース
- **NEWS & VIEWS** / 研究成果解説
- **NEWS FEATURE** /
  読み物・注目の分野をあらゆる側面から親しみやすく解説
- **COMMENTARY** / 論評
- **ESSAY**

オリジナル編集記事

- **JAPANESE AUTHOR** /
  日本人研究者へのインタビュー記事
- **英語でNATURE** /
  NATURE(印刷版およびオンライン版)に掲載の記事から生きた英語を学ぶ

(本文36頁)

Nature・*Nature Digest*定期購読お申し込みはこちらから **www.naturejpn.com/subscribe**

Printed in Japan
ISSN 1880-0556

定価 680円
本体648円

nature asia-pacific