

nature DIGEST

ISSN 1880-0556

日本語編集版

APRIL 2009

VOL. 06, NO.4

4



この景気後退を どう生き抜くか

www.nature.com/naturedigest

nature chemistry 注目されるにはワケがある！

創刊前に *Nature Chemistry* の定期購読を申し込まれた方々に
「*Nature Chemistry* を申し込んだ理由」を聞いてみました！

最新のそして最高の研究結果が報告されると期待したから

最新の研究成果を授業・講義での話題とするため

早期割引で割引率が高いため

化学の最先端のベンチマークとするためであり、

おもしろそう

自らが投稿するターゲットであるため

ワンランク上のCHEMISTRYに期待

この雑誌は、今後、

質が高く、化学的重要度の高い論文を読めると判断したから

化学関係の先導的役割をもつと予想されるから

化学を専攻しており、化学の知識を深めるとともに、英語力を向上させたいから

純粹に、化学の最高雑誌になるであろう

という期待を込めて購読

既に *Nature Chemical Biology* を購読しているが、

より化学系の記事や情報が期待できるため

最近の研究動向を把握するため

既にご購読を申し込まれた日本の方々から、2009年1月に実施した当社オンラインアンケートで寄せられたコメントの一部です。

お申し込みはこちらから

www.naturejpn.com/chem

 nature asia-pacific

この景気後退をどう生き抜くか

表紙: DANIEL MACKIE

HIGHLIGHTS

- 02** vol. 457 no.7232, 7233
vol. 458 no.7234, 7235

EDITORIAL

- 06** 信頼の危機

NATURE NEWS

- 08** 記憶力のよさは母親ゆずり?
09 最小の太陽系外惑星を発見

NEWS

- 10** 絹の起源を見直す
Philip Ball

NEWS FEATURE

- 11** クライシス・コミュニケーション
Lea Winerman

NEWS IN BRIEF

- 15** ハワイの海にはオリジナリティーあふれる
サンゴがいっぱい

COMMENTARY

- 16** この景気後退をどう生き抜くか **RECESSION WATCH**
Jeffrey Sachs, Ian Taylor, Eric Rauchway, 角南篤・黒川清,
John Browning, Noreena Hertz, John Geanakoplos

NEWS & VIEWS

- 25** 巨大なヘビが証言する猛暑
Matthew Huber

NEWS & VIEWS Q&A

- 27** グリア細胞は脳内で「^{にかわ}膠」の役目をしている
だけではない
Nicola J. Allen & Ben A. Barres

JAPANESE AUTHOR

- 32** ティコ・ブラーエ観測の超新星が
Ia 型であることを確認! — 野本 憲一
長谷川 聖治

英語で NATURE

- 34** Europa wins next big planetary mission
次の大規模な惑星探査ミッションの目標は
エウロパに決定

www.nature.com/naturedigest

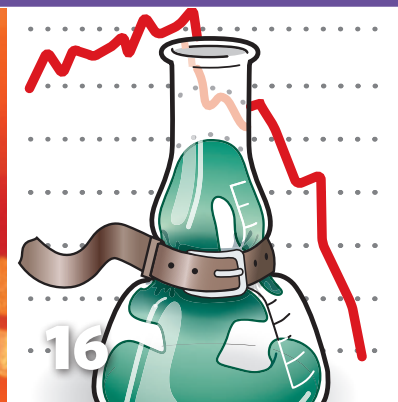
© 2009 年 NPG Nature Asia-Pacific
掲載記事の無断転載を禁じます。



OHIO STATE UNIV.
MEDICAL CENTER



I. GOOD



M. Ellisman & E. Bushong/UCSD



Vol. 457 No. 7232
19 February 2009

景気後退を耐え抜く方法：科学と全世界的引き締め

HOW TO SURVIVE THE RECESSION: Science and the global squeeze

科学はどうやって、この経済的不況を成功の糧にすることができるだろうか。p.957 の序文から始まる 7 つの記事では、政策、歴史、経済、技術革新の専門家たちが役に立ちそうな助言を行っている。J Sachs は、先進国は今こそ、発展途上国に投資して環境の持続可能性を確保するべきだと述べている。I Taylor は、非現実的な研究への過剰な資金投入を戒め、すぐに応用に結びつくような着想に集中すべきだと論じている。E Rauchway は、米国政府が 1929 年の世界大恐慌に立ち向かうためにとった対策が、科学に副次的にもたらした影響を考えれば勇気づけられると述べている。日本においても、角南篤と黒川清が解説しているように、景気後退が拍車をかけた 1990 年代の「失われた 10 年」は、結果として基礎研究のレベルを押し上げることになった。J Browning の新興企業へのアドバイスは、売れるものは何でも売り、コストは思い切って削減せよというものだ。N Hertz は、世界資本主義がこれまでよりも平等主義的になる好機だとみている。そして J Geanakoplos は、経済学者や政府に次の景気後退の発生を防止する策を教えている。最も重要なのは担保であり、政府はそのことを忘れずに、貸付金の調整を行わなければならないというのだ。

特集 Commentary pp.957-963, Books & Arts pp.964-966 参照

オンライン関連ページ: www.nature.com/recessionwatch

からデータを収集して解析した。その結果、生きた樹木が地上部に貯蔵する炭素の量が、1968 年から 2007 年にかけて、毎年 1 ヘクタール当たり 0.63 トン増加したことが明らかになった。これを測定されていない森林要素に外挿して大陸全体に換算すると、アフリカの熱帯林の樹木が貯蔵する炭素は、合計で毎年 3.4 億トン増加していることになる。この結果は、老齢林の炭素貯蔵量の増加が熱帯地方に一般的な現象であることの証拠となる。

Letter p.1003, N&V p.969,

Making the paper p.933 参照

細胞：低分子 RNA と CUT

Small RNAs make the CUT

酵母のゲノムでは表にはっきり現れない転写が起こっていることが、2 つの研究により明らかにされた。隠れた不安定な転写産物 (CUT) は、出芽酵母の RNA ポリメラーゼ II が作り出す大きな転写物群であり、合成直後に分解される。そのため、この転写物は最近まで検出されなかった。今回の論文では、高分解能のゲノム解析により、CUT が主にプロモーター領域からアンチセンス方向に生じることが明らかにされている。したがって、酵母では、本質的に双方向性であるプロモーターが広範囲に存在していることになる。このことは、これらの非コード転写産物が制御的機能をもつことを暗示している。

Letters pp.1033, 1038, N&V p.974 参照

発生：巻き貝の巻き方

The snail that turned

巻き貝の貝殻の対掌性（巻きの方向）は、生物学において長年の疑問となっている。今回、C Grande と N Patel が、巻き貝の対掌性は、脊椎動物の左右非対称性にかかわることが知られている *nodal* 遺伝子によって制御されることを報告している。ほとんどの動物は左右対称の体制をもつが、その枠組みの中では、さまざまな程度の左右非対称性がみられる。脊椎動物やそれ以外の新口動物では、非対称性を生み出す分子経路にはシグナル伝達分子 *Nodal* が用いられている。Grande と Patel は、2 種の巻き貝で *Nodal* およびその標的の 1 つである *Pitx* と進化的に相同な因子を見つけ出し、*nodal* の機能を失わせると貝殻の巻き方が乱れることを見いだした。この結果は、*nodal* シグナル伝達経路がすべての左右相称動物において根源的なものであり、これまで考えられてきたような新口動物に特有の特徴ではないことを示している。

Letter p.1007, Abstractions p.933 参照

発生：チェックとバランス

Checks and balances

胚の発生の際には、まず神経細胞が過剰に作られ、これらのニューロンとその長い突起（軸索）の多くはその後、自然退縮の過程で除かれる。Nikolaev たちは、アポトーシスを誘導するタンパク質 DR6（デス受容体 6）が、この自然退縮過程の調節因子の 1 つであることを突き止めた。DR6 は APP（β アミロイド前駆体タンパク質）に結合することで作用する。膜貫通タンパク質である APP の機能はまだわかっていないが、ヒトの遺伝学研究でアルツハイマー病との関連が疑われている。ニューロンの典型的なアポトーシスではカスパーゼ 3 が必要だが、DR6/APP が誘導する退縮はこれとは異なり、カスパーゼ 6 の活性化が必要である。この知見は、APP の細胞外断片が DR6 とカスパーゼ 6 を介して働いて、アルツハイマー病の神経変性の一因となっている可能性を示唆している。

Article p.981, N&V p.970 参照

計測：進行波 NMR

Travelling-wave NMR

核磁気共鳴 (NMR) および磁気共鳴画像化 (MRI) は、科学や医学の分野で広く使

われている。測定・検査の詳細は用途によって異なるが、基礎となる検出原理は同じであり、検出器とサンプルの核磁化を強く結合させるため、普通はこれらを近接させなければならない。Brunner たちは、この従来からの検出原理を使わなくても、アンテナで送受信される無線周波数の進行波を利用した長距離相互作用によって核磁化シグナルを励起・検出できることを示している。この手法によって、もっと大きなサンプルをより均一に測定・検査できるようになる。さらに、MRI に必要な高価な高磁場磁石の中央にある空間が使えるようになるため、被験者にとって MRI 測定がより快適なものとなる。

Letter p.994, N&V p.971 参照

環境：熱帯林がとらえる炭素量

Tropical forests' carbon grab

熱帯林は、大量の炭素を貯蔵し処理することによって大気中の CO₂ 量を変化させ、ひいては、気候変動の速度や規模に影響を与える。観測が十分でないことなどにより、熱帯林が炭素の貯蔵と処理にどれほど寄与しているのかははっきりしていない。今回、国際共同研究チームが、熱帯面積が最大の大陸であるアフリカで長期間測定を行い、79 調査区の 10 か国にわたるネットワーク



Vol. 457 No. 7233
26 February 2009

進むべき道：国際極年から得られた教訓

THE WAY AHEAD: Lessons from the International Polar Year

分野にもよるが、科学研究にとって1年は長い時間である。第4回国際極年 (IPY4) は、2007年3月に始まり、今やっと終わろうとしている。つめ込まねばならないことはたくさんあった。今週号では、IPY4で達成されたことのいくつかを振り返り、温暖化する気候のもとで北極・南極がたどる運命について考える。Q Schiermeier は、北極と南極への調査旅行から帰った研究者たちに、その際に行われた実験について聞いている。彼らによれば、IPY4では、処理するのに数十年はかかりそうなデータが得られた。しかし彼らは、氷床の継続的監視の重要性をはっきりさせ、人間活動の両極への影響を政策決定に織り込むことの必要性を政治家たちに警告している。R Monastersky は、北極で生まれ、そこに住む人々が気候変動に立ち向かい、研究者と協力して自分たちの将来を守ろうと努力するようすを報告している。

特集 News Feature pp.1072-1078 参照

物性：まだまだ見つかるシリコンの意外な性質

Silicon springs a surprise

シリコン系電子部品はどこにもあり、そのためシリコンデバイス技術は、既に最も発展した分野の1つとなっている。しかし、京都大学の研究グループが今回報告しているように、シリコンではまだ、思ってもみなかった基本効果が見つかるのである。2つの非磁性金属コンタクトに挟まれた低ドーピングシリコンを用いた単純なデバイスで、磁場による電気抵抗の変化、つまり磁気抵抗効果が、室温で1000%を超える非常に大きな値をとることが示された。これは、特定の磁性系にみられる「巨大」磁気抵抗効果に匹敵する。しかし、シリコンの場合は空間電荷効果に起因しているらしく、基盤となるメカニズムがまったく異なっている。観測された磁気抵抗効果を利用すれば、新しいシリコン系磁性デバイスを開発できるかもしれない。

Letter p.1112 参照

気候：南北気候シーソー

North-south climate seesaw

理論モデルと観測データから、北半球と南半球の気候がシーソーのようにふるまうこと、すなわち、北の海が暖かくなると南の海が冷たくなり、その逆の場合もあることが、ずっと以前から示唆されている。しかしこれまでのところ、観測データから、南極の気候応答は北極と比べて非常に弱いことが示されている。今回、南大西洋の海洋コアから得られた、浮遊性有孔虫群集、マグネシウム/カルシウム比、温度、海洋生産性などの新しい記録を分析して、最終退氷期には、北大西洋の温暖化とほぼ同時に南大西洋の寒冷化が起こったことが示された。これは直

接的なシーソー関係を示す初めての具体的な証拠で、北大西洋の急速な温暖化とよりゆるやかな南極の応答の関連も明らかになり、北半球の急速な退氷を駆動できる可能性のある機構も示唆されている。

Article p.1097, N&V p.1093 参照

医学：プリオンはアルツハイマー病にも関係する

Prion link to Alzheimer's

アルツハイマー病では、可溶性アミロイドβ (Aβ) ペプチドオリゴマーが中心的な役割を果たすという仮説は十分に立証されているが、Aβオリゴマーが神経細胞に影響を及ぼす際の基盤となる仕組みは明らかにされていない。可溶性Aβオリゴマーに対して高い親和性をもつ細胞表面受容体が神経細胞上に存在することの証拠がいくつか示されており、これがアルツハイマー病の病態の中心となると考えられている。今回、細胞のプリオンタンパク質 PrP^C がその受容体候補であることが突き止められた。脂質ラフトと会合する細胞膜糖タンパク質である PrP は、Aβオリゴマーと高い親和性で選択的に結合し、ペプチドの有害な作用を仲介する。今回の結果は、PrP^C に特異的な薬物がアルツハイマー病に対する治療薬となる可能性を示しており、また、感染性プリオン病とアルツハイマー病との予想外のつながりを示している。

Letter p.1128, N&V p.1090 参照

細胞：弾性が血管新生にかかわる

A stiff test for angiogenesis

血管新生は正常な発生に不可欠であり、また、血管新生の異常は、がん、失明、関節炎など多くの疾患につながる。毛細血管形成

を促進する VEGF (血管内皮細胞増殖因子) などの可溶性血管新生因子についてはいろいろ明らかになっているが、機械的な力があるようにこの過程に影響を与えるかについてはほとんどわかっていない。Mammoto たちは今回、*in vitro* および *in vivo* で血管新生を支配する、これまで知られていなかった機械感受性の転写制御機構について報告している。この機構では、細胞外マトリックスのコンプライアンス (弾性) が、互いに拮抗する作用をもつ転写因子である TFII-I と GATA2 の間のバランスを変化させることで、受容体である VEGFR2 の発現に影響を与える。この経路には Rho シグナル伝達経路が関与している。

Article p.1103 参照

進化：初期の脊椎動物の生殖

Early vertebrate reproduction

板皮類という絶滅した化石魚類の一群であるプシクトドゥス類で、体内受精および胎生を示す証拠が最近発見され、太古の動物の生殖様式について貴重な情報が得られた。今回、これとは別の板皮類である *Incisoscutum* の保存状態の良好な化石の内部に、胎児が発見された。*Incisoscutum* は板皮類の中でも大規模で多様性に富む分類群である節頸類に属していることから、この発見は重要である。この化石からは、*Incisoscutum* の腰帯が、サメ類の体内受精で用いられる鰭脚に似た交尾器を支えるのに適応していたことが明らかになった。今回の新たな知見により、最も初期の有顎脊椎動物では、体内受精および胎生が、予想されていたよりもはるかに広く行われていたことが確認された。

Letter p.1124, N&V p.1094,
Abstracts p.1055 参照

地球：砂の移動

Shifting sands

地球やほかの惑星で普通にみられる砂丘には、まだいくつかの謎がある。数十メートルの長さの小さな砂丘が形成される過程はよくわかっているが、キロメートルスケールの巨大砂丘がどのようにして形成され、その形状がどのようにして決まり、その大きさを何が制限しているのかはあまりよくわかっていない。Andreotti たちは、野外測定と空気の力学的計算を組み合わせ用い、巨大砂丘の成長は大気境界層の平均的深さに限定された砂輸送によって制限されることを示した。この新しい発見は、風によって生成される、最大 3.5 キロメートルの砂丘の平均間隔を説明できる。

Letter p.1120, Books & Arts p.1084 参照



Vol. 458 No. 7234
5 March 2009

アクチンを使う運動：ワクシニアウイルス感染細胞中のシグナル伝達ネットワークの動態

ACTIN-BASED MOTILITY: Signalling network dynamics in vaccinia-infected cells

表紙は、ワクシニアウイルス感染細胞でウイルスの誘導によってアクチン尾部が5分間にたどる道筋を示した蛍光画像のスクリーン写真で、動画から合成したもの。アクチン関連タンパク質(ARP) 2/3に依存したアクチン重合反応は、移動など多くの細胞過程に重要な役割を果たしており、近年、この反応を促進するシグナル伝達ネットワークにかかわる分子の解明が、大きな進展をみせている。ARP2/3複合体がアクチン重合を促進するように働く仕組みを分子レベルで完全に解明するには、この複合体を活性化するシグナル伝達ネットワークの構成と動態を詳しく知る必要がある。Weisswange たちは、ワクシニアウイルス感染細胞で、生細胞画像化技術と蛍光退色法を組み合わせ、ARP2/3複合体の活性化因子として知られるN-WASPの代謝回転速度が上がると、アクチンを介したウイルスの運動速度も上がることを明らかにした。ウイルスの支配下でN-WASPの代謝回転を促進するには、アクチンの重合も必要である。これらの観察結果は、ウイルス支配下のN-WASP集合の安定性が、ARP2/3複合体に依存して起こるアクチンに基づく運動の最終的な速度を制御している、というモデルと一致する。

Letter p.87 参照

構造生物学：タンパク質の構造をライブで見る

Protein structures go live

in-cell NMRは、生きた細胞内でのタンパク質の3次元(3D)構造を原子レベルで解明するための有望な手法だが、今回、その幅をさらに広げられると思われる2つの進歩が報告された。この手法は感度が比較的低く、試料の寿命は短いために、タンパク質の構造決定に十分な構造情報を得ることは、これまでむずかしかった。NMRデータの収集には2日程度かかることがあり、これは生きた細胞には長すぎる。榊原大介たちは、この問題を克服して十分なデータを数時間で集め、生きた大腸菌細胞で得た情報だけに基づいてタンパク質の3D構造を初めて決定したことを報告している。この原理証明実験で用いたモデルタンパク質は、高度好熱菌の*Thermus thermophilus*由来の重金属結合タンパク質と推定されるTTHA1718である。これまで生きた細胞へのin-cell NMRの適用は、細菌とアフリカツメガエル卵母細胞に限られており、生きた真核細胞へ応用範囲を広げるには、同位体標識したタンパク質を細胞内へ送達する効率が低いことが制約となっていた。猪俣晃介たちは、適切な標識をつけたタンパク質に細胞浸透性ペプチドを共有結合させ、ピレン酪酸処理を行うことで、このタンパク質をヒト細胞の細胞質へと導入できることを明らかにし

ている。細胞に内在する酵素の活性により、あるいは自発的還元切断によりこのタンパク質が遊離すれば、生きたヒト細胞内での高分解能異種核2次元NMRスペクトルが得られる。これは、細胞内タンパク質を標的とする薬物の設計やスクリーニングに役立つ強力な手法になる可能性がある。

Letters pp.102, 106, N&V p.37 参照

宇宙：連星ブラックホール見つかる

Black hole pair revealed

巨大銀河のほとんどは中心にブラックホールがあるため、連星系をなす超大質量ブラックホールは、巨大銀河の合体の産物としてごく普通にみられるはずだ。スローン・デジタル・スカイ・サーベイによる新規クエーサーの徹底した探査で、T BorosonとT Lauerが今回、連星系ブラックホールの1つであるJ153636.22+044127.0を発見した。この天体は、赤方偏移が0.3727と0.3889と異なっている2本の広がった輝線を示し、これは速度差にすると毎秒3500キロメートルになる。彼らは、この天体が太陽の $10^{7.3}$ 倍と $10^{8.9}$ 倍の質量をもつ2つのブラックホールからなる連星系で、ブラックホールの間は約0.1パーセク離れており、ほぼ100年の周期で軌道を回っている、と説明している。

Letter p.53, N&V p.40, Abstractions p.6 参照

地球：バム地震の後で

After the Bam earthquake

2003年にイランのバムに甚大な被害をもたらした地震は、この都市の直下にある地下断層の破壊により起きた。この地震によって深さ3~7キロメートルで2メートル以上ある大きなすべりが生じたが、地表でのすべりはずっと小さかった。Fielding たちは、エンビサット衛星で得られた合成開口レーダー画像の干渉解析を用いて、その地域で地震後に断層帯がどのように応答したかを観測した。その結果から、断層の一部に沿った余効すべりと多孔質弾性的な反発を示唆する局所的な圧密だけでなく、断層帯の上部1キロメートルのところでは、地震時の膨張からの回復と圧密が起こっていることも明らかになった。このような変形は、断層帯全体にわたって広がっており、横ずれ断層の破壊でみられることのある、浅部のすべり欠損を説明できる可能性がある。

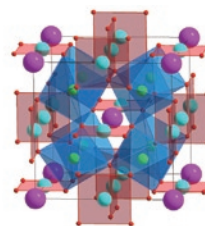
Letter p.64 参照

材料：遷移金属イオン間の電荷移動

Transition metal takes charge

遷移金属酸化物への「外来」元素の導入は化学ドーピングとよばれ、金属陽イオンの原子価状態を変えるため、材料全体の物理的特性を変化させることができる。このような変化の中にはめざましいものがあり、その例が銅酸化物の高温超伝導やマンガン酸化物の巨大磁気抵抗効果である。Y Long たちは、ドーピングではなく、ホスト構造体中の異なる陽イオン(鉄と銅)の間で電荷を移動させることにより、原子価状態が変化する酸化物系であるペロブスカイト $\text{LaCu}_3\text{Fe}_4\text{O}_{12}$ を発見した。電荷移動の結果として、この材料は、異常に高い $\text{Fe}^{3.75+}$ 状態の鉄イオン(一般的な Cu^{2+} イオンと組になっている)をもつものから、珍しい原子価状態の Cu^{3+} イオンをもつものへと可逆的に変化させることができる。このような変化はこの材料の磁気特性や電気特性に反映されるので、これは加熱すると、転移によりやや収縮するというおもしろい性質を示す。この効果は温度に対して敏感であるため、この材料は工学への応用の強力な候補となる。

Letter p.60 参照





Vol. 458 No. 7235
12 March 2009

寒冷期に生きていた北京原人：古典的なホモ・エレクトゥス化石はより古く、より低温な時代のものであった

PEKING MAN WAS COOL: Older and 'colder' dates for classic *Homo erectus* fossils

一般に北京原人として知られているホモ・エレクトゥスは、原人の最古の発見の1つというだけでなく、それが発見された場所ゆえに、古人類学においても、一般人の想像力をかきたてるものとしても重要な位置を占めている。北京原人の化石は1930年代に、周口店という村の近くにある竜骨山という、昔から化石が見つかった場所で発見された。その地点の堆積物の年代は盛んに議論されてきたが、今回、宇宙線により生成したアルミニウム-26とベリリウム-10に基づく埋没年代測定という最近開発された技術により、化石の発見された洞窟内の堆積物の年代決定を行うことで、解決に至った。堆積物の年代はおおよそ77万年前と計算され、これまで一般に考えられていたのよりもほぼ30万年古いことになる。このことは、原人が気温のかなり低かった時代にこの地域に生息していたことを示唆しており、初期の原人が北方に移動したのは温和な間氷期のみであるという、一部で受け入れられている考え方に疑問を投げかけている。

Letter p.198, N&V p.153, Making the paper p.123 参照

神経：異なる感覚を共通の器官で処理する方法

Common senses

機械信号変換、すなわち機械的な力の神経インパルスへの変換は、聴覚、触覚、重力感覚などいくつかの感覚の基盤となっている。キロショウジョウバエの触角にあって約500個の感覚ニューロンの集団からなるジョンストン器官は、求婚相手の求愛歌による触角の振動を検知することが知られている。この器官がそれ以外の感覚も担っていることを、2つの研究チームが今回明らかにした。M Göpfertと伊藤啓たちは、この器官が重力による触角の屈曲を検知することを示し、^{よるすずこ} 萬涼子たちのチームは、風による屈曲についても同じように検知されていることを見いだした。しかし、これらの刺激に対する行動応答は異なる。それは、それぞれの刺激を別個のニューロン集団が受容するからである。このように、別個の機械感覚が単一の器官にある別個の神経経路で処理される状況は、ヒト内耳で音と平衡感覚がそれぞれ別に処理される状況を思い起こさせる。したがって、これらの結果は、機械感覚刺激検知の研究に広く適用可能なモデル系として、ショウジョウバエの遺伝学研究をさらに進める道を開くものといえる。

Article p.165, Letter p.201, N&V p.156 参照

免疫：HIV/エイズでの免疫を増強する

Immunity boost in HIV/AIDS

慢性のウイルス感染に対する免疫応答を阻害するB7/CD28ファミリー免疫受容体分子の

1つ、PD-1 (programmed death-1) の働きを遮断することで、副作用なく、SIVに感染したアカゲザルの抗ウイルス免疫応答が改善されることが示された。この治療ではヒトPD-1に特異的な抗体が用いられており、延命効果もみられた。PD-1の遮断は、抗レトロウイルス薬を使用しなくても効果が認められた。この結果は、抗レトロウイルス薬あるいはワクチンなどと組み合わせれば、同じような方法がHIV/エイズ患者で有効となる可能性を示唆している。 Letter p.206 参照

物性：圧力下で増えるLiとNaの電気抵抗

Li and Na show resistance

固体を圧力下におくと、原子間距離は縮まる。そして極端な高圧下では、電子密度が増大するため、すべての物質は理想的な金属に近づく。このため、圧力下では、リチウムやナトリウムなどの「単純な」金属は、ますますすぐれた伝導体となりそうだが。しかしおよそ10年前に計算によって、どちらの元素もそのように素直に応答するわけではないことが示唆され、アルカリ原子は、圧力をかけると対を形成し、絶縁性をもつ複雑な構造になると予測された。今回2つの研究グループが、この予測が正しいことを実験により確認した。つまり、リチウムとナトリウムは、圧力をかけるにつれて金属らしさが増していくのではなく、ますます金属らしくなくなるのだ。Maたちは、200 GPaの圧力で約5倍圧縮すると、ナトリウムが可視光に対して透明で金属光沢のない高密度絶縁物質に変換され

ることを見いだした。一方、松岡岳洋と清水克哉は、80 GPaの圧力で2倍圧縮すると、リチウムが金属から半導体になることを明らかにしている。

Letters pp.182, 186, N&V p.158

地球：地震への道のり

A short step to an earthquake

龍門山山脈は、ヒマラヤ造山帯の東縁を定め、チベット高原のどの場所よりも地形の起伏が大きい。そこは、壊滅的被害をもたらした2008年の汶川(Wenchuan)地震(M=7.9)が起きた場所でもある。この地震の前には、測地学および地質学的調査では、山脈前部における縮小がほとんどみられなかった。龍門山山脈の地形を生み出した力については活発な議論が起こることになった。J HubbardとJ Shawは、平衡の取れた地質学的断面を用いて、地殻の縮小が龍門山山脈とチベット高原の隆起を生じさせる主要な原因となっており、2008年汶川地震はこのような縮小過程の産物であることを示す証拠を提示している。

Letter p.194 参照

細胞：宿主選別のための遺伝子

A gene for host selection

細菌と動物との間の有益な関係の解明は、病原微生物学をはじめとする生物学の各領域にとって、重要となっている。多くの病原体は、単一の宿主または組織に対して特異性を示すが、このような特異性の分子基盤はほとんどわかっていない。ダンゴイカの一種である *Euprymna scolopes* と発光細菌 *Vibrio fischeri* との相利共生における宿主特異性についての比較ゲノム研究から、細菌の *rscS* というただ1つの調節遺伝子が、宿主域を変化させることが明らかになった。この遺伝子を、日本のマツカサウオに本来寄生している *V. fischeri* 株に発現させると、それだけで、イカへの寄生に不可欠な共生のためのバイオフィームが作られるようになる。今回の研究結果から、治療目的で、ヒト病原体の宿主特異性を同じように操作できる可能性が出てきた。

Letter p.215 参照



WILLIAM ORMEROD

社説

A crisis of confidence

信頼の危機

Nature Vol.457(635)/5 February 2009

多くの科学者が少ない仕事や研究助成金をめぐって激しい争奪戦を繰り広げている米国では、科学者というキャリアの魅力が失われつつある。景気対策法により科学関連の予算が大幅に増額される今こそ、現状を精査して、より慎重に将来の計画を立てることが必要である。

Nature 2009 年 2 月 5 日号 p.650 の News Feature では、Jill Rafael-Fortney と Darcy Kelley という 2 人の科学者が、極めて厳しい資金調達環境のなかで研究室を運営するために奮闘するようすを取り上げている。2 人の姿は、米国全土で若手研究者を苦しめているキャリアの危機を映し出している。現在、米国内の科学者の人数に対して、提供されるポストと予算があまりにも少なく、これらをめぐって激しい争奪戦が繰り広げられているのである。科学界のリーダーや科学政策に影響力をもつ議員は、こうした現状を見落とすことなく、米国の科学事業の未来を計画していかなければならない。

現在、米国議会では一連の景気対策法案が審議されており、これにより科学関連の予算も数十億ドル（約数千億円）の規模で増額されると見込まれている（訳注：景気対策法は 2 月 17 日に成立）。そのこと自体は、研究者にとって願ってもない話である（Nature 2009 年 1 月 22 日号 pp.364-365 参照）。しかし、慎重な計画とその後の持続的な資金供給がないのなら、この突然の資金注入は、キャリアの危機を緩和するどころか、かえって深刻化させる可能性がある。実際、今回の景気対策は、1998 年から 2003 年にかけて実施された米国立衛生研究所（NIH）の予算倍増の結末を繰り返してしまうおそれがある。当時、年々増えていく予算を背景に新たに採用された科学者たちのキャリアは、その後の予算がほぼ横ばい状態になったため、あえなく崩壊してしまったのである。

実のところ、米国もそのほかのいかなる国も、今後必要となる科学者とエンジニアの人数を計算する方法を知らないばかりか、現在必要とされている科学者とエンジニアの数を計算できずにいる。けれども現状では、米国の科学

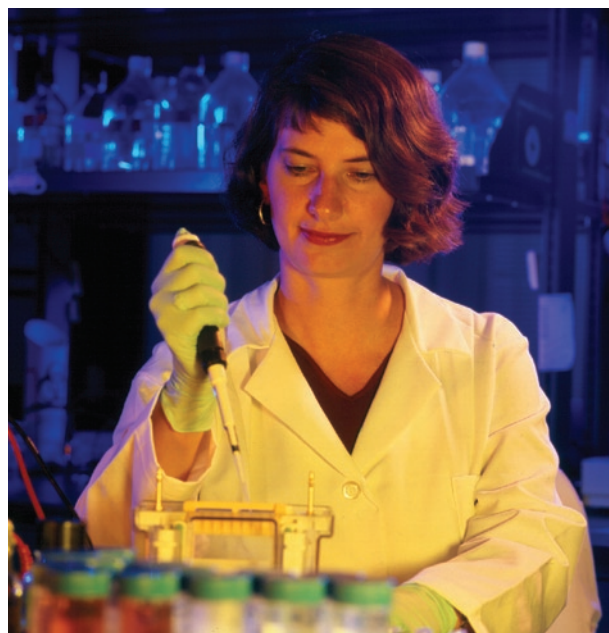
者とエンジニアが余剰となっている可能性を示す徴候が見受けられる。

需給のミスマッチ

このミスマッチは、今回の金融危機よりもずっと前から起きていたことであり、多くの分野に影響を及ぼしている。キャリアの危機は生物医学の分野で特に深刻で、大学では過去 20 年間に生物医学の博士号取得者がほぼ倍増したが、この分野の終身職のポストの数も、それにつながるポストの数も増えていない。学術研究職についた人々は、その地位を確保するのに必死である。生物医学研究に対する助成金をめぐる競争が激化しているからである。

それこそが科学研究の本来の姿だと主張する人もいるだろう。こうしたクールな理屈に立脚すれば、多くの科学者が少ない仕事や研究助成金をめぐって競争する結果、真に並外れた研究だけに税金が使われるようになり、国家としては恩恵を受けるということになる。

競争によってすぐれた研究が育てられること、そして科学研究機関が自らの研究ポートフォリオを厳選すべきであることは間違いない。しかし、それも度を越すと、研究助成金、論文発表、終身職ポストをめぐる過当競争が起きて、個々の科学者はもとより、国家や科学そのものも痛手を負うことになる。この過程で最もすぐれた若手科学者が選ばれることはなくなり、その代わりに、最も聡明な学生の多くが科学研究とはまったく関係のない世界に流出していくことになる。彼らは、科学研究の世界に入ることがもたらすリスクが利益より大きいことに気づき、別のキャリアを選ぶのである。現に、この 10 年の間に、トップクラスの学生が実業やその他の職業を選ぶ傾向が顕著になってき



オハイオ州立大学で筋ジストロフィーのマウスモデルを研究している Jill Rafael-Fortney、もうすぐ 39 歳 (左)。ニューヨークのコロンビア大学の教授でアフリカツメガエルを使って音声認識や発声の脳回路を研究している Darcy Kelley、59 歳 (右)。いずれも最近、研究助成金の更新に失敗した。Nature 2009 年 2 月 5 日号 p.650 の News Feature 「Closing arguments」より。

ており、米国では理工系の博士号取得者の数が 1990 年代中ごろをピークに減少している。科学の世界に残り、研究に一生を捧げようとする人々でさえ、本来の仕事である研究に打ち込める時間を奪われている。2007 年の FDP (連邦デモンストレーションパートナーシップ、米国ワシントン DC) の調査によれば、典型的な研究者は、1 週間の労働時間の約 40% を研究助成金申請関連の業務やほかの管理業務に費やしているという。

バブルの経験に学ぶ

我々は、現在の環境で苦戦を強いられている研究者に対して具体的な解決法を提示することはできない。しかし、政府や大学は、過去の失敗を繰り返さないようにもっと多くの手を打つことができるはずだ。米国の指導者にとってなによりも重要なのは、NIH の資金バブルの教訓を心に留め、科学予算の長期的かつ予測可能な増額に取り組むことである。考えなしに現金をばらまいても、再びバブルを作ってしまうだけである (Nature 2009 年 2 月 5 日号 p.649 参照)。関係部局は最近、科学に新しい発想をもたらす若手研究者にもっと多くの資金を提供するための取り組みを始めているが、これを精緻化し、拡大していかなければならない。

米国政府や大学の当局者はまた、次世代の研究者の卵たちを養成する方法と、そのための人員計画について慎重に検討しなければならない。この点は、多くの一流の研究者や有識者会議も指摘している。特に大学は、大学院生の博

士課程を早急に見直して、伝統的な学術機関の枠組みの外側にある職業につくための訓練も施すべきである。

景気が悪化している今、こうした取り組みの緊急性はますます高まっている。これまでの景気後退の時と同様に、米国の研究機関には理工系博士課程への進学申込みが殺到しているからである (同 p.642 参照)。学生たちが博士課程に進もうとしているまさにこのとき、産業界では研究職が数千人単位で削減されている。数年後に博士号取得者がどっと増えるときまでに、こうした仕事が復活しているといいのだが。

近年、大学の内外でキャリアを始めようとする若手研究者を支援する組織がいくつか設立されている。学生自身が立ち上げたオルタナティブキャリアクラブもその一例である。しかし、こうした方策だけでは不十分である。博士課程には、現行のものよりもきめ細かい進路相談と職業訓練プログラムを当初から組み込むべきである。改革志向の学生部長たちはずっと前からこうした変革を推進してきたが、教職員から強い抵抗を受けてきた。その理由の 1 つに、教職員たちがはっきりということはないものの、その頭には「大学を離れる者は能力が足りない者だ」という時代遅れの偏見が染みついていることが挙げられる。

科学界のリーダーたちが数字ばかりを見て、現実に助成研究計画書を書き、研究を行い、自らのキャリアが破綻しないように四苦八苦している個々の研究者の姿が見えていないのであれば、能力が足りないのはリーダーたち自身であるといわざるを得ない。 ■

Inheriting memory

記憶力のよさは母親ゆずり？

Brendan Maher doi:10.1038/news.2009.76 / 3 February 2009

豊かな生活を送った母親から生まれた子どもは記憶力に恵まれるらしい。

母親の幼少期の経験が、子どもの記憶力にかかわってくるのかもしれない。米国の研究チームが、遺伝子操作でマウスに引き起こした記憶障害を、刺激の多い豊かな環境にそのマウスをおくことで回復させられることを示したのである。しかも雌マウスは、その障害の原因となる DNA 塩基配列に何の変化も起こしていないのに、こうした恩恵を自分の子どもにも継承することができるらしい¹。

この研究チームを率いたタフツ大学医学系大学院（米国）の生化学者 Larry Feig は、今回の結果をヒトでも再現することができれば、「個人の記憶力は、その母親が幼少期に環境からどのような刺激を受けているかに影響されうる、とみていいでしょう」と話す。

クインズランド医学研究所（オーストラリア）で哺乳類の遺伝子発現を研究する Emma Whitelaw は、ヒトとマウスでは神経生物学的な特性に違いがあるため、マウスでの結果が単純にヒトで再現されることはなさそうだと話す。それでも、今回の知見は「とても魅力的なもの」という。その理由は、1つの興味深い形質が、遺伝子の塩基配列の変化を伴わずに、次の世代へと受け継がれる可能性を示したものだからだ。

脳を刺激する

Feig たちはもともと、がん遺伝子を研究していたが、そのときに、「長期増強」とよばれるニューロン接続の強化に異常を来したノックアウトマウスが生まれたのである。この長期増強という現象は、記憶の形成に関係するとみられている。実験動物に探索や社会的活動、運動の機会をより多く与えると、ニューロン接続が強化されて記憶力が高まることが広く知られて

いる。そこで、Feig のもとで当時ポストドクだった Shaomin Li は、そうした環境の豊かさが問題のノックアウトマウスに与える影響を見極めようと考えた。

2006年に研究チームは、14日齢のノックアウトマウスを2週間にわたって豊かな環境におくと、通常のケージ内で飼育したノックアウトマウスに比べて長期増強が実際に亢進したこと、そして、この亢進現象は数か月間持続したことを明らかにした。この「豊かな環境で育った」ノックアウトマウスは、記憶の恐怖条件づけテストで、正常なマウスとほぼ同程度の成績をおさめた。このテストは、ケージにマウスを入れて弱い電気ショックを与え、時間をおいてからマウスをそのケージに戻すというもので、マウスが恐怖を記憶していれば体をこわばらせて動きを止める。さらに、こうした亢進現象は、長期増強を補佐してノックアウトした遺伝子の影響を覆い隠すような、生化学的経路の活性化によるらしいこともわかった²。

今回の研究¹は、こうした豊かな環境で育ったノックアウトマウスの子どもに注目したものだ。この子どもたちでも、同じ生化学的経路が活性化していることがわかったのである。母親と同様に子どもたちも長期増強にすぐれ、豊かでない環境で育った雌マウスから生まれた子どもに比べて、恐怖条件づけテストでの成績がよかった。父親が豊かな環境で育った場合には、子どもへのこうした恩恵はみられなかった。

豊かな環境で育った雌から生まれたマウスでみられる高い記憶力は、およそ2か月で薄れてしまい、その次の世代ではもう、そうした効果はみられない。このようにマウスで知的能力が次世代に伝えられる仕組みは不明だが、Feig によれば、豊かな環境がマウスに何らかのホルモンの



マウスを使った実験では、母親の幼少期の経験が子どもの記憶力に影響を及ぼすことがわかった。

変化をもたらし、それが成体期まで維持されて子宮内の胎児に作用し、発生中の胎児の脳で記憶形成のための補助的経路を活性化しているのではないかと、いう。

この効果は存続期間が短いので、母体の卵細胞に起こった変化のせいではなさそうだという考え方に Whitelaw も同意している。ただし、彼女の研究チームやほかの研究チームは既にマウスで、DNA の制御方式を変化させたり、生殖系列細胞に直接作用して複数世代にわたって持続したりする化学的な「印」などによって、世代間で継承される形質を見つけ出している。

このように DNA 塩基配列は変わらずに世代を超えて継承される変化を、エピジェネティックな変化という。これは一見すると遺伝するようであるが、関与する遺伝的要因が何も見つからない形質や疾患の起原を探るうえで手がかりとなるかもしれない。「これは本当に重要なことです。胎児の育つ環境が、相当長期に及ぶ影響をもたらしうることを示す証拠が増えつつあります」と Whitelaw は話している。 ■

1. Arai, J. A., Li, S., Hartley, D. M. & Feig, L. A. *J. Neurosci.* **29**, 1496-1502 (2009).
2. Li, S., Tian, X., Hartley, D. M. & Feig, L. A. *Curr. Biol.* **16**, 2303-2313 (2006).

ISTOCKPHOTO

Tiniest exoplanet found

最小の太陽系外惑星を発見

Geoff Brumfiel doi:10.1038/news.2009.78 / 3 February 2009

地球の直径の2倍よりも小さい惑星が、宇宙望遠鏡の観測で見つかった。

これまでで最も小さく、最も公転周期（親星の周りを一周する時間）の短い太陽系外惑星（太陽系外にある恒星の惑星）が、欧州の宇宙望遠鏡の観測で見つかった。

この宇宙望遠鏡はフランス国立宇宙研究センター（CNES）などが打ち上げた「コロー」（COROT；Convection [対流]、Rotation [回転]、planetary Transits [惑星通過]）で、太陽系外の惑星を探している。コローは今回、半径が地球の2倍よりもやや小さい、岩石でできた惑星を見つけた。この惑星は、質量こそ地球の5倍から10倍あり、これまでに見つかった太陽系外惑星の中で最も軽いものではないが、その質量と半径から、地球に近い密度をもつと考えられる。コローチームの一員である、英国のエクセター大学の研究者 Suzanne Aigrain は、「この惑星は、これまでに見つかったどの惑星よりも、地球に似ています」と話す。今回の成果は、パリで開かれたコローシンポジウムで、2月3日に発表された。

宇宙望遠鏡や地上の望遠鏡などにより、既に約330個の太陽系外惑星が見つまっている。その多くは木星ほどの大きさの巨大ガス型惑星で、地球に似た岩石でできた惑星は少ない。こうした中で最も軽い惑星は、マイクロレンズ効果により見つかった。これは、背景の星の光が前に見える星とその惑星の質量によって増幅されて起こる、光の変化を測定する方法だ。

一方、コローは、1つの恒星の見かけの明るさがその惑星によって変化する現象、つまり惑星が恒星である親星の前を通過するときにできる小さな光の変化を利用している。この方法では、惑星の大きさのおおざっぱな見積もりが可能で、時にはその大気の情報を得ることもできる。惑星の通過により親星の恒星の明る



2006年暮れ、コローは太陽系外惑星の探査を目的に打ち上げられた。

さが変化する効果は、惑星と親星との近さにいくらか依存するので、この方法は親星から至近距離にある惑星を見つけるのに適している。

20時間で一周

今回発見された新しい惑星は、「CoRot-Exo-7b」と名づけられた。公転周期は20時間で、これまでに見つかった太陽系外惑星の中で最も短い。公転周期が短いということは、惑星が親星に極端に近く、我々が知っているような生命の存在には適さないことを意味する。「もしもあなたが親星の周りを20時間で回る惑星にいたなら、そこは地獄のはずです」と、パリにある宇宙物理学研究所の天文学者 Jean-Philippe Beaulieu は話す。

引き続いて行われた観測では、CoRot-Exo-7bの質量が測定され、地球に近い密度をもつことがわかった。これはCoRot-Exo-7bが変わった惑星環境をもっていることを示している。「CoRot-Exo-7bの表面のどこかには、固い地表

があるようです」と、Aigrainはいう。しかし、CoRot-Exo-7bの表面温度は約1000℃と極めて高く、溶岩と沸騰する海が表面を覆っている可能性が大いに考えられる。さらに、CoRot-Exo-7bは潮汐力により親星に固定されている可能性もある。つまり、常にある面が照りつける日光にさらされ、もう一方の面は常に夜であるかもしれないのだ。「もしもこの惑星に我々が行くことがあれば、極めて奇妙な場所に見えるでしょうね」と、Aigrainは話す。

Beaulieuは、「今回の発見で、生命が生存可能な太陽系外惑星の発見に、さらに近づいた」と考えている。しかし、我々が知っているような生命が生存する惑星であるには、親星からもっと離れている必要があるだろう。一方、そうした惑星の質量は、地球よりも、CoRot-Exo-7bに近いのかもしれない。「生命が生存可能な惑星探索の目標を、地球の質量に近い惑星を発見することと考えるのは、地球中心の考え、つまり天動説のようなものだとは思いません」と、Beaulieuは語っている。■

Rethinking silk's origins

絹の起源を見直す

Philip Ball Nature Vol.457(945)/19 February 2009

インド亜大陸では、中国からの技術伝播なしに糸の紡ぎが始まったのだろうか？

絹の製糸は中国だけで起こった技術革新ではなく、インド亜大陸でも独立に発祥したことが、新たな知見によって示唆された。

パキスタン東部のインダス川流域は4000年以上前にハラッパー文化の栄えた土地だが、ここから出土した装飾品に、地域に固有の野蚕（繭が絹の原料となる野生のガ）によって作られた絹が含まれていることがわかったのである。しかも、この絹の製糸法は、中国国内に厳重に守られて国外には持ち出されなかったと考えられていた方法なのだという。

中国の絹生産は、紀元前約2570年までさかのぼるという確実な証拠が得られている。今回、新たに見つかった古い絹の年代は紀元前2450～2000年だと考えられており、中国の場合と同じくらい古い。紀元前約1500年より以前に中国以外の場所で作られた絹は、これまで見つかっていなかった。「これほど古い年代に中国以外の場所で絹が作られていたことを示す証

拠としては、これが初めてのものです。まったく驚きました」と、論文著者の1人であるハーバード大学（米国マサチューセッツ州ケンブリッジ）のIrene Goodはいう。

これらの遺物はインダス川流域にある2か所の遺跡で見つかったものだ。インダス文明の中心地であったハラッパー市と、そこからおよそ500キロメートル南のシンド州にあるチャンフー・ダロの遺跡である。米国とパキスタンの共同研究であるハラッパー考古学調査プロジェクト（HARP）が行った1999年と2000年の考古学発掘調査で、今回の遺物も収集された。集まった出土品が莫大な数に上ったため、最近になってようやく詳しく調べられた。

Goodは、HARPのディレクターを務めるハーバード大学のRichard Meadowとウィスコンシン大学マディソン校のJonathan Kenoyerとともに調査にあたり、電子顕微鏡を使って、ネックレスやバングル（腕輪・足輪類）の中に見つかった絹の糸の微細構造を調べた。絹の繊維1本1本の微細な形状は、繭糸が押し出された孔の形状によって決まり、繭糸の作り手であるガの種によって特徴がある。

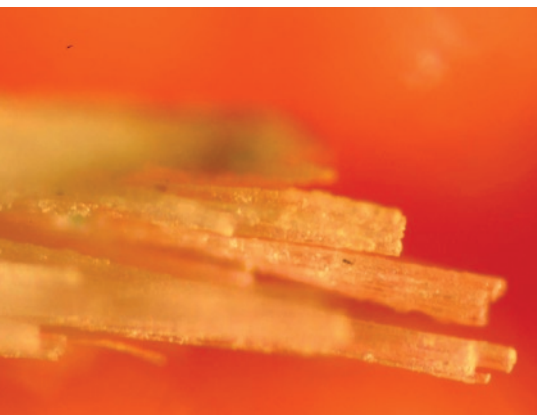
研究チームは、*Archaeometry* 誌に掲載された論文で、ハラッパーの遺物標本（金属製の装飾品2点）に使われていた絹が、アジア南部に生息するヤマユガ属の在来種2種のものであることを明らかにした（I. L. Good, J. M. Kenoyer and R. H. Meadow *Archaeometry* advance online publication doi:10.1111/j.1475-4754.2008.00454.x;2009）。チャンフー・ダロの絹の糸はせっけん石の

ビーズに通されており、起源はあまりはつきりしないが、ハラッパーのものと同じヤマユガ属の一種から採られたものである可能性もある。中国の絹は、家蚕ともよばれるカイコガ（*Bombyx mori*）のものである。

今回見つかったハラッパー産の絹は、繰糸とよばれる工程で作られていた。この工程では、短い繊維を撚って1本の糸にするのではなく、糸巻きに繭糸を集める。研究チームの話では、繰糸は、紀元後数世紀まで中国でしか知られていなかった絹製糸法だと考えられていた。今回の結果からみて、この技術的な知識は中国だけのものではなかったようである。

「古代中国に関する考古学研究から、中国国外で交流があったことがますます明らかになっており、今回の結果はなるほどと思えるものです」と、英国オックスフォード大学アシュモリアン博物館の絹関係の専門家であるShelagh Vainkerはいう。しかし彼女によれば、中国での絹生産が紀元前2500～2000年よりも「十分に古い」ことを示す証拠があるので、中国はまだ絹について最古の歴史を誇ると考えていいのだという。

「インダス文明を担っていた人々は、野蚕の繭を採取していたか、もしくは繭を採取した人々と交易しており、絹についてかなりのことを知っていたのだと思います」とGoodは話す。しかし彼女は、この問題に意欲をかき立てられる人々が出てくるだろうとみており、「こうした発見には、国家の威信がかかっているのです」と語った。



パキスタンのインダス川流域で出土した人工遺物から、古代の絹の糸が見つかった。



Crisis communication

クライシス・コミュニケーション

Nature Vol.457(376-378)/22 January 2009

どこかで災害が発生すると、数分もしないうちにインターネット上のソーシャル・ネットワーキング・サイトにメッセージが投稿される。人々のこうした行動を利用して、地域コミュニティの公的な災害対応ネットワークを構築する試みについて、Lea Winerman が報告する。

銃の乱射が止むや否や、メッセージが飛び交い始めた。2007年4月16日、ヴァージニア州立工科大学（通称ヴァージニア工科大学；米国、ヴァージニア州ブラックスバーグ）に在籍していた趙承熙（チョ・スンヒ）という学生が、朝の7時から2丁のセミオートマチック拳銃を手にしてキャンパス内を歩き回り、数十名の学生と教員を次々と銃撃していった。すべてが終わったのは、午前9時51分のことだった。最後に趙は、自分の頭に向けて拳銃の引き金を引いたのだ。大学側からは犠牲者の人数しか公表されなかったため、無事だった学生たちは、自分の友人のうちで誰が無事で、誰が犠牲になったのか、まったくわからなかった。そこで彼らは、自分た

ちがもつ情報源の中で「最も頼りになるもの」を利用した。インターネットだ。特に役に立ったのは、Facebook というソーシャル・ネットワーキング・サイトだった。

Facebook には事件直後から続々と投稿があり、犠牲になったと思われる人々の氏名が書き込まれていった。以下にその一部を紹介する（プライバシー保護のため、一部編集）。「CH. 女子学生クラブのあるメンバーからの報告による」。「たった今、JH のガールフレンドと話をしてきた。JH も死亡したらしい」。投稿数が増えてくると、参加者たちは情報の精度を高めるために自主規制をするようになった。匿名での投稿や、漠然とした投稿には説明が要求された。例えば、犠牲者の氏名を投

稿する参加者には、自分の身元を明かし、その情報をどこで得たのかを明らかにすることが求められた。翌日になって、ようやく大学側は犠牲者の氏名を発表したが、その情報はオンライン・コミュニティにとってはもはや新しいものではなかった。彼らは既に、死亡した32名全員を特定していたからである。

ヴァージニア工科大学のエピソードは例外ではない。「人は、危機的状況下に置かれたときや、危険が差し迫っていると感じているときには、こんなふうにして情報収集に力を入れるものなのです」と、コロラド大学（米国、ボールダー）のコンピュータ科学者 Leysia Palen は説明する。近年では、そうした状況下でのソー

シャル・ネットワーキング・サイトの利用が増えている。

ソーシャル・ネットワーキング・サイトのユーザーは、しばしば当局を避けて連絡を取り合おうとするため、役人たちはこうした情報をかき集めて、従来の災害対応システムに組み込もうとしている。コロラド大学で災害時のコミュニケーションについて研究している社会学者の Jeanette Sutton は、「危機管理担当者は、情報の流れを制御したいという願望をもっているのです」という。「けれども、そんなことは不可能です。できるとしたら、その利用法を考えることぐらいでしょう」。

Palen は自分の研究を「クライシス・インフォマティクス (危機情報科学)」とよび、実際にいくつかの災害現場に足を運んでいる。ヴァージニア工科大学の銃乱射事件の際には、Palen は同僚とともに、事件発生から数時間以内にウェブサイトのモニターを開始し、事件発生から 5 日後にはブラックスバークを訪れ、聞き取り調査を行った。その後、コロラドに戻ると、研究室の壁に巨大な白い紙を貼り、公式なコミュニケーション (大学側が送信した電子メール、記者会見) と非公式なコミュニ

ケーション (Facebook のメッセージ、写真共有サイト Flickr の写真) の経時的な推移を、詳細に記入していった。これにより、非公式なコミュニケーションに自主規制の動きが生じてくる過程を追跡することができた。「危機管理の観点からは、『(ウェブサイトに投稿される) 情報が当てになるかどうかを、どのようにして判断すべきか?』ということが大きな関心事になります」と Palen はいう。「我々はそれを自己修正能の有無により判断しました」。

山火事のように広まる

Palen らは、2007 年の 10 月と 11 月に米国カリフォルニア州の南部で発生した大規模な山火事の際に、インターネット上で行われていたやりとりについても調べている。この山火事では、サンタバーバラからサンディエゴにかけての一带で 20 件以上の火災が発生し、20 万ヘクタールの山林が焼け、約 1500 軒の家屋が焼失し、さらに多くの世帯が避難を余儀なくされた。

Palen らはローカルニュースのウェブサイトや、Craigslist、Facebook、Twitter、Flickr などのオンライン・フォーラムをモニターした。そして、彼女らは火

災発生から 10 日以内に現地入りして、被災地の調査と被災者に対する聞き取り調査を開始した。被災者の 1 人は彼女らの質問に対して、「全国ニュースのウェブサイトはまったく役に立ちませんでした。取り上げられるのはマリブの山火事のことばかりで、それ以外の地域は完全に無視されていたのです。というのも、マリブの山火事はたいした規模ではなかったのですが、近くにある有名人の家が何軒か燃えたからです」と回答した。行政機関からの情報は、ときに役立つこともあったが、あまり当てにはならなかった。「地域のいわゆる緊急災害サイトは、しょっちゅうダウンしていました」と、別の人は回答している。

多くの人々が頼っていたのは、サンディエゴに拠点を置く公共ラジオ局 KPBS などのローカルメディアや個人が運営するウェブサイトだった。これらのサイトには、インターネットに接続でき、人々と共有すべき情報をもつ、あらゆる地域住民からの情報が寄せられた。いくつかのサイトには Google マップがあり、ユーザーは火災が起きている場所などの情報をマップ上に重ねることができた。またあるサイトには掲示板が設置され、避難しなかった人々や、避難所から帰宅した人々が、自分が目にしたことについて報告することができた。

ワールド・ワイド・ウェブ

危機的状況下でインターネットを活用して情報を共有しようという発想は、米国独自のものではなく、既にこれを実現させているメディア機関もある。例えば、カタールのドーハに拠点を置く衛星テレビネットワークのアルジャジーラは、ガザ地区での紛争に関する携帯メールや携帯電話を使った報告、および Twitter への投稿を、マイクロソフトの地図検索サービス Virtual Earth 上に集め、実験的なウェブサイト (<http://labs.aljazeera.net/warongaza>) を 2009 年 1 月初旬に開設した。

また、メリーランド大学カレッジパーク校 (米国) の研究者、Yan Qu、Philip



2007 年にヴァージニア工科大学で発生した銃乱射事件の際には、研究者らは非公式なコミュニケーションに自主規制が生じてくる過程を追跡した。

Wu および Xiaoqing Wang は、2008 年 5 月 12 日に中国の四川省で発生した大地震の後の情報共有について、その動向を観察した。「地震は現地時間の 14 時 28 分に発生したのですが、それから 1 分もしないうちに、Tianya フォーラムにメッセージが投稿されました」と Wu はいう。Tianya は中国で最も人気のあるウェブサイトの 1 つであり、この掲示板システムには 2000 万人以上の登録ユーザーがいる。地震発生から 10 分もたたないうちに 56 ものスレッドが立ち、この地域の 22 都市から地震を感じたという報告が入った。

Qu らは、地震発生後にサイトに出現した数千のスレッドを読み、それを分類していった。そして、地震に遭った四川省の中国人が、山火事に遭ったカリフォルニアの米国人と同じ目的でウェブサイトを利用していたことを発見した。すなわち、自分たちの家や故郷や家族に関する情報を探し、被災者を援助するための活動を組織することである。こうした活動の成功例として伝えられている事例の 1 つに、次のようなものがある。ある山間部の村が壊滅的な打撃を受けたため軍のヘリコプターが救助に向かったが、着陸に適した場所が見つからず、村人を救助することができなかった。このことがニュースで報道されると、その地域で生まれ育った女子大学生が、ヘリコプターの着陸に適していると思われる場所に関して、詳細な情報をオンライン・フォーラムに投稿し、当局とつながりのあるユーザーがいたらそれを転送してほしい、とよびかけた。彼女の投稿はやがて軍に届けられ、彼女が提案した地点にヘリコプターを着陸させることができたという。

残念ながらこうした例は珍しい、と Wu はいう。総じて、緊急災害に対応するプロフェッショナルたちは、災害に遭った市民がどのようなソーシャル・メディアを利用するかを、漠然としか把握していない。「米国でさえ、こうしたことを把握しておかなければという意識が芽生えてきたばかりな

のです。中国当局が具体的な取り組みを始めているとは思えません」と彼はいう。

メリーランド大学のコンピューター科学の教授 Ben Shneiderman と、その妻で同大学の情報研究学部長である Jennifer Preece は、公的な関与が不足している現状を変えたいと思っている。彼らは 2007 年、*Science* に、「911.gov」というタイトルの 1 ページの論文を発表した (B. Shneiderman and J. Preece *Science* **315**, 914; 2007)。タイトル中の「911」という数字は、北米で広く用いられている緊急電話番号 (訳注: 日本の 110 番や 119 番に相当するもの) である。彼らが提案しているのは、ウェブ上のソーシャル・ネットワーキング・サイトの力を行政機関の緊急災害対応システムと結びつけた、地域コミュニティの災害対応ネットワークである。

緊急電話システムは、平時には完璧に機能すると Shneiderman はいう。「けれども、ハリケーン・カトリーナや 9・11 のような大災害時には、すぐに (コールセンターの) 処理能力を超えてしまいます」。コールセンターではなくウェブサイトなら、少なくとも必要に応じてサーバーの数を増やすなどして、災害時に利用が激増したときにもうまく対応できるはずである。

Shneiderman の予想によると、災害に遭った人々は、911 に電話をかける代わりに、インターネットや携帯メールを利用して通報することになるだろうという。こうした通報を集計し、状況をまとめた地図を定期的にアップデートできるソフトウェアを用いれば、市民の側も対応する側も電話回線の障害に悩まされずに情報を確認することができる。人々はまた、地域ごとに提供される情報の受け取りを申し込むことで、電子メールや携帯メールで送られてくる当該地区の情報に基づいて、そこにとどまるべきか、避難するべきか、あるいはほかの方法で対応するべきかを判断することもできるだろう。さらには、地域コミュニティの掲示板で、災害時やその前



地域コミュニティの災害対応ネットワーク (上) は、一般の人々が投稿する情報を公的機関の災害対応システムと結びつける。下図は、2008 年に中国で発生した四川大地震の際に中国の一般市民が作った Google マップ。

後に隣人との間で対応を調整することもできる。例えば、避難時に責任をもって椅子を利用する隣人の世話をする家を取り決める、などである。

Shneiderman は、Wu や Qu らと共同で、このシステムの小規模版がメリーランド大学のキャンパス内でどのように機能するかを調べている。Wu によると、大学保安部の危機対応担当者はこの発想に強い関心を示しているが、一方で、非常に慎重でもあるという。大学保安部は、システムを運営するスタッフがいらないことや、緊急時には 911 に電話をかけるという習慣が身についている人々を混乱させることを懸念している。また、システムを利用して、虚偽の情報や噂を広めようとする人々もいるかもしれない。大学保安部のあるスタッフは彼らに、「参加者の全員が同等の機能と資格をもつようなネットワークは、広範にわたるパニックを引き起こすおそれがあります」といったという。危機対応担

当者の多くが、彼らの提案する新しいシステムに対して、こうした興味と懐疑が入り混じった反応を示している。

米国の連邦および地域の災害対応機関は、長年にわたり Incident Command System（緊急時指令システム：ICS）の下で機能してきた。ICS は、カリフォルニア州の山火事と戦う消防士たちによって 1970 年代に開発され、後に、連邦緊急事態管理局（FEMA）を含む連邦機関にも採用されるようになった標準プロトコルである。ICS は、トップダウン式の明確な命令系統をもち、市民とのコミュニケーションを一方通行の流れとして理解している。情報は、公的機関から市民への警報という形で、テレビやラジオなどのメディアを通じて発せられるものだった。こうした理解は、昔の災害社会学のアカデミックな研究とよく合っている。

30 年以上にわたり災害について研究している、全米科学財団の社会学者 Dennis Wenger は、「30 年前には、クライシス・コミュニケーションについて語る人はいませんでした。当時は、警報研究という言葉が使われていました」という。そのころの研究者たちの関心事は、どうすれば効果的な警報文を作成できるかということにあった。例えば、ハリケーンが来る前に人々に避難命令を出し、その命令が確実に全員の耳に入るようにするには、どうすればよいかということである。

「ところが突然インターネット革命が起こり、直線的な命令系統という概念を吹き飛ばしたのです」と、コロラド大学自然災害センターの所長である社会学者の Kathleen Tierney はいう。ソーシャル・ネットワーキング・サイトや写真共有サイト、携帯電話、携帯メールが、「1 本の線」を「網」へと変えてしまったのだ。

今にして思えば、この変化は予想できたはずだった。トップダウン式の命令系統とはいっても、モデルほど直線的ではなかったからだ。そのことに最初に気づいた研究者の 1 人は、デンバー大学（米



中国の四川大地震の際には携帯電話で撮影された写真がソーシャル・ネットワーキング・サイトに投稿されて、救出活動に役立った。

国、コロラド州）の災害研究者 Thomas Drabek だった。彼は、1965 年にサウスプラット川がデンバー付近で氾濫し、洪水になったときの避難者に対して聞き取り調査を行った。その結果、彼が話を聞いた人々の 60% 以上が、避難警報を自分の耳で聞いた後も、それを確認しようとしていたことが明らかになった。彼らは家族や友人に確認をとり、避難について話し合い、隣人たちの行動を観察し、それからようやく行動し始めたのである。

意見が一致するまで

研究者たちは、その後も多くの災害現場で情報を共有しようとする同様の傾向を観察してきた。1993 年にニューヨークで起きた世界貿易センタービル爆破事件の後、デラウェア大学（米国、ニューアーク）災害研究センターの社会学者 Benigno Aguirre は、大きなオフィスにいた人々は、小さなグループの中にいた人々よりも避難に時間がかかっていたことに気がついた。大きなグループは、そのときの状況につい

て共通の理解を得るまでに、小さいグループよりも長い時間を要したからである。

コロラド大学の災害管理の研究者である Dennis Mileti は、「自分の身に危険が迫っていることを人々に納得させるのは、実は非常にむずかしいことなのです」という。「人々を納得させることができるのは、ほかの人々が危険を感じているという事実だけなのです」。インターネットの長所の 1 つはこの点にある（ただし、あまり時間がかからないなら、という条件がつく）。「技術がなかった時代には、隣の住人たちと確認し合うことができました。けれども今や、全国の仲間たちと確認し合うことができるのです」と Sutton はいう。

国際消防局長協会の常任理事を 22 年間務めた後、FEMA のデンバー局長に就任した Garry Briesse は、一般の人々からの情報提供がもたらす機会に胸を躍らせている。彼は、2008 年の夏にコロラド州デッカーズで山火事が発生したときのエピソードを語ってくれた。当時、彼が山火事についての情報を耳にしてから 30 分も

しないうちに、ある地元住民が撮影した現場の写真がインターネット上に投稿されているのを見つけたという。「このようにして提供される情報により、我々の状況認識能力は向上するのです」と彼はいう。「適切なシステムを構築できれば、広がり方の速い山火事が起きた場合に、『写真を撮影して緊急センターに送ってください』というメッセージを送信することもできるでしょう。そうすれば我々は、現場の状況をより正確に理解することができます」。

こうしたシナリオが実現するのはまだまだ先のことだろう、と Brieze は指摘する。彼は 2008 年 7 月に、ある大都市の緊急オペレーションセンターのスタッフに対して、ウェブ上で既に利用可能になっている情報について話をした。「数日後、その人が私に電話をかけてきて、『うちの IT 部門がそうしたサイトをブロックしていて、アクセスできませんでした』といったのです」と彼はいう。「つまり、危機管理担当

者はこうした状況について知りたがっているのですが、そのためにはまず IT 部門にかけあって、サイトにアクセスする必要性を納得させなければならないのです」。

2008 年 9 月に開かれた州の危機管理担当者の会議で講演を行った Sutton も、同じような反応にあった。「何人かの参加者から『こんな話を聞いたのは初めてで、何を質問するべきかもわからないほどです』といわれました」。

いずれにせよ、質問に答えるのは容易ではないかもしれない。Sutton は、「情報は確かに存在していて、インターネット上で見つけることができます」という。「けれども、それをどのようにして集計すればよいのでしょうか？ どこにもっていけばよいのでしょうか？ 緊急オペレーションセンターでしょうか？ 共同情報センターでしょうか？ 広報室でしょうか？」

2007 年に地域コミュニティの災害対応ネットワークについて提案したとき、

Shneiderman は 3 ～ 5 年以内に実現するかもしれないと思っていた。けれども現時点でまだやらなければならない研究の量を考えると、5 ～ 10 年と考えたほうがよいかもしれないと思っている。待つことには慣れている。彼は 1980 年代にハイパーテキストリンクの概念の構築に貢献し、10 年以上も後に、それらがウェブに欠かせないものになるのを見てきたからだ。

もちろん、誰もがインターネットにアクセスできるわけではないし、それを活用するための技術的ノウハウをもっているわけでもない。しかし、地域コミュニティに災害対応ネットワークが 1 つあれば、家族、友人、隣人および当局が情報を共有することができ、ほぼ全員が恩恵を受けることができるだろう。「そうなるのは確実です」と、Shneiderman は語っている。 ■

Lea Winerman は Jim Lehrer とともに働く、*The Online NewsHour* のサイエンスエディター。

NEWS IN BRIEF

Hawaiian waters yield corals with thirst for originality

ハワイの海にはオリジナリティーあふれるサンゴがいっぱい

Nature Vol.458(137)/12 March 2009

米国ハワイ州の自然保護区である国立パパハナウモクアケア海洋モニュメントの深海域で、サンゴの新種が 7 つ見つけられ、6 つの新属として分類された。

これらのカラフルなトクササンゴ類は、2007 年 11 月に 3 週間にわたって行われた同保護区の調査で発見されたもので、なかには 4000 歳になるものもあった。この保護区は、2006 年にジョージ・W・ブッシュ米国前大統領の指示により制定された。

右のサンゴの写真は、水深 1750 メートルの海山で潜水艇によって撮影されたもので、正式名称はまだついていない。しかし、ハワイ大学マノア校の生物学者 Les Watling の研究室では、これを「Slurpisis」とよんでいる。「形が飲み物用のストローに似ていることから slurp (ズルズルするの意味) で、それにトクササンゴ科 (Isididae) を意味する「isis」を付けたのです」と Watling は説明している。 ■



HOW TO SURVIVE THE RECESSION

この景気後退をどう生き抜くか



Nature Vol.457(957-963)/19 February 2009

世界的な景気悪化は、苦境と期待の両方をもたらしている。回復と成長が戻るまでの長い道のりに、科学がどのように対処し、科学者がどのような役割を果たすべきなのか。世界的にすぐれた8人の思想家と実務家が、分析、経験、助言を示す。

Boost the developing world 開発途上国を援助せよ

最貧国の持続可能なインフラ整備に対する資金供給が、世界全体を助けることになる、と Jeffrey Sachs はいう。

欧米における消費バブルの崩壊に端を発した経済危機は急速に拡大し、今や開発途上国に大きな打撃を与えている。この状況に世界は早急に対処する必要がある。豊かな国の人々は、自分たちが作り出した経済的な嵐をしのぐため、個人的あるいは社会的なバッファー（緩衝装置）を使えるかもしれないが、貧しい国の住民には、そのようなものがないからである。しかし、この経済危機は世界にとってのチャンスでもある。20の経済大国が協力のための話し合いを行う主要20か国首脳会議（G20）で、最貧国におけるエネルギーや土地、水の持続可能な利用を支えるための財政援助計画がまとまれば、「ウィン・ウィン・ウィンの状況」を達成できる可能性がある。つまり、豊かな国々の景気刺激、貧しい国々の開発、そして世界全体にとっての環境の持続可能性につながるかもしれない。

2009年のサハラ砂漠以南のアフリカ諸国における所得の伸びは、わずか3.25%にとどまる見通しだ。2007年の6.9%と比べて落ち込んでおり、わずか数か月前



に出された予測を3パーセンテージポイントほど下回ることになる。米国ワシントンDCに本部のある国際金融協会は、民間部門から世界の新興市場諸国・地域（主に中所得国、例えば北アフリカのモロッコ）への資金の流れが、2007年の9286億ドル（約92兆8600億円；以下すべて、ドルは米ドルを表し、1ドル＝100円で換算）から、2009年にはわずか1653億ドル（約16兆5300億円）へ大きく減少する予測を示している。国際的な銀

行が行う中所得国への貸付も、600億ドル（約6兆円）ほど減る見通しである。2007年には、前年比で4100億ドル（約41兆円）の純貸付額増だったのだが。貧困国出身の国外居住者が本国の家族へ送金する額も激減しており、数百万人の国外就労者が失業、就労許可・ビザの失効によって本国に帰国している。前々から約束されていた対外援助についても、最大の供与国の中にはすでに減額を決めた国もある。今年の主要8か国（G8）首脳会議のホスト国であるイタリアは、2009年の対外援助予算を約50%削減してしまった。

こうした影響は、気候変動の影響と絡み合ってさらに深刻化し、悲惨な結果となることも十分に考えられる。世界中で飢えに苦しむ人々の数は、2003～2005年と比べて1億人以上増えた。蔓延する気候ショック、金融危機の進行、政情不安の結果として、アフリカの大部分を飢饉が襲っている。豊かな国々は、これを傍観するのみだ。真剣な演説やサミット声明文の中では多額の財政援助を約束しても、これまでのところ、実際に送られた資金はほとんどない。

この不作為による悲劇は、2つの基本的な真実のために深刻化している。第一に、富める国々が約束しておきながら実行していないアフリカに対する援助額が、2010年までの1年当たりで約600億ド

ル(約6兆円)に達していること。対して、実際に履行された援助額は約300億ドル(約3兆円)で頭打ちになっている。これは、昨年10月以降に裕福な国々で導入が決まった金融安定化策や緊急経済対策に費やされる数兆ドル(数百兆円)という数字を考えれば、そのほんの一部に過ぎない。メルル・リンチ社が金融安定化基金からクリスマスボーナスに使った40億ドル(約4000億円)は、米国のアフリカへの援助額の総額50億ドル(約5000億円)をわずかに下回る程度である。

第二に、欧米各国と日本は、自らにとっての大きなチャンス逃している。もし、アフリカの道路や発電設備、港湾、水道・公衆衛生システム、光ファイバー網、それに機能する農業システムの整備に役立つ助成金や融資を約束通り実施すれば、援助国内で稼働率が低下している工場にとって非常に大きな刺激となるだろう。皮肉なことに、いずれの富裕国でも、国内需要の低迷でソーラーパネルが供給過剰になっているのに対し、アフリカには電力が供給されていない村落が数万か所もあり、太陽光発電が極めて緊急に必要とされている。アフリカで太陽エネルギーを利用できれば、汚染されていない水を汲み出すことができ、農地に水を引き、穀物の製粉施設を動かし、診療所や病院の電力を賄える。

G20各国は、4月2日にロンドンで予定されている会合において、アフリカの持続可能な開発のための投資を少なくとも250億ドル(約2兆5000億円)緊急追加し、これとは別に、他地域の低所得国に対しても同額の援助を行うべきである。経済大国諸国が自身たちのために数兆ドル単位の支出を検討するのに集まる会議なのだから、この程度の額にショックを受けることはないだろう。とはいえ、G20会議が世界の最貧国に注目し、財政援助を行うのかどうかは、誰にもわからない。

多くの貧しい国々は国内の統治能力を

大きく高めてきているが、援助が不十分なために、開発が遅れている。にもかかわらず、豊かな国は、「援助が足りないのではなく、国内統治に問題がある」から開発のペースが鈍るのだ、とたびたび発言する。今ほど、こうした言葉が白々しく聞こえることはない。貧困国は、富裕国のスキャンダル、規制の機能不全、金融危機、富裕国から生じた気候変動の影響などの重圧にあえいでいるのだ。このまま貧困国のニーズが対応されない状況が続き、暴力事件や病気の増加、難民の発生、市場の縮小が起これば、おそらく全世界が敗者となってしまうだろう。■

Jeffrey Sachs は、コロンビア大学(米国ニューヨーク)の地球研究所長。近著に『Common Wealth: Economics for a Crowded Planet』(2008年)がある。

Learn to convince politicians 政治家を納得させる方法を学べ

不景気の時代にも研究予算を確保しなければならぬ理由を、科学者たち自身がいずれでも説明できるようにしておく必要性を、Ian Taylor が説く。

現在の景気悪化は、英国が1990年代初頭に経験した前回の景気後退よりもはるかに厳しい。しかし、この景気の悪化からも学びうることはあるだろう。これまで以上に、科学的発想を有用な技術への転換につなげ、さらにその技術革新を推進する科学的技能の基礎を強化することを目的とした、強力かつ正しい方向性を持った活動をまとめ上げる役割を政府は担うことになる。

英国は、かつて力強さを誇っていた金融サービス部門をもはや成長の原動力として頼れないため、経済活動のリバランシング(配分比率の見直し)が、回復にとって非常に重要である。研究から得られるアイデアや発見を取り込めるかどうか、成



長と繁栄を再び手に入れられるかどうかの試金石となり、科学への投資に対する国民の支持度に影響するだろう。

私が科学技術大臣だった1994～1997年は、英国が前回の景気後退から抜け出そうとする時期だった。1990年代前半には正当に増額された公費だが、1996年度予算ではその抑制が強力に進められた。不景気の時代に高い業績をあげた部門、そして予算の削減が許容される部門を誰もが調べていた。私は、科学予算に対する攻撃を寄せつけなかったが、ほかの大臣たちを納得させる際に科学者自身に最も助けられたということはない。科学者は、科学予算を削減対象とすべきでないのは自明のことだし、地域コミュニティが不景気の時代を生き抜くのに自分たちがどのように役立てるのか、明確に主張しないことが実に多かった。私は、ある団体を非難して、公共ラジオ局の放送で「(彼らは)泣き言を並べている」と話したことがある。実際、私の耳にはそう聞こえたからだ。

その後、さまざまな改善があった。例えば、英国王立協会はより現実的な路線を歩み、実用面を重視するようになった。私は現在、科学技術キャンペーン諮問委員会(Advisory Council for the Campaign for Science and

Engineering) ——泣き言を並べていると非難した団体だ——の一員である。しかし、我々はさらなる努力が必要だ。

応用科学は、基礎科学が得ているステイタスにまで引き上げられるべきである。これまでにいろいろな大学を訪問したが、研究成果の論文発表を終えた研究プロジェクトをさらにその先に進めようとしても、奨励金が得られないことに不満を感じている科学者がとても多かった。しかし、まさにこのことが、今日の最も緊急な問題を解決するうえで必要とされているのである。

1990年代初頭、保守党政権は、価値ある政策を数多く実施した。小規模スピンオフ会社の設立促進策もその1つだった。ところが、そのやり方に方向性がなく、あたかも技術革新は常にまっすぐに進んでいくかのように、大学からもたらされるアイデアを重視したため、やや的外れになってしまった。

このことは教訓になっている。私が議長を務める保守党の科学・技術・エンジニアリング・数学タスクフォースでは、既存の各研究評議会に加えて、強力な権限を持つ Innovative Projects Agency (IPA) を創設して、イノベーションに関する支出を国益にかかわる分野に集中させ、新たに生まれたアイデアと商業的に魅力ある技術開発との橋渡しを、これまでよりも改善させることを提案した。IPA は、すぐれた研究成果は大学の研究室からだけでなく、産業界からももたらされるという認識に立ち、共同研究や独創的なエンジニアリングを奨励することを責務としている。また、技術革新には定量化可能なリスクではなく、むしろその反対の不確実性を伴うものだという認識も持っている。つまり、政府の科学研究への資金拠出と技術革新への取組みが根本から変わることを意味しており、これからは資金の供給よりも、需要の充足が重視されることになる。

国益にかかわる重要問題で、解決に向

けて努力するべきものとは何だろうか。交通技術の一新、気候変動目標値の達成、エネルギー供給の多様性の確保などは、ほんの一例にすぎない。核エネルギー技術とクリーンコール技術（環境に悪影響を及ぼさない石炭利用技術）には、方向性をより明確にもたせた研究と、そうした技能を伝授する講座の増設が必要である。現在のところ、英国では、こうした技術を実施するために必要な人材がいない。

一般的にいうと、国内で十分な数の優秀な人材を輩出できない国家は、危険にさらされる。この点に関しては、景気後退によってチャンスが生まれている。理工科系学生の方が雇用機会に恵まれていることは、複数の調査で示されている。技能に関するリーチ報告書 (Leitch Review of Skills) では、2004～2014年の間に、科学技術の専門家と関連スタッフに対する需要が、前者は18%、後者は30%増加すると予想されている。これに対して、ほかの職種に対する需要増加率の見込みは4%である。今が科学研究に人材を取り込む絶好の機会なのだ。

加えて、大卒者が科学キャリアから離れる傾向を逆転させる好機でもある。2002年には物理学部の卒業生の6%が金融業界に就職し、その割合は2007年に19%に達した。金融サービス部門の業績悪化により、理工科系学生を科学の世界に踏みとどまらせることは容易になると考えられる。

今回の金融危機から脱する日は必ずやってくるが、そのときには、科学者とエンジニアのコミュニティが、この危機的な時期に達成した実用的な成功例を明確に示せるようにしておく必要がある。それが将来、政府が財政赤字を減らすために歳出を徐々に削減し始めるときに科学予算を守るため、最低限求められることである。科学コミュニティに本物の熱意を巻き起こし、使命に強く導かれた科学研究を円滑に行えるようにしたうえで、その実

現のために、政府から本物の支持を得るよう努力することが必要だ。

Ian Taylor は、英国議会議員。保守党の科学・技術・エンジニアリング・数学タスクフォース議長を務め、科学技術キャンペーン諮問委員会のメンバーである。

Work for the greater good

より大きな利益のために研究を推進せよ

大恐慌時代に研究者は、自分たちが国づくりのかぎであることを米国に証明してみせた、と Eric Rauchway は話す。

不景気になると研究予算が縮小する。しかし、もし1930年代の大恐慌時の米国の対応を振り返って現在の危機に対する1つの指針とするならば、科学者には、改革政策を通じて恩恵を得る方法があるかもしれない。ニューディール政策はそのスタート時にはぎくしゃくしたが、その後は、基礎研究に対する予算増額や、資源保護や公衆衛生などの目標達成のための新たな共同研究がコーディネートされるなど、政府と科学の関係に新時代が確立された。熱心に打開策を探索し、「bold, persistent experimentation (大胆、かつ永続的な実験)」(フランクリン・ルーズベルト大統領の言葉)を快く行った政策立案者たちは、数々の社会問題を解決するために研究をどのように生かせるか、科学者たちの実用的な着想に耳を傾けた。

1933年、ルーズベルト大統領は科学諮問委員会を創設し、委員たちは、国家的な研究プログラムを実施しようと考えた。しかし、ニューディール時代初期に設立された政府主導の他部局と同じように、十分な政治的支援が持続せず、1935年には瀕死状態になった。そのとき、米国政府は、本来、全米科学アカデミーの助言を受けるべきであることを再確認した。このように漠然とした失敗があった後、数多くの成功例が生まれた。

最大の成功例はテネシー峡谷開発公社 (TVA) で、その任務は、慢性的にやせた土地だけでも、過剰な農地化が急速に進んだテネシー川流域の開発だった。水力発電ダムで最もよく知られる TVA だが、オールドサウスとよばれる各州の福利改善のためにも、科学者が雇われた。農学者であり、TVA の会長となった Harcourt Morgan は、手近な技術革新で短期的な経済効率を高めるだけでなく、資源の持続可能な利用も促進しなければならないと考えていた。

TVA の科学者は、実験農場を運営し、土壌浸食防止のために選ばれた作物を栽培した。数千エーカーに及ぶ植林も行い、シカが再び定住できるようにした。また、水質に関する報告書を発表し、汚染源を公表し、汚水による感染症対策を実施した。TVA は米国農務省で長年続いていた研究プログラムに立脚するものだったが、やがて米国内の資源保護に関して農業研究が果たしうる役割について、整合性のある新ビジョンを提示し、それに沿って革新的な技術が実施された。



1935 年、新設された公共事業促進局 (WPA) が、こうした地域政策を米国全土に導入した。失業者の雇用が主たる目的だった WPA は、公立大学の研究室やさまざまな基礎研究に対して資金を供給した。1930 年代後半の科学ジャーナル誌をばらばらとめくると、有孔虫やショウジョウバエ、大腸菌といった当時の基礎研究が見つかる。考古学、地質学、生物学の研究は、いずれも WPA の支援を受け、その中身も、資金供与、統計解析の提供から勤労意欲のある労働者の派遣までさまざまなものが含まれていた。また、WPA は、資源保護も推進した。この分野でも科学者が重要な役割を果たした。ノースカロライナ州ハッテラス岬の海岸侵食を防止するための砂丘の設計と構築が、その一例である。

1934 年以降、米国では政府の研究予算が年々増加し、1940 年には科学に対する公的資金が 1934 年の 3 倍に達した。こうした研究は、農業生産性を高める目的のものが多かったが、時には思いがけない「配当」が得られることもあった。ニューディールによって開設された研究センターで、菌学の研究者が、抗生物質として使用するペニシリンの大量生産技術を開発したのである。

こうしたプログラムには例外なく費用がかかるわけで、連邦政府の科学関連補助金が増えると、今ではお馴染みの批判が登場した。例えば TVA のダム建設では、周辺住民全員の立ち退きが必要になることがあったし、奇跡の肥料は環境汚染の原因につながった。また、TVA のダムからはマンハッタンプロジェクトのオークリッジ施設へ電力が供給されたため、一部の米国国民は原子爆弾の開発・製造計画との結びつきを感じて、TVA に対する支持をためらうようにもなった。

それでも全体的にみれば、これらのプログラムが成功であったことは明白であり、同じ方法が頻繁に活用された。TVA

は、オールドサウスに工業化と近代化をもたらし、1930 年代には空前の技術的進歩が全米にいきわたり、ほとんどの工業分野で技術革新とその応用による生産性の向上がみられた。1940 年代になると、開発途上国の各リーダーは、米国のニューディール政策にならって、科学の進歩を実用化に結びつけることに意欲を示した。

もし、あのときと同じような他国がうらやむほどの科学が主導する経済発展モデルを今回の危機の中でも構築しようというのであれば、研究経験と応用可能な発想を持つ科学者たちが堂々と発言して、それを新政権の耳に入れるようにしなければならない。

Eric Rauchway は、カリフォルニア大学デービス校 (米国) の歴史学教授。近著に『The Great Depression and the New Deal: A Very Short Introduction』(2008 年) がある。

No time for nationalism

ナショナリズムを唱えている場合ではない

日本の前回の景気後退期には、基礎研究に対する支援が強化された。今回の景気後退においては、国際的なつながりを強化することが有効だ、と角南篤と黒川清は主張する。

日本は 1980 年代に技術大国にのし上がった。欧米では、政策立案者やジャーナリスト、学者たちが、日本と競争する方法、あるいは日本になる方法について議論した。1980 年代の終わりには、途方もなく高い地価と途方もない低金利によって作られた日本のバブル経済が絶頂期を迎えた。借入金と有価証券投資額は膨大なものとなり、つまりは、ごく最近までの欧米とほぼ似た状況だった。

そしてバブルが崩壊した。政府は、1990 年に土地購入目的の融資を規制して、不動産価格の高騰に歯止めをかけよ

うとした。ところが、このことが株式市場の暴落と銀行部門の危機を招く。これによって日本経済は完全に立ち止まり、その状況は1990年代の終わりまで続いた。いわゆる「失われた10年」だ。

しかし、この失われた10年間に、日本国内における現在の科学技術政策の基礎が築かれたのである。異常なほどの危機感が、日本で最高クラスの科学者を政策立案の場へ結集させることとなった。こうしたことは、第二次世界大戦後の復興期以来だった。明らかに日本の研究開発活動のほとんどは、国内経済の急速な発展に合わせて産業界が担ってきたものであり、大学や公的研究機関であったわけではなかった。だが政府は、その構造を変える必要があると、この時点で痛感していた。

非実的な研究こそが今後の方向性であり、暗いトンネルを抜け出す道を照らす明るい光だと考えられた。そして制定されたのが、1995年の科学技術基本法である。この種の法律は日本では初めてだった。首相が議長を務める総合科学技術会

議が設立され、とうとう科学が日本の政策立案の舞台の中央に立つことになった。

科学技術基本法は、日本初の科学技術に関する「5か年計画」の基盤となり、1996～2000年の基礎研究と応用研究に対する歳出は、17兆円となった。それまでの5年間は、12兆6000億円だった。1998年からは使途を基礎研究に特定した予算が増額され、よい結果につながった。

最初の5か年計画がよい先例となったおかげで、その後、基礎研究に対する財政支援は基本的に保証されることとなる。第2期の2001～2006年には24兆円の予算がつき、現在は第3期にあるが、ほぼ同額の予算支出となっている。ところが、それが続かなくなるかもしれない。今や日本政府も他国と同じように予算削減項目を探しており、科学も例外とはならないのだ。

日本が他国と同様に、現在の経済危機、気候変動、貧困、健康、食料不足と水不足をはじめとする数々の地球的規模の課題に直面していることは、ますます明白になってきている。しかし、科学政策立案者

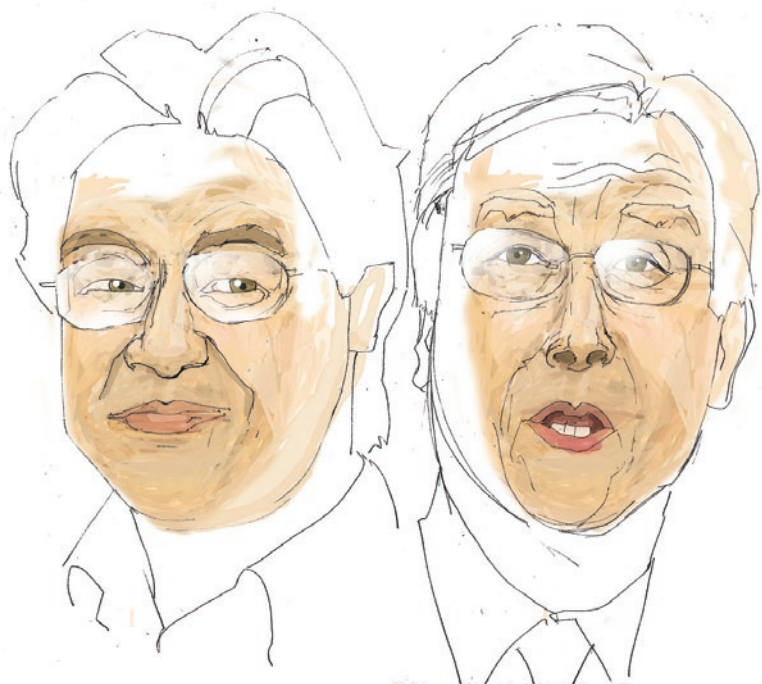
の間では、日本の科学研究システムはこうした今後の課題に正面から取り組むために必要な改革を実施せず、予算だけが大きく増額されてきたという不満が高まっている。日本がこのような問題に取り組むには、資金だけでなく、よりグローバルな視点を持つこと、そして研究者たちは国際競争力をつけ、国際的連携を強め、国際的に繁栄できるようコミットしていくことも必要だろう。

例えば、国際的な研究プロジェクトにかかわる研究助成金を従来よりも取得しやすくして、海外の研究所に所属する研究者たちが、日本の研究者との国際的研究活動を容易に進められるようにすべきである。また、学生や若手研究者には在学中や研究キャリア初期での海外留学を促し、帰国後、国際的ネットワークを広げられるよう奨励してはどうか。そして日本の大学と研究機関は、相当な割合の講義を英語で行うなど、海外に向けて門戸を開き、魅力を高めなければならない。

日本国内の外国人学生・研究者を増やせば、全体的な水準が上がるとともに、国際的なつながりも深まると考えられる。現在、日本の大学学部と大学院に在籍する外国人学生は全体の約3.5%だが、この割合は英国では14.8%、米国では5.5%である。大学内では、研究者に対して学問の自由をこれまで以上に広く認め、競争を生み出すインセンティブを提供し、技術移転を支援すべきである。

こうした問題の一部については、それに取り組むための新たな政策が採用されている。共同研究や交換学生制度を推進するプログラムが、その一例だ。今後これらの政策は実施されるはずだが、その保証はない。特に科学予算が減額されれば、実施が危ぶまれる。しかし、日本がグローバルな環境で主導的役割を果たすには、このような政策が必要であることは間違いない。

1990年代と同じように、現在は危機的



状況にあるが、それは世界に共通する新しい価値観を生み出すための積極的な変化の機会でもある。前回の景気後退期には、日本初の実質的な科学計画が策定され、それが基礎研究予算増額の基盤となった。今、日本にとっては、さらなる改革を実施して、国際競争力を強化するチャンスが到来しているのである。 ■

角南篤は、政策研究大学院大学准教授で、同大学の科学技術・学術政策プログラムディレクターを務める。黒川清は、元首相特別補佐官で、現在は政策研究大学院大学教授。

Cut costs and sell what you can 経費を削減し、売れるものを売れ

技術系新興企業は、景気の悪いときには経費削減を行う必要がある、と John Browning はいう。

シリコンバレーに吊いの鐘が鳴った。2008 年 10 月にセコイヤ・キャピタル社（米国カリフォルニア州メンロパーク）が開催した会議で、シリコンバレーのエリート起業家たち、すなわち同社が資金提供している企業各社の幹部たちを迎えたのは、「好景気の時代よ、安らかに眠れ」と記された墓石だった。セコイヤ社は、アップル社、シスコ社、グーグル社といった数多くの企業の財政支援を行ってきたことで有名である。通常時なら、こうした幹部たちは、シリコンバレーの選ばれし者として、市場シェア、製品開発、海外進出といった長期的な戦略目標を重視することが奨励されたはずである。しかし、セコイヤ社は今、それらのすべてを忘れるように、という。景気後退期のモットーは「金を使うときには、いつでも、それが最後の持ち金だと思え」なのである。

このモットーは、どの時代にも適切な助言であるように思われるが、景気後退によって課せられた現金支出に対する厳しい方針は、会社経営の展望に関して重大な

変化が求められていることを意味する。つまり、経営戦術や短期的戦略が、いまや長期戦略と同じくらい重要なものとなったのである。小規模企業の経営は、モータークルーザーの操縦ではなく、小型ヨットの航行に近いものと考えられるようになった。経営陣がどのような針路をとろうとも会社を十分に経営していけるだけの財政的基盤があった時代とは異なり、景気後退期に成功をつかむには、正しい風と波の組み合わせを絶えず探し求める必要があるのだ。

2000 年のドットコム不況当時、時代の変化に対応した経費削減ができなかった企業の残骸があちこちに散乱していた。とりわけ最も不必要な倒産とされたものの 1 つが、米国サンフランシスコに発行元のあった週刊誌『インダストリー・スタンダード』だった。同誌は、インターネットビジネスをメインテーマに取り上げた初めての雑誌であり、同類誌の中でも最も急成長した雑誌の 1 つだった。売上高は、創業年（1997 年）の 900 万ドル（約 9 億円）から 1999 年には 2 億ドル（約 200 億円）にまで跳ね上がっていた。同誌の過ちは、企業戦略を実行する余地をなくしてしまったことだった。同社では長期的なリース契約や技術契約を締結していたため、景気が悪化したときにもそれらの経費を削減できなかったのである。その結果、売上高は減少したものの、その後も収益を上げつつ事業を継続するには十分なレベルだと考えられていたにもかかわらず、高コスト体質から脱却できずに倒産してしまったのだ。

新興企業が景気の悪化をうまく乗り切るための第一歩は、早急にコストの大幅削減を行うことである。ほとんどの新興企業のキャッシュフローはマイナスだ。すなわち、製品開発やマーケティングにかかるコストが、売上高を上回っている。コストを削減すれば、現金が底をつくまでの時間が長くなる。その時間が長くなればなるほど、



ど、競争相手よりも長く生き残れるわけだ。収益性が高く、エンジニアが就業中 20% の時間を自分の好きな新技術のために使うことが許されていることで有名なグーグル社ですら、2008 年秋には「ダークマター」事業、すなわちすぐにヒットせず、それほどの支持が得られなくなった投機的事業の削減を始めた。

しかし、不確実な時代を生き抜くための余裕を作り出すことは、苦労の半分に過ぎない。本当の成功は、不確実性をチャンスに変える能力から生まれる。それには 2 つの要素がある。1 つは、競合他社より効率的な支出を心がけること、もう 1 つは、予想外のチャンスを生かして、売上げを増やすことである。

多くの新興企業は、創業当初の製品とは異なったものを売ようになる。写真共有サービスのウェブサイトで成功したフリッカーは、もともと、ロールプレイングゲームの一部として作られたものだった。写真共有機能が当初設計されていた領域を超えたとき、ゲームはお蔵入りとなり、しかし、フリッカーは自立して存続した。この種の柔軟な発想は、景気後退期に特に貴重である。

たとえ製品が変化しなくても、創業当初の製品の売上げを伸ばせれば、より多くの現金が得られる。バイオテクノロジー企業の間では、長期的な製品開発を支える

ために診断用製品の販売や受託研究サービスを行うことが伝統的な戦略となっている。靴のオンラインショップであるザッポス社は、同社が開発したオンライン販売技術のレンタルを始めた。レンタル先には、直接のライバルであるクラークス社も含まれている。たとえ競争上の優位性が短期的に失われても、より多くの資源を投入して長期的な技術的優越性を確立できれば、おつりがくるとザッポス社は考えているのである。

支出面の効率を高めるうえで最も有効な部門としては、マーケティングと広告宣伝がある。雑誌『ワイヤード』は、1990～1991年の景気後退期の底が抜けた直後の1992年にわずかな資本で創刊されたが、広告宣伝の着眼点に関して新たな標準を打ち立てた。彼らはわずかな広告宣伝費の大部分を、ニューヨークの広告業界の中心地マジソン街をゆっくり走るバスの側面に蛍光ピンクのポスターを貼り出すことに使ったのだ。おかげで、『ワイヤード』の広告宣伝担当者たちが広告をとるために企業を営業訪問しても、相手は、ぼかんと見つめるのではなく、知っているよという表情を見せた。

完全に切り落とせない経費であっても、会社の業績に応じて柔軟に増減できることが多い。ウェブサイトのホスティング設備から研究室や実験設備に至るまでの全部を購入する必要はなく、レンタルするのも手だ。ブログをベースとしたミニ出版帝国の新モデルであるゴーカーメディア社（米国ニューヨーク）の創設者 Nick Denton は、景気後退期を乗り切る戦略の一環として、従業員の給与を固定給制ではなく、広告収入とページビューに応じて支給する措置を断行した。

今は景気が悪く、さらに悪化する傾向にあるが、今日の新興企業は、先駆者たちと比べて少なくとも1つの大きな強みを持っている。起業精神が高まったこれまでの数十年間に構築された、新しいベン

チャーを支えるためのりっぱなインフラがそれだ。無料のソフトウェアや低コストのウェブホスティングサービスを利用でき、新興企業が利用しやすい弁護士や会計士もいる。それに加えて、最新の学識を対価として、起業経験と新興企業の株式（スウェット・エクイティ）を手に入れることに積極的に意欲的な学生や若者がたくさんいる。その結果、現在では史上最も低コストで会社を設立し、経営することが可能となっている。

起業家として成功し、Y コンビネーター（米国カリフォルニア州マウンテンビュー）というベンチャー会社を通じて、新興企業の指南役となっている Paul Graham は、助言先の会社の中には、月間売上高がわずかに3000ドル（約30万円）にもかかわらず黒字化した会社がある、と話す。確かに、そのような会社がスタッフや創業者自身に対してフルタイムの給与を支払えるようになるためには、さらに業績を伸ばす必要がある。しかし、黒字化している企業は、自社の利益を事業の成長のために再投資できるわけで、それ以上の融資を受ける必要がない。つまり、外部の声に左右されることなく、独自に将来の道筋が決められるのである。景気の悪いときには、それが成功へのかぎとなるだろう。 ■

John Browning は、ライター兼コンサルタント、ベンチャーキャピタリストやイノベーターたちの人脈作りのためのフォーラム「First Tuesday」の共同創立者である。

Cooperation must rule

協力が第一

予測不可能な世界を生き抜くために必要なことは、異なる研究分野の研究者が対等な立場で協力して活動することだ、と Noreena Hertz はいう。

私たちは今、「グッチ資本主義」時代のしっぺ返しを受けている。「グッチ資本主義」



は1980年代中ごろに始まり、市場の自己制御能力を何ら疑わず、企業と社会の力のバランスをビジネス寄りにしっかりと傾けてしまった。それは利己心と貪欲さを神聖視した時代でもあった。そして世界的な景気後退が起こり、少なくとも2010年の中ごろまでは続くと考えられている。また、これまでとは大きく異なった新たな社会政治的環境を場としたビジネスが生まれている。今、私たちは、利己的な行動ではなく、協力が第一とされる「co-op capitalism（協同組合的資本主義）」の時代に入ったのである。

協同組合的資本主義を理解するには、社会経済的、政治的、心理的、歴史的、法律的なトレンドをそれぞれ理解する必要がある。そのため、これまで脇役とされることの多かった研究者が主流の地位を占めることになるだろう。従来の景気予測では、通常、このような「ソフト」面の知識が無視されてきた。しかし、政治と経済のシステム全体が流動的な状態にある今、各企業は、インターネット世間の動向をチェックし、メディアの関心事項を把握し、歴史上の類似性を探す必要がある点に留意すべきである。経済が一定の軌道をたどっている間は、そのようなデータは付随的なものと考えられるかもしれない。しかし、どのような軌道上にあるのかもわからないとき、

このようなデータは不可欠な存在となる。

例えば、恐怖と不確実性に駆り立てられた人々が、低金利への伝統的な対処法とされる消費ではなく、貯蓄に走るようになると、金利に関する情報をもとに消費を予測する方法は役に立たない。そのことが今、ちょうど当てはまりそうだ。しかし、社会が何を求めているのかという点については、歴史から手がかりが得られる。過去の経済危機の中でも、例えば大恐慌の時代に一般市民は、より共同体主義的な価値観を当然のものとしてとらえていた。ミルサップス大学（米国ミシシッピ州ジャクソン）の歴史家 Robert McElvaine は、当時について、「思いやり、分かち合い、社会正義という価値観が、米国の歴史上（これほど）力を得た時代はなかった」と評している¹。この見解は、物質的豊かさが失われてくると、自らの持ち物を分かち合おうとする傾向が高まることを指摘した人類学研究²とも一致する。こうした価値観は、ここ 20 年ほどの間にほとんど失われてしまったが、協同組合的資本主義の時代には、有力な価値観として再登場する可能性が高い。ただし、この協力関係の限界がどこになるのか、という点にははっきりとしていない。私たちの共同体意識は、地域や国家の境界線を越えて、世界の遠く離れた土地に暮らす、より恵まれない人々にまで及ぶのだろうか。

いずれにしても、集团的利益が企業にとっての指針になると考えられる。つまり、地域社会への投資、スタッフにボランティア活動の機会を作ること、貧困層向けに手頃な価格の商品を提供することが、事業戦略に不可欠であることを認識しなければならない。また、役員報酬について、企業は、外部からの介入に先手を打って、まず株主や投資家、政府、一般市民に受け入れられるような方針を示し、自社の役員の意向は二の次とすべきである。

国家による介入を望む一般市民の声は、これまでになく大きくなっていることから、

こうした先制行動をとることが推奨される。この大騒ぎに巻き込まれているのは銀行だけではない。公共の利益に反する行動をとっているとみなされた業界は、非難の砲火を浴びる可能性が高くなっている。利己的に行動する者は罰せられるのである。

ファーストフード業界はどうだろうか。一歩先を行っていたのが、ブルームバーグ NY 市長である。2006 年末、彼は、人エトランス脂肪（肥満を増やすことが知られ、コスト増にはなるが適切な代替品が存在する）の使用を禁止した。英国では、子ども向け「ジャンク」フードのテレビ広告が制限された。この分野では、今後も類似の政策が実施され、他部門でも類似のねらい撃ちがあることを想定すべきである。例えば、大手製薬会社は警戒すべきである。医療費が高騰し、政府としても支出を抑制する必要性が生じていることから、手頃な値段の医薬品を発売することを求めて、製薬会社に対する圧力が強まることを予想しておくべきだ。

企業トップの功績を評価する場合にも、その人が「私たち」一般市民の味方か敵か、つまり生協で買い物をする人か、グッチで買い物をする人か、という観点が考慮に入ってくるだろう。より長く功績が認められるには、生協を選ぶことである。■

Noreena Hertz は、エラスムス大学ロッテルダム経営学大学院（オランダ）の客員教授で、専門はグローバルゼーション。ケンブリッジ大学ジャッジ経営学大学院（英国）フェロー。最新著に、『IOU: The Debt Threat』（2005 年）がある。

1. McElvaine, R. S. *The Great Depression: America 1929-1941* (Three Rivers Press, 1993).
2. Mauss, M. *The Gift: Forms and Functions of Exchange in Archaic Societies* (Routledge & Kegan Paul, 1969).

End the obsession with interest 金利へのこだわりを断ち切れ

混乱した経済の解決策は、金利の規制ではなく、レバレッジの規制だ、と John Geanakoplos は話す。

標準的な経済理論では、金利が最も重要な変数だと長い間考えられてきた。景気が減速して資産価格が下落すると、エコノミストは、金利を引き下げて消費を喚起することを強く求め、通常、米国連邦準備制度理事会は、こうした要求に応える。最近も要求に応じて、政策金利をほぼゼロに引き下げた。しかし時には、特に危機の時代には、借り手が提供する必要のある担保（これをエコノミストは「レバレッジ」とよぶ）のほうははるかに重要なこともある。

シェークスピアは今から 400 年前に、この点を正しくとらえていた。『ベニスの商人』の中で、シャイロックは、アントニオに金を貸す際に、金利の交渉をしただけでなく、1 ポンド分の肉体を担保にしていたのである。シェークスピアが、金利と担保のどちらを重要と考えていたのかは明白だ。『ベニスの商人』の舞台を見た人たちの誰もが金利のことは覚えていないものだが、そのときの金利はゼロであった。

融資の際の金利とレバレッジが需要と供給の法則によって決まることは、日常生活から明らかである。すなわち、借り手が現金を欲しがってイライラすればするほど金利は高くなり、貸し手側の不安が高まると、より高い価値の担保が求められる。

ところが、標準的な経済理論ではこの効果を適切にとらえることができず、融資に関する単一の需給方程式で、金利とレバレッジという 2 つの変数がどのように決まるのかを理解しようと四苦八苦している。経済理論では、通常、債務不履行（したがって担保の必要性）の可能性が無視されるか、あるいはレバレッジを一定とみなして、この方程式で金利を推定するのである。

しかし、レバレッジの変動は資産価格に大きな影響を及ぼし、バブル経済とその崩壊の一因となる。その理由として、多くの資産の場合には、その資産に他の一般

市民が考えるよりも大きな価値を見いだす購買層が存在していることが挙げられる（これに対して、標準的な経済理論では、資産価格には何らかの基本的価値観が反映されているものと考え）。この購買層には、不動産に対してより多くの対価を支払う心積もりがある。

理由としては、このような人々のほうが頭脳明晰で、資産の取得に伴うリスクの回避に関する知識があるからなのかもしれないし、リスク許容度が高い人々であるから、あるいは単に、他人よりもその資産が好きだからかもしれない。そして、もしそうした購買層の人々が、レバレッジが高めに設定された融資を受けて現金を得られれば（つまり、少額の担保での借入れができれば）、彼らはその現金を資産購入に充て、資産価格を上昇させることになる。

介入が行われないと、レバレッジは好況期に高くなりすぎ、不況期に低くなりすぎる。その結果、資産価格は好況期に高くなりすぎ、経済危機を迎えると低くなりすぎる。これがレバレッジ・サイクルである。

米国内におけるレバレッジは、1999～2006年の間に急上昇した。2006年の時点でトリプル A 格の不動産担保証券を購入しようとする銀行は、その証券を担保に購入価格の 98.4% を借り入れることができ、1.6% 分だけを現金で支払えばすんだ。2006 年における総額 2 兆 5000 億ドル（約 250 兆円）の「不良」不動産担保証券全体のレバレッジ比は、平均でほぼ 16 : 1 だった。つまり、買い手は 1500 億ドル（約 15 兆円）だけを頭金として支払い、残りの 2 兆 3500 億ドル（約 235 兆円）を借入れ資金でまかったことを意味する。住宅購入者は、20 : 1 のレバレッジ比で住宅ローンを組むことができた。つまり、頭金は 5% 分ですんだ。そして、証券価格も住宅価格も急騰したのである。

今では、神経質になった貸し手が融資額 1 ドル当たりの担保価格を増やそうとするために、レバレッジ比は急激に低下している。不良不動産担保証券のレバレッジ比は、平均で 2 : 1 程度になった。現在、住宅購入者は、政府系融資が得られても 5 : 1 のレバレッジ比で購入することになり、民間会社からの貸付けが必要であれば、レバレッジ比はさらにこれよりも低い。こうしたレバレッジの解消が主たる原因となって、証券価格と住宅価格が今も下落を続けている。

レバレッジ・サイクルは、繰り返し起こる現象である。米国カリフォルニア州オレンジ郡の財政破綻を引き起こした 1994 年の金融派生商品危機は、1 つのレバレッジ・サイクルが終わりを迎えて起こったものだった。1998 年の新興市場・不動産抵当危機もそうだ。

私はこの 10 年間、レバレッジ・サイ

クルを詳細に調べてきた。その一部の側面は十分に解明されたが、未解明の側面が多い。現在は、危機が始まる直前にみられる徴候、政府による最適の介入方法やその他の論点に関する研究を行っており、一部はサンタフェ研究所（米国ニューメキシコ州）の後援を受けて、物理学者 Doyne Farmer と共同で行っている。

強欲なウォール街の投資家を非難してその面目を潰したところで、また、人々にパニックを起こさないようにと熱心に説いたところで、レバレッジ・サイクルを止められないことは明白である。レバレッジ・サイクルは、関係者ひとりひとりが合理的な行動をとっていても生じるし、実は、合理的な行動をとるからこそ生じるのである。個別的に合理的なことが、かえって集団的な大惨事につながるのである。そこに必要となるのが、政府の介入だ。

連邦準備制度理事会が行うべきことは、レバレッジの管理であり、好景気の時代にはレバレッジ比を下げ、不安の時代、特に今回の危機のような時代にはレバレッジ比を上げることである。ところが、同理事会は、銀行に対する貸付利率の引き下げによる経済管理に今も執着しており、これといった理由がないにもかかわらず、銀行が方針転換して、借り手に課している担保条件を緩和することをただ期待している。

『ベニスの商人』の結末は、規制当局（この場合は裁判所）の介入であり、金利を変えるのではなく、シャイロックとアントニオが自由意思で交渉して決めた担保条件を次のように変更させることだった。「1 ポンドの肉。ただし一滴の血も流してはならない」。連邦準備制度理事会は、シェークスピアの例にならうべきである。■

John Geanakoplos は、エール大学（米国コネチカット州）のジェームズ・トービン経済学特別教授、サンタフェ研究所外部教授、エリントン・キャピタル・マネージメント（不動産担保証券専門のヘッジファンド）の共同設立者である。



気候変化

Snakes tell a torrid tale

巨大なヘビが証言する猛暑

Matthew Huber

Nature Vol.457(669-671)/5 February 2009

コロンビアで巨大なヘビの化石が発見されたことは、それだけでも大ニュースであるが、過去に地球全体が温暖であった時期にも熱帯と他地域との温度差は小さくなっていなかったという大胆な推論も可能にする。

近年、将来の地球温暖化への不安が募ってきたことで、過去の気候を探る研究者が増えてきた。過去の温暖化が気候や生態系にもたらした変化を明らかにし、これを手がかりにして、将来の温暖化が及ぼす影響の大きさを予測するためである。地球には、今日よりかなり暖かい時期があったことがわかっている。その一例が、古第三紀の初期にあたる 6500 万年前から 4000 万年前にかけての時期である。この時代のワニの化石¹やヤシの化石²は、北極地方を取り囲むように存在しており、ワイオミング州（米国）やシベリアのような内陸部でも見つかった。この事実と古気候の定量的記録を考えると、こうした地域の当時の気温は冬にも氷点下にはならず、年間平均気温はしばしば 15°C 以上あったことが示唆される¹⁻⁵。けれども、熱帯以外の地域がこれだけ暖かったのなら、熱帯地方はどのくらい熱かったのだろうか？ Head らは Nature 2009 年 2 月 5 日号 715 ページにて、一風変わった情報源から得られた、極めて興味深い手がかりについて報告している⁶。

熱帯における過去の気候変化の大きさを明らかにすることは、おそろしくむずかしい。20 年前には、地球全体が温暖化する時期には熱帯地方は寒冷化し、地球全体が寒冷化する時期には熱帯地方は温暖化すると考えられていた⁷。けれども 10 年前になると、過去 1 億 4500 万年の間にはさまざまな原因による「温室」効果のために気温が高くなっていた時期があったが⁸、そのときの熱帯の気温はせいぜい今よりわずかに高い程度であり、氷河時代にも今より 2 度ほど低い程度であったとする見解が通説になった。熱帯の気候の変化が小さくなる仕組みは謎である。高緯度地方に気候変化を引き起こす仕組みは、低緯度地域にもかなりの影響を及ぼすはずだ。古第三紀の初期に熱帯が今日より 2°C しか高温でな

かったとしたら、どうして両極地方が今日より 30°C 以上も高温になりうるのだろうか？

一方、気候モデル作成者たちは、熱帯以外の地方の気温を高くするためには、熱帯の気温が高く、温暖化の原因となる温室効果ガスの濃度も高い必要があると結論づけている。標準的な気候モデルと気象力学理論では、赤道から両極地方にかけての温度勾配を今日よりも大幅に小さくすることはできないからである⁹。もちろん、これらのモデルには重要な物理的過程が欠落している可能性もあるので、熱帯の気温を一定の範囲内に保つ「サーモスタット」の存在を核とする多くの仮説や新しい機構が提案されてきた^{10,11}。気候力学に新しいフィードバックを導入しようとするこれらの試みは多くの新しい道を見いだしたが、これまでのところ、どの道も行き止まりであった¹⁰。

熱帯のサーモスタットが存在するどうかは、3 つの理由から非常に重要である。第一に、北緯 30° から南緯 30° までの「広義の熱帯」は地球の表面積の半分近くを占めており、地球全体の過去の平均気温の変動や、この変数が温室効果ガス濃度などの要因に対してどのくらい敏感であるかを決定するうえで、非常に大きな役割を果たしている。第二に、熱帯地方は地球の生物多様性の大きな部分を支えているだけでなく、その気候は高緯度地方に比べて安定しており、動植物群の安全な避難所になってきたと考えられている。第三に、地球の大気 - 海洋循環は温度勾配によって駆動されており、熱帯の気温は全体の循環を支える要の役割を果たしている。

ここ数年、新しいプロキシ（古気候の指標）を利用した研究や、従来のプロキシを利用して保存状態のよい記録を測定する研究により¹²⁻¹⁴、熱帯の気温は以前の研究による推定値よりも高く、今日よりも 5 ~ 10°C は高かったと考えられる

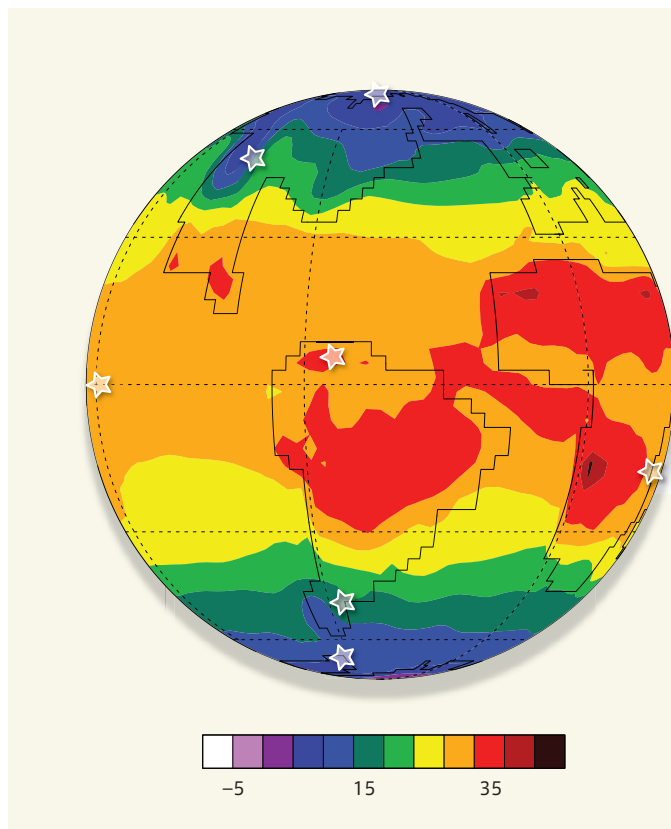


図1 約5800万年前の地球表面の年間平均温度のシミュレーション。星印は、Headらが南米コロンビアのセレホン累層で発見した化石⁶に近い年代の推定温度が得られている地点を示す。各地点では、シミュレーションから得られた気温はプロキシから推定された気温とよく一致しており、大気中の温室効果ガス濃度を適切に推定することができれば、現在のモデルを使って当時の気候をシミュレーションできることを示唆している。このシミュレーションは米国国立大気研究所コミュニティ気候システムモデル(バージョン3)を使って行われ、古第三紀の初期の数値を境界条件とし、大気中の二酸化炭素濃度は2240ppmとした。プロキシによる気温の推定は、参考文献3～6,12および14から引用した。浮遊性有孔虫に含まれる酸素同位体を利用して推定された海面温度のうち、参考文献12および13で報告されているものと同程度の保存状態が証明されていないものから得られたデータは、比較から除外した。

ようになってきた。以前の推定に系統的に低い値が出る傾向があったのかどうかについては、議論が続いている。一方で、熱帯の気候は変わっていないとする研究もある。これは、植物の葉の形を陸上の古気温のプロキシとするものであり、熱帯の気温が現代に近い値(24～26℃)であったとする説を裏づけている⁷。もちろん、この方法で推定された熱帯の気温も間違っている可能性がある。Headら⁶は、その可能性が高いことを示している。

Headらが南米コロンビアのセレホン累層から発見した6000万年から5800万年前の椎骨の化石は、8人の研究者により、これまでに発見されたヘビの中では最大の種であると推定された。このヘビの体長は13メートル、体重は1トン以上あったとみられているが、著者らの研究の最も興味深い点は、ヘビの大きさを年間平均気温の下限と関連づけたことにある。彼らがここで利用したのは、現存する生物の研究から経験的に知られている、気温と生物の体の大きさとの関係である。この推定法には、陸上に棲み、空気呼吸をする、大型の変温動物(外界の温度に応じて体温が変化する動物)の代謝についての生物物理学的な裏づけがある。基本的に、変温動物が生きていくためには代謝を最低限に保たなければ

ならない。そして、標準的な仮定に従ってこの代謝率が気温と比例すると考えるなら、大きな変温動物ほど温暖な環境で生きていたことになる。今日のヘビについては、この関係がよく当てはまっている。Headらは、今回発見された巨大なヘビは最低でも32～33℃の気温を必要としたと推定している。これは、同じ累層から発見された植物群から推定される気温よりも6～8℃も高く、今日の気温に比べて大幅に高い。

Headらによる気温の推定が正しいと仮定すると(これはかなり大胆な仮定である)、いくつかの重大な帰結が得られる。第一に、熱帯にはサーモスタットがないことになる。負のフィードバックが熱帯の温暖化を減速したり抑制したりする可能性はあるが、それは厳しい制限にはならず、サーモスタットの存在を予測する理論¹¹は妥当でないことになる。第二に、Headらがヘビの大きさから推定した古気温を高緯度のパタゴニアの古気温と比較すると、当時の温度勾配が現代の温度勾配とあまり違っていなかったことになり、気候モデルから得られた結果が裏づけられる。実際、当時の熱帯が今回の推定のとおり高温であったなら、現在の海洋-大気モデルの組み合わせにより当時の気温を再現できることになる⁶(図1)。

第三に、セレホン累層の動植物群は非常に高い順応性を持ち、今日のどの熱帯雨林よりも高温多湿であったと思われる環境で生きていたが、実際には限界に近い状態であった可能性がある。Head ら⁶が指摘するように、6000 万年前から 5800 万年前にかけての時期は、その後の時期よりも涼しく、もっと温暖だった古第三紀 - 始新世高温期（約 5500 万年前）には、陸上生物や海洋生物が暑さのために大量に死んでいた可能性がある¹⁴。最後に、複数のプロキシを利用するアプローチによる推定では^{6,12-14}、当時の地球の平均気温がこれまでの見積りに比べてはるかに高く、現代よりも少なくとも 10°C は高かったとされている。このことは、地球の平均気温が温室効果ガスの濃度に非常に影響されやすいか、温室効果ガスの濃度がその推定範囲の上限にあったことを意味している¹⁵。

これらの示唆は新しいタイプのプロキシを基礎にしている。Head らの知見はおそらくヘビを利用して古気温を測定する方法の最初の成果であり、慎重に評価する必要がある。体の大きさと気温との経験的な関係は、本当に一般化が可能で、正確なのだろうか？ これらの巨大なヘビの放熱能力には限界があり、Head らの外挿法に議論の余地を残している可能性はないだろうか？ わずか数個の椎骨からヘビの大き

さを正確に推定することが本当にできるのだろうか？ 温暖な時期はほかにもあったのに、同じように巨大なヘビが見つからないのはなぜなのだろうか？

今回の発見は、極端な温暖化に直面した熱帯生態系の順応性の高さを証明するものであるが、さらなる研究が必要であることは明らかだ。とはいえ当面は、温室効果により地球全体が温暖化している時期にも熱帯の気温はあまり上昇しない、と主張する人々の方に挙証責任があるだろう。■

Matthew Huber、パデュー大学（米）。

1. Markwick, P. J. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* **137**, 205-271 (1998).
2. Greenwood, D. R. & Wing, S. L. *Geology* **23**, 1044-1048 (1995).
3. Tripathi, A., Zachos, J., Marincovich, L. Jr & Bice, K. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* **170**, 101-113 (2001).
4. Wilf, P. *GSA Bull.* **112**, 292-307 (2000).
5. Poole, I., Cantrill, D. & Utescher, T. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* **222**, 95-121 (2005).
6. Head, J. J. *et al. Nature* **457**, 715-717 (2009).
7. Shackleton, N. & Boersma, A. J. *Geol. Soc.* **138**, 153-157 (1981).
8. Crowley, T. & Zachos, J. in *Warm Climates in Earth History* (eds Huber, B., MacLeod, K. & Wing, S.) 50-76 (Cambridge Univ. Press, 2000).
9. Huber, M. & Sloan, L. C. *Geophys. Res. Lett.* **28**, 3481-3484 (2001).
10. Pierrehumbert, R. T. J. *Atmos. Sci.* **52**, 1784-1806 (1995).
11. Lindzen, R. S., Chou, M. D. & Hou, A. Y. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **82**, 417-432 (2001).
12. Pearson, P. N. *et al. Geology* doi:10.1130/G23175A.1 (2007).
13. Norris, R. D., Bice, K. L., Magno, E. A. & Wilson, P. A. *Geology* **30**, 299-302 (2002).
14. Huber, M. *Science* **321**, 353-354 (2008).
15. Zachos, J. C., Dickens, G. R. & Zeebe, R. E. *Nature* **451**, 279-293 (2008).

Q&A

神経科学

Glia — more than just brain glue

グリア細胞は脳内で「^{にかわ}膠」の役目をしているだけではない

Nicola J. Allen & Ben A. Barres

Nature Vol.457(675-677)/5 February 2009

グリア細胞は脳内の細胞の大半を占めている。「膠（にかわ）」を意味する「glia」の名のとおり、その役割は構造支持という受動的なものだと最近まで考えられてきた。しかし現在、それ以外の機能も果たしていることがだんだんと明らかになってきている。グリア細胞は、神経回路の形成、作動や順応に大きく関与しているのである。

グリア細胞はニューロンとどう違う？

ニューロン（神経細胞）の一番の特徴は、電気的信号を活動電位（一過性の膜電位変化）の形ですばやく伝導することである。この特徴をもたない他の神経系細胞はすべて、グリア細胞（神経膠細胞）とよばれる広範な一群の細胞種

に分類される。ニューロンはネットワーク（回路）を構成し、シナプスという特殊化した細胞間接着部位を介して互いに情報をやりとりしている。ニューロンの情報伝達では、活動電位が、ニューロンの軸索突起の末端にあるシナプス前終末へ伝わる。こうして前終末が脱分極すると神経伝達物

質が放出され、別のニューロンのシナプス後膜にある受容体に結合する。それによって、この2番目のニューロンの脱分極が起こり、信号がさらに伝わっていく。グリア細胞は活動電位を生じないが、神経系全域においてニューロンの細胞体や軸索、シナプスの周囲を取り巻いたり鞘状に覆って巻きついたりしている。

グリア細胞はみな同じ？

答えは「いいえ」。グリア細胞は、形状や機能、神経系内の存在位置によって数種類に分けられる。例えば哺乳類では、ミクログリア（小膠細胞）、アストロサイト（星状膠細胞）、同様の機能をもつシュワン細胞とオリゴデンドロサイト（稀突起膠細胞）がある（図1）。

グリア細胞はどこから生じる？

グリア細胞とニューロンは発生上の起源がほぼ同じで、胚の神経外胚葉に由来する前駆細胞から生じる。ただしミクログリアは例外である。この細胞は免疫系に属し、個体発生の初期に血中から脳内へ入り込む。

グリア細胞の進化についてわかっていることは？

グリア細胞は進化の過程で高度に保存されており、これまで調べられたごく単純な無脊椎動物からヒトに至るほとんどの動物種に、何らかのグリア細胞が存在している。グリア細胞の存在比は動物の大きさと相関しているらしく、脳内のグリア細胞の比率はショウジョウバエで約25%、マウスで約65%、ヒトで約90%、ゾウでは約97%である。動物が進化するにつれて、グリア細胞は多様化し特殊化しただけでなく、必要不可欠なものとなり、グリア細胞がないとニューロンは生きていけなくなった。しかも、ヒトの脳皮質にあるアストロサイトは他の哺乳類のものに比べてはるかに複雑で、現在では情報処理に関与していると考えられている。

グリア細胞は何をしている？

答えは「いろいろ」。これまでは、グリア細胞はニューロンの「世話係」であって、ニューロンが適切に機能するよう保守しており、それ自体はやや受け身の役割を果たしていると考えられていた。既に確認されているグリア細胞の機能としては、神経伝達の支援、細胞外空間のイオンバランスの維持、電気的コミュニケーションの高速化のために軸索を覆って絶縁することなどがある。しかし新たな研究成果によって、発生期と成体期の両方で脳の機能や情報処理に積極的な役割を果たしており、とりわけアストロサイトでその役割がみられることがわかった。

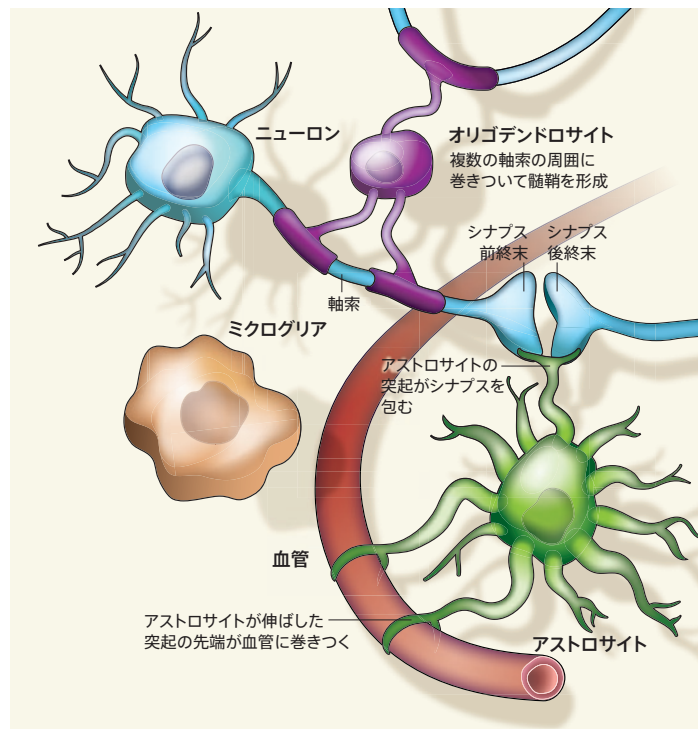


図1 グリア細胞とニューロンの相互作用。いくつかの種類のグリア細胞が、ニューロンや周囲の血管と相互作用している。オリゴデンドロサイトは軸索に巻きついて髄鞘を形成し、ニューロンの信号伝達を高速化している。アストロサイトは突起を伸ばし、血管やシナプスを鞘状に取り巻いている。ミクログリアは脳に損傷や感染がないか監視している。

ミクログリアの特異的な機能とは？

神経系に定着した免疫細胞であるミクログリアは、損傷や感染がないか脳を探索して、死んだ細胞やその断片を飲み込んでいる。ミクログリアは、食作用の過程を介して不適切なシナプス結合を除去することで、神経系の発生時に起こるシナプス再構築にも関係していると考えられている。また、ミクログリアはさまざまな神経変性疾患において活性化がみられるが、病態の治癒にプラスに働いているのかマイナスに働いているのかは、まだ議論がかわされている段階である。

オリゴデンドロサイトとシュワン細胞は何をしている？

脊椎動物では、これらの細胞はニューロンとその標的となる細胞との迅速な電気的コミュニケーションに不可欠である。オリゴデンドロサイト（中枢神経系にある）やシュワン細胞（末梢神経系にある）は、髄鞘（またはミエリン鞘）とよばれる脂質に富んだ膜を作り出し、これが軸索を覆う

ように巻きついて、電氣的インパルス（活動電位）の伝導を高速化させている。髄鞘がなければ活動電位の伝導速度は軸索の直径に正比例する。その場合、神経軸索の太さと伝導速度との兼ね合いから、動物の最終的な体のサイズが制限されることになる。髄鞘が進化したことで、動物の体が大きくなっても、それに合わせて神経軸索の直径を太くせずに、速い思考や動作を行うことが可能になった。そのうえ、髄鞘形成によってイオンチャネルのクラスター化が誘導され、それによってさらに伝導速度が上昇する。オリゴデンドロサイトやシュワン細胞が損傷することで起こる「脱髄」は、多発性硬化症や遺伝性感覚運動ニューロパチーといったさまざまな疾患につながる。

では、アストロサイトは何をしている？

一言でいうと、アストロサイトは、ニューロンが機能できるようにしている（図2）。この細胞は、ニューロンに神経伝達用のエネルギーや物質を提供することで、脳内の恒常性維持に貢献している。アストロサイトは、隣接するニューロンのシナプス結合間の物理的障壁として働いており、また、細胞外空間から余分な神経伝達物質分子を取り除いて、シナプス信号のコード化と神経伝達を個別に正確に行えるようにしている。最近、アストロサイトに予想外の役割があることがわかった。どうやら、シナプスの形成や、ニューロンと双方向性コミュニケーションを行って、シナプス機能の調整に関与しているらしいのである。そこで、この「現在最もホットな」種類のグリア細胞に関する Q&A を以下にいくつか記した。

アストロサイトは脳内の恒常性維持にどう関与している？

アストロサイトは、血管ともニューロンとも密接に結合している多数の微細な突起をもち、これらを介して血流を制御している。アストロサイトは、ニューロンの活動亢進を受けて、血流量の局所的増加が必要だという合図を血管に伝える。その結果、活動している脳領域への酸素やグルコースの供給量が増えるのだ。機能的磁気共鳴画像法（fMRI）を用いた脳機能研究は、こうした血流量変化の解析による。アストロサイトは、血流量の制御に加えて、血中からニューロンへのグルコースや酸素の搬入も行っており、アストロサイトがグルコースを乳酸へ変換しているという説さえも出されている。乳酸がニューロンへ運ばれ、そこでピルビン酸に変換されて、エネルギー通貨分子である ATP（アデノシン三リン酸）が生成するのだ。そのほかアストロサイトは、ニューロンが分泌する神経伝達物質の作用終結にも関与しており、また、グルタミン酸-グルタミンサイクルとして知られる過程

を通じて、ニューロンへの神経伝達物質のリサイクルにもかかわっている。

アストロサイトはすべて同じか？

答えは「ノー」。アストロサイトは大きく2群に分けられる。脳の灰白質にある原形質型アストロサイトと、白質にある繊維型アストロサイトである。原形質型アストロサイトはニューロンの細胞体とシナプスに密接に関連しているが、繊維型アストロサイトはニューロンの軸索と関連していると考えられる。しかも、原形質型アストロサイトは灰白質の場所によってタイプが異なっており、おそらく1つの脳領域内であっても隣接するアストロサイトのタイプは異なっていると考えられる。これは驚くことでもない。というのも、異なる機能を果たそうとするなら、特異的な脳領域に適応しなければならないからだ。アストロサイトのさまざまなタイプの機能的な違いは、正確にはまだよくわかっていない。

アストロサイトは互いに連絡し合っている？

答えは「そのとおり」。アストロサイトは、カルシウムイオンの「波」とよばれる濃度変化を介してお互いに連絡を取り合い、かなりの距離にわたって情報を伝播する。1個のアス

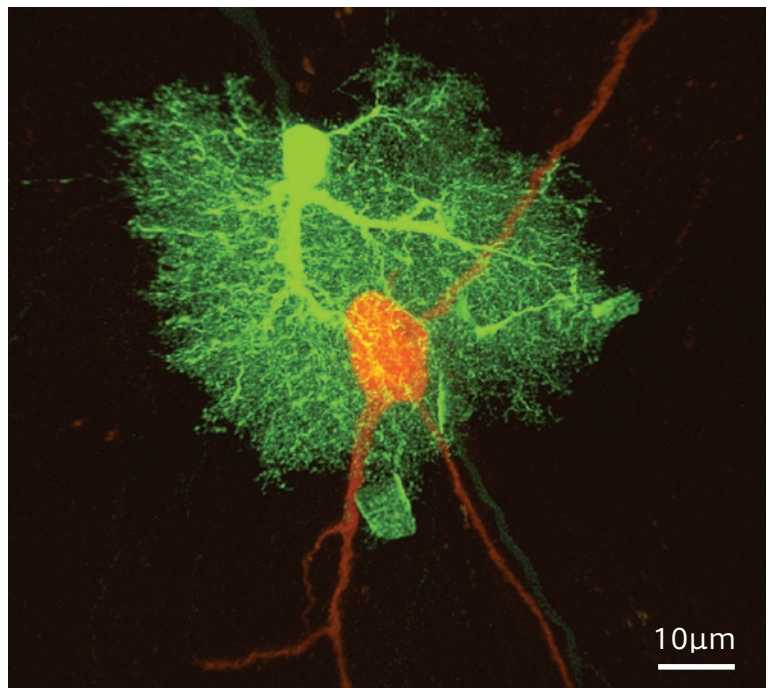


図2 活動状態のアストロサイト。1個のニューロン（赤色）の細胞体と、複数の突起を覆っている原形質型アストロサイト（緑色）の電子顕微鏡画像。このように、アストロサイトはモジャモジャした姿をしており、そのため、脳内でアストロサイト領域を作り出すことができる。（画像提供：カリフォルニア大学サンディエゴ校、M.Ellisman & E.Bushong）

トロサイトが刺激されると、近隣の少数のアストロサイトにカルシウム応答が引き起こされるが、それ以外のアストロサイト集団は応答しないことから、アストロサイトのネットワークはモザイク状に組織化されていることがうかがわれる。成体の脳では、アストロサイト1個ずつがそれぞれ別個の小領域を占めており、近隣にあるアストロサイトどうしで突起が重なり合うことはないが、細胞体にあるギャップ結合とよばれる構造によって互いにつながっている。

アストロサイトはニューロンとも連絡し合っている？

ニューロンとアストロサイトの間では、実際に双方向性のコミュニケーションが行われている。個々のアストロサイトは、さまざまなニューロンの間に形成された数千ものシナプスと接触して包み込むことができる。これは、シナプスがニューロンのシナプス前細胞膜とシナプス後細胞膜だけからなっているのではなく、多くの場合、シナプスを包み込むアストロサイトの突起もそこに加わっていることを意味する。このように3つが空間的に近い関係にあることから、アストロサイトの関与を考慮した三者間シナプス (tripartite synapse) という言葉も用いられている (図3)。アストロサイトがシナプスに局在するということは、アストロサイトがシナプスの活動をモニターして、それに応答するために理想的な位置にあるということの意味する。しかも、アストロサイトはニューロンにあるものと同じ神経伝達物質受容体を多数備えており、ニューロンが神経伝達物質を放出すると、アストロサイトでのカルシウムによる情報伝達カスケードが活性化される。これに続いてアストロサイトは神経活性物質を放出し、ニューロンへ情報伝達を返してフィードバックループを形成する。アストロサイトが分泌する各種の分子は、ニューロンの活性レベル全体を抑制したり増強したりできる。

どの種類のグリア細胞も、ニューロンからの入力を直接受け取っているのか？

おそらく受け取っている。プロテオグリカン NG2 を発現する細胞は、オリゴデンドロサイトの前駆細胞だと考えられている。こうした細胞はニューロンからのシナプス信号を直接受け取っていて、その一部は、信号受信に応答して活動電位に似た信号さえ発していることが明らかになっている。この神経支配の意味するところはよくわかっていない。これは、NG2 発現細胞がオリゴデンドロサイトになるのを決定するのに影響しているのだろうか、それともニューロン分化にさえ影響を及ぼしているのだろうか。また、特異的な神経ネットワークへ NG2 細胞を動員することもあるのだろうか。

胚発生中の脳でのグリア細胞の役割は？

一部のグリア細胞はニューロンを生み出し、その他のグリア細胞はニューロンを神経系の正しい位置に導く。そのため、グリア細胞は脳の発生に必須の存在である。胚発生の最中には、放射状グリア細胞とよばれる特殊化なグリア細胞が分裂して、神経前駆細胞を作る。さらに、放射状グリア細胞の長い突起は脳皮質まで伸び、新生ニューロンはそれをたどって移動し、適正な場所まで行き着く。すべてのニューロンが所定の位置におさまると、放射状グリア細胞は突起が退縮して、皮質アストロサイトとなる。グリア細胞は、ニューロンを正しい場所まで誘導するだけでなく、軸索が成長する際の足場にもなっている。グリア細胞は、軸索にある受容体との誘引性および反発性の2つの相互作用によって、この軸索経路探索の機能を果たしている。

グリア細胞は神経ネットワークの形成にどのように関与しているのか？

グリア細胞は、シナプス形成やおそらくシナプス除去を支援することで、神経ネットワーク形成に寄与している。例えばアストロサイトは、ニューロンとの直接的な接触や、シナプス前およびシナプス後の機能に加えてシナプス形成も制御する因子類の分泌によって、数種類のニューロンにシナプス形成を誘導する。しかし、こうした働きはアストロサイトに限ったものではない。オリゴデンドロサイトとシュワン細胞も、ニューロン間のシナプス形成を誘導する。こうしたグリア細胞からの信号がどのように働いているのかは、まだ明らかになっていない。グリア細胞は、ニューロンによってあらかじめ定められた部位に、シナプス形成が許されるような環境を提供するのだろうか。それとも、ニューロンに対して、シナプスを形成すべき場所を能動的に指示しているのだろうか。既に取り上げたように、ミクログリアは、不適切なシナプス結合の除去と、それによるニューロンネットワークの細かい「仕上げ」に関係しているとみられている。

グリア細胞は疾患にかかわっているのか？

グリア細胞は、神経系の疾患に有益な場合もあれば有害な場合もある。また、グリア細胞の機能異常は、多くの神経系疾患に関係しているとみられている。例えば、脊髄を損傷すると、アストロサイトがグリア性瘢痕を形成し、これが障壁となって、損傷した軸索の再生が妨げられてしまう。また、神経変性疾患である筋萎縮性側索硬化症では、アストロサイトが、筋肉の働きに関与する運動ニューロンを殺傷する毒性因子を分泌している。しかもときに、アストロサイトはがん化して、グリオーマとよばれる脳腫瘍を発生させることもある。

また、既に述べたように、オリゴデンドロサイトは多発性硬化症で自己免疫の攻撃標的となり、脱髄が引き起こされる。意外なことに、臨床的うつ病でオリゴデンドロサイトや髄鞘がひどく減少することが報告されている。

グリア細胞の研究ではどんな実験モデルが使われている？

神経系機能におけるグリア細胞の役割は、調べることがむずかしい。なぜなら、ほとんどの動物で、グリア細胞はニューロンの生存に不可欠であるため、これを除去するとニューロンも死んでしまうからである。したがって、グリア細胞に関する情報の多くは、哺乳類個体から単離して、体外条件下で培養維持されているグリア細胞を調べて得られたものである。こうした解析結果は有用であり、グリア細胞の基本的な特性についていろいろ知ることができるが、他の細胞種との相互作用についてまではわからない。最近、哺乳類の脳切片を用いた電気生理学研究やカルシウムイメージング研究によって、グリア細胞とニューロンの相互作用や、ニューロンネットワークの活動におけるグリア細胞の役割についての知見が得られるようになった。また、生体条件下での二光子顕微鏡法といった生体イメージング技術の進歩に伴って、動物生体でのグリア細胞の活動や血流との相関性、挙動などを観察できるようになった。線虫やショウジョウバエ、魚類など小型モデル動物を使った研究で、遺伝子操作によって神経系機能におけるグリア細胞の役割を解明できるようになったことも大きい。

グリア細胞についてまだ解明すべきものはある？

答えは「まだまだたくさんある！」。グリア細胞への関心が近年再び高まって、神経系での思いがけない役割が次々と発見されたが、まだまだ氷山の一角にすぎず、未解決の問題はたつぷりとある。グリア細胞は、ニューロンネットワークの形成や機能遂行にいったいどんな関与をしているのだろうか。グリア細胞は、ニューロンの支持や相互作用以外に、何か不可欠な働きをしているのだろうか。アストロサイトのネットワークは、どの程度のものなのだろうか。これらのネットワークはどのくらい重要なのか、そしてニューロンがなくても情報を処理できるのだろうか。グリア細胞は疾患にどのように関与し、また治療薬の標的にもなりうるのだろうか。

関心が再び高まったのはなぜ？

歴史的にみて、グリア細胞の研究はあまり行われてこなかった。それは、「神経科学」という分野の名称から推察されるように、脳では「ニューロンが中心的役割を果たす」とみなしてきたからである。幸いなことに現在では、神経系におけ

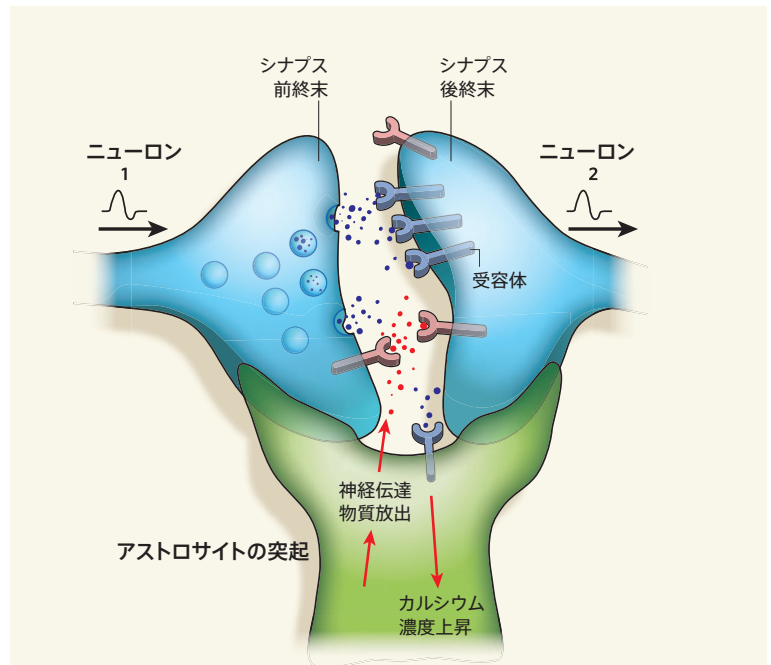


図3 三者間シナプス。アストロサイトはニューロンと同じ受容体を多数発現する。ニューロンのシナプス前終末から神経伝達物質が放出されると、アストロサイトの受容体も活性化されて内部のカルシウムイオンが増加し、ATPなど多様な活性物質が放出され、ニューロンに作用して神経活動を抑制もしくは亢進させるのだと考えられている。アストロサイトは、シナプス形成を制御するタンパク質や、シナプス前機能を制御するタンパク質、シナプス後ニューロンの神経伝達物質に対する応答を調節するタンパク質も放出する。

るニューロン以外の細胞種の重要性や、ニューロンとそれらの細胞種との共生的関係もしだいに正しく認識されるようになり、どれか1つの細胞種が他の細胞種よりも重要だとする見方はなくなった。これらのすべての細胞種が共同でどのように働いているかを調べることで、神経系の形成や、機能、順応、修復について理解をもっと深めることができるだろう。

Nicola J. Allen & Ben A. Barres, スタンフォード大学医学系大学院 (米)。

さらに深く読みたい方へ

- Allen, N. J. & Barres, B. A. Signaling between glia and neurons: focus on synaptic plasticity. *Curr. Opin. Neurobiol.* **15**, 542-548 (2005).
- Barres, B. A. The mystery and magic of glia: a perspective on their roles in health and disease. *Neuron* **60**, 430-440 (2008).
- Freeman, M. R. & Doherty, J. Glial cell biology in Drosophila and vertebrates. *Trends Neurosci.* **29**, 82-90 (2006).
- Haydon, P. G. & Carmignoto, G. Astrocyte control of synaptic transmission and neurovascular coupling. *Physiol. Rev.* **86**, 1009-1031 (2006).
- Kettenmann, H. & Ransom, B. R. (eds) *Neuroglia* 2nd edn (Oxford Univ. Press, 2005).
- Nave, K.-A. & Trapp, B. D. Axon-glial signaling and the glial support of axon function. *Annu. Rev. Neurosci.* **31**, 535-561 (2008).
- Wang, D. D. & Bordey, A. The astrocyte odyssey. *Prog. Neurobiol.* **86**, 342-367 (2008).

ティコ・ブラーエ観測の超新星が Ia 型であることを確認!

野本 憲一

デンマークの天文学者ティコ・ブラーエが 1572 年に観測した超新星爆発の光が、宇宙空間に漂うちりに反射し「光のこだま」となって地球に届いていることを、国立天文台、東京大学数物連携宇宙研究機構（IPMU）などの研究チームが確認した。同天文台のすばる望遠鏡による分光観測で、超新星爆発は標準的な「Ia 型」であることも判明、*Nature* 2008 年 12 月 4 日号¹に発表された。宇宙の構造解明につながる成果で、研究の意義などについて IPMU の野本憲一特任教授に聞いた。

4 世紀の時を越えて、光のこだまを捕らえた

Nature Digest — 436 年前の光を観測するとは興味深いですね。

野本 — ティコ・ブラーエはすぐれた視力の持ち主として知られ、望遠鏡のない時代、肉眼で観察した太陽、月、惑星の動きに関する詳細な記録を残しています。特に火星の膨大な観測記録は、弟子のヨハネス・ケプラーが天動説から地動説へと宇宙観を大転換させる法則を発見するのに役立ちました。そのブラーエは 1572 年 11 月 11 日、金星より明るい星をカシオペア座に見つけました。正確に星の位置を記憶する能力に長けていたブラーエは、それが明るさや色が変わっている新星であることにすぐに気づき、見えなくなる 1574 年 3 月まで明るさ（相対等級）と色を正確に記録し続けました。「宇宙は変わることはない」とする、アリストテレス以来の宇

宙観の変革を迫る画期的な出来事でした。その後、短期間だけが明るく輝く星はほかにも見つかり、1934 年にカリフォルニア工科大学のフリッツ・ツヴィッキーは、そうした星を「超新星」と命名。ブラーエの見つけた星も「ティコの超新星」(SN1572) (図 1) とよばれるようになりました。今世紀に入ると、X 線観測によって超新星残骸の元素組成がわかり、ハッブル宇宙望遠鏡によって伴星（連星の暗いほうの星）が発見された²ことから、「Ia 型」超新星爆発ではないかと推測されました。これを確かめるには、可視光の分光（スペクトル）観測を行う必要がありました。

ND — そこで光のこだま観測が行われたわけですね。

野本 — 超新星爆発は、星が寿命を終えるときに起こす大爆発です。夜空に突然、明るく輝き、やがて消える運命にあります。爆発の瞬間、光は四方八方に放射されます。ブラーエは直接、地球に向かった明るい輝きを観測しましたが、周りの宇宙空間に漂う高密度のちりに反射して、遅れて地球に到着する光もあります。これが光のこだまで、山に向かって大声を出すと、返ってくるこだまの原理と同じです。光のこだまを使って時間を巻き戻すというアイデアはツヴィッキーらが提唱したもので、過去の謎を解くのに役立ちます。ただ、観測はとてもむずかしいのです。例えば、ノーベル物理学賞を受賞した小柴昌俊東京大学名誉教授が、1987 年にニュートリノを捕らえた超新星爆発「SN1987A」でも、リング状のこだまの光が発見されましたが、暗くて可視光の分光まではとても困難な状況でした。

すばる望遠鏡の分光観測が威力を発揮

ND — その困難を克服した秘訣は、何だったのでしょうか？

野本 — ひと言でいえば、国際的な連携の成果です。国立天文台とドイツのグループは 2007 年の観測で、超新星残骸「カシオペア A」のもとになった超新星の正体を、今回と同様に光のこだまで分析し、質量が太陽の 10 倍を超す赤色超巨星で、爆発後にすぐ暗くなる「II b 型」であることを突き止めました³。地球からの距離は約 1 万光年、爆発の光が直接、地球に到達したのは 1680 年ごろとみられます。今回も「こだま」の候補を手探りで観測することから始めました。暗い光を捕らえるには定期的な観測データの蓄積が重要です。



図 1 ティコの超新星残骸のカラー合成図。青、緑、黄色は、チャンドラ X 線天文衛星 (NASA) が撮影した X 線画像で、青は高エネルギー、緑は中間エネルギー、黄色は低エネルギーの X 線の分布を示す。赤はスピッツァー宇宙望遠鏡 (NASA) の赤外線画像。これにカラル・アルト反射望遠鏡で観測された近赤外線画像を重ねて表示してある。直径の大きさは約 25 光年。

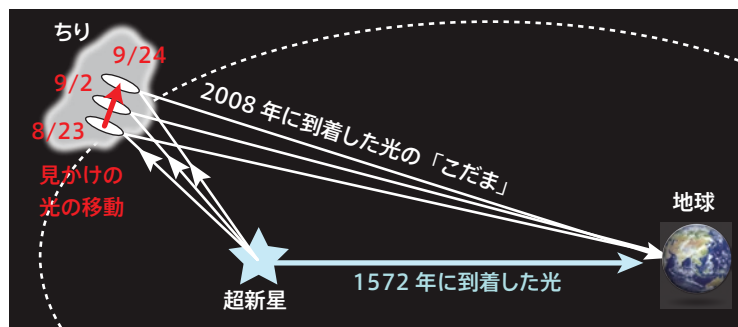
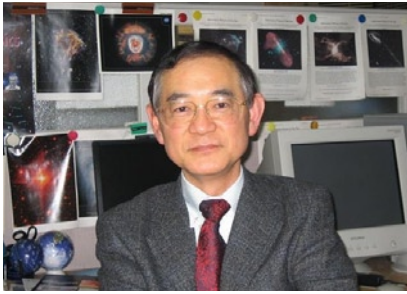


図 2 ティコの超新星からの光が地球に届く模式図。超新星爆発で放射された光が、1572 年に、最初に地球に到着（水色の矢印）。超新星の周囲にあるちりによって反射された光が、436 年の年月を経て地球に届いた（白色の矢印）。淡い光の位置が見かけ上移動していることから、可視光の「こだま」であることが判明した。



野本憲一（のもと・けんいち）/ 東京大学 数物連携宇宙研究機構 (IPMU) 特任教授 主任研究員。理学博士。1946 年、東京都生まれ。1969 年、東京大学理学部天文学科卒業後、1974 年、同大学大学院理学系研究科博士課程修了。1976 年、茨城大学理学部物理学科助手。1982 年、東京大学教養学部基礎科学科助手を経て、1985 年、同大学教養学部宇宙地球科学助教授。1989 年、同大学理学部天文学科助教授。1993 年、同大学大学院理学系研究科天文学専攻教授。2008 年 4 月より現職。この間、NASA ゴダード宇宙飛行センター、マックスプランク天体物理研究所の研究員も務める。

1989 年、仁科記念賞、1995 年、日本学士院賞を受賞。

専門は恒星進化論、特に超新星爆発と元素の起源の研究の第一人者。1987 年、銀河系の隣の大マゼラン星雲で超新星が、「青色超巨星」が爆発したのだという説を、1998 年には、ガンマ線バーストに付随して発見された超新星が、通常の超新星の数十倍の爆発エネルギーをもつ巨大な爆発であることを発見し、「極超新星（ハイパーノバ）」と命名して *Nature* に発表した。趣味は古典芸能鑑賞。

2008 年夏に、ドイツのマックスプランク天文学研究所がスペインに持つカルル・アルト反射望遠鏡（口径 2.2m と 3.5m）を使って、過去に「こだま」の報告のあった領域（方向）を中心に観測しました。その結果、8 月 23 日に可視光で 23.6 等級の非常に淡い光が映っていることがわかりました（図 2）。

ND — この、こだま候補を分光観測するわけですね。

野本 — はい。そのための強力なツールとなったのが、ハワイにある国立天文台のすばる望遠鏡（口径 8.2m）と FOCAS（微光天体分光撮像装置）です。9 月 24 日から 4 日間、急遽、観測日程に組み込んでもらい、その 23.5 等級の光を集中観測しました。分光スペクトルの結果は驚くものでした。光を波長ごとに分解するのですが、水素原子、ヘリウム原子のスペクトル線が欠落し、電離したケイ素と鉄の強い吸収線が出ていました。まさに「Ia 型」の超新星に特徴的なスペクトルだったのです。こんなにきれいに一致するとは思っていませんでしたので、感激しました。これは、この光が超新星爆発で生まれたものであること、ティコ・ブラーエがヨーロッパで 1572 年に観測した超新星爆発の光と同じ光を捕らえることに成功したことを意味します。Ia 型を細かく見ると 3 種類ありますが、ティコの超新星は過去の超新星の観測データとの比較で、標準的な光度を示す超新星爆発であったことがわかりました。

超新星爆発のメカニズム解明に期待

ND — 今回の成果の意義を教えてください。

野本 — Ia 型の超新星は宇宙で最も明るく、遠くは 100 億光年の彼方から届く強烈な光です。爆発本来の明るさは、ほぼ同じであるという性質から、その見かけの明るさから距離が計算できるので、宇宙論における重要な役割を果たしてきました。これが宇宙は加速膨張しているという発見につながり⁴、さらにダークエネルギーの存在を明らかにしました。遠くの宇宙の超新星の見かけの明るさは一様に暗くなると考えられていましたが、実際は、その光度は遠くなればなるほど予想以上に暗いことがわかりました。これは膨張を加速させる謎の力が働いているためと考えられるようになりました。この力がダークエネルギーです。ティコの超新星は、地球からの距離は約 1 万 2000 光年。銀河系内に存在すると考えられ⁵、地球から最も近い Ia 型の超新星です。Ia 型の超新星

爆発は、主星（明るい星）と伴星の連星となっている白色矮星が、相手の星から降り積もったガスの重みで圧縮され、暴走的に核融合反応を起こす現象です。我々の周囲に存在する重元素の重要な製造源の 1 つとなりますが、実際の爆発はどのように起こるのか、ガスの降着は伴星から生じるのか、2 つの白色矮星の合体で起こるのかなど、興味の尽きない未解決な問題がたくさん残っています。今後、異なる方向の光のこだまを観測することにより、銀河系外の超新星爆発ではできなかった、爆発の三次元構造を調べることができるようになるため、超新星爆発のメカニズム解明がいつそう進むと思われます。

ND — 宇宙分野の研究に進もうと思ったきっかけは？

野本 — 物理学だけでなく歴史科学が好きだったので、宇宙の歴史とか進化に興味を持っていました。高校生のときに聞いた研究者の講演もたいへん魅力的で、天文学に進むのは自然な成り行きでした。当初は、星の進化、爆発などに興味があり、コンピュータ・シミュレーションが専門の理論屋だったのです。日本は 1987 年の超新星以来、超新星のニュートリノや X 線による観測では世界をリードしていましたが、それ以外の観測は海外の望遠鏡に頼らざるを得ませんでした。転機は、2000 年から本格観測が始まった可視光のすばる望遠鏡の登場です。これによって理論と観測が一体となった最先端研究ができるようになり、観測にも取り組むようになりました。超新星は、日本が観測でも理論でも世界をリードできる分野となったのです。

ND — 若い研究者へのメッセージをお願いします。

野本 — 宇宙は、ダークマターやダークエネルギーなど正体不明の謎がいっぱいです。それらを解明することは刺激の連続で、新しい知見にあふれています。若い人には理論、観測にこだわらず、フロンティアをどんどん広げてほしい。それには、海外に羽ばたき、多くの研究者と議論することが重要です。多くの人とつながりを大切にしてほしいですね。

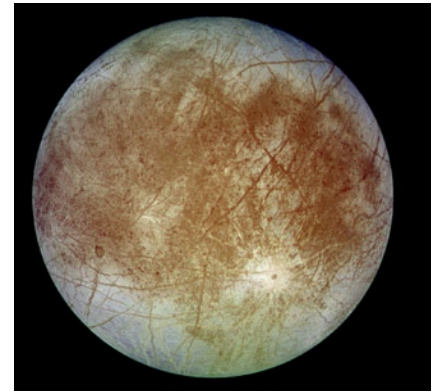
ND — ありがとうございます。

聞き手は、長谷川聖治（読売新聞科学部記者）。

1. Oliver K. et al. *Nature* **456**, 617-619 (2008).
2. Ruiz-Lapuente PE. et al. *Nature* **431**, 1069-10721 (2004).
3. Oliver K. et al. *Science* **320**, 11950-1197 (2008).
4. Rie A. et al. *Astron J.* **116**, 1009-1038 (1998).
5. Badde W. et al. *Astrophys J.* **102**, 309-317 (1945).

日本人初の宇宙長期滞在に挑んでいる若田光一さんは、先月から約 3 か月半の予定で、国際宇宙ステーション (ISS) に滞在しています。ISS は肉眼でも確認できるので、空を見上げてみるよい機会かもしれません。

今回は、欧米の宇宙機関が次の惑星探査ミッションの第一候補として、木星の衛星を選んだことを報じたニュース記事を取り上げます。木星の衛星が「当選」するうえで、かぎとなった点に注意して、読んでみましょう。



木星の衛星エウロパ。

NASA/JPL/DLR

NEWS nature news

語数：398 words 分野：宇宙

Published online 18 February 2009 | Nature | doi:10.1038/news.2009.109; Corrected online: 24 February 2009
http://www.nature.com/news/2009/090218/full/news.2009.109.html

Europa wins next big planetary mission

Space agencies target Jupiter system for orbiters that will launch in 2020.

Roberta Kwok

1. NASA and the **European Space Agency (ESA)** have chosen Jupiter's **moons** as the destination for their upcoming joint **outer planet flagship mission**. A trip to Saturn's moon **Titan** needs further study, the agencies decided.
2. The Europa Jupiter System Mission will launch two orbiters, one built by NASA and the other by the ESA, in 2020, with a scheduled arrival time in the Jupiter system of 2026. The NASA orbiter will study the icy shell of Jupiter's moon Europa, which may **harbour an ocean capable of supporting life**. The ESA orbiter will investigate **Ganymede**, the largest moon in the solar system, which has a unique magnetic field.
3. "I'm thrilled", says Robert Pappalardo, a planetary scientist at the Jet Propulsion Laboratory in Pasadena, California, who has worked on Europa mission studies for more than a decade. "We've been working long and hard on this. It's the right place to go to understand the **potential habitability** of **icy satellites**."
4. Although the Europa mission **was deemed** more technically ready, NASA and the ESA did not **close the door on** a Titan mission. "Titan will not be forgotten", says Jim Green, director of the planetary science division at NASA headquarters in Washington DC. The Titan studies will provide "very important" input to an upcoming ranking of potential planetary missions, he says.
5. The Europa mission will help scientists investigate the emergence of habitable worlds around **gas giants**, says Curt Niebur, a programme scientist for outer planets research at NASA. A Titan mission would have sent **a lander and a balloon** to explore the moon's **organic chemistry**, which may be similar to that of the early Earth.
6. Jonathan Lunine, a planetary scientist at the University of Arizona in Tucson who supported the Titan mission, says the decision is not entirely surprising. The Europa mission was given top priority in a 2002 community survey of solar system exploration. "To imagine that it would **turn the decadal survey process upside down** was unrealistic", he says. Lunine says the real question is when the postponed Titan mission might occur, **an issue left open** by NASA. "I'd like to see Titan again before I die", he says.
7. The NASA portion of the Jupiter mission will cost at least \$2.5 to \$3 billion, says Green. The European portion of the mission, called Laplace, still needs to compete with two other missions to **secure a slot within** ESA's Cosmic Vision programme.

TOPICS

エウロパ (Europa) とは?

木星の衛星のうち、ガリレオ・ガリレイによって1610年に発見された4つの衛星(ガリレオ衛星)の1つ。木星から近い順に、イオ、エウロパ、ガニメデ、カリストと名づけられた。エウロパの大きさは月よりわずかに小さく、密度も月よりやや小さい。自転と公転はともに3.55日で、地球の月のようにいつも同じ面を木星に向けている。大気は非常に希薄で、酸素のみからなる。鉄の核、岩石のマントルをもつと考えられ、表面は厚い氷で覆われている(表面温度は-170℃)。表面にクレーターは少ないが、ひび割れのようなものがみられる。エウロパの軌道は円に近い楕円形であり、そのために生じる木星による強い潮汐力により、氷の層の下部に熱が発生し、氷が溶けて液体になっているのではないかと考えられている。近年、NASAの木星探査機ガリレオによる調査から、氷の下に水を含んだ炭酸カルシウムや硫酸マグネシウムなどの塩類があることや、磁場の変化から電気伝導性物質が大量に存在していることがわかり、液体の「海」が存在する可能性がさらに高まっている。その海底で、地球と同じような火山活動や熱水噴出が起こってれば、生命が存在するかもしれない。



木星(右上)と4つのガリレオ衛星。衛星はそれぞれ、イオ(左上)、エウロパ(中央)、ガニメデ(左下)、カリスト(右下)。

SCIENCE KEY WORDS

リード **Jupiter system: 木星系**

木星とその環、衛星群をまとめた総称。木星は、太陽系で最も大きなガス型惑星(下記参照)。構成成分の約86%を水素が占め、約14%がヘリウム、それ以外に極微量のメタン、水、アンモニア、ホスフィン、ゲルマニウムなどが含まれる。地球と比較して、直径は11倍、質量は318倍、体積は1300倍。公転は12年だが、自転は約10時間とかなり高速である。2008年7月末現在、衛星の数は63個、環は3本。

リード **orbiter(s): 軌道周回船、軌道周回探査機**

恒星、惑星、衛星など、いわゆる「星」の探査において、対象となる星の周りを回りながら、探査を行う宇宙探査機や宇宙船。

1. **European Space Agency (ESA) : 欧州宇宙機関**

オーストリア、ベルギー、チェコ、デンマーク、フィンランド、フランス、ドイツ、ギリシャ、アイルランド、イタリア、ルクセンブルク、オランダ、ノルウェー、ポルトガル、スペイン、スウェーデン、スイス、英国が参加している、国際宇宙開発研究機関。本部はパリ。火星探査や、国際宇宙ステーションへの実験棟(コロンパス)提供、太陽系外惑星探査などを行っている。また、人工衛星打ち上げロケット「アリアン」を有し、世界各国の民間衛星の商用打ち上げを行っている。

1. **outer planet: 外惑星**

太陽系で、小惑星帯より太陽から遠い惑星のこと。木星、土星、天王星、海王星がそれに当たる。地球より太陽から遠い惑星(火星、木星、土星、天王星、海王星)も外惑星というが、これに対応する英語は superior planet である。

1. **Titan: タイタン**

土星系で最も大きい衛星。水星より大きく、ガニメデ(下記参照)より小さい。太陽系の衛星で唯一、大量の大気(窒素95%、メタン3%、水素2%、微量のアルゴン)をもち、地表で地球の1.6倍の気圧がある。内部は、岩石の核と氷の地殻で構成されている。表面温度は-179℃、メタンの雨が降り、地表にはメタンの海や湖が存在していると思われる。

2. **Ganymede: ガニメデ**

木星のガリレオ衛星の1つ。半径は地球の半分よりやや小さいが、水星よりやや大きく、太陽系で最も大きい衛星である。表面は、クレーターの多い暗い領域と、クレーターが少なく溝や山脈がある明るい領域に分けられる。重力場の測定結果から、その内部は、岩石(鉄を含む?)の核、氷/水とケイ酸塩からなるマントル、薄い氷の地殻からなっていると考えられる。

3. **icy satellite(s): 氷衛星**

氷と岩石、あるいは氷のみでできている衛星。太陽系で最も一般的な衛星の形態。

5. **gas giant(s): 巨大ガス型惑星**

構成成分が水素やヘリウムなどのガスでできている惑星をガス型惑星といい、このうち、木星や土星のように巨大なものを特に巨大ガス型惑星、あるいは木星型惑星という。一般に、密度が低く、自転が速い。また、環と多くの衛星をもつ。天王星や海王星もガス型惑星であるが、木星や土星に比べメタンや水の含有量が高く、木星型惑星とは区別されることも多い。

WORDS AND PHRASES

1. **moon(s): 「衛星」**

「惑星や準惑星、太陽系小天体の周囲を公転する天然の天体」(natural satellite)のこと。固有名詞 Moon は地球の衛星である月を指す。

1. **flagship mission: 「最重要ミッション」**2. **harbour an ocean capable of supporting life: 「生物の生存を支える海洋が隠れている」**

harbour は、名詞では「港(湾)」「入り江」という意味だが、動詞では「隠れ場所を提供する」「かくまう」という意味。support life は「生命を維持する」「生命を支える」という意味。

3. **potential habitability: 「居住可能性」**

生命が発生し、発生した生命が維持される可能性。

4. **(be) deemed ~: 「～と考えられる」「～とみなされる」**4. **close the door on ~: 「～への道を閉ざす」**
 もともと「扉を閉める」ことだが、ここは比喩的な表現のほうが適切。5. **a lander and a balloon: 「着陸船と観測気球」**5. **organic chemistry: 「有機化学的特性」**

organic chemistry は「有機化学」という研究分野の名前だが、この例のように、「～的特性」「～的性質」とすべき場合もある。

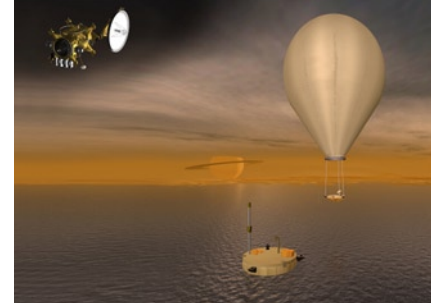
6. **turn ~ upside down: 「～を覆す」「～をひっくり返す」**6. **an issue left open: 「棚上げにされた問題」**7. **secure a slot within ~: 「～における枠を確保する」**

参考訳

次の大規模な惑星探査ミッションの 目標はエウロパに決定

(欧米の) 宇宙機関が、2020 年に打ち上げ予定の軌道周回探査機の探査目標を木星系に定めた。

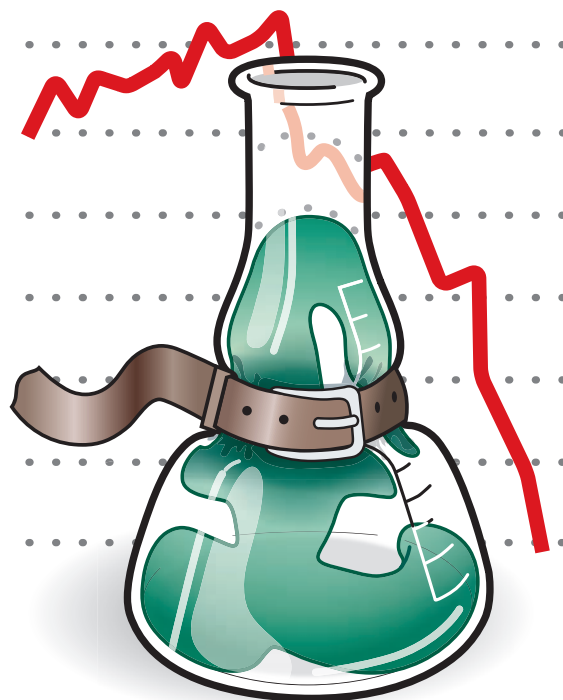
ロベルト・クウォク



タイタン・ミッションの想像図。

NASA/ESA

1. 米航空宇宙局 (NASA) と欧州宇宙機関 (ESA) は、共同で実施する次の最重要外惑星ミッションの目的地として、木星の衛星を選んだ。土星の衛星であるタイタンへの探査飛行については、さらなる調査が必要であるという結論に達した。
2. このエウロパ木星系ミッションでは、NASA と ESA がそれぞれ製造した軌道周回探査機 2 機が 2020 年に打ち上げられ、2026 年に木星系に到達する予定となっている。木星の衛星のうち、エウロパの氷殻の下には生命をはぐくむ海洋が隠されている可能性があり、NASA の周回探査機はこれを調べる予定である。ESA の周回探査機はガニメデを調査することになっている。ガニメデは太陽系最大の衛星であり、独自の磁場を有している。
3. エウロパ・ミッションの研究に 10 年以上も取り組んできた NASA ジェット推進研究所 (米国カリフォルニア州パサディナ) の惑星科学者 Robert Pappalardo は、次のように話す。「わくわくしています。私たちは、このミッションを実現させるために長年努力してきました。氷衛星の居住可能性を解明しようとするなら、エウロパに行くのがいちばんよいのです」。
4. 今回はエウロパ・ミッションのほうが技術的に無理がないと判断されたが、NASA と ESA は、タイタン・ミッションへの道を閉ざしたわけではない。「タイタンが忘れられることはありません」と、NASA 本部惑星科学部 (米国ワシントン DC) の Jim Green 部長はいう。また、次に惑星探査ミッション候補のランキングを作成する際には、タイタンの研究から「非常に重要な」情報が提供されることになるだろう、と付け加えた。
5. エウロパ・ミッションは、巨大ガス型惑星の周りに居住可能な天体が出現する過程を調べるうえで役立つ、と NASA で外惑星研究に従事するプログラムサイエンティストの Curt Niebur はいう。タイタンの有機化学的性質は初期の地球のそれに似ている可能性があり、タイタン・ミッションでは、着陸船と観測気球を利用してこうした性質を調査することになるだろう。
6. タイタン・ミッションを支持してきたアリゾナ大学 (米国トゥーソン) の惑星科学者 Jonathan Lunine は、今回の決定はある程度予想していたと話す。2002 年に太陽系探査にかかわる研究コミュニティに対して行われた調査では、エウロパ・ミッションが最優先課題とされていたからである。「10 年間の調査過程を覆すような決定がなされると考えるほうが非現実的でした」と彼はいう。「本当の問題は、延期されたタイタン・ミッションがいつ実施されるのかという点にあります」。NASA は、この問題に関して決定を保留している。「死ぬまでにもう一度タイタンを見たいです」と Lunine は話す。
7. この木星系ミッションにおいて NASA が負担する部分の費用は少なくとも 25 億～30 億米ドル (約 2500 億～3000 億円) になる、と Green はいう。ESA が負担する部分のミッションは「ラプラス」とよばれているが、これが ESA のコズミック・ビジョン・プログラムにおける枠を確保するためには、さらにほかの 2 つのミッションとの競争に勝たなければならない。



Recession Watch

How will the recession affect science?

What will it do to innovation and the enterprise of knowledge?

How did we get here and what options exist to turn things around?

Eight global thinkers provide analysis, experience and advice for scientists and policy makers.

For more on the financial impact on science, access the updated news special:

www.nature.com/recession

「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）

日本語で **nature** を読む

Nature Digest は、*Nature* を日本の皆様により身近に感じていただくために全ページ日本語で編集した月刊科学情報誌です。
Nature 本誌、*Nature* オンラインニュースに掲載されている最新の科学ニュースや科学論説などの記事はもとより、
日本オリジナルの企画編集記事も加わり充実した1冊となっています。
一般メディアでは知ることのできない世界各国の科学関連ニュースをお楽しみください。



(本文 36 頁)



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 / 科学論説
- NEWS FEATURE /
科学ニュース読み物・
興味あるテーマを親しみやすく解説
- SNAPSHOT

オリジナル編集記事

- JAPANESE AUTHOR /
日本人科学者へのインタビュー記事
- 英語で NATURE /
NATURE に掲載の記事から
生きた英語を学ぶ

Nature Digest 定期購読お申込みはこちらから

www.naturejpn.com/digest-f09