

日本語で読む世界の最新科学ニュース

nature ダイジェスト

02
2012

火星に魅せられた男

ヒッグス粒子はすぐそこに

超大質量ブラックホール

ハチも顔を識別

ちきゅう、震源地調査へ

2011 年とっておき画像

自閉症者の秘めたる能力

チンパンジーも
「音」に「色」を感じる

ロシア、火星衛星探査機の
打ち上げ失敗

金表面でポリマー形成誘導

FROM 日経サイエンス

無人航空機の悪用を防げ
鳥の鳴き声、スマホで確認

定価 680 円

Announcement

nature climate change



SCIENCE

POLITICS

SOCIETY

ECONOMICS

2011年4月に創刊された
Nature Climate Change は、
地球の気候変化に関する科学的な、
そして及ぼす影響についての研究を
詳しく伝える月刊誌です。



火星探査カメラに命をかけた男 12

表紙画像：NASA/JPL-CALTECH

火星探査ミッションのためにカメラを開発し続けてきた男。彼のカメラによって、火星を覆っていたペールが、1枚また1枚と剥がされていく。

NATURE NEWS

- 04 音を見るチンパンジー
- 05 顔を見分けるハチ
- 18 ロシア惑星探査の悪夢
- 24 幹細胞のパイオニアが撤退
- 25 SEVEN DAYS | 氷河はこうして生まれる

GALLERY

- 07 とっておき年間画像特集 2011

NEWS SCAN

- 06 無人航空機の悪用を防げ
- 06 鳥の鳴き声、スマホで確認

NEWS & VIEWS

- 28 動的カシ米尔効果を初めて検証！
- 30 ミステリアスな金の表面

JAPANESE AUTHOR

- 26 自律性を備えた人工細胞を創出し、生命と物質の境界を探る
— 瀧ノ上 正浩

EDITORIAL

- 32 福島第一原発事故：
科学者の声を政府に
- 33 エジプトとリビアにおける
文化遺産の再興に向けて

HIGHLIGHTS

- 34 2011 年 12/1 ~ 12/22・29 号

英語で Nature

- 38 目を見張るような化石

02 ヒッグス粒子を 追い詰める

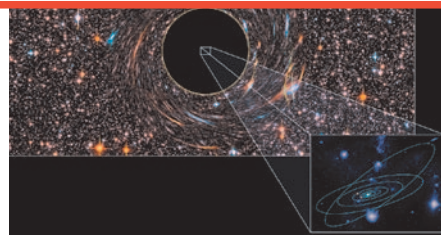
2011 年 12 月、CERN はヒッグス粒子出現の可能性を示すシグナルを検知したと発表。いよいよ、ヒッグス粒子の発見なるか？



ATLAS/CERN/HANDOUT/PICTURE ALLIANCE/DPA/NEWSCOM

03 超大質量 ブラックホールを発見

太陽の約 100 億倍以上の質量を持つブラックホールが発見され、銀河形成の謎が解明されるかもしれない。



PETE MARENFIELD

17 「ちきゅう」が東北沖 地震を掘削調査する

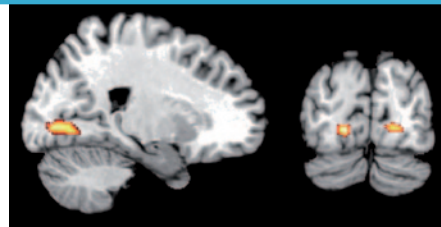
JAMSTEC の探査船「ちきゅう」が、今年 4 月より、東北沖地震の震源を掘削する。断層の滑りのメカニズムは解明されるか。



JAMSTEC/IODP

20 自閉症者の秘めたる能力

科学などの分野では、自閉症者の能力が戦力になると語る研究者がいる。適した環境さえあれば、自閉症者が社会に貢献できる可能性がある。



SOURCE: REF. 4

ヒッグス粒子を追い詰める

Detectors home in on Higgs Boson

EUGENIE SAMUEL REICH 2011年12月15日 Vol. 480 (301)

ヒッグス粒子の質量範囲が狭められ、そのシグナルらしきものが検出された。
いよいよヒッグス粒子は見つかるのか。

2011年12月13日、欧州原子核研究機構（CERN：スイス・ジュネーブ近郊）の大型ハドロン衝突型加速器（LHC）を使った2つの国際共同研究グループ、ATLAS実験（東京大学や高エネルギー加速器研究機構など、日本の研究機関も参加）とCMS実験の物理学者たちが、ヒッグス粒子出現の可能性を示唆するシグナルを検出したと発表した。この結果は、長らく探索されてきたヒッグス粒子の存在を示す決定的な証拠ではないが、これまでで最も可能性が高いものだ。ヒッグス粒子は、ほかのすべての素粒子に質量を与える力場の現れである。今後、さらなるデータが得られれば、質量約125ギガ電子ボルト（GeV）のヒッグス粒子の存在が証明されるだろう。

しかしながら、両グループとも、現段階のデータは、統計的にはヒッグス粒子が存在しないとは言いきれないと強調する。CMSの報道官 Guido Tonelli は、「我々はまだ、何かを発見したと言えるだけの証拠を集めるには至っていません。ヒッグス粒子かもしれないという仮説と矛盾しない事象超過が観測されただけなのです」と言う。ATLASの報道官 Fabiola Gianotti も同様の見解を示している。「それは、何か興味深いものですが、バックグラウンドの揺らぎであるかもしれません」。

2011年11月、CMSとATLASは複合解析の結果を発表し、これにより、ヒッグス粒子が隠れる余地はほとんどなくなった。ヒッグス粒子が存在するなら、その質量は114GeV～141GeVの範囲

になければならない。最新の結果は、その範囲をさらに狭めた。ATLASは115～130GeVの範囲外のすべての質量を排除し、最大で3.6標準偏差という統計レベルで、質量125～126GeVのヒッグス粒子が存在するという結論に達した。CMSは、さらに117～127GeVまで絞り込み、最大で2.6標準偏差という統計レベルで、質量124GeVのシグナルを検出したと報告している。素粒子物理学の世界では、ある素粒子が存在する証拠として認められるには5標準偏差の統計的有意性が必要とされており、3標準偏差では、ヒッグス粒子が存在しているかもしれないと言えない。ATLASとCMSの結果はまだ組み合わせられていないため、結合確率は得られていない。また、それぞれの実験グループは、LHCでの高エネルギー陽子-陽子衝突により過剰な素粒子が生成しており、それらはヒッグス粒子が生成・崩壊してできたものであるかもしれないとも報告した。

一方、両実験では、119GeV付近に別のシグナルが観察されており、状況がさらに複雑になっている。そのシグナルは125GeV付近のものに比べて弱く、ヒッグス粒子存在の証拠としては説得力に乏しい。しかし、このシグナルの存在により、新しいデータの中から、何が本物で何が偽物なのかを解釈するにあたり、より一層の慎重さが必要になった。ヒッグス粒子がどちらのエネルギーであっても、素粒子物理学の標準モデルとも、標準モデルを拡張した超対称性理論とも矛盾しない。超対称性理論では、既知の素粒子は、

未発見の、重い超対称性パートナーと対応しているとされているのだ。

標準モデルでは、弱い核力を伝えるWボソンとZボソンが質量を持つ一方で、電磁力を運ぶ光子は質量を持たない。この理由を説明するために、英国の物理学者 Peter Higgs をはじめとする科学者により、1964年に提唱されたのがヒッグス場だ。ヒッグス場があれば、ヒッグス粒子が現れる。ヒッグス場を提唱した科学者の1人、インペリアル・カレッジ・ロンドン（英国）の Tom Kibble は、研究の焦点は、だんだん、ヒッグス場からヒッグス粒子を特定することへと移っていったという。ヒッグス粒子を除き、標準モデルが予言するすべての素粒子が粒子加速器で観察されているからである。「唯一、見つかっていないのが、ヒッグス粒子なのです」。

だが、たとえ今回の成果がヒッグス粒子を初めて観測したものであると裏付けられたとしても、多くの疑問が残る。標準モデル以外の理論に情報を提供するためには、ヒッグス粒子の生成と崩壊の過程を、より慎重に決定する必要がある。こうした理論は、理想的には、質量を持つことがわかっている素粒子が質量を持つに至った理由や、自然界の力の中で重力が極端に弱い理由など、積年の謎に答えを出してくれるはずである。

ヒッグス粒子の存在を断定するには、より多くのデータが必要である。これまで、ATLASとCMSは、それぞれ約500兆回の陽子-陽子衝突の結果を測定してきた。両グループの報道官によると、どちらも2012年末には、この4倍程度のデータを集めているはずだという。ATLASを率いるラザフォード・アップルトン研究所（英国オックスフォード近郊）の Bill Murray は、「来年には、疑問の余地のない答えが出るはずですよ」と言う。今回のシグナルは蜃気楼にすぎないのか、LHCという知識の宝庫が放つ真の輝きなのか明らかになる日は、そう遠くない。

（翻訳：三枝小夜子）

超大質量ブラックホールを発見

Record-breaking black holes fill a cosmic gap

RON COWEN 2011年12月6日 オンライン掲載 (doi:10.1038/nature.2011.9553)

観測史上最大のブラックホールが発見され、
初期宇宙での銀河形成の解明につながるかもしれない。

太陽の約100億倍以上の質量を持つ巨大ブラックホールが、近傍銀河の中心で発見された¹。これまでの最大は太陽の67億倍だった。今回発見された「重力モンスター」は、ビッグバンから約10億年後の最も明るいクエーサーの名残である可能性があり、宇宙の歴史におけるミッシングリンクとなるかもしれない。

超大質量ブラックホールは、宇宙形成の初期、発達中の銀河の中心部にあるガスと星を飲み込んで生まれ、現在観測できる巨大銀河のすべてではないにせよ、ほとんどに存在する。しかし、光はブラックホールの重力場から逃れることができないので、ブラックホールを直接見ることはできない。そこで、カリフォルニア大学バークレー校（米国）のChung-Pei Maらは、大きな銀河の中心近くを運動する星の速度を測定することで、巨大ブラックホールを探した。星の速度は周回している天体の質量と一定の関係があるので、銀河の中心に潜む巨大ブラックホールの質量を間接的に測定できるか

らだ。研究チームは、銀河集団の中にある大きな銀河に絞って観測を行った。銀河集団にあるブラックホールは、集団内のほかの銀河からガスや星を吸収して巨大になれると考えられる。この研究には加わっていない、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Avi Loebによれば、こうした銀河集団には大昔の痕跡が残っており、宇宙考古学の研究に適した場所だという。

Maらは、ハワイのマウナケア山にあるケックII望遠鏡とジェミニ北望遠鏡を使い、ある銀河集団のNGC 3842という銀河が太陽の97億倍、別の銀河集団のNGC 4889という銀河が太陽の200億倍とも370億倍とも推定される質量のブラックホールを持つことを発見した。この2つの銀河はいずれも地球から3億光年程度の距離にある。

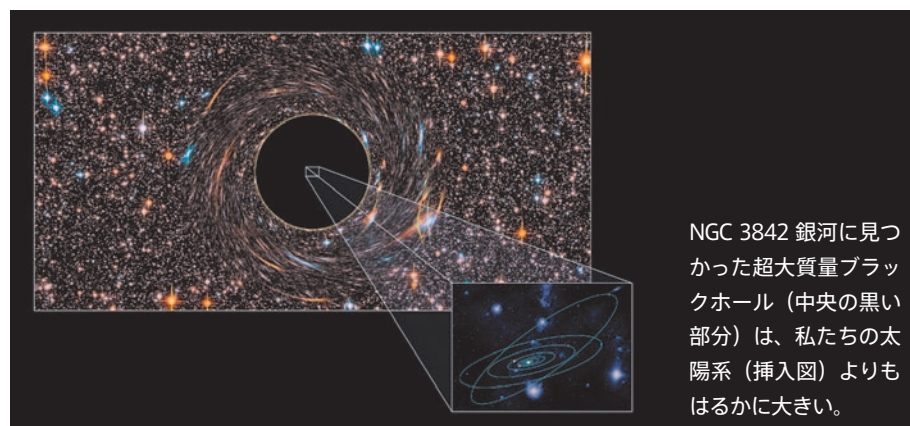
論文の共著者、テキサス大学オースチン校（米国）のKarl Gebhardtは、「銀河中心部のバルジ（膨らみ）部分の質量とブラックホールの質量との間には、よ

く知られた関係があります。しかし、この関係は太陽の約60億倍までのブラックホールにのみ適合するようで、今回の巨大ブラックホールにはあてはまりません」と指摘する。この事実は、今回のブラックホールがこれまでのものとは異なる過程で進化してきたことを示している。ブラックホールがあった元の銀河がほかの銀河と合体して質量を獲得したのかもしれない。「今回の成果は、銀河とブラックホールの形成について新たな手がかりとなるかもしれませんが」とGebhardtは期待する。

これまで、遠方銀河には、ビッグバンの約12億～33億年後に現れたと考えられる超大質量のブラックホールの存在が推測されていた。そうした銀河は強烈に明るいクエーサーを含んでいたと思われる。物質が巨大ブラックホールに落ち込む際に高温になって輝くと考えられるからだ。クエーサーは遠い昔に消滅してしまっただが、巨大ブラックホールはわずかな質量を失っただけで数十億年にわたって進化し、現在の宇宙の一部になった。「だから、初期宇宙に太陽の100億倍の質量のクエーサーブラックホールがあったなら、それに対応する天体が現在の宇宙で見つかるはずですよ」とLoebは話す。

初期宇宙にあったはずの超巨大質量のブラックホールと、現在の銀河に見つかった超巨大質量のブラックホール。「両者の関係から、クエーサーブラックホールが親銀河の進化に与えた影響や、親銀河がクエーサーブラックホールを育んだ過程の解明が進むはずですよ」とLoebは指摘する。「これは非常に重要なことです。なぜなら、クエーサーは銀河形成の初期にさかのぼる遠方で見つかられているからです。我々は、これまでよりも自信を持って、初期宇宙のブラックホール質量をもとに銀河形成のモデル化を進められるでしょう」。Gebhardtはこう語っている。

（翻訳：新庄直樹）



音を見るチンパンジー

The chimpanzee who sees sounds

EWEN CALLAWAY 2011年12月4日 オンライン掲載 (doi:10.1038/nature.2011.9541)

チンパンジーも音の高低と色を関連付けているらしい。

これは、ヒトの「共感覚」と言語に関する研究のてかりとなるかもしれない。

チンパンジーは、明るいものには高い音、暗いものには低い音を対応させるといふ具合に、色と音の感覚を結びつけているという研究成果が、シャリテ・ベルリン医科大学（ドイツ）と京都大学霊長類研究所（愛知県犬山市）により発表された¹。研究チームを率いた認知神経科学者 Vera Ludwig によれば、チンパンジーもヒトと同じように何らかの「共感覚」を感じているのだという。共感覚とは、1つの感覚刺激から別の知覚が無意識に生じる感覚のことで、特定の文字や数に特定の色を感じたり、特定の味に特定の形を感じたりすることである。

ほとんどすべてのヒトは、高音には明るく輝く色、低音には暗い色を結びつける傾向がある。例えば、「ミル」のように高母音で発音される音節を白色と感じ、「モル」のような低い調子の音節を黒色と考える。このような対応付けはちょっとした共感覚であり、感覚の処理に関与する隣接する脳領域間に絡み合った神経結合が生じているためであると Ludwig は考えている。

では、ヒトは言語によって音と色を関連付けることを学ぶのだろうか、あるいは生来備わっている先天的な能力であり言語は必要ないののだろうか。Ludwig は、それを確かめようと、飼育されているチンパンジー（言語を持たない）でこれらの対応付けについて実験した。

Ludwig らは、まず、8～32歳の6頭のチンパンジーに、小さな黒色の箱、あるいは白色の箱を見せた後、画面上でその箱と同じ色の正方形を選ぶと果物の



報酬が得られる、という訓練を行った。続いて、チンパンジーが正方形を選択する際に、高い音あるいは低い音を聞かせる実験を行った。その結果、白色が正解の場合に高い音、黒色が正解の場合に低い音を聞かせると（一致条件）、チンパンジーは平均93%の確率で正しい色を選んだ。ところが、色と音の組み合わせを逆にすると（不一致条件）、正答率は約90%に低下した。

一方、同じテストをヒト33人に行ったら、ほとんど誤答はなく、知覚の偏りを検出できなかった。しかしながら、ヒトは一致条件の場合に、より迅速に正しい解答を選んだ。

ホワイトノイズ

今回、チンパンジーとヒトで、音と色の組み合わせに同様の偏りが見られた。このことから、言語はこうした対応付けを知覚するために必要ではない、と Ludwig は話す。彼女によれば、このよ

うな偏りは、およそ600万年前にヒトとチンパンジーが分かれる前の共通祖先にすでに存在しており、ヒトの言語に影響を与えた可能性があるという。

これに対し、ヴァンダービルト大学（米国テネシー州ナッシュビル）の神経科学者で、共感覚の神経的基盤を研究している Edward Hubbard は、チンパンジーがヒトと同じ機構で共感覚を感じることは疑問を持っている。彼は、ヒトには、単語や数、そのほか、さまざまな文化的な構成概念が関与していると指摘する。「音に色を感じたり視覚動作にตอบสนองして音が聞こえたりするなどの共感覚は、動物とヒトでは違う形式のものかもしれません」と、Hubbard は話す。

また、今回の研究成果は共感覚とは無関係ではないかと疑問を呈している研究者もいる。マックス・プランク脳研究所（ドイツ・フランクフルト）の Danko Nikolic は、音と色の対応付けのような「知覚の癖」は真の共感覚とは異なるとしている。共感覚は、感覚を処理する脳領域間に神経結合が生じているからではなく、より高い概念間の関連付けから生じると考えているのだ。「あまりに多くの現象が共感覚とされているのです」。

ヒトにおいて、この共感覚という現象は珍しいものであり、また、共感覚の経験が主観的性質を持つことを考えると、チンパンジーをはじめ、ほかの動物で、共感覚を見つけることは難しいだろうと、Ludwig は話す。今回の研究とは解釈が大きく異なるが、約1%のヒトが、数あるいは文字に色が見えると推定しているという研究もある²。現在、Ludwig と共同研究を行った日本の研究チームが、チンパンジーにおいて、共感覚のほかの事例を探索している。例えば、ヒトでは低音を大きな物体とも対応付けるのだ。

（翻訳：三谷祐貴子）

1. Ludwig, V., Adachi, I. & Matsuzawa, T. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1112605108> (2011).

2. Simmer, J., Mulvenna, C., Sagiv, N., Tsakanikos, E., Witherby, S. A., Fraser, C., Scott, K. & Ward, J. *Perception* **35**, 1024-1033 (2006).



よく見てください。どのハチに刺されたかわかりますか？

顔を見分けるハチ

Wasps clock faces like humans

ALLA KATSNELSON 2011年12月1日 オンライン掲載 (doi:10.1038/nature.2011.9533)

ある種のアシナガバチは、仲間の顔を認識できる。
これは、社会環境への適応によるものなのかもしれない。

一度見た顔は決して忘れないという人がいる。これは人特有のものではない。アシナガバチの一種 *Polistes fuscatus* も、自分と同じ種類のハチの顔を認識できるというのだ。ヒトでは、この認知能は、顔認識のためだけに進化し、特殊化した脳領域に依存すると考えられている。このほど、ミシガン大学（米国アナーバー）の Elizabeth Tibbetts と Michael Sheehan は、*P. fuscatus* でも同様の機構がある可能性があるとして発表した¹。

2002年、当時コーネル大学（米国ニューヨーク州イサカ）の大学院生だった Tibbetts は、*P. fuscatus* が顔の特徴から仲間を認識できることを示した²。しかし、こうした能力が、進化的適応によるのか、それとも生物が生きていく過程

で学習するのかは、研究者たちの間で議論になってきた。

顔の重要性

P. fuscatus の顔には多くの明らかな特徴がある。これは、同じ巣にしばしば複数の女王が存在し、厳密な社会的序列を確立していなければならないためだ。つまり、争いを避けるために、お互いを見分けて社会的地位を認識しているというのだ。Sheehan らは、*P. fuscatus* の顔認識能力を近縁種の *Polistes metricus* と比較した。*P. metricus* の顔にはあまり特徴がない。*P. metricus* では、1匹の女王が1つの巣を統治するため、お互いを識別する必要がないのだろう。

Sheehan らはまず、野生の *P. fuscatus*

を捕獲し、電気刺激のある迷路で、2枚の画像を見分けると安全地帯に到達できる道を見つける訓練を行った。その結果、*P. fuscatus* は、画像がハチの顔の場合、どちらの種の顔画像でも、安全地帯に誘導する顔を迅速に識別することを学んだ。しかしながら、画像が餌である毛虫や単純な黒白模様である場合は、あまり識別できなかった。また、触覚を取ったり、顔の特徴を再構築したりしても、識別速度が遅くなった。これに対し、*P. metricus* は、*P. fuscatus* とは逆に、顔よりもほかの画像をよりよく識別した。

「*P. fuscatus* では、同種の顔を認識する目的だけのために、パターン認識回路に何らかの微調整があったにちがいありません」と、ロンドン大学クイーンメアリー校（英国）の行動・感覚生態学者 Lars Chittka は話す。

Sheehan は、「驚きなのは、これらの昆虫が脊椎動物と同じタイプの特種化を示すことです」と話す。このことは、まだ見つかってはいないが、特殊化した学習能力を進化させた動物が多く存在する可能性を示している。

一方、マサチューセッツ工科大学（米国ケンブリッジ）の認知神経科学者 Nancy Kanwisher は、この能力が進化的適応なのか、後天的学習によるものかという議論は、今回のデータからはまだ確定していない、と話す。Sheehan は、個体の学習と進化的適応の両方が関与しているのではないかと考えており、現在、この問題を明らかにしようとしている。

「もし進化的適応が関与しているなら、こんなに小さな脳で、どうやってこんなに複雑な作業を遂行できるのでしょうか。とても興味深いです。この新しい技能を進化させるためには、脳の大きな再構築が必要なののでしょうか？ それとも、ごくわずかな変化しか必要ないのでしょうか？」と Chittka は語っている。

（翻訳：三谷祐貴子）

1. Sheehan, M. J. & Tibbetts, E. A. *Science* **334**, 1272-1275 (2011).
2. Tibbetts, E. A. *Proc. Biol. Sci.* **269**, 1423-1428 (2002).

無人航空機の悪用を防げ

敵性国家やテロリストの手に渡るかもしれない。

無人航空機には、民間航空機並みの大きさと速さのものから、空中にとどまって広大な領域を監視する飛行船、小鳥や昆虫のように人々に気付かれずに飛び回りながら動画を撮影したり着地したりするものまである。

無人航空機によって米国の戦闘方法は様変わりした。ほとんど検知不能な無人機を使って大量の航空画像を集め、操縦士を危険にさらすことなく目標を攻撃することが可能になった。しかし、それが米国の利益を守るためだけに使われると考えるのは甘い。小型で安価な無人機が増えるにつれて、敵国や、おそらくはテロリストにも入手可能になる。軍事技術の歴史に照らせば、そう考えざるをえない。実際、イスラエル、中国、イランを含む多くの国が無人航空機を使用・開発し、他国に販売している。今後10年以内に、世界の無人機購入費は1000億ドル近くになるとみられる。

もしもテロリストが米国内に無人航空機を展開したら、見つけるのは非常に難しいだろう。無人機は塀や壁のすぐ上を飛行でき、在来のレーダーシステムでは見えない。自動車のトランクやバックパックに入れて運べるため、一般に立ち入ることができる場所なら、どこからでも飛ばすことができる。

米国政府や民間企業が無人機を使って市民生活をのぞき見することも懸念される。米国最高裁は1986年、警察当局が自家用機を使って密かに栽培されているマリファナを見るのは「公に航行可能な空域」からなされる行為なので構わないとする判決を下した。この解釈からすると、政府は無人機を使って自由に監視できることになりそうだ。

無人航空機の入手を規制するのは非常に難しい。超小型ビデオカメラや動画処理チップ、高速無線通信システムなど、使われている主な情報技術は、安価な家庭用電化製品にごくふつうに見られるものだからだ。

だからといって打つ手がないわけではない。無人航空機に自爆スイッチや秘密の追跡ソフトウェアを装備すれば、行方不明になっても破壊したり追跡したりできるだろう。国内の規制と国際的な不拡散の取り組みによって、無人機が悪人の手に渡る可能性を下げることもできると考えられる。また、機密に関わる政府機関の建物などには、低空飛行で接近してくる無人機を検知する新システムを装備し、必要なら電磁的または動力学的に交戦することも可能だろう。

しかしそうした取り組みを実行しても、いずれは、上空に無人機がいらないのが当然という時代は終わるであろう。

(翻訳協力：鐘田和彦)

鳥の鳴き声、スマホで確認

野外観察に便利なアプリが登場しそう。

鳥のさえずり（専門的には「発声」という）は、目視とともに野鳥の種類を識別する大事な手がかりだ。だが鳥のさえずりを書き記すにはどうしたらいいだろう？ 楽譜に書くこともできるだろうが、バードウォッチャーの多くは音楽家ではない。野外観察図鑑には、漠然と「遠くまで届く憂いを帯びた歌」とか、「ティードゥードゥー」など呪文のような表現で書かれている例が多い。そもそも、野外で聞いた鳴き声から、鳥の種類をどうやって特定できるのか？

エクアドルの新しもの好きな2人の研究者 Hugo Jácome Andrade と David Parra Puente なら、こうした問題を解決できそうだ。彼らは「音を数列に変換して簡単にQRコードに変換しプリントできるソフトウェア」を開発し、2011年11月の米国音響学会で試作品をデビューさせた。録音を取り込んでQRコードに変換し、従来のバーコードスキャナーで音を復元するようすを実演したのだ。

Andrade と Puente が次に考えているのは、このソフトをスマートフォン用のアプリに作り替え、検索可能な電子書籍フォーマットの携帯図鑑にすることだ。それはバードウォッチャーにとって究極のポケット版野外観察図鑑となるにちがいない。高価で重い機材を持たずに、カメラ付きスマホだけ持って楽しくバードウォッチングに出かける時代が来る。鳥の鳴き声が聞こえてきたら、アプリを起動して調べればよい。スマホには、目で確認するための鳥の写真とバーコードが表示され、バーコードを再生すれば、今聞いた鳴き声かどうか確認できるというわけだ。

「文字で書かれた奇妙なさえずりはもういらない！」と Andrade と Puente は発表要旨で宣言している。ただし、バーコードでなく普通の言葉で。

(翻訳協力：栗木瑞穂)



ISTOCKPHOTO

とっておき年間画像特集 2011

Images of the year 2011

DANIEL CRESSEY

2010年12月22/29日号 Vol. 480 (430-435)

科学画像のスケールは毎年のように広がり、我々人間は、2011年も驚くほど小さなミクロの世界から、太陽系のはるか辺境のすばらしい画像を手に入れました。けれども、壮大なスケールの画像だけが2011年を象徴するものではありません。「人間の目」で見えるスケールの画像に、鮮烈な印象を与えるものも多かったことも2011年の特徴でしょう。日本を襲った巨大地震、チリの火山噴火、そして、こうした自然の驚異とは逆に、自然に脅威を与え続ける人間。そんな2011年を振り返ってみましょう。

エンデバー、最後のフライト

この光景を見ることはもうない。打ち上げから30年、135回のフライト、2つの大きな事故を経て、スペースシャトル計画は幕を閉じた。2011年5月に国際宇宙ステーションと最後のドッキングをしたエンデバーをはじめ、すべてのスペースシャトルはその役目を終え、博物館で展示されることに。



ISS: P. NESPOLI/NASA



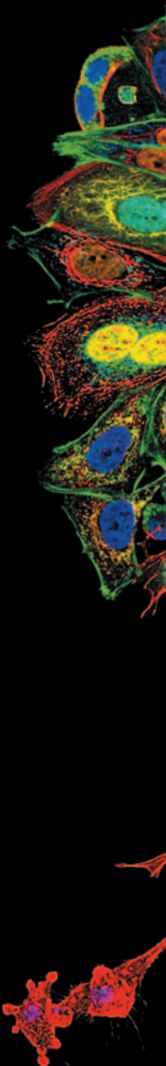
日本の痛み

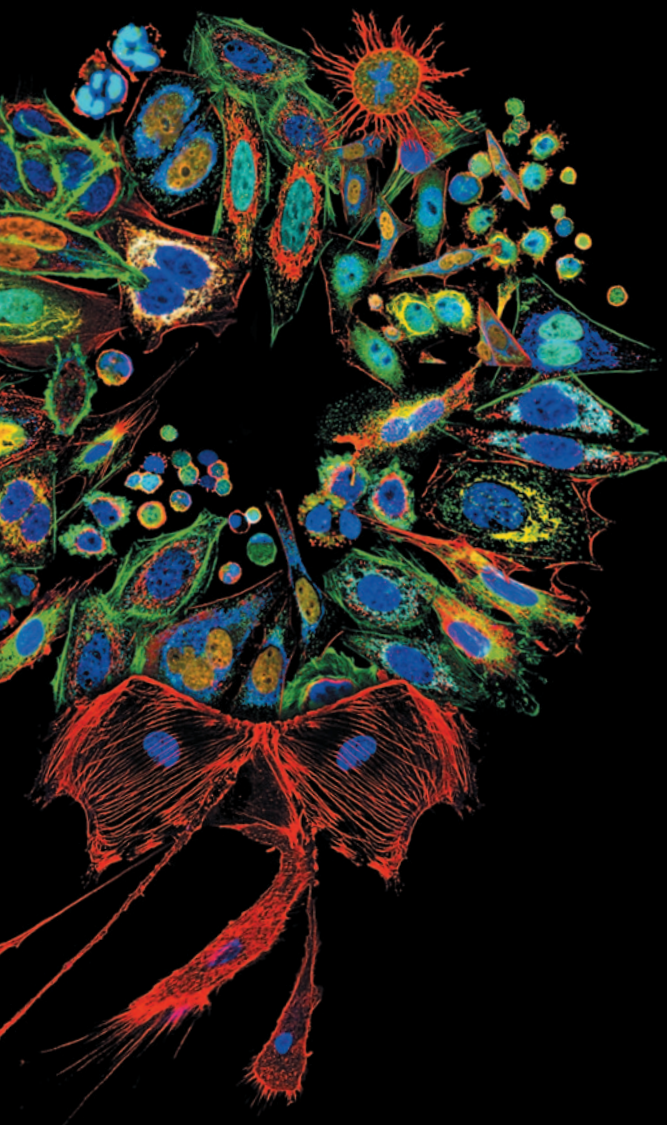
がれきの町と化した岩手県大槌町。2011年3月11日に東日本を襲ったマグニチュード9の巨大地震と巨大津波は、東北地方の沿岸部を中心に壊滅的な被害をもたらした。そして、メディアで公表された映像・画像は、世界に大きな衝撃を与えた。この大震災による死者・行方不明者は1万9000人以上。数十万人が住む家を失い、福島第一原子力発電所ではメルトダウンが引き起こされた。



ラット、怒りの衝動

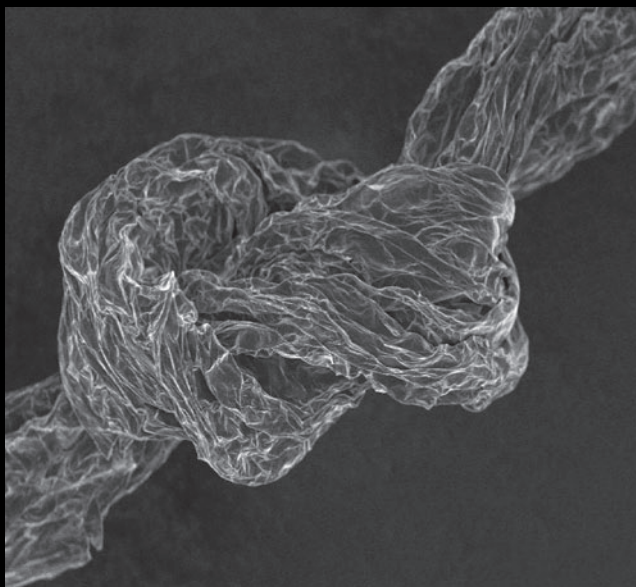
「ラット」という言葉は、動物の名前ではあるが、それ以外にも日本語の「ねずみ」同様、卑劣なやつとか、こそこそ動き回るやつという意味がある。もちろん、ラットに罪はない。たが、こんな激昂ぶりを見ると、ネズミ恐怖症者がいるのも納得できる。ロシアの研究チームが、動物の家畜化に関する研究で、攻撃的なラットの系統を作り出して、おとなしいラットと比較した。どうやら従順で飼いやすい形質には、遺伝的素因があるようだ。





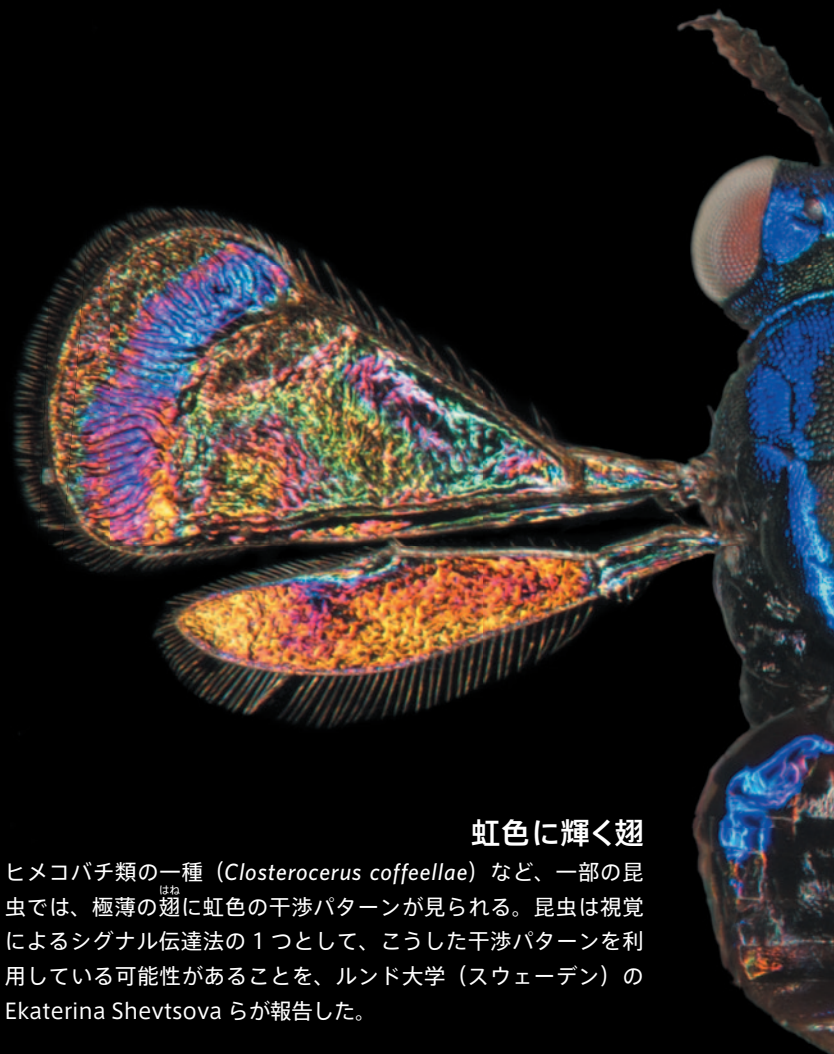
このリース、何からできている？

ピッツバーグ大学（米国）の生物学者 Donna Stolz は、25 件以上の実験で撮影された哺乳類細胞の画像を組み合わせ、華やかなリースを作り上げた。この写真は、彼女の 2010 年のクリスマス・カードを飾り、2011 年のニコン顕微鏡写真コンテスト「Small World」で入賞した。



ミクロの結び目

この長さ 400 μ m のグラフェン製の結び目は、浙江大学（中国）の Zhen Xu と Chao Gao が作製した、ナノスケールの超絶妙技の賜物である。2 人は、グラフェン酸化物の薄く平たい液晶を紡いで、数 m の柔軟性のある繊維にし、グラフェンの糸に撚り上げた。



虹色に輝く翅

ヒメコバチ類の一種 (*Closterocerus coffeellae*) など、一部の昆虫では、極薄の翅に虹色の干渉パターンが見られる。昆虫は視覚によるシグナル伝達法の 1 つとして、こうした干渉パターンを利用している可能性があることを、ルンド大学（スウェーデン）の Ekaterina Shevtsova らが報告した。



地球への帰還

スペースシャトル計画が終了し、国際宇宙ステーションへの宇宙飛行士の送迎は、現在、ロシアのソユーズ宇宙船だけが行っている。帰還船の見た目は21世紀の宇宙船というよりも19世紀の釣鐘型の潜水装置のようだが、2011年11月、3人の宇宙飛行士を乗せてカザフスタンに無事着陸した。

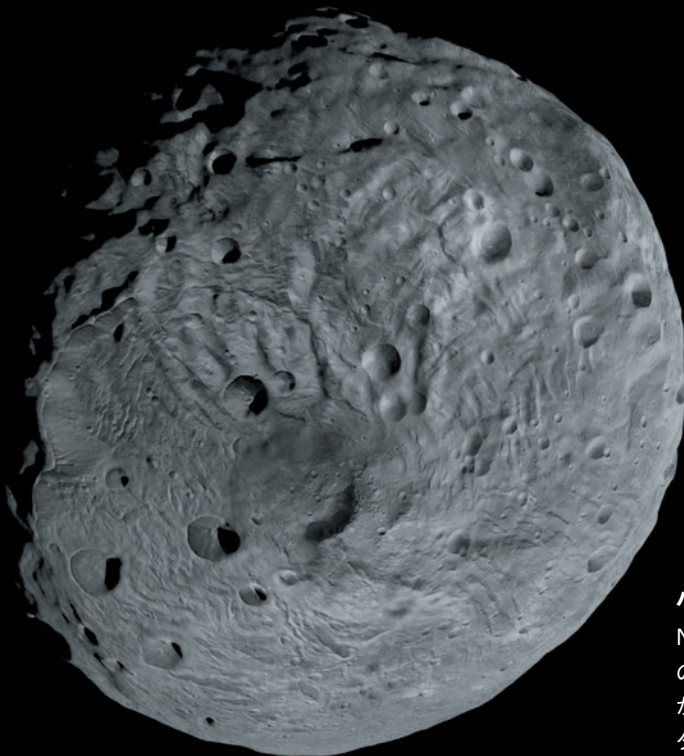
ウルトラ・フライ級の金属材料

タンポポの綿毛の上にふわりと乗っているのは、金属でできた微細な規則格子構造だ。この材料は、不規則構造を持つほかの超軽量材料のお株を奪ってしまうかもしれない。HRL ラボラトリーズ社（米国カリフォルニア州マリブ）のTobias Schaedler のチームは、ポリマー製の微細格子をニッケル・リン合金でめっきし、その後ポリマー部分を取り除いて、この超軽量材料を作り出した。



小惑星探査

NASA の探査機「ドーン」がとらえた、小惑星ベスタの傷だらけの表面。小惑星帯にあるベスタは直径 530km。この画像はドーンがベスタの周回軌道に入ったときに撮影された。画像中央のクレーターには高さ 15km の山がある。このクレーターの起源も含め、ドーンは 1 年かけてベスタのさまざまな謎について探査する予定だ。





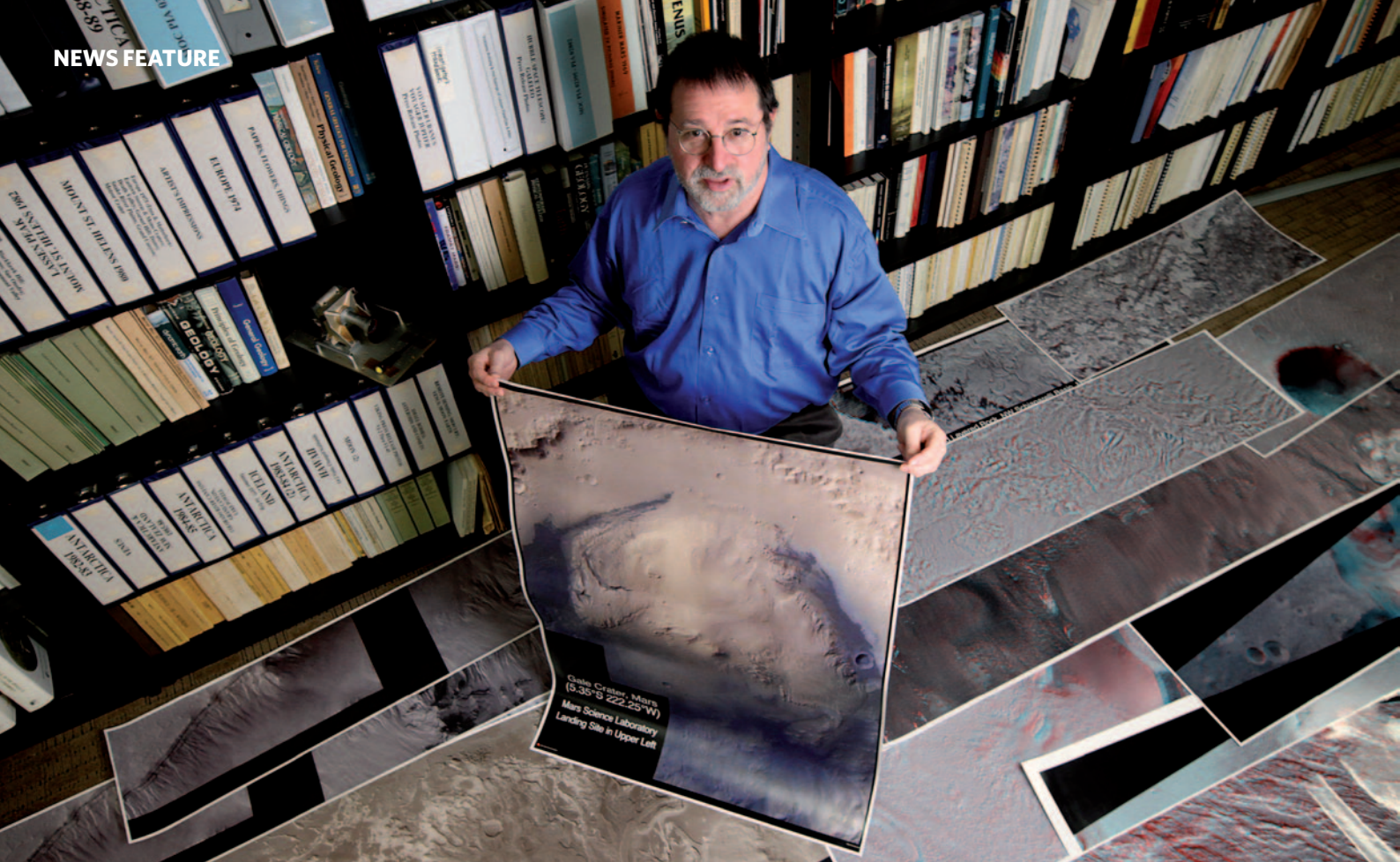
空飛ぶサイ

このクロサイは、南アフリカ東部の縮小する生息域から北のリンポポ州に移動するため、目まいを起こしそうなヘリコプターの旅に出たところだ。クロサイは今、絶滅の危機に瀕しており、保護活動が盛んに行われている。しかし、残念なことに、亜種であるニシクロサイは、2011年に公式に絶滅が宣言された13の種および亜種の1つとなってしまった。



ドッカーン!

2011年6月、チリのプジェウエ・コルドンカウジェ火山群で噴火が起こり、周辺地域に住む数千人の住民は避難を強いられ、隣国のアルゼンチンでも火山灰によって大きな被害を受けた。だが、写真の噴煙には、不謹慎ながら大自然の美しささえ感じる。



火星探査カメラに命をかけた男

The Mars observer

ERIC HAND 2011年11月24日号 Vol. 479 (460-463)

1970年代のバイキング計画以来、ほとんどすべての火星探査ミッションのカメラを製作してきたのが Mike Malin だ。彼のカメラは、火星のイメージを大きく変え続けている。

Mike Malin は、地球上の誰よりも火星をよく知る男と言われることがある。正確に言えば、誰よりも多く火星の表面を見てきた男だ。米国カリフォルニア州サンディエゴにある彼の会社 Malin Space Science Systems (MSSS) 社は、1975年のバイキング計画以来、NASA のすべての火星周回ミッションのカメラを設計してきた。今回のマーズ・サイエンス・

ラボラトリー・ミッションでは、25億ドルの費用を投じて開発された火星探査ローバー「キュリオシティ」に、彼のカメラシステムが3つ搭載されている。2011年11月26日、「キュリオシティ」の打ち上げが成功し、Malin にとって9回目となる赤い惑星への探査ミッションが始まろうとしている。

今回の探査ローバーは、火星探査ミ

ッションの中では最も高額かつ複雑な器械であり、Malin のカメラシステムはその「目」として機能することになる。彼のカメラが撮影する画像は、エンジニアによるローバーの操縦を助けるだけでなく、プロジェクトの科学目標、すなわち、数十億年前の火星に生命が存在できる環境があったかどうかを見極めるうえでも、きわめて重要な役割を担う。

打ち上げから約9か月後、「キュリオシティ」は撮影した画像の地球への送信を開始する。そのベストショットは、Malinの資料室におさまることになる。14歳のときから購読している *Aviation Week & Space Technology* が散乱する資料室は、孤独癖のあるこの科学者が1人で仕事をする聖域だ。壁際の棚には、火星軌道から撮影したポスターサイズの写真がおさめられている。写真には、焼け焦げた平野、死火山、巨大な砂丘、深く切れ込んだ峽谷、小惑星^{あなた}の衝突によってできた巨大な孔など、変化に富む地形が写し出されている。いずれも、従来の火星観に異議を申し立てたものばかりだ。Malinの目には、火星のあらゆる場所に、風と水と時間が削り出した大地が見える。

61歳のMalinには、火星の地形を理解するために、地球奥地の野外調査に出かける体力はもうない。しかし、1枚の画像を徹底的に調べる技術はまだ持っている。火星の写真を床に置き、その上に四つん這いになって、10cm前後の高さから虫眼鏡をのぞき込む。「画像を使ってできることには限界がありますが、その限界は、想像力の欠如によるところが大きいのです」と彼は言う。

怒りっぽく、むきになりやすい性格だが、Malinは惑星科学の世界の、かけがえのない原動力であり続けてきた。NASAが地球以外の惑星に送り込む観測装置は、ほとんど例外なく、政府の大規模な研究センターか主要大学によって開発されている。しかし、火星探査カメラについては、従業員わずか30人のMalinの会社が独占受注し続けてきたのだ。「こんなに小さくても、それだけの信頼を得ているわけで、驚くべきことです」とアリゾナ州立大学（米国テンピ）のPhil Christensenは言う。

それでもMalin本人は、自分は十分には評価されておらず、いつも自分のカメラをミッションに採用させるのに苦労していると感じている。彼はまた、自分の火星のビジョンをほかの研究者が十分に取り入れていないことにも不満を抱い

ている。それは「水と風によって形成され、削られた、堆積岩の層からなる惑星」というイメージのことだ。しかし、今回のミッションのリーダーたちが「キュリオシティ」の着陸地点をゲール・クレーターに決めたのは、まさに、そこが堆積物のパターンを調べるのに適していると考えたからなのだ。Malin以外のすべての人は、その背景に彼の貢献があることを知って評価している。

写真から見えてくるもの

重量900kgの「キュリオシティ」ローバーには、数々の目新しい観測装置が搭載されている。例えば、ChemCamという装置は、離れたところにある岩石にレーザーを照射して蒸発させ、その雲が発する光のスペクトルを調べて、元の岩石の化学組成を知ることができる。別の装置は、X線回折のための薄いサンプルを作ることができるが、これは地球上の研究室でするのも難しい操作である。おそらく最も重要なのは、岩石のサンプルを採取し、ガスクロマトグラフィーと質量分析によって分子組成を調べるSAM (Sample Analysis at Mars) という装置だ。SAMには、かつて火星に生命が居住できる環境があった証拠となる有機分子を発見することが期待されている。

こうした新しい観測装置に比べると、Malinの3つのカメラシステムは、いささか見劣りする。けれどもこれらは、外見こそ今どきのデジタルカメラに似ているものの、過酷な惑星間飛行や、火星表面での砂塵嵐や極寒という環境下で、何年間も耐えられるように作られているのだ。カメラシステムの中で最も大きいのはMastcamだ。このシステムはローバーの首にあたる部分に取りつけた2台のカメラからなり、地上2mの高さから地形を見渡すことができる。第二のカメラはロボットアームの先端に取りつけた顕微鏡カメラMAHLIで、シルト（砂と粘土の中間の大きさの粒子）が見えるだけの高解像度を今回初めて実現した。第三のカメラは、ローバーの車体の下に取

りつけられたMARDIで、「キュリオシティ」の降下と着陸をモニターする。

これらの装置のすべてが、かつてトロンボーン奏者を夢見た1人の男の手から生み出された。1950年生まれのMalinは、10代の期間のかなりの部分を、憑かれたようにトロンボーンの練習で過ごした。きっかけは、音楽教師からトロンボーンの才能を否定されたことだったという。彼はやがてロサンゼルス・フィルと共演できるほどの腕前になり、音楽学校に入学することも考えるようになった。「Mikeに何かさせようと思ったら、『君にできるはずがない』と言えよいのです。そう言われると、『できるさ』と言い返さずにはいられない性格なのですよ」とChristensenは言う。

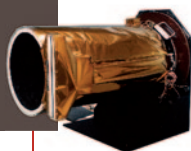
Malinは結局、芸術よりも宇宙科学を選び、1970年代初頭にはカリフォルニア工科大学（Caltech：米国パサデナ）の大学院で研究をしていた。指導教官は、多くの人から惑星地質学の父と尊敬されているBob Sharpだった。Malinはその後、CaltechにあるNASAジェット推進研究所（JPL）から仕事を与えられた。彼とJPLの間には、それ以来ずっと、愛憎相半ばする関係が続いている。彼は、JPLの惑星ミッションと宇宙への夢想的なロマンチズムを賞賛する。しかし、彼は官僚機構を嫌い、しばしば上司と対立した。「私は性格的に、大きい組織に我慢ならないのです」と彼は言う。

Malinは1979年にアリゾナ州立大学（米国）に移ったが、同じような居心地の悪さに苦しんだ。彼は研究者として成功し、火星とよく似た南極大陸における地質学調査で有名になったが、委員会活動や共同研究を嫌悪した。Malinは社交嫌いというわけではないが、1人でいるときに最高の仕事ができるタイプの人間なのだ。Christensenは、彼の家に夕食に招かれたときのことを思い出す。独身のMalinのアパートにあった家具は、安楽椅子が1脚とテレビが1台だけだった。彼らはテレビの前でトレイの上の料理を食べた。Malinは椅子

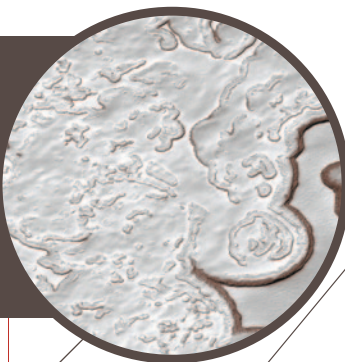
見えてきた火星の素顔

Michael Malin と彼の会社 Malin Space Science Systems(MSSS) 社は、1970 年代のバイキング計画以来、ほとんどすべての火星探査ミッションのカメラを製作してきた。

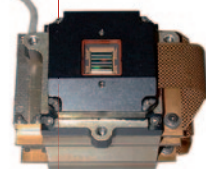
1996 年 11 月 マーズ・グローバル・サーベイヤー探査機には、軌道投入に失敗したマーズ・オブザーバーのカメラとほとんど同じマーズ・オービター・カメラ(MOC)が搭載された。MOC は 1997 年から 2006 年まで稼働し、24 万枚以上の画像を撮影した。



2000 年 2 月
MOC が撮影した火星の南極領域の画像から、二酸化炭素の氷からなる極冠に、くぼみなどの浸食の痕跡があることが明らかになった。スイスチーズ状のパターンは、火星で気候変化が起きていることを示す。



2001 年 4 月
赤外線と可視光の両方の波長で対象を捉える熱放射撮像装置 (THEMIS) を搭載したマーズ・オデッセイ探査機が打ち上げられた。MSSS 社は、THEMIS の可視光カメラ部分を製作した。写真はその一部。



1996

1997

1998

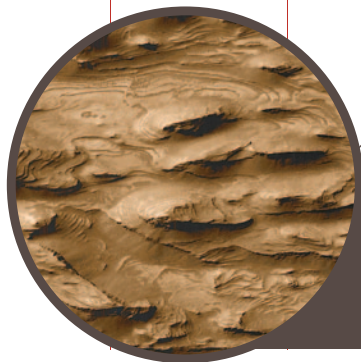
1999

2000

2001

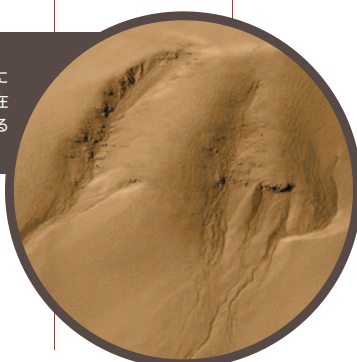
2002

2003



1999 年 3 月
MOC がカンドール峡谷で層状の堆積物を発見し、火星表面の地形が形成されるうえで堆積作用が重要な役割を果たしていたことを示した。

1999 年 9 月
MOC がクレーター壁のところに大きな溝があることを発見し、現在の火星でも液体の水が流れている可能性について議論が起った。



に座り、Christensen は床に座った。「居間に複数の椅子を置くことを、彼は思いつかなかったのですね」と Christensen は言う。Malin は現在、カリフォルニア州ラホヤの海岸の高級住宅地で一人暮らしをしているが、浜辺に行くことはまずないという。

1980 年代中頃、NASA はバイキング計画以来の大規模な火星探査ミッションとなるマーズ・オブザーバーについて検討を始めた。火星周回軌道から観測を行うオービターには、放射計、分光計、レーザー高度計などが搭載され、火星の表面、大気、磁場の研究に革命を起こすことが期待された。Malin は高性能の光学カメラも必要だと主張したが、不思議なことに、この意見を支持する者はほとんどいなかった。Malin によると、バイキングのオービターが作成した地図の解像度は 1 画素当たり平均 50m だったが、これより鮮明な地図が必要だと感じる人は、ほとんどいなかったのだという。「火星の地図はバイキングによって完成され

たという思い込みがあり、これ以上詳細な地図を作る必要はないと思われていたのです」。

けれども Malin は、野外調査の経験から、火星表面をもっと詳細に見ることができれば、その形成にかかわったプロセスが明らかになると確信していた。NASA 本部の土壇場の介入により、Malin はようやくマーズ・オービター・カメラ (MOC) を開発して運用するという契約を勝ち取ることができた。

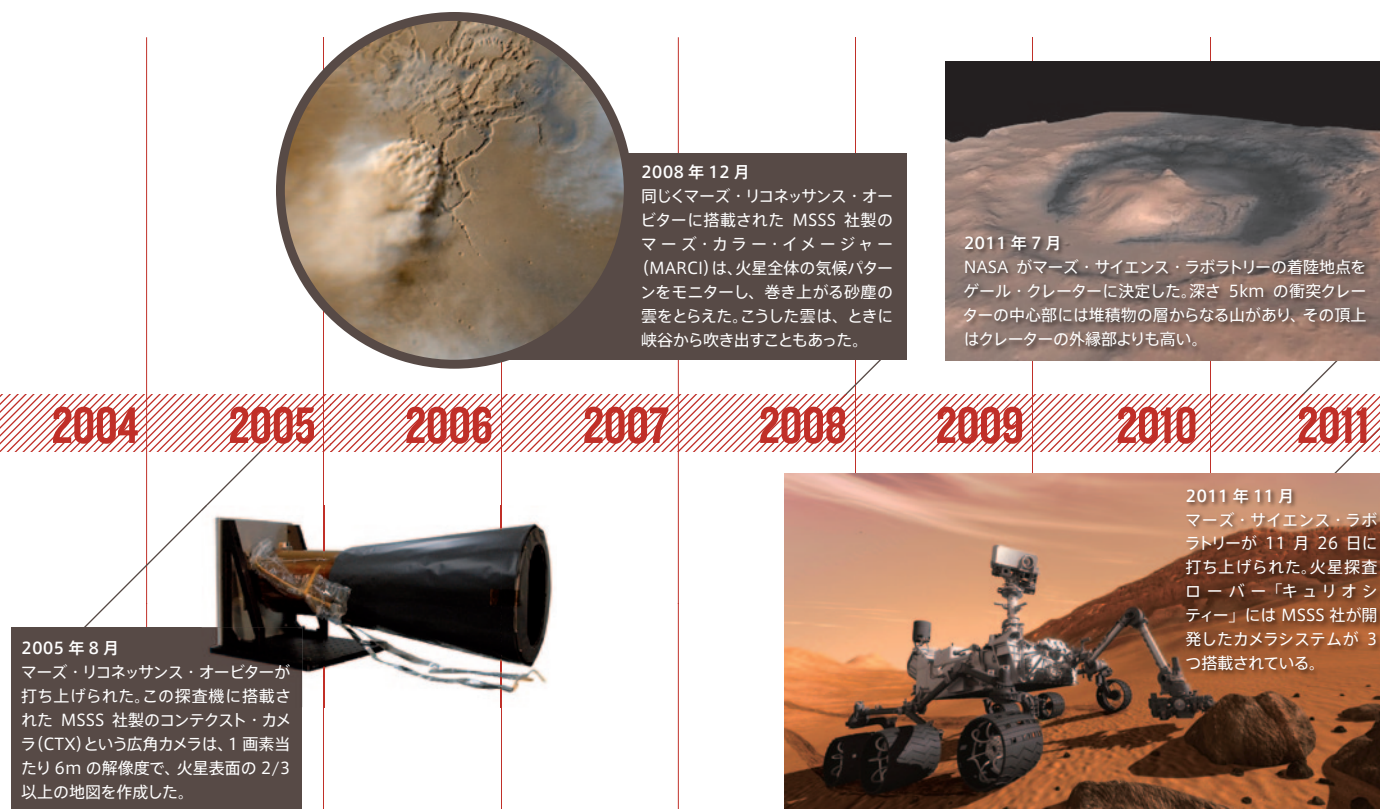
実際問題として、どこでそれを作ればよいのだろうか。答えは 1987 年にやってきた。Malin はこの年、マッカーサー財団の「天才賞」を獲得したのだ。彼は、その賞金の 25 万ドルを元手に MSSS 社を設立し、そこでマーズ・オービターのカメラを設計した。その革新的な技術は、のちの多くのミッションに用いられることになる。

そのときまで、バイキングやそのほかの惑星探査ミッションでは、普通のカメラのように、撮影時にシャッターを開き、

二次元的に並べたセンサーに光を当てて、瞬時に広い範囲の画像を得るフレーミングカメラを使用していた。しかし、Malin が設計したプッシュブルーム式カメラでは、開口部はずっと開いたままで、当時の最新技術である CCD (電荷結合素子) を 1 列に並べたものに光を当てて、細長い画像を得た。

第二の次元は、軌道を周回する探査機の連続的な動きから与えられる。CCD 列のデータが読み出されるたびに、探査機はわずかずつ前進しているので、その分、先の範囲の画像が得られるのだ。時間をかけてこの作業を繰り返し、細長い画像をつなぎ合わせると、1 枚の幅の広い画像を作ることができる。プッシュブルーム式カメラには、シャッターなどの可動部分がない。宇宙探査ミッションでは可動部分の故障が問題になることが多いので、これは大きな利点である。こうして、解像度は 1 画素当たり 1.5m まで向上した。

しかし、このカメラの性能を証明でき



ないうちに、ミッションが突然終了してしまった。1993 年 8 月に火星軌道に入る予定だったマーズ・オブザーバーは、そのわずか数日前に燃料ラインが破裂して、宇宙の彼方に飛び去ってしまったのだ。Malin は、立ち上げたばかりの会社の従業員の半数を解雇しなければならなかった。しかし、彼はすぐに第二のチャンスを得た。1996 年のマーズ・グローバル・サーベイヤー・ミッションだ。MOC をコピーしたカメラは、このミッションの目玉となった。探査機は 1998 年に火星軌道に入った。一方、カメラから送られてくるデータに備えていた Malin は、片腕が必要であることを悟った。この膨大なデータを 1 人で処理することは考えられなかったのだ。

Malin が選んだのが、アリゾナ州大学の Christensen の下で博士号研究を終えたばかりの Ken Edgett だった。彼は今、Malin の 2 階建ての資料室の近くのオフィスで働いている。私が会いに行ったとき、大柄で、のん気そうな彼は、オフィ

スの椅子にだらりと座っていた。シャツの裾がズボンから出ていた。火星の特定の画像の話になると、Edgett はワークステーションにかぶさるようにして MOC 番号を入力した。FHA-1858。「この番号は暗記しているのです」と彼は言った。

Edgett は、この画像が火星科学を根底から覆したと説明する。そこにはカンドール峡谷と呼ばれる領域の、深く切れ込んだ谷と、ジグザグ（古代メソポタミアの階段状ピラミッド）のような地形が写っている¹（上図の 1999 年 3 月を参照）。階段状の地形には、非常に大きな意味がある。ここではかつて、土砂が層をなして堆積していたのだ。それをさせたのは、おそらく水の作用である。これだけ多くの層が形成されるためには、数百万年にわたって水の作用を受け続けなければならない。この写真は、火星の地形が水によって削り出されたことを示す最初の動かぬ証拠となった。

写真はまもなく *Science* の表紙を飾った。Malin と MOC チームの論文の写真

は、これまでに 4 回、科学誌の表紙を飾っている。彼らの論文は、火星の大きな溝の表面付近を今日も水が流れている可能性²から、二酸化炭素の水からなる極冠に見られるスイスチーズ状の模様の変化が示唆する気候の変化³まで、多様な現象を取り上げている。MOC の画像は、直径 154km のゲール・クレーターの中心部の謎めいた盛り上がりの中に堆積物の層があることも明らかにした。のちにゲール・クレーターが「キュリオシティ」ローバーの着陸地点に選ばれる決め手となった発見である。

これらの発見が、惑星探査機には MOC のような高性能カメラを搭載するべきだという Malin の持論の正しさを証明した。「MOC は本当に、我々の火星の見方を変えました」と、Jim Bell は言う。彼はアリゾナ州立大学の地質学者で、2004 年に火星に着陸した 2 台の小型ローバー「スピリット」と「オポチュニティー」に搭載されたカメラの主任研究者である。「我々が現在も進めている

火星探査計画の性格と目標は、MOC によって決定づけられたのです」。

Malin の個性の強さは問題も起こす。彼はすべてを自分で管理したが、その結果、MOC が撮影した 24 万 3227 枚の画像のうちの半数近くが、彼と Edgett が独断で選択した被写体となってしまった。今回の「キュリオシティ」では、Mastcam はほかの装置の目としても利用される。自分の目標と、ほかの装置の任務を、バランスよく進めなければならないのだが、懸念は払拭されていない。

ゲール・クレーターの中心部には、クレーターの外縁部よりも高く盛り上がった、高さ 5km の山がある。「キュリオシティ」には、この山頂にたどり着き、世紀の大絶景を送ってくる期待がかけられている。しかし、それが成功しても、Malin には、ほろ苦いものとなる。

搭載できなかったズームカメラ

MSSS 社の先進プロジェクト・マネジャーである Mike Ravine は、オフィスの倉庫に私を案内し、照明をつけて、2 個のプラスチック製の箱をじっと見つめた。それから解錠して、箱の蓋をあけた。中に入っているカメラには手も触れない。「私が何も送り出さなかった唯一のミッションが、これでした」とカメラを指さしてつぶやいた。

Ravine も、Malin とよく似た性格の従業員だ。要するに、聡明で、むきになりやすく、怒りっぽい。Ravine は MSSS 社の仕事をするだけでなく、インターネットのベンチャー企業を起こし、映画をプロデュースして、映画監督の James Cameron を含むハリウッドの人々に接触した。彼は Cameron 監督を口説いて、「キュリオシティ」のカメラチームに参加させることにも成功した。彼らは、広角のパノラマと狭角かつ高解像度のクローズアップとを高速に切り替えられる、2 台の「ズーム」カメラを開発することを計画した。Cameron 監督は、このカメラの高い解像度とビデオのような性能を利用して、一般向けの 3D 映画を

製作することになった。

ところが、2007 年に「キュリオシティ」は予算の枠を超えてしまい、NASA からミッションの装備を 3900 万ドル分削減するよう求められた。このあおりを受けて、ズームカメラは断念せざるをえなくなったのである。ただし、Malin によれば、彼らのチームは予算をオーバーしていなかったし、スケジュールの遅れもなかったという。仕方なく、急遽、ズームカメラの代わりとなる安価な固定焦点カメラを 2 台設計した。1 台は広視野で、もう 1 台は狭視野のものだった。

ローバーのモーターの問題により NASA が「キュリオシティ」の打ち上げを 2009 年から 2011 年に延期したとき、最後のチャンスがやってきた。Ravine は Cameron 監督とともにワシントンに飛び、NASA の Charles Bolden 長官に会い、ローバーの完成に間に合えば、という条件付きでズームカメラを復活させることに成功した。しかし残された時間は短かすぎた。レンズの調整に問題があることがわかり、Malin のチームは修正を試みたが、間に合わなかった。2011 年 3 月、ローバーの大部分が組み立てられ、打ち上げの準備が整ったとき、NASA は彼らに、元のカメラを取りつけるように命じたのだった。

2011 年 2 月、ズームカメラのお蔵入りが決まるほんの数週間前、Malin は心臓発作を起こした。彼は 20 年前にも心臓発作を起こしており、6 年前には脳卒中を起こしていたのだが、その後も昼夜を問わず働き続けていた。けれども今回は違った。Malin は、4 枝冠動脈バイパス手術を受けなければならなかった。体は順調に回復していったが、彼の不在がオフィスに及ぼした影響は大きかった。MSSS 社の従業員たち——Malin にとっては家族に最も近い存在——は、今後に不安を感じるようになった。

半年後、Malin は、薬を飲む時間を知らせる iPhone を身につけて帰ってきた。医師からは、仕事の時間を減らすように言われていた。しかし、私がオフィ

スを訪れた 2011 年 9 月にはもう、これまでと変わらず精力的に働いていた。

火星を地球に持ってくる

「最初に火星に降り立つ人間になることが、子どもの頃の夢でした」と彼は言う。その代わりに今、彼は火星を地球に持てきたいと考えている。自分が開発したカメラを使って、人々に火星の豊かさを感じさせたいのだ。Malin は、がらんとした部屋の中で、想像上の 1 点を中心として円を描くように歩き出した。歩きながら、その点に向かって何度もウィンクする。火星にある Mastcam に、こんなふうにしてスナップショットを撮影させるのだ。手間はかかるが、この方法で、岩石などの三次元データを収集することができる。そして、バーチャルリアリティ専用ヘルメットの助けを借りて、サンディエゴのこの部屋の中に火星の風景を再現する。岩石に顔を近づけたら、ローバーのアームを使って、バーチャルに触れてみたりすることもできる。Malin は商売気たつぷりに、それはゲール・クレーターへの有料バーチャル旅行だと言う。「基本は、歩き回る。火星にいる気分を味わうのです！」。

ズームカメラも、アカデミー賞を受賞した映画監督の全面的な協力も期待できない今、その実現は困難かもしれない。しかし Malin を見くびってはいけな。彼は何十年もかけて、科学者たちに火星の堆積物の重要性を認識させた男だ。そして今、科学者は、太陽系で最大の堆積物の山に、数十億ドルをかけたローバーを送り込もうとしているではないか！

Malin の頭の中には、いつだって火星の風景がある。「見えない人にとっては、それは現実ではないのです。私はそれを現実になりたいのです」。

(翻訳：三枝小夜子、要約：編集部)

Eric Hand は *Nature* の物理学担当記者。ワシントン D.C. に住む。

1. Malin M. C. & Edgett K. S. *Science* **290**, 1927-1937 (2000).
2. Malin M. C. & Edgett K. S. *Science* **288**, 2330-2335 (2000).
3. Malin, M. C., Caplinger, M. A. & Davis, S. D. *Science* **294**, 2146-2148 (2001).
4. Thomson, B. J. et al. *Icarus* **214**, 413-432 (2011).



2012年4月、探査船「ちきゅう」は東北沖地震を引き起こした断層の掘削に挑む。

「ちきゅう」が東北沖地震を掘削調査する

Drilling ship to probe Japanese quake zone

NICOLA JONES 2011年11月3日号 Vol. 479 (16)

JAMSTEC 地球深部探査センターの地球深部探査船「ちきゅう」は、2011年3月11日に発生した巨大津波に翻弄され、損傷を受けた。修理を終えたこの探査船に、このほど、ぴったりの任務が与えられた。甚大な被害をもたらしたマグニチュード9.0の東北沖地震（東北地方太平洋沖地震）の震央付近の断層帯を掘削し、温度測定を行うのだ。地震発生直後の海底断層の掘削は、これが初めての試みだ。科学者は数十年前から、海底断層が滑って地震や津波を引き起こす過程で摩擦が果たす役割に興味を持っていた。今回の調査の目的は、この謎を解くことにある。「ちきゅう」による掘削調査は、巨大津波を引き起こしやすい断層と、引き起こしにくい断層がある理由を科学者が理解するうえで役立つはずだ。

日本と米国が主導する統合国際深海掘削計画（IODP）の代表である末廣潔（すえひろきよし）は、「我々科学者が、この巨大地震によって加熱された断層帯からできるだけ多くのことを学ばなければ、社会に大きな損失を与えることになるでしょう」と言う。IODPは、2011年9月にこの提案を最初に承認し、2012年4月から「ち



きゅう」が東北沖地震の震央の南の海域（下の地図参照）で掘削を行うための資金提供を承認した。

正式には「日本海溝緊急掘削計画」と呼ぶこの遠征の科学的根拠は、プレート境界が1m以上滑るような地震が発生した後、できるだけ早く断層を掘削するよう提案した2009年の報告書で詳しく述べられている。東北沖地震で発生した滑りは、これまで観察された滑りとしては最大の50mという桁外れの大きさであり、理想的な調査対象となる。

「岩盤を何十mも滑らせるにはどうすればよいかという問題は、目下の地震学にとって、きわめて重要です」と、京都大学防災研究所の地震学者 James Mori は言う。彼は、緊急掘削に関する報告書の共同執筆者であり、4月からの遠征の共同首席研究者を務める。研究者らは、地震発生時に、岩石の溶融や水圧の上昇などにより、断層の岩盤と砂と水の間の抵抗が極端に小さくなるのが、その答えの重要な部分を占めていると考えている。けれどもこれまで、この効果を厳密に測定することはできなかった。摩擦は熱として散逸するため、断層の温度を厳密に測定することができれば、知識の隙間を埋められるはずだ。

このミッションに参加するカリフォルニア大学サンタクルーズ校の Emily Brodsky は、「我々はこれまで、どんな地震を調査すべきなのか、よくわからないまま多くの計画を立ててきました」と言う。研究者らはこれまで3度、陸上地震の後に地中の温度をモニターしようと試みてきた。1度目は1995年に日本で発生した兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）、2度目は1999年に台湾で発生した集集地震（台湾大地震）、3度目は2008年に中国四川省で発生した汶川地震（四川大地震）である。けれども、どのプロジェクトでも温度データはわずかしき得られず、温度上昇は非常に小さいか、まったく見られないかのどちらかだった。おそらく、温度上昇が小さすぎて観測できなかったか、モニタリング技

術が不十分だったのだろう。「そのたびに明らかになったのは、断層の温度が予想より低い傾向にあるということでした」と、Brodsky は言う。彼女によると、もっと大きな滑りが起きれば、0.5°C 程度の温度上昇を追跡できる可能性が高くなるという。「我々は、今この時期に、迅速かつ正確に測定を行う必要があるのです」。

「ちきゅう」は断層を 1km 掘削し、その掘削孔内に一連の温度センサーを設置する。そして、これまでの試みよりもはるかに長く 1～3 年にわたって温度を追跡することで、東北沖地震の際に発生した総熱量を算出する予定である。そこから、滑りが発生したときの断層の摩擦抵抗が明らかになり、地震力学のモデルの

すぎ間が埋まることが期待されている。カリフォルニア工科大学（米国パサデナ）の地質学者 Jean-Philippe Avouac は、このプロジェクトには関係していないが、「モデルに欠けている要素の中で、これは特に重要です」と言う。

とはいえ、完璧に掘削するのは容易ではない。提案されている掘削サイトでは、問題の断層は 7km の海水と 700m の地殻の下にあるため、巨大なドリルストリングが必要だ。これまで、この深さの海底から採取できたコアの長さはわずか 15m だったと Brodsky は言う。ほとんどのコアは水深 6km 未満の海底から採取されている。

今回のプロジェクトでは、温度測定に加えて、掘削した堆積物の調査も行う。

堆積物のある種のテクスチャー、例えば、ボールベアリング状の粘土粒子は、大きな滑りを伴う地震と関連しているかもしれない。そのような特徴を特定することは、ほかの断層で大きな滑りが発生する可能性を予想するのに役立つはずだ。

3 月 11 日の巨大津波による犠牲者の数は、最終的には 2 万 3000 人以上になるとみられる。東北沖地震から貴重な情報を集めることは、「またとない機会であり、責任でさえあります」と Mori は言う。彼は、地震がもたらした被害のほとんどすべてが津波によるものだったと指摘する。「我々が本当に知りたいのは、何がそれを引き起こしたかということなのです」。

（翻訳：三枝小夜子）

ロシア惑星探査の悪夢

Russia gets the red planet blues

ERIC HAND 2011 年 11 月 17 日号 Vol. 479 (275-276)

フォボスへの大型探査機が失敗し、惑星探査におけるロシアの復活は危ぶまれている。

火星の衛星フォボスから土を持ち帰る計画だったロシアの探査機「フォボス・グルント」は、地球を回る軌道を離れることができないでいる。この計画は宇宙開発史上、最大の惑星探査計画であり、ロシアが太陽系探査における旧ソビエト連邦時代の栄光を取り戻すという期待も担っていた。しかし、奇跡が起きてエンジンの再始動に成功しないかぎり、2011 年末までには火の玉になって地球に落下する見込みだ。

ロシアの惑星探査そのものも、フォボス・グルント探査機とともに地に落ちるかもしれない。今回の計画は、ロボットを使って衛星表面のサンプルを持ち帰る

というもので、米国航空宇宙局（NASA）もまだ実現していなかった。ロシア宇宙庁（ロスコスモス）は、今回の計画が成功すれば、過去の失敗の悪夢を一挙に帳消しにできるはずだと期待していた。しかし、状況は、15 年前に「マルス 96」計画で火星への大胆な挑戦を試みて失敗したときと同じだ。今回も探査機は地球を回る軌道を離れることができないでいる。

モスクワにあるロシア科学アカデミー宇宙科学研究所（IKI）の元所長である Roald Sagdeev は「マルス 96 も野心的すぎる計画でした」と振り返る。彼は現在、米国のメリーランド大学カレッジ



打ち上げ前にフォボス・グルント探査機を検査する技術者たち。

パーク校に所属している。Sagdeev は、予定されている今後のロシアの探査計画も、ロシアとほかの国との国際協力の可能性も今回の失敗で危うくなったとみる。「惑星探査に批判的な者たちは『どうして惑星探査などに予算を費やさなければならないのか』と言い始めるでしょう」と彼は話す。

ロシア宇宙庁の技術者たちは毎日、地球周回軌道を離脱できないフォボス・グルント探査機と通信しようと試みている。探査機の重量は13.5トンあり、NASAと欧州宇宙機関（ESA）が打ち上げた土星探査機カッシーニの2倍以上ある。月軌道よりも遠くに送られた探査機でこれまでで最大のものがカッシーニだった。フォボス・グルント（グルントは土を意味する）探査機はダメージを受けておらず、その燃料タンクは満タンとみられている。ロシア宇宙庁は、探査機を何とか正常な状態に戻してエンジンを噴射させ、2013年初めに火星最大の衛星とランデブーする軌道に乗せたいと考えていた。しかし、IKIでこの計画を担当する科学者 Alexander Zakharov は、「探査機と通信しようとする試みはすべて失敗しました」と話す。IKIは、フォボス・グルントに科学研究用に搭載された20種の機器を担当している。探査機を火星へ到達させることができる地球周回軌道離脱のタイミングは、地球と火星の軌道によって決まっており、2011年11月21日に終わる。「まだ数日の時間が残っています」と Zakharov は語った。

探査機は2011年11月8日にカザフスタンのバイコヌール宇宙基地から打ち上げられ、打ち上げに使われたゼニットロケットの第1段は完全に機能した。しかし、カナダ・トロントに住むアマチュアサテライトウォッチャー（人工衛星観測家）Ted Molczan によると、ロシアの不十分な衛星追跡網を補うため、協力を求められた南米のアマチュア天文家たちは、予定された時刻になっても第2段ロケットの燃焼の炎を観測できなかった、という。Molczan は、「SeeSat-L」という、インターネットを使って組織された人工衛星観測グループのまとめ役だ。

失敗の直接の原因は、第2段ロケットの制御システムが機能しなかったことのようなのだ。しかし、ロシアの宇宙開発ニュースサイト「RussianSpaceWeb.com」を立ち上げ、エディターを務めているジャーナリストの Anatoly Zak は、

「もっと深刻な組織的な問題があります。試験のやり方は常にずさんで、いくつもの問題が未発見のままだったはずです。一方、見つかった問題も、組織の上層部は見ても見ぬふりをしました。この計画は最初から失敗する運命だったのです」と指摘する。

Sagdeev は、「ロシアの宇宙開発の強みは常にハードウェアにあり、制御系やソフトウェアは得意ではありませんでした。その伝統が旧ソビエト時代の宇宙開発から続いているのです。ロシアでは常にロケットの建造が最も重要なことだったのです」と説明している。

探査機は現在、最も低いところで地表からわずか200kmの軌道を回っている。軌道は上層大気との摩擦で徐々に下がっている。Zakharov は「探査機は2011年12月半ばに地球に落下すると予想されています」と話す。一方、探査機の減速について独自の分析を行った Molczan は「落下は2012年1月になるかもしれません」とみている。

探査機の重量のほとんどは液体燃料（その大部分が火星からの帰りの飛行用だった）なので、再突入で巨大な火の玉が生まれるかもしれない。ロシア宇宙庁のウェブサイトは、「宇宙船は再突入の熱で爆発するので、何かが地上に達する危険性は少ないはず」との見解を掲載している。しかし、ハーバード・スミソニアン天文台（米国マサチューセッツ州ケンブリッジ）の天文学者でサテライトウォッチャーでもある Jonathan McDowell は、「ヒドラジンと四酸化二窒素からなる燃料が、宇宙船が降下する間に宇宙空間で凍結し、宇宙船の一部とその積載物が再突入でも燃えつきないで残る可能性があります。そうなれば、空から2トンの有毒な泥の塊が落ちて来ることになります」と話す。

地球に墜落することになれば、ロシアの宇宙開発が醜態をさらすだけにとどまらず、今後の惑星探査計画にかなりの影響が出るだろう。Zakharov は「1億6300万ドル（約127億円）をかけた

フォボス・グルント計画をもう一度やり直すのは、今のロシア宇宙庁には難しいでしょう」とみる。ロシア宇宙庁と、事業主体である宇宙機器メーカーのラボーチキン社は、月、火星、金星、水星、木星の水でできた衛星エウロパへの探査も進めるつもりだった。しかし、こうした計画は正式に決定されたことはなく、今となってはこれまで以上に実現が危うくなっている。

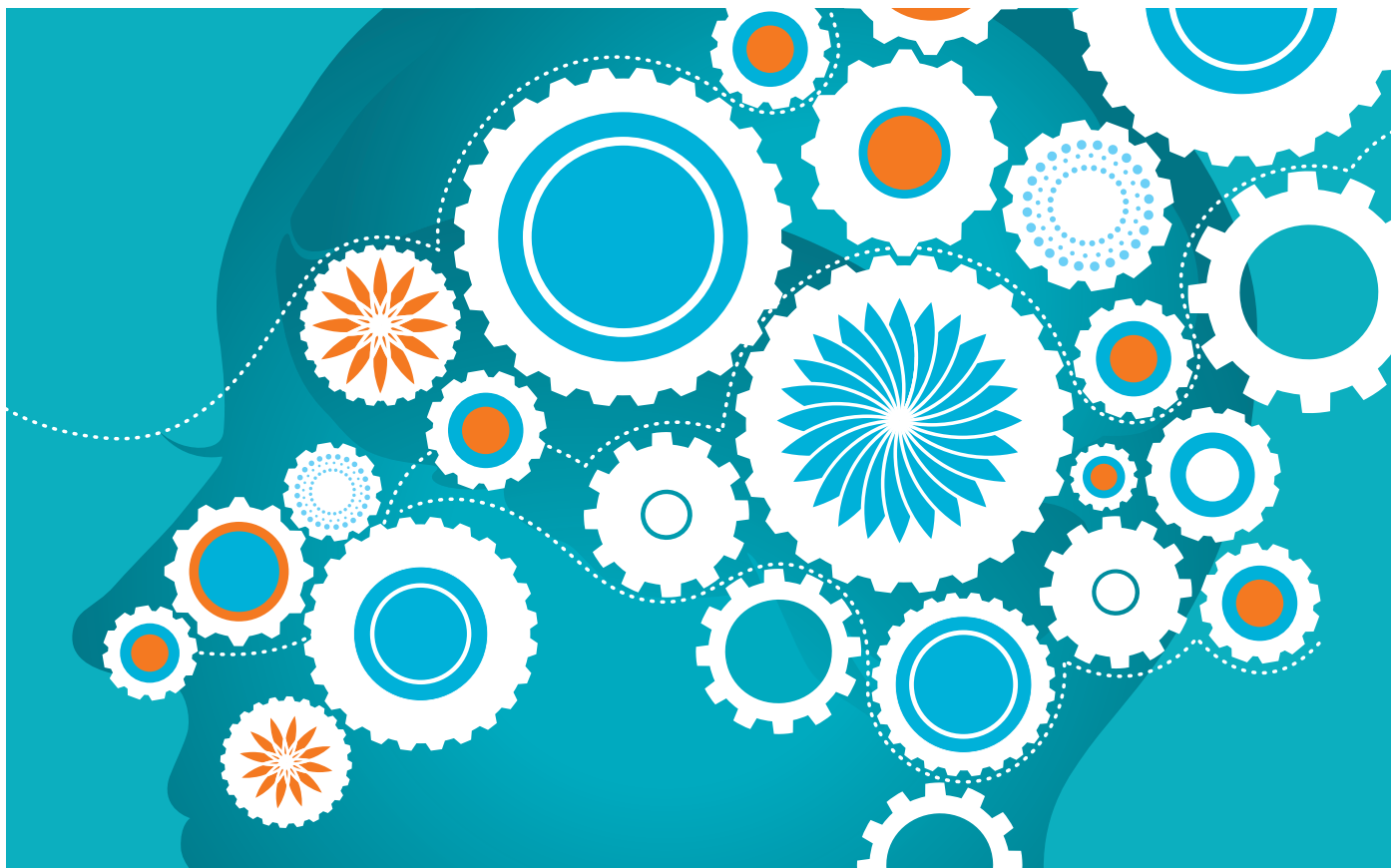
ルナ・リソース計画は、インドが建造する軌道船および探査車と、ロシアが建造する月着陸船で構成される月探査機で、2014年に打ち上げられる予定だ。「ルナ・リソース計画は現在も順調に進んでいます」と Zakharov は話す。しかし、Sagdeev は「フォボス・グルント探査機は小さな中国の衛星を積んでいました。それが失敗したとなれば、当然のことですが、インドはルナ・リソース計画がうまく行くかどうか懸念を抱くでしょう。インドが作った軌道船や探査車に同じようなことが起こってしまったら大変ですから」と話す。

惑星協会（米国カリフォルニア州パサデナ）の事務局長で、フォボス・グルント探査機に積載された小規模な宇宙生物学実験の主任研究者（PI）でもある Louis Friedman は、「かつてソ連では、失敗は大目に見られることが多かったのです。問題が解決されるまで何度も打ち上げを繰り返すというやり方だったからです」と指摘する。しかし、今では何度も打ち上げを繰り返す予算はない。ロシア宇宙庁と、宇宙時代の始まりからロシアのすべての太陽系内探査計画を立案し、機器を製造してきたラボーチキン社は、そのやり方を変えなければならないときに来ているのだ。

Friedman は言う。「組織の抜本的な改革が行われることを期待しています。改革が行われると思うか、ですって？ 残念ながら、これまでの歴史を振り返れば、それはきわめて難しいでしょう」。

（翻訳：新庄直樹）

※1月15日、破片が太平洋上に落下。



ISTOCKPHOTO

自閉症者の秘めたる能力

The power of autism

LAURENT MOTTTRON 2011年11月3日号 Vol. 479 (33-35)

最近のデータと自身の個人的な経験から、科学など一部の分野では、自閉症が利点になる場合があると語る研究者がいる。モントリオール大学教授、Laurent Motttron だ。彼の主張を聞いてみよう。

自閉症に関する助成金申請の計画書や研究論文、概説は、たいがい「自閉症は深刻な障害だ」という言葉で始まる。しかし私の論文にそんな言葉はない。

私は、自閉症の認知神経科学を主な研究テーマとする研究者であり、臨床医であり、研究室の責任者でもある。私の研究チームには8人の自閉症者がいる。4

人の研究アシスタント、3人の学生、そして1人の研究者である。

彼らの仕事は、人生経験を分かち合ったり、データを入力する単純作業をしたりすることだけではない。彼らが私の研究室にいるのは、その知的および人格的な資質の高さゆえである。彼らは、「自閉症にもかかわらず」ではなく、「自閉

症ゆえに」、科学に貢献できるのだと私は考えている。

並外れた記憶力や計算能力を持つ自閉症者の話はよく知られている。例えば Stephen Wiltshire は、ヘリコプター・ツアーに一度参加しただけで、記憶を頼りに都会の景色をすみずみまで細かく描くことができる。だが、私の研究室には、

そういう特殊な才能を持った自閉症者はいない。いるのは「普通」の自閉症者だ。だが、全員をひとまとめにして平均すれば、知能検査など各種の検査課題で、自閉症でない人（非自閉症者）より成績がよい場合も少なくない。

私は臨床医として、自閉症は、日常生活が困難になる場合がある能力障害の1つだということも、嫌というほど承知している。自閉症者10人のうち1人は会話ができず、10人に9人は定職を持たず、成人5人のうち4人は未だに親に依存している。我々の社会は、自閉症者が重要と思ったり関心を持ったりすることを前提に構築されていない。彼らはそうした厳しい状況に直面しているのだ。

しかし、私の経験からいえば、自閉症は利点にもなりうる。特定の環境では自閉症者が非常にうまくやっていたりするのだ。そうした環境の1つが科学研究である。私には、7年前から心強い共同研究者となってくれている自閉症女性がいる。名前を Michelle Dawson という。私は彼女のおかげで、自閉症でも高い知能と科学への関心があれば、研究室にすばらしい貢献をしてくれることを知ったのである。

私が Dawson と知り合ったきっかけは、自閉症に関するテレビのドキュメンタリー番組のインタビューを一緒に受けたことだった。彼女は当時、郵便局で働いていたが、インタビューの後しばらくして、雇用主に自閉症だということを知られてしまい、仕事がやりにくくなってしまった。そこで彼女は、障害のある従業員の処遇に関する法律をすべて覚えたのである。私は、Dawson に優れた学習能力があることを知り、私のところで研究アシスタントをやらないかと誘った。手始めに、彼女は私の論文のいくつかを編集してくれたが、非常に優れた意見を述べ、私は彼女がすべての参考文献を読んでいたことがよくわかった。Dawson は文献を読むほどに、この研究分野について理解を深めていった。10年ほど前、私は彼女に研究員としてのポ

ジションを申し出た。我々は、これまでに研究論文13本と数冊の本の章を共著者として世に出している。

仮説の検証

Dawson は、私の研究室のメンバーになって以来、自閉症に関するさまざまな仮説や研究アプローチを考える手助けをしてきている。その1つが、常に問題となっている自閉症者の認知機能についてである。自閉症は、言語障害やコミュニケーション障害、同一行動の繰り返し、限局的な興味といった、ネガティブな一連の特徴によって定義されている。こうした診断基準の中に、自閉症のさまざまな長所は入っていない。自閉症の幼児を対象とする教育プログラムのほとんどは、自閉的行動を抑えて、子どもが通常の発育過程をたどるようにすることを目的としている。自閉症者のユニークな学習過程を踏まえたものは1つもないのだ。

自閉症の症状が有害な場合（子どもが何時間も壁に頭をぶつける行動など）には、言うまでもなく介入することが望ましい。しかしほとんどの場合、自閉症者の行動は特殊ではあるが、順応はできるのだ。

例えば、自閉症の特徴の1つに、他人の手を使って何かを頼むという行動がある。自閉症の子どもは、母親の手を冷蔵庫の上に置いて食べ物をねだったり、ドアノブに置いて外に出たいと訴えたりする。この行動は独特なものだが、こう

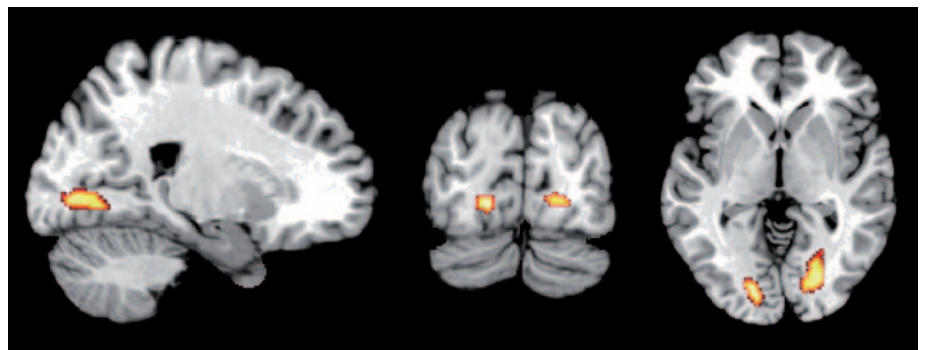
することで子どもは言葉を使わなくてもコミュニケーションを取れるのだ。

自閉症を調べている研究者でさえも、自閉症者に対してネガティブな偏見を示すことがある。例えば、機能的磁気共鳴イメージング (fMRI) を用いる研究者は一律に、自閉症者グループの異常として一部の脳領域の活性化に変化があると報告している。こうした活性化の変化が、通常とは異なる（時には、いい結果に終わる場合もある）自閉症の脳の組織化を表したものにすぎないとは、見なされないのである。

同様に、大脳皮質の容積の変動が自閉症で見られた場合でも、皮質が想定より厚いか薄いかには関係なく、障害のせいになされてきた¹。

自閉症者が特定の作業に関して非自閉症者よりも能力が上回っている場合、そうした長所は、ほかの異常を補うものだと考えられることが多い。たとえ異常が実際に確認されていなくても、そう見なされてしまうのだ。

確かに、自閉症者の脳の働き方は普通の人とは違う。最も注目される点は、言語中枢にあまり頼らないことだ。例えば、自閉症でない人が画像を見たときには、視覚情報と言語の両方を情報処理する脳領域が活性化する。ところが、自閉症患者では、発話情報処理のネットワークよりも視覚情報処理ネットワークのほうが活発になる²。これは、さまざまな作業に関して自閉症で見られる安定した特徴



自閉症者は、特定の作業をするときの脳の使い方が異なっている。この fMRI の画像は、非言語性の知能検査を受けている最中に、非自閉症者よりも自閉症者で活動が活発になっている脳の知覚領域を表している。

の1つようである³。もしかすると、こうした脳機能の再分配は、自閉症者の並外れた能力と関連しているのかもしれない⁴（前ページのfMRI画像を参照）。

こうした違いは、発話障害のようにマイナスに働く可能性もあるが、何らかの利点をもたらす場合もある。研究報告が増えるにつれて、自閉症者は、まぎらわしい背景から1つの模様を見つけ出すといったさまざまな知覚課題で、神経学的に普通の子どもや大人よりもよい成績をおさめることが明らかになりつつある⁵。

ほかの研究でも、自閉症者の大半が、聴覚課題（音の高さを区別する⁶など）や視覚構造の感知⁷や、頭の中での複雑な三次元形状の操作に関して、非自閉症者よりもよい成績をおさめることが報告されている。また、自閉症者はレーヴン色彩マトリックス検査（図案の欠けた部分にあてはまるものを選択肢の中から選ぶ古典的な知能検査）でも成績がよい。私の研究チームがこの検査を行ったところ、自閉症者は非自閉症者よりも平均で40%も速く終わらせることができた⁴。

見方を変える

2、3年前、私は同僚たちと、自閉症者と非自閉症者の成人および小児に2種類の知能検査を行い、その成績を比較した。一方の検査は、言葉を介さずに解答するレーヴン色彩マトリックス検査のような非言語性検査で、もう一方の検査は、言葉による指示や説明を基に解答する言語性検査である。その結果、非自閉症者は全体として、一方の検査で50%の成績であればもう一方の検査でも50%前後になるというように、どちらの検査でも同程度の成績をおさめる傾向が見られた。ところが、自閉症者では言語性検査よりも非言語性検査のほうがよい成績を挙げる傾向が見られた（右のグラフ「自閉症者の知能」参照）。場合によっては、正答率が90%にもなる例もあった⁸。

私も以前は、たとえ自閉症者がレーヴン色彩マトリックス検査でよい成績をおさめても、知能を調べるには言語性検査

が最適だと考えていた。この「常套手段に固執する」主観が誤っていることを気付かせてくれたのが、ほかでもないDawsonだった。彼女は私にこう尋ねた。「非自閉症者の知能を調べるのに使われている課題で、自閉症者が優れた成績をおさめているのに、なぜ、これが自閉症者の知能を表すものだと考えてもらえないのでしょうか」。

現在の私は、研究者たちが自閉症者の知的障害を評価するのに、いまだに不適切な検査法を使い続けていることに驚いている。こうした検査では、自閉症者のほぼ常に約75%が知的障害があることになる。だが、自閉症者のうち、脆弱X症候群のような知能に影響する神経疾患を伴うのは10%にすぎない。

私は今では、自閉症には知的障害がつきものとは思っていない。真の知的障

害者の比率を見積もるためには、言葉による説明をいっさい必要としない検査法のみを使うべきである。聴覚障害がある人の知能を調べる場合には、手話を使って説明できないような検査項目はためらわずに除外されるはずだ。だとすれば、自閉症者の場合も同じにすべきではないのか。

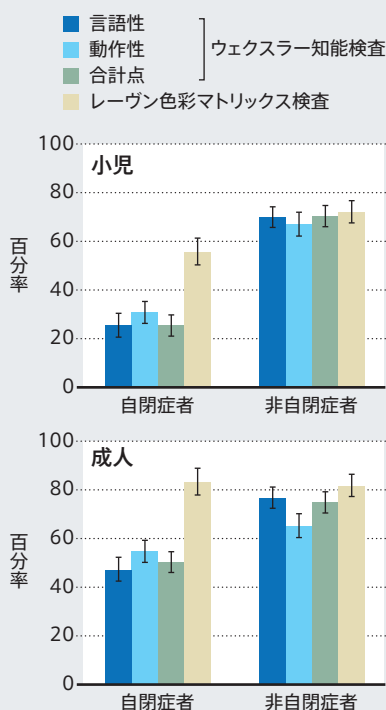
もちろん、自閉症はコミュニケーションや社会的行動、運動能力などのほかの機能にも影響を及ぼす。こうした特異性のため、自閉症者は他人への依存が大きくなりがちであり、日常生活もより困難になる。私の主張は、そうした側面を過小評価しようとするものではない。

ありがたいことだが、雇用主は自閉症者が得意とする職能をよく知らず、単純な作業をひたすら繰り返す労働に従事させる。しかし私が察するに、ほとんどの自閉症者はもっと高度な仕事で社会に貢献したいと思っており、適した環境さえ与えられればそれは可能なのだ。そもそも、自閉症者に適した仕事を見つけることが最大の困難なのだが、この問題の解決に向けた組織作りが現在行われつつある。例えば、米国イリノイ州ハイランドパークに本部のある「Aspiritech」というNPOは、ソフトウェアをテストする職に自閉症者（主にアスペルガー症候群）を斡旋している（www.aspiritech.org）。また、デンマークの企業Specialisterne社は2004年以降、170人以上の自閉症者の就職を支援してきた。その親会社のSpecialist People Foundationは、100万人の自閉症者に意義のある仕事を斡旋することをめざしている（www.specialistpeople.com）。

私は、多くの自閉症者は科学研究に向いている、と考えている。彼らは、幼少時から数や文字、メカニズムや幾何学パターンなどの情報や構造に興味を持つことがあるが、これらは科学的思考の基礎になるのだ⁹。高い集中力のおかげで、関心のある科学分野の独学を続けて専門家となる場合もある。例えばDawsonは、科学に関する学位は持っていないが、神

自閉症者の知能

非自閉症者では通常、言語性と非言語性の知能検査の成績はどちらも同程度になる。しかし自閉症者では、ウェクスラー知能検査などの言語性検査よりもレーヴン色彩マトリックス検査などの非言語性検査のほうがよい成績となる。



経科学の論文を2、3年にわたって読むことで、特定の種類の研究を行うのに十分な知識を身につけ、そして十分な成果を生み出した。この点から言えば、彼女はPhDを授かる資格がある。

驚くべき記憶力

平均的な自閉症者が研究に直接役立つ長所を持つことは、これまでの研究から一貫して明らかになっている。彼らは、大規模データセットなどの大量の知覚情報を同時に処理することができ、その能力は非自閉症者を上回っている¹⁰。また、並外れた記憶力を持っていることも多い。非自閉症者の多くは10日前に読んだものの内容を思い出せないが、一部の自閉症者はあっさりと思い出せる。この能力は、科学で大いに役立つ。自閉症の顔面認知に関する研究で使用されているさまざまな手法は、私にとってはどれも同じように思えるが、Dawsonは即座にそれらを細かく思い出せる。

多くの自閉症者は、大量のデータの中に潜み繰り返しパターンや、そうしたパターンが乱れた事例をうまく見つけ出すことができる。Dawsonは、さまざまな種類の治療法に適用されている基準にある矛盾点を見つけた。薬剤を開発するためには、無作為化した比較対照臨床試験などの手の込んだ研究を行う必要があるのだが、これは自閉症者の行動療法に関しては必要がないという点だ。しかも、こうした療法には高額な費用がかかり(1人当たり年間最大6万ドル<約470万円>)もかかるうえ、自閉症治療ではネガティブな結果となることもある。今、私が懸念しているのは、フランスなど一部の国が、自閉症者に「通常」の学習や社会的行動を行わせることを目的とした、強制力のある療法を提唱していることだ。これらの療法はまだ、ほかの研究分野で使われているような基準で検証されていないのである。

Dawsonの鋭い洞察力のおかげで、私の研究室は科学の最も重要な部分、すなわち「データ」に集中し続けることがで

きる。彼女にはボトムアップ型の問題解決能力があり、入手できる事実から着想を得る。利用するのはたったそれだけである。その結果、彼女のモデルは決して行き過ぎの過大解釈にならず、ほぼ完璧に正確である。ただし、彼女は結論を導くのに非常に大量のデータを必要とする。一方私は、トップダウン型のやり方を取り、少ない情報資源から一般論を導いて、いろいろ検討する。そして、ようやく構築したモデルについて、もう一度事実を検証して、モデルの妥当性を考察するのである。同じ研究グループ内にこうした2つの型の脳が併存すると、生産性は大いに高まる。

たとえ優れた科学者であっても、「出世の政治学」のしがらみのために、本意ではないことをやらざるをえない事態に陥ってしまうことがある。だが、自閉症者にとっては、データや事実だけが最も重要なものであり、そんなことには無関心だ。評判や昇進も望まず、論文を大量生産しようとしめない。むしろ、自分の優れたアイデアを論文として発表などせず、ウェブ上にさらしてしまいかねない。

2004年にDawsonは、自閉症の子どもに適用された厳しい行動療法の倫理的欠陥を詳しく述べたエッセイを、インターネット上に掲載した。それによって、自閉症者コミュニティ内や自閉症研究者、臨床医の間で名が知られるようになった。

もちろん、自閉症者がすべての職種でうまくやっていけるわけではない。社会的行動の特異性を考えると、小売業や顧客サービス業といった人間相手の領域では苦勞する場合が多いだろう。理想的なのは、自閉症者それぞれにコーディネーターがついて、自閉症者を不安にさせるような状況の打開に手を貸してくれることだろう。彼らが不安を感じるのは、計画の変更やコンピューター・トラブルといった想定外の出来事や、否定的なあらさがしなど周囲の悪意ある態度などである。

こうした留意点はあるものの、多くの

場合、自閉症者は治療以上に社会ときちんとかかわれる機会や支援を必要としている。そのことを、Dawsonをはじめとする自閉症者たちが私に教えてくれた。そして、私の研究グループだけでなくほかの研究グループも、自閉症をヒトという種の中の多型の1つと見なして研究すべきだと考えるようになっていく。こうした遺伝子の塩基配列や遺伝子発現の変化は、適応あるいは不適応のどちらかの結果を招くだろうが、彼らを矯正すべき「自然のエラー」だと言ってしまうことはできない。

文化的先進的社会というのは、同性愛者、異なる民族、障害者といった、少数派の行動や表現型をも寛容に包み込むことである。行政は、時間と費用をかけて視覚障害者や聴覚障害者に必要な物を提供し、公共機関のバリアフリー化を進め、職探しを支援してきた。同じことを自閉症者に対しても実施すべきである。

研究者も、自閉症者の障害について研究するだけでは不十分だ。自閉症者の能力や長所を明らかにし、どうやったら自閉症者が普通の環境で学習し成功をおさめることができるかを解明し、自閉症を矯正すべき障害であるかのように表現する言葉は使わないようにすべきだろう。こうすることで、研究者も社会的議論の方向性を定めるのに一役買うことができるのだ。

(翻訳：船田晶子)

Laurent Mottron は、モントリオール大学(カナダ)の教授で、自閉症認知神経科学についてのプログラム「Marcel & Rolande Gosselin Research Chair」を運営。また、Rivière-des-Prairies 病院で自閉症プログラムの主任を務めている。

- Gernsbacher, M. A. *Observer* **20**, 43-45 (2007).
- Gaffrey, M. S. et al. *Neuropsychologia* **45**, 1672-1684 (2007).
- Samson, F., Mottron, L., Soulières, I. & Zeffiro, T. A. *Hum. Brain Mapp.* <http://dx.doi.org/10.1002/hbm.21307> (2011).
- Soulières, I. et al. *Hum. Brain Mapp.* **30**, 4082-4107 (2009).
- Pellicano, E., Maybery, M., Durkin, K. & Maley, A. *Dev. Psychopathol.* **18**, 77-98 (2006).
- Heaton, P. J. *Child Psychol. Psych.* **44**, 543-551 (2003).
- Perreault, A., Gurnsey, R., Dawson, M., Mottron, L. & Bertone, A. *PLoS ONE* **6**, e19519 (2011).
- Dawson, M., Soulières, I., Gernsbacher, M. A. & Mottron, L. *Psychol. Sci.* **18**, 657-662 (2007).
- Mottron, L., Dawson, M. & Soulières, I. *Phil. Trans R. Soc. Lond. B* **364**, 1385-1391 (2009).
- Plaisted, K., O'Riordan, M. & Baron-Cohen, S. *J. Child Psychol. Psych.* **39**, 765-775 (1998).

幹細胞のバイオニアが撤退

Stem-cell pioneer bows out

MONYA BAKER 2011年11月24日号 Vol. 479 (459)

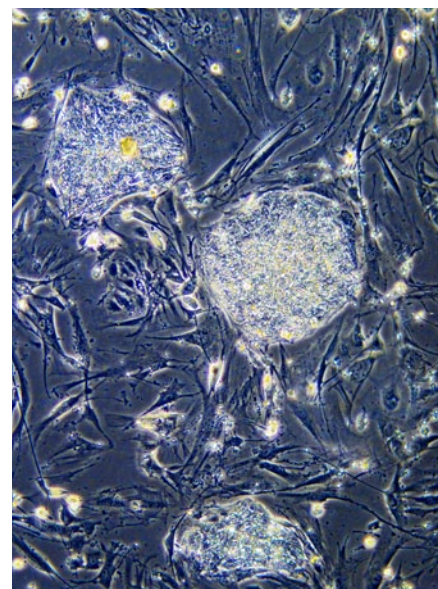
米国のジェロン社、幹細胞による脊髄損傷治療に関する臨床試験の中止を発表。

2011年11月14日、ヒト胚性幹細胞(ES細胞)の治療用製品を患者で初めて試験したジェロン社(米国カリフォルニア州メンロパーク)が、幹細胞治療法の開発から撤退すると発表した。この動きに投資家は敏感に反応し、ジェロン社は背伸びしすぎていたのではないかと疑問がわき上がった。この発表は、新薬の開発がいかに難しいかをまざまざと示すことになった。

ジェロン社の発表によると、幹細胞治療法に関する事業を中止し、今後は抗がん剤開発に注力するという。初期のジェロン社で幹細胞生物学の事業を指揮し、現在はカーペンター・グループ・コンサルティング社(米国ワシントン州シアトル)の社長を務める Melissa Carpenter は、「ちょっと悲しいですね。幹細胞治

療で、最初に商品化されると思われた製品が関門を突破できなかったとは……。本当に残念です」と話す。

ヒト ES 細胞は、体のあらゆる種類の細胞になる能力を持っているため、さまざまな疾患で損傷組織の代わりとして利用できる。ジェロン社は、その中でも、脊髄損傷の治療法の開発に着手した。これは、果敢なチャレンジだった。脊髄損傷の治療にはさまざまな種類の細胞が必要だからだ。一方では、ジェロン社が、脊髄損傷治療プログラムで他社よりも多少先行していたという見方もある。ジェロン社が当時試験していた神経前駆細胞は、ヒト ES 細胞から容易に作製することができたからである。また、資金が必要だった時期に、動物実験で華々しい成果が得られたことも、投資家にとって魅



DECO IMAGES II/ALAMY

力的だった。だが、そのような前例のない治療法の開発には、最終的にヒトで試験を行う以外に方法がない。

ジェロン社の第 I 相試験でヒト ES 細胞に由来する分化細胞が患者に注射されたのは、計画された 8 例のうちわずか 4 例にとどまった。9 月に最高経営責任者に就任した John Scarlett は、すでに参加している被験者の追跡は継続するが、新たな被験者の募集は行わない、と話す。現在、被験者 4 人のいずれにも、重篤な有害事象は認められていないが、治療が功を奏しているようすも見られない(第 I 相試験は有効性を試験するためにデザインされたものではないが)。

今回の発表を受けて、ジェロン社の株価は、2.28 ドル(約 178 円)から 1.50 ドル(約 117 円)へと、30% 以上も下落した。しかし同社は、幹細胞研究の中止によって年間 2500 万ドル(約 20 億円)が浮くことになり、資金調達を追加しなくても、2 つの抗がん剤の第 II 相試験を今後 2 年間に 6 件行うことができると見込んでいる。幹細胞療法の試験には、さらに多くの時間と資金が必要だっただろう。

これで、当局の承認を受けてヒト ES 細胞を用いる臨床試験を実施している企業は、アドバンスト・セル・テクノロジー社(ACT: 米国カリフォルニア州サン

いばらの道

ジェロン社は、幹細胞療法の臨床試験を先導したが、先駆者だからこそ、代償を支払わねばならなかった。

1990 年 11 月	Michael West がジェロン社を設立。
1998 年 11 月	ジェロン社の資金により、ヒト ES 細胞が初めて樹立・培養される。
2008 年 5 月	2 万 1000 ページに及ぶ書類を提出するも、米国食品医薬品局は、ヒト ES 細胞に関するジェロン社の臨床試験を認めないと決定。
2009 年 1 月	オバマ米大統領の就任のわずか 3 日後に臨床試験が承認。
2009 年 8 月	臨床試験が再度差し止め。
2010 年 7 月	差し止めが解除され、臨床試験が再始動。
2010 年 10 月	臨床試験で最初の患者への投与を行ったことを発表。
2011 年 2 月	長く最高経営責任者を務めた Tom Okarma が辞任。
2011 年 9 月	最高経営責任者に John Scarlett を迎える。
2011 年 11 月	幹細胞の研究開発の中止を発表。

タモニカ)のみとなった。ACTは、分化した網膜細胞による眼の変性疾患の治療をめざしている。

ACTの最高科学責任者であるRobert Lanzaは、ヒトES細胞の実用性と治療の可能性が再確認されることを投資家と患者は強く望んでいる、と言う。「このような新しい分野では、大成功が絶対不可欠なのです。そして、当社にとって、それが実用化への強い圧力となっています」とLanzaは語る。

ジェロン社の発表は、ヒトES細胞が関係する製品やプロセスの特許を認めないという司法判断がヨーロッパで下された直後だったが(*Nature* <http://dx.doi.org/10.1038/news.2011.597>; 2011)、投資銀行ロドマン・アンド・レンショー(米国ニューヨーク)のアナリストReni Benjaminは、ジェロン社の決定とは無関係だと考えている。長く最高経営責任者を務めたThomas Okarmaが2011年

2月に突然辞任したとき、おそらくすでに水面下での動きがあったと考えられ、幹細胞療法についての一般的な決定ではなく事業戦略の転換なのだ、とBenjaminは解説する。「しかし、ジェロン社が撤退したからといって、ほかの試験にブレーキがかかるわけではありません」。

ジェロン社は、ヒトES細胞を臨床試験に進めるまでに多額の投資を行った。同社は1998年のES細胞樹立につながる研究(J. A. Thomson *et al. Science* **282**, 1145–1147; 1998)に資金を提供し、ES細胞から分化した細胞を作製する方法を考案し、さらに大規模な動物試験に大量の資金を投入して、その分化細胞をヒトに使用しても十分に安全であることを示してきた。こうしたジェロン社の初期の努力のおかげで、他社は幹細胞の臨床試験を実施することができるのだ。「難易度は指数関数的に下がっています。規制当局が求めているものが明確

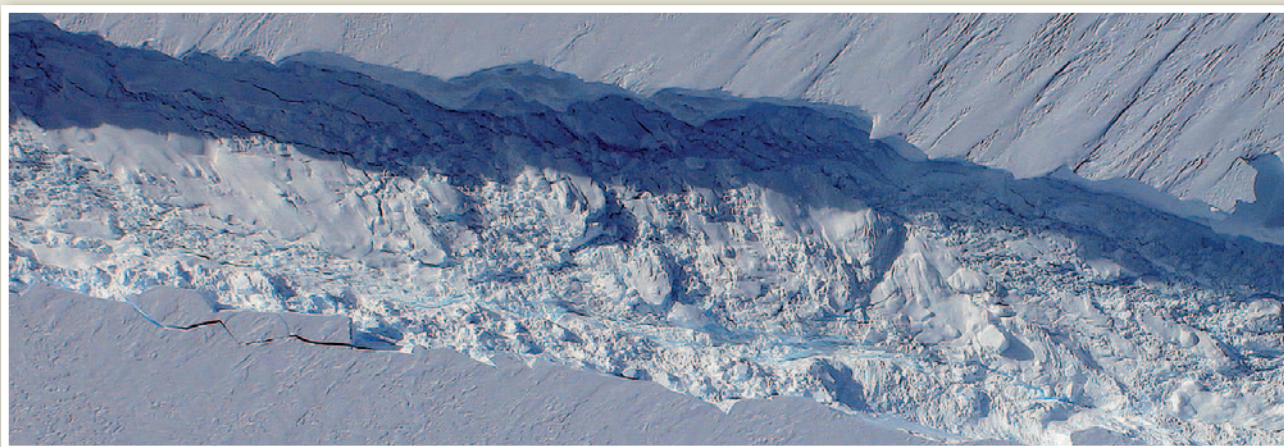
になっているのです」とLanzaは話す。

ジェロン社がこの分野に与えた恩恵は、ほかにもあるだろう。カリフォルニア大学バークレー校(米国)の幹細胞特許の専門家、Ken Taymorによれば、ジェロン社はヒトES細胞療法に関する知的財産権を広範囲に保有しており、今後同社は、幹細胞療法を開発する他社に対して積極的にライセンス供与を行う可能性があるという。

ジェロン社の決定から、どんな教訓が得られたのだろうか。1990年から1998年までジェロン社を率い、現在はバイオテクノロジー企業のバイオタイム社(米国カリフォルニア州アラメダ)の最高経営責任者を務めているMichael Westは、こうたとえる。「先陣を切って扉の前に歩み寄ってはならないのです。最初に扉を開けようとした者は、敵の矢をすべて背中に受けてしまうからです」。

(翻訳: 小林盛方)

SEVEN DAYS



NASA/DMSF

氷河はこうして生まれる

How icebergs begin

2011年11月10日号 Vol. 479 (154)

南極大陸西部の季節ごとの定期的な氷観測飛行で、大型の氷山が発生するさざしが発見された。それは、南極大陸西岸からアムンゼン海に張り出しているパインアイランド氷河に見つかった亀裂で、長さ29km以上に及ぶ。2011年10月半ば、アイスブリッジ・プロジェクトという米国航空宇宙局(NASA)のプロジェクトにより、その亀裂(写真:

幅約80m、深さ約50m)は発見された。プロジェクトの研究者によれば、最終的に棚氷から切り離されると、できた氷山の面積は約880km²になるという。

現在、パインアイランド氷河は急速に後退しており、南極大陸西部での氷の消失の大部分を占めている。

(翻訳: 小林盛方)

自律性を備えた人工細胞を創出し、生命と物質の境界を探る

「生命とは何か」という問いに物理学で答えていこうと挑戦しているのが瀧ノ上正浩・東京工業大学講師だ。生命の本質を微小空間で再現し、その挙動を数式で表す。いま挑戦しているのは、細胞の自律性を人工的に作り出すことだ。



瀧ノ上 正浩

——Nature ダイジェスト：なぜ、人工細胞を作るのですか？

瀧ノ上：生命と物質の違いを理解したいからです。生命のモデルを物質から合成することで、生命に必須な基本的特徴を明らかにしようとしています。

——合成してみるという研究方法是、生物学では珍しいのではないのでしょうか？

以前はそうだったかもしれませんが。しかし今は、分子生物学の研究が進んで生命に関する膨大な情報が得られるようになったので、それを利用して生命機能を再構成したり、設計したりするアプローチも盛んになっていると思います。

私は生命を物理学で解明していこうと考えていますが、原理に基づき設計するというのは、物理学では当たり前の手法の1つです。それにより、多様な生物に共通に見いだされる本質的な特徴を再現したいと思っています。

——生命の本質的な特徴とは？

私が着目しているのは、生命の「自律性」です。自律性とは、自分で勝手に「動く」「組み上がる」「情報処理する」といった性質のことです。生命は非常に複雑なので、一言ではその特徴を表現できないと思われそうですが、自律性は、含まなければならない必須の条件だと考えます。

——自律性をどのように解析していくのですか？

自律性はどこから生じるのだろうかと考えて、生命現象が非平衡開放系であるこ

とに着目しました。非平衡開放系とは、物質やエネルギーの流入と流出が常に起きている系ということです。人間を例にとれば、食事により栄養が体内に入り、生体反応に使用され、不要なものが体外に出ていくという系です。

このとき、入ってくるものと、出ていくものとのエネルギー差が「秩序」、すなわち自律性を生み出しているのです。

——非平衡開放系が自律性を生み出していると考えられるのですか？

そうです。ここで注意しなくてはならないのは、細胞サイズにおいては日常のスケールの法則が成り立たないことです。

生命反応が起こる場合はミクロのスケールで、その世界では、粘性や揺らぎの効果が大きくなり、マクロの世界での一般的な方程式が成り立ちません。そのため、細胞サイズの非平衡開放系の概念の導入が必要となってくるのです。

生物物理学とマイクロ流体工学で挑む

——現在、自律的な人工細胞の研究はどこまで進んでいるのですか？

私の研究には、3つの柱があります。細胞内の分子システム、細胞の反応容器の作製、細胞自体の運動です。

細胞内の自律的な分子システムとしては、例えば大学院時代の研究ですが、2つの情報（RNA分子）が入力されたら、1つの情報（RNA分子）が出力される人工的な生化学反応を試験管内で作製しました。具体的には、核酸やタンパク質、ATP（エネルギー）などを混合し、

RNAの合成反応回路が自動的に進行する反応系です。反応を方程式で記述し、挙動を予測することもできました¹。

——では、自律的な反応容器は？

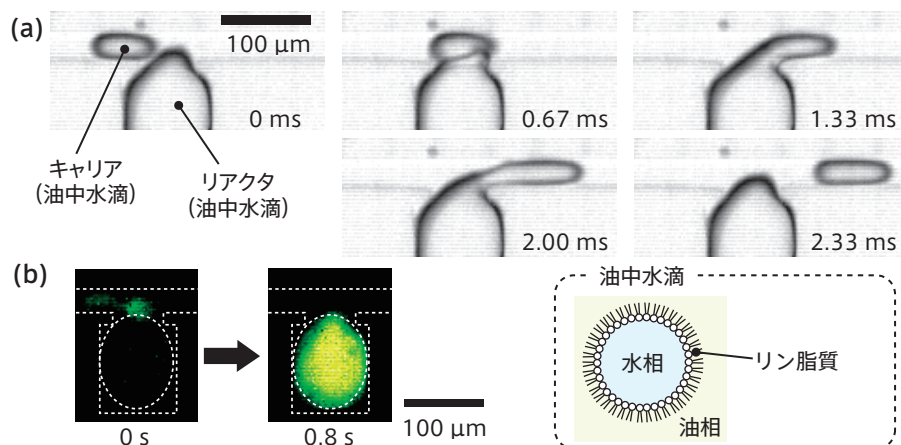
人工細胞の反応容器として油中水滴を用いました。その名のとおりに、油の中に存在する水滴です。各水滴が反応容器に相当します。ただし、油中水滴は閉鎖系なので、持続的な自律性を作り出すために非平衡開放系とする工夫が必要です。

そこで油中に水滴を流し、2つの水滴が、くっついたり離れたりするようにしました。水滴が融合すると、拡散により内容物の移動が起こるのです。これを連続的に繰り返すことで、水滴に物質の出入りが起こりうる状態を作り出せました。

——シンプルな方法ですね。

単純ですが、今までなかった発想です。初期生命が複雑な方法で非平衡性を獲得していたとは考えにくいので、単純なほうがいいと思います。具体的には、マイクロ流体工学の技術によりシリコン樹脂に微小な流路を作製し、油を流します。その流れに乗って水滴が運ばれ、水滴同士が接触すると融合が起きるが、その後、流れの圧力により分裂するという仕組みです^{2,3}。融合は電圧で制御できます。物質の流入は微分方程式で表せ、濃度の経時変化を予測することができました。

今後は、この反応容器に入れる分子システムを工夫し、非平衡開放系の反応システムをもっと詳細にデザインしていきたいと考えています。



細胞サイズの非平衡開放系の反応容器。(a) 移動キャリア水滴と固定リアクタ水滴は、電圧がかかっている条件下では、接触した際に融合するが、すぐに油に押し流されて分裂する。(b) その際、キャリアの内容物（黄緑色）がリアクタ内に拡散する。右下の図のように、水滴の周囲はリン脂質の層で覆われている。

——では、細胞の運動は？

油中水滴に電圧をかけて実験していたことでした。2つの電極に一定の直流電圧をかけ続けると、水滴が電極の間でくるくる回転運動を見せたのです。よく見ると、水滴は2つの電極に交互に近づいたり離れたったりして動いていました。

理論を基に解析した結果、細胞サイズの誘電体の場合、電荷が静電気のような形で注入され、電荷の出入りが起こるという原理がわかってきました⁴。

そこで、この原理を利用して、細胞サイズの誘電体ビーズが方向性をもって運動するように設計してみました。複数の電極を斜めに設置し、そこに、誘電体を多数入れてみたのです。すると、予想どおり、誘電体が一定の方向に、しかもゴミなどの障害物は回避しながら動いていくことが確認できました⁵。

それは、なだらかな連続

——今後の研究は？

当面は現在の研究成果を発展させますが、将来は、細胞のような自律性を構築する方法論を確立させたいです。

方法論が確立できれば、例えば、メンテナンスフリーの自律的なデバイスや治療方法の開発など、さまざまな応用が考えられるでしょう。

——方法論の確立ですか？

物質から自律性ができてくるのは本当におもしろいでしょう。この分野を基礎科学の1つにできたらいいなと考えているのです。そうれば、誰もが利用できるようになると思います。そのためにも、方法論の確立が望まれます。

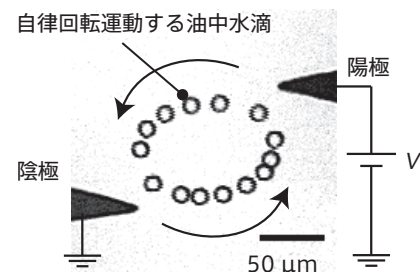
——研究上大切に思っていることは？

現象の理論化・数式化は重要ですが、実際に実験で確認したり構築したりすることが、私自身は重要と考えています。対象に接することで発見できるものも多いですから。また、異なる領域の学問や技術を融合させることも、新たな概念や発想を得るうえで大切な方法だと思っています。

——若い人のご指導も熱心ですね。

私は学生の頃から「細胞を創る会」という学際的な研究会に参加しています。細胞機能の再構成・設計をめざすこの会で、私はずいぶん成長することができました。今は私がそのお返しをする番です。

今年は、ハーバード大学で開かれた大学生対象の生体分子をデザインする国際コンテスト (BIOMOD) に、私の所属する東工大の有志学生を指導して参加し、準優勝しました。学生を指導する中で、私が刺激を受けることも多いです。



水滴1個の自律的な回転運動の図は、その時間経過を追った軌跡。1回転は約5秒。

——今、生命と物質との境界を、どのようにとらえていますか？

生命の定義は簡単ではありません。いったい何を作ったら「生命」を作ったといえるか——回答は容易ではないでしょう。今後もずっと得られないかもしれない。

しかし、生命を構成する分子集合体と、非生命を構成する分子集合体は、なだらかにつながっているという印象を、私は抱いています。そして、人工細胞を創出しようとする試みの中で、ある自律的な生命システムの1つの形に近づくことはできるだろうと考えています。

——ありがとうございました。

聞き手は藤川良子（サイエンスライター）。

1. Takinoue M, et al., *Phys Rev E*. (2008) 78: 041921
2. Takinoue M, et al., *Small*. (2010) 6: 2374-2377 (cover of the issue)
3. Takinoue M, et al., *Anal Bioanal Chem*. (2011) 400: 1705-1716
4. Takinoue M, et al., *App Phys Lett*. (2010) 96: 104105
5. Takinoue M, et al., *Proc MEMS2011*. (2011) 1173-1176

AUTHOR PROFILE

瀧ノ上 正浩（たきのうえ まさひろ）

東京工業大学大学院総合理工学研究科知能システム科学専攻講師。2002年、東京大学理学部物理学卒業、07年、東京大学大学院理学系研究科物理学専攻博士課程修了・博士（理学）、08年、京都大学大学院理学研究科物理学教室博士研究員、09年、東京大学生産技術研究所特任助教、11年より現職。11年、JST さきがけ「細胞機能の構成的な理解と制御」研究者。

量子力学

動的カシミール効果を初めて検証！

Shaking photons out of the vacuum

DIEGO A.R.DALVIT 2011年11月17日号 Vol. 479 (303-304)

物体の加速度運動に伴って量子真空から光子が生成する現象を、動的カシミール効果と呼ぶ。

今回、鏡が超高速で動くのと同様の仕組みを、超伝導回路を利用した実験で実現し、この効果を初めて実証した。

量子論によれば、真空は、生成と消滅を絶え間なく繰り返す仮想粒子で満たされている。この真空のゆらぎは、カシミール効果¹など、測定可能な現象をも引き起こす。この（静的）カシミール効果とは、仮想光子が静止物体に及ぼす圧力によって生じる現象だ。一方で、1970年、Gerald Moore²は、加速度運動する物体が、量子真空の揺らぎから本物の光子を生成させるという理論を提唱した。これが“動的”カシミール効果だ。今回、*Nature* 2011年11月17日号376ページにおいて、Wilsonらは³、振動する鏡と同じ状況を作り出す実験系を、超伝導回路を用いて考案し、この動的カシミール

効果を初めて実証したと報告した。

加速された物体は量子真空のゆらぎを変化させ、真空から光子対を放出する⁴とともに、物体の運動エネルギーを散逸させる。エネルギー保存の法則から期待されるとおり、この散逸する運動エネルギーは、真空から放射される電磁エネルギーの総和に等しい。動的カシミール効果は、当初、1枚の機械的な鏡が真空中を加速度運動するときに生じる現象として予想された。その後、光子の生成率をもっと高くなるような形に拡張されて、例えば、2枚の鏡を平行に置いて空洞を作り、一方の鏡の位置を時間的に振動させるような形が一般的になった。

動的カシミール効果は、システムを機械的に運動させて起こすわけだが、問題は、散逸するエネルギーも、それに伴う放射も、ともに非常に小さいことである。そこで、システムを光速に近い速度で運動させる必要性が出てくる。しかしそれは不可能なので、それと同じ効果が得られるような実験系が、これまでいくつか提案されてきた。最初に提案されたのは、屈折率が時間とともに急速に変化する非線形光学媒質を使った実験だった⁵。

実際になされた別の実験⁶では、半導体で層状構造の壁を作り、これで動く鏡に相当する仕組みを実現した。外部からレーザーを照射し、壁の電気伝導率を周期的に変調したのである（鏡を動かすことに相当）。このような実験系は、実際に振動する鏡とよく似ている。

今回のWilsonらの実験³は、別の提案⁷に基づいている。微細加工技術で基板上に導波管（マイクロ波を伝送する長方形断面の金属管）を作り、その片端を、超伝導量子干渉素子（SQUID）という非常に高感度の磁力計で仕切ったのだ。この方法では、SQUIDを貫く時間依存性の磁束が、導波管内の電磁場を変調する。言うなれば、動く鏡の代わりにSQUIDが置かれたと考えればよい。大きな鏡を動かすわけではないので、実効速度は光速の数分の1という速さになった。

動的カシミール効果があろうとなかろうと、光子はあらゆる有限の温度で存

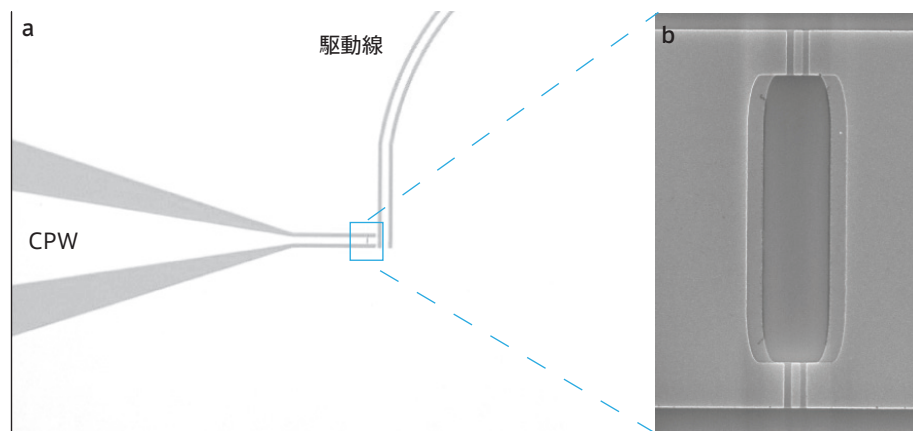


図1 実験系

動的カシミール効果が実証された実験系。aは光学顕微鏡で見た全体像で、暗い部分はシリコンで、明るい大部分のところはアルミニウムで作られている。上方から来ているのが駆動線で、左方向に出力するのがCPW（コプレナー導波路）。この部分の左右の長さは0.1mm。両者の交差部分にSQUIDが置かれている。bがその走査電子顕微鏡写真。

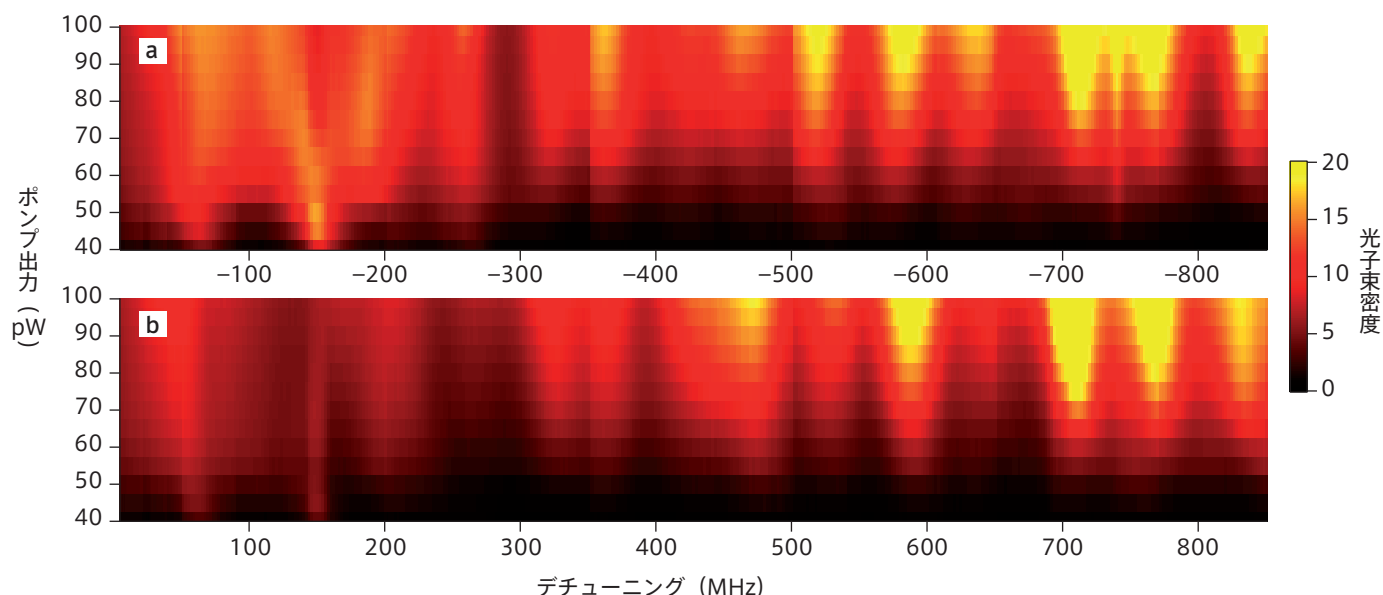


図2 光子対の発生

CPW の長さを 43mm にして作った別タイプのサンプルで、駆動線に 10.3GHz 信号を送ったときの出力。SQUID の動きによって光子対が発生するが、理論によれば、それぞれの周波数は、ある周波数に対してプラスとマイナスの方向に同じ周波数だけずれて発生する。それを見ているのが a と b のチャートで（両者の横軸が正負になっている点に注目）、2 つはきれいに相関しており、対称的な特徴を示している。

在することができる。そこで、真空から生成した調べたい光子と、これらの光子を区別する必要がある。Wilson らは、実験装置を約 50 ミリケルビン (mK) 以下の極低温まで冷却し、システムができるだけ真空状態に近づくようにした。このような極低温環境では、残っている熱光子の数が非常に少なくなる。この状態で SQUID を貫く磁束を時間変化させると、動的カシミール効果によって真空中から光子が生成したのである。測定部を導波管の開放端（もう片方の端部）に置き、生成した放射の強度と周波数を、ポンプ（励起）強度と周波数の関数として求めた。

Wilson らが検出した放射のエネルギースペクトルは、広いマイクロ波周波数域に及んでおり、仮想の鏡が持つはずの振動数の半分付近を中心に、対称的な形を示した。動的カシミール効果では、光子は対になって生成し、その周波数の和は鏡の振動周波数と等しくなる。したがって、測定されたスペクトルは、まさに、動的カシミール効果によって生成する光子のスペクトルとよく一致したわけ

である。光子の強度とポンプ強度の比も、理論的予想とよく合っていることがわかった。さらに、Wilson らは、出力ポートにおける光子の相関についても測定した。その目的のために、出力された光子の信号を 2 つの別々の分析回路に分けて、特異的な相関を検出した。こうした相関は、光子生成過程が量子的なものであることを示しており、動的カシミール効果のもう 1 つの特徴である。

こうした測定で常に問題となるのは、観測された光子が、動的カシミール効果とよく似た結果をもたらす別の過程で生じた可能性である。Wilson らは、そうした系統的な可能性をいくつも考え、1 つ 1 つ除外していった。例えば、導波管基板の電磁的特性や SQUID の電子的特性における非線形性が、パラメトリック下方変換という過程により、出力ポートで光子を生成させる可能性が考えられた。けれども著者らによれば、実験に用いたポンプ強度は、そうした非線形過程を引き起こすのに必要なレベルより明らかに低いという。

また、非線形過程が起きていない場合

であっても、量子真空の揺らぎではなく実験装置の制御不可能な雑音（熱雑音など）によって光子が供給される可能性がある。しかし、著者らは 50mK（ミリケルビン）と 250mK という 2 種類の温度で出力光子束を測定し、その信号が、熱的ゆらぎではなく量子的ゆらぎに支配されていることを確認した。

今回、Wilson らにより動的カシミール効果が実証されたことは、現在進められているほかの実験や理論研究とともに、基礎物理学に大きなインパクトを与える可能性が高い。膨張宇宙における素粒子の生成やブラックホールの蒸発などが、机の上で実験可能になるかもしれないのだ。

（翻訳：三枝小夜子）

Diego A.R. Dalvit は、ロスアラモス国立研究所（米国ニューメキシコ州）理論部門に所属。

1. Casimir, H. B. G. *Proc. K. Ned. Akad. Wet.* **51**, 793-795 (1948).
2. Moore, G. T. *J. Math. Phys.* **11**, 2679-2691 (1970).
3. Wilson, C. M. et al. *Nature* **479**, 376-379 (2011).
4. Fulling, S. A. & Davies, P. C. W. *Proc. R. Soc. Lond. A* **348**, 393-414 (1976).
5. Yablonovitch, E. *Phys. Rev. Lett.* **62**, 1742-1745 (1989).
6. Braggio, C. et al. *Europhys. Lett.* **70**, 754-760 (2005).
7. Johansson, J. R., Johansson, G., Wilson, C. M. & Nori, F. *Phys. Rev. Lett.* **103**, 147003 (2009).

界面化学

ミステリアスな金の表面

Gold's enigmatic surface

ROBERT J. MADIX & CYNTHIA M. FRIEND 2011年11月24日号 Vol. 479 (482)

金はかつて考えられていたほど不活性ではない。金を使って分子合成を促すことができる。

飽和炭化水素から一次元ポリマーの形成を誘導する金のようなすを、走査トンネル顕微鏡がとらえた。

炭素-炭素結合形成反応は、例えばポリマーなど、特定の構造と特性を持つ分子を作るために利用されている。ところが、出発物質として飽和炭化水素(アルカン)を使用すると、この反応は非常にやっかいになる。分子内の強い炭素-水素(C-H)結合を最初に切断しなければならず、厳しい反応条件が必要になることが多いからだ。一般的に、反応条件が厳しいと、分子内の特定のC-H結合を切断することが困難になり、炭素-炭素結合が形成される場所を選択的にコントロールすることが難しくなる。このたび、Zhongら¹は、金の表面にアルカンが吸着すると金の一次元チャンネルの構造が変化することを *Science* に報告した。このチャンネルが、アルカンの末端もしくは末端近傍でのみ炭素-炭素結合が形成するよう重合を誘導する、つまり、金表面でアルカンモノマー鎖の末端あるいは末端付近が選択的に反応してポリマーが形成されるというのだ。

この結果は意外に思えるかもしれない。金は昔から化学的に不活性と考えられてきたからだ。しかし、最近の研究から、金表面は不活性ではないことが示されており、現在では自己集合単分子層の支持表面として金表面が用いられている²。さらに、例えば酸素原子が金と結びつくことによって、金の表面で特殊な反応中心が形成される。この現象をきっかけに、炭素-酸素結合や炭素-窒素結合を形成する金触媒反応の開発が進

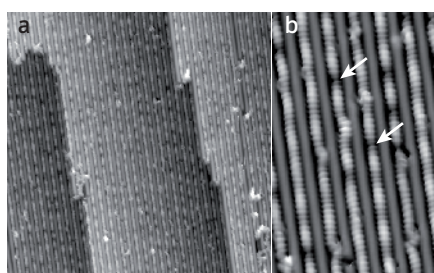


図1 金の表面で起こる重合

(a) この顕微鏡写真(両辺の長さは50nm×50nm)では、金表面の溝に沿ってポリマー鎖(明るい線)が平行に並んでいる。(b) この図(両辺の長さは9nm×13nm)は、より高い倍率でポリマー鎖を示している。矢印は、ポリマー直下の金原子の列にすき間があることを示している。これらのすき間は重合反応中に形成されるが、欠けた原子の役割については不明である。

み³⁻⁵、化学工業で重要な低分子量化合物の形成を選択的に触媒するために利用されている⁶。金を反応促進に用いるメリットは、反応中心が存在しないところでは、ほかの一般的な触媒金属を用いるよりも化学結合が切断されにくいことである。つまり、表面で主反応が始まったとき、生成した中間体化学種が副反応に参加しにくく、形成される生成物の種類をうまくコントロールできるのだ。

今回の反応¹は、こうした効果を利用して高分子量化合物を合成したよい例である。Zhongらは、実験結果が2つの原則に基づくと考えた。「C-H結合が切断されるほどの高温になっても、高分子量アルカンは金表面に結合したままであ

る」という第一の原則と、「アルカンのC-H結合が切れてアルキル中間体が金表面に形成されると、隣り合ったアルキル基どうしの再結合が生じてポリマー鎖が生成する」という第二の原則だ。

金属状態の金によるC-H結合の切断は、よく報告されている。例えば、金表面に結合したブチル基($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2$)は、280 ケルビン (K) でC-H結合開裂が起こり、ブテン($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}_2$)が生成する⁷。また、金と結合した t -ブチルチオール($(\text{CH}_3)_3\text{CSH}$)の末端C-H結合は、490 Kで切断される⁸。さらに、アルカンは、主としてファン・デル・ワールス相互作用によって貴金属表面に結合する。このことは、アルカン鎖の炭素原子の数(ひいては分子量)とともに結合強度が増加することを意味している。金からのアルカンの脱離に必要な温度は測定されていないが、グラファイトからの長鎖アルカン $\text{C}_{32}\text{H}_{66}$ の脱離に必要な温度は550 Kであることが知られている⁹。アルカンとグラファイトとの結合力は、アルカンと金との結合力と同程度なので、金からの $\text{C}_{32}\text{H}_{66}$ の脱離に必要な温度を推定できる。したがって、Zhongらの推測どおり、C-H結合開裂が起こる温度ではアルカンは金表面に結合したままであることが明らかである。

第二の原則を裏付ける証拠もある。加熱すると、隣り合うアルキル基(臭化アルキルという化合物に由来する)どうしが金表面でカップリングしてアルカン

を形成することが、過去に報告されているのだ⁷。さらに、走査トンネル顕微鏡を利用した別の研究からは、金表面上で大きく複雑な有機分子フラグメントどうしの間で炭素-炭素結合が形成され、非常に規則正しい表面構造が得られることが明らかになった¹⁰。したがって、総合的に見て、2つの原則から Zhong ら¹の反応を予測できることは、十分理解できる。

Zhong らの研究の最も興味深い側面は、金表面の溝に沿って長鎖アルカンが整列することと、それに伴って溝を広げようとして表面構造が再組織化することであろう。この長鎖アルカンの整列が、末端 C-H 結合の選択的開裂のカギであり、生成するアルキル基のカップリングを促進するのかもしれない。そのような分子整列には先例がある。アセチレン ($\text{HC} \equiv \text{CH}$) が銀表面に結合した酸素と反応すると、吸着モノマーが生成する。次に、炭素-炭素三重結合が溝にはまり込むようにして、吸着モノマーが重合する¹¹。銀と金は周期表で同じグループに属し、

同じ表面構造を持つ。今回の発見によって、金表面と銀表面の化学的挙動には共通性があるという証拠が1つ追加されたのである。

しかし、銀と金の挙動には大きな違いもある。銀に関する過去の研究¹¹では、各モノマーが銀原子を介してつながっており、結果としてポリマーは $-(\text{C}-\text{C}-\text{Ag})-$ という繰り返し原子モチーフから形成される。今回得られた金表面のポリマーの走査トンネル顕微鏡像では(図1)、金原子がモチーフに組み込まれるようすは観察されなかった。しかし、Zhong らは、反応中に金原子が消失してできた空孔を観察している。この消えた金原子の行方と重合過程での役割は、まだ明らかになっていない。一見したところ、この結果からは、表面を再構成する力は、並んだ金原子とポリマーとの相互作用によってもたらされるようである。

今後さらなる実験的・理論的研究を行って、重合に関する2つの重要ポイント、つまりチャンネルにはまり込んだア

ルカンの役割と表面再構成の役割を明らかにすべきである。おそらく、分子がチャンネルにはまり込むことによって、金表面の端沿いの金原子が、アルカン鎖の末端 C-H 結合に到達しやすくなるのであろう。分子動力学シミュレーションに加えて、分子構造とアルカン鎖の長さを変えた実験を行えば、これらのポイントが明らかになり、この興味深いカップリング反応に関する理解が深まるであろう。■

(翻訳：藤野正美)

Robert J. Madix、ハーバード大学工学・応用科学大学院。
Cynthia M. Friend、スタンフォード大学 SLAC 国立加速器研究所。

1. Zhong, D. *et al.* *Science* **334**, 213–216 (2011).
2. Bain, C. D. *et al.* *J. Am. Chem. Soc.* **111**, 321–335 (1989).
3. Xu, B., Zhou, L., Madix, R. J. & Friend, C. M. *Angew. Chem.* **111**, 404–408 (2010).
4. Wittstock, A., Zielasek, V., Biener, J., Friend, C. M. & Bäumer, M. *Science* **327**, 319–322 (2010).
5. Angelici, R. J. *J. Organometallic Chem.* **693**, 847–856 (2008).
6. Christensen, C. H. & Nørskov, J. K. *Science* **327**, 278–279 (2010).
7. Paul, A., Yang, M. X. & Bent, B. E. *Surf. Sci.* **297**, 327–344 (1993).
8. Jaffey, D. M. & Madix, R. J. *J. Am. Chem. Soc.* **116**, 3012–3019 (1994).
9. Paserba, K. R. & Gellman, A. J. *Phys. Rev. Lett.* **86**, 4338–4341 (2001).
10. Grill, L. *et al.* *Nature Nanotechnol.* **2**, 687–691 (2007).
11. Guo, X.-C. & Madix, R. J. *Surf. Sci.* **56**, 21–28 (2004).



NEW FROM NATURE PUBLISHING GROUP:

Scientific Reports は、自然科学（生物学、化学、物理学、地球科学）のあらゆる領域を対象とした一次研究論文を扱う、オープンアクセスの電子ジャーナルです。

***Scientific Reports* では、論文を募集しています。ぜひ、ご投稿ください。**

オープンアクセスサービスを提供するため、査読、制作、オンラインホスティング、アーカイブ作成を含む ARTICLE PROCESSING CHARGE (APC) を承ります。詳細については、Web サイトをご覧ください。

www.naturejpn.com/srep

 nature asia-pacific

福島第一原発事故：科学者の声を政府に

Critical mass

2011年12月15日号 Vol. 480 (291)

日本政府に対して独立の立場から助言をする科学者の声がないことが、福島第一原発事故に直面して決定的な問題となっている。

福島第一原子力発電所事故から9か月以上が経過したが、そこで何が起きたのか、根本的な疑問は答えられないまま残っている。これらの答えが与えられないかぎり、日本はもちろん、世界の国々も、何がいけなかったのか、今、何をすべきなのか、今後、同様の事故を防ぐためにはどうすればよいのかを知ることとはできない。*Nature* 2011年12月15日号では、Commentのセクションで、日本の2人の政治家（うち1人は元首相）による懸念と提案を掲載した(http://nature.asia/nature_comment)。

福島第一原発を運営していた東京電力は、10月末になって、ようやく黒く塗りつぶしていないマニュアルを公表したが、それは、不測の事態への備えがどれだけ手薄であったかをさらけ出した。このような状況は、以前から日本が抱えている問題、すなわち、独立の立場から政府に強く助言する科学者の声がないという問題と深く関係する。そのような声があれば、今回の事故の場合も、住民の避難、医療支援、放射能スクリーニング、除染の実施にあたって役に立った可能性がある。

日本政府は、ここ数十年間、厄介な科学的概念が絡む難問題に直面するたびに、その責任を官僚や政治家に押しつけてきた。しかし、彼らの多くは問題をよく理解できず、問題を隠蔽して過ぎ去るのを待つという悪手を打ってしまった。これはまさに政府がしてはならないことだ。

1950年代から1960年代の水俣病問題（海に流された工場廃液により多数の有機水銀中毒患者が発生）、1990年代の薬害エイズ問題（HIVに汚染された血液製剤の使用により多数のHIV感染者が発生）、2000年代初頭のBSE問題などがその例だ。福島原発事故でも同じ轍を踏んだ。例えば、シミュレーションから放射性物質の拡散が予想されていたにもかかわらず、パニックが広がることを恐れて警報を出さなかった。これにより、防げたはずの住民まで被曝した可能性がある。

日本政府は、福島第一原発事故に関する科学的な情報の多くを、経済産業省の原子力安全・保安院と、原子力安全委員会という2つの機関から得ていた。どちらも原子炉の物理学に関する専門知識は持っていたが、原子力産業とのつながりもあって、利益相反を生じていた。そして、政府が迅速な決定を行うための実際のかつ機敏な情報源になることができなかった。政府は、こうした点を認めて、原発のモニタリングと安全規制機能を、環境庁の外局として新たに発足させる原子力安全庁に移管することにしたが、その有効性は証明されていない。

日本政府は、科学者との間に、もっと太く、恒久的なパイプを持ち、その助言に耳を傾けるようにしなければならない。今回の事故は、彼らに将来の有事の際に迅速かつ果断に行動できるような組織作りの必要性を痛感させたはずである。

日本はまず、米国や英国などに倣っ

て、科学顧問を置くべきだ。5年前にも科学者を内閣特別顧問に任命し、同じシステムを作ったと宣言したことがあった。しかし、科学に関する広範な問題について助言する本来の科学顧問とは異なり、イノベーションの促進を使命としていたうえ、試み自体もわずか2年で終わってしまった（*Nature* 443, 734-735; 2006）。現在、日本政府に科学顧問はいない。日本学術会議に米国科学アカデミーのような役割を持たせようとする動きもあるが、実現には至っていない（*Nature* 428, 357; 2004 参照）。

科学者は、ある状況に関して、既知の事実を人々が理解する介添人となることができる。もっと重要なのは、「知らないこと」を理解させる助けとなることだ。確実なことが言えないとき、科学者は、それに伴うリスクを市民に理解させ、政府が説得力ある明瞭な言葉で説明する手伝いができる。

公平で、政治と無関係の視点から説明できる科学者は、たとえ状況が変わって当初の評価を覆さざるをえなくなったとしても、その政治的思惑を勘ぐられるおそれは小さい。科学者は、国民には不評だがどうしても必要な決断をせざるをえない政治家を擁護することもできる。政治的に任命された科学顧問なら、政治家との間に個人的信頼関係を築くことも可能であろう。

日本は、もっとうまくできる。日本人は現状に甘んじてはならない。 ■

（翻訳：三枝小夜子）

エジプトとリビアにおける文化遺産の再興に向けて

The heritage trail

2011年11月24日号 Vol. 479 (445-446)

エジプトとリビアは歴史的遺産に目を向けて、安定した国家の建設に役立てるべきだ。

2011年11月末、カイロ（エジプト）の街路は再び火に包まれ、ターリル広場は抗議行動の参加者であふれた。「アラブの春」が花開くにはまだ長い月日が必要であろう。不確実性は革命の特徴の1つであり、リビアでの勝利を手にした人々も今後そのことを思い知らされるはずだ。このような状況下では、考古学への関心が低いのは仕方ない。

それでも、エジプトとリビアには豊かな考古学的遺産があり、それが国家の再建に役立つ可能性があることを忘れるべきではない。両国の文化的遺産は規模が大きく、「野外博物館」とも言えるものだ。エジプトの遺産は、約3000年前の安定した古代文明を垣間見せてくれる。一方、リビアの考古学的遺産は、複数の文化が混ざり合った独特なもので、西部に古代カルタゴとローマ文化、東部にギリシャとエジプト文化、南部にベルベル文化の各遺産が分布している。さらに、両国にまたがる砂漠には、世界で最大最古の先史時代の岩絵群、サハラ文明の手がかり、そしてアフリカとヨーロッパ間の人類移動の痕跡がある（<http://dx.doi.org/10.1038/news.2011.132>）。

現在、国内外の考古学者はこうした遺産での研究活動に復帰できていない。それに不満を感じていながら、考古学や文化遺産への注目を高めることに消極的なのは問題だ。両国での革命は、従来の制度や実務のあり方を変革する絶好のチャンスである。確かに、エジプトとリビアでの考古学の復興は一朝一夕に実現する

ものではないが、そのための準備を始めるのに早すぎることはない。いずれ治安が安定し、外国の研究者がエジプトとリビアに戻ってくる頃には、国内外の研究者による共同研究を再開しなければならないからだ。

エジプトでは、暴動が急増する前から研究者にとって不安定な状況が生じていた。現在の課題は、それまで相当程度にうまく機能していた考古学当局の活動を再開させることだ。観光客の数は、今後数年以内に元に戻る見込みはなく、エジプト考古学の資金源枯渇状態は続く。しかし、基盤は強固であり、長期的見通しについて悲観すべき理由はほとんどない。

これに対して、リビアの考古学関連のインフラは、文化遺産の規模や多様性に見合っているとは到底言えない（<http://dx.doi.org/10.1038/nature.2011.9396>）。カダフィ政権は、考古学を植民地主義の名残とみていたが、その42年にわたる支配が終わって、リビアの研究者は、根本的な転換がもたらされることを期待している。

国民の支持と政治的支援を得るには、学校をはじめとして、遺産の周辺で居住し、あるいは働いている人々、政界、産業界の関係者など、国民各層に対して、リビアの文化遺産の重要性を教育する必要がある。それと、国内の考古学を改革、発展させ、若手の考古学研究者を海外に送って最新技術を研修させる必要がある。

それが実現するまでの間は、国外の研究者による助力が不可欠だ。リビアの文化遺産は、当面、住宅建設やインフラ整備や石油産業の再建ブームなどから脅威にさらされる。外国人研究者は、これらに対抗する重要な役割を担うべきである。リビアにとっての喫緊の課題は、全国調査を行って、すべての遺産の地図を作成し、その収蔵品をデータベース化し、特に遺産の集中する地域は国立公園化して保護することだ。これまでリビアの考古学当局は、そうしたことをまったく行っていない。かつてNATOは、リビアの最重要遺産を空爆しないためにGPS座標リストの提出を要請したが、リビアにはそのようなリストは存在せず、世界中の研究者が力を合わせて、大まかなマップを作成したことがあった。

リビアの革命は、NATO、特にフランス、英国、米国の外交的勝利である。研究者がリビアでの文化管理のために賢明な提案をすれば、カダフィ政権の転覆に助力した世界の政治家から政治的支援を受けられるかもしれない。また、リビア国内で操業する石油会社も、各種プロジェクトに資金を提供し、遺産の保全に寄与すべきである。

リビアとエジプトの新しいリーダーは、流動状態の国家を引き継いだわけだが、国民とともに共通の目標を策定する必要がある。文化遺産の保護・発展にプライドを持つことも、そのための小さな一歩となるにちがいない。

（翻訳：菊川 要）



Volume 480
Number 7375
2011年12月1日号

臓器を作り出す：胚性幹細胞から機能を備えた下垂体組織へ

ORGANIC GROWTH: Functional pituitary tissue from embryonic stem cells

三次元細胞培養系が開発され、マウス胚性幹（ES）細胞から、きちんと機能する下垂体組織が作られた。まず ES 細胞が分化して層構造ができ、そこから 2 種類の組織が並置する状況で発生が進んだ。これは *in vivo* で見られる局所的な組織相互作用とよく似ている。次いで、副腎皮質刺激ホルモン産生細胞や成長ホルモン産生細胞を含む内分泌細胞が作り出された。副腎皮質刺激ホルモン産生細胞は、副腎皮質刺激ホルモン放出ホルモンに応答して、副腎皮質刺激ホルモンを効率よく分泌した。この下垂体組織を下垂体機能不全モデルマウスに移植したところ、致死的なホルモン欠乏が解消された。この研究により、主要な内分泌疾患である下垂体機能不全（シーハン症候群や下垂体卒中など）に対して、再生治療の道が開かれた。表紙は発生中のマウス下垂体前葉で、胚性 13 日齢で Pitx1（赤）が発現しており、R_x⁺ の視床下部（緑）から伸びた神経下垂体と接触している。

医学：組織損傷を感知する

Sensing tissue injury

市販の傷消毒薬に含まれていることが多い過酸化水素（H₂O₂）は、損傷を受けた組織で産生され、創傷治癒を促す免疫細胞である好中球を誘引することが知られている。だが、免疫細胞が傷から分泌された H₂O₂ を感知する仕組みはわかっていなかった。今回、Src ファミリーキナーゼの Lyn が初期の好中球動員を媒介する酸化還元センサーであることが突き止められた。H₂O₂ に暴露されると単一システイン残基の直接的な酸化が起こるが、これが Lyn には不可欠であり、Lyn の阻害は好中球の創傷部位への動員を低下させる。

宇宙：クリスマス γ 線バーストに関する異なった見解

Two views of Christmas γ-ray burst

2010 年 12 月 25 日に起こったためにクリスマス γ 線バーストと呼ばれる GRB 101225A は、スイフト観測衛星が検出したきわめて異常な現象だ。このバーストは、典型的な減衰傾向を示さずに長期間持続し、なのに X 線残光

は急速に消失して、スペクトルは不規則だった。今週号の 2 編の論文は、こうした不可解な性質に対して、全く別の説明を与えている。S. Campana たちは、彗星が中性子星に衝突したことが爆発現象の原因だとしている。一方、C. Thöne たちはより通常的な超新星機構を考えていて、ヘリウム星と中性子星の合体が関係しているとしている。



1.7 hours 5 days 18 days 180 days

地球：サンアンドレアス断層における流体の役割

Meeting of the ways on the San Andreas fault

カリフォルニア州パークフィールドとコラメの付近で非火山性微動が観測されている。M. Becken たちは、この近くのサンアンドレアス断層をまたぐ形で、地磁気地電流法による測定を実施した。電気抵抗の構造を画像化したものを見ると、断層が塑性変形した部分（クリープ）に移動してきた流体は、非火山性微動を刺激しているマントル最上部と同じ領域にあるようだ。また、断層に沿った微動活動や大きさの変化は、下部地殻と上部マントルの強度変化と関連があり、これは、高い流体圧力が断層弱化的原因となるという仮説と一致する。今回の研究は、サンアンドレアス断層のいくつかの領域が大きく破壊的な地震を起こしやすいのに、ほかの領域では害の少ないクリープとしてエネルギーが解放されている理由を説明できるかもしれない。

進化：脂肪と脳の大型化との関係

Fat is a cognitive issue

エネルギー供給量の点からみると、脳という臓器を稼働させるには多くのコストがかかる。では、どうやって、ヒトは体のサイズが同程度の霊長類より、はるかに大きな脳を備えることができたのだろうか。その説明として広く支持されているのが、不経済組織仮説である。この仮説では、脳のサイズと、エネルギー論的にコストのかかる不経済なほかの臓器、特に消化管の重量との間にトレードオフ関係があると考えられる。今回、哺乳類 100 種を調べた研究で、そのようなトレードオフ関係は見いだされず、不経済な組織がエネルギーをめぐって争うという考え方は否定された。ただし、脳のサイズと、脂肪組織の形で貯蔵されるエネルギー量との間には、負の相関が認められた。ヒトの脳の大型化を促したのは、エネルギー投入量の安定化と、運動・成長・生殖からのエネルギーの振り替えではないか、と研究チームは考えている。



Volume 480

Number 7376

2011 年 12 月 8 日号



Podcast



おまえの顔がもっとよく見えるようにね…：カンブリア紀の海にいた最上位捕食者のすばらしい眼



ALL THE BETTER TO SEE YOU WITH...: The remarkable eyes of the Cambrian ocean's top predator

長さ 1 m にもなる遊泳性の無脊椎動物「アノマロカリス」は、5 億年以上前のカンブリア紀の海洋における最上位捕食者であった。この生物のものとみられるハエにあるような複眼の化石が最近発見された。これによって、アノマロカリスが節足動物（昆虫や甲殻類、三葉虫のように関節でつながった肢を持つ動物）に近縁であるという説が確認され、また進化のうえでは、硬化した外骨格が現れる前に複眼が登場したことが示された。南オーストラリアで発見された保存状態のきわめて良好な化石は、アノマロカリスがきわめて優れた視覚を持っていたことを示している。その複眼は、史上最も大きく鋭敏な部類のもので、1 つが長さ 3 cm にもなり、1 万 6000 個を超えるレンズを備えていた。高い視力の捕食者が存在したため、カンブリア紀における捕食者と被食者との競合は、より激しかったと考えられる。

遺伝：血小板産生にかかわる遺伝子の探索と解析

Gene scan for platelet production

血小板は止血機能の維持に関与しており、血小板の数と容積は狭い範囲内におさまるように制御されている。今回、6 万 5000 人以上を対象とした全ゲノム関連解析のメタ分析から、血小板の数および容積と高い確度で関係性を持つ新規のゲノム遺伝子座が 53 個同定された。これらの遺伝子座は遺伝子コード領域に位置し、多くは単一のタンパク質間相互作用ネットワーク内に存在する。ゼブラフィッシュおよびショウジョウバエを用いた機能実験では、新たに同定された遺伝子のうち 11 個が血球形成の新規調節因子をコードすることが明らかにになった。

宇宙：ブラックホールの大きさの新記録 New 'record' for black hole size

超巨大楕円銀河 M 87 の中心ブラックホールは、太陽の 63 億倍の質量を持ち、30 年以上にわたって、宇宙にある既知のブラックホールの中では最大の質量であるとされてきた。今回、この値を上回る質量のブラックホールを持つ 2

つの銀河が報告された。NGC 3842 は、太陽質量の 97 億倍の中心ブラックホールを持ち、NGC 4889 には、これと同程度かそれ以上の質量の中心ブラックホールが存在する。明るいくエーサーに関する観測から、こうした大質量ブラックホールが初期宇宙に存在していたことが示されてはいたが、これまで観測ができなかった。今回の結果は、近傍宇宙でこれらの初期大質量ブラックホールと母銀河とを初めて結びつけたものである。

化学：医薬剤候補の光誘起トリフルオロメチル化

Light-induced trifluoromethylation of potential drugs

有望と思われる薬剤候補でも、代謝分解が早く起こりすぎると、目的の部位に到達することができない。このような代謝を阻害する方法の 1 つは、薬剤候補分子の芳香族部分やヘテロ芳香族部分へのトリフルオロメチル (CF_3) 基の付加である。D. Nagib と D. MacMillan は、原料もエネルギーも節約できる新しい合成方法を報告している。小型の省エネ蛍光電球で市販のさまざまな光

触媒を励起すると、ラジカルを介した機構によって非活性化アレーンやヘテロアレーンへの CF_3 付加が促進されることがわかったのだ。ウラシル類似体、アセチルコリンエステラーゼ阻害剤ドネペジルの前駆体、ビタミン（フラボン）という 3 種の分子のトリフルオロメチル化によって、この方法の高い能力が実証された。

気候：更新世の退氷の速さを決める仕組み

How Pleistocene deglaciations gathered pace

気候史における氷期サイクルは、地球軌道の太陽に対する位置が変動することによって変化してきた。約 100 万年前の更新世中期には、氷期サイクルは、地球の傾き、つまり黄道傾斜角にみられるおよそ 4 万年周期が支配的だった。その後は、軌道離心率の 10 万年変動が支配的になったようである。これまで、黄道傾斜と歳差運動（公転軸の方向）の組み合わせが退氷を支配していると推測されてきたが、確かな定量的証拠は存在しなかった。P. Huybers は今回、軌道の力が極大になる時点に焦点を合わせた新しい統計テスト法を使うことによって、黄道傾斜角と歳差運動が確かに、同時に退氷を支配していることを示した。

生化学：隠れたタンパク質を見るための新規 NMR 法

Visibility cloak for hidden proteins

ポリマー、膜、固体担体などの大きな構造とタンパク質が結合すると、溶液中の遊離状態のタンパク質分子を可視化する技術では、見分けがつかなくなる。M. Clore たちは、このような交換現象を原子分解能で調べられる新たな溶液核磁気共鳴技術を開発した。DEST (dark-state exchange saturation transfer) と名付けられたこの方法の有効性は、アルツハイマー病の原因と考えられているアミロイド β 単量体の凝集過程を追跡することで実証された。この手法は、生物系や材料科学で見られる超分子系の多くに応用できるはずだ。



Volume 480

Number 7377

2011年12月15日号



Podcast



原子炉国有化という事例：黒塗りされた原子炉運転マニュアルが示す情報隠蔽

THE CASE FOR NATIONALIZING THE REACTORS: Information blackout seen in redacted manual

2011年3月に起こった自然災害によって破壊された福島第一原子力発電所（原発）からの放射性物質の降下とその政治的な余波に日本がどのように対処するのかは、世界の原子力産業にきわめて大きくかかわってきそうだ。今週号のComment欄では、2人の日本人政治家、平智之と鳩山由紀夫が、震災復興過程の一部として福島第一原発を国有化することを求めている。彼らは、政府の管理下であって初めて、科学者たちが実際に何が起こったのかを見だし、事故の余波に対処するのに必要な計画を立てることが可能になると論じている。現在のやり方の不適切さを示す例の1つが、表紙に掲載した、黒塗りされた原発作業員用運転操作手順書である。これは、福島第一原発の操業にあたっている東京電力株式会社によって国会の委員会に最初に提出されたもので、黒く塗りつぶされた箇所が非常に多く、内容がほとんどわからなかった（その後すべて公開された）。

PG9は、gp120の大部分を抗体に認識されないよう隠しているN結合型グリカンに惑わされることなく、うまくN結合型グリカンを使って結合している。その結合機構はHIV中和に有効性を発揮する複数の抗体が共有しているものだ。PG9は糖ペプチド複合体を認識し、水素結合など配列に依存しない相互作用を作り出すことによって、V1/V2中の多様性をうまく回避していることが明らかになった。

物理：実際の粉粒体系におけるジャミング Jamming in real granular systems

粉粒体、泡、ガラス、コロイドなどの系で充填密度が臨界値を超えると、流体に似た状態から固体に似た状態に変わる。この集団過程はジャミングと呼ばれ、ほとんど自明の現象と言ってよい。そして、朝食用シリアルから盛り土まで、日常のさまざまな出来事に広くかかわっている。摩擦のない理想粉粒体におけるジャミング転移については、よく理解されている。しかし、現実世界の粉粒体系には摩擦がある。D Biたちは、摩擦のある粉粒体集団では、理想系よりはるかに多様な現象が起こることを示している。最も興味深いのは、臨界値未満の密度で歪みによって発生するジャミングである。

細胞：RNAiの核での役割

Nuclear role for RNAi

RNA干渉（RNAi）は通常、転写後の遺伝子サイレンシングに関連しているが、低分子RNAやRNAiの構成因子も核内で転写レベルでの遺伝子サイレンシングにかかわっていることを示す証拠が増えつつある。今回、ショウジョウバエ（*Drosophila*）でRNAiの構成因子であるDicer 2（DCR2）とArgonaute 2（AGO2）が核内に存在していて、転写が活性化されている遺伝子座に結合し、RNAポリメラーゼIIと相互作用することが示された。DCR2とAGO2はセンス鎖とアンチセンス鎖の転写産物と結合し、熱ショックを受けたときの転写調節などにかかわっているらしい。

宇宙：超新星の伴星はどういう星？

Identification of a supernova companion

回転花火銀河にある超新星2011feは、2011年8月24日にパロマー山天文台の全自動掃天システム（Palomar Transient Factory）によって発見された。これは、地球から観測されてきたIa型超新星の中で最も明るいものである。Ia型超新星は、連星系中で物質を降着中の白色矮星が熱核爆発を起こした結果生じると考えられる。しかし、伴星の詳しい性質や、超新星となる前の連星系の物理的な特徴はほとんどわかっていない。SN 2011feの観測に関する2つの新しい報告は、未解明の伴星に対して考えられる可能性を絞り込むものとなっている。P E Nugentたちは、Ia型

超新星から今までに得られた最初期のデータの一部を発表し、爆発した星はおそらく炭素酸素白色矮星で、初期の衝撃波がないことから伴星は主系列星だろうと推論している。W Liたちは、ハッブル宇宙望遠鏡アーカイブ中の超新星発見前の画像を解析して、爆発前には天体が認められないことを見だししている。このことは、爆発する白色矮星へ質量を供給する伴星候補から、明るい赤色巨星や大部分のヘリウム星が除外されることを示している。

構造生物学：抗体を結合したgp120エピトープの構造

Structure of antibody-bound gp120 epitope

HIV-1のgp120エンベロープ糖タンパク質の可変領域V1/V2にみられる顕著な配列多様性とN結合型糖鎖付加が、抗体による認識回避能力をウイルスに与えている。しかし、この部分は今まで構造決定できていなかった。今回、P Kwongたちは、HIVのほとんどの株を中和できるPG9という抗体を用いて、gp120のV1/V2の構造を決定した。





Volume 478

Number 7378

2011年12月22/29日号



Podcast



1年の間に起こった10の物語：2011年に話題となった人たち



ONE YEAR TEN STORIES: The newsmakers of the year

2011年の科学研究に大きな影響を及ぼした話題の10人を選び、「Nature's 10」として紹介する。Natureが選んだ10人は、OPERA実験コーディネーターである物理学者のDario Autiero、「70億人目の赤ちゃんたち」のひとりであるDanica M Comacho、米国環境保護局長官のLisa Jackson、放射線体内被曝の専門家として国会で意見を述べた児玉龍彦、CERNの技術者Mike Lamont、「リンの代わりにヒ素を使う生物」発見の論文をブログで批判した微生物学者のRosie Redfield、「表皮電子装置」を開発した物理学者で起業家でもあるJohn Rogers、太陽系外惑星の研究を進めている天文学者のSara Seager、エジプト暫定内閣の元首相であるEssam Sharaf、そして長期にわたる論文データ捏造が話題となった社会心理学者のDiederik Stapelである。彼らは科学にいかなる寄与のない問題を起こしたか。

医学：がんの能動的免疫療法の成功

Active immunotherapy making a mark in cancer

モノクローナル抗体やドナーT細胞を使った受動的免疫療法は一部のがんの有効だが、特異的で持続的な抗腫瘍免疫の能動的活性化については、研究が進められているにもかかわらず、なかなか成果があがっていない。しかし最近になって、前立腺がんに対する自家細胞免疫療法であるsipuleucel-T療法と、転移性黒色腫の一部に対する抗がん剤イピリムマブが開発された。この2つの成功が、がん免疫療法に対する関心を復活させている。今週号の総説は、ワクチン、T細胞免疫修飾因子などの能動的免疫刺激因子について最近の研究を総括したもので、これらは分子標的治療とともに、今後数年以内にがん治療法につながると考えられる。

宇宙：赤色巨星をうまく受け流した惑星ペア

Star pair shrugs off red giant

ほぼ地球と同じサイズの2つの小型惑星が、赤色巨星の段階を経て進化した星(post red-giant) KIC 05807616の周囲を回っているのが発見された。こ

れらの惑星は、報告されているうちで最も短い5.8時間と8.2時間という軌道周期で、親星から0.006天文単位と0.0076天文単位(AU)しか離れていない軌道を周回している。親星から1AU以内の軌道を回る惑星は、親星が赤色巨星になるときに飲み込まれてしまうかと予測されているので、これらの惑星が存在しているのは変だ。考えられるのは、赤色巨星の時点では巨大ガス惑星として外側の軌道を回っていて助かり、現在の状態になると、中心部の岩石だけが残って母星のすぐ近くの惑星軌道まで落ち込んだという可能性だ。

医学：マラリア原虫を侵入禁止にする抗体

No entry for malaria parasites

熱帯熱マラリア原虫(*Plasmodium falciparum*)感染の初期にあたる赤血球期には、原虫から無性生殖により発生したメロゾイトが赤血球に侵入する。この段階で防止したり抑制したりすることは、抗マラリア治療のずっと以前からの目標であった。これが難しい問題であるのはすでに明らかになっているが、原虫のリガンドであるPfRh5と、メロゾイトが赤血球に侵入するのに不可欠な赤血球受容体ペイシジンとの間の特異的な

相互作用が今回突き止められ、目標の達成に向けて一歩近づいた。抗ペイシジン抗体は、調べたすべての実験室適応株および野外株熱帯熱マラリア原虫で赤血球へのメロゾイト侵入を阻害できたため、今回の結果は侵入を妨害する薬剤やワクチン開発の有望な出発点となりそうである。

生理：クリプトクロムはグルココルチコイドの転写を体内時計に合わせて調節する

Glucocorticoids take their tempo from cryptochromes

哺乳類の代謝は、24時間、つまり概日性の規則的なパターンに従っている。グルココルチコイドをはじめとする主要なホルモン回路は、概日時計と関連付けられているが、その実態はまだよく解明されていない。今回、2つの時計コレギュレーターであるクリプトクロム1および2が、リガンドに依存する形でグルココルチコイド受容体と相互作用して、遺伝子発現および正常な代謝恒常性に影響を及ぼし、結果的にグルココルチコイドに対する転写応答を変化させることが明らかになった。グルココルチコイドは臨床で炎症を抑えるために使用されるが、作用対象が非特異的であることが、種々の有害な副作用につながる。こうした副作用を軽減するには、治療のタイミングを変更することや、クリプトクロムを特異的に標的とする物質と併用することが役立つかもしれない。

||||||| ネイチャーからのご案内 |||||

naturevideo

Web: www.youtube.com/NatureVideoChannel

モバイル:



携帯電話でNature Videoチャンネルの科学関連動画を見ることができます。(一部の機種を除く)

naturepodcast

Web: www.nature.com/nature/podcast

モバイル:



Natureに掲載された研究成果をポッドキャストでチェックできます。(英語; iPhone™のみ対応)

古代生物というと、まず頭に浮かぶのは恐竜でしょう。今回紹介する記事で取り上げているアノマロカリスは、恐竜よりもずっと古い生物です。その姿は、奇妙キテレツ極まりない形態です。でもそれは、私たちの概念にない形だからで、アノマロカリスが生きていた環境では最適なものだったのでしょう。ところが、アノマロカリスはある時期を境に姿を消します。その時期、気候変動や天体衝突のような現象は見られていません。絶滅の原因は、いまだ謎に包まれています。



眼光鋭いアノマロカリス。

KATRINA KENNY とアデレード大学

nature news

語数：502 words 分野：古生物学・進化学

Published online 7 Decmber 2011 | Nature | doi:10.1038/nature.2011.9586

An eye-opening fossil

Ancient predators had vision sharper than modern insects.

Matt Kaplan

- Armed with **barbed** grasping claws and a mouth full of tooth-like **serrations**, **anomalocaridids** are thought to have been the top predators in the Cambrian oceans about 500 million years ago. A **cache** of spectacular fossils now suggests that the ancient hunter *Anomalocaris* had **compound eyes** that gave it **keener** vision than many of the modern **arthropods** related to it.
- Previous fossils have raised the possibility that it had compound eyes, but none of them has had enough surface detail to confirm this. Palaeontologist John Paterson at the University of New England in Australia, and his colleagues have now done so by studying fossils discovered in the Emu Bay Shale in South Australia. They found that thousands of tiny hardened lenses **definitely** made up each eye, **much as** they make up the eyes of modern insects and **crustaceans**. The fossil is described today in *Nature*¹.
- "The extraordinary detail preserved in this **specimen** is just fantastic," says Robert Gaines, palaeobiologist at Pomona College in Claremont, California, who was not involved in the study.
- "It has been unbelievably frustrating being able to see eyes like these at fossil sites like the **Burgess Shale** [in the Canadian Rocky Mountains], but not have any details. It is really refreshing to have our ideas about these animals confirmed at last," comments Simon Conway Morris, a palaeontologist at the University of Cambridge, UK.
- Moreover, it seems that the eyes of ancient anomalocaridids had even more lenses than those of most modern arthropods. Paterson and his team counted about 16,000 lenses on each eye. "This is a lot," says Paterson. "The common **housefly** has only 3,200 and most ants have fewer than 1,000." **Dragonflies** have up to 28,000 lenses in each eye — and extraordinary eyesight — but they are "the **freaks** of the arthropods", he says.

Shooting daggers

- "Such lens-rich compound eyes suggest *Anomalocaris* was a highly visual hunter. Its prey **didn't stand a chance**," says Paterson. Conway Morris says that it is reasonable to **speculate** that the creatures had a high degree of **visual acuity**, and a well-developed brain to process that information.
- It is possible that the eyes of *Anomalocaris* had even more than 16,000 lenses — the fossils are detailed, but they are not perfect. In fossil form, the **stalked eyes** are flattened, like pancakes. But Paterson speculates that the eyes of a living anomalocaridid would have been **bulbous**, and that if non-flattened eyes were to be found, many more lenses would be discovered on the other side.
- Yet the research raises questions about more than just how well *Anomalocaris* could see. Because compound eyes are so commonly found in animals with **exoskeletons**, it has been assumed that the two traits evolved together. Yet anomalocaridids were soft-bodied, which Paterson suggests could mean that compound eyes evolved first.
- "Since these compound eyes themselves are **biomineralized**, it is not clear to me whether the ancestors of *Anomalocaris* had a **mineralized** exoskeleton and lost it early on or if they simply hadn't evolved them yet. This could **stir up debate**," says Gaines.

Reference

1. Paterson, J. R. et al. *Nature* 480, 237-240 (2011).

TOPICS

カンブリア紀 (the Cambrian) の生物

カンブリア紀は、古生代の最も古い年代で、5 億 4000 万年前～5 億年前に相当する。カンブリア紀の地球はほとんどを海で覆われ、生物は海中で繁栄した。代表的な生物は節足動物の三葉虫である。三葉虫はこの時代、隆盛を極めた生物の 1 つであり、さまざまな種が見つかった。カンブリア紀の大きな特徴は、生物種の多さである。それまでの年代に比べ、一気に増大した（カンブリア大爆発と呼ばれる）。節足動物のほか、原始的な二枚貝などの軟体動物、クラゲなどの腔腸動物、シャミセンガイのような腕足動物、ウミリンゴや座ヒトデといった棘皮動物など、現在知られている無脊椎動物のすべての門が出揃った。さらには脊椎動物の祖先となる脊索動物ピカイヤも出現した。

カンブリア紀のおもしろさは生物多様性だけではない。アノマロカリスを筆頭に、奇妙な形態の生物が多いのだ。5 つの目とゾウの鼻のような長いパイプを持っていたオパビニア、体に不釣り合いなほど長いとげを持っていたハルキゲニア、チューリップの花のような形をした動物ディノミスクスなど、現生生物からは想像できないほどユニークな動物が生息していた（図参照）。



SLP/PPS

SCIENCE KEY WORDS

1. **anomalocaridids:** アノマロカリス類

現在、アノマロカリス、ラガニア、アンプレクトベルア、フルディア、シンダーハネスの 5 属が発見されている。

1. **Anomalocaris:** アノマロカリス（左ページ図参照）

体長 60cm ～ 2m のカンブリア紀最大の捕食者。海棲。前方に 1 対の大きな触手、胴体にはひれが付いている。口は円形で放射状に鋭い歯がびっしり並び、それをすぼめて三葉虫などをかみ切り、食していたらしい。

1. **compound eye:** 複眼

特殊なレンズ構造を持つ個眼がハチの巣状に集まってできた眼。昆虫類のほか、多毛類（ゴカイなど）、斧足類（二枚貝）にも見られる。

1. **arthropod:** 節足動物（の）

体節の繰り返し構造とクチクラ（キチンとタンパク質などからなる）の外骨格を持つ動物。左右相称の体で、各体節には関節肢と呼ばれる 1 対の脚がある。昆虫類、甲殻類、クモ類、多足類など非常に数が多い。

2. **crustacean:** 甲殻類

脊椎動物の分類の一種。エビやカニのほか、フジツボやミジンコなども含まれる。体は頭・胸・腹部に分けられ、外骨格はカルシウムを含む硬い甲皮となっている。

4. **Burgess Shale:** バージェス頁岩

カナディアン・ロッキーのワプタ山中腹で産出される頁岩。約 5 億 5000 年前のカンブリア紀中期の多種多様な動物化石を含む。これまでに、約 120 属 150 種が見つかった。

5. **housefly:** イエバエ

最もよく目にする、体長 1cm 程度のハエ。イエバエ科に属する。

5. **dragonfly:** トンボ7. **stalked eye:** 有柄眼

カニなどの甲殻類のように、柄を持つ眼のこと。

8. **exoskeleton:** 外骨格

主に節足動物に見られる体の外側を包む皮膚の付属物。脊椎動物のように体の内部にある内骨格に対して、外部支持構造という広義では、カメの甲羅や貝殻も含まれる。

9. **biomineralize:** バイオミネラライゼーション化する、生体（生物）鉱物化する

生物が作る鉱物を生体鉱物という。リン酸カルシウムを含む骨や歯、炭酸カルシウムを含む貝殻のように生体内での代謝によって作られるもののほか、硫化物や酸化物など微生物が環境と物質をやりとりする中で誘導されてできるものも含まれる。

9. **mineralize:** 鉱化する

狭義では、鉱床が形成されること。広義では、ある物質が無機物質と化合して、新しい鉱物になること。

WORDS AND PHRASES

タイトル **eye-opening:** 「目を見張るような」、「驚くべき」、「啓発的な」

1. **barbed:** 「とげのある」1. **serration:** 鋸の歯のような突起1. **cache:** 「隠してある貴重品」、「貯蔵物」1. **keen:** 「鋭敏な（視力）」2. **definitely:** 「確かに」、「間違いなく」2. **much as:** 「～とほぼ同様に」3. **specimen:** 「標本」5. **freak:** 「変種」6. **do not stand a chance:** 「まるで歯が立たない」、「手も足も出ない」、「ひとたまりもない」6. **speculate:** 「推測する」6. **visual acuity:** 「視力」7. **bulbous:** 「球状の」9. **stir up debate:** 「論争を巻き起こす」、「物議を醸す」

参考訳

目を見張るような化石

太古の捕食者アノマロカリスは、
現生昆虫よりも鋭敏な視力を備えていた。

マット・キャブラン



サウスオーストラリア州で発見されたアノマロカリスの有柄眼の化石。矢印は、眼柄と複眼表面の境界を示している。挿入画像は、複眼レンズの拡大図。

JOHN PATERSON

1. 獲物をつかむためのとげのある鉤爪を備え、鋸歯状の突起がびっしり生えた口を持つアノマロカリス類は、およそ5億年前のカンブリア紀の海の最上位捕食者だったと考えられている。今回、これまで人知れず保管されていた非常に保存状態のよい化石の調査から、太古の捕食者アノマロカリス *Anomalocaris* が複眼を有し、多くの近縁の現生節足動物よりも鋭敏な視力を備えていたことが示唆された。

2. これまでの化石の研究からも、アノマロカリスが複眼を持っていた可能性は指摘されていたものの、いずれも表面細部の鮮明さが不十分で、確認には至っていなかった。今回、ニューイングランド大学（オーストラリア）の古生物学者 John Paterson らは、サウスオーストラリア州のエミュー・ベイ頁岩から発見された化石を調べ、ついにこれを確認することができた。彼らは、アノマロカリスの眼が、現生の昆虫や甲殻類の眼と同じように、多数の微小な硬いレンズの集まりからできていることをはっきりと確認した。この化石について解説する論文が、今日、*Nature* に掲載される¹。

3. 「この標本は細部まで非常によく保存されており、とにかく素晴らしいです」。こう話すのは、ボモナ・カレッジ（米国カリフォルニア州クレアモント）の純古生物学者 Robert Gaines だ。彼は、今回の研究には参加していない。

4. 「[カナディアン・ロッキーの] バージェス頁岩のような化石産地でも、今回の化石のような眼が見つかっていましたが、細部がはっきり見えず、本当にもどかしい思いをしていました。アノマロカリスに関する我々の見解がようやく確認され、とてもすっきりしました」。ケンブリッジ大学（英国）の古生物学者 Simon Conway Morris は、このようにコメントしている。

5. また、太古のアノマロカリス類の眼は、大部分の現生節足動物の眼よりも多くのレンズから構成されていたようだ。Paterson たちがアノマロカリスの眼を構成するレンズの数を数えたところ、それぞれ約1万6000個もあった。「これは大変な数です。普通のイエバエでも3200個しかなく、ほとんどのアリは

1000個未満です」。トンボの眼には2万8000個ものレンズがあり、視力が非常によいが、これは「節足動物の変わり種」と Paterson は言う。

刃のように鋭い視線

6. 「このように数多くのレンズからなる複眼の存在は、アノマロカリスが視覚を頼りに獲物を捕食していたことを示唆しています。獲物にとっては、まるで歯が立たない相手だったと思います」と Paterson は続けた。Conway Morris は、アノマロカリスが優れた視力を備え、その視覚情報を処理できるだけの、よく発達した脳を持っていたと推測するのが妥当だと言う。

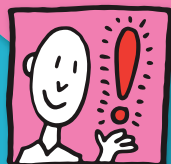
7. アノマロカリスの眼のレンズの数は、1万6000個より多かった可能性もある。今回の化石は、細部まで明瞭に残っていたものの、生きていたときの形態を完全にとどめているわけではないからだ。有柄眼は、化石化するとパンケーキのように平たくなってしまふ。Paterson は、アノマロカリス類の眼は生きていたときは球状だったかもしれないと考えており、平たくなっていない眼の化石が見つければ、裏側にも多数のレンズが見つかるかもしれないと推測している。

8. アノマロカリスの視力がどれほどよかったのかということ以外にも、今回の研究からは数々の研究課題が出てきた。例えば、複眼は外骨格を持つ動物によく見られるため、複眼と外骨格という2つの形質は共進化したと考えられてきた。しかし、アノマロカリス類は軟らかい体であったことから、Paterson は、複眼が先に進化したと考えられるかもしれないと言う。

9. 「アノマロカリスの祖先にはすでに鉱物化した外骨格があったが、早い段階で失われたのでしょうか。それとも単純に、外骨格の進化はまだ起こっていなかったのでしょうか。この複眼自体が生体鉱物化しているため、はっきりしません。今回の発見をきっかけに、論争が巻き起こるかもしれません」と Gaines は話している。

（翻訳：菊川 要）

定期購読を
始めたいな!



Fujisan.co.jp
雑誌のオンライン書店

当社サイト、Fujisan なら
バックナンバーの購入、
定期購読も可能です。

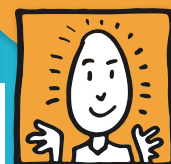
帰りに
買いたい!



全国の書店・生協

全国の書店、生協で
扱っています。

いつも
利用している
Amazonで!



amazon.co.jp

Amazon なら、
最新号の予約購入も可能。

* 詳しくは、www.naturejpn.com/bookstores をご覧ください。 Amazon および Amazon のロゴは、Amazon.com, Inc. またはその関連会社の商標です。

弊社のサイトからのお申し込みはこちらから

www.naturejpn.com/nd-sub

npg nature asia-pacific

EDITOR'S NOTE

自閉症者には、コミュニケーションが苦手、関心事以外に全く興味を示さない、などの症状が見られる。近年、子どものみならず、成人も自閉症と診断される事例が多くなっている。今月号のコメントでは、自閉症者の特異的な能力を生かす職場について論じている。特に研究に向いているというのだ。もちろん、すべての自閉症者が向いているわけではない。ひとえに自閉症と言ってもさまざまな症状があり、個人差もあるのだ。以前、自閉症者に多い几帳面さを生かせる職場を提供している企業のニュースを見たことがある。社会が環境を整えれば、引きこもり（すべてが自閉症者ではない）などを減らすことができるのではないだろうか。（ふる）

* 翻訳記事は、原則として原文に沿っております。一部、Nature ダイジェスト編集部でよりわかりやすいように編集しております。

npg nature asia-pacific

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 (代表)
Fax. 03-3267-8754
www.naturejpn.com

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific.
All rights reserved. 掲載記事の無断転載を禁じます。

広告のお問い合わせ
Tel. 03-3267-8765 (広告部)
Email: advertising@natureasia.com

編集発行人: David Swinbanks
副発行人: 中村康一
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、藤原由紀
池田三知世
編集協力: 白日社



「Nature 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。

宛先: naturedigest@natureasia.com
(「Nature ダイジェスト」ご意見係)

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。今後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。



BRITISH AIRWAYS

自分だけの時間



受賞歴のあるビジネスクラス「クラブワールド」では、自分だけの時間をお楽しみいただけます。静かなラウンジ、そして機内では自分だけの快適な空間。お客様のスペース、プライバシーを大切にしたキャビンでは、お好きな時間に、お仕事、ご就寝、おくつろぎいただくことができます。

今すぐ、ba.comでご予約ください。

