

nature DIGEST

日本語編集版

FEBRUARY 2008

VOL. 05, NO. 2

2

[http:// www.nature.com/naturedigest](http://www.nature.com/naturedigest)

海底鉱床を 手に入れる



WWW. 校閲の新しいカタチをご提案します。

オンライン校閲.com

www.e-kouetsu.com

native校閲者を 指名できる!



研究者のための英文校閲

科学技術の各専門分野に精通したネイティブ校閲スタッフだからその高品質。語彙や文法のチェックはもちろん、論旨を際立たせ、理論の筋立てを明確にします。ジャーナル名をお知らせいただければ、投稿規程に沿って校閲いたします。

すべてをWebから直接行えます

校閲のご依頼、校閲スタッフの指名、質問のやり取り、そして納品。これらすべてが直接行えますので、品質と作業効率が向上します。

安全、安心のシステム

やり取りはすべてSSLにより暗号化、校閲スタッフは機密保持契約を締結。さらに「オンライン校閲」運営スタッフのモニタリングにより万が一のトラブルも迅速に解決。安全、安心のシステムをご提供いたします。



弊社は
プライバシーマーク
取得企業です

お預かりする文書や情報は大切にお取り扱いいたしております。大切な文書をお預かりするにあたり、弊社に登録している校閲スタッフとは守秘義務契約を取り交しています。ご安心してお任せください。



詳しくはホームページをご覧ください。

サイエンス・アライアンス・ジャパン
研究開発
支援
www.science-japan.com

お問い合わせ → request@e-kouetsu.com

www.オンライン校閲.com

検索



海底鉱床を手に入れる

表紙：本多冬人

HIGHLIGHTS

- 02** vol. 450 no.7173,
vol. 451 no.7174, 7175, 7176

EDITORIAL

- 06** かけがえのない地球の記録
08 *Nature Geoscience* の創刊を歓迎して

NATURE JOBS

- 09** 過剰気味なポストクの進む道
Heidi Ledford

JAPAN NEWS FEATURE

- 12** 日本の未来を握る海底熱水鉱床
坂元志歩

NEWS FEATURE

- 18** 深海に光をともし
Mark Schroppe
22 慈善後進国、日本
David Cyranoski

NEWS & VIEWS

- 25** ビーナス・エクスプレスからの第一報
Andrew p. Ingersoll
28 光子バスに乗る量子ビット
Antti O. Niskanen、中村泰信
30 p53 の思いがけない役割
Colin L. Stewart

JAPANESE AUTHOR

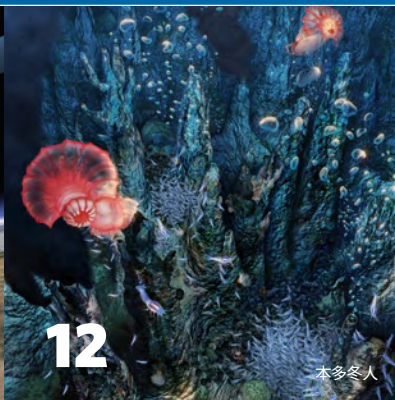
- 32** マグネシウムイオンの通り道と
輸送システムを解明！ — 濡木理
西村尚子

英語で NATURE

- 34** Enigmatic clouds illuminated
謎の雲の正体が明らかに

www.nature.com/naturedigest

© 2008 年 NPG Nature Asia-Pacific
掲載記事の無断転載を禁じます。





ラジェンドラ・パチャウリ氏：今年最も話題を集めた人は IPCC 議長

NEWSMAKER OF THE YEAR: RAJENDRA PACHAURI, Chair of the IPCC

Nature の「今年のお話の人」賞の最初の受賞者は、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の議長を 2002 年から務めている R K パチャウリ氏となった。共同受賞者は、今年順次公表された綿密な第 4 次評価報告書の作成に貢献した IPCC、および 2007 年ノーベル平和賞受賞者の A ゴア氏である。News Feature では、G Walker がクリケット好きのパチャウリ氏のプロフィールを紹介している。表紙写真は、自宅でのパチャウリ氏である。今週号ではまた、終わりつつある 2007 年について論評している。Research Highlights では、本誌のエディターが、本誌以外に掲載されたすぐれた論文をいくつか紹介している。This Year in Nature では、本誌に掲載された論文について、注目すべきものが挙げられている。News では、写真で今年の出来事を振り返ってみる。オンライン版では年末特集が 12 月 21 日から公開され、特集すべてが <http://www.nature.com/news/specials/2007/index.html> で閲覧できる。

News Feature p.1150, Research Highlights p.1130, News p.1134,

This Year in Nature 日本版 p.xvi 参照

Letter p.1218 参照

クジラ類の祖先

The backstory of whales

クジラ類の進化の最初の 1000 万年については化石記録からかなりわかっているが、祖先にあたる陸上動物からの分岐については、まだよくわかっていない。新たな研究によって、インドで化石の見つかった小型の原始的偶蹄類であるラオエラ科 (Raoellidae) 動物が、調べられたかぎりでは初期のクジラ類に最も近い仲間であることが示された。ラオエラ科の *Indohyus* は、耳と小臼歯の構造、骨の密度、それに歯の同位体組成がクジラ類に近く、ほかの偶蹄類とは異なっている。こうした指標は、このアライグマ大の動物が一生の多くの時間を水中で過ごしていたことを示唆している。しかし、一般的なラオエラ科動物はおおよそクジラらしくない食餌を摂取していたことから、水中に入ってしまったのは水中生活そのものの魅力によるのではなく、食餌の変化によるものであった可能性がある。 Article p.1190 参照

目の細かい周波数コム

A fine-tooth comb

光周波数「コム」は、等しい周波数間隔で並んだ多数の光を放出する光源であり、等間隔で並んだ光のスペクトルは「くしの歯」に似た特徴的な形をしている。周波数コムは分光光学と計測学の分野に一大変革をもたらしつつある。例えば、この技術を使った時計は精度の点で、今や最新のセシウム標準などの原子時計に勝っていることがある。しかし、周波数コムが発生に必要な装置は扱いにくく複雑で、通常は大型のフェムト秒レーザーを使うことが多い。今回 Del'Haye たちは、コムを発生させる根本的に異なった方法を開発した。この方法では、シリコンチップ上にある

小さい円板形の共振器に標準的なレーザーダイオードの光を照射するだけである。その結果、レーザー光と共振器との間に相互作用が生じ、赤外光を放出する光周波数コムが得られる。この方式は簡単であり、大きさ、価格、消費電力の低減が望めることから、幅広い分野での光周波数コムの有用性が高まるだろう。 Letter p.1214, N&V p.1175 参照

お月さん、いくつ?

How old the Moon

タングステン同位体の新しい研究から、月形成の年代が見直された。月は、初期の地球が受けた巨大衝突の際に放出された破片からできたと考えられている。このとき受け取った高いエネルギーによって、月が溶融しマグマオーシャンが形成されたと考えられてきた。タングステン同位体のこれまでの研究では、月は太陽系が生まれてから 6000 万年以内に固化したとされていた。月の金属をハフニウム・タングステン年代測定法に基づいて調べた新しいデータは、サマリウム・ネオジム年代測定法の結果と一致しており、固化の年代はもっと遅くて、太陽系の誕生から 5000 万年から 1 億 5000 万年後であったことを示している。 Letter p.1206, N&V p.1169 参照

温暖化が先か、炭素注入が先か

Early warming signs

暁新世 / 始新世境界温暖極大期、つまり約 5500 万年前の極度に温暖化した時期は、特徴的な同位体組成をもつ温室効果ガスの海洋 - 大気系への大量放出と関連していた。しかし、温室効果ガスの注入が、この出来事の特徴である地球温暖化と環境変動の原因なのか結果なのかははっきりしていない。 Sluijs

たちは、米国ニュージャージー州の 2 つの堆積物断面から得られた暁新世 / 始新世境界にまたがる環境変動の分解能の高い記録を用いて、この問題の解明を試みた。その結果、この地点では温室効果ガス注入の起こる数千年前から、環境変動と海洋表層の水温上昇が始まっていたことがわかった。このような順序で事態が進行したことは、深海の水温上昇によって海底のガスハイドレートが解離し、温室効果ガスであるメタンが大量に放出されたという考え方と一致する。しかし、初期の温暖化の原因はまだよくわからないままである。

フォノンなんていない

Who needs phonons?

「古典的な」形の超伝導は、ノーベル賞を獲得した 1950 年代の BCS (Bardeen-Cooper-Schrieffer) 理論により、フォノン交換を介して相互作用する電子ペアの超流動として、最終的に説明された。いったん決着がつくと、今度はフォノンによって実現する変形可能な格子は超伝導にとって不可欠なのかどうかという疑問が浮上してきた。フォノンが不可欠ではないことは、その後「非従来型」超伝導体が次々と発見されてわかってきた。今週号の Review Article で、P Monthoux、D Pines、および G Lonzarich は、フォノンを必要としない超伝導の解釈の強力な枠組みとして出現した磁気相互作用模型について改めて解説している。

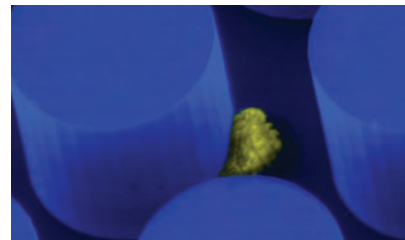
Review Article p.1177 参照

血中のがん細胞を効率よく検出

Out of circulation

生存能のある腫瘍由来上皮細胞、すなわち循環腫瘍細胞 (CTC) は、がん患者の末梢血液の中で見つかり、治りにくい転移性腫瘍の原因だろうと考えられている。がん患者からのそのような細胞の単離は極めてむずかしいことがわかっており、これは主として、そのような細胞の末梢血液の中で数が極端に少ないことに起因する。今回、がん患者の血液から CTC を選択的かつ効率的に単離できるマイクロ流体プラットフォーム「CTC チップ」が開発された。この新たな手法は、がんの検出と診断、および各々の患者の治療に対する反応の経過観察に応用可能と考えられる。

Letter p.1235, N&V p.1168 参照





磁極の分離：スピニアイスの磁極を分ける

POLES APART: A magnetic north-south divide in spin ice

電子や陽電子などの、正または負の電荷を帯びた素粒子はよく知られているが、正味の磁荷をもつ素粒子が存在するという証拠はない。磁石は分離不可能な S 極と N 極を常に伴うと考えられており、磁気単極子というものは、それを観測しようとする多数の研究にもかかわらず、知られていない。今回、巧妙な理論研究によって、磁気単極子が素粒子としてではなく、「スピニアイス」のようなエキゾチック凝縮物質の磁気系における創発的粒子 (emergent particle) として存在する可能性が提案された。2 次元量子ホール系にみられる分数電荷との類推に基づくこの理論によって、実験的に観測されたもののこれまでで解明されてこなかったスピニアイスでの不可解な相転移も説明可能になる。A Canossa による表紙イラストは、スピニアイスに内在する電子自由度の双極子モーメント (矢印で表す) が分かれて、磁気単極子 (赤い球) が出現するようすを示している。

Letter p.42, N&V p.22 参照

微生物発酵による大規模なバイオ燃料生産を促進する可能性がある。

Letter p.86 参照

誘発地震が遅れて起こる理由

Earthquakes take the strain

地震波によって発生した微小な歪みは、数千キロメートルも離れたところで地震を誘発することがあり、破壊は地震波が通過した後かなり経ってから起こることが多い。この動的な地震誘発現象の背後にある機構はわかっていない。粉粒体の摩擦を実験的に調べることは断層帯における現象を調べるうえで有効な手法となっているが、それは今回の、粉粒体媒質 (ガラスビーズ) の固着すべりを、地震誘発をシミュレートする音波を入力して追跡した新しい実験からも示されている。今回の結果は、誘発された余震に対応する規模の小さな破壊事象は、十分大きい振幅の音波を加えたときに起きることを示している。振動は大きなすべりも、波による摂動がない場合と比較すると、時間的に離れて発生させる。このことは、テクトニック断層の動的な応力が、地震再来現象の複雑性の決定に役割を果たしている可能性を示唆している。

Letter p.57 参照

ダウン症候群ががん予防の道標に

Down's syndrome cancers

一部の疫学研究は、ダウン症候群の患者 (第 21 染色体を 3 本もち、トリソミーとして知られる) では固形腫瘍の発生率が低いことを示唆しているが、こうした知見が確認できないことも報告されている。これらの相反する知見の謎が、ダウン症候群のマウスモデルで約 100 個の遺伝子がトリソミーとなっている Ts65Dn を用いた実験によって解明できたようだ。ヒト第 21 染色体の遺伝子群に相当するマウスの遺伝子群が、トリソミーつまり 3 コピーある場合には、腸腫瘍の一部の発生率が低下するが、同じ遺伝子群が 1 コピーだけ (モノソミー) の場合には、腫瘍の数が増加することが明らかになったのである。この遺伝子量依存的な作用は、転写因子 Ets2 に起因すると考えられる。したがって、これまでがん遺伝子として知られてきた Ets2 は、腫瘍抑制因子としても働いており、がんを予防する薬物の標的となりそうだ。

Letter p.73, N&V p.21 参照

化に起因する CO₂ の損失は、春期の CO₂ 吸収量の大部分を相殺する可能性がある。今後の温暖化が、春期よりも秋期のほうで早く起こるならば、北方の生態系が炭素を隔離する能力は、従来予測されていたよりも急速に減退するかもしれない。

Letter p.49, N&V p.26 参照

ついに見つかった若い太陽系外惑星

A young exoplanet at last

知られている太陽系外惑星の数は優に 3 桁に達しているが、「若い」といいいような惑星は、現在のところ見つかっていない。今回、木星の質量の 6 倍という大質量の若い惑星が、近傍のうみへび座 TW 星を取り巻くダスト円盤中に見つかった。TW 星は、年齢がほんの 800 万～1000 万年で、生まれつつある惑星が見つかりそうな場所として既に特定されている星であり、惑星系の基本となる構成要素がその星周円盤に存在している。今回の新発見は、太陽系外惑星形成の時間スケールに直接的な制限を加えるという点で重要なものだ。

Letter p.38 参照

昆虫の浮気を防止する受容体

Life after sex

ほとんどの昆虫では、雌は一度交尾を行うと生殖行動が大きく変化し、雄の求愛行動を受け付けなくなって産卵を開始する。特に力の雌の場合は、交尾すると餌となる血を吸う相手を探し始める。この変化の引き金となるのは雄の精液中に含まれる因子であり、ショウジョウバエ (*Drosophila*) のこの種の活性因子として、「性ペプチド」とよばれる小さなペプチドが 1988 年に発見された。このペプチドに対する受容体は長らく探索されてきたが、今回、それが突き止められた。この性ペプチド受容体は、リガンドが未知とされていたオーファン受容体 CG16752 であり、ほかの性関連行動に関連するとされている一群のニューロンで機能する。この受容体は昆虫全般にわたって高度に保存されており、これによって、害虫の繁殖や感染症媒介昆虫の宿主探索行動を選択的に阻止できる可能性が出てきた。

Article p.33, N&V p.24 参照



秋の温暖化

Autumn warming

北半球における大気中の CO₂ 濃度と生態系の CO₂ フラックスの年々変動の解析から、秋期の温暖化に伴って、秋から冬にかけて起こる大気中の CO₂ の蓄積が早まっていたことが明らかになった。これは一見、常識に反するかのように思われる。秋が温暖ということは、植物の成長期間が長くなり、木や草がより多くのバイオマスを生産するため、陸上の炭素シンクが有益な影響を受けることを意味しているのは確かだ。衛星からの観測と数値モデルの結果からは、1 つの説明が得られる。気温が高くなると呼吸が活発になって、光合成から得られる炭素量を相殺するようになり、これらの生態系が炭素シンクとして働く能力を制限するのだ。さらに、秋期の温暖

さらによいバイオ燃料を求めて

Aiming high in biofuels

「高級」アルコールは、エネルギー密度が高く吸湿性が低いことから、バイオ燃料としてのメリットがエタノールよりも高く、「分枝」アルコールは対応する直鎖アルコールと比べてオクタン価が高い。しかし、高級アルコールや分枝アルコール類は、自然界の微生物を使って経済効率よく合成することができなかった。今回、大腸菌株の 1 つを遺伝子操作することにより、高級アルコールであるイソブタノール、1-ブタノール、2-フェニルエタノールなどを、再生可能な資源であるグルコースから産生する株が作り出された。この方式は、アミノ酸合成経路の中間体を流用して目的のアルコールを合成するもので、



性決定の遺伝学：原始的なカビをモデルにして探る性決定の進化

THE GENETICS OF SEX: A basal fungus as a model for sex determination

ヒゲカビの一種である *Phycomyces blakesleeanus* は、ノーベル賞を受賞したマックス・デルブリュックが開発した光感知モデルとして最もよく知られているだろう。新しい研究によって、この菌は、性決定の進化というまったく別の分野でもモデルとして使われることになりそうだ。この菌の性はほかの菌類と同じく、1つの染色体全体によって支配されるのではなく、ゲノム内の狭い領域によって決定される。ゲノミクス、遺伝学、分子生物学、およびバイオインフォマティクスの手法を使ってこの遺伝子座が同定され、性決定にかかわる遺伝子は2個で、どちらも転写因子をコードしていることがわかった。この転写因子は両方とも、ヒトの性分化に関与している SRY タンパク質と同じように、HMG (high-mobility group) ドメインを含んでいる。さらに、この性遺伝子座を含む染色体だけに一群の反復配列がみられることから、真核生物の性決定と性染色体構造の進化の初期段階に、1つの普遍的機構が存在したことが示唆される。

Letter p.193 参照

シリコンが熱電体になる

Silicon goes thermoelectric

熱電材料は、熱勾配を電場に転換し、その逆の転換もできるので、発電と冷却に有用だろうと考えられている。しかし、現在使える高性能の熱電材料の製造は、大規模な廃熱エネルギーの回収に使うのに必要とされるような体積にまでスケールアップするのが容易でない。一部の材料では、ナノ構造化が熱電性能を改善するが、よい熱電体はナノ構造体にしにくいことが多い。シリコンは大規模な加工が可能だが、その熱電特性はあまりよくない。今週号の2つの論文は、シリコンをナノワイヤーアレイに構造化し、ナノワイヤーの形状とドーピングを綿密に制御すれば、その熱電特性が著しく改善できることを明らかにしている。この方法がもっと進歩すれば、シリコンは熱電材料として大きな可能性をもつようになるだろう。

Letters pp.163, 168, N&V p.132 参照

小刀類は環形動物

Like shelling worms

小刀類は貝に似た小型化石動物で、オルドビス紀前期から石炭紀の海底環境中に多数見つかった。この化石動物は、150年前に初めて記載報告されて以来、節足動物、棘皮動物、環形動物、軟体動物と、さまざまな分類群に分類されてきた。今回、モロッコで新たに見つかった小刀類の化石は、柔らかい部分が極めてよく保存されており、これによって、小刀類のはっきりしていなかった類縁関係が解明された。その「貝殻」は実際には石灰質の板で、体節のある、今まで知られていない環形動物の背部に甲冑として装着されていたのである。

Letter p.185, N&V p.133 参照

親玉は RNA

RNA in charge

繊毛虫類の *Oxytricha trifallax* は、発生のある段階で、核の DNA を切り刻んでそのほとんどを取り除き、染色体の5パーセントを特定の部位でつなぎ直す。Nowacki たちは、いくつかの RNA を細胞から除くと染色体の再配列が乱されることで示されるように、新しい細胞に残っている母細胞由来の RNA が、この再編成の鋳型として働いているという驚くべき発見をした。これは、RNA が *in vivo* でのゲノム再編成にこれまで知られていなかった役割をもつことを示している。

Article p.153, N&V p.131 参照

抗がんマイクロ RNA

Anticancer microRNAs

最近の研究によって、がんではマイクロ RNA が全体的に下方制御されていることが明らかになり、すべてのマイクロ RNA を人為的に下方制御すると腫瘍の成長が促進されることも判明している。骨や肺へ転移するヒト乳がん細胞のマイクロ RNA をマイクロアレイにより調べた結果、ヒト乳がんの発生と転移に、miR-126 と miR-335 という2種類のマイクロ RNA が関係していることがわかった。転写因子 SOX4 や細胞接着にかかわるタンパク質テネイシン C を標的とする miR-335 の発現がなくなると、乳がん細胞の浸潤が促進される。乳がん患者では、miR-126 と miR-335 が発現していないことが、予後不良の指標となる。

Article p.147 参照

海嶺軸での熱水循環の方向

Against the flow

大洋中央海嶺軸での熱水循環は、海底の割

れ目からしみ込んだ水が、溶けた岩のほうへ移動して熱せられ、熱水噴出口で過熱流体として噴出するというものである。この噴出系によって、地殻から海洋への熱と質量の移動の大部分が説明できる。一般的には、このような系における循環の方向は海嶺軸と交差しており、再充填は海嶺軸から遠く離れた断層に沿って起きると考えられており、この考え方は主にモデリングに基づいている。Tolstoy たちは今回、東太平洋海嶺の熱水噴出口群の下で起きる微小地震の位置を7か月にわたって監視した。その結果、少なくともこの場所では、熱水下降流地帯はむしろ海嶺軸上に位置し、熱水循環は海嶺軸に沿った方向で起こっているらしいと彼らは報告している。

Letter p.181 参照

「取り扱いにくい」原油はガス化してしまう

'Difficult' oil could be a gas

世界の原油埋蔵量の半分以上を構成するのは、生分解された重油とタールサンドの堆積層である。そこからの採油は容易ではなく、かなりの費用がかかる。最近の研究結果では、嫌気性細菌がこの炭化水素分解を引き起こしている可能性が示唆されているが、油層における実際の分解経路は解明されていない。今回、原油分解の室内実験と油田から得られた試料の分析とを組み合わせることにより、地下で起こっている生分解の支配的な過程が、原油炭化水素を嫌気的に分解してメタンを発生するなどのメタン発酵であることが明らかになった。この知見は、こうした「取り扱いにくい」油田の新たな利用法を示唆している。つまり、自然の炭化水素分解過程を加速してやることで、これまでのような石油としてではなく、メタンの形でエネルギーを取り出せるかもしれない。

Letter p.176 参照

原生動物がもっている「植物」ホルモン

The wrong kind of hormone?

カルシウムシグナル伝達は、アピコンプレックス門に属するヒト病原体であるトキソプラズマ原虫 (*Toxoplasma gondii*) の毒性を決めるうえで重要な役割を果たしている。この機構の研究から、シグナル伝達に予想外の物質、植物ホルモンであるアブシジン酸がかかわっていることが明らかとなった。比較遺伝学により、この植物ホルモンの合成経路が細胞内共生により獲得されたことがわかった。この経路は、病原性の重要な要素である、溶血を起こす増殖状態と休止状態とを切り替える重要な分化スイッチを制御している。アブシジン酸生合成の特異的阻害薬が致死的な感染からマウスを保護できることで示されたように、この経路の植物類似の性質は新たな治療薬の開発に使えるかもしれない。

Letter p.207 参照



黒色腫幹細胞：抗体によって攻撃可能なヒトがん発症因子

MELANOMA STEM CELLS: Human cancer-initiators open to antibody attack

がん幹細胞は、数種のヒト腫瘍から分離されている。最も新しい例が、ヒト悪性黒色腫を生じる細胞の亜集団であり、これらの細胞は化学療法剤耐性メディエーターである ABCB5 の発現により同定される。ABCB5⁺ 亜集団の大きさは黒色腫患者の臨床症状の進行と相関しており、また予備的な結果から、ABCB5 に対する抗体がこれらの黒色腫幹細胞を特異的に標的とすることも示唆されている。これは黒色腫に対する有力な治療戦略となると考えられ、この種の細胞の研究は、がんの生物学における重要な問題の解決を助けることになるだろう。表紙は、ハイブリッド黒色腫細胞で、蛍光顕微鏡像を重ね合わせ、コンピューター処理したもの。この細胞は、*in vivo* で ABCB5⁺ 黒色腫幹細胞とものと分化の進んだ ABCB5⁻ 腫瘍細胞との融合によりヒト腫瘍異種移植片内で生じたものである。各々の細胞の核は、遺伝子にコードされた赤色 (DsRed) と緑色 (EYFP) の蛍光色素で標識されている。

Letter p.345 参照

聴いて覚える

Listen and learn

霊長類にみられる「ミラーニューロン」は、他者の行動を模倣したりなぞったりすることを可能にしている。そうしたニューロンは、特定の動作（例えば手ぶり）を行ったときにも、それが行われるのを見たときにも発火する。模倣のよい例が、ヒトの発話や鳥のさえずりの音声学習である。これは明らかにミラーニューロンの仕事のように思われるが、今までのところ聴音・発声にかかわるミラーニューロンの報告はない。今回、歌のレパトリーを学習するのに聴音経験が必要という点でヒトと似ている鳴禽類マウタスズメでの研究で、聴音・発声のモニター機能に特化した一群の前脳ニューロンが同定された。これらのニューロンは、ある音列に対して、それを自身がさえずったときにも、あるいはほかの鳥のさえずりとして聴いたときにも、ほぼ同一の応答を示した。

Article p.305, N&V p.249 参照

非線形ファノ効果

Fano effect goes nonlinear

ファノ効果は、2 個の競合する光経路間の量子力学的共鳴、あるいは干渉によってスペクトルが歪むことをいう。これは、原子、固体や半導体ヘテロ構造の分光学的研究では広く観測される効果であり、例えば、1 個の原子の離散エネルギー状態がその環境中の連続状態とどのように結合するかを示している。この効果は幅広く研究されているが、通常は低い励起パワーの線形領域が調べられていた。今回、半導体量子ドットを使って行われた新しい研究により、非線形ファノ領域の物理的性質が調べられた。明瞭なファノ共鳴が観測され、共鳴はデバイスの構造や印加電圧の変化によって調整できた。非線形領域でファノ干渉はずっと観察されやすくなった。

これは、離散状態と連続状態との結合度の高感度プローブに使えと考えられ、例えば、環境との結合を最小に保つ必要があるキュービットに関連してくる。

Letter p.311, N&V p.256 参照

進展するウランの化学

Uranium on the move

ウランはほとんどの場合、溶解性と移動性の高いウラニルジカチオン $[UO_2]^{2+}$ として環境中に存在している。また、 $[UO_2]^{2+}$ は、原子力発電や鉱業から排出される主要な放射性汚染物質でもある。その化合物は、ウラン原子と 2 個のオキシ基の結合が並外れて強いため、化学的に不活性である。今回 Arnold たちは、そのジカチオンを適当な剛直分子骨格内に配置することによって強い O=U=O 結合が開裂されると、1 個のウラニルオキシ基が、通常なら遷移金属オキシ基のみが関与するラジカル反応を起こせるようになることを報告している。ウラニルジカチオンがその位置に置かれると、1 電子還元とオキシ基官能基化の両方が起こり、独自の 5 価のウラニル化合物が形成される。このような変換によって、溶液中で最も一般的な形態のウランを操作・処理する方法がもたらされるかもしれない。

Letter p. 315, N&V p.250 参照

海洋の酸素生産

Oxygen at sea

亜熱帯海洋の上層水が酸素の正味の生産を行っているのか、それとも正味の消費をしているのかという問題については、過去 10 年間にわたり大きな論争が繰り広げられてきた。S Riser と K Johnson は、プロファイリングフロートに搭載した酸素センサーを用いて、南北太平洋の亜熱帯循環中のいくつかの観測点で、3 年間にわたって酸素生産の収

支を調べた。これらの測定結果から、海洋上層では 1 年を通じて酸素の正味の生産が行われている証拠が得られた。これらの知見は、外洋と海洋・大気結合系における生物地球化学的過程の解明に重要である。

Letter p.323 参照

慢性疼痛治療の新たな標的

A new target for analgesia

炎症性疾患や神経損傷に伴う慢性疼痛は、従来の鎮痛剤では効果がないことが多いため、このような疼痛を誘発する仕組みの解明に対する関心は高い。慢性疼痛の極めて重要な要因として、脊髄でのシナプス抑制の低下を示す証拠が増えつつある。このことから考えられる合理的な療法は、この抑制不全の回復を図るというものだ。「ノックイン」マウスを用いた新たな研究によって、この脊髄痛に大きく関係する特定の GABA_A 受容体サブタイプが突き止められた。これらの受容体サブタイプを標的とする試験薬 L-838,417 は、ラットの炎症性および神経障害性の疼痛モデルで効果が認められ、特異性の低い GABA アゴニストに予測される鎮静作用、運動障害および耐性は生じなかった。

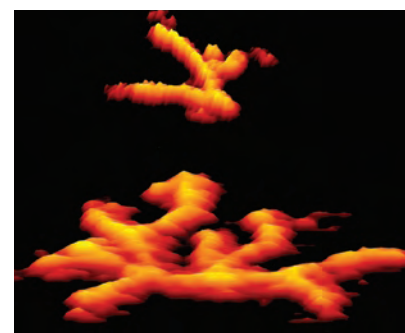
Letter p.330 参照

DNA で前進する

Making strides with DNA

DNA は、自己集合ナノ構造体をつくるのに好適な構成材料である。しかし、DNA の使用例のほとんどは、特定の目的に注目したもので、自然界で実現されている汎用性を目指したものではなかった。Yin たちは、集合・解離経路を構成ブロックである DNA にプログラムできる、モジュール化した DNA の「ヘアピン」に基づく新しい系を用いて、汎用性へ向けて一歩を踏み出した。その新プロトコルの重要な点は、DNA モジュールとそれらの相互作用を単純に表した「反応グラフ」であり、全体の設計プロセスを単純化するものである。これによって、分岐結合分子、自己触媒 DNA 二重鎖対、分子ツリーや DNA トラックに沿って歩く二足歩行分子などを集合プログラムで合成できる。

Letter p.318 参照



かけがえのない地球の記録

Patching together a world view

Nature Vol.450 (761) / 6 December 2007

地球という複雑なシステムのふるまいをまとめて把握できるデータセットは、現代のテクノロジーがもたらした最高の成果の1つであり、将来のために投資する価値が最もあるものの1つでもある。

テクノロジーは、私たちの世界の見方を変えることができる。画家のデビッド・ホックニーの言葉を信じるなら、カメラ・オブスキュラ（写真発明以前に画家たちが用いた暗箱式の投影装置）は画家たちの絵画の描き方を一変させ、それを鑑賞する方法も変えてしまった。数世紀後、写真フィルムの登場により視覚芸術は再び変化した。新しい技術に対して、画家たちは斬新な印象主義や表現主義により主観性を取り戻そうとしたのである。続いて登場した映画撮影技術は、時間を自在に操る新しい力をもたらした。フィルムを早送りにして時間の流れを加速させれば、花の蕾は数秒のうちに開花する。フィルムを逆回しにして時間の流れを逆行させれば、倒れた煙突が再び立ち上がり、愉快でありながら象徴的な意味を伝えることができる。こうした技法は私たちの心に深く刻み込まれ、現代人は、時間の流れを前後させたり緩急をつけたりしてものを考える能力を獲得した。これは、それまでの人間の想像力にはなかった能力である。

ここ20年間で、コンピューターが再び状況を大きく変えた。私たちは、これまで目に見えなかったものを可視化するほとんど無限の能力と、ほかのどんな方法でも獲得できない、ほとんど無限の視点を手にした。視点と被写界深度（被写体の前後のピントの合う範囲）を大きく自由に変えるこの能力は、極めて現代的なものの見方となった。米国の技術ジャーナリストのSteven Johnsonは、これを「ロングズーム」に喩えた。ロングズームとは、画面に映る人間の目をどんどんズームインしていき、最終的には目を構成する1個の細胞の核を映し出したり、逆にどんどんズームアウトして行き、ついには宇宙から地球を見下ろしたりする技法である。

ロングズームの世界では、惑星レベルのスケールが特に重要になる。この視点は、世界を記録する映像のそれぞれを、そのすべてを内包する1つの巨大な地球の映像へとつなげていくからである。50年近く前に人類が宇宙に飛び出し、それまで内側からしか見られなかったものを外側から見られるようになったことで、大きな変化が生じた。惑星レベルの視点は、この変化を土台にしつつ、それを圧倒していくものである。ロングズームは、内側と外側を統合し、コンピューターが膨大なデータセットを整理するための手立てとなる。グーグルアースのユーザーは、この威力を実感しているはずである。地理空間画像は、膨大なデータを統合する。コンピューターは、原理的にはあらゆる種類のデータを統合することができる。個々のデータは、地球を見下ろす人工衛星からのものであっても、深海のセンサーからのものであっても、セイウチにくくりつけられた追跡システムからのものであっても、森林の林冠の上に設置された気体モニターからのものであってもかまわない。欧州連合（EU）が加盟国にINSPIRE（欧州空間情報基盤）指令を出して地球データへのアクセスを整理し、アクセスのためのポータルを構築しようとしているのも、コンピューターを使って情報を統合していくためである。その重要性は一見わかりにくいかもしれないが、さまざまなデータから地球の姿を自由に組み立てられるようにするためには、規格を定める必要があるのである。

長期的な展望

新しいやり方で世界を見られるようになることは、たとえそこに商業的用途や科学的用途や戦略的用途がな



2008 年末に打ち上げ予定の NASA の炭素観測衛星 (OCO)。グローバルな大気中の CO₂ 濃度分布の精密な時系列観測を行う予定。

かったとしても、美しさという点で大きな意義があるものである。しかし実際には、この3つの用途のすべてが備わっており、環境保護の観点からの有効性はさらに大きい。20世紀に人口が爆発的に増加し、農業が急激に集約化し、工業が飛躍的に進歩した結果、今日では、都市化から疫学まで、あらゆるものの分布や広がりを正確に把握するためには地球監視システムが必要不可欠となっている。

こうした取り組みの中でもっとも大きな貢献をしてきたものの1つが、気候研究の先駆者である故 David Keeling が行った観測である。彼は、ハワイのマウナケア山や南極などの人里離れた場所の二酸化炭素濃度を初めて信頼できる精度で測定した人物である。彼の友人であり上司である海洋学者 Roger Revelle が、大気中への二酸化炭素の放出は「地球の気候に対する人類の大規模な実験である」といったことは有名である。Keeling の単純な装置は、微量ガスを監視するための世界中のネットワークの基礎となった。けれども彼は、「1つのデータをそんなふうに際限なく測定し続けることはやめるべきです」「それは立派な科学の基礎にはなりません」と何度もいわれた。この測定を続けるためには、たいへんな勇気と信念が必要だったのである。彼の後継者たちもまた、出し惜しみをする出資者や無関心な同分野の研究者たちと戦いながら測定を続けている。

ただ一度だけ

地球というシステムを監視するためには高度の専門知識が必要である。測定装置を作るためにはもちろん、それを正しく使用し、その出力を解釈するためにも必要である。けれども多くの科学者は、仮説を立てるだけでも検証するわけでもないプロジェクトには興味を示さない。最悪の場合、地球の継続監視など切手集めのようなもの

だと言い放ち、つまらない仕事として見下している。

そのような姿勢をはびこらせてはならない。地球というシステムの仕組みに関する仮説を検証するためには、3次元の地球の現状に関する情報だけでなく、第4の次元である時間を通じた推移に関する情報も必要である。今日測定しなかった海の水色のデータを、未来に測定することはできない。記録の空白は埋めることができない。私たちは、地球システムについてより多くの情報を与えてくれるモデルを必要としている。そうしたモデルの正しさを検証するためには、連続したデータセットが極めて重要となる。

科学者による地球の継続監視システムが重要である理由はここにある。21世紀の難題に取り組むためには、さまざまなスケールから多元的に地球を見ていかなければならない。このような見方は、継続監視システムがあって初めて可能になる。こうしたデータフローを維持するために必要な費用が、新しい科学研究を支援するために必要な資金と競合するときには、前者を優先すべきであることを研究者たちは認めなければならない。現在の地球に起きていることを正確かつ確実に記録することは、それを理解しようとするいかなる戦略よりも重要なのである。

地球は1つしかない。歴史は1つしかなく、それを記録するチャンスも一度しかめぐってこない。今日はある思いつきを発展させることができなかったとしても、のちに再び挑戦することは可能である。しかし、取らなかった記録は永久に失われる。今よりもさらに広い幅で地球の姿を詳細に捉えるロングズームは、今後何年にもわたって私たちを楽しませ、情報を与えてくれるだろう。けれども、いかなるデジタル技術をもってしても、過去から未来へとカメラを回し続けることに取って代わることはできない。 ■

Nature Geoscience の創刊を歓迎して

Welcome Nature Geoscience

Nature Vol. 450 (1127) / 20/27 December 2007

ここにきてようやく、世界の人々は、人間が地球環境に与えた打撃がもたらす脅威に目を向けるようになった。しかし人間は、地球環境に与える打撃を軽減することもできる。そのためには、あらゆるレベル、あらゆるタイムスケールで、地球の構造と力学を理解しなければならない。

地球に関する理解は、徐々にではあるが着実に前進してきた。これは、すでに1世紀以上の歴史をもつ地球科学の重大な功績である。Nature の最も新しい月刊姉妹誌である Nature Geoscience は、地球科学分野の質の高い研究を取り扱い、この分野に関心をもつすべての研究コミュニティの役に立つことを目的としている (<http://www.nature.com/ngeo> 参照)。他のすべての Nature 姉妹誌と同様、Nature Geoscience の創刊により、この分野に対する Nature 本誌の関心が薄れるようなことはけっしてない。

2008年1月に創刊される Nature Geoscience は、重要な研究の流れを追跡していくことが期待されている。例えば、気候科学の中では、急激な海面上昇、温暖化、海洋酸性化、地質学的タイムスケールにおける大気中の二酸化炭素濃度と世界の気温との重要な関連など、現在の変化によく似た過去の変化を研究する分野が盛んになってきている。伝統的に地質学を基礎としていた古気候研究者たちは、今日では、気候モデル製作者や現代の気候の研究者との結びつきを強めている。

2004年には、マントル最下部の主成分である MgSiO_3 ポストペロブスカイトという鉱物の高圧相が発見された。この領域の構造を理解するために、固体地球科学者たちは今日もなお、この発見の意味を探求し続けている。この発見は、下部マントルの温度、マントル対流、地球のコアとマントルの間で起こる鉄と熱の交換についての理解に影響を及ぼすだけでなく、地球の歴史や、

地球のコアや地球ダイナモの進化についての理論にも関わってくるからである。

すべての Nature 姉妹誌と同様に、Nature Geoscience にも非公式なセクションがある。「Backstory」のセクションでは、1500万年間の北極海の海洋循環の再現、アラビア海の海底地図の製作、アラスカの氷河の研究など、研究論文として発表できる段階にはないが、信頼度の高い研究について説明する。毎月、印刷版の最終ページにこうした記事を1本掲載し、オンライン版には追加の記事も掲載する。

2008年は「国際惑星地球年」であるが、そのほかにも地球に注目した複数の国際プログラムが始まることになっている。Nature Geoscience は、絶好のタイミングで創刊されるのだ。 ■

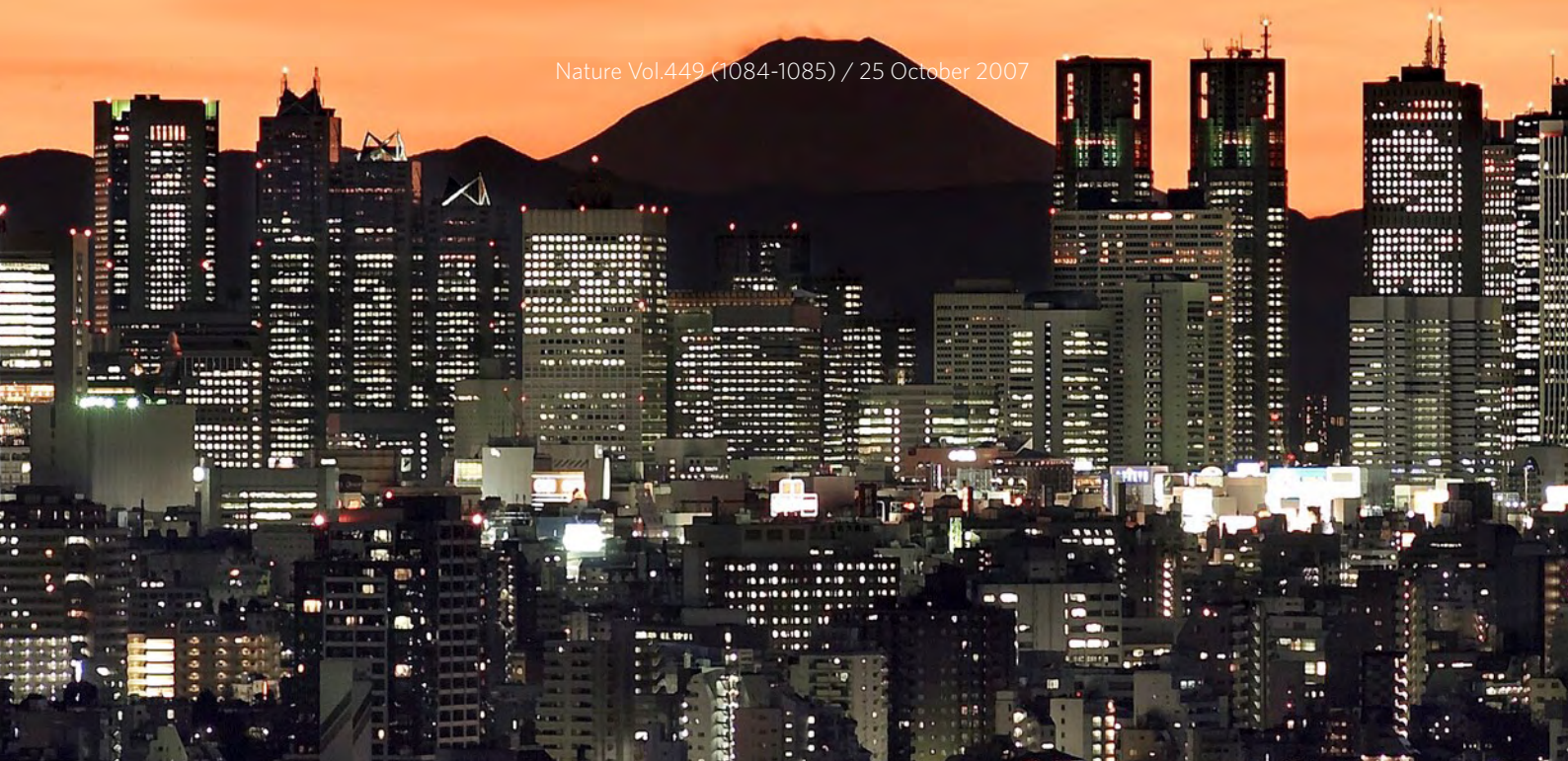


Nature Geoscience 創刊号 (2008年1月号)

SCIENTISTS TO SPARE

過剰気味なポストクの進む道

Nature Vol.449 (1084-1085) / 25 October 2007



ポストク（博士号取得後の任期付き職）が数千人単位で増え、研究者の余剰という問題に取り組む日本の現状を、Heidi Ledford が報告する。

KIMIMASAMAYAMA / EPA / CORBIS

東京大学教授で数学者の小林俊行が、初めて大学教員のポジションを提示されたのは24歳のときだった。その時点でまだ1本も論文を発表しておらず、博士号も取得していなかったのにである。「当時は博士号をもっている学生数が少なかったもので、職探しのプレッシャーは感じませんでした。そのため、最大級の難問に集中することができ、専門分野と無関係な分野を研究する時間もありました。長い目で見ると、自分の研究にとってはとてもよかったと思います」と彼は回想する。

これは1987年の話である。現在、小林教授の研究室には博士課程の学生4名とポストク2名が在籍しているが、大学教員市場は大きく変わってしまった、と小林教授は話す。次の職探しに奮闘するポストクの姿を目の当たりにしてきた彼は、若手数学者に対する論文発表のプレッシャーがきつく、結果として、小さ

な問題にしか取り組まない数学者がいることを憂慮する。「そうした人たちの論文には、あまり深みのないこともよくあります」。

1995年、日本政府は、日本人ポストクの数をも2000年までに3倍以上に増やすことを目的としたプログラムを始動させた。目標の1万人は1999年までに達成され、その後もポストク数はさらに増加。2005年には1万5000人を超え、うち61パーセントが自然科学、および工学のポストクとなった。ところが、大学教員の求人数がそれに追いついていないのである。

このため、研究者の進路が見つからないという問題が発生している。「制度改革が行われたのは1990年代の中頃でしたが、学生たちはいまだに大学の研究室から飛び出せていません。プログラムの開始にあたって、政府が真剣に将来を考えていなかったのではないかと思います」と小林教授は続ける。

ポスドクというポジションは、日本の科学界にとっては比較的新しいものだ。従来の日本の制度では、博士号を取得すればだいたいが助教授（現在の准教授）や助手などに採用され、そのまま所属研究室で勤務を続けるのが通例だった。身分は安定していたが、独立性はほとんどなかった。「従順であることが、かつての日本の文化でした。独立した人格となれるかを真に試されることはなく、指導教官の部下として働き続けたのです」。安倍首相時代に内閣特別顧問（科学担当）に任命された政策研究大学院大学の黒川清教授はこう話す。2004年の日本学術振興会の発表によれば、日本人研究者の半数以上は、一度も所属機関を変えないまま科学キャリアを終えていることがわかった。

柔軟な対応を目指して

「ポスドク1万人計画」には、博士号という資格の一般性を高め、若手の研究者が独立して研究し、研究室を移れるような柔軟性を生み出すという目的があった。ただ、この計画にはもう1つの背景があった。1980年から2002年の間に博士号取得者の数が2倍以上に増え、大学で吸収できる研究者の数を超過してしまったのである。ポスドク1万人計画は、ただ単にそうした人たちの就職難を先送りしたにすぎない、と論者は指摘する。

「大学や国立機関での教員の求人数は増えていません」と名古屋大学の熊澤慶伯講師（物質理学）はいう。ある研究機関では、予算の削減で新規採用どころか空席の補充もできなくなったという話も聞くという。

だからといってポスドク1万人計画は失敗だったわけではない、と新井賢一東京大学名誉教授（生化学）は話す。しかし、その新井教授も、研究予算の配分がいまだに、定評ある科学者が主導する「ビッグサイエンス」のプロジェクトに集中している点には懸念を覚えるという。結局のところ、若手の研究者には研究ポジションも予算もほとんど回っていないのが現状だ。新

井教授は「日本の過去10年間の大学改革と産業改革については、おおそ正しかったと思う」とし、近年の女性科学者と外国人科学者数の増加を例に挙げる。しかし、過剰気味のポスドクと大幅に不足している求人数という根本問題が解決されていないのは事実だ、とも話す。

不確実な雇用環境に直面しているのは、日本のポスドクだけではない。米国実験生物学会連合の最近の調査によれば、米国では、生物学のPhD取得者が1981年の約4000人から現在では7000人以上にまで増えたが、PhD取得後5～6年でテニユア（終身在職権）を取得、あるいはテニユア・トラック（終身在職コース）にある生物医学のPhD取得者の割合は、1981年に約35パーセントだったのが2003年には20パーセント強にまで低下した。ただし、日米間には決定的な違いがある。米国では生物医学のPhD取得後に産業界に就職した者が増えており、全体の30パーセントを占めるまでになっているのだ。一方、日本では2005年に民間企業に就職したポスドクはわずか0.2パーセント、人数にして32人にすぎなかった。

企業の消極的姿勢

日本の企業は昔から、博士号取得者を採用せずに、より順応性があると考えられる若くて専門性の低い研究者の採用を優先させる傾向があると黒川教授はいう。バイテク企業Acucela社（米国ワシントン州ボセル）のマネージャー、Raymond Priceは、大阪で勤めていた製薬会社では神経科学研究グループ20人のうち博士号取得者は彼以外に2人しかいなかったと話す。その2人の博士号も、会社に勤め始めてから取得したものだった。日本には「論文博士号」という欧米では珍しい制度があり、産業界の科学者が、会社での研究成果を論文テーマにして提出し、博士号を取得できるのである。当時の120人の研究スタッフの中で入社時に博士号をもっていた者は5人もいなかったとPriceはいう。このような雇用パターンがあるため、大学院で学位を取得した者が産業界から締め出される結果になっている（円グラフ参照）。「博士課程に進学してポスドクになってしまうと、大学への就職以外に選択の余地はほとんどないのです」と黒川教授は語る。

それでも政策立案当局は、産業界がポスドクに職を与えることに期待を寄せている。1つの方法として、大学院のカリキュラムを作り直し、博士課程の学生を産業界での就職に備えさせてはどうか、と筑波大学産学リエゾン共同研究センターの菊本虔教授は提案する。文部科学省は、科学技術系のキャリアパスの多様化を促進するためのプログラムを策定、ポスドクのための選択肢を作り出すために9つの大学、2つの公的研究機関、および1つの学会に対して予算を支出した。それを受けて作られた筑波大学の委員会が委員長をつとめる小林信一教授は、そうしたプログラムのほとんどが、ポスドクが産業界で職を得るこ



ポスドク過剰問題に取り組む：菊本 虔 筑波大学教授（写真左）と新井賢一東京大学名誉教授。

とに焦点が当てているが、どのプログラムも「非常に地味で」、真の解決法を見つけ出せる可能性は低いと指摘する。

まずは企業側の不安を解消することが重要な第一歩だ、と新井教授はいう。「日本の伝統的な産業構造は垂直階層構造になっているため、すでにキャリアの途中にいる博士号取得者を雇用するのはむずかしかった」と新井教授は続ける。そして、新興のバイオテクノロジー産業ならば雇用の機会があるかもしれないと話す。この業界は誕生してから日が浅く、今後が予測できないところがある。黒川教授は企業への直接の働きかけを行っていて、博士号取得者を雇用しないのは外部からの発想を取り入れるのを制限していることになり、技術革新を阻害するに等しいと主張する。それでも、産業界が融通を利かせられるようになるにはまだ多くの時間が必要だ、と黒川教授はいう。それまでの間、ポストドクは待ち続けなければならない。「ポストドク数を急速に増やしたのはやや時期尚早でした。そのために、現在のポストドクがしわ寄せを受けているのです」。

大阪大学に在籍する科学・技術系ポストドク 83 人を対象とした調査では、その 85 パーセントがキャリアに不安を感じ、60 パーセントがポストドクをやめたいと思っている (*Nature* 2007 年 6 月 21 日号 p.1028 参照)。短期職では職に就いたとしても仕事探しの苦勞がほとんど報われないし、ポストドク職に年齢制限がついている場合にはますますストレスを感じる、と大阪大学でナノテクノロジーを専攻する庄司暁は指摘する。「数年後にはまた職探しをしなければなりません」という彼は、35 歳になって、一部のポストドク職の採用条件を満たせなくなるときのことも心配している。

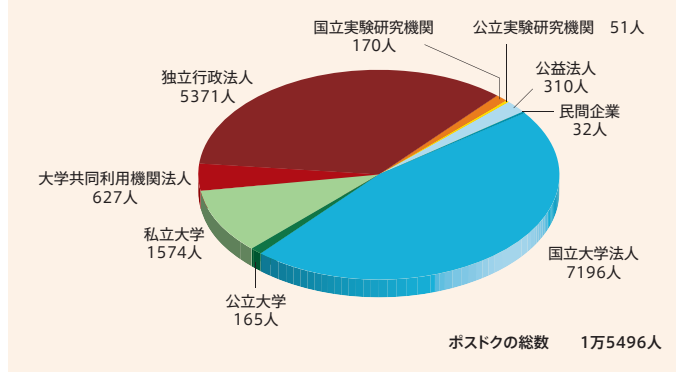
それでも彼らは、自分たちは事情を十分に承知したうえで科学者のキャリアを歩み始めたのであり、研究によって得られる利益が不安定な雇用という悪条件を上回ると判断した、と回答している。「同僚たちもみな雇用のことを心配していますが、それでも全員がこの研究分野に踏みとどまっています」と京都大学



日本の博士号取得者のほとんどが、東京大学（写真上）をはじめとする各地の大学に就職していると Raymond Price（写真下）は指摘する。

UNIV. TOKYO
LOMBROSO

日本国内の所属組織別ポストドク数 (2005)



の生化学系の研究室に所属するポストドクの有田恭平はいう。「でも、もし自分がポストドクを指導する立場になったら、熟慮に熟慮を重ねたうえで進路を決めるように忠告したいと思っています。ポストドク科学者として働くのはとてもたいへんですから」。

「いまのポストドクたちの心配事は、自分自身が大学院生だった頃に科学者が心配していたことを思い起こさせます。当時も大学での求人が非常に少ないと考える科学者はいました」と熊澤講師はいう。当時、この問題は「オーバードクター問題」とよばれていた。「この問題については自分たちも折に触れて議論することがありましたが、結局、自分たちではよい対策を考えつきませんでした」と熊澤講師は話す。そして科学者たちは、問題状況をただそのままに受け入れたのだという。「この仕事を選んだのは自分たち自身なわけで、不安定で収入が少なくても科学者であることを幸せに感じ、誇りに思っていましたから」というのが熊澤講師の答えだった。

米国ボストンの Heidi Ledford が *Nature* に寄稿。



日本の未来を握る海底熱水鉱床

坂元 志歩 (サイエンスライター)

林立する熱水噴出孔。

日本近海の深海底には、世界でも屈指の海底資源が知られている。地震や火山を生み出す厳しい環境が、同時に海底資源という恵みを生み続けてきたのだ。一方で、日本を支える機械産業やハイテク分野に欠かせない金属資源が世界的に高騰の兆しをみせている。海底資源開発が日本の命運を握る。

本冬冬人

2005年8月、海洋研究開発機構(JAMSTEC)の海洋調査船「かいれい」が海上へと滑り出した。船には無人探査機「かいこう」と自律型海中ロボットr2D4が積まれている。向かうは、東京から南へ400キロ、伊豆・小笠原海域の明神礁だ。研究者31名が殉職した大事件の起きた場所。1952年に海底火山が爆発、調査に入っていた海上保安庁の船が巻き込まれ、研究者を含む多くの犠牲者が出た。それから40年近く、この海域は危険区域に指定されていた。研究者たちはなぜ、この海域を今さらめざそうというのだろう。

実は、明神礁には「海底熱水鉱床」が存在する可能性が高いと推定されていたのだ。しかも水深は1100メートル前後と比較的浅く、現在の技術で海底鉱床を開発しても、採算が採れる可能性のある有望な場所だと見られている¹。

話は1977年にさかのぼる。世界で初めてガラパゴス沖の深海に熱水噴出孔が発見されたのだ。さらに1989年には日本で初めての熱水噴出孔が当時の西ドイツの海洋調査船「ゾンネ号」によって沖縄県伊是名島沖で発見され、その後熱水噴出孔から黒い煙を噴出するブラックスモーカーがJAMSTECの有人潜水艇

しんかい2000によって発見された。噴出する黒い煙は、重金属と硫黄が化合した硫化物。噴き出した熱水硫化物の中に貴重な金属が多量に含まれ、周囲の堆積物は金属の濃集した海底鉱床を作る。

明神礁は直径約8キロメートルの海底カルデラだ。このカルデラのいったいどこに鉱床があるのか。1984年からの5年間に及び工業技術院地質調査所(現産業技術総合研究所)の調査によって大まかな見当はすでにあつた²。その場所へ、今度は最新機器を使った探査が開始されたのだ。波が高く、黒潮の流れがきついこの海域でやっとの思いで有索式

無人探査機かいこうを送り込み、研究者たちはモニターの前に集合した。固唾をのんでモニターを見守る研究者たち。ところが、かいこうは、海底へ着く前にバシャッとブラックアウトしたまま、ついに復旧することはなかった。

ここで活躍したのが、かいいいがもっているマルチナロービームソナー、そして東京大学生産技術研究所浦環教授らがつくった「r2D4」だった。かいいいのスキャンソナーによって、このとき初めて船から周囲の広範囲の詳細な海底地形図が作成された（図1）。

一方、無人ロボットのr2D4は、海底熱水鉱床の存在の証拠をつかんだ³。あらかじめセットしたプログラムにしたがって独立に働く自律型無人ロボットのr2D4は計画した通りの航路（測線）をたどった。戻ってきたロボットからデータを回収し、解析。すると、急に水中のマンガン濃度が高くなり、周囲の濁りが激しくなった場所が記録されていたのだ。これこそ熱水噴出孔からマンガンを含む熱水が噴き上がっている証拠だった。

地下資源に恵まれていたかつての日本

熱心に熱水鉱床を探すには理由がある。世界的に金属の価格が急激に上昇しているのだ。中国・インド・ロシアの経済発展を背景に、金属資源の消費は世界的に拡大しつつある。特に中国は1990年以降、毎年10パーセント以上の経済成長を果たしている。経済発展に伴い、利用する鉱物資源の量も増大してきた。これまで供給側だったこうした国々の経済発展によって金属資源の供給バランスはくずれつつある。中国が世界の工場になっている側面はあるものの、日本経済にとって安定した金属資源の入手がこの先大きな問題となるのは必至だ。2007年11月には甘利明経済産業相が南アフリカとボツワナを訪れ、今後世界的な枯渇が予想されるレアメタル（希少金属）の確保をめざして、いわゆるレアメタル外交を行ったことは記憶に新しい。レアメタルとは、パソコンや携帯電話、自動車などの電子部品に使用される非鉄金属を指す。

こうした危機を自国で救う可能性をもつのが海底熱水鉱床だ。実はこの海底熱水鉱床と同じメカニズムでできた鉱床が、すでに日本の陸上の地層中に数多く知られており、重要な金属資源として利用されてきたのだ。海底熱水鉱床のいわば「化石」は2種類あり、黒鉱および別子型鉱床（愛媛県）や、1960年代からの高度経済成長を支えたのが北鹿盆地（秋田県北部）に広がるこの黒鉱だった。とくに黒鉱は日本で開発が始まったため、世界でも「kuroko」という単語が広く使われている。黒鉱とは黒い鉱石を意味しており、その鉱石には金、銀をはじめ、銅、鉛、亜鉛、ガリウ

ム、ゲルマニウム、インジウムなど、他のタイプの鉱床に比べ、非常に多様な金属を含むのが特徴だ（図2）。

今でこそ、資源の乏しい国といわれているが、その昔、日本は鉱物資源の豊かな国だったと東京大学理学部の浦辺徹郎教授はいう。7～8世紀の仏教伝来の折には、日本は世界最大の産金国だった⁴。この金が仏教文化の導入に使われた。また16世紀の鉄砲や西洋文化の伝来といった戦国時代を支えていたのも金だった。江戸時代には日本は、石見銀山といった鉱山によって世界最大の産銀国だった。江戸幕府の屋台骨は、伊豆、山梨、佐渡の金山が支えていた。そして明治維新のころには日本は幸いに

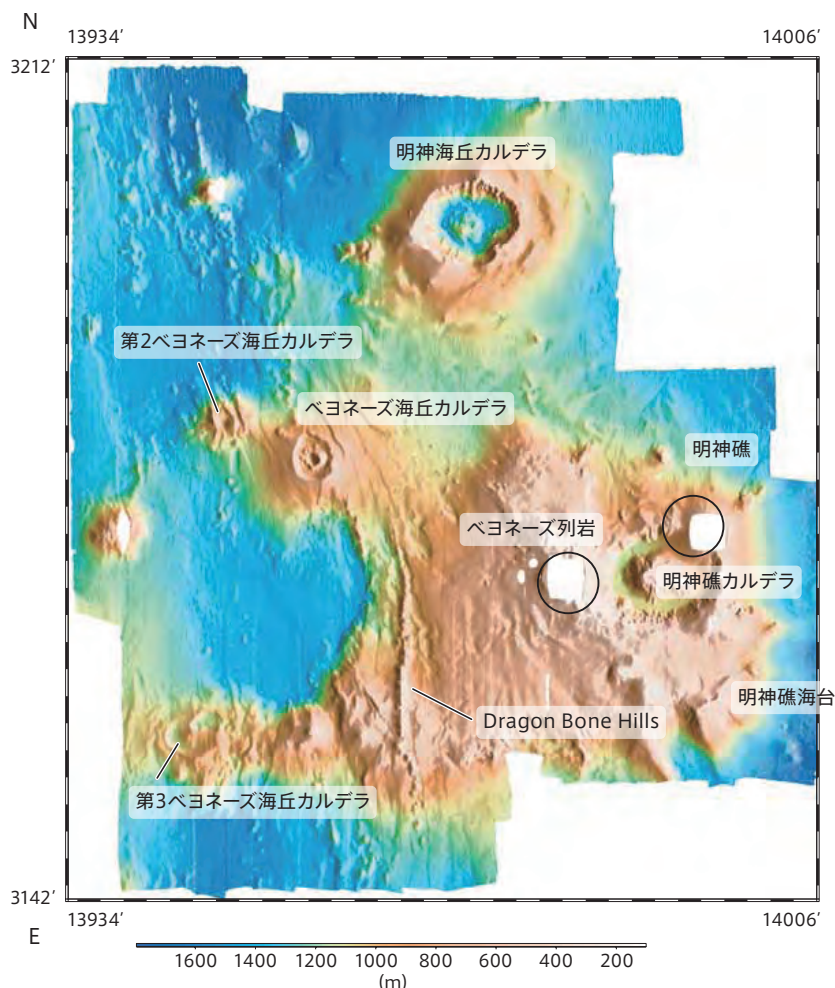


図1 伊豆・小笠原海域には多くの海底カルデラが広がっている。これまでにベヨネーズ海丘の白嶺鉱床、明神海丘のサンライズ鉱床、水曜海山（上記地図より南側）3つの海底熱水鉱床が発見された。複数のカルデラが集中して存在するため、今後もこの海域で新たな鉱床が見つかる期待されている。

も世界最大の産銅国であり、この時の銅の対価で文明開化を推し進めたという。これほど多くの地下資源見つかった理由、それは日本の成り立ちと深い関係がある。

陸上の鉱床と日本列島の成り立ち

陸で見つかる黒鉱や別子型鉱床は、かつて海底にあった「熱水鉱床」だった。熱水鉱床には大きく2種類の出来方がある。(図3) 海底のできるものと、陸のできるものだ。どちらも地球内部の熱源(マグマだまり)によって暖められた熱水が岩石にできた割れ目の間を通ることと始まる。

数百度の熱水は、周囲の岩石に含まれる水に溶けやすい金属を溶かし込んでその割れ目の間を走っていく。もし、割れ目の間を走っている間に、熱水の温度が冷やされれば熱水の通り道沿いに溶け込んだ金属などの物質が析出していくことになる。これが鉱脈型とよばれる鉱床のでき方だ。このタイプは陸でも海底下でも見ることができる。

一方で海底下に熱源のマグマがあり、熱水ができる場合、金属を溶かし込んだ熱水が海底から噴き出す場合もある。これが熱水噴出孔であり、ブラックスモーカーやグレースモーカー、ホワイトスモ-



図2 左の写真の黒灰色部は熱水噴出孔(チムニー)の外側で閃亜鉛鉱から、白色部は硬石膏から成る。黄色色の部分はチムニーの内側で熱水の通路部に沈殿した黄銅鉱が光を反射して輝いている。右は黒鉱の写真で、最上部の赤色は赤鉄鉱(バンド主成分は重晶石)による着色。黒色部の主成分は閃亜鉛鉱と方鉛鉱、黄色部は黄銅鉱を主とし、白色部は重晶石。

カーなどとなって周囲に鉱床ができる。これが黒鉱や別子型鉱床だ。海底の場合には、さらに海底下の地殻部分に鉱脈型の鉱床が発達する場合もある。こうしてできる海底熱水鉱床の中で、島弧にできたのが黒鉱である。

東北地方の北鹿盆地は黒鉱が密集した地域で、小坂や花岡の地名で知られている。この北鹿盆地は金・銀・銅・鉛がとて狭い範囲に集中して産出する場所として世界的に有名だった。

なぜこれほど多くの黒鉱がこの場所に集まっているのか。広範囲な鉱床探査が



1960年代に行われた。この調査により、すべての黒鉱は約1500万年前にできたものだった。いったい1500万年前に何があったのか、この年代はマジックナンバーとして長い間研究者たちを悩ませていた。

マジックナンバーの謎が急展開を見せたのは1992年、東京大学大学院工学研究科の玉木賢策教授らによる研究だった⁵。1500万年前、今の東日本の陸地は、ほとんどが海の底にあった(図4)。その1500万年前からおよそ100万年間、日本海周辺では活発な火山活動が起きていたというのだ。海底に地溝帯が形成され、日本海が開き始めた。玉木教授によれば、このときの火山活動の規模は、ちょうど現在の伊豆・小笠原海域の活動に匹敵するという。この活動に伴って活発な火山活動が起こり、その熱源によって東北地方に広がる黒鉱が形成されていった。

今の日本列島の形ができるのはそれから1000年以上も後の180万年前のことだ。このとき、日本海東縁に北米・ユーラシアプレート境界が日本海の中に新たに形成され、2つのプレートの衝突によって日本列島が上昇を始めたのだ。この上昇によって、海底熱水鉱床は陸に上がり、黒鉱とよばれる鉱床となった。

島弧が生み出す豊かな環境

日本列島周辺の海域に広がる活発な火

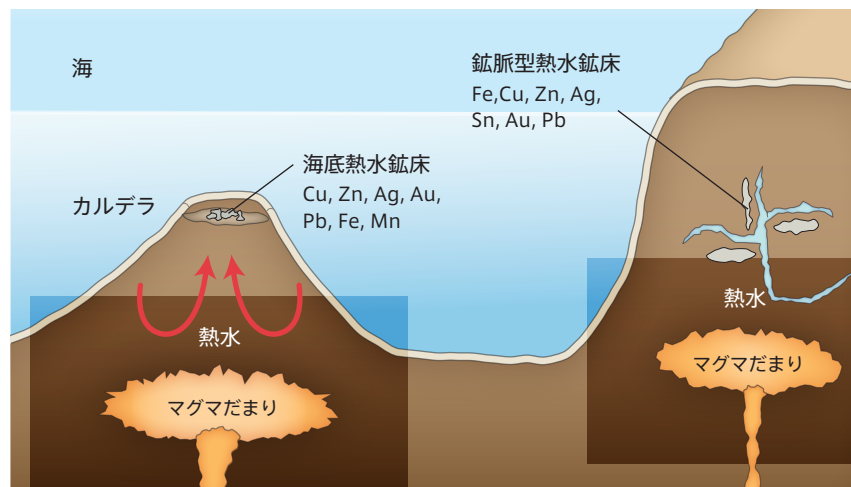


図3 海底熱水鉱床と鉱脈型熱水鉱床。マグマだまりで暖められた熱水は、周囲の岩石から金属物質を取り込む。熱水の通り道で冷えて、溶けていた金属物質が析出すれば鉱脈型とよばれる鉱床を作る。これは通常陸地や海底下のできる熱水鉱床だ。熱水が海底で噴き出し、その場で冷えて金属が降り積もれば、海底熱水鉱床となる。

山活動が、日本に金属資源を導いた。火山活動は熱源を意味し、熱源によって熱水が生まれるからだ。海底熱水鉱床はプレート発散域である中央海嶺や、日本の伊豆・小笠原弧のようにプレートが収束する火山活動の盛んな海洋性島弧で作られる。1980年代後半より発見が相次いだ島弧の熱水鉱床の分析により、島弧周辺の方が発散型の中央海嶺よりも、金属が多様で複雑であり、経済的に有用な金属元素が多く含まれることがわかってきた。このような特徴は島弧でできた黒鉱鉱床についてもいえる。「中央海嶺の鉱床は銅と亜鉛しか含まれません。しかし、

島弧の熱水鉱床や黒鉱は中にレアメタルも含まれている。何度もおいしい鉱山なんです」と浦辺徹郎教授はいう（表1）。

島弧型の海底熱水鉱床の特徴は、この複雑な金属構成にあるのだ。実は、黒鉱の存在は江戸時代から知られていた。しかし、あまりに鉱石の構成が複雑なため、金や銀といった特定の貴金属を選別する技術がなく、そのまま放置されていたという。江戸時代に盛んに開発された佐渡や伊豆、山梨から産出する金銀鉱石は、陸の熱水鉱床と考えられ、金や銀が主成分。ほかの金属はほとんど混じっていなかった。



図4 およそ1500万年前の日本地図。東日本のほとんどの陸地は、当時は浅海だった。プレートの衝突によって、日本付近では活発な火山活動が起きていた。

大量の生命が群がる活動熱水域

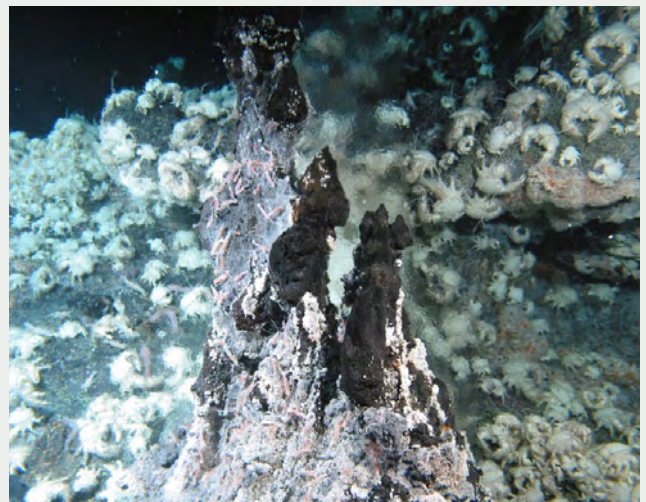
1977年、世界で初めて発見されたガラパゴス沖の熱水噴出孔に群がる奇妙な、なおかつ大量の生きものの姿は、それまで荒涼としていたと考えられていた深海のイメージを一新した⁹。以来、世界中の海で三百数十か所の熱水活動域が見つけれられてきた。食糧が少ないと考えられている深海で、微生物は熱水中の酸化物質と、地球内部から噴き上がってくる還元的なガスや金属などを利用し、酸化還元反応によってエネルギーを手に入れることができる。そのため、熱水活動域には多くの微生物が繁栄し、また微生物を体内に共生させた多くの生きものが群がるのだ。

浦辺徹郎教授は、熱水活動域が微生物の宝庫だと語っている。陸上ではまったく見ることができない新種の微生物が見つかるというのだ。微生物ハンターとしても活躍する、JAMSTEC 極限環境生物圏研究センター地殻内微生物研究グループの高井研プログラムディレクター（PD）は、熱水活動域の表層や熱水噴出孔下の微生物群集は、活動域ごとに大きく異なること¹⁰、また

マントルの特性やマグマ活動といった地質学的な条件と、そうした群集は密接なかわりがあることを報告している¹¹。中央海嶺型、島弧型、また同じ島弧型であっても、どのような堆積物が沈み込むか、その場所の特性によって、そこに暮らす微生物は遺伝子レベル及び表現型レベルで群集構造が異なるという。

生きものがエネルギーを得やすい熱水活動域は、初期生命活動の場だったと予測されている。初期の地球大気は、酸素がないか、今よりずっと少なかったと考えられている。2004年には高井PDらによって、インド洋カイレイフィールドで酸素から完全に独立した生態系が発見された。超好熱メタン菌と超好熱発酵菌が一塊の群集をなし、互いに物質を循環させる生態系を構成していたという。高井PDはこれと同じようなエネルギー代謝を有した生態系が初期生命を持続可能にした場に存在したと考えている。

また2007年にはJAMSTEC 極限環境生物圏研究センター有用微生物探索グループの中川



熱水に群がるオハラエビやゴエモンコシオリエビとイブシロンプロテオバクテリアは、共生している。沖縄本島から北北西へ200kmほどの伊平屋北熱水活動域（水深は約1000m）。

聡研究員らによって、熱水活動域の優占微生物（イブシロンプロテオバクテリア）が他の生物と共生するための仕組みが、胃がんの原因となるヘリコバクター・ピロリや、腸炎やギランバレー症候群を引き起こすカンピロバクターといった病原菌がもつ病原機構のルーツであることが発見された¹²。中川研究員は、深海の熱水活動域という変化し

やすい過酷な環境が、これらのバクテリアが他の生物と共生もしくは感染して生き抜くメカニズムを生み出す原動力となったのではないかと考えている。

熱水活動域には非常に貴重な、珍しい生きものが大量に発見されつつある。熱水活動域の海底下にも巨大な生命圏が広がっていると予測されている。

S.S.

このような差ができる原因は2つある。1つは水だ。陸でできる熱水鉱床の熱水は、多くは雨水が地下深く染みこんだ地下水から作られる。一方で海底熱水の場合は、熱水に塩分が含まれることになる。この塩化物が熱水中に混じっていると、金、銀以外のさまざまな重金属を溶かし出す能力が高くなる。そのために海底熱水鉱床の黒鉱は、複雑に金属を含んだ鉱石になっている。

原因のもう1つは地殻の構造で、島弧という環境にある。プレートが沈み込む海溝部ではプレートが堆積物もろとも島弧の地下に沈み込み、やがてマグマを発生させる。このような島弧マグマは堆積岩の複雑な成分を受け継いで多くの微量元素を含むことになる。一方の発散型の中央海嶺では、プレートどうしが発散することで圧力が下がるため、地球内部からマントルが部分的に溶けて上昇してくる。そのため、堆積岩のような複雑な構成の岩石が混じることもなく、単純な組成になることが多い。中央海嶺でできる海底熱水鉱床は銅、亜鉛、鉄などが主成分となり、それ以外の金属元素はとても少ないのだ。

すでに陸上にある鉱床は、資源探査目的の人工衛星によって探査し尽くされている。地下に埋もれていて見えない鉱床

の見つかる可能性に賭けるしかないが、発見率は年々低下している。しかも、陸上は掘れてもせいぜい深さ3キロまでだ。それ以上になると「山はね」という、岩圧によって何トンという岩が坑道の壁からはじけ飛ぶという現象が生じるからだ。新たに見つかる陸上の鉱床の多くは、どんどん深い位置になってきている。「将来的には、陸上での金属資源は今までのようなペースでは見つからなくなるでしょう」そう浦辺教授は語った。

採算性の高い日本の海底資源

海こそ、残されたフロンティアなのだ（図5）。「海底熱水鉱床の発見とさらなる調査によりその特徴がつかめれば、埋もれている陸上鉱床発見の新たな突破口になる可能性もあります」と玉木教授は話す。

「海底熱水鉱床を発見する手段も確立されつつあります」と産業技術研究所の飯笹幸吉グループ長は語った。現在、熱水鉱床を見つけるには海底カルデラや背弧海盆（沈み込み帯の背弧地域に生じる海洋底拡大によって生じる縁海・海底）をターゲットに調査が進められているという。海底熱水鉱床が日本で初めて見つかった伊豆半島沖のものも、また明神海丘にあるサンライズ鉱床もどちらもカルデラ内のものだ。

詳細につくられた海底地形図を頼りに、構造の交差部、例えばカルデラと断層が交差しているような場所を探していく。地形的に有望な場所が見つかったら、次に2～3キロメートルほどのグリッドを切り、そのグリッド内から地質試料を採る。その方法は通常、船上から筒のようなものを自由落下させ、その重みで筒内に海底からの土の塊（柱状コア）を得る。こうして得たサンプルを解析して組成を調べると、グリッドごとの熱水活動に伴って生成された鉱物の変化を知ることができる。例えば、硫化物の量の分布を調べ、しだいに増えていく方向を見定めることで噴出している地点の当たりを付けていく。

できあがった硫化物分布マップをもとに、さらに小さな区画でグリッドを切り、今度はr2D4のような自律型海中ロボットを使ってマンガン濃度や地形などの詳細な調査を行う。ここでさらにねらいを定める。そして最後に有人潜水艇などを使って、目視で場所を確認する。こうした調査方法ですでにいくつかの海底熱水鉱床が発見されている。

これまでに伊豆・小笠原近海で3つの海底熱水鉱床が見つかったものの、現在海底から資源として採掘された金属資源はほぼないといっている。それは海底から採掘する技術が確立されてお

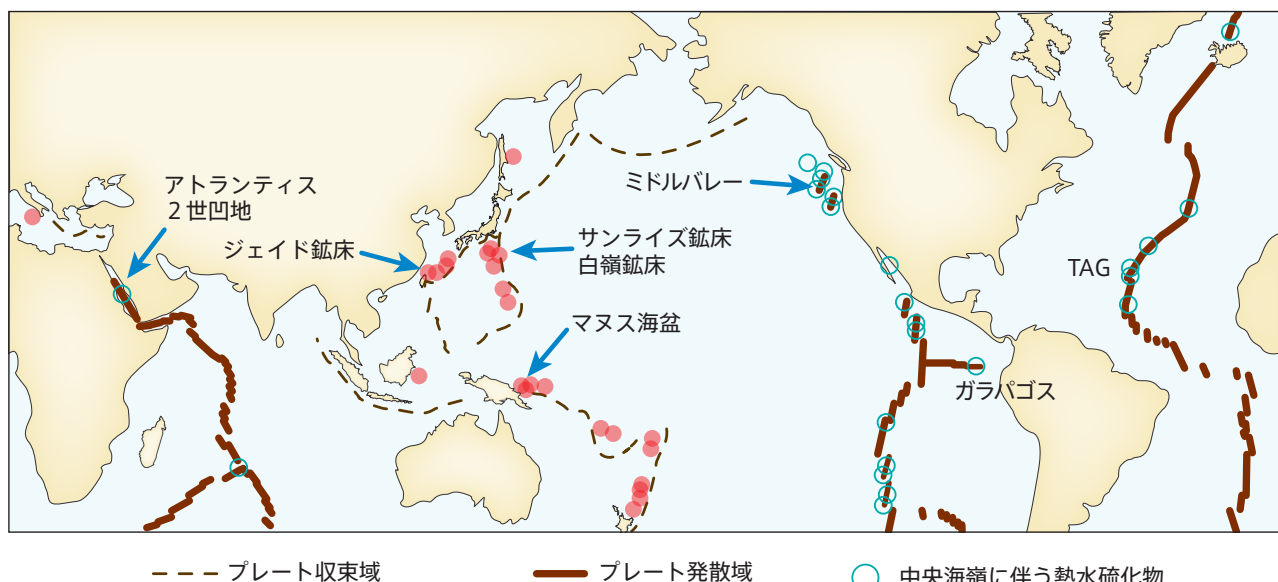


図5 島弧と中央海嶺に伴う海底熱水鉱床の位置。

	海域		銀	金	鉛	銅	亜鉛	鉄	Co	Ni
		n *	ppm	ppm	%	%	%	%	ppm	ppm
中央海嶺系	エクスプローラー海嶺	46	124	0.80	0.11	3.4	5.0	26.8	-	-
	ガラパゴス海嶺	17	46	0.34	0.04	4.5	4.0	32.6	86	270
	東太平洋海膨 (21°N)	-	159	0.08	0.32	0.8	32.3	19.2	100	3
	東太平洋海膨 (13°N)	6	62	0.31	0.07	7.9	10.8	23.9	1100	70
	ファンデフカ海嶺 (中軸部)	-	436	0.30	0.75	0.2	11.3	19.6	20	20
	ファンデフカ海嶺 (南部)	-	207	2.50	0.18	0.9	24.3	9.9	20	90
島弧系 / 背弧	ラウ海盆, トンガ	46	178	3.80	0.38	5.2	21.6	10.6	-	-
	沖縄トラフ伊豆名海穴	14	2806	4.70	11.49	2.0	20.9	10.3	4	50
島弧系 / 火山	明神海丘 (Sunrise)	37	1213	20.00	2.27	5.5	21.9	10.5	22	26
	水曜海山	11	203	28.90	0.84	12.6	20.8	15.7	50	10

* n はサンプル数

表 1 世界の海底熱水鉱床との組成比較。塊状硫化物の海域別金属含有量の平均値。中央海嶺系よりも島弧系の方がレアメタルの濃度が高い。

らず、金属の価格をみても輸入した方が、採算に見合うからだ。しかし、金属の相場は上昇傾向にある。最近では資源ナショナリズムも高まりつつある。

採掘方法を開発すれば、海底資源において日本は最も採算の採れる可能性が高い場所にあるといえるだろう。鉱山開発は、鉱床を探すのに 5～7 年、その開発に 2～4 年、投資した資金を回収するまでに 10～15 年かかるといわれる。合計おおむね 20 年の期間を必要とするのだ。海の場合はおそらく 10 年以上かかるだろうと試算されている。今日始めて、明日採れ始めるものではないのだ。

日本のような加工貿易国では、その原料となる金属資源を安定的に手に入れる手段を確保しておかなければならない。備蓄はあるものの、今後同じような方法で資源を確保できる保証はない。資源エネルギー庁や金属鉱業事業団(現石油天然ガス・金属鉱物資源機構)、地質調査所(現産業技術総合研究所)などによって長年地道な調査が続けられ、それに伴って日本の排他的経済水域内(EEZ: 経済的な主権が及ぶ水域のこと)には飛び抜けて多くの資源があることが判明している^{6,7}。2007 年 11 月には JAMSTEC によって、伊豆・小笠原海域の地殻が海洋地殻ではなく、大陸地殻の特徴をもつと発表された。この研究から大陸棚の延長であることが認められれば、国連海洋法条約によって

EEZ が最大で 57 パーセント増加する可能性がある。

貴重な生物と熱水鉱床

「海底資源でいえば、我が国は世界一の資源国なんです」と浦辺教授と玉木教授は同じように語っていた。北鹿盆地で掘り尽くされた黒鉱の鉱石量は約 5000 万トン、現在発見されている日本の海底熱水鉱床では少なくとも数百万トンの鉱石量が推察されている⁸。

実際に、これらの海域に具体的にどれほどの鉱量があるのか。実はこの調査はまだきちんと行われていない。ある程度正確な鉱量を知るためには、さらなる調査を行う必要がある。こうした背景を受けて、2007 年 12 月に内示された来年度予算で、本格的な海底熱水鉱床開発費がついに計上された。

金・銀の含有率が高いとされる伊豆・小笠原海域に広がる海底熱水鉱床に興味を示し、採掘に挑もうとする海外資本の会社もすでに現れている。

2007 年 10 月 15 日～17 日にかけて、東京大学で学会 Underwater Mining Institute (UMI) が開かれた。ここではカナダに拠点を置くノーチラス・ミネラルズ社が同じ島弧型のパプアニューギニアの海底熱水鉱床で鉱量の調査を行った結果が報告された。報告によれば海底下 11 メートルに渡って鉱床が広がっているという。これくらいの厚みが全体に渡っ

てあれば、十分採掘に値する量だと浦辺教授はいう。また、今回の UMI には内外を含め 15 を超える鉱山開発関連会社の人々が参加していた。海底資源は無視できない状況になりつつある。

一方で活動性の海底熱水鉱床には、貴重な生物が多数発見されている。また日本の EEZ は、大切な漁場が広がる海でもある。日本の海を守り、その生態系を絶やすことなく選鉱、採掘する技術を開発する必要がある。自国の海に責任をもって次の世代へと引き渡していくのは、その国で暮らすものの義務だろう。

2007 年夏、飯笹グループ長らは再び明神礁で調査を行った。2008 年 3 月には同じチームである浦教授らが r2D4 を連れて再びここを訪れる。海は世界とつながり、未来を照らすものであってほしいという願いを胸に。

1. 玉木賢策、浦辺徹郎ら、人と海洋の共生をめざして -150 人のオピニオン III、海洋政策研究財団 (2007)
2. Iizasa, K. et al. *Marine Geology*, v.108, p.39-58 (1992)
3. I. Kitahara, *Nature digest*, 2,22-23(2005)
4. 浦辺徹郎, *Ship & Ocean Newsletter*, 146, 2-3(2006)
5. 玉木賢策、日本海の形成機構—新しい背弧海盆拡大モデル、科学、11月号 (1992)
6. Usui, A. and Glasby, G.P. *The Island Arc*, 7, 422-431 (1998)
7. Ishibashi, J. and Urabe, T. *Plenum Press*, N.Y. 451-495 (1995)
8. K. Iizasa, et al. *Science*, 283 975 - 977(1999)
9. Corliss, J. B. et al. *Science* 203, 1073-1083.(1979)
10. Takai, K. et al. *Geological, Biological, Chemical and Physical Interactions*, 185-213 (2006)
11. Takai, K. et al. *Paleontological Res.* 10, 269-282. (2006)
12. Nakagawa S et al. *Proc Natl Acad Sci U S A* 104, 12146-12150 (2007).



深海に光をともし

Nature Vol.450 (472-474) / 22 November 2007

海面のはるか下、太陽光の届かぬ深海に棲む動物にも眼がある。光なき世界の視覚について Mark Schroppe が取材した。

E. WIDDER

8月のバハマにて、あるないだ日の青い海で、ジョンスホプキンス大学（米国メリーランド州ボルティモア）の海洋学博士課程の学生、Erika Raymond は、船上の研究室内で数時間分のビデオ映像をチェックしていた。水深およそ600メートルの海底に設置したカメラから送られてきた映像だった。

その深さでは、わずかな太陽光がやっと届く程度であり、そんな暗闇の中での撮影は至難の業である。人工の光源を使うと、生き物たちは怖がって逃げてしまったり、寄ってきては困る生き物までよび寄せてしまったりする可能性がある。そのため、カメラは、大部分の深海動物の眼には見えない赤色光の光源を搭載している。しかし、このカメラシステムは深海

を漫然と撮影するだけではない。「Eye-in-the-Sea（海中の眼）」と名づけられた、発光ダイオード（LED）製の疑似餌を装備している。これは、明るく光ったり特別なパターンで点滅したりするように設計された小さい光源の集合体で、これに何か生物が反応してくれるのではないかという期待を膨らませていた。

Raymond は、スクリーンに映し出されたある映像に興奮していた。指導教官である Edith Widder をよぶと、彼女もやはり興奮して、「これはすごい」といった。Widder は、米国フロリダ州のフォートピアスにある海洋研究・保全学会（Ocean Research and Conservation Association）の共同創立者である。ほかの人々も周りに集まっ

てきて、撮影装置をかき回っていた巨大なカグラザメのうちの1匹がよく映っている別のシーンを見ようとした。しかし、Raymond と Widder は、まったく別の、まるで能の世界のような幽玄美に興奮していたのである。

最初に、画面の中央でLEDの疑似餌から繰り返し発光が起こり、続いて、遠方で同じような光が現れた。この遠方の光は1匹の動物が発したものであった。Raymond と Widder は早速送りし、疑似餌とその動物が同じ発光パターンをしている場面へと映像を進めた。それは、彼女らが使っている5種類のパターンの1つだった。Raymond たちは動物からの応答をもう一度観察した。応答は時には複数あった。やはり本物だ。

Raymond たちは LED の疑似餌を使い、その真っ暗な空間では恐ろしく目立つ表現方法であろう生物発光（コラム生物発光の仕組み参照）を言葉として、深海の動物とコミュニケーションをとり始めた。

いったいどういう会話だったのか、気になる問題である。観察された応答は、異性の気を引こうとするウインクのようなものかもしれないし、あるいは、警告と考えたほうがよいのかもしれない。しかし、そうしたやりとりが初めてでただけでも、深海の暗闇で行う研究分野にとっては、満足できるスタートであった。

深海での生物の発光活動を、行動学の面から観察した例はまれである。深海の生物種を実験室で飼育することはむずかしく、また、海洋深層を探查する機会は非常に限られているからである。しかも、遠隔操作型の探查機や潜水艇といった現地調査用の設備機材は、音や光を発して深海環境を乱す場合が多い。シティー大学（英国ロンドン）で深海映像を研究している Ron Douglas は、潜水艇による調査を、「ランドローバーを 1 台調達し、真夜中にそれに乗ってサバンナに出かけ、ステレオを音量いっぱいにかけてパワー全開でライトをつけ、サイレンを鳴らしながら、ライオンの正常な行動を観察しようとする」ようなものだといっている。

深海への旅

2007 年の夏、米国海洋大気庁（NOAA）の海洋調査局の資金提供を受けた 3 回目の調査航海による深海探査が、バハマで行われた。こうした、従来よりも生物を刺激しないように配慮した調査から、深海ではどんな光がみられ、そこに棲む動物は光をどのように利用していて、どんな世界を見ているのか、といった新たな情報が徐々に明らかになっている。まだはっきりしないことも多いが、1 つ明白なことは、生物発光がほぼ至るところにみられ、光は深海の住人たちの摂食や配偶行動、そして生存のためにことごとく重要な役割を果たしているらしいということである。最近の興味深いいくつかの発見からも、深海動物の少なくとも一

部は、予想より物がよく見えていることがうかがわれる。

バハマの澄んだ海中を潜行していくと、水だけでなく、そこにあるすべての物がすばらしく青いことに驚きと感動を覚える。波長の長い赤色光は、海の最上層ですぐに吸収されて消えてしまう。そのため、深海の生き物の大部分は赤い色を見ることがなく、赤い物もほとんどない。もう少し深く 200 メートルくらいまで潜ると、まだ道を歩ける夕暮れ時ぐらいの明るさがある。しかし、海面から届く光が弱まるにつれて、まず、渦鞭毛藻類が放つ生物発光の小さな光がみられるようになる。さらに深く潜っていくと、光の点はもっとあちこちに現れ、モニター画面には、エビクラゲが放っていると思われる大きい光が点々と映し出される。この「光のショー」はやがて、暗闇を増していく背景に浮かび上がる花火のようになっていく。水深 500 メートルまでいくと、もう人間の眼では太陽光がまったく見えなくなる。この深さに適応した動物たちは、この光量以下でも光を感じ取れるのかもしれないが、水深 1000 メートルに達すると太陽光はまったく届かなくなる。

太陽光のない世界

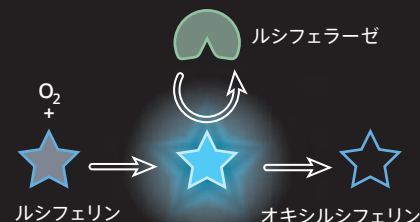
しかし、太陽光が届かない深さになっても、動物の眼はまだ普通に物を見ることができ。一生を通じて太陽の光から完全に遮断された生活を送る深海底の動物は、実際には、どちらかといえば大型化した眼をもっている。それらの眼は何かを見ているはずであり、その何かとは生物の発する光である。実際、英国アバディーン大学の Monty Priede らが行っている生物発光調査から、生物発光の頻度は水深が増すにつれて減っていくが、水深数千メートルでも発光がみられることが明らかになっている。

「光は外部環境の中で最も重要な変量であり、おそらく海洋環境でも同じように重要だという事実が忘れられています。ただし、深海動物は我々と同じように物を見ているわけではないことを理解しておく必要があります」と Widder はいう。

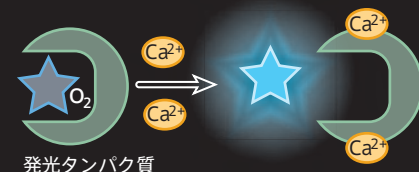
生物発光の仕組み

生体内で化学的に起こる生物発光は多くの生物で知られているが、その大部分は海洋環境で観察することができる。

さまざまな化学反応があるが、陸上でも海中でも、発光反応が起こるときは一般にルシフェリンとよばれる基質が、ルシフェラーゼとよばれる触媒の働きで酸化される。ルシフェリン基質は生物体内で生成されるが、餌から摂取される可能性もある。



基質に触媒が働き、酸素などの補助的因子が結合して発光タンパク質が生成し、イオン（通常はカルシウムイオン）の付加によって発光が起こる。



しかし蛍光が発生するのは、化学反応においてではなく、吸収された光が再び放出されるときである。蛍光タンパク質は、生物発光で生じた光など、ある種類の光によって励起された場合、それより波長の長い低エネルギーの光を発する。



オワンクラゲ (*Aequorea victoria*) から単離された緑色蛍光タンパク質などの蛍光タンパク質とともに、発光タンパク質による生物発光は、生物医学研究で幅広く利用されている。カルシウムで活性化される発光タンパク質は、筋収縮その他のシグナル伝達系の研究に使うことができる。また、ルシフェリンとルシフェラーゼを組み合わせ、薬剤や遺伝子、細胞の活性を調べることができる。

専門家たちは、視覚以外の感覚ももちろん重要だが、深海動物の中には生活面のあらゆる機能を生物発光に頼っているものがあると考えている。深海底では隠れ場所が乏しいことから、生物発光の最も一般的な用途の1つは、当然のことながら単純に「生き延びるため」である。

1つの定説として、一部の深海動物は、捕食者を驚かせるために明るい生物発光を警報器のように使ったり、自分の捕食者を捕食する生物を引き寄せるために使ったりしていると考えられている¹。Widderによれば、Eye-in-the-Seaの最も初期の成果の1つから、後者の説が裏づけられるかもしれないという。2004年、海洋深層で初めてLEDの疑似餌をクラゲに似た発光パターンで動かしたところ、わずか1分余りで、体長2メートルのイカが画面に映った。その翌年、数百マイル離れた海域で、同じ種類だが種は未同定のイカが同じような応答をみせた。これは、生物にやさしい探査法によって新しい行動が発見できることを示す格好の証拠となり、「このイカの行動以上にインパクトのある証拠はまずないと思う」とWidderは話す。

深海の動物は、生物発光器や発光組織、さまざまな形の「噴出物」を上記の定説以外の用途に使っていることが、状況証拠から示唆されている。ときには一種の抑止力となり、一部の動物は、自分が食べられたときに捕食者の消化管をライトアップして、その捕食者の捕食者に居場所を知らせることができるらしい²。生物発光は、毒ヘビや毒ガエルが捕食者に、毒をもっていることやまずいことを知らせる警告色と同じように使われている可能性もある³。2005年、NOAAのOperation Deep Scopeの調査航海で、Widderは、知られるかぎり初めての発光するイソギンチャクを発見した。このイソギンチャクは、発光する粘液を出す。その用途は不明だが、Widderは警告信号ではないかと考えている。まったく毒のない生物が毒のある別の生物そっくりに進化するベイツ型擬態の例が、深海にも存在していることになる。

多くの動物は、光を使って捕食者から身を隠すことができる。海中の薄明層では光がまだ少し届いており、下から見ると黒っぽいシルエットが簡単にわかってしまうため身に危険が及ぶのだと、デューク大学（米国ノースカロライナ州ダラム）の生物学者で2007年のOperation Deep Scopeの主任研究員であるSönke Johnsenはいう。そこで多くの動物は、発光器を使って捕食者の眼をくらませたり、体の下方面を光らせて周囲に溶け込んだりするのである⁴。

生物発光の別の一面として、多くの動物が光を使って同種の個体や別種の動物を引き寄せたり見つけ出したりしていることを強く示す証拠も得られている。例えば、たくさんの魚やイカが生物発光をサーチライトのように使っている。また、性別に特異的な生物発光パターンを使って配偶相手を引き寄せるものもある⁵。深海に棲むチョウチンアンコウの仲間の雌は、獲物をおびき寄せる疑似餌構造を備えていることで有名である。恐ろしい歯が並ぶ口の前に、発光細菌が詰まった疑似餌をぶら下げているのである。

発光細菌は海洋全体に広く分布しており、これらの細菌は光を使って居心地のよい場所に行き着くのだと考えられてきた。生物の死骸の一部や糞の塊に乗った光る細菌は、魚に食べてもらう確率が高まり、魚の消化管内は細菌にとって願ったりかなったりの居場所なのである。

眼に眼をこらす

生物発光がどのように使われ、用途に対する成功度がどれくらいかを知るためには、もちろん、深海の動物が何を見ているかを知ることが不可欠である。Operation Deep Scopeのリーダーの1人で、深海調査で使用された調査船と探査機の保有機関であるハーバー・ブランチ海洋研究所（米国フロリダ州）の視覚生態学者、Tammy Frankは、深海動物の眼を詳しく調べている。彼女は、深海底に生息する動物の眼のサイズは同じ海域の上層にいる動物の眼よりも相当大きい、それはエネルギー消費が関

係しているためではないかと考えている。高度に発達した視覚はエネルギーを要する。開放水域に棲む動物は、捕食者より速く泳ぐことに多くのエネルギーを費やす可能性があるため、エネルギーをいらずに消費することはできない。海底に棲む動物は、堆積物や岩などに身を隠せるため、より多くのエネルギーを視覚に振り向けることができると考えられる。

これまで調べられた深海動物の大部分は、青色から緑色の範囲の光を見ることができるようである。波長の短いこれらの光は、海の深いところまで届き、生物発光の大部分もこの色の範囲におさまる。しかし、驚くような例外もある。Frankは2005年に、メキシコ湾で実施されたOperation Deep Scopeの第2次調査航海で、標準的な青色から緑色の範囲だけでなく紫外光も感じとれる、海底に棲むカニの一種を発見した。この能力の用途はよくわかっていないが、このカニは何らかの未知の方法で、好みとする隠れ場所（柔らかいサンゴ）を見つけ出したり、時おり紫外線領域にわずかにシフトする各種の生物発光を見分けたりできるのかもしれない。当初は風変わりだとばかり思えなかった例は既にいくつかあり、今回こうした視覚能力の存在が実証されたとしても驚くには当たらないだろう。

赤色光は海中深くまで透過しないため、従来の常識として、深海の生物発光はすべて青色か緑色だと長い間考えられていた。ところが1981年に、英国サウサンプトン大学で生物発光の先駆的研究を行っていた（現在はセミリタイアしている）Peter Herringは、ワニトカゲギス科の一部の魚が、眼の下に赤色の光を放つ「サーチライト」を備えているという⁶、おもしろい発見を報告している。この科の仲間は世界中に広く分布し、その名（英名はdragonfish）にあるように、恐ろしい歯と長い尾をもった深海魚である（p.18の写真参照）。Herringはほかの研究者たちとともに、これらのサーチライトは、青みがあった

生物発光を赤色光領域にシフトさせる蛍光タンパク質が作り出したものであることを明らかにした。これらの魚は、眼が赤色光も見えるように適応していることから、ほかの魚類には見えない光を発して、こっそりと配偶相手を誘い寄せたり、餌をおびき寄せて捕食したりできると考えられている^{7,8}。

不思議なことに、ワニカゲギス科魚類の一種は、赤色光を見るために必要な色素を本来もっていないようだった。Douglas と同僚は最終的に、この魚は赤色光を見るために細菌由来のクロロフィル色素を使っていることを発見した。この色素がどのように獲得されるのか、また、赤色光を見ることができるようエネルギーシフトさせる仕組みについては、まだはっきりわかっていない。しかし、このクロロフィルをマウスなどの動物の眼に注入すると赤色光の視覚が増進されることが、ほかの研究チームによって明らかにされている⁹。

赤い色を見る

モンレー湾水族館研究所（米国カリフォルニア州モスランディング）の Steven Haddock たちは、深海での赤色光にはほかにも使い道があるのではないかと考えた。2005 年に彼の研究グループは、魚を食べるクダクラゲの一種が、生物発光に赤色蛍光タンパク質を組み合わせる触手で赤く光る「フィッシングルアー」を作り出しているという提案をし、議論をよんでいる¹⁰。

赤色を見ることができるとわかっている少数の深海動物種を題材にして反論が展開されているが、その多くはまだ未検証である。また、物理学の分野からも別の反論が出されている。生物発光反応から蛍光タンパク質への移行でエネルギーが失われて、発生したり受け取ったりするシグナルは相当弱くなるため、蛍光では役に立たないというのである。

「当方の物理学チーフは『ノー』といっていますね」と、クィーンズ大学（オーストラリア、ブリストル）から Operation Deep Scope に参加している Justin

Marshall は話す。「でも生物学のチーフは、『うーん、なぜだめなんだ？生物の世界は不思議に満ちているんだから、ありうるかもしれないじゃないか』と反論しています」。

Haddock と、Operation Deep Scope のもう 1 人のリーダーであるテキサス大学オースティン校の Mikhail Matz は、ワニカゲギス科魚類のサーチライト発光器で見つかった赤色蛍光タンパク質の関連研究プロジェクトに参加している。予備研究の結果によると、この蛍光タンパク質は 2 種のおごひげにもみられる。おごひげは生物発光器官とは関連していないので、そこに赤色蛍光タンパク質が存在するのはますます不思議なことである。「赤色蛍光は何らかの獲物をおびき寄せるのだと思います」と Matz はいうが、どんな獲物をどうやっておびき寄せるのかは不明だ。ワニカゲギス類の赤色蛍光タンパク質は、これまで知られていなかった新しい種類だとみられている。生物医学研究では、ほかの複数の蛍光タンパク質がよく使われており、今回の赤色蛍光タンパク質も、もっと浅い海に棲む動物から採取された数種の同族タンパク質とともに、研究用の新ツールとして使えるのではないかと Matz は考えている。

赤色蛍光が深海でどの程度の役割を果たしているのかといった疑問は、まだしばらく解明されそうにないが、Widder は、深海のいくつかの謎については研究を進展させる新ツールがまもなく登場するだろうと期待している。軍による資金提供のため、生物発光に関する研究のほとんどは、発光のせいで潜水艦や軍艦などの存在がわかってしまう浅海域に集中してきた。しかし、Widder は今回、Eye-in-the-Sea を使った新たな探査に対して米国立科学財団から資金の提供を受けており、カリフォルニア州のモンレー沖での海中観察設備の一部として、2008 年の初めに Eye-in-the-Sea を設置する予定である。この観察システムのおかげで、初めて生物に優しいやり方で深海を半永久的に観察できることにな



深海探査機「Eye-in-the-Sea」のそばに立つ Edith Widder。

る。それはつまり、深海生物の発光活動の本当の姿を、初めて効率よく長期にわたって研究できるということだ。Widder や彼女の同僚たちは、このような観測の強化によってさまざまなことを発見できるだろう。そして、バハマの海で LED の疑似餌とそれに応答した未知の動物の間で交わされた会話を解読できるかもしれない。「今後、こうした問題のいくつかに、初めて取り組むことができるでしょう」と彼女は語った。

Mark Schroppe はフロリダ在住のフリーライター。

1. Widder, E. A. in *Adaptive Mechanisms in the Ecology of Vision* (eds Archer, S. N., Djamgoz, M. B. A., Loew, E. R., Partridge, J. C. & Vallerger, S.) 555-581 (Kluwer Academic, Boston, 1999).
2. Johnsen, S. *Biol. Bull.* **201**, 301-318 (2001).
3. Grober, M. S. *Anim. Behav.* **36**, 493-501 (1988).
4. Johnsen, S., Widder, E. A. & Mobley, C. D. *Biol. Bull.* **207**, 1-16 (2004).
5. Herring, P. J., *J. Mar. Biol. Assoc. UK* **87**, 829-842 (2007).
6. Herring, P. J. in *Bioluminescence and Chemiluminescence*, (eds DeLuca, M. A. & McElroy, W. H.) 527-530 (Academic Press, New York, 1981).
7. Widder, E. A., Latz, M. F., Herring, P. J. & Case, J. F. *Science* **225**, 512-514 (1984).
8. Douglas, R. H. et al. *Nature* **393**, 423-424 (1998).
9. Washington, I. et al. *Photochem. Photobiol. Sci.* **6**, 775-779 (2007).
10. Haddock, S. H. D., Dunn, C. W., Pugh, P. R. & Schnitzler, C. E. *Science* **309**, 263 (2005).

D. SMITH

A COUNTRY WITHOUT ALMS

慈善後進国、日本

Nature Vol.450 (24-25)/1 November 2007



日本人は慈善団体への寄付をほとんど行わない。寄付に消極的な日本の風潮を変えようと活動を続ける科学者や患者支援活動家を、David Cyranoski が取材した。

大濱 真には、人生の大きな目標が2つある。1つ目の目標は、自分で食事が取れるようになることだ。現在62歳の彼は、30年前にラグビーの競技中に受けたタックルが原因で、首から下が麻痺している。再生医療が飛躍的な進歩を遂げないかぎり、この目標を達成することが困難であることは承知している。しかし、再生医療研究の後押しをすることで、いつか脊髄の再生治療を実現させたいと彼は考えている。たとえ自分がその治療を受けることができなかったとしても、脊髄損傷に苦しむ人々を助ける道を将来につなげていくことが、『特定非営利活動法人日本せきずい基金』で会長兼理事長を務める大濱の2つ目の目標なのだ。しかしながらここ日本では、研究者の支援というこの慎ましい目標を実現させることもままならない。

大濱の団体は、脊髄損傷に関連した活動を行う日本の非営利団体の中では代表的な位置づけにある。それにもかかわらず、管理業務や、コミュニティ作り

のための活動にかかるコストを賄うのがやっとで、研究者の支援をする余裕などないのが現状である。日本では、このような慈善団体への寄付金が、思うように集まらないのだ。日本はアメリカの3分の1の経済力を有しているが、2005年に日本国内で20の主要な慈善団体が出した研究補助金の額は、アメリカ国内の主要20団体が出した研究補助金の額の30分の1にすぎない。さらに日本では、多くの慈善団体が産業界とつながっているため、利害の衝突が起こる可能性はらんでいる。民間からの寄付金が「どんどん流れ込んでくる」欧米の慈善団体とは異なり、日本では「寄付しようという意識が希薄だ」と大濱は嘆く。

日本におけるこのような状況は、人気があるとはいえない研究分野、例えば、幹細胞研究のように政治的論争に巻き込まれて絶望的な状況に陥っている分野の研究者にとっては非常に厳しい。日本政府は、ほかの先進国に匹敵するレベルの研究資金援助を行っている。アメリカ政

府がGDPの0.83%の研究資金援助を行っているのに対して、日本政府もGDPの0.67%の研究資金援助を行っている。しかし、慈善団体は、政府からの資金援助を受けられない研究や若い研究者を援助するという重要な役割を担っていると、東京を本拠地とする『財団法人助成財団センター』の湯瀬秀行は指摘する。このような団体は、製薬会社が見て見ぬ振りをするような、発展途上国の珍しい疾患に関する研究にも支援を行っている。「慈善団体は、政治的矛盾のバランスをとり、長期的な支援を提供することができる」と、神戸市にある理化学研究所発生・再生科学総合センターの幹細胞研究グループディレクターである西川伸一は述べた。

大濱と同様に、西川もまた、慈善団体による科学研究への資金援助を拡大させたいと考えている。その目標を達成するためには、経済的な問題、政府の規制、税制などのさまざまな課題に取り組んでいかなければならない。けれども最もむずかしい問題は、日本には、裕福な人に

もそうでない人にも、寄付をするという習慣が根付いていないということだ。

裕福なアメリカ人は、多額の寄付をすることで有名である。ビル・ゲイツは、1995年から2005年までの間におよそ110億ドル（約1兆2200億円）の寄付を行っている。その多くは、ビル・アンド・メリンダ・ゲイツ基金（シアトル）に寄付された。株式投資家のウォーレン・バフェットは昨年、ゲイツ基金を含むいくつかの基金に435億ドル（約4兆8300円）を寄付した。これは、慈善団体への寄付として過去最高の額である（www.nature.com/news/specials/philanthropy/index.html 参照）。

一方、日本にはこのような大口の寄付をする人はいない。「日本には、飛び抜けた金持ちがいなです」と湯瀬はいう。日本で最も裕福な人物は、通信業界の立伝中の人であるソフトバンクグループ創業者の孫正義だ。彼は58億ドル（約6500億円）の資産を有するとされており、Forbes誌による2007年の世界の億万長者ランキングでは129位に入っているが、地震などの災害時を除いて、慈善団体には寄付を行っていない。日本で2番目に裕福な人物は、不動産会社社長の森章で、その資産は57億ドル（約6300億円）とされている。彼の広報担当者は、森章個人もしくは森トラスト株式会社が寄付を行っているかという質問には答えられないとした。

「日本では金持ちは尊敬されないため、裕福であることを隠す傾向にあります」と『社団法人日本フィランソロピー協会』の高橋陽子理事長は話す。「寄付を行う人の多くは、匿名で寄付をします。裕福な人が慈善活動をする姿が賞賛されるようになる」といいます。

しかし、寄付に消極的なのは裕福な人々だけではない。一般の人々を対象とした寄付金集めも、たいていの場合は期待外れに終わる。大濱が1997年に非営利団体を設立したときには、設立に必要な300万円の寄付金を集めるために、3年にわたり毎月キャンペーンを行わなければならなかった。現在は毎年

平均2100万円の資金が集まるものの、そのうちの半分が政府などからの補助金や助成金である。インターネット上で大々的にキャンペーンを行った際にも、集まった寄付金はわずか70万円だった。「日本腎臓財団（東京）」などでは、寄付金を集めようとするとそれ以上にコストがかかることから、そのような活動は行っていない。

大口の寄付

それとは対照的に、フロリダのMiami Project to Cure Paralysisは一度のキャンペーンで数百万ドルもの寄付金を集めることができ、その85%が研究支援に向けられている。また、カナダの脊髄損傷患者の数は日本の40%にすぎないが、バンクーバーを拠点に活動するRick Hansen Foundationは、年に一度のWheels in Motionというキャンペーンで毎年平均150万カナダドル（約1億7000万円）の寄付を集めている。これは、大濱の団体に集まる寄付金の8倍である。Rick Hansen Foundationでは、寄付金の半分を研究支援に当てている。

日本の経済政策は慈善事業の妨げとなっている。1990年にバブル経済が崩壊して低金利政策がとられるようになったことで、集まる寄付金の額が減少した。そのため、多くの財団では、助成金プログラムを大幅に縮小したり終了したりせざるをえなくなった。「冒険的な支援ができなくなった」と湯瀬はいう。

さらに、特定非営利活動法人（NPO法人）が寄付金を非課税で受け取ることを認められるためには厳しい条件をクリアしなければならない、その資格を認められている団体は、3万2000あるNPO法人のうちのほんの一握りにすぎない。日本せきずい基金も、この資格を認められていない。「日本政府は非営利団体を信用しない」と日本せきずい基金の理事、渡辺基之はいう。このような厳しい条件は、非営利団体がマネーロンダリングに悪用されることを防ぐために設けられたものであるが、非営利団体関係者らは、



大濱眞は、脊髄損傷研究を支援するための寄付金集めに奮闘している。

このような規制のあり方を見直すべき時期がきていると語る。

西川が参加した陳情活動では、NPO法人に関する規制に小さな変更を加えることに成功し、税制上の優遇措置を受けられる団体の数を2003年の32団体から71団体まで増やすことができた。西川は今後も、いくつかの団体が協力して寄付金を集めたり陳情活動を行えるような、さらなる変化が生まれることを期待している。

しかし、日本の一般市民がアメリカの一般市民に比べて寄付を行わない理由は税制の違いだけではない。アメリカとは違って国民健康保険制度があり、海外援助を積極的に行っている日本の国民は、国内外での慈善事業も政府がしっかり行っているはずだと思い込んでいる可能性がある。「人々は、政府に頼りきっているのです。しかし、それではいけません」と高橋はいう。

個人では行動せずに組織の活動に頼っている日本人の姿勢を見ていると、日本のほとんどの財団が大手の企業によって設立されたり、こうした企業からの寄付金に頼っている理由がよくわかる。国内で最も大きな財団の1つである「武田科学振興財団」は、大手製薬会社である武田薬品によって設立され、2005年には生物医学研究に対して10億円の助成金を交付した。助成金の交付額は共にそ

の半分以下であるが、三菱グループやトヨタ自動車もそれぞれ財団を設立している。これらの企業は、利益や所得の1%を社会貢献活動に支出しようという「紳士協定」を結んだ企業や個人からなる日本経団連の1%クラブのメンバーでもある。1%クラブの調査によると、寄付を行っているメンバーは何らかの社会活動を支援するために利益の約1.3%を支出しているが、その多くは非営利団体への寄付ではない。

クリーンな活動

研究支援を行えるだけの資金力をもつ「独立」財団も、そのほとんどが産業界からの寄付に頼っている。例えば、日本腎臓財団の資金の90%は製薬会社から寄付されたものだ。しかし、産業界からの寄付に頼っている財団は、すぐに利益を見込めるような研究しか支援できなくなることが多い。「個人からの寄付がもっとあれば、長い目で研究を支援することができるのですが」と、事務局長の本田眞美はいう。産業界と結びついた財団は、主体性も犠牲にしている。Juvenile Diabetes Research Foundationのニューヨーク支部の最高科学責任者であるRobert Goldsteinは「産業界からの影響を排除するのはたいへんです」と指摘する。「それは、政治的影響力を失うことにつながるからです」。

今年9月には、東京にある『日本心臓財団』がスキャンダルに巻き込まれた。同財団は、心不全治療のためのβ遮断薬の臨床試験に2億円の資金援助をしていたが、この試験に使われた薬物を開発した製薬会社から3億円の寄付金を受け取っていたことが明らかになったのである。厚生労働省は、このような資金集めは慈善団体として適切でないと警告した。臨床試験を行った研究者も、厚生労働省の方針に違反していた。この研究者は、財団からの資金援助のほかに1億1900万円の助成金を受け取っていたが、この助成金を他の助成金と重複して受給することは禁止されていたのである。臨床試験は2006年に終了しているが、

厚生労働省は今後2年間、この研究者への資金援助を凍結することを決めた。脊髄損傷研究への資金援助の拡大を求めて政府にさらなる働きかけを行おうとしている大濱の団体にとって、独立を保つことは重要である。彼はまた、胚性幹(ES)細胞研究への規制の緩和も求めていくつもりである。幹細胞研究に対する日本政府の方針は、表面上はそう厳格なものではないが、規制というハードルが研究の足かせとなっている。日本ではわずか3種類の幹細胞株しか樹立されていないが、これらを研究に使用する際には別個の実験施設が必要になる(*Nature* 438, 263; 2005 参照)。また、研究計画に変更を加えたり、新しい研究者をチームに加えるたびに承認を得なければならない。「規制が多すぎる」と大濱はいう。「医師にはこのような主張はできないが、患者である我々にはそれができます」。けれども、資金力のない大濱の陳情の影響力はたかが知れている。

西川は、責任の一端は医師たちにもあると語る。「医師や研究者は、患者を、ともに研究を進めていくチームの一員であるとは考えていない。患者との連帯意識に欠けているのです」といい、「医師はこのような考え方を改めるべきです」と指摘する。西川は、これまでもいくつかの学会で、患者グループと交流するよう研究者たちによびかけてきた。しかし彼は、苦戦を強いられている。日本の患者は、公の場で自分の疾患について語ることを嫌がるからだ。患者たちは、自分や、自分の家族に注目が集まることを恐れている。遺伝性疾患の患者は、特にその傾向が強い。

「多くの日本人は問題の存在に気づいていません」と本田はいう。パーキンソン病は俳優のマイケル・J・フォックスによって、アルツハイマー病は元米国大統領のドナルド・レーガン一家によって、人々に広く知られるようになった。しかし日本には、自分がもつ疾患に対する人々の理解を促すために名前を貸そうとするスポーツ選手や映画俳優はいない。本田はこれまで、日本腎臓財団の活動をPRす



日本で最も裕福な人物である孫正義(上)と、アメリカで最も裕福な人物であるゲイツ夫妻(下)とでは、慈善団体への寄付に対する姿勢が大きく異なっている。

るために腎臓に疾患をもつ有名人に協力を求めてきたが、ことごとく断られている。

西川は、かつて読売巨人軍の投手であった新浦壽夫の話をした。新浦は現在、自分が糖尿病であることを公表しているが、以前はそのことを隠していた。ところが、彼が自分で注射をしていることと、急に痩せたことに気づいた人々から、違法薬物を使用しているという噂を立てられてしまったのである。「病氣と闘っていることを公言している日本の有名人は、彼以外には思い浮かばない」と西川はいう。現在のところ、2004年に亡くなった米国の元俳優で、スーパーマンを演じたクリストファー・リーブが、大濱の日本せきずい基金のシンボルだ。 ■

David Cyranoski は *Nature* のアジア・パシフィック特派員。

WARRENTODA / IPHOTO INC / NEWS.COM
KOICHIKAMOSHIDA / GETTY / NEWS.COM

Express dispatches

ビーナス・エクスプレスからの第一報

Andrew p. Ingersoll

ビーナス・エクスプレス・ミッションから、地球の姉妹惑星である金星の過酷な大気に関する最初の報告が届けられた。我々は、金星の大気が地球の穏やかな大気とまったく違ったものになった原因の解明に向かって、また一歩前進した。

Nature Vol.450 (617-618) / 29 November 2007

金星は、距離だけでなく、質量、半径、密度、化学組成においても、地球に最も近い惑星である（図1）。しかしながら、地球が温和な気候に恵まれて生命をはぐくんできたのに対して、金星は地獄のような場所になっている。金星の表面は高温で乾燥している。大気圧は極端に高く、その主成分は二酸化炭素で、硫酸の雲が立ち込めている。金星はなぜ、こんな状態になってしまったのだろうか？

欧州宇宙機関（ESA）のビーナス・エクスプレス探査機は、この疑問に関連したいくつかの大きな問題を解くために、2005年11月に打ち上げられた。金星の水はどこにあるのだろうか？金星にはどんな歴史があるのだろうか？金星の気象はどんな感じなのだろうか？地球の気象とは違うのだろうか？金星の大気の組成を詳しく知ることができれば、その進化についてどんなことがわかるのだろうか？今週号には、ビーナス・エクスプレスからの第一報が8本の論文として掲載されている¹⁻⁸。

まずは金星の水の問題について説明しよう。地球上では、水は最も大量に存在する揮発性化合物であり、海には大気中の300倍の重さの水がある。これに対して金星では、水は大気中の水蒸気が硫酸の雲に溶けた形で微量に存在しているだけであり、約200ppmにしかない。金星には海がない。金星の表面は約730K（457℃）という高温なので、たとえ水が大量にあったとしても、液体として存在することはできないのである。水以外の重要な物質としては窒素と二酸化炭素の2つがあり、地球にも金星にもほぼ同じ量だけ存在している。ただし、二酸化炭素が存在している場所は異なっている。金星では、二酸化炭素は重い大気の96.5%を占めていて、金星表面の気圧は地球の92倍にもなる。

地球では、海水中に溶け込んでいた二酸化炭素が沈殿し、大量の石灰岩として存在している。

金星と地球は多くの点で似通っているため、両者は同じようにして始まったと考えられる。かつては金星にも海ができるほどの水があったにちがいないが、なんらかの機構により、その水は失われてしまった。水蒸気は熱をため込む温室効果ガスであり、大気中の水蒸気量は、海から蒸発する水の量によりコントロールされている。地球が太陽に接近することがあれば、海の温度が上昇し、より多くの水が蒸発し、さらに温度が上昇するだろう。ある点に達すると、温室効果はコントロー

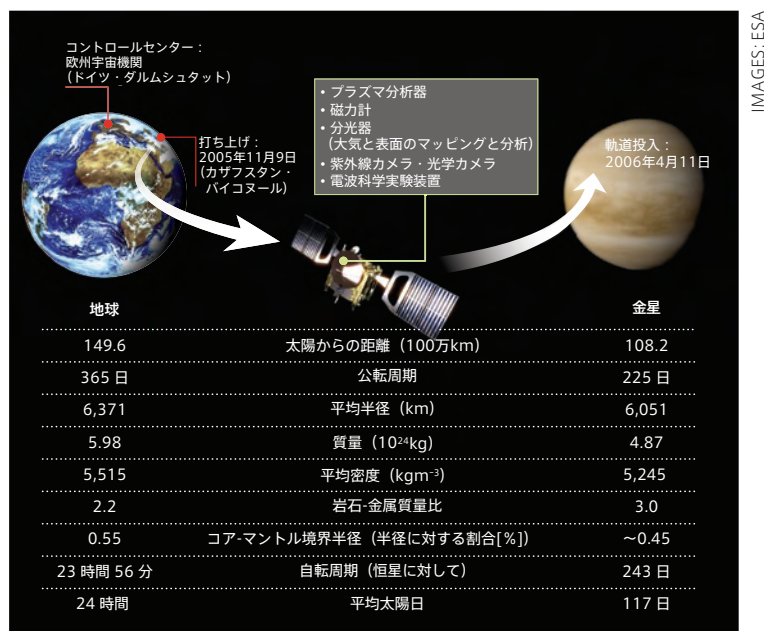


図1 金星への旅：欧州宇宙機関のビーナス・エクスプレス・ミッションに関する基本的なデータと数字

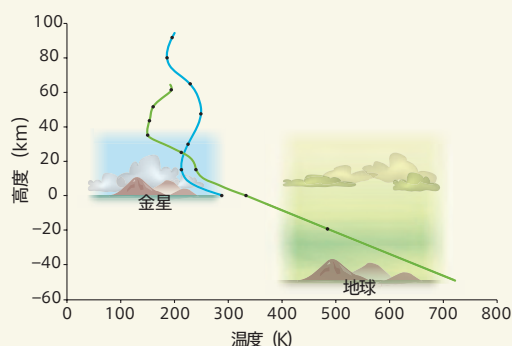


図2 大気の世界。金星の大気は非常に重く、96.5%の二酸化炭素と3.5%の窒素からなっている。地球を包む穏やかな大気は、およそ79%の窒素、20%の酸素、1%のアルゴンからなり（乾燥空気）、二酸化炭素をはじめとする多くの

種類の微量ガスも含まれている（湿った空気には数%の水蒸気が含まれている）。このグラフは、地球と金星の大気の垂直構造を比較したものである（地球は青い線、金星は緑色の線）。温度プロファイルにおける高度は、気圧が地球の海面での気圧（1気圧）に等しくなる高さをゼロとしてある。また、温度プロファイル上の黒い点は、気圧が10倍になったり、10分の1になったりするところを示している。金星の低層大気は1気圧の高さから50km近く下まで広がっており、表面気圧は92気圧に達している。また、地球の平均表面温度が288K（15℃）前後であるのに対して、金星の平均表面温度は730Kである。1気圧の高さに対しては、どちらの大気中の雲も（地球の雲は水から、金星の雲は硫酸からできているという違いはあるが）同程度の高度幅を占めており、金星の低層大気は相対的に雲が少ない。最も高い山は、金星では平均表面高度よりも12km高く、地球では海拔9kmである。

ル不能になり、海は沸騰して干上がり、水は大気中にしか存在できないようになる⁹。

金星では、まさにこうしたことが起きた可能性がある。金星は、現在と同じ軌道で、水蒸気からなる重い大気をもった惑星として誕生したが、この水蒸気は日光により水素と酸素に分解されてしまった。軽い水素は宇宙空間に逃げていったが、重い酸素は大気中にとどまり、地殻を酸化させて、高温で乾燥した表面を作った。通常の水素は、その重い同位元素である重水素よりも急速に失われる。実際、金星では水素に対する重水素の存在比が地球の100～150倍も高く、莫大な量の水が失われたことの証拠になっている。この比が最初に測定されたのは1978年のことであり¹⁰、NASAが打ち上げたパイオニア探査機に搭載された質量分析計の試料導入部に詰まった硫酸の液滴から測定された。今回、ビーナス・エクスプレスに搭載された装置は、より正確な測定により、この高い値を確認した¹。

今日働いていると考えられる散逸機構には、おそらく太陽風が関係している。太陽風とは、太陽から放射されている荷電粒子の流れであり、これが金星の大気から原子やイオンを剥ぎ取っていると考えられている。しかし、その詳細については矛盾した報告がある。金星には内部磁場がほとんどないため、太陽風は金星の大気中で発生する磁場によってその向きを変えられる。ところがここで、ビーナス・エクスプレスの磁力計を使った測定では、太陽風は大気中に侵入しておらず、その進化に影響を及ぼすことはできないという結果になったのに対して²、同ミッションのプラズマ分析器を使った測定では、正に荷電した水素イオンと酸素イオンが中性

の原子よりも高い割合で金星の軌道に散逸しているという結果になったのである³。正味の結果として、水素と酸素は水分子中と同じ2:1の比率で失われている³。絶対比は、まだ測定されていない。金星の歴史という観点からは、この惑星に今日よりもはるかに大量の水が存在していた時代には、まったく異なる散逸機構があったと考えられる。

金星に残った二酸化炭素を主成分とする大気もたらず過酷な気象は、いくつかの点で地球とは対照的である。金星の大気は重いので、地球の大気よりも効率よく熱を蓄積し、分配するはずである。ゆえに、金星の大気の温度差は、地球の大気よりもはるかに小さくなければならない。パイオニア探査機からは、この考察を裏づける結果が得られた¹¹。今回は、ビーナス・エクスプレスの電波掩蔽（えんぺい）プログラムが、さらなる検証を行った。これは、探査機から金星の大気をかすめるような電波信号を出して、その温度を測定しようという実験である。実験の結果は、金星の高度55～60kmの雲の中では昼と夜で30～40Kもの大きな温度差が生じているという驚くべきものになった⁴（図2）。太陽光を蓄積した熱だけでは、日中にここまで温度を上げることはできない。巨大な下降気流が圧縮によって空気を加熱している可能性もあるが、それは地球上で見られるいかなる大規模下降気流よりも速くなければならない。このほかに、大気中の雲とガスが部分的に電波信号を吸収し、計算された温度に誤差を生じさせた可能性も考えられる⁴。

金星の大気中を高くのぼれば、風速は大きくなり、昼夜の温度差は小さくなる。風速は固体惑星に対して

測定される。金星の自転速度は遅く、金星が恒星に対して1回転するには243地球日かかり、金星の表面から見た太陽は117地球日ごとに昇ったり沈んだりしている（金星の太陽日はかなり短いのは、金星は太陽系で唯一、公転運動とは逆の向きにゆっくりと自転しているからである。金星がなぜこのような状態になったのか、なぜそのままなのかは、まだ明らかになっていない¹²。ひょっとすると、太陽が重い大気中に引き起こす潮汐が、これに関係しているのかもしれない）。

金星の雲は最高で高度70km近くに達し、そこでの風速は秒速100m（時速360km）近くになる。これは、地球の大気中に発生するハリケーンの風力の3倍、航空機の時速11km分も速くしたり遅くしたりするジェット気流の速度の2.5倍に相当する。ビーナス・エクスプレスは、金星の雲を追跡することにより、これらの強風を確認した。金星には紫外線を吸収する未知の機構があり、日によって激しく変動しているが、これを利用して雲の動きを観測したのである⁵。

金星が地球やその他の惑星と共有している特徴の1つに、極付近の広い領域に見られる極渦とよばれる大気の循環がある。地球の極渦は、極付近の低温の空気を核として、それぞれの半球の冬に出現する。これに対して金星の極渦には低温の環があり^{4,6}、その内部には、周囲よりも温度が約10K高い、双極子の形をした奇妙な特徴がある。この暖かい特徴も、太陽光による加熱だけでは説明することができない。その成因としては、強い下降気流による圧縮効果が考えられる。双極子の形をした特徴は、低緯度で暖められた空気が上昇し、上空を極地方まで移動し、そこで冷却されて下降し、地表付近を低緯度まで戻っていく「ハドレー循環」が拡大したものなのかもしれない。金星では、高度65km以上の高さでは、赤道は極付近よりも低温である（参考文献4）。ハドレー循環がこのような状態を保っているしくみはまだ解明されていない¹³。

金星では、固体惑星が非常にゆっくり自転しているため、大気は独自に回転している。大気の回転方向は惑星の自転方向と同じであり、公転運動とは逆の向きに回転している。高度が上がり、大気が薄くなるにつれて太陽からの影響が大きくなるため、より少ないエネルギーを吸収して、より大きな温度変化を生じるようになる。高度90km以上では太陽からの影響が支配的になり、自転軸の周りを回転していた大気は、昼側から夜側へと流れるようになる。昼側から夜側への空気の流れは、昼側で生成して夜側へと運ばれる一酸化窒素、一酸化炭素、酸素などの化合物や、昼側で破壊されて夜側から別の化学反応の副産物として供給され

るフッ化水素や塩化水素などの化合物の測定によって裏づけられている^{1,7}。

地球と金星の大気に関する興味深い現象として、最後に雷について説明したい。金星の雲は地球のスモッグのようなものであるため、雷が発生するはずがない。実際、金星の昼側でも夜側でも、はっきりした稲妻が確認されたことはない。しかし、ビーナス・エクスプレスはホイッスラーを検出した⁸。ホイッスラーとは、1秒足らずの間だけ持続する低周波の電磁波であり、放電により生じると考えられている。金星の昼側では対流する大気のセルが確認されたが⁵、セル中の雲物質の量は、地球で雷が起こる場合の100分の1にも満たない。これは、地球上では雲を帯電させるには不十分な量である。

このように、金星の雷をめぐる証拠には矛盾がある。雷が存在しているなら驚くべきことだが、我々はまだ、惑星の大気中で電気を発生させるすべての方法を検討してみたわけではないのかもしれない。地球上での経験にもとづく我々の直観が外れることは、これまでに何度もあったのだから。

ビーナス・エクスプレスの燃料は2013年までもつ。ミッション・コントローラーがこの探査機の能力を把握してくるにつれて、観測シーケンスはより野心的なものになり、金星に関する我々の知識も増大するだろう。2011年には、日本の金星気象衛星プラネットCも金星にやってくることになっている。将来の金星ミッションとしては、バルーンを使って風速を測定したり、微量ガスやその同位体を採取したり、灼熱の惑星表面から岩石をつかみ取って涼しい高度までもっていき、そこで分析を行ったりすることが考えられている。いつの日か、地球の気象プロセスを調べるように金星の気候を研究できるようになったら、我々は気候全般を理解できるようになるのかもしれない。

Andrew P. Ingersoll, カリフォルニア工科大学 (米)

- Bertaux, J.-L. *et al.* *Nature* **450**, 646.649 (2007).
- Zhang, T. L. *et al.* *Nature* **450**, 654.656 (2007).
- Barabash, S. *et al.* *Nature* **450**, 650.653 (2007).
- Patzold, M. *et al.* *Nature* **450**, 657.660 (2007).
- Markiewicz, W. J. *et al.* *Nature* **450**, 633.636 (2007).
- Piccioni, G. *et al.* *Nature* **450**, 637.640 (2007).
- Drossart, P. *et al.* *Nature* **450**, 641.645 (2007).
- Russell, C. T. *et al.* *Nature* **450**, 661.662 (2007).
- Ingersoll, A. P. *J. Atmos. Sci.* **26**, 1191.1198 (1969).
- Donahue, T. M., Hoffman, J. H., Hodges, R. R. & Watson, A. J. *Science* **216**, 630.633 (1982).
- Seiff, A. *et al.* *J. Geophys. Res.* **85**, 7903.7933 (1980).
- Yoder, C. F. in *Venus II. Geology, Geophysics, Atmosphere, and Solar Wind Environment* (eds Bougher, S. W. *et al.*) 1087.1124 (Univ. Arizona Press, Tucson, 1997).
- Gierasch, P. J. *et al.* in *Venus II. Geology, Geophysics, Atmosphere, and Solar Wind Environment* (eds Bougher, S. W. *et al.*) 459.500 (Univ. Arizona Press, Tucson, 1997).

Qubits ride the photon bus

光子バスに乗る量子ビット

Antti O. Niskanen、中村泰信

電気回路をまるごと使った量子力学など、実現の可能性はないように思われるかもしれない。けれども、超伝導状態にある電気回路を利用すれば、原子が光子を放出したり吸収したりするのと同様に、しかもそれ以上の効率で、単一の光子を送ったり捕らえたりすることが可能になるのである。

Nature Vol.449 (415-417) / 27 September 2007

光と物質の相互作用は至るところにみられる。我々が周囲の物体を見ることができるのは、それを構成する原子が絶えず電磁波を放出したり吸収したりしているからだ。可視光だけでなく、 γ 線からラジオ波までのすべての電磁波、送電線の交流やデジタルコンピューターの内部のギガヘルツクロックの信号でさえ、基本的には同じものが異なるエネルギースケールで現れているにすぎない。それは、電磁エネルギーの不連続な塊、すなわち光子の伝播である。

通常の場合では、単一の光子の有無によって物理現象に顕著な違いは現れない。けれども、量子コンピューティングという新しい研究分野では、必ずしもそうとは限らない。本号（Nature 2007 年 9 月 27 日号）に掲載された Sillanpää ら¹と Majer ら²による 2 本の論文の重要性は、まさにこの点にある。著者らがここで報告した実験は、電気抵抗がゼロになるように低温下に置かれた超伝導回路において、互いに離れた位置にある 2 つの量子ビット（キュービット）の間で単一の光子が量子情報を転送するというものである。先週号に掲載された Houck らの関連論文³、同様な超伝導回路を利用してチップ上で単一の光子を生成させる方法を実証したものであった。これら 3 本の論文は、我々が大規模量子コンピューターの実現という究極の目標に着実に近づいていることを示している。一方でこれらの論文は、自然界に遍在する原子と光の相互作用を科学が模倣できることを示した点でも大きな意義がある。

原則として、実用的な量子コンピューターは、多数の完全に制御可能な量子ビットから構成されている必要がある。量子ビットは、0 と 1 に対応する 2 つの状態をもち、量子力学に従う物理系なら、ほとんどどんなも

のでもかまわない。実際には、この物理系は、すべてのものからできるだけ完全に隔離されていなければならない。量子ビットの候補として最初に思いつくのは、自然界に存在するイオン、原子、分子、電子、光子などである。これらの微視的な存在は、環境からうまく隔離できることが多い。しかし一方で、これらを制御することは多くの困難を伴う。

適切に設計された超伝導電気回路は、巨視的な大きさであるにもかかわらず、量子コンピューターに向けた有望な基盤要素である。回路のパラメータを自由に調整することができると同時に、個々の量子ビットの制御や測定は比較的容易であり、また集積化によりシステムを大きくしていくこともできるからである。一方で量子コンピューターは、個々の量子ビット間の相互作用を制御して、その量子状態を絡み合わせる「汎用エンタングルメント操作」を行う能力を備えていなければならない。量子ビットは、互いに強く結合できるだけでなく、別の瞬間にはきちんと切り離せなければならない。今回の新しい研究¹⁻³はこの点に関係するものであり、チップ上の光子場が量子情報の「バス」または導管としてふるまい、遠く離れ 1 対の量子ビットを自在に相互作用させるための仕組みを示している。

Sillanpää らの量子ビット¹は、注意深く設計されたマイクロメートルサイズの超伝導回路要素である。2 つの量子ビットは、チップ上の電氣的共振器（キャパティ）の両側に 1 つずつ結合される。共振器の中には、波長数ミリメートルの電磁波の定常波が閉じ込められている。著者らはまず、外部のマイクロ波光源を使って、一方の量子ビットを基底状態と第一励起状態の重ね合わせの状態とした。次に、この状態を、隣接する共振

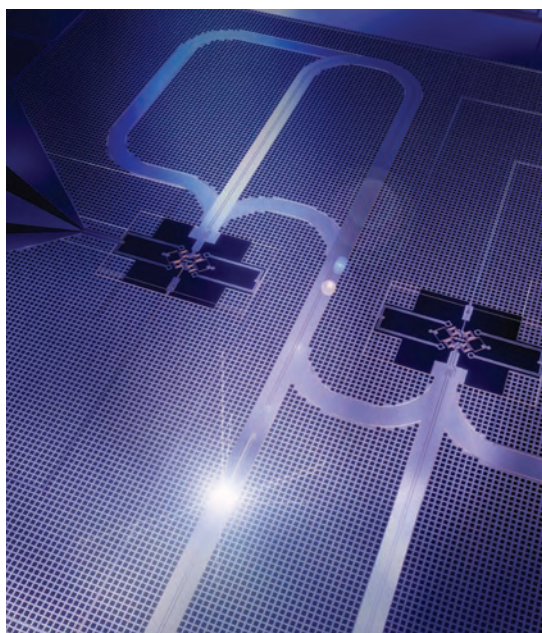
器の光子場（バス）へと転送した。最後に共振器の反対側で、基底状態にある他方の量子ビットの状態に光子場の状態を写し取った。量子ビット間の汎用エンタングルメント操作は、量子ビット回路のより高いエネルギー状態や共振器中のより光子数の多い状態を利用するなどの工夫によって今後可能になると考えられる。そのような工夫はしばしば、電磁トラップに閉じ込められた複数のイオンの間で、光子の代わりにイオンの振動の量子をバスの媒体とする実験で利用されている^{4,5}。

Majer らの研究²も同様であるが、さらなるひねりが加えられている。量子状態の長距離の転送を行う点では同じであるが、彼らの方法では、中間の光子場を実際に励起させることはせず、共振器中の光子場による非常に弱い摂動として「仮想」光子を利用したのである。この巧妙な方法により、著者らはバスそのものに影響を及ぼすことなく、遠く離れた 1 対の量子ビットの上で汎用エンタングルメント操作を行うことができた。

これらを補完するのが Houck ら³の研究であり、共振器の中に閉じ込められ、決まった空間的位相でもって振動する光子の代わりに、前方に飛んでいく光子を生成する「単一光子銃」の実証を行った。彼らはまず、共振器に強く結合した超伝導量子ビットを任意の量子状態に用意した。次に、この量子ビットを自然に減衰させて 1 個の光子を放出させ、これをマイクロ波伝送線へと送り込んだ。量子ビットと光子の量子状態のトモグラフィによる解析から得られた説得力あるデータは、量子ビットの初期状態がどのようにして光子に転写されるかを示している。

このような「共振器量子電気力学（キャビティ QED）」のアプローチ⁶⁻⁸を利用した最近の回路構成の大きな長所として、超伝導量子ビットと共振器との相互作用を、これに対応する現実の原子と空洞共振器との結合よりもはるかに大きくできることが挙げられる。加えて、原理的には数百個の量子ビットを同じチップの上に並べる余地がある。任意の量子ビットの対の間の結合が可能であるため、量子コンピュータのアルゴリズムやエラー訂正コード⁹の開発はかなり容易なはずである。さらに、Houck ら³が示したような移動する量子ビットをチップ間の伝達に利用することで、さらなるスケールアップが可能になると考えられる。

しかし、光子場をバスとして用いることで複数の量子ビットを結合させることができたとしても、これらはきちんと切り離すことができるのだろうか？ 量子ビット間の結合を切り離す方法の 1 つは、量子ビットの励起周波数が共振器の共振周波数と同じにならないようにすることであろう。確かにこれは量子ビットと共振器との結合



2 個の小さい超伝導位相量子ビットを接続する長いジグザク形の共振器、つまり量子バスを示している。

を抑制する助けにはなるかもしれないが、長いタイムスケールや多数の量子ビットについてはまだ不十分であるかもしれない。将来の方向性として考えられるのは、共振器すなわちバスを利用する回路構成と「非線形パラメトリック結合器¹⁰」の長所を組み合わせることである。これにより、可変な結合と、「オフ」状態のよりよい隔離の双方が可能になる。

複雑な多量子ビット状態を、量子計算を行えるだけの長時間にわたり持続させることができるかどうかはまだわからない。とはいえ、共振器と量子ビットの相互作用に関する最新の実験¹⁻³は、すでに得られている多くの証拠とともに、巨視的な物体であっても量子力学の法則に従ってふるまうことができることを示しており、大規模な応用が可能であることを強く示唆している。 ■

Antti O. Niskanen、VTT 技術研究センター（フィンランド）
中村泰信、NEC ナノエレクトロニクス研究所（つくば市）、独立行政法人理化学研究所（和光市）

1. Sillanpää, M. A., Park, J. I. & Simmonds, R. W. *Nature* **449**, 438-442 (2007).
2. Majer, J. et al. *Nature* **449**, 443-447 (2007).
3. Houck, A. A. et al. *Nature* **449**, 328-331 (2007).
4. Cirac, J. I. & Zoller, P. *Phys. Rev. Lett.* **74**, 4091-4094 (1995).
5. Schmidt-Kaler, F. et al. *Nature* **422**, 408-411 (2003).
6. Wallraff, A. et al. *Nature* **431**, 162-167 (2004).
7. Schuster, D. I. et al. *Nature* **445**, 515-518 (2007).
8. Astafiev, O. et al. *Nature* (in the press).
9. Shor, P. W. *Phys. Rev. A* **52**, R2493-R2496 (1995).
10. Niskanen, A. O. et al. *Science* **316**, 723-726 (2007).

The unusual suspect

p53の思いがけない役割

Colin L. Stewart

p53 タンパク質は腫瘍抑制因子として、がんを防ぐ機能が詳しく研究されている。このタンパク質が、マウスにおける胚の着床の制御に不可欠な生理的役割も果たしていることが明らかになった。

Nature Vol.450 (619) / 29 November 2007

「ゲノムの番人」と称される p53 タンパク質は、細胞にあるタンパク質の「セレブ」である。医学関係文献データベースである PubMed で p53 を検索すると、ヒット件数は 45,000 件を超え、その大半は、p 53 がストレスによる DNA 損傷の影響から細胞を守る役割について取り上げたものである。腫瘍形成を防ぐのに p53 が重要な役割を果たしていることを考えると、p53 を欠損したマウスの大部分が正常に発生し、高齢になってから腫瘍が原因で死亡するという知見は意外だった¹。そればかりでなく、2007 年の *Nature* 11 月 29 日号で Hu たち² は、この有名な転写因子が、雌マウスの受胎能(妊娠)の制御に不可欠だという、まったく予想外の役割をもっていることを明らかにした。

受精後、発生初期の胚である胚盤胞は、母体の子宮と物理的に接着する。着床とよばれるこの現象は、高度に統制されており、大部分の哺乳類の生殖において不可欠な段階の 1 つである。着床が成立すると胎盤の形成が始まり、胎盤のおかげで胎児は出産まで子宮内で成長し、発育できる。子宮は胚盤胞の受け入れを可能にするために、着床の前に細胞の増殖と分化を何回も繰り返す。こうした事象は主に、卵巣ステロイドホルモンであるエストロゲン E2 とプロゲステロン P4 の直接的な作用によって制御されており³、E2 や P4 はさらに、多数の成長因子や免疫関与因子タンパク質(サイトカイン類)の局所での産生を誘導する⁴。

これらの因子の中でサイトカインの LIF (白血病抑制因子) は、マウスの胚性幹細胞(ES 細胞)の維持に必須であることから、最初に哺乳類の発生と関係づけら

れた。LIF は、子宮内膜腺によって産生・分泌される多くのタンパク質のうちの 1 つである。さまざまな哺乳類において、LIF の発現量は着床開始時に最も高くなる⁵。実際、子宮の内壁を覆う上皮細胞が LIF にさらされなければ、着床は起こらない⁶ (図 1)。また、LIF を欠損した雌マウスは、胚盤胞が正常に発生するものの妊娠はできない。しかし LIF 欠損型の雌マウスでも、通常の着床予定日(マウスでは妊娠 4 日目)に LIF を 1 回注射すると着床が開始し、その後の胚発生は正常に進行して出産に至る⁷。

Hu たち² は今回、p53 が子宮内での LIF 発現の制御、ひいては雌の繁殖能力に重要な役割を果たしていることを明らかにした。p53 を欠損した雌マウスでは受胎能が低い雌マウスではそうではないことに、Hu たちは興味をもった。そして、p53 欠損型の雌マウスでは、生じた健康な胚の数には影響はなかったが、着床できた胚の数が少ないことに気づいた。Hu たちは、p53 がマウスの *Lif* 遺伝子(タンパク質 LIF の遺伝子)の転写を制御していること、p53 欠損型の雌マウスでは子宮の LIF 発現量がおおよそ 4 分の 1 に減少することを見つけた。p 53 と LIF の関係を決定づけたのは、交尾ずみの p53 欠損型雌マウスに LIF を注射すると、着床が起こり胚は正常に発生し、出産に至った胚の数がかなり増えたことだった。

子宮内では LIF は主に E2 によって制御されている。着床前は子宮の p53 量が一定であるとみられており、また、p53 欠損型の雌マウスでの E2 発現量は正常であることから、p53 はおそらく E2 受容体と複合体を形

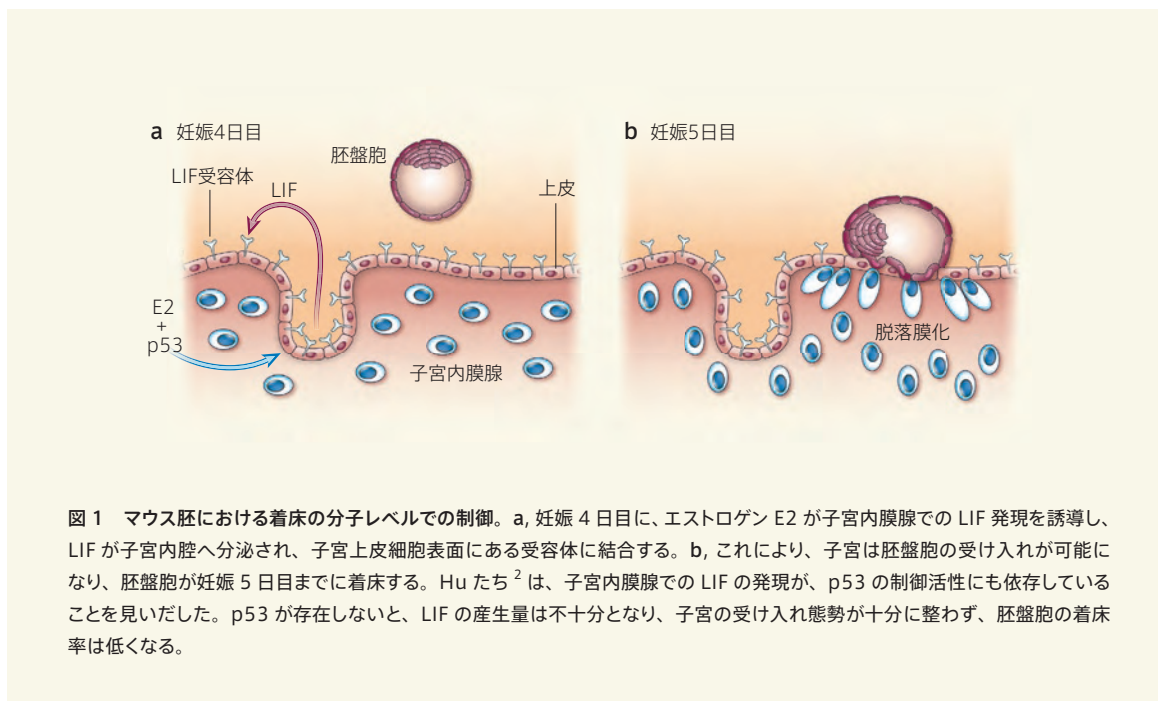


図1 マウス胚における着床の分子レベルでの制御。a, 妊娠4日目に、エストロゲン E2 が子宮内膜腺での LIF 発現を誘導し、LIF が子宮内腔へ分泌され、子宮上皮細胞表面にある受容体に結合する。b, これにより、子宮は胚盤胞の受け入れが可能になり、胚盤胞が妊娠5日目までに着床する。Hu たち²は、子宮内膜腺での LIF の発現が、p53 の制御活性にも依存していることを見いだした。p53 が存在しないと、LIF の産生量は不十分となり、子宮の受け入れ態勢が十分に整わず、胚盤胞の着床率は低くなる。

成しているのだろうと Hu たちは考えている。彼らの説によれば、この複合体は、マウスで妊娠4日目に LIF の発現量が最大になるために必要なのだという。

受胎能の制御に p53 がこのような機能をもっているとは予想外のことであり、通常はストレスによって活性化される p53 が、なぜ子宮で *Lif* の転写を調節する必要があるのかは不明である。着床に際して子宮の血管系は、子宮の細胞増殖(脱落膜化)と胚自身の成長の両方が進むように支援するため、また低酸素症を防ぐために、大がかりな再編を受ける。低酸素症は p53 の活性を制御する主要なストレス要因の1つであり⁸、そのため、哺乳類の雌の生殖器官系が進化するのに伴って、低酸素症に対応する p53 活性化が「ハイジャック」され、着床に伴う血管系の変化の調整を助けるようになったのではないとも考えられる。

Hu たちの知見は、ヒトの繁殖能力とどのような関連性があるのだろうか。p53 と、その制御因子である Mdm2 などに関する研究から、p53 の 72 番目のアミノ酸残基にある多型や、Mdm2 の転写制御領域にある一塩基多型 (SNP309) が見つかった⁹。これらの多型はどちらも、p53 の転写活性および発現量に影響を及ぼしていると考えられている¹⁰。そのため、Hu たちのデータと照らし合わせると、p53 の 72 番目のアミノ酸残基にある特定の多型 (アルギニンがプロリンに

置換)と、再発性着床不全の女性との間に強い相関がみられること¹¹は興味深い。p53 の遺伝子多型は、子宮における p53 の発現量にも影響を与えている可能性があり、それがさらには LIF 量に影響しているのかもしれない。LIF 量の低下は、ヒトでの着床率の低下とも関係づけられている¹²。したがって、Mdm2 における SNP309 多型が、原因不明のヒト不妊症の症例と関連しているかどうかに興味もたれる。

腫瘍の成長を抑制するために p53 を制御する小分子因子を突き止めようと、精力的に研究が続けられている。そのような分子は、不妊治療の一環として着床率を向上させるために利用できる可能性があり、さらには、避妊法の1つとして着床の阻害にも使えるかもしれない。



Colin L. Stewart、医学生物学研究所 (シンガポール)

1. Donehower, L. A. *et al. Nature* **356**, 215–221 (1992).
2. Hu, W., Feng, Z., Teresky, A. K. & Levine, A. J. *Nature* **450**, 721–724 (2007).
3. Finn, C. A. & Martin, L. J. *Reprod. Fertil.* **39**, 195–206 (1974).
4. Dimitriadis, E., White, C. A., Jones, R. L. & Salamonsen, L. A. *Hum. Reprod. Update* **11**, 613–630 (2005).
5. Cullinan, E. B. *et al. Proc. Natl Acad. Sci. USA* **93**, 3115–3120 (1996).
6. Stewart, C. L. *et al. Nature* **359**, 76–79 (1992).
7. Chen, J. R. *et al. Endocrinology* **141**, 4365–4372 (2000).
8. Graeber, T. G. *et al. Nature* **379**, 88–91 (1996).
9. Bond, G. L. *et al. Cell* **119**, 591–602 (2004).
10. Pietsch, E. C., Humbey, O. & Murphy, M. E. *Oncogene* **25**, 1602–1611 (2006).
11. Kay, C., Jeyendran, R. S. & Coulam, C. B. *Reprod. Biomed. Online* **13**, 492–496 (2006).
12. Mikolajczyk, M. *et al. Reprod. Biol.* **3**, 259–270 (2003).

マグネシウムイオンの通り道と輸送システムを解明！

濡木 理

哺乳類では、全遺伝子の約 1 割が、受容体やチャネルなど、タイプのタンパク質を作り出すためにあると考えられている。こうした膜タンパク質は極めて重要でありながら、試料の調整や結晶化がむずかしいことから解析がうまく進んでいなかった。今回、東京工業大学大学院命理工学研究科の濡木 理教授は、マグネシウムイオンを輸送する MgtE という膜タンパク質の構造解析に成功し、マグネシウムイオンの認識システムや輸送システムも解明した。詳細は、*Nature* 2007 年 8 月 30 日号で発表された。

高度好熱菌の熱ゆらぎの少なさが結晶化のかぎに

Nature Digest — なぜマグネシウムイオンの輸送に興味をもたれたのでしょうか？

濡木 — もとは、嗅覚や味覚に関連する受容体の膜タンパク質に興味がありました。1 年くらい試行錯誤しましたが、高等真核生物にしかみられない感覚受容体は試料の調製がむずかしいなどの問題があり、うまくいきませんでした。まずは、膜タンパク質の構造解析のための基盤作りが必要だと痛感し、手始めに、原核生物にも保存されている金属イオンの輸送体（トランスポーター）で解析手法を確立しようと考えました。具体的には、まだ未解明だったマグネシウムイオンのトランスポーターを対象にすることにしました。

ND — マグネシウムは生体でどのような機能をもつのでしょうか？ また、マグネシウムイオントランスポーターとはどのようなタンパク質なのでしょう？

濡木 — マグネシウムは、あらゆる生物の細胞内で、ポリメラーゼやキナーゼなどのさまざまな酵素が機能するために必須の金属です。水溶液中でイオン化したマグネシウムは水と強く水和し、通常は 1 分子あたり 6 個の水分子が結合しています。

一方、マグネシウムトランスポーターは、細胞膜を貫通し、マグネシウムの輸送に関わる膜タンパク質の総称です。これまでに細菌で 4 種（CorA、MgtA、Mgt B、MgtE）、ヒトで 3 種（CorA、MgtE、TRPM6/7）が知られています。複数種が存在するのは、いずれかに不具合が生じた場合に補償するためだと考えられます。

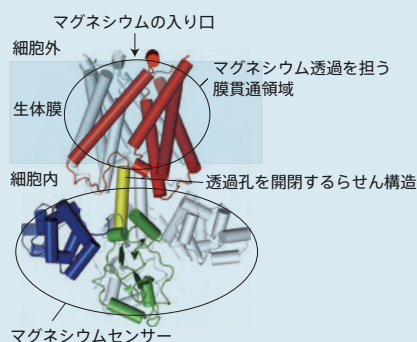


図 1 MgtE の全体構造。TM ドメイン（赤）が細胞膜を貫通し、中央にマグネシウムを輸送する細長い孔がある。細胞膜の内側には、コネクティングヘリックス（黄）、N ドメイン（青）、CBS ドメイン（緑）が存在する。

初めに構造が明らかにされたのは、細菌からヒトまで広くみられ、マグネシウムイオンの濃度勾配に従って輸送する「CorA」とよばれるチャネルタイプのものでした¹。一方、MgtA と MgtB は、ATP を加水分解して得られるエネルギーでマグネシウムイオンを汲み上げるポンプタイプのトランスポーターです。この 2 つの構造解析はまだなされていませんが、2004 年に、東京大学分子生物学研究所の豊島 近先生がカルシウムのポンプタイプのトランスポーターの構造を明らかにされており²⁻⁵、MgtA と MgtB もそれと似たような構造とシステムをもつのではないかと考えられています。残る MgtE は、細胞内のマグネシウムイオンの濃度を一定に保つ機能をもつことが示唆されていましたが、その構造も、マグネシウムの認識システムも、駆動源も未解明のままでした。

ND — 今回、高度好熱菌の MgtE の結晶化に成功した理由は？

濡木 — 実は、30 種くらいの細菌の MgtE 遺伝子を大腸菌に導入することで、各細菌の MgtE タンパク質を大量発現させようとした。ところが、実際に作らせることができたのは、このうちのわずか 2 種だけでした。さらに、界面活性剤を使うことで結晶化にまでこぎ着けたのは、これらの 2 種のうちの 1 種、高度好熱菌という細菌だけでした。高度好熱菌のタンパク質は約 80℃ の高熱にも安定なので、私たちの実験環境である約 20℃ は極低温状態だといえます。よって、熱ゆらぎが極端に少ないと思われ、このことが結晶化のかぎになったようです。さらに、たまたま MgtE の分子内の電荷分布が、結晶化に都合がよかったこともあります。

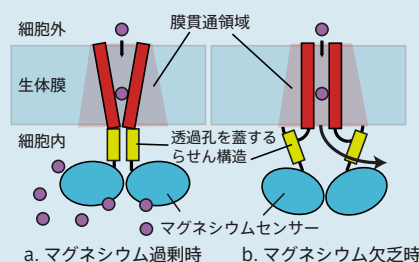
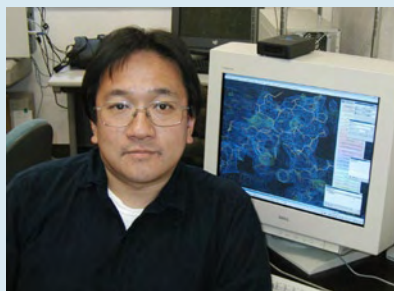


図 2 マグネシウムイオンの濃度を一定に保つ仕組み。細胞内のマグネシウムイオン濃度が高い場合（左）には、マグネシウムイオンがコネクティングヘリックスに結合することにより、コネクティングヘリックス（黄）がマグネシウムイオンの通過孔を出口でふさぐように角度を変える。マグネシウムイオン濃度が低い場合（右）には、コネクティングヘリックスや CBS ドメインなどが左右に開くことで通過孔が開放され、細胞内にマグネシウムイオンが流入する。



濡木 理 (ぬれき・おさむ) / 東京工業大学大学院生命理工学研究科・教授。理学博士。1965年生まれ。1988年、東京大学理学部生物化学科卒業。1993年東京大学大学院理学系研究科生物化学専攻博士課程修了。同年、日本学術振興会特別研究員PD、1994年理化学研究所基礎科学特別研究員(結晶学研究室)、1995年東京大学大学院理学系研究科生物化学専攻・助手、2002年同・助教授を経て2003年より現職。

1987年東京大学理学部生物化学科にて研究を始めて以来、2002年まで、タンパク質合成にかかわるtRNA、および、その修飾やアミノアシル化に働く酵素の分子生物学、生化学、構造生物学の研究を行ってきた。この間、真核細胞のDNA組み換えに働くタンパク質や、上皮成長因子とその受容体の複合体のX線結晶構造解析を行った。2003年に東京工業大学に移り、自分の研究室を構えてからは、tRNAの修飾・プロセッシングに働く酵素の構造解析を続けるとともに、がん細胞の転移・浸潤、および膜タンパク質に関する構造生物学を始めている。

基質自身によって行われていた輸送制御

ND — 結晶解析ではどのようなことがわかりましたか？

濡木 — 結晶は、兵庫県播磨にある放射光施設「Spring-8」を用いて解析しました。その結果、MgtE タンパク質分子は3つの部位(ドメイン)からなり、そのうちの1つ(膜貫通 TM ドメイン)が細胞膜に埋まる形で細胞内に突き出ていることがわかりました⁶。TM ドメインの内部には、マグネシウムイオンを通すための細長い孔が細胞膜を貫通して存在しており、その下部(細胞内側の部位)にはコネクティングヘリックスとよばれるらせん状の構造が2本つながっています。細胞質ドメインにマグネシウムイオンが結合している状態(すなわち、細胞内のマグネシウムイオン濃度が高いとき)では、コネクティングヘリックスが動くことで通過孔をふさいでいました。細胞質ドメインにあるマグネシウム結合部位はマイナスの電荷を帯びており、プラスの電荷をもつマグネシウムイオンと配位結合することで電荷が中和され、その結果として細胞質ドメインがコンパクトな配置を取り、コネクティングヘリックスを介して孔が閉じ続けていたのです。

一方、細胞質ドメインにマグネシウムイオンが結合していないとき(すなわち、細胞内のマグネシウムイオン濃度が低いとき)には、マイナス電荷をもつ細胞質ドメインどうしが反発しあって、その下にあるコネクティングヘリックスが、それぞれ20度ずつ開いてしまいます。その結果、イオン透過孔が貫通することになり、細胞外からマグネシウムイオンが流れ込んでくるわけです。

ND — MgtE はマグネシウムイオンだけを認識して輸送するのでしょうか？

濡木 — マグネシウムイオンは水和半径が最も大きいイオンの1つです。実験では、MgtE が、マグネシウムイオンとほぼ同じ水和半径のコバルトイオンやカドミウムイオンを通し、水和半径がやや小さいニッケルイオンを通さないことがわかっています。半径の大きな水和イオンを通して、ナトリウムのような小さな水和イオンを通さないのは不思議に思われるかもしれません。今回の MgtE の解析では分解能が高くないため、金属イオン識別機構について正確なことはいえませんが、たとえばカリウムチャネルなどでは、TM ドメインに抱え込まれているカリウムイオンは配位結合によって脱水和された状態です。つまり、輸送を完了させるには水和イオンが、いったん脱水和される必要があるのですが、一般に、脱水和は TM ドメインがもつ酸素イオンと金属イオンがある程度近くないとおきず、このことが小さな水和イオンを通さない理由になっていると考えられます。

一方、同じくらいの水和半径をもつコバルトイオンやカドミウムイオンは、実験的には TM ドメインに結合して輸送されますが、実際の生体内では輸送されません。その理由は、生体におけるそれぞれの金属イオンの濃度にあります。生体内で MgtE の通過孔が閉じるには数ミリモラー程度の濃度が必要ですが、数十マイクロモラーほどの微量しか存在しないコバルトイオンやカドミウムイオンなどは、実際には TM ドメインに結合できないからです。こうして、同じ水和半径をもつ金属イオンのなかでも、1ミリモラー程度の高濃度で存在するマグネシウムイオンだけが輸送されることになるのです。

ND — 輸送が、基質であるマグネシウム自身によって制御されていたわけですね。

濡木 — そのとおりです。何らかの物質のトランスポーターの輸送制御が基質自身によって行われているタンパク質で、さらにセンサーとなるドメインまで解明されたのは、今回が初めてだと思います。同じようなポンプタイプのトランスポーターには銅や亜鉛を運ぶものもあり、MgtE と同じ仕組みで輸送されているのかもしれませんが、今、トランスポーター解析は世界中でちょっとしたブームを迎えているので、今後の進展が楽しみです。

ND — 今回の成果は、医療や創薬にどのように結びつくのでしょうか？

濡木 — 例えば、心疾患や神経疾患の原因解明や治療法の開発に役立つ可能性があると思います。ヒトの MgtE の通過孔は、ふだんは開いていて、マグネシウムイオンが過剰に流入する事態が生じると閉じるようなのですが、仮に、閉じっぱなしで開かなくなるとマグネシウムイオンが不足して心疾患が起きるのではないかと考えられます。また、神経細胞では細胞内がマイナスに、外側がプラスに保たれ、細胞内にプラスのイオンが流れ込んだ場合にのみ神経の興奮が伝わります。仮に MgtE の通過孔が開きっぱなしになる異常事態が生じれば、興奮が伝わらなくなり、神経障害が起きると考えられます。今後、ノックアウトマウスなどによる解析が進めば、より具体的な成果が得られると思います。

ND — ありがとうございます。 ■

聞き手は西村尚子(サイエンスライター)。

1. Eshaghi, S. et al. *Science* **313**,354-357 (2006)
2. Toyoshima, C. et al. *Nature* **405**, 647-55 (2000)
3. Toyoshima, C. et al., *Nature* **418**, 605-611 (2002)
4. Toyoshima, C. et al. *Nature* **430**, 529-535 (2004)
5. Toyoshima, C. et al. *Nature* **432**, 361-368 (2004)
6. Hattori, M. et al. *Nature* **448**,1072-1075 (2007)

冬になると、アラスカや北欧などの緯度の高い地域では、オーロラが現れます。夜空にゆらめく幻想的な光のカーテンをみるために、数多くの観光客が集まります。

今回は、そのオーロラとは対比的に、夏にみられる「夜光雲」

という現象についての記事を取り上げます。夜光雲はその名の通り、夜に光るという特殊な雲のことですが、近年では、地球温暖化との関連も指摘されています。右ページの Topics に目を通してから、英文を読んでみましょう。

NEWS

語数 : 406 words 分野 : 地球科学・大気

Published online 11 December 2007 | *Nature* **450**, 927 (2007) | doi:10.1038/450927a

Enigmatic clouds illuminated

Satellite data shed light on twilight skies.

<http://www.nature.com/news/2007/071211/full/450927a.html>

Alexandra Witze



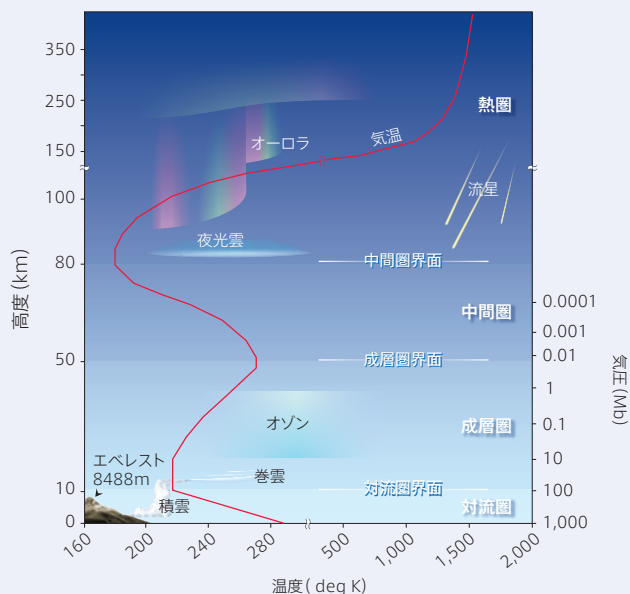
夜光雲

SAN FRANCISCO New findings from the edge of space are unmasking Earth's highest clouds.

1. A NASA satellite called Aeronomy of Ice in the **Mesosphere** (AIM) is sending back the first detailed information on the 'noctilucent' clouds, which shimmer overhead just after sundown at high latitudes, where they reflect the below-horizon Sun.
2. The AIM data reveal that the clouds are ten times brighter than previously thought, and form at a broader range of altitudes. Although it had been thought that the clouds were limited to a single altitude band of 82 kilometres, in fact they can form at anywhere between 79 and 90 kilometres. AIM has also shown that small patchy groupings of cloud can grow dramatically with even a tiny fall in temperature.
3. "This all yields critical information to determine why these clouds form and vary," says atmospheric scientist James Russell of Hampton University in Virginia, AIM's principal investigator.
4. Noctilucent clouds form when water vapour condenses onto 'seed' particles in the mesosphere, the layer of the atmosphere that extends from about 50 to 80 kilometres up. They have appeared more frequently and at lower latitudes in recent years, perhaps as a result of rising concentrations of greenhouse gases.
5. Increasing amounts of methane can result in more water vapour at the relevant altitudes, and rising levels of carbon dioxide cause temperatures in the mesosphere to drop, enhancing the conditions in which the clouds can occur. Noctilucent clouds typically form at temperatures of between -134 and -148 °C.
6. The new details from AIM, reported on 10 December at a meeting of the American Geophysical Union in San Francisco, California, include strange 'ice rings' that appear in some of the clouds, says project co-investigator Gary Thomas of the University of Colorado in Boulder.
7. These crescent-shaped blobs may be caused by atmospheric disturbances that propagate upwards from near Earth's surface — a phenomenon not seen before. "If true, it opens up an entirely new mechanism we had not thought of before this mission was launched," says Russell.
8. AIM's photographs are far more detailed than earlier studies, with a resolution of 5 kilometres. "The detail is so much richer with AIM," says Matt DeLand of Science Systems and Applications, Inc. in Lanham, Maryland, who is not involved with the mission but works on other satellite data. "It's fascinating stuff."
9. The first AIM data came from noctilucent clouds over the Arctic. The mission is currently gathering data on clouds in the Southern Hemisphere.

Topics 大気圏とは?

大気の広がっている範囲のこと。大気は上部にいくほど薄くなり、宇宙空間へとつながる。したがって、大気圏に明確な上限はないが、高度 800 ~ 1000 km とする場合が多い。気温によって、地表に近いほうから、対流圏 (troposphere; 高度 0 ~ 11 km)、成層圏 (stratosphere; 高度 11 ~ 50 km)、中間圏 (mesosphere; 高度 50 ~ 80 km)、熱圏 (thermosphere; 高度 80 ~ 1000 km) の 4 つの層に分類される。対流圏には、全大気質量の 75 % が存在し、上空ほど気温が低くなる。常に大気の対流が起こっており、水蒸気を多く含むので雲を発生し、雨・風などの気象現象がみられる。成層圏ではオゾン層による紫外線の吸収のため、高度が上昇するにつれ気温は高くなる。比較的大気安定しているため、長距離航行の飛行機は成層圏を飛行する。中間圏では、高度が高くなるにつれ気温が下がる。大気の密度は地表の 1 万分の 1 程度しかない。最上部の熱圏になると、気温はまた上空ほど高くなり、2000℃ に達する場合もある。大気は非常に薄く、そのほとんどが原子やイオンとして存在している。宇宙ステーションや人工衛星は熱圏にあり、オーロラもここで発生している。



Science key words

- mesosphere:** 中間圏
高度 50 ~ 80 km の領域の中間圏では、上述のように上部にいくにしたがい、気温は下がる。熱圏との境界 (中間圏界面; mesopause) では -90℃ (180 K) になり、これは地球大気中で最も低い気温である。
- 'noctilucent' clouds:** 夜光雲
夏の南北の高緯度地域 (50 ~ 70 度) で、日の出前や日没後にみられる特殊な雲。通常、雲は対流圏で発生するが、夜光雲は中間圏界面付近で発生するので、太陽が地平線付近にあるとき下から光に照らされ青白く光って見える。近年発生頻度が増加しており、また低緯度地域でもみられるようになっており、温室効果ガスとの関係が取りざたされている。
- atmospheric scientist(s):** 大気科学者
大気科学とは、地球表面を取り囲む大気の構造や成り立ちを研究する学問。気象学や気候学などが含まれる。
- water vapour:** 水蒸気
水が気化したもの、つまり気体状態の水のこと。湯気と違って、目には見えない。沸点 (100℃) 以下でも、水は大気中に気化しており、対流圏には水蒸気が多く含まれている。
- condense(s):** 凝結する
気体が熱を放出して液体に変化すること。ここでは、水蒸気が冷やされて水滴となることをいっている。
- greenhouse gas(es):** 温室効果ガス
太陽で温められた地表の熱は、まず大気中の二酸化炭素や水蒸気などに吸収され、その後大気圏外に放出される。近年、二酸化炭素が急増し、熱の放出量より吸収量が増大し、温室と同じメカニズムで気温が上昇している。このように温室効果の原因となる水蒸気や二酸化炭素などの気体を、温室効果ガスという。ほかにメタンや一酸化二窒素、代替フロン^{代替フロン}のハイドロフルオロカーボンなども温室効果ガスとして、京都議定書の排出量削減対象となっている。
- methane:** メタン (CH₄)
常温常圧で無色無臭の気体。天然ガスの主成分である。メタン生成細菌による発酵でも生成される。大気中には平均 0.00018% 含有されており、温室効果は二酸化炭素の 21 倍。
- atmospheric disturbance(s):** 大気擾乱^{じょうらん}
海洋と地表との熱交換や、火山や地震などの地殻変動、太陽からの電磁波などにより、力学バランスが崩れて生じる大気の乱れ。

Words and phrases

タイトル **enigmatic:** 「謎めいた」「不可解な」「正体不明の」
名詞形は enigma。

リード **shed light on:** 「ヒントを与える」「解明に役立つ」

1. **shimmer:** 「微光を放つ」「ちらちら光る」

1. **latitude(s):** 「緯度」 ⇔ longitude (経度)

2. **altitude(s):** 「高度」「標高」「海拔」

2. **patchy:** 「まだらの」「まばらな」

5. **relevant:** 「(〜と)関連する」「(〜にとって)適切な」「(〜にとって)重要な」といった意味だが、「〜」が何を指しているのかは、文脈から判断する必要がある。

5. **enhance [enhancing]:** 「高める」「向上させる」

7. **blob(s):** 「しみ」

7. **propagate:** 「伝わる」「伝播する」

NEWS

参考記

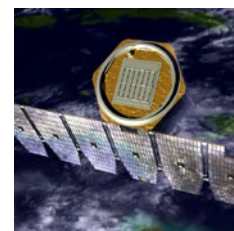
Published online 11 December 2007 | *Nature* **450**, 927 (2007) | doi:10.1038/450927a

謎の雲の正体が明らかに

人工衛星データから薄暮の空の謎を解明するヒントが得られた。

<http://www.nature.com/news/2007/071211/full/450927a.html>

アレクサンドラ・ウィッツ



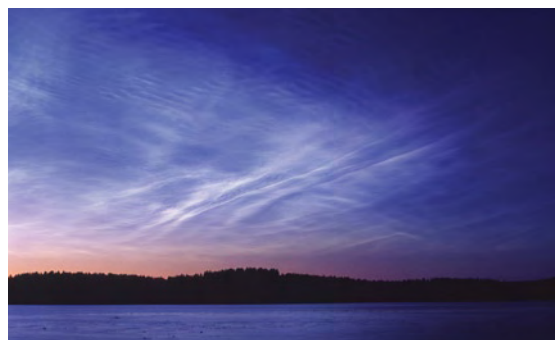
人工衛星 AIM

サンフランシスコ発 — 宇宙の入口からもたらされた新発見が、地球の雲の中で最も高いところに発生する夜光雲の謎を解こうとしている。

1. 中間圏の氷塊に関する超高層大気物理観測を行う米航空宇宙局（NASA）の人工衛星 AIM から、「夜光」雲に関する初の詳細なデータが送られてきている。夜光雲は、高緯度地域で日没直後に見られる雲であり、地平線下に沈んだ太陽光を反射して、空高く、微光を放っている。
2. AIM からのデータは、夜光雲がこれまで考えられていたよりも 10 倍も明るく、より広範な高度で形成されることを明らかにした。夜光雲は 82 キロメートルの高度帯のみで発生すると考えられていたが、実際には 79～90 キロメートルのあらゆる高度で発生しうることが判明したのである。AIM はまた、まだらな雲の小さな集まりが、気温のわずかな低下によって、大きく成長しうることにも明らかにした。
3. 「今回のデータは、夜光雲の成因と多様性を解明するうえで重要な情報となっています」。こう語るのは、AIM の研究責任者であり、ハンプトン大学（米国バージニア州）で大気科学を研究するジェームズ・ラッセルである。
4. 夜光雲は、中間圏で「種」粒子の周りに水蒸気が凝結することにより形成される。中間圏は大気の層の 1 つであり、高度約 50～80 キロメートルにわたっている。近年、夜光雲が頻繁に発生するようになり、発生する緯度も低くなってきているが、その原因として、温室効果ガスの濃度の上昇が考えられている。
5. メタンの量が増加すると、ここで問題となっている高度帯で水蒸気が増加することがあり、二酸化炭素の濃度が上昇すると、中間圏の気温が低下し、夜光雲が発生しやすい条件になる。夜光雲は、通常、 $-134\sim-148^{\circ}\text{C}$ の気温で発生する。
6. AIM から送られてきた詳細な新データは、12 月 10 日に米国カリフォルニア州サンフランシスコで開かれた米国地

球物理連合の会議で報告されたが、一部の夜光雲の中に奇妙な「氷の環」が見えるものも含まれていた、とプロジェクトの共同研究者であるコロラド大学ボルダー校のゲリー・トーマスは話す。

7. この三日月状のしみは、地球の表面付近から上方へと伝播する大気擾乱が原因となっている可能性がある。これは、従来はみられなかった現象である。「もしそうなら、AIM の打ち上げ前には思いもよらなかった、まったく新しいメカニズムがみえてきたことになります」とラッセルは語る。
8. AIM が撮影する写真の解像度は 5 キロメートルで、これまでに撮影された写真に比べてはるかに詳細になっている。「AIM の写真は、細部まで非常によく写っています」。こう話すのは、Science Systems and Applications 社（メリーランド州ラナム）のマット・ディランドである。彼は、今回の観測ミッションには関与していないが、ほかの人工衛星データを使って研究を行っている。「とても興味深いデータです」。
9. AIM が最初に送ってきたデータは北極上空の夜光雲に関するものだった。AIM は現在、南半球の雲についてのデータ収集を行っている。



フィンランド南部（北緯 61.12 度、東経 23.59 度）で撮影された夜光雲

nature 2008年1月24日号 — 2008年4月24日号

3ヶ月間限定

PDFダウンロードサービス スタート!

無料

今週のトップニュース (3.41 MB)

最新号Nature目次、ハイライト、Hot topicをダウンロード
Nature2008年4月24日号まで、PDFダウンロード・
ダウンロードいただいた方の中より、毎月1名にNature
今週のハイライトと目次に加え、編集者セレクトの今

nature コンテンツを PDFダウンロード!

PDFなら、**日本語**で**今週のハイライト**と
目次を1回のダウンロードですべてチェックいただけます。

さらに、PDFにはNature編集者が選んだ
「今週のトップニュース」を掲載します。

3ヶ月間限定のトライアルサービスです。

PDFダウンロードで nature年間購読が当たる!

PDF最終ページの
オーダーフォームから、
Natureバックナンバー サンプル誌を
お申込みいただいた方の中から、
**毎月1名、計3名に
Nature年間購読*を
無料プレゼントいたします!**

*ジャーナル送付のみでオンラインアクセスは含まれません。

今週のトップニュース

今週のハイライト

目次

PDFダウンロード サービス

www.naturejpn.com

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された科学情報誌です。英国本社で作成された 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。

Nature 翻訳・編集記事



日本オリジナル編集記事



2008年1月号より **8ページ**増量!!



Nature Digest 定期購読お申込みはこちらから

www.naturejpn.com/digest-f08