

nature DIGEST

日本語編集版
OCTOBER 2008
VOL. 05, NO. 10

10

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

電子の目玉

Journal Journey 09

Journal journeys: Day 54, Housekeeping

March 25, 2008,



めん。前回 JJ のブログを書いてから、だいぶ時間がたってしまった。
リクルート、ポータル、ウェブサイトといった問題が重なってしまい、
Nature Chemistry に関するブログがしばらく書けなくなっていた。でも、
ここで書いておきたいことがいくつかある。

1. *Nature Chemistry* は、もう 1 人、東京オフィスに常駐するアソシエイトエディターを探している。求人広告の一部はこんな感じだ。
NPG の出版事業における化学分野を拡大させる一環として、東京オフィスに常駐するアソシエイトエディター（1 人）を求めています。その職務は、*Nature Chemistry* 関連の業務とその他いくつかのアジア太平洋地域での出版プロジェクトです。
2. 現在の *Nature Chemistry* には、「Facebook」のページがある。こういっただけで「Sceptical Chymist」の読者の半分はうめき声を上げ、あとの半分はちょっとだけ歓声を上げたと思う。（僕の予想だと、その割合は 50 対 50 なんだけど、ひょっとすると 99 対 1 ってなことになるのかもしれない。）それはともかく、Facebook については、ちょっとした実験だと思ってほしい。今後どうなっていくか、見てみたい。これに参加して、使い心地を試してみてくれないかなあ。
3. 一応、お約束なので始めるけど、「プロゴランドで、ニューオリンズでの ACS 会議に出る人いる？」スレッドだ。僕は行くし、NPG の人間も何人か行くことになる。ブロガーのオフ会もあるかもしれない。

Stuart Cantrill (Chief Editor, *Nature Chemistry*)

「**Journal journey**」は、
Nature Chemistry の編集長が
創刊までの日々のエピソード
をつづっているブログです。

ウェブサイトでは、最新のブログ記事、
Research Highlight, ポッドキャストが無料で公開中
です。また、*Nature Chemistry* オリジナルの壁紙も
無料でダウンロードできます。

www.naturejpn.com/chem

電子の目玉

HIGHLIGHTS

- 02** vol. 454 no.7207, 7208
vol. 455 no.7209, 7210

EDITORIAL

- 06** 非難の大合唱

NATURE NEWS

- 08** 無音の動画から音が聞こえる
09 「オーロラのもと」を発見

NEWS FEATURE

- 10** 二酸化炭素排出ゼロの発電所—PART1
Quirin Schiermeier, Jeff Tollefson, Tony Scully,
Alexandra Witze and Oliver Morton.
16 月の底の穴
Eric Hand

SNAPSHOT

- 21** ガンマ線で見た宇宙
Eric Hand

HIGH SCHOOL SCIENTISTS

- 22** 理科好き高校生たちの熱い夏 PART2
—5回目を迎えた、スーパーサイエンスハイスクール
生徒研究発表会より
西村 尚子

NEWS & VIEWS

- 27** 水質汚染の原因が突き止められた
Charles F. Harvey
30 電子の目玉
染谷 隆夫

JAPANESE AUTHOR

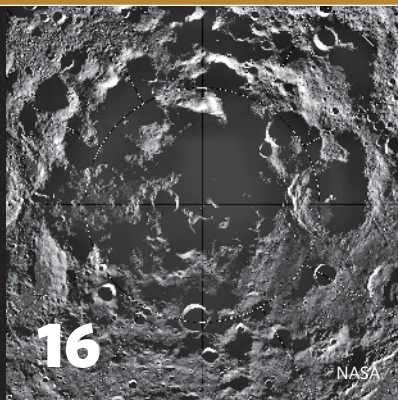
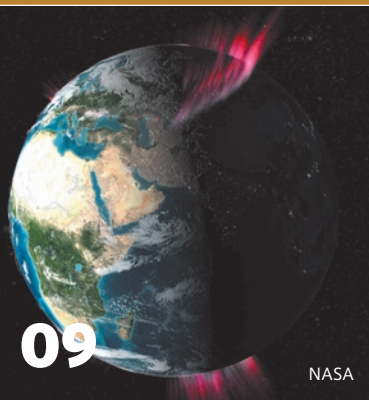
- 32** 世界最短波長 342nm の紫外半導体レーザ
の発振に成功！ — 吉田 治正
長谷川 聖治

英語で NATURE

- 34** Anthrax case ignites new forensics field
炭疽菌事件がきっかけとなって確立した
法医学の新分野

www.nature.com/naturedigest

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





脂肪細胞の運命：PRDM16 が筋細胞を褐色脂肪に変える仕組み

FAT CELL FATE: PRDM16 switches myoblasts to brown fat

ヒトの身体には、カロリーを燃焼させて体熱を産生する褐色脂肪と、エネルギー貯蔵の役割をもつ白色脂肪の2種類の脂肪組織がある。褐色脂肪細胞が骨格筋系列から誘導されるという意外な発見は、この2つの組織の関係を見直すきっかけになるかもしれない。これまでの脂肪発生モデルの大半では、褐色脂肪細胞と白色脂肪細胞が共通の脂肪前駆細胞から発生すると考えられてきたが、*in vivo*での細胞系譜追跡実験によって、褐色脂肪細胞はこれまで筋細胞にのみ見いだされているマーカーである *Myf5* 遺伝子を発現する筋芽細胞から発生していることが示された。さらに、褐色脂肪選択的に遺伝子発現を刺激することが知られているジंकフィンガータンパク質 PRDM16 は、筋と褐色脂肪の間で細胞運命を切り替える二方向性スイッチを強力に調節できる。したがって、PRDM16、また白色脂肪や筋前駆細胞に PRDM16 の発現を誘導する化合物は、肥満治療に使える可能性がある。

Article p.961, N&V p.947 参照

生態：海底下を支配する古細菌

Archaea rule the waves

海底深部から得られた堆積物試料についての最近の研究によって、海底深部には微生物細胞からなる広大な生物圏が潜んでいることが明らかになってきた。深海掘削調査によって、この生態系は細菌と古細菌の極めて多様な個体群からなることがわかっていくが、これら2つの分類群のどちらが優占しているかについては、盛んな論争が行われてきた。広範囲にわたる海底下環境から得られた海底堆積物について、生細胞の指標である脂質の研究に基づく新たな解析により、優占しているのは細菌ではなく古細菌であることが示唆された。また、この研究から、海底下生物圏の大きさは900億トンと推定された。この値はほかの情報を使って得られた推定値と一致しており、植物バイオマスの全球プールのほぼ5分の1に相当する。

Letter p.991, N&V p.952 参照

生理：BMP-7 と肥満

BMP-7 and obesity

BMP-7 は当初、骨組織を誘導する因子として見つかったが、腎や神経に対する強力な再生作用ももっている。この BMP-7 が、褐色脂肪細胞の分化促進によってエネルギー恒常性も調節していることが、今回明らかになった。ただし、白色脂肪細胞の分化は促進しない。BMP-7 は、PRDM16 などの褐色脂肪調節因子や脂肪形成転写因子のスイッチをオンにし、ミトコンドリア合成を促進する。マウスで BMP-7 を異所発現させると褐色脂肪の量が増え、エネルギー消費が増加して体重が減少するが、白色脂肪の量は増えない。これらの結果が、肥満の治療に重要な意味をもつことは明らかである。

Letter p.1000, N&V p.947 参照

化学：金触媒のサイズ効果

Oxidation strikes gold

バルクの金はかなり不活性である。したがって、普通は化学反応の触媒として役に立たない。しかし、数ナノメートルまでサイズを小さくした金ナノ粒子は、極めて効果的な酸化触媒になる。このようなふるまいが何から生じるのかは、まだよくわかっていない。Turner たちは、ほぼ 1.5 ナノメートルから 30 ナノメートル以上にわたるさまざまな直径の金ナノ粒子を合成し、粒子が触媒活性をもつサイズにはっきりした閾値が存在することを見いだした。直径が 2 ナノメートル以上の粒子は、酸素分子によるスチレンエポキシ化反応でまったく触媒活性を示さなかった。この反応は開始剤を必要とせず、担持体は不活性であった。したがって、この効果は、金の電子特性のサイズに依存する変化に関係しているようにみえる。活性をもつ粒子は、55 原子からなる特に安定な金クラスターから得たものだが、この金クラスターは、実際の応用に適した金触媒の合成に使える出発物質となるかもしれない。

Letter p.981, N&V p.948 参照

感覚：磁気センサーとしても働くクリプトクロム

Making sense of magnetism

クリプトクロムは青色光 / 紫外線域に対する光受容体で、ショウジョウバエ (*Drosophila*) では概日時計の調節への関与が示唆されている。今回、クリプトクロムには磁場センサーという、概日時計とは別の、第2の役割があることがわかった。磁場を食餌と関連づけるように訓練されたハエは、可視光と紫外線光を照射すると磁場に反応したが、クリプトクロムを活性化する波長の光を遮断した場合や、変異によってクリプトクロム

光受容体を欠失させた場合には反応しないことがわかった。

Letter p.1014, N&V p.949 参照

細胞：大腸菌 O157:H7 の病原性

E. coli O157:H7 pathogenicity

大腸菌の血清型 O157:H7 は、腸管出血性大腸菌株の1つで、腸管上皮層に感染して重篤な胃腸障害を引き起こす。この細菌のエフェクタータンパク質である EspFu は、細菌の接着に必要なアクチン台座構造の形成を引き起こす。このアクチン構造形成を活性化する仕組みを、2つの論文が明らかにしている。Sallee たちは生化学解析により、EspFu がアクチン核形成因子の宿主 WASP (ウィスコット・アルドリッチ症候群タンパク質) ファミリーを活性化することを示した。WASP は本来ならば、GTP アーゼの Cdc42 によって活性化される。また、H-C Chen たちは構造学的手法を使い、EspFu と N-WASP 間の結合作用と活性化の詳細を明らかにしている。EspFu は、N-WASP の内部にある自己阻害領域を模倣して、N-WASP を活性化させ、アクチン重合を引き起こす。EspFu はこの仕組みによって WASP を特異的に活性化させるが、Cdc42 の標的である広範な種類の分子は活性化されない。

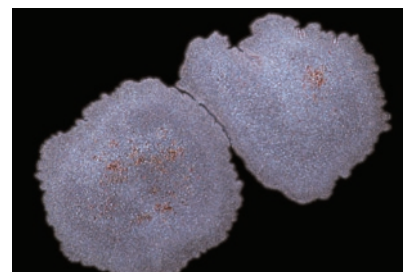
Letters pp.1005, 1009 参照

遺伝：シンプルライフの遺伝子

Genes for the simple life

センモウヒラムシは、現存する「最も単純な」自由生活動物とされることが多く、動物の初期起源をめぐる議論の主役となっている。センモウヒラムシは直径約1ミリメートルの円盤形をした板形動物で、水槽の壁に付着して生息しているところを最初に発見された。今回、センモウヒラムシ (*Trichoplax adhaerens*) のゲノムの塩基配列解読と解析が行われた。この動物は、刺胞動物や左右相称動物との最終共通祖先がもっていた多くの特徴をそのまま残しており、6億年以上前から存在していたと推定される。しかし同時に、この動物自身にはまったくみられない発生パターンや細胞種に関係した遺伝子もゲノム中に存在していることから、センモウヒラムシの生活環には、まだ見つからない段階が存在する可能性がある。

Article p.955, Author page 参照





深海におけるウイルスの影響：海底に生息する微生物へのウイルス感染は地球上最大の生態系の栄養源となっている

DEEP VIRAL IMPACT: Virus infections in sea-bed microbes feed the world's largest ecosystem

深海の堆積物は炭素の大きな貯蔵庫を微生物のバイオマスの形で内蔵しており、この生態系の動態は最近になってやっとはっきりしてきた。8月21日号のNatureに掲載された論文では、広範囲にわたる堆積物中の原核生物群集では、古細菌類のほうが細菌類よりも多いことが示された。今週号では、この生態系におけるウイルス感染の影響について、Danovaro たちが報告している。232の堆積物標品から得られたデータは、ウイルスによる生産が非常に高いことを示している。ウイルス感染は、原核生物バイオマス生産量の80パーセント以上の減少を引き起こし、1000メートル以深では減少は100パーセントに近くなる。これによって、大量の溶存有機炭素が深海の中へ放出され、本来資源が乏しい水塊ではこの栄養分注入は特に重要となる。したがってウイルスは、全球的な生物地球化学サイクル、深海における代謝、および我々の生物圏で最大の生態系の全般的な機能に大きな役割を演じていると考えられる。表紙グラフィックは、深海でのウイルスと細菌の関わりを描いたもの。ウイルスによって破壊された細菌はほかの細菌の餌となっている。

Article p.1084, News p.1038 参照

物性：超伝導状態と擬ギャップ状態

Altered states

銅酸化物高温超伝導体に関してずっと解決されていない謎の1つは、「擬ギャップ」、すなわち超伝導状態に特徴的なエネルギーギャップに似ているが非超伝導状態でも現れるエネルギーギャップの存在である。幸坂祐生たちは、超伝導状態と擬ギャップ状態の電子励起を詳しく調べ、2種類の大きく異なる挙動を見いだしている。1つは、運動量空間における状態であり、超伝導の原因と予想される非局在電子対に対応する。もう1つは、実空間に局在化した異常な状態であり、擬ギャップに対応する。これら2つの励起タイプの関係は、擬ギャップと超伝導の間の依然として不可解な関係に新たな見方をもたらし、実空間における電子局在化がその挙動の要となっている絶縁性親化合物の特性との概念的つながりを強めるものである。

Article 1072, N&V p.1062 参照

医学：抗インフルエンザ薬への手がかり

Anti-influenza prospects

インフルエンザA型ウイルスのポリメラーゼは、PA、PB1、PB2の3種類のタンパク質からなっており、転写や複製に不可欠である。今週号では2つの研究グループが、鳥インフルエンザウイルスH5N1型のPAのC末端がPB1のPA結合ドメインと複合体を作った際の結晶構造について報告している。この構造研究は、新規の抗ウイルス薬の設計に役立ちそうだ。

Letters pp.1123, 1127 参照

生理：ヒトは何歳まで生きられる？

How far can you go?

酵母や線虫、マウスなどを使った実験から、寿命には可塑性があり、遺伝子操作や薬剤、栄養の調整によって伸縮可能であるという考え方が有力になってきている。そこで大きな問題となるのは、こういう結果をどうすればヒトに当てはめることができるのか、また、そもそも当てはめることが可能かどうかである。ヒトの寿命の制限要因に関して現在わかっていることについて、J Vijg と J Campisi が Review で論じている。彼らの結論は、ヒトの老化と自然死を何十年も先延ばしすることの実現可能性を判断するのは時期尚早だというものだ。また、ヒトの健康増進と長命化を可能にする統合的戦略を進めようとするにあたり、今後の研究で答えを出す必要がある問題についても概説している。

Review Article p.1065 参照

視覚：注意深く見えますか？

Are you paying attention?

もしこの文章が2回読まないで頭に入らないようなら、それは文章が下手くそだからかもしれない。しかし、読み手のアセチルコリンが足りないという可能性もある。皮質の感覚情報処理は、何かに選択的に注意を払うことで大きく変わるが、その調節がどのような仕組みでなされるのかは、長い間わからないままだった。光る対象の1つに注目し、その近くにあるもう1つの光る対象は無視するよう訓練されたマカクザルで、神経伝達物質のアセチルコリンを視覚皮質に投与すると、サル成績が向上した。

ムスカリン性アセチルコリン受容体のアンタゴニストを投与すると、これと反対の影響がみられたが、ニコチン性アセチルコリン受容体のアンタゴニストでは影響がなかった。この実験は、特定の対象に集中しているときにほかの刺激を遮断できるようにするための脳機構の1つを明らかにしている可能性がある。

Letter p.1110 参照

心理：小児期の協力行動

Cooperation is child's play

特別にデザインされた試験（というよりゲーム）で子どもたちが相互にやりとりをするようすから、ヒトの利他行動や協力行動の背後にある仕組みを明らかにすることができる。Fehr たちは、いろいろな菓子を報酬とした「共有ゲーム」と「羨望ゲーム」を行わせて、小児期にみられる他者に配慮する傾向が「不平等回避」という特有の形態をとることを示している。この行動パターンは3～8歳の間に発達する。3～4歳児では、ほとんどの子どもが利己的にふるまうのだが、7～8歳になると、不平等を回避するような資源分配を選ぶ児童が圧倒的多数となる。しかし、有利な不平等を回避すると分配行動による犠牲が大きくなる場合には、平等な分配を選択する頻度が低下し、自分の属する社会集団の仲間に有利な計らいをする傾向がみられる。これらの知見は、平等主義と郷党心（パロキアリズム）の発達の根源が深いことを示唆している。

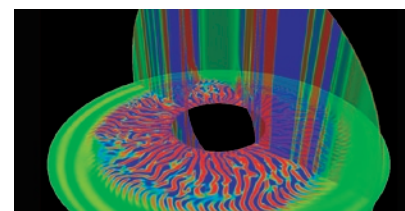
Article p.1079, N&V p.1057, Author page 参照

地球：モデル化された地球ダイナモ

Geodynamo modelled

地球磁場は、地球の外核を流れる電流によって生成されている。計算機シミュレーションは地球ダイナモの解明を進めるのに重要な役割を果たしてきたが、地球の核と直接関係するパラメーター領域での数値シミュレーションは、現在のスーパーコンピュータの能力を超えている。世界で最速の計算機の1つである地球シミュレータを用いて、現実にもっと近い地球ダイナモのシミュレーションが行われた。その結果、外核の対流構造と磁場の構造は共に、分解能の低い場合にみられたものと質的に異なり、対流はこれまでみられていたような柱状のセル構造ではなく、自転軸方向に伸びた薄いシート状プリズムかシート状ジェット流の形態をとることがわかった。

Letter p.1106, N&V p.1058 参照





ビッグデータ特集：ペタバイト時代の科学

BIG DATA: Science in the petabyte era

今週号では、現代科学の前に立ちどかる最も脅威な難問の1つ、つまり生まれつつある「データの洪水」についての特集を組んでいる。ペタバイト（ 10^{15} バイト）は、非常に大きなメモリー量といえる。だが、これが「巨大データ」を扱う際の標準的な単位なのだ。Natureでは、サンガー研究所の、ペタバイトの容量をもつスーパーコンピューティング・センターを訪問した。ウィキペディアの成功は、オープンアクセス編集方式という「ウィキ(Wiki)」のコンセプトがどれほどうまく機能できるかを示している。この方式は、現代生物学で生み出される大量データへの対処法としても使うことができそうだ。世界の主要なサーチエンジンであるGoogleが生まれてから、今月で10年になる。11年前には、Googleがこれほど普及すると予想した人はほとんどいなかっただろう。我々は、研究者やビジネスマンに次世代の大部、「ペタバイト時代のGoogle」について予想してもらおうという大胆な質問を試みた。デジタルデータは共有が容易だが、同じく容易に消去されたり失われたりもする。オンラインデータをアクセス可能な状態に維持することは、小規模な研究所にとっては特にむずかしい。

Editorial p.1, Special Report p.8

News Features pp.16, 22, Commentary p.28など参照

関連ウェブページ: www.nature.com/news/specials/bigdata/宇宙：銀河系中心のブラックホールに迫る
Close-up of 'our' black hole

いて座A* (Sgr A*) の本来の大きさが、波長1.3ミリメートルという比較的短波長で超長基線電波干渉計 (VLBI) を使って新たに求められた。Sgr A* は、銀河系中心の超大質量ブラックホールではないかと考えられている。この観測結果から推算された大きさの下限は、想定されていたブラックホールの「事象の地平面」の大きさより小さいことから、Sgr A* からの放射の中心は、ブラックホール自体ではなく、その周囲の降着流であると考えられる。VLBIによる波長ほぼ1.3ミリメートルでの銀河系中心の観測は、もっと長波長での観測よりも星間空間での散乱の影響が小さいので、新たなVLBI局が建設されたあかつきには、ブラックホールの物理学的性質をさらに高感度に調べる新たな機会が得られるだろう。

Letter p.78, N&V p.39 参照

細胞：miRNAはタンパク質量を微調整する
MiRNA tunes proteins

マイクロRNAは、メッセンジャーRNAの翻訳阻害、あるいはその分解の誘導により、遺伝子発現を調節できる。これまでの研究ではmRNAレベルでの調節は調べられてきたが、タンパク質レベルでどの程度の調節が起こっているのかは、ほとんどわかっていなかった。今回、D BartelとN Rajewskyがそれぞれ率いる2つのグループは、SILAC (細胞培養中のアミノ酸を用いた安定同位体標識法) を改良し、マイクロRNA発現の関数として、タンパク質レベルのプロテオ-

ム全体にわたる変化を測定した。その結果、マイクロRNAは数百もの遺伝子の翻訳を直接抑制できる一方、その間接的な影響によってさらに数千もの遺伝子の発現に変化が生じることがわかった。変化の程度は2倍にも満たない場合が多く、このことはマイクロRNAが直接的あるいは間接的に、その時々細胞の要求に合わせてタンパク質合成を微調整する加減抵抗器のような働きをしている可能性を示している。

Articles pp.58, 64, N&V p.44, Author page 参照

物理：原子の指紋

Atomic fingerprints

原子スペクトル線は従来、基本物質の離散的なエネルギー準位を明らかにするため観測されてきた。入射光周波数が2つのエネルギー準位の間隔と一致すると明瞭な吸収線が現れるので、この手法ではその吸収線を探して入射光周波数を変化させる。原子状のエネルギー構造をもつ量子系である人工原子も周波数分光法によって調べられるようになり、これにはコヒーレントなマイクロ波放射源が使われてきた。しかし、この手法は高周波数での実現がむずかしいため、エネルギー準位スペクトルに関する多くの情報は明らかにされていない。Bernsたちは、これと相補的といえる手法を開発した。この手法では人工原子のエネルギー準位は、周波数の調節によってではなく、放射の振幅によって走査され、周波数のほうはスペクトルの特性に合わせておく。この手法によって、多数の新しいスペクトル情報がとらえられるようになってきた。この手法

は、さまざまな人工原子や天然原子に広く適用可能である。

Article p.51, N&V p.41 参照

細胞：ウイルスに感染していた巨大ウイルス

The biter bit

「巨大ウイルス」は、英国ブラッドフォードの冷却塔で初めて見つかった。このウイルスは、原生動物である多食アメーバ (*Acanthamoeba polyphaga*) の中で発見され、既知の最も大きなウイルスの3倍以上の大きさがあり、しかも、たいいていの細菌よりも大きかったために、最初は細菌と間違われた。微生物に似ている (mimicking microbe) ことからミミウイルス (mimivirus) と名づけられ、APMV (*Acanthamoeba polyphaga mimivirus*) として知られるようになった。今回、さらに大きなAPMV株「ママウイルス (mamavirus)」がパリの水冷却塔で見つかった。驚いたことに、この巨大ウイルスは単独の個体ではなく、それ自身が「サテライトウイルス」に寄生されていた。スプートニクと名付けられたそのサテライトウイルスは、APMVが共感染しているアメーバの中に作られた「ウイルス工場」で複製する。バクテリオファージとの類似性から、スプートニクは初めて見つかったウイルス (virophage; ウイルスに感染するウイルス) だと考えられている。スプートニクはたくさん存在するウイルスファージの「冰山の一角」にすぎないのかもしれない。なぜなら、海洋水のメタゲノム研究で、巨大ウイルスに近縁な塩基配列が大量に見つかり、巨大ウイルスがプランクトンに広く寄生している疑いがもたれているからである。

Letter p.100

Nature 2008年8月7日号 News p.677 参照

化学：WOW型微小エマルジョンの安定化要因

The WOW factor

微小水滴を内包する油滴が水相中に分散している溶液は、一種のダブルエマルジョンである。そのようなwater-in-oil-in-water型エマルジョンはwater-in-oil型エマルジョンよりも利点が多いが、作製が困難で不安定になりやすい。今回、カリフォルニア大学ロサンゼルス校の複数学部の研究者からなるチームが、両親媒性ジブロック・コポリペプチドを用いて、何か月間も安定なダブルエマルジョンの作製方法を開発した。両親媒性ジブロック・コポリペプチドのポリペプチド領域における水素結合の制御が安定化の要因となっている。今回の方法を用いて、従来の方法では作製できなかったロバストなダブルナノエマルジョンも作製でき、得られたダブルナノエマルジョンは、化粧品、食品、薬物送達向けに役立つと考えられる。

Letter p.85 参照



植物の枝分かれ：枝分かれを阻害する新種の植物ホルモン BRANCHING OUT: New class of plant hormones inhibits branch formation

長い間、教科書で「古典的」植物ホルモンとして認められていたのは、オーキシン、ジベレリン、エチレン、サイトカイニン、アブシジン酸の5種類である。これらのほかに、ブラシノステロイド、一酸化窒素、ジャスモン酸が、植物ホルモン、つまり植物成長調節因子に加えられることもある。植物の枝分かれはホルモンによって調節されており、オーキシンとサイトカイニンの両方がかかわっている。しかし、枝分かれの多過ぎる変異体が数種類の植物でみられることから、第3の因子、すなわち、根から放出され過剰な枝分かれを抑制する新しい植物ホルモンが関与している可能性が考えられてきた。今回2つの研究チームが、ストリゴラクトンという種類の化合物、あるいはその誘導体が、この不明だったホルモンであることを突き止めた。ストリゴラクトン類は根の浸出液中で見つかり、枝分かれ変異体では減少している。外からこうした物質を投与すると、変異体の過剰な枝分かれが阻害された。表紙は、エンドウ (*Pisum sativum*) の枝分かれ過剰変異体の葉腋で成長中の腋芽。

Articles pp.189, 195, N&V p.176 参照

医学：統合失調症につながる遺伝的変異 Schizophrenia links

統合失調症などの精神疾患の遺伝学は複雑で解明があまり進んでおらず、生殖率の低下によりリスク対立遺伝子に負の選択圧がかかることで、研究がさらに困難になっている。現在までに、統合失調症と結びつくコピー数変動がいくつか見つかったが、研究の規模は比較的小さかった。今回、2つの国際コンソーシアムが別々に行った、数千名の患者と対照被験者を含む大規模なゲノム全体にわたる解析により、既に同定されている遺伝子座が確認され、また新規の関係も明らかになった。SGENE コンソーシアムなどによる共同研究では、*de novo* に自然発生した、第1染色体と第15染色体のコピー数変異体が報告された。国際統合失調症コンソーシアムによる研究では、第1、第15染色体における欠失がやはり報告され、それに加えて、ゲノム中でのコピー数変異の全体的な頻度の上昇も明らかにされた。

Letters pp.232, 237, N&V p.178 参照

工学：水を吸い上げる合成樹木 'Synthetic tree' pulls rank

植物の葉から水が蒸発すると、ランプなどの芯（ウイック）でみられるような受動的吸い上げ作用によって、根から水が引き上げられる。この「蒸散引力」によって、最高で合成ウイックの100倍までになる圧力が発生する。今回コーネル大学の研究チームは、合成ヒドロゲル中に、植物の蒸散にみられる主要な性質と蒸散引力を備えたマイクロ流体システムを作った。このマイクロ流体「合成樹木 (synthetic tree)」は、未飽和蒸気中から液体水を抽出し、負圧の液体相に

する「根系」をもつ。液体水は、大きな負圧下で「幹」を通して流れ、「葉」に似た系を介して蒸発する。この過程は、蒸散の凝集-張力理論を実証するものである。そして、この合成樹木は準安定液体の特性研究のための有用な基盤や、化学処理過程、熱伝達、環境工学における新しい水管理技術の出発点などにもなりそうだ。

Letter p.208, N&V p.181, Author page 参照

宇宙：ガンマ線バーストを広い波長域で見る Fit to burst

ガンマ線バースト GRB 080319B は、大質量星が激しい重力崩壊を起こしてブラックホールになった結果生じたもので、ガンマ線天文学40年の歴史において観測された中で最も明るい可視領域の閃光である。この天体は、スウィフト衛星によって2008年3月19日に発見され、短期間は肉眼でも見え、電磁波スペクトルの全域にわたってエネルギーを生成した。今回、GRB 080319B の発生から数秒後の極めて明るい放射と、その後の数週間にわたる減光を広い波長域で観測した結果を改めて解析したところ、ガンマ線バーストについての今までで最も明確な描像が得られた。これらのデータから、可視領域のプロンプト閃光は、ガンマ線バースト自体と同じ物理的領域で発生したことが確かめられた。残光の性質は、標準的で簡単なモデルでは説明できず、複数の成分をもつジェットであるという解釈を示唆している。

Article p.183, N&V p.177 参照

環境：古い森を伐採するな Don't cut into old wood

古くなってきた森林は炭素を蓄積しなくなる

ため、炭素収支はプラスでもマイナスでもないはずと考えられてきた。そのため、こうした森林は、例えば京都議定書のような条約の「森林クレジット」の対象として認められていない。今回、森林の炭素フラックスの推定値に関する文献およびデータベースの大規模な検索が行われ、古くなってきた森林の正味の炭素収支はたいていプラスであることが明らかにされた。この知見は、老齢林、つまり年を経た森林が炭素を蓄積する能力を維持し、世界の正味の生態系生産力の少なくとも10パーセントを占めている可能性を示唆している。こうした森林に攪乱が生ずると、炭素の大部分が大気に戻ると考えられるので、炭素量算定に際して、老齢林保全の価値を認めることは妥当だといえよう。

Letter p.213 参照

脳：自信のほどを算定チュー Confidence trick

判断を下す際、最終選択には多くの要因が影響するが、その中には決定の正しさがどの程度かという「信頼度」が含まれる。従来、そうした「メタ認知」は自己意識の証拠であり、霊長類にしかないものと考えられてきた。しかし、今回 Kepecs たちは、ラットもむずかしい知覚判断を行うときには、決定への信頼度を計算して使っているらしいことを明らかにした。2つの匂いを混ぜて、どちらが強いかをラットが正しく判定すれば報酬が得られるようにした。そして、成分の混合比を変えて決定の難度を調整できるようにしておく。脳の眼窩前頭皮質のニューロンは、判定がやさしいときよりむずかしいときにずっと強く発火した。このことは、信頼の度合いが意思決定過程の基本的かつ広汎な部分である可能性を示唆している。

Letter p.227 参照

宇宙：過去から届いた爆発波 A blast wave from the past

1843年に激しく爆発したことが観測されたりゅうこつ座イータ星 (η Car) は、典型的な高輝度早期変光星 (LBV) である。LBV は、超新星爆発を起こした超大質量星が、おそらく崩壊する途中で、その質量の多くを放出してできる天体だが、LBV の爆発の原因は不明である。N Smith は今回、 η Car の周囲に、これまで観測されたとのようなものよりも速く、非常に高速で運動する核反応生成物質を観測したことを報告している。高速運動するこの物質は、19世紀に観測された爆発現象のほぼ2倍の運動エネルギーをもち、当初の爆発で放出された爆発波が現在、大量の放出物の先のほうへと伝播中であることを示している。その結果として、 η Car の外殻は、低エネルギーの超新星残骸と似たものになっている。

Letter p.201 参照

非難の合唱

A chorus of disapproval

Nature Vol.454 (551) / 31 July 2008

エイズとの闘いは形勢が不利になりつつあるが、現状のような中傷合戦は勝利をいっそう遠ざけるだけである。

エイズに関する世界規模の話し合いは、責任追及と非難を大声で叫び合う中傷合戦の様相を呈し始めている。こうした危ない傾向は、2008年8月初旬にメキシコシティで開催される第17回国際エイズ会議に出席する数千名の脳裏に焼きつけられるはずである。

現在、世界全体の HIV 陽性者は 3300 万人にのぼり、毎日 6800 人を超える人々が HIV に感染している。殺菌剤やワクチンの試験は失敗に終わっており、しかも一部のボランティア被験者が HIV に感染するリスクを高めるような結果を招いた。さらに、批判の矛先は、エイズ計画やこれらの問題を解決しようと尽力する人々に向けられており、なかにはワクチン開発への政府レベルの資金援助を停止させるよう求める声さえある。

しかし、これは過剰反応である。多くの科学者が指摘しているように、マラリアワクチンの研究では数十件の臨床試験が実施されて失敗に終わっているが、有効性の研究でこれまでに試験されたエイズワクチンは3種類しかない。必要なのは、試験対象となるすぐれたワクチン候補であり、当然のことながら、米国立衛生研究所をはじめとするエイズワクチン試験の主な資金援助組織は現在、こうしたワクチン研究の前進に役立つような基礎研究に重点を置きつつある（*Nature* 454,



565–569; 2008 を参照)。

その一方で、昨年出版された2冊の本によれば、国連エイズ合同計画 (UNAIDS) は、エイズに対して政治的な動機による無駄な反応を招き、さらなる資金を集めるために統計データを歪曲したとされる（*Nature* 447, 531–532; 2007 を参照）。また、グレナダで小規模のシンクタンクを運営している Roger England などの批評家たちは、エイズへの支援金提供が貧困国の優先事項を歪めて、そうした国々の保健医療制度を弱体化させてしまったと考えている。英国は、UNAIDS を停止させて、エイズ計画に費やされている資金を保健医療制度への総合的支援に回すべきだと提案している。こうした問題に関する議論が渦巻くなか、UNAIDS の創設者で現責任者である Peter Piot が年末に辞任する意向を4月に明らかにしたため、UNAIDS は大事な時期でありながら不安定な状態に置かれている。

多くの貧困国の保健医療制度が四苦八苦の状態にあることは間違いないが、それがエイズ救済のせいだというのは間違いである。実際、各種のエイズ計画によって、貧困国でも効率のよい抗レトロウイルス療法などの新しいモデルを用いることで必要な医療の実施が可能になることが明らかになっており、資源の豊富な国でな



米国立衛生研究所（NIH）をはじめとするエイズワクチン試験の主な資金援助組織は現在、ワクチン研究の前進に役立ちそうな基礎研究に重点を置きつつある。左は、NIH の HIV ワクチン臨床試験ネットワーク代表の Larry Corey、右はスクリプス研究所（カリフォルニア州ラホーヤ）で研究を進める Colleen Doyle（*Nature* 7 月 31 日号 News Feature ‘THE NEXT SHOT’ より）。

D. FORBES / FRED HUTCHINSON CANCER RESEARCH CENTER; K. FUNG

ければ高価な薬剤が正しく使われないとする非難は沈静化されている。

また、保健医療制度全体に支援金を提供すれば各国政府はエイズと闘うために支援金を有効に使うはずだという、英国がいつているような予想も正しくはない。現在、エイズ治療普及に向けた多くの戦略は、これまで政府機関によって無視されてきた（こうした「事態の軽視」がエイズ蔓延に油を注いだのだが）、女性や同性愛者、静注麻薬使用者などの集団を対象としている。エイズ治療と保健医療制度の強化の両方にもっと多くの資金を費やすべきである。そして、日本で7月に開催されたG8サミットで再度取り上げられたように、支援金を拠出する各国政府がアフリカへの総合支援および疾患特異的な支援の公約などを果たせば、そうした強化が可能なはずである。

その一方で、米国上下院が大統領エイズ救済緊急計画（PEPFAR）への480億ドル（約5兆1800億円）の拠出を再認可したことは心強い（そのうち90億ドル（約9700億円）は、マラリアおよび結核との闘いにあてられる）。予想通りにブッシュ大統領がこの法案に署名すれば、米政府はこの計画に沿うことで、HIVを保有する旅行者の入国を禁止するという恥ずべき方針を

撤回することも可能になる。それにより、HIV陽性者に対する差別をまだ是認している他国政府に、模範例を示すことになるだろう。

国連加盟国による2000年の決議で、2010年までにエイズ治療をどこでも誰でも受けられるようにすること（ユニバーサルアクセス）が約束されたが、世界の現状はこの目標達成にまだ遠く及ばない。現在、300万人が救命のために抗ウイルス薬の投薬を受けているが、低所得国および中所得国に住む投薬の必要な人々の70パーセントは、そうした抗ウイルス薬による治療を受けていない。実際、国が集中的なエイズ対策を取らないと何が起こるかは、富裕国の例からも明らかである。例えば米国では現在、ラテン系住民や若い男性同性愛者でHIV感染率が上昇し始めていることが報告で明らかになっている。

メキシコシティーに集まる活動家や科学者たちは、各国首脳がエイズ問題から目をそらさぬよう要求すべきである。現在、世界には治療と介護を切に必要としている場所にそれらを提供するモデルがすでに存在しており、エイズ対策の成果を目に見える形で得られる状況になっている。後戻りなどしている場合ではない。このメッセージを、メキシコシティーで開催される会議において強く明確に発信すべきである。 ■

無音の動画から音が聞こえる

The sounds of silent movies

点がチラチラと動く映像を見ることによって、音の知覚が引き起こされることがある。

doi:10.1038/news.2008.1014 / 5 August 2008

Jim Schnabel

共感覚とよばれる感覚をもつ人たちは、1つの刺激に対して、通常感覚に加えてまったく別の感覚でもとらえてしまう。例えば、音楽を聞いたり数字を読み取ったりするときに、色まで知覚してしまうのだ。もっとまれな例としては、形を見るだけで味を感じてしまう人さえもいる。

閃光や動画が音の感覚を引き起こすという新しい共感覚の例が、神経科学の研究チームによって最近報告された¹。この知見は、少なくとも100人に1人の割合で体験が報告されている共感覚現象の正確な原因を、神経学的に突き止めるために役立つと考えられる。また、この知見によって、少なくとも数種類の共感覚が普通の知覚と密接に関連していることが示唆されている。

INSERM（フランス）で共感覚を研究しているEdward Hubbardは、「この研究は、共感覚をもつ人だけでなく、脳が複数の感覚からの情報を扱う仕組みに関心を寄せる研究者にも、影響を与えるでしょう」。

米国カリフォルニア工科大学の神経科学者Melissa Saenzは、昨年、彼女の知覚研究室を見学する学部生グループを案内したとき、新種の共感覚を偶然見つけた。学部生の1人が、無音の動画ディスプレイの前で、こう尋ねたのである。「何か聞こえないか？」

このJohannes Pulst-Korenbergという名の学生がいうには、その動画を見てると確かにシューッという音が聞こえるのだという。

Saenzは、この種の共感覚に関する記述を科学文献で見つけることができなかった。ところが意外なことに、学内で数百人を対象に調べたところ、同じような経験のある人がさらに3人見つかったのである。「聞こえるのは普通、弱く小さい音ですが、本人の気をそらせても音が無視されることはありません」とSaenzは説明する。

Pulst-Korenbergは、チョウが飛ぶのを眺めているときに、動画ディスプレイのときと同じ共感覚を経験したことがあるという。「チョウがひらひら飛ぶ動きを見ると、何らかの理由で、小さいカチカチというクリック音が聞こえるのです」と彼は話す。

共感覚と普通の知覚

Saenzは所属する研究所の所長Christof Kochとともに、「音と動き」の組み合わせの共感覚を実際にもつ人が選択的に有利になるようなテストで、学内で見つかった4例を確認した。共感覚をもつこの4人を含めた14人に、モールス信号式の速い点滅配列が2回分再生されるのを見つめてもらい、その2回の点滅配列が同一のものか、それとも微妙に違っているかを判定してもらったのである。共感覚保有者は配列を「聞く」こともできたので、共感覚のない10人よりも正確に、同一か違っているかを区別できた。動画ではなく、ブーッという音からなるモールス信号式配列でテストすると、共感覚保有者はやはり正答率が高かったが、共感覚をもたない対照群と正答率は変わらず、選択的な有利さはみられなかった。

共感覚は、脳内の密集した皮質領域

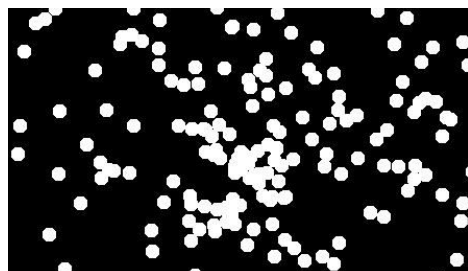
間に、小児期を過ぎても残っている架橋構造のせいで起こるのだと考える神経科学者もいる。例えば、「文字と色」の共感覚の場合、文字の認識に関係する皮質領域が、色の知覚に関係する皮質領域のすぐ近くにあることが判明している。また、別の有力な説では、共感覚の状態は、複数の知覚を統合する多感覚皮質領域から単一感覚皮質領域へのフィードバック信号が過剰になるせいだと説明されている。

脳画像化の研究によって、これら2つの説のどちらに関しても証拠が得られている、とHubbardはいう。「でも私は、Saenzが見つけた種類の共感覚が実際にどちらかの説にうまくおさまるとは考えていません」。共感覚はむしろ、脳が常に行っている皮質領域間の高速のやりとりが亢進された形なのではないか、という。「例えば、誰かの口の動きを見ることができれば、その人のいつていることをより容易に理解できることがわかっています。このようにして脳は、聴覚と視覚を常に統合しているのです」。こうした通常の統合作業を遂行する脳の仕組みの解明は、「Saenzが大学内で見つけた種類の共感覚を説明しようとする場合に、おそらく必要になってくるでしょう」とHubbardはいう。

「音と動き」の共感覚が、通常の感覚皮質領域間のやりとりと密接に関連しているとすれば、これまでずっと発見されずにいた理由も説明できるかもしれない。「現実の生活では、動いたり点滅したりする物は音を出すのが普通です。ですから、音と動きの関連づけは、数と色の関連づけよりも理にかなっているのです」とSaenzは述べている。 ■

1. Saenz, M. & Koch, C. *Curr. Biol.* **18**, R650–R651 (2008).

実際の動画は<http://www.klab.caltech.edu/~saenz/movingdots.html>で見ることができる。



白い点が動く動画を見るだけで、聞こえないはずの音が聞こえる人もいます。

「オーロラのもと」を発見

Aurora's source found by string of satellites

NASA の磁気圏観測衛星テミスがオーロラの引き金となる現象を見つけた。

doi:10.1038/news.2008.982 / 24 July 2008

Amber Dance

極地方の空で輝きながら揺れ動くオーロラの原因については、長年にわたって議論が続いていた。このほど、米航空宇宙局（NASA）の磁気圏観測衛星テミスは、オーロラの引き金となる現象をついに発見した。

オーロラは、宇宙から大気中に飛び込んでくる電子の流れが、大気中の気体分子に衝突することで発生することがわかっている。衝突で励起された分子が元の状態に戻るときに、光の形でエネルギーを放出する。このとき、窒素分子イオンは青色、酸素原子は緑色と赤色の光を発する。しかし、電子の流れを引き起こすきっかけについては謎のままだった。

オーロラのエネルギー源は太陽風である。太陽風は、太陽コロナからのプラズマ（荷電粒子の集合体）の流れであり、地球の磁場を変形させて、太陽から遠ざかる向きに長くのびた「磁気圏尾部」を作る。

太陽コロナが大量に放出されたときには、24 時間以上続く大きなプラズマの嵐（ストーム）が起こるが、磁気圏尾部が変形したときには、数時間だけ続く小さな「サブストーム」が発生する。

しかし、太陽風からサブストームまでの各現象の発生順序に関しては、科学者たちの意見は一致していない。あるグループは、地球から約 6 万キロメートル離れたところで、磁気圏尾部を横切って流れる電流が乱されることが重要なステップであると考えている。別のグループは、地球から約 12 万キロメートル離れたところ（月までの距離の約 3 分の 1 に当たるところ）で地球磁場が再編成されることが最初のステップである、と主張している。Science 誌 2008 年 8 月 15 日号に発表されたテミスの観測結果では、後者の説明が正しいとされた¹。

どちらが先か

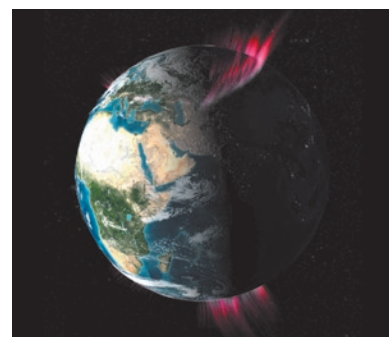
テミスの目的は、サブストームの各現象のタイミングを観測して議論を決着させることにある。NASA は、まったく同じ 5 機の衛星を一行に並べて、磁場の再編成、電流（荷電粒子の流れ）、地球を観察できるようにした。1 つのサブストームを複数の場所から観察すれば、どの現象が最初に起こるのかが明らかになると考えたのである。ジョンズホプキンス大学応用物理学研究所（メリーランド州ローレル）で放射線帯を研究している宇宙物理学者の Nicola Fox は、「カーレースを観戦するのに、1 人でカーブのところにいるよりも、最終的に誰が勝ったかわからないでしょう？ 誰かにゴールにいてもらう必要があるのです」と説明する。科学者たちは、北極光を観測するため、地上のカメラも利用した。

2008 年 2 月 26 日、テミス衛星群はサブストームを観察した。衛星群が最初に検出したのは、地球から遠く離れた場所で起きた磁気圏の再編成だった。メリーランド大学カレッジパーク校で磁気圏再編成を研究するプラズマ物理学者の Jim Drake は、「これは、かなり説得力のある結果だと思います」という。

しかし、ほかの科学者たちはいまだに懐疑的である。ジョンズホプキンス大学応用物理学研究所でサブストームを研究している宇宙物理学者の Tony Lui は、「彼らが観測した現象は、典型的なサブストームではありません。彼らがこの種の現象を観測対象に選んだことに驚いています」という。

典型的なサブストーム

しかし、研究プロジェクトを率いるカリフォルニア大学ロサンゼルス校の宇宙物理学者 Vassilis Angelopoulos



オーロラを引き起こすとされているサブストーム（想像図）。

は、2 月のサブストームは研究に値する典型的なサブストームだったと主張している。「小さなイベントは大きなイベントと同様に重要だと考えています。物理過程は同じですから」。

両グループとも、テミスのミッションに関してやるべきことはまだたくさんあるという点では一致している。Lui は、「1 か月分のデータを分析し、統計的な処理をする必要があります」と話す。ほかの研究者たちは、あと何例か観測されれば納得できるだろうと話しており、Angelopoulos もそのつもりでいる。「さらに多くのイベントを観測し、反論できないほどの証拠を得られるようにするつもりです」。

テミスの観測により、どちらの立場も認める判定が下される可能性も残っている。ジョンズホプキンス大学応用物理学研究所で磁気圏電流を研究する宇宙物理学者の Brian Anderson は、「どちらかが正しいというよりは、どちらも正しいという結論になるのではないのでしょうか」という。「自然は、私たちの想像を超えるトリックを用意しているものだからです」。

1. Angelopoulos, V. et al. Science doi: 10.1126/science.1160495 (2008).

現在、全世界の1年間の発電量は1万8000テラワット時に達しており、人類が消費する総エネルギーの40%近くを占めている。発電の過程で排出される二酸化炭素の量は、毎年、10ギガトン以上に上り、化石燃料に由来する二酸化炭素のセクター別排出量の中で最も多い。しかし、二酸化炭素の正味の排出量がゼロになるような発電技術は既に存在しており、太陽光発電や風力発電から原子力発電や地熱発電まで、多岐にわたる。

発電に伴う二酸化炭素の排出量を削減する最も簡単な方法は、発電効率を高めることである。しかし、それにも限界があるうえ、発電効率が高まるほど電力消費量が増加するというおなじみのパラドックスもある。そこで、気候変動の阻止に向けた世界的な取り組みの一環として、二酸化炭素を排出しない発電へのシフトが必要になってくる。これは、二酸化炭素の価格についての新しい考え方や、場合によっては新しい技術も必要とする。新しい送電システムや、より効率的な送電網も必要である。とりわけ重要なのは、ますます増大する電力需要に応えるために、二酸化炭素を排出しない各種の発電システムの規模を大きくしていくことである。本特集では、最終的にはどの程度の発電量が期待できるか、そして、最も現実的なエネルギー源はなんであるか、Natureのニュースチームが検証する。

ELECTRICITY WITHOUT CARBON

二酸化炭素排出ゼロの発電所 —PART1

Nature Vol.454 (816-823) / 14 August 2008



水力

世界には多くのダムがある。世界エネルギー会議によれば、大規模なダムは世界に4万5000か所あり、小規模なものはもっと多いという。こうしたダムに併設されている水力発電所の発電能力は800ギガワットにもなり、現在、全世界で消費される電力の約5分の1を供給している。ダムが供給する電力は化石燃料に次いで多く、地熱、太陽光および風力を合わせたものの10倍に相当する。中国の三峡ダムの発電能力は18ギガワットとされているが、これは全世界の太陽電池の発電能力の約2倍に相当する。さらに現在、最大出力にして120ギガワット（1ギガワット=10⁹ワット）分の施設の建設が進められている。

水力発電がこれだけの成功をおさめた理由の1つは、「水」という資源が広範な地域で得られることにある。現在、

多少なりとも水力発電を行っている国は160か国に上る。いくつかの国々では、水力発電が送電網に最も多くの電力を供給している。発展途上国では、大きなダムが主要な電力源となっていることは珍しくない。にもかかわらず、水力発電が最も威力を発揮できるとされている大河は、大きな先進工業国にある。現時点では、ブラジル、カナダ、中国、ロシアおよび米国が、全世界の水力発電所による発電量の半分以上を占めている。

💰 コスト: 国際水力発電協会（IHA）によると、発電所の建設地と規模に応じて、出力1メガワット（1メガワット=10⁶ワット）当たりの建設費は通常、100万～500万ドル（約1億1000万～5億4000万円）以上にもなる。低地に建設されたダムや、ダムの水位とタービンとの落差が小さいダムでは、より高額になる。大規模なダムの出力

ARTWORK BY J. TAYLOR

1 ワット当たりの発電コストは、同様の条件下にある小規模なダムに比べて低くなる。ダムの年間の運営コストは低く、資本コストは 0.8～2%、1 キロワット時当たりの電力コストは 0.03～0.10 ドル（約 3.2～11 円）であり、石炭やガスと十分に張り合える。

発電能力：水力発電の絶対的な限界は、世界中の河川を流れ下る水の位置エネルギーを運動エネルギーに変換する効率である。全世界の地表を流れる雨水が海水面まで下りてくる間にタービンを回すようにできるなら、理論的には 10 テラワット（1 テラワット＝ 10^{12} ワット）以上の電力を発電できることになる。しかしながら、河川の水力の 50% を利用できることはまれであり、多くの場合、その数字は 30% 未満にとどまる。

IHA によれば、この数値でもまだ、新たにかんがいの出力を可能にするという。現在、水力利用の基準となっているのはヨーロッパであり、理論的に利用可能とされている数値の 75% を既に利用している。アフリカで同じ水準を達成しようとする、水力発電所の発電能力を現在の 10 倍の 100 ギガワット以上に高める必要がある。アジアの設備容量は既に最大になっているが、最も成長する可能性があるのもこの地域である。アジアの水力発電所の発電能力を 3 倍にしてヨーロッパ並みに水力を利用できるようにすれば、全世界の水力発電所の発電能力は 2 倍になる。IHA は、十分な投資さえ行えば、全世界の水力発電所の発電能力は 3 倍になるとしている。

長所：水力発電システムは燃料を必要としない。このことは、燃料を採取・精製するためのインフラも、その輸送も必要ないことを意味している。つまり、水力により 1 ギガワットの電力を発電することは、火力発電所で 1 ギガワットの電力を発電するために燃やされる石炭の節約になるだけでなく、その石炭を採掘して輸送するための炭素コストの節約にもなるのである。ダムの取水口は

簡単に開けることができるので、時刻にも天気にも関係なく、変化する電力需要にほとんど即座に対応することができる。このように容易に稼働が可能な水力発電所は、あまり当てにならないほかの再生可能エネルギー源のバックアップとして役に立つ。とはいえ、電力使用量には需要や季節に応じた変動があり、ダムは、定格出力の約半分しか発電していない。

また、水力発電システムには、適切に設計すれば、生成したエネルギーをどこかに蓄えておけるという、ほかにはない特徴がある。エネルギーが豊富にあるときに、水を汲み上げておくのである。汲み上げた水でできた貯水池は、灌漑だけでなく、洪水の防災にも役立つ、娯楽施設としても利用できる。

短所：地球上のすべての地域に豊富な水力資源があるわけではない。例えば中東は、水力資源にはあまり恵まれていない。また、貯水池は多くの土地を必要とする。今日では全世界で、イタリア 2 個分の面積の土地が人工湖の底に沈んでおり、その面積のほとんどを大規模なダムや貯水池が占めている。また、全世界の水力発電による電力の 90% 以上は、計画と建設に長い時間と莫大な費用をかけ、水没する地域の住人を移住させてできた発電所で作られている。インドと中国では、この数十年間に数百万人もの人々が移住を余儀なくされた。さらに、ダムは、上流および下流の生態系に影響を及ぼし、回遊魚の行く手を阻む。堆積した土砂はダムの耐用年数を短縮し、下流の人々はダムにとらえられた土砂を利用することができない。貯水池で分解されるバイオマスはメタンと二酸化炭素を放出し、その放出量は、化石燃料を燃やさないことにより削減できる放出量と同程度になることもある。一部の地域では、気候変動のために水源（チベットの氷河など）から流れてくる水の量やパターンが変化し、ダムの発電能力が制限されることもある。

水力発電は成熟した技術であり、発電効率を改善する余地はほとんどない。また、発見しやすく、利用しやすい場所は既に開発されてしまっており、今後は、利用しにくい場所も開発していかなければならない。粉屋が 4000 年前から実践してきたように、自然な水の流れを利用して発電を行う小さな（発電能力 10 メガワット未満の）「流し込み式」水力発電所は、当然、環境に及ぼす影響が小さく、魅力的である。しかし、大規模な水力発電所に比べて約 5 倍のコストがかかり、拡大も困難である。

総合評価：安価で成熟した技術であるが、環境コストがかなり大きい。発電容量をさらに約 1 テラワット増やすことができる。

バイオマス

バイオマスは人類が最初に利用するようになったエネルギー源であり、20 世紀まで、最大のエネルギー源であり続けた。今日でも、バイオエネルギー源は化石燃料に次いで多く利用されており、20 億人以上の人々が、樹木や作物残渣などを主たるエネルギー源にしている。ほとんどの場合、バイオマスは焚き火や電で燃やされるが、近年、化石燃料を使わ



ない発電にも利用されるようになってきた。世界エネルギー会議は、2005年のバイオマス発電の発電容量を少なくとも40ギガワットと見積もっている。これは、再生可能エネルギー源の中では風力と水力に次いで大きい数字である。バイオマスは、従来の発電所で、石炭（場合によってはガス）を補う燃料として利用だけでなく、多くのコージェネレーション発電所でも利用できる。コージェネレーション発電所とは、電力を作り出すだけでなく、その過程で出る排熱も利用する発電所のことであり、総合エネルギー効率を85～90%まで高めることができる。

💰 コスト： バイオマス発電によって作られる電力の価格は、燃料の供給性と種類および輸送コストによって大きなばらつきがある。資本コストは、化石燃料を利用する発電所と同程度である。発電コストは、従来の発電所で石炭を使ってバイオマスを燃やす場合には1キロ

ワット時につきわずか0.02ドル（約2.2円）であるが、専用のバイオマス発電所では1キロワット時につき0.03～0.05ドル（約3.2～5.4円）まで上昇する。さらに、コージェネレーション発電所では、発電コストは0.04～0.09ドル（約4.3～9.7円）まで上昇するが、排熱の回収と利用により、その効率は格段によくなる。新しいバイオマス発電所を建設する際に最も問題になるのは、安定かつ集中的に生産される燃料を現地で入手することである。輸送コストを抑えるためには、バイオマス発電所を小規模に保ち、燃料は現地で調達しなければならぬ。その結果、1メガワット当たりの資本コストは高くなる。

🌿 発電能力： バイオマス発電の限界は、利用できる土地の広さ、光合成の効率および水の供給によって決まる。2007年のOECD円卓会議では、農業に使用されておらず、雨水のみを使ってバイオマスを生産できる土地が、約5

億ヘクタールあると推定された。そして、2050年までに、こうした土地と、作物残渣、森林残渣および有機廃棄物から、毎年6万8000テラワット時の発電量に相当する可燃性原料が供給されるだろうと見積もられた。これを40%の効率で電力に変換することができれば、最大で3テラワットの電力を供給できる計算になる。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）は、より広い土地が利用できることと仮定したうえで、2050年にはバイオマス発電による発電量は約12万テラワット時になると予測している。これは、5テラワットよりもやや大きい電力に相当する。

こうした予測は、エネルギー作物の生産に利用できる土地について、かなり極端な仮定に基づいている。その仮定が妥当であったとしても、こうした土地で生産できるのは電力だけではない。太陽エネルギーを化学結合の形で蓄えるバイオマスは、輸送用燃料の生産に関して、ほかの再生可能エネルギー源よりもすぐれている（Nature 2008年8月14日号841ページ参照）。バイオマスをバイオ燃料へと転換することは、バイオマスの燃焼ほど効率はよくないが、より価値の高い製品を作り出すことができる。多くの場合、バイオマスの利用法として、バイオ燃料は発電よりもすぐれている。

👍 長所： 植物は本来、カーボンニュートラル（二酸化炭素の排出量と吸収量が同じ）であり、再生可能である。けれども農業は、この資源を完全には使いきっていない。大量の肥料を必要とする場合は、特にそうである。バイオマスを燃やすために必要とされる技術は成熟しており、効率も良い。上述のとおり、コージェネレーションでは特に効率が高くなる。作物残渣を利用する小規模なシステムでは、輸送コストを最小限に抑えることができる。

二酸化炭素回収・貯留設備（CCS）のある発電所でバイオマスを燃やす場合には、バイオマスはカーボンニュート

数字でみる電力

2005年には1万8000テラワット（TW）時の電力が作られた。1年は約9000時間であるから、平均すると、2TW程度の電力がコンスタントに作り出されていた計算になる。発電容量は、この数字よりもはるかに大きい。電力需要には山と谷があり、常にフル稼働している発電所などないからである。

1TWの電力はなかなか想像しにくい。その1000分の1にあたる1ギガワット（GW）のほうが理解しやすい。1GWは、かなり大きな発電所の出力に相当する。英国で最大級の原子力発電所であるサイズウェルBの出力は約1.2GWである。米国コロラド川のフーバーダムは約1.8GWである。

1GWの1000分の1は1メガワット（MW）である。今日の電車のほとんどは3～5MWの電力を必要とする（こ

の例でピンとこないという方は、F1マシン2台分の出力と考えるとよいだろう）。1MWの1000分の1は1キロワット（kW）であり、電気ファンヒーターを想像すればよい。

各国のエネルギー消費量はキロワット時の単位で測定される。2004年の国民1人当たりの消費電力量が最も多かったアイスランドで、年間2万8200kW時だった。米国の1人当たりの年間消費電力量は約1万3300kW時であるから、3億人のアメリカ人は約400GWの電力を使っていることになる。チリの1人当たりの消費電力量は3100kW時、中国では1600kW時、インドでは460kW時である。ハイチは消費電力量が最も少ない国の1つであり、30kW時である。

ラルからカーボンネガティブとなり、空気中の二酸化炭素を吸収し、それを地中に貯蔵することができる。バイオマスは、この技術により、大気中の二酸化炭素濃度を低下させることができる唯一のエネルギー源となる。しかし、石炭の場合と同様、資本配置の点でも効率の点でも、二酸化炭素の回収に関連したコストがかかる。

短所：地球上には広大な土地があるが、その多くは、増加する人口に食料を供給するために必要とされる。燃料生産と食料生産のための土地の割り当ては市場メカニズムに任せるべきなのか、それとも政治的に決定するべきなのかはわからない。エネルギー作物の生産量を増やし、生産を集約化していくことには、反対の声が上がりそうである。また、気候変動は、それ自体が直接的に、適切な土地の供給を左右する。廃棄物と残渣の利用は、土壌を肥やすはずの炭素を土地から奪ってしまうおそれがあり、長期的な持続を不可能にするかもしれない。

さらに、バイオエネルギーへの依存は、干ばつや疫病によるエネルギー危機の懸念を生じるだけでなく、土地利用法の変化そのものが気候に影響を及ぼすおそれもある。エネルギー作物を生産するための開拓により、その作物では相殺できない量の二酸化炭素を放出してしまう可能性もある。

総合評価：エネルギー作物生産の大幅な増加が許容できるもので、かつ持続可能であることが明らかになれば、その大半は、バイオ燃料として消費されるかもしれない。けれども今後、さまざまな条件下で、小規模なバイオマス発電システムの価値が認められるようになるだろう。カーボンネガティブなシステムの実現可能性は、バイオマスだけがもつ魅力的な特性である（ただしこれは、バイオマス発電については可能かもしれないが、バイオ燃料については期待できない）。



風力

風力発電は、数年前にはその熱狂的な支持者たちでさえ期待していなかったほど速いペースで普及してきている。2007年に米国で設置された発電所により、風力発電の発電能力は5.3ギガワット増加したが、これは、米国が新たに確保した発電量の35%に相当する。米国ではさらに225ギガワット分の風力発電所の建設が計画されており、この数値は石炭火力発電所とガス発電所の合計よりも大きい。世界風力エネルギー協会によれば、この5年間、全世界の風力発電所の発電容量は毎年25%ずつ上昇しているという。

Wind Power Monthly は、2008年1月時点における全世界の風力発電所の設備容量は94ギガワットであったと推定している。21%の成長が続くなら、その数字は6年後には3倍になるだろう。

しかし、世界的にみればその数字はまだ小さい。特に、風力発電基地が歴史的にその発電容量の20%しか発電していないことを考えると、この数字は決して満足できるものではない。

コスト：風力発電所の建設費は、陸上に設立するなら1メガワット当たり約

180万ドル（約1億9000万円）、海上に設立するなら240万～300万ドル（約2億6000万～3億2000万円）である。これは、1キロワット時当たり0.05～0.09ドル（約5.4～9.7円）に相当し、少なく見積もるなら石炭火力発電にもひけを取らない。多くの国は助成金を出しているため、風力発電のコストは石炭火力発電よりもかなり低くなり、今日の風力発電ブームを引き起こした。現時点では、風力発電所の建設の主な足かせになっているのは、タービンの製造ペースである。

これだけの低コストは、技術の大幅な改良を抜きにして語ることはできない。1981年の風力発電基地には出力50キロワットのタービンが並んでいて、1キロワット時当たりの発電コストは約0.40ドル（約43円）だった。今日のタービンは、5分の1のコストで30倍の電力を作り出すことができ、風力不足による停止時間もはるかに短い。

発電能力：地球の大気の運動が作り出すエネルギー量は、数百テラワットという莫大な大きさに上る。スタンフォード大学の2人の研究者は、2005年の論文において、世界中の風

力発電に適した地点（風速が6.9メートル以上ある地点）の13%に、最新の大型タービンを250万台設置することができれば、少なくとも72テラワットの電力を効率よく作り出すことができると計算した (C. L. Archer and M. Z. Jacobson *J. Geophys. Res.* **110**, D12110; 2005)。

長所：風力発電の主な長所は、水力発電と同じく、燃料を必要としない点にある。必要なのは、タービンと送電線の建設コスト、維持費だけである。近年のタービンは大型化し、信頼度も高くなっている。高高度で風を捕える技術の開発は、狭い範囲にはるかに持続的な方法で電力を供給することを可能にする。

短所：風力発電の究極の弱点は、その断続性にあるといえるだろう。ある送電網の容量の20%を風力発電によってまかなうことは、さほど困難ではない。けれどもそれ以上を望むなら、

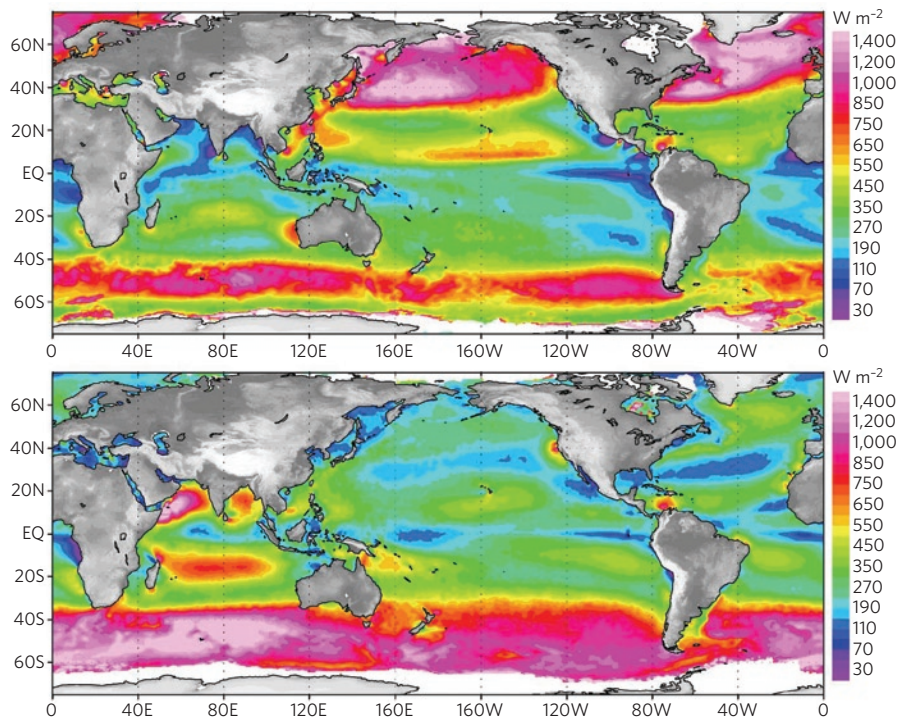
設備についても系統運用者にとっても、変動する電力に対処するための工夫が必要になる。送電網に関しては、もう1つ、まさしく絶対的な弱点ともいえる問題がある。それは、最も風の強い場所が最も人口が多い場所であることはめったになく、風力発電により電気をまかなうためにはインフラの整備が必要になるということである。これは特に、風力発電所を海上に建設する場合に重要である。

風は断続的であるだけでなく、ほかの再生可能エネルギー源と同じく、本質的に密度が極端に低い。大規模な風力発電基地が作り出す電力は、典型的には1平方メートル当たり数ワットで、10ワットあれば非常に高いのである。ゆえに、風力発電所を建設するには、安価な土地か、ほかの目的にも同時に利用できる土地か、その両方の性質を備えた土地を探す必要がある。タービンは景観を台無しにすると考える住民がいたなら、その土地に風力発電所を建設するのはむずかしい。

風は、空間的にも偏って分布している。風力発電は、風の強い海があり、海から陸に向かって風が吹いてくる国や、広大な平野のある国に適している。ドイツは、国内で最も強い風が吹く土地の多くをタービンで覆ったが、こうした先駆的な努力にもかかわらず、発電容量の合計は22ギガワットにしかならず、国内の電力需要の7%未満しか供給できない。ドイツよりもずっと遅れて風力発電に取り組み始めた英国は、海上での風力発電に関して、明らかにヨーロッパで最大の可能性を秘めている。英国風力エネルギー協会の見積もりによれば、海上風力発電により国内の電力需要の3倍以上に相当する電力を供給できるという。また、産業界の見積もりによれば、欧州連合 (EU) は北海の5%未満を開発することで、現在の電力需要の25%を満たすことができるという。

カルガリー大学 (カナダ) のエネルギー環境システムグループの長である David Keith によると、こうした大規模な風力発電計画が現実のものになれば、風のパターンが変わって、その地域の気候に（もしかすると地球全体の気候にも）影響を及ぼす可能性があるという。風にはものを冷やす傾向があるため、タービンが風からエネルギーを抽出して風速を遅くする結果、広大な風力発電基地のまわりの気温が上昇する可能性があるのだ。Keith の研究チームは、発電能力2テラワットの風力発電所は、気温に0.5℃の影響を及ぼすと見積もった。しかし、中緯度では温暖化が起こり、極地方では寒冷化が起こるため、地球温暖化効果は相殺されるかもしれないという (D. W. Keith et al. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **101**, 16115-16120; 2004)。

総合評価：米国と中国の広大な平野を活用し、海上をより安価に利用できるようになれば、全世界の風力発電所の発電能力を1テラワット以上にするのも夢ではない。



北半球の冬 (上) と夏 (下) に地球上を吹く風の平均風力。タービンの間隔と技術的制約のため、取り出せるエネルギーは設計上の最大出力より2桁近く小さくなる。

地熱

地球の内部には膨大な量の熱がある。かつて微惑星が合体して地球が誕生したときの名残の熱もあれば、放射性元素の崩壊に伴って発生した熱もある。岩石は熱を伝えにくいので、地球の内部にある熱が表面に流れ出る速度は非常に遅い。もしこれがもっと速かったら、地球のコアは凍りつき、大陸の漂流はとっくの昔に終わっていただろう。

地熱の流れは遅く、この資源を発電に利用できるのは、温泉が豊富に湧き出ている場所など、特殊な土地に限られている。地熱発電を行っている国は20か国程度しかなく、国内の電力の15%以上をこの方法でまかなっている国は、コスタリカ、エルサルバドル、アイスランド、ケニア、フィリピンの5か国しかない。世界の地熱発電の設備容量は約10ギガワットであり、ゆっくりとした増加にすぎない。10年前からの5年間の増加分は、わずか3%程度である。10年前には、地熱発電の発電能力は風力発電よりも高かったが、現在ではその約10分の1にしかない。

地熱は、直接利用することもできる。実際、世界のエネルギー収支に対する地熱の最大の寄与は、住宅や商業施設を直接暖房する小型地熱ポンプによるものであるかもしれない。

💰 コスト：地熱発電システムのコストは、地質学的条件によって決まってくる。地熱技術に関しては、マサチューセッツ工科大学（MIT）の研究チームが2006年に重要な報告書を発表している。そのメンバーだった化学工学者のJefferson Testerは、「地熱資源は、鉱物資源に似た状況にあります」と説明する。「地熱資源は、質の高いものから低いものまで、連続的に存在しているのです。浅く、岩石の間隙率の高いところにある、高温の資源もあれば、深く、岩石の間隙率の低いところにある、利用が困難な資源もあるのです」。MITの報告書では、地熱発電に非常に適した場所（大量の熱水が地表の近くで循環している場所）な

ら、1キロワット時当たり0.05ドル（約5.4円）のコストで発電できると見積もられた。質の低い地熱資源ならもっとたくさんあるが、現在の技術で開発しようとなると、コストは格段に高くなる。

🔌 制約されない発電能力：地球は1年間に40～50テラワットの熱を失っており、1平方メートル当たり平均0.1ワット弱の熱が出ている計算になる。ちなみに、地球が受け取る太陽光は、1平方メートル当たり平均200ワットである。今日の技術では、地球の熱流束のうち70ギガワットを利用できると見積もられている。技術革新がもっと進めば、少なくともその2倍は利用できるようになるだろう。MITの研究チームは、高性能のボーリング装置を使って深部に水を注入する強力なシステムを用いれば、米国だけで100ギガワットの地熱発電が可能になると示唆した。これは、全世界では1テラワット前後の地熱発電が可能になる計算である。つまり、巨額の投資さえすれば、地熱発電は今日の水力発電と同程度の電力を供給できることになる。

👍 長所：地熱資源は燃料を必要としない。地熱は極めて安定に供給されるため、地熱発電は「ベースロード電力」（点検時以外、24時間一定の出力で供給される電力）を供給するのに理想的な性質を備えている。地熱発電所の設備利用率は75%であり、再生可能エネルギーを利用する発電所の中では最も高い。発電後に出る低温の排熱は、住宅の暖房や工業過程に利用できる。

これまで利用されていなかった地熱資源を調査し、ボーリングを行うことは、石油産業が生み出した地図作成技術とボーリング技術のおかげで、非常に容易になった。大規模な技術開発プログラム（Testerは、10年間に10億ドル（約1100億円）程度の規模を考えている）により、質の低い地熱資源も利用できるようになれば、発電能力は大幅に上昇するだろう。

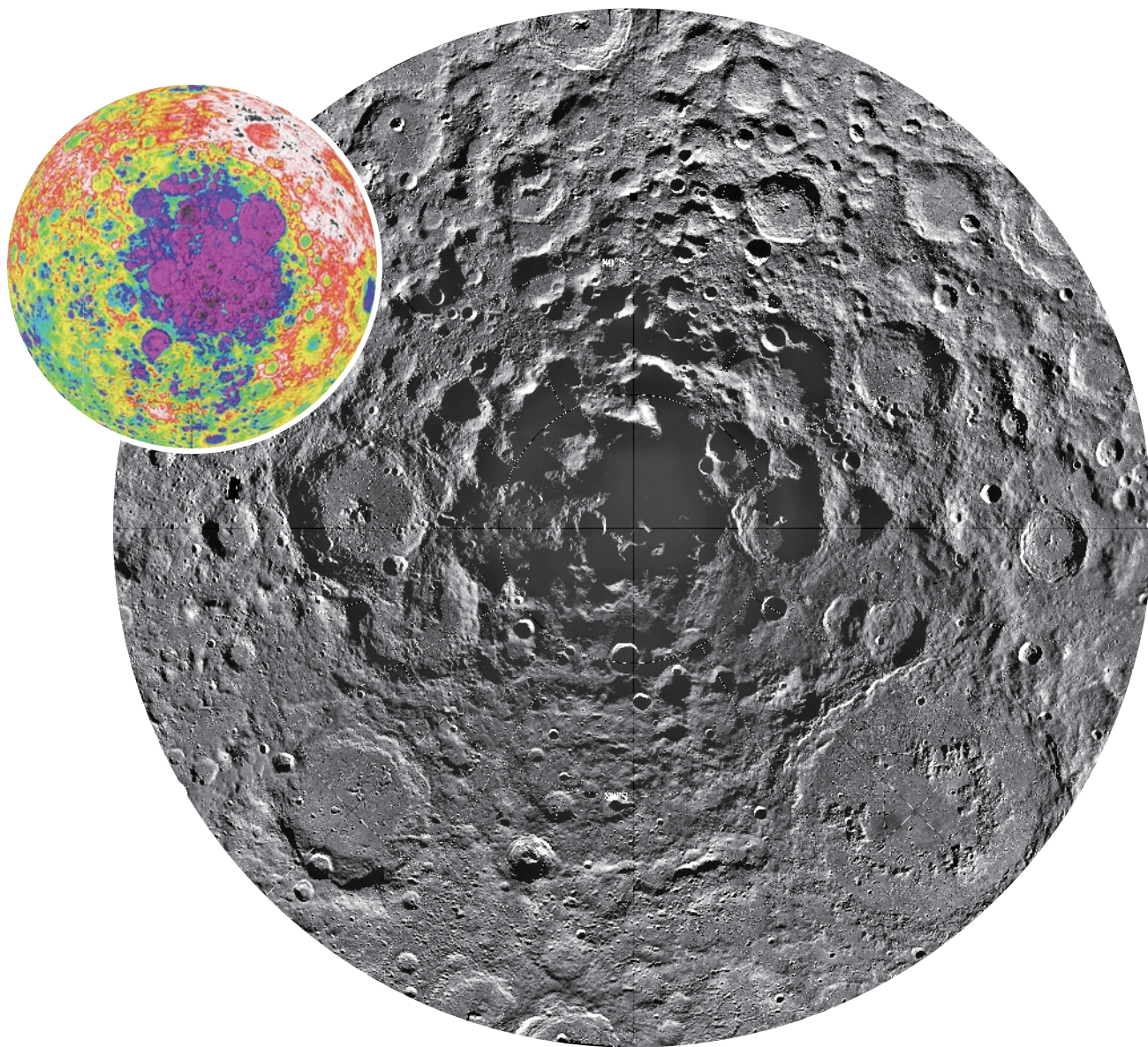


👎 短所：質の高い地熱資源は極めてまれであり、質の低い地熱資源でさえ均一には分布していない。一部の地熱地帯からは二酸化炭素が漏れ出すことがあり、汚染問題が生じる可能性もある。また、地表に熱を運び上げる水は、帯水層に放出されるべきではない化合物も運んでしまうおそれがある。乾燥地帯では、水の確保がネックになるだろう。大規模な開発に必要とされる技術は、理論的には運用可能に思えるが、強固で実用的なシステムの形では実証されていない。

👁️ 総合評価：発電能力は1桁以上大きくすることができるかもしれないが、劇的な改良がないかぎり、水力発電や風力発電を抜いて1テラワット台になる可能性は低い。 ■

報告および執筆は、Quirin Schiermeier, Jeff Tollefson, Tony Scully, Alexandra Witze および Oliver Morton による。

*次号掲載予定のPART2では、太陽エネルギー、原子力、海洋エネルギーについて検証します。



NASA

月の南極の写真。左上の図は月の表面の高低地図で、「南極－エイトケン盆地」は紫色の部分。月探査機クレメンタインの測定データから作成。

The hole at the bottom of the Moon

月の底の穴

Nature Vol.453 (1160-1163) / 26 June 2008

かつて、形成されたばかりの内太陽系が猛烈な「爆撃」を受けていた時期があり、それによって月や地球やその他の惑星の姿が大きく変わったといわれている。爆撃は本当にあったのか？ いつ、どのような形で起きたのか？ 月の南極にある巨大なクレーターが、そのかぎを握っている。Eric Hand 記者が報告する。

ドファール 961 は、ほかの「月の石」とは似ていなかった。ワシントン大学(ミズーリ州セントルイス)の地球化学者 Randy Korotev は、最近分割されたドファール 961 の表面を見て、すぐにそれがとても黒っぽいことに気づいた。ほとんど紫色をしている。また、金属の大きな粒を含んでいることにも気づいた。これまでに見てきた「月の石」とは、あまりにも異なっている。「これはあの『大きいやつ』から来たのだろうか?」と彼は思った。

ドファール 961 が月の破片であることはわかっていた。それは何らかの衝突によって月から削り取られ、月の弱い重力の支配を脱し、地球の重力につかまった。その後、数万年前にオマーンの砂漠に落下し、数年前に一攫千金を狙う収集家の手に落ちた。Korotev は、これがオークションサイト「eBay」に出品されるのを待ち続け、ついに、ネット上で評判のよいディーラーがドファール 961 の 6 グラムの破片を 1 グラムあたり 1000 米ドル(約 11 万円)で販売しているのを見つけた。実に、金の 30 倍の値段である。Korotev はその破片の一部を買い、自らの疑問を確かめるための化学分析にその 3 分の 1 をあてた。

ドファール 961 のほかに、すでに知られている月由来の隕石は 59 個あり、その化学組成から、いずれも月の 3 つの領域から来たものであることがわかっている。これに対して、ドファール 961 はおそらく第 4 の領域から飛んできたものらしい。それは、月の底(南極)から裏側のエイトケンクレーターにかけて広がる「南極-エイトケン盆地」という深くて暗い穴である。ここは、現在知られているかぎり、月で最大の爆発が起きた場所である。ドファール 961 の内部には、この爆発の記録が残っている可能性がある。その記録は、形成されたばかりの内太陽系が猛烈な爆撃を受けていた時期があったのかどうか、あったとしたらいつ頃のことだったのかという問題を解決するための手がかりになると考えられている。

南極-エイトケン盆地を作ったような本当に巨大な衝突は、単なるクレーターではなく盆地を作る。こうした盆地は、深く、複雑であり、衝撃波が的の中心のような同心円状の地形を残している。盆地としても、南極-エイトケン盆地の規模は群を抜いている。太陽系の中を見渡しても、これよりも大きな盆地は火星のボレアリス盆地しかない。Nature 2008 年 6 月 26 日号 1212 ページに掲載された報告によれば、直径 1 万キロメートルのボレアリス盆地を作った衝突は、火星の北半球の表面を削り取るほどの規模であったようである。一方、南極-エイトケン盆地も、直径 2600 キロメートル以上、深さ 12 キロメートル以上という規模をもち、中国の半分を覆い、チベットの最も高い山が入ってしまう大きさである。

南極-エイトケン盆地は、月で最大の盆地であるだけでなく、月で最古の盆地でもある。このことは、クレーターが互いに重なり合うようすをマッピングするという相対的な年代決定法によって明らかにされた。しかし、絶対的な形成時期は不明である。

46 億年前に太陽系が形成されて間もない頃は、生まれたばかりの惑星に、残った微惑星がひっきりなしに衝突していた。月自体も、この時期の激しい衝突により地球の一部がたたき出されてきたと考えられている。しかし、38 億年前には、衝突の頻度は低下し、今日とそれほど変わらないレベルになっていた(右のグラフを参照)。問題は、それまでの時期はどうだったのかということだ。衝突の頻度は滑らかに低下していったのだろうか?あるいは、多くの科学者たちが考えているように、39 億年前に大きなピークがあったのだろうか?

重なり合うクレーターの最も下にある南極-エイトケン盆地の大きさを考えると、その形成時期は、「後期重爆撃期」あるいは「月の大変動期」を絞り込むための決定的な手がかりとなるはずである。南極-エイトケン盆地の形成時期が早ければ、衝突の頻度は低く、長

期間であり、ピークの幅は広がったことになる。もしかすると、衝突頻度はこの期間を通じて一定だったのかもしれない。一方、形成時期が遅ければ、大変動があったことになる。

米国アカデミーが、昨年、南極-エイトケン盆地の形成時期を決定することを月科学の最重要課題に定めたのは、そのためである。この盆地の形成時期を決定することは、大変動仮説と、それに伴うさまざまな関連事項を検証することを意味している。検証の結果、誕生したばかりの月に何が起きていたのかが明らかになり、ひいては太陽系のほかの場所で何が起きていたのかを推測できるようになる。内太陽系の惑星が大気を失うほど激しい爆撃を受けたのは突然のことだったのかどうかもわかる。それは、生命の起源とも関係がある。激しい爆撃は、すでに生まれていたあらゆる生命を絶滅させてしまったのだろうか?あるいは、最も初期の生命体の多くが耐えてきた地獄のような環境は、この爆撃によって作り出されたのだろうか?また、ある惑星への爆撃により、ドファール 961 のような岩石に細菌が付着したものを別の惑星へと吹き飛ばして、生命を移動させたこともあったのだろうか?

ハワイ大学の地質学者 Jeffrey Taylor は、「これは未解決の大問題だ」という。

R. KOROTEV

隕石「ドファール 961」は、月で大変動が起きていた時期を教えてくれるかもしれない。



「月は、この問題の手がかりが得られる唯一の場所なのです」。

月という記録板

月の表面が傷だらけであることは一目瞭然である。しかし、科学者たちは長い間、月の表面をクレーターだらけにしたのは、外からの力ではなく内からの力であると考えていた。衝突クレーターの、火山爆発の名残のカルデラと誤解していたのである。引退した地質学者の Don Wilhelms は、「今の人は、この誤解がどれほど広く受け入れられていたかを想像することもできないでしょう。なにしろ、月面で起こることのすべてが火山活動に起因していると考えられていたのです」と話す。Wilhelms は、カリフォルニア州メンローパークの米地質調査所に勤務していた 1970 年代の初めに南極－エイトケン盆地の地図を初めて作成したことや、現在コーネル大学（ニューヨーク州イサカ）に所属する惑星科学者の Steve Squyres とともに火星のボレアリス盆地の存在を初めて提案したことで知られている¹。

宇宙開発競争が始まったとき、月の詳細な地図が新たに作られ、先駆的な天体地質学者たちは火山仮説を葬り去った（*Nature* 2008 年 6 月 26 日号 1164 ページ参照）。彼らは、大きな盆

地はすべて天体衝突によって形成されたと推定した。一方、アポロ計画の宇宙飛行士たちが 1970 年代初めまでに持ち帰っていた「月の石」からも、意外な事実が明らかになった。クレーターを作った天体衝突のすべてが、ほぼ同時期に起きていたことがわかったのである。広大な「雨の海」ができたのは 38 億 5000 万年前のことだったが、相対年代決定により、その近くの「神酒の海」ができてから「雨の海」ができるまでに数百個のはっきりしたクレーターが形成されているにもかかわらず、わずか 5000 万年しか経過していないことが明らかになった。また、40 億年前よりも古いクレーターはなかった。

1973 年には、カリフォルニア工科大学（同州パサデナ）の Fouad Tera らが、この極端な衝突頻度を説明するのに「大変動」という言葉を初めて用いた。彼らはこの年の惑星科学会の論文要旨に、「当時の地球からは、すばらしいショーが見えたに違いない。ただし、頑丈なシェルターがあればの話だが」と書いている。

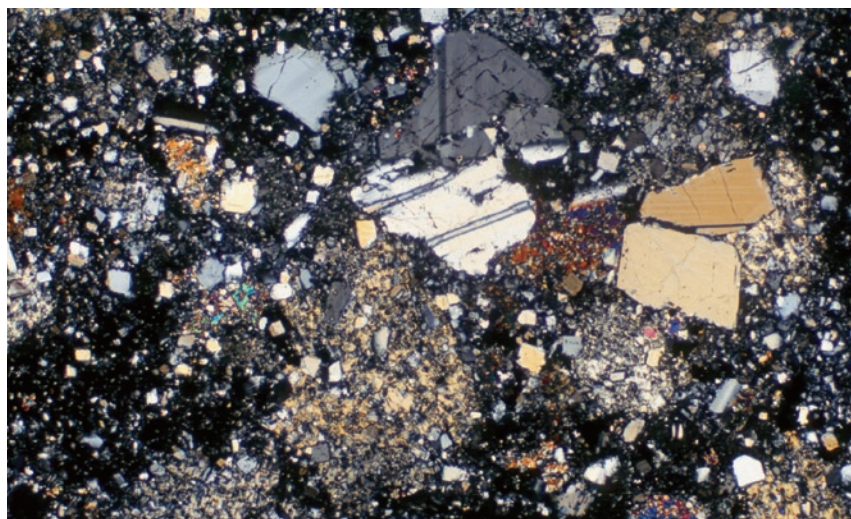
実際、「高みの見物」というわけにはいかないはずだった。それは、地球上で繰り広げられた最大のショーでもあり、生き延びられたらめっけものといえるようなショーだったからである。月

と地球の距離は小さいため、月に起きたことはすべて地球にも同様、あるいはそれ以上に起きてしまうのである。しかし、地球への天体衝突の記録は失われてしまった。地球にできたクレーターの大半は、風化や浸食やプレートの移動による間断ない攪拌のために消えてしまったからである。月惑星研究所（テキサス州ヒューストン）の地質学者 David Kring は、「ですから月は、地球上の出来事の記録板のようなものなのです」と話す。

それはなんとすさまじい出来事だった。Kring は、地球への天体衝突をモデル化してみた²。その際、地球は月よりもはるかに大きな標的であるため、月に起きたことのスケールを 13 倍に見積もりを進めていった。彼らは、「神酒の海」の形成から「雨の海」の形成までの 5000 万年間に、天体衝突によって大きな盆地が 15 個形成されたという Wilhelms の見積もりに基づいて、地球には数千年に 1 回の頻度で直径 20 キロメートルのクレーターを作るサイズの天体が衝突していたはずだと結論した。さらに、100 万年に 1 回の頻度で、直径 1000 キロメートルの盆地を作るサイズの天体が衝突していたという。そうした衝突は地球の海を蒸発させ、その蒸気は地表の生物を絶滅させただろう。Kring は、岩が気化したガスは、衝突後数千年にわたって残留していた可能性があると考えている。

これで驚いてはならない。Kring の見積もりは、実はとても控え目なものだ。地球の強い重力は、月の 500 倍の頻度で天体を引きつける可能性がある。さらに Kring は、30 個もの大きな盆地を計算から除外している。Wilhelms はこれらの盆地を、南極－エイトケン盆地よりも後、「神酒の海」よりも前に形成されたとしているからである。もしも南極－エイトケン盆地が「神酒の海」よりもあまり古くないことがわかれれば、天体が地球に衝突していた頻度はさらに高かったことになる。

さらに、Wilhelms が見つけた盆地



タイムカプセル：この写真の薄片のように、衝突で溶融した「月の石」は、すべてほぼ同じ時期にできている。

の数は多くの研究の基準となってきたが、今では古く、かなり控え目なものになっている。米航空宇宙局（NASA）ゴダード宇宙飛行センター（メリーランド州グリーンベルト）のHerbert Freyは、最近、月探査機クレメンタインが測定した地形データにもとづく新たな盆地探しを終えた。Freyらの研究チームは2008年の月惑星科学会で、直径300キロメートル以上の盆地を92個報告した。これはWilhelmsが見つけた盆地の数の2倍である。「私たちは、月に衝突した天体の数を実際よりひどく少なく見積もっていたのです」とFreyは話す。「これはおそらく、40億年前の地球がすむにたえない場所であったことを意味しています」。

しかし、一部の宇宙生物学者は、大変動は、生物を絶滅させるどころか、生命を誕生させるきっかけになった可能性があるかとみている。地球に衝突したすい星や小惑星からは、外来の有機物がもたらされただろう。爆撃は地殻を貫いてマントル内部の深い対流をかきたて、大陸地殻を作り出したかもしれない。また、表面の海ははぎ取られてしまったかもしれないが、地表下の水と熱により、熱を好む生物がはぐくまれた可能性がある。系統樹の中で、3つの主要な枝（細菌、古細菌、真核生物）の祖先に熱を好む傾向があるのは、おそらく偶然の一致ではないだろう³。

大変動の原因

「月の石」が明らかにしたこと1つは、爆撃は38億5000万年前にかなり急速に沈静化したということである。しかし、そもそも何がこの爆撃を引き起こしたのだろうか？ 一部の研究者は、太陽系が形成されたときに残った微惑星が衝突するのは当然であると主張してきた。しかし、長期にわたる爆撃を可能にするだけの数の微惑星が残ったことの明確な説明はない。大変動を引き起こしたのは微惑星とは別のタイプの小天体であったと主張する研究者もいるが、そうだとしたら、新しい小天体の

動きを引き起こした原因は何だったのだろうか？ 「自分ではそのメカニズムを思いつかないという理由から、この仮説を気に入らなかった人もいました」とWilhelmsは話す。

数年前、ブラジル、米国、フランスのニースの研究者らが、1つの説明を提案した。このチームは、天王星と海王星が普通に考えられるよりも太陽から遠く、離心率の大きな軌道を回っている理由を説明するために、太陽系の力学モデルを構築した⁴。彼らのモデル（「ニースモデル」ともよばれる）は、海王星の軌道が天王星の軌道の内側にある原始太陽系から出発し、そこから時間を進めていった。約7億年後に、木星と土星がある軌道パターンに入ると、その重力の作用を受けて、天王星と海王星が太陽からもっと遠くにはじき飛ばされた。さらにその結果、冥王星の彼方に広がるカイパーベルト（氷でできたすい星群が作る巨大な円盤）がかき乱されて、すい星を内太陽系へと向かわせたのである。

しかし、この説明には問題が1つあった。月のクレーター内部の物質は、化学組成においても大きさの分布においても、小惑星とはよく一致するが、すい星とは一致しないのである。これは、最も多く、あるいは、最も新しい時期に月を爆撃していた天体が小惑星であったことを示唆している。ニースモデルの提案者たちは、この問題に対しては、「木星と土星の軌道変化は、火星と木星の間にある小惑星帯も乱したのだらう」と答えている。地球や月などに小惑星を衝突させるには、それで十分である。

Korotевは現在、ニースモデルのおかげもあって、月の大変動仮説を支持しているという。彼が大変動仮説に関して抱いていたもう1つの長年の疑問も、別の研究により解決されつつある。Korotевは、ほとんどの「月の石」が約39億年前のものであったのは、単に、宇宙飛行士の石の選択が偏っていたせいではないかと疑っていたのである。彼は、ほかの数人の研究者とともに、宇

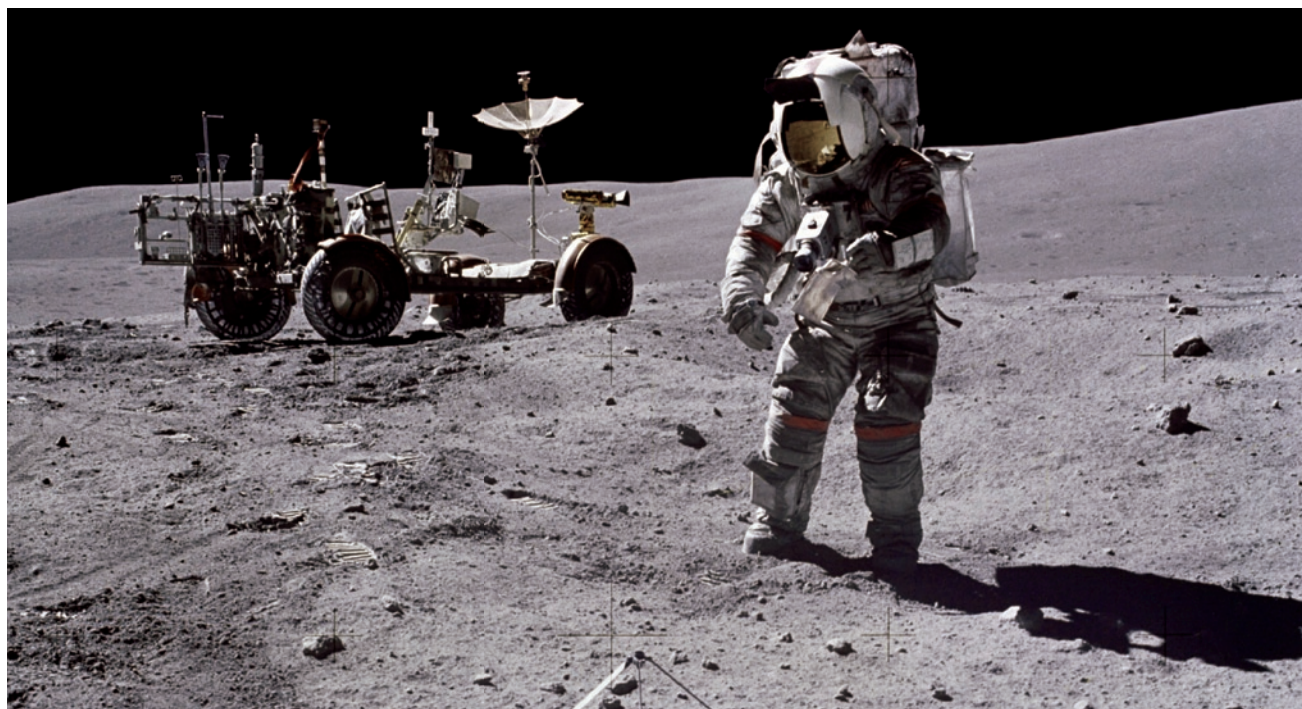
宙飛行士たちは「雨の海」を作った衝突の際にできた石ばかりを拾ってきて、科学者たちはそれらを別々の衝突の際にできたものと誤解したのではないかと主張していた。

キャンベラにあるオーストラリア国立大学の宇宙化学者 Marc Norman は、アポロ計画で収集された試料から新しいデータを引き出す努力を続けており、Korotевの主張に対する反証となりうる結果を得ている。Normanが調べているのは衝突溶融物である。衝突溶融物は再結晶した残留物であり、衝突によって融けた石の同位体記録を含んでいる。Normanは、アポロ計画で収集された石の1つに含まれる21の衝突溶融物の形成時期を決定し、それらが2億年の範囲に収まることを明らかにした⁵。さらに彼は、衝突溶融物の形成時期がいくつかのグループに分かれていることに気づき、これらが4回の別々の衝突を表していると解釈した。この解釈が正しいならば、短期間の爆撃の間に多数の大きな盆地が形成されたという仮説のさらなる裏づけとなるだろう。

短期間の爆撃があったことを裏づける証拠は隕石からも得られている。アポロ計画で収集された石には地理的な分布に制約があったが、隕石は、月のあらゆるところからやって来ていると考えられる。現在マーシャル宇宙飛行センター（アラバマ州ハンツビル）に所属している Barbara Cohen は、Kringとともに研究を行い、7回から9回の衝突があったことを示唆する衝突溶融物を含む4個の隕石を分析した。彼女は、どの溶融物も39億2000万年前より古くはないことを見いだした⁶。10年前に、生命の証拠を含んでいるとされて有名になった火星の隕石「アランヒルズ84001」も、月の大変動仮説を支持している。45億年前にできたこの石の一部は、39億年前に起きた何らかの重大事件により変化していたのである。

再び月へ

それでも、一部の月科学者たちは、宇



John Youngらの宇宙飛行士は、分析に最も適した石を選ぶ地質学的訓練を受けていた。写真は、1972年のアポロ16号での同飛行士。

宇宙飛行士が拾ってきた「月の石」にも、空から降ってきた「月の石」にも満足していない。「南極－エイトケン盆地の形成時期を知る最良の方法は、そこへ行き、石を拾ってきて、その形成時期を調べることだ」と彼らはいう。

単純なロボット着陸機を月に送り込む方法は比較的安くすむだろうが、ロボットの年代決定能力は十分ではない。放射性同位体年代決定には質量分析計が必要であり、着陸機に搭載できる程度の大きさの装置だと、測定誤差は10パーセントもある。40億年前にできた石なら4億年の誤差があることになり、これは、南極－エイトケン盆地の年代決定計画の趣旨には合わない大きさである。「40億年前と42億年前は違うということをお願いのですから、現時点では実現していないレベルの測定精度が必要なのです」とTaylorは説明する。

このため、月科学者のあるグループは、南極－エイトケン盆地サンプルリターン計画を強く推している。この計画が実現すれば、1976年にソ連が最後に月に送り込んだルナ探査機が170グ

ラムの土を持ち帰ってきて以来、初の月サンプルが地球にもたらされることになる。ワシントン大学（ミズーリ州セントルイス）のBrad Jolliffが率いるこのグループは、NASAの公募制太陽系探査プロジェクト「ニューフロンティア・プログラム」の6億5000万ドル（約700億円）を上限とする探査計画の部門に応募するつもりである。今回の提案の受付は今年の12月に始まり、選定は2010年に行われ、打ち上げ日は2015年以降になる。

2005年に行われた前回のニューフロンティア・プログラムの公募では、「ムーンライズ計画」と名づけられた南極－エイトケン盆地サンプルリターン計画が最終選考まで残ったものの、惜しくも「ジュノー計画」に敗れた。ジュノー計画は、木星に探査機を送り込んで周回軌道に乗せ、さまざまな観測を行うというものであり、2011年の打ち上げをめざしている。ムーンライズ計画の副研究責任者だったJolliffは、その敗因を、「多くの段階と構成要素を必要とするサンプルリターン計画は、単純なジュノー

計画よりもリスクが高いと見なされたのです」と説明する。

当時のムーンライズ計画は、2機の着陸機を別々の場所に送り込むことを提案していた。1機は南極－エイトケン盆地の縁の近くに着陸させ、もう1機は衝突溶融物が集まりやすい盆地の中心部に着陸させる。Jolliffは今、盆地の中心部に1機だけ着陸機を送り込むという選択肢も考えている。人類を再び月に送り込むというNASAの計画が実現するなら、2020年までに宇宙飛行士たちが南極－エイトケン盆地の中にあるシャクルトンクレーターで月面基地の建設に取りかかっているはずであり、そうなれば、盆地の縁の近くに行くことになるからだ。ムーンライズ着陸船は、盆地の中心部の石と土を1キログラム程度集めて地球に戻ってくるだけでよいとJolliffは説明する。

新しいムーンライズ計画によってもたらされるサンプルを使えば、月科学者たちは多くの衝突溶融物結晶の年代を決めることができるだろう。最も古く、最も頻繁に見られた年代が、南極－エ

イトケン盆地を作った天体衝突が起きた時期ということになる。しかし、ほかの年代を示唆する衝突溶融物のせいで、この推論に曖昧さが残ることは間違いない。南極－イトケン盆地の中には、大きな盆地がほかに5個以上あるからだ。そして論争は続くだろう。「広大な土地の一点に着陸してひとすくいの土を拾うだけでは、求めている答えは得られません」とNormanは話す。

Normanは、宇宙探査計画をバランスのよいものにするためには、ロボット探査と有人探査の両方が必要であるとして、両方の計画を支持している。「サンプルリターン計画に関する私の見解は、ヒト対ロボットというような単純な図式ではなく、もう少し複雑です。地質学的な問題に挑戦するなら、どちらの方法でもそれなりの仕事はできるでしょう。挑戦しないなら、どちらの方法でも仕事にはなりません」と彼は話す。しかし、ほかの研究者たちは、月の裏側に

ある大きな盆地の謎は、人間がそこへ行き、天体衝突が作った窪みの中から石を拾って帰るまでは解決しないだろうと主張している。

米政府説明責任局（GAO）によると、人類を再び月に送り込むためのプロジェクトには20年間で少なくとも2300億ドル（約25兆円）の予算が必要になると見積もられている。これに対して、ニューフロンティア・プロジェクトは6億5000万ドルを上限としている。一方、Korotevは、542ドル（約6万円）プラス送料と保険料の12ドル（約1300円）で購入した半グラムの月の破片についてその年代を調べるだけで、謎の一部を解くことができると考えている。彼は今年中に、南極－イトケン盆地の貴重な破片の一部をCohenに提供する予定である。Cohenはハンツビルで、先端がダイヤモンドでできたドリルをドファール961に打ち込み、人間の髪の毛ほどの細さのコアを数本抜

き出そうと計画している。

Cohenは、その試料をレーザーで蒸発させ、石の結晶格子の中に数十億年間閉じ込められていたアルゴンガスを測定するつもりである。このアルゴン原子の数を数えれば、月が激しい爆撃にさらされていた大変動期の年代を特定できるかもしれない。この試みが成功すれば、月科学者たちが幾星霜も探し求めてきた答えが明らかになる。それは、月からの小さな使者がもってきた、大きなメッセージである。 ■

Eric HandはNatureのワシントンDC支社で物理学を担当している。

1. Wilhelms, D. E. & Squyres, S. W. *Nature* **309**, 138-140 (1989).
2. Kring, D. & Cohen, B. *J. Geophys. Res.* **107**, 41-46 (2002).
3. Zahnle, K. & Sleep, N. H. in *Comets and the Origin of Life* (eds Thomas, P., Chyba, C. & McKay, C., eds) 175-208 (Springer, 1997).
4. Gomes, R. et al. *Nature* **435**, 466-469 (2005).
5. Norman, M. D., Duncan, R. A. & Huard J. J. *Geochim. Cosmochim. Acta* **70**, 6032-6049 (2006).
6. Cohen, B. A., Swindle, T. D. & Kring, D. A. et al. *Science* **290**, 1754-1756 (2000).

SNAPSHOT

New window on the gamma-ray Universe

ガンマ線で見た宇宙

Nature Vol.454 (1038) / 28 August 2008

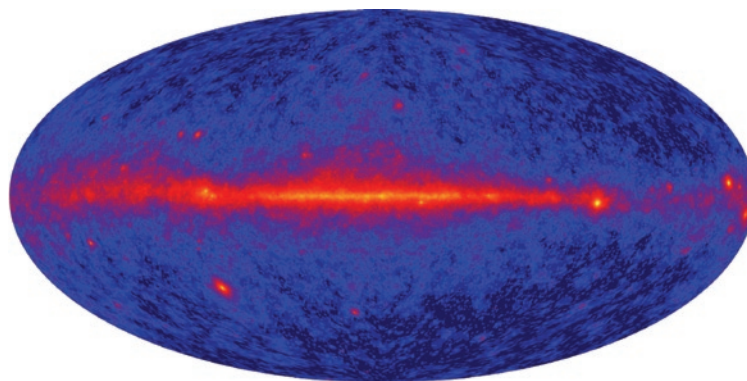
6月11日に、NASAのガンマ線広域天文衛星（GLAST）が打ち上げられた。その2週間後、主望遠鏡が稼動し始めた途端に、ブレーザー3C454.3から強烈なガンマ線が噴きつけてきた。この衛星の初期観測の成果としてこのほど発表された、全天ガンマ線宇宙図（右）の左下に写っているのが、それである。NASAのゴダード宇宙飛行センター（米国メリーランド州グリーンベルト）の

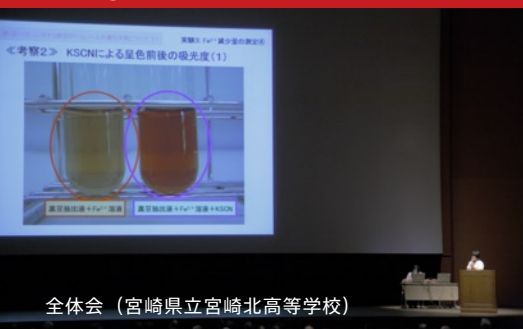
プロジェクトサイエンティストであるSteven Ritzは、「こうした天体が、我々を待ち構えているのです」という。

ブレーザーは、細い粒子ジェットを噴出している超大質量ブラックホールである。宇宙には、強いガンマ線を放射する天文現象が、このほかにもいろいろある。GLASTは、3時間ごとに全天を走査して、こうしたガンマ線現象を観測する。宇宙図の右端には、銀河面の上下にゲミングパルサー

と、かにパルサーも見えている。今回の宇宙図は、95時間分の観測データに基づいて作成された。NASAのかつてのコンプトンガンマ線観測衛星でこれだけの量のデータを集めようとしたら、1年はかかっただろう。NASAは宇宙図と同時に、GLASTの名称をフェルミガンマ線天文衛星に改称することも発表した。 ■

Eric Hand





全体会（宮崎県立宮崎北高等学校）



表彰（名古屋市立向陽高等学校）



質疑応答

理科好き高校生たちの熱い夏 PART2

—— 5 回目を迎えた、スーパーサイエンスハイスクール生徒研究発表会より

西村 尚子(サイエンスライター)

北京オリンピックの開幕直後、神奈川県横浜市の国際会議場では、昨年に引き続き、理科好きの高校生たちによるスーパーサイエンスハイスクールの生徒研究発表会が行われた。今年の参加校は過去最高の 94 校にのぼり、このうち 31 校が口頭発表を行った。研究メンバーによる熱心なプレゼンテーションのようすをお伝えしよう。

「スーパーサイエンスハイスクール (SSH)」は、子どもたちの理科離れに歯止めをかけ、科学技術立国と称される日本の未来を担う人材を育てようと、文部科学省が平成 14 年度から始めた取り組みだ。1 校あたりの SSH 指定期間は 5 年間（平成 16 年度指定校までは 3 年間）で、希望する高校が独自の研究テーマやカリキュラムを作成して申し込み、文部科学省が選定する仕組みになっている。平成 20 年度の指定校は 5 校で、現在、平成 17 年度以降の合計 94 校あまりが研究に取り組んでいる。

SSH 事業 6 年目を迎えた今年は、8 月 7 日と 8 日に生徒研究発表会が開催され、1 日目に物理、数学、生物、地学、化学などの分野ごとに分けた分科会が開かれた。分科会では、参加校 31 校が用意したパソコン画面などを使って口頭発表を行い、その後、玉川大学学術研究所の山極隆教授や JST 科学技術理解増進部のスタッフなどからなる評価者たちが、6 分野から 1 校ずつ、代表校を選抜した。1 日目の夕方と 2 日目の午前中にはブースごとのポスターセッションも行われ、94 校の生徒たちが熱心な呼び込みをするとともに、自らの研究と成果について発表した。

2 日目の午前中は、選抜された 6 分野の代表校が全体会の中で再び口頭発表を行い、午後には賞の発表と授与が行われた。文部科学大臣奨励賞を手にしたのは、「加速度の視覚認識装置の開発と研究（数学・物理分野）」を行った佐野日本大学高等学校で、そのほかの 5 校にはいずれも独立行政法人科学技術振興機構理事長賞が贈られた。また、徳島県立城南高等学校をはじめ 7 校に、ポスターセッション賞が贈られた（右表を参照）。

全体会における発表では、高校生とは思えないレベルの高い質疑応答が、予定時間ギリギリまで繰り広げられた。授与式の後、評価者の代表として山極教授は「さまざまなタイプの SSH があってよい。各校の研究は、最先端である必要はなく、条件統一や前提知識の理解といった研究の基本技法を身につけているか、その結果として研究が深まっているかが重要だ。SSH の活動が大学での研究や国際大会、海外との共同研究などに結びついていくことを期待したい」との講評を述べた。生徒発表会は盛会のうちに幕を閉じ、高校生たちは今後の研究のさらなる発展を誓って会場を後にした。

平成 20 年度スーパーサイエンスハイスクール生徒研究発表会表彰結果

文部科学大臣奨励賞

佐野日本大学高等学校（栃木県）
「加速度の視覚認識装置の開発と研究」

独立行政法人科学技術振興機構理事長賞

茨城県立水戸第二高等学校
「銅金属葉のフラクタル成長とボロノイ分割」
長野県屋代高等学校
「玄能石 ～上田の不思議な石～」
宮崎県立宮崎北高等学校
「鉄 (III) イオンに対する黒豆ポリフェノールの還元作用について」
名古屋市立向陽高等学校
「花粉管伸長のしくみ」
ノートルダム清心学園清心女子高等学校（岡山県）
「サンショウウオの人工繁殖」

ポスターセッション賞

武庫川女子大学附属中学校・高等学校
「色素増感型太陽電池に有効な植物色素の研究」
徳島県立城南高等学校 「ヘロンの噴水」
埼玉県立浦和第一女子高等学校
「ショウジョウバエの幼虫は餌によって唾液分泌量を調節する」
広島大学附属高等学校 「粉流体の研究」
大阪府立大手前高等学校
「四次元図形を見る」
奈良女子大学附属中等教育学校
「新しいインターフェースの開発」
長崎県立長崎西高等学校
「アルファルファタコゾウムシの研究！」

見えない加速度を可視化する

— 加速度の視覚認識装置の開発と研究

佐野日本大学高等学校

地球の重力は 9.8m/s^2 の加速度をもたらす。ということは、同じ高さから「同じ形と重さをもつ物体」を落とせば、地球上のどこで実験しても、物体は同じように落下していくことになる（風などの効果を無視する）。説明されればその通りだと納得するが、「加速度を目で見たことがあるか」と問われれば、見たことのある人はいないだろう。

佐野日本大学高等学校 3 年の田島大輔さんと平井良輔さんは、等加速度運動を再現するための装置を自分たちで作出し、実際に目にする機会のない加速度を視覚化しようと試みた。

マイコン、LED、アルミ材の自前装置

物理学辞典には、「運動の速度が時刻とともに変化するとき、単位時間あたりの速度変化を加速度という」とある。地球の表面では、どのような物体でも地球の中心に向かう力（重力）を受けており、その大きさは物体の質量にほぼ比例する。重力加速度は、このときの比例定数に相当し、およそ 9.8m/s^2 である。この値はさまざまな加速度を表す単位にもなることから、重力加速度と同じ加速度は 1.0G とも表記される。

日本では高校の物理で加速度運動について学習する。「私は授業で、シミュレーションソフトによってディスプレイ上に再現された加速度運動を見たのですが、認識するのがむずかしく、あまり実感がわきませんでした」と田島さん。平

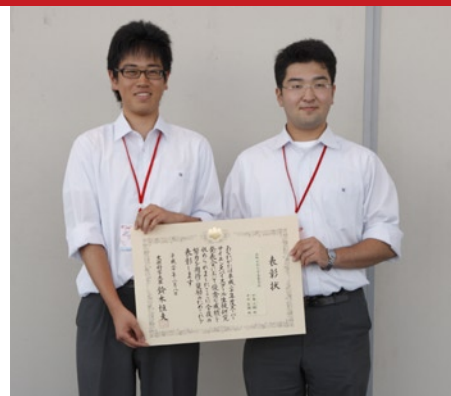
井さんと話し合っ、指定した値の「等加速度運動」を実際に再現し、加速度を目で見て認識できるような装置を開発することにした。

まず、装置の原理を考えた。そして、発光ダイオード（LED）を加速度点灯させることを思いついた。「一般に普及しているマイコンチップを利用し、定められた等加速度で LED を点灯できるような装置を考えました」と田島さん。マイコンは「H8/3048F（以下、H8）」という日本のメーカーのものを使うことにし、LED の性質や H8 のプログラムの書き込み方などを独学で学んだ。装置の骨格にはアルミ材を用いることにした。試行錯誤の末、L 字型のアルミ材に 50 個の LED を 4cm 間隔で取り付けけた「鉛直型の加速度認識装置」が完成した。

さらに田島さんらは、水平方向の長い距離での加速度運動を認識するために、水平ラインが 10m もある「水平型の加速度認識装置」をも完成させた。水平ラインは 2m のアルミ材を 5 本つないで作り、そこに 50 個の LED を 20cm 間隔で取り付けけた。加速度を作り出すためのラインには、鉛直型装置と同じ L 字型のアルミ材を用いた。こうして、ヒトが視覚認識できる範囲の加速度運動のほとんどを再現できる装置が完成した。

加速度が目で見えた！

いよいよ実験の時がきた。まず、 9.8m/s^2 の等加速度運動を再現し、室内を暗くして 10m 以上離れたところから観察した。予想どおり、LED の点滅がはっきりと認識でき、次の LED が点滅するまでの時間がどんどん早くなっていくようすがよくわかった。続いて以前から観察してみたかったという 1.0m/s^2 の等加速度運動を再現してみた。「観察した 10m の間では、かなりゆっくりした加速度運動に見えました。加えて、人が走り出すときの加速度運動が 4m/s^2 よりも大きいこともわかりま



平井さん（左）と田島さん。

した」と田島さん。さらに 2 人は、月面と同じ 6 分の 1G での物体の落下運動を再現し、1G のようすと比較することで、月面での運動を体感することにも成功した。一連の実験のようすは撮影されており、口頭発表時に映像として紹介され、会場からは感嘆の声が上がった。

こうして紹介すると、研究は極めて順調に進んだような印象だが、実際には操作ミスによって H8 を何個も壊し、うまくプログラムを書き込めるようになるまでに半年を要したという。「その後も、動作確認のための実験と改良の繰り返しでした」。2 人はそう声をそろえる。

受賞を糧にさらなる努力を

本研究には、名誉ある文部科学大臣奨励賞が授与された。「まさか自分たちが受賞するとは思わなかった」と謙遜する 2 人だが、指導にあたった渡辺隆治教諭は「2 人の見えない努力が実を結んだのだと思います。限られた時間しかない中、積極的に課題に取り組み、失敗してもめげないで原因を解決しようする姿勢に感心しました」と評価する。

今回開発した装置は、物理の授業の教材として利用できるほか、自動車を運転するときの安全性の検証実験などにも応用できそうだという。2 人は、「LED の間隔を狭くすることでより精密に動きを再現できるようにし、人がもつ物体認識能力を詳しく解析してみたい」と話している。

将来の夢を聞いたところ、田島さんは工学系のエンジニアに、平井さんは未来の技術発展に貢献できるような人物になりたいのだそうだ。どのような道に進んでも、今回の研究を糧に探求を続ければ、おのずと道が開けるだろう。



水平型の加速度認識装置。長さ 10m の装置に、20cm 間隔で LED が取り付けられている。

繁殖経験を生かした遺伝子実験や保護活動

— サンショウウオの人工繁殖

ノートルダム清心学園清心女子高等学校

サンショウウオというと、国の特別天然記念物にもなっている「オオサンショウウオ」の黒いユーモラスな体軀を思い起こす人も多いだろう。日常ではほとんど目にする事のないサンショウウオだが、北半球の温帯を中心に、世界で約280種も知られる両生類である。日本では現在19種が確認されているが、産卵のために必要な水辺が減るなどの理由で、生息数が急速に減っている。

ノートルダム清心学園清心女子高等学校では、1989年に地元（岡山県）の野外で採取したカスミサンショウウオの卵を孵化させた後、飼育下での産卵に成功して以来、いろいろな有尾類を飼育し、授業の一環としてさまざまな研究を続けてきた。その成果は日本生物教育

会や日本爬虫両棲類学会、日本動物学会などに報告され、いずれもすぐれた調査研究として評価を受けている。

生命科学コース・生物部発生物学研究グループの3年に在籍する前田祐伽さん、同2年の山下理沙さんらは、先輩によるこれまでの飼育や繁殖の技術を受け継いで、絶滅が心配されているオオイタサンショウウオの人工繁殖法を確立しようと試みた。オオイタサンショウウオは、大分県を中心に九州と中国地方の一部にのみ生息する固有種である。水辺で孵化し、変態後は森林で生活するが、宅地開発や圃場整備などによって生活空間がせばめられていることから数が減り、現在は「絶滅危惧種（環境省、2000年レッドデータブック）」に指定されている。

前田さんらは、産卵期である1～3月に排卵誘発剤を用いて卵と精子を採取したうえで人工受精の実験を行い、幼生期の3～6月には「個体数の密度と共食いとの関係」などを調べた。さらに、オオイタサンショウウオの性決定に関与する遺伝子を突き止める研究にも挑戦した。人工受精について「2007年には最高で20%だった正常発生率を、



前田さん（左）と山下さん。

2008年には80%にまで高めることができました」と前田さん。ある程度以上の個体密度で育てると、共食いをして足のない個体が続出することや、ショウジョウバエや線虫で性決定に関与する *Dmrt1* という遺伝子がオオイタサンショウウオにも存在することを明らかにした。

分子生物学を用いた研究は、川崎医科大学の西松伸一郎先生らの協力のもとで進められており、担当の秋川繁治教諭は「理科教員だけで抱えるのではなく、専門的にサポートしていただける体制が必要」と話す。今後は *Dmrt1* 遺伝子を手がかりにさらに詳しい性決定のシステムの解析を進め、性成熟前に個体の雌雄を判別できるかどうか、サンショウウオの性決定が環境に影響を受けているのかといったことを明らかにしていく予定だという。前田さんと山下さんは、ともに大学理学部への進学を希望しており、将来の日本を担う女性科学者としての活躍が期待される。



飼育4年目のオオイタサンショウウオ。

頁岩から掘り起こして、特性を調べる

— 玄能石～上田の不思議な石～

長野県屋代高等学校

SSHでは、その地域に固有の動植物を対象に研究を行っている例が多くみられるが、屋代高等学校の理数科に所属する宮崎淳さん、宮島諒一さん、山口隆さん、山口裕己さんのグループは、長野県で特徴的な岩石を対象にしようと考え、上田市から産出することで有名な「玄能石」という岩石の調査研究を行った。

玄能石は、第三紀（約6500万年前～約200万年前まで）の地層から出る石で、不純な方解石（炭酸カルシウム）を主成分とする。「玄能」とはカナヅチのことで、その名のとおり、この鉱物の単結晶は、細長く末端がややとがった形をしている。そのほかに、星のような形、コンペイトウのような形のもの



左から山口裕己さん、宮島さん、宮崎さん、山口隆さん

も知られており、長野県以外では福島、新潟、秋田、北海道など、海外ではロシアやカナダなどでも産出する。

宮崎さんはまず、上田市越戸に位置する浦野川の河床（露頭）で調査を行い、約 50 個の玄能石を採集するとともに、その分布図を作成した。「玄能石は本のページのようにはがれやすい頁岩の中に埋まっており、矢じりのような特徴的な形をしているので、見分けることはむずかしくありませんでしたが、小雨の寒い中、川に足を取られることがしばしばあり、4 人中 3 人が風邪をひきました」と宮崎さん。続いて、採集した石のサイズや密度をはかり、

断面の顕微鏡観察や、岩石プレパレート（薄切片）の偏光顕微鏡観察などを行った。さらに、炎色反応などを指標にして、成分に炭酸カルシウムや鉄イオンなどが含まれることを確かめ、同様のことを信州大学に依頼して得られた分析値でも確認した。

そして、上田市越戸の玄能石が頁岩の層離面に対して平行にはまっていること、周囲の頁岩の層離面が玄能石に沿って湾曲している事実などから、泥がまだ軟らかく、かつ還元状態にある環境中で炭酸カルシウムが晶出し、それが多結晶固体となることで玄能石を作り上げた結論づけた。「主成分が炭

酸カルシウムなので、今後は、二酸化炭素の固定化という観点からも考察してみたい」と話す 4 人。研究を続け、地味な印象に陥りがちな地学分野を盛り立てていってほしい。



頁岩に埋まった玄能石。

銅結晶の成長を数学的に解析

—— 銅金属葉のフラクタル成長とボロノイ分割

茨城県立水戸第二高等学校

雪の結晶は、花のように見える。その花弁は、桔梗のようなもの、木の枝のようなものなどさまざまだが、結晶してみると、いずれも六角形を基本とする美しい幾何学模様である。実は、銀や銅、亜鉛などの金属も、ある条件のもとで美しい結晶を作り出す。その形は、木がたくさんの枝葉を伸ばしたように見えることから「金属樹」あるいは「金属葉」とよばれている。

茨城県立水戸第二高等学校 3 年の鈴木絵里香さん、小室里花さんらのグルー

プは、化学の教科書で紹介されていた金属葉が、枝分かれを繰り返しながら成長していくように興味をもち、自らの手で結晶を作って、その形を数学的な手法を用いて解析した。

金属葉は、イオン化傾向の大きい金属を、それよりもイオン化傾向の小さい金属イオンを含む水溶液に浸したときに、イオン化傾向の小さい方の金属が還元されて析出したものである。鈴木さんらは、塩化銅（あるいは硫酸銅）の電解液に寒天を加えた培地を作り、そこに鉄の金属片を乗せ、ラップで空気を遮断したうえで、25℃、湿度 90% の環境に保ち、銅の金属葉を成長させた。その後、中央大学理工学部の松下貢教授らの協力の下、自然界のさまざまな形の次元が求められるとされるボックスカウント法により計算し、金属葉のパターンがフラクタル様であることを明らかにした。

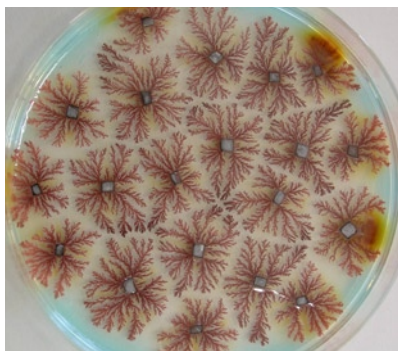
一方で、ゲル上に 20 個の金属片を置いて、金属葉を複数成長させる実験も行った。「各金属片は周囲の Cu^{2+} をかき集めながら銅の枝を成長させるの



鈴木さん（左）と小室さん。

で、結晶と結晶の間にはすき間ができました。よく調べたところ、このすき間は、隣り合う金属片どうしを結ぶ垂直二等分線になっていることがわかりました」と鈴木さん。このような分割は「ボロノイ分割パターン」とよばれ、携帯電話の基地局の設置場所を決めるのに使われたりしているという。さらに鈴木さんらは、ゲル上に「点状の小さな金属片」と「長い棒状の金属片」を少し離して置くと、ボロノイ境界が放物線になることも明らかにした。

「化学をさまざまな角度でとらえることで、数学と結びつけることができました。将来は社会に貢献できる女性になりたい」。そう声をそろえる鈴木さんら。地味な実験や観察をねばり強く続けた今回の経験が、必ずや生かされるだろう。



20 個の銅金属樹。すき間を調べると、ボロノイ境界を示すことがわかった。

見えてきた、科学政策としての成果と課題

冒頭でも述べたとおり、平成 14 年度から始まった SSH 事業は、早くも 6 年目を迎えた。各指定校には、初年度に 1600 万円、2～3 年目に 1200 万円、4～5 年目に 800 万円が支給され、平成 20 年度の総予算額は約 14 億 8000 万円にのぼっている。一般の研究者にとって最もポピュラーな競争的資金である科学研究費補助金（科研費）を考えた場合、平成 19 年度には公募採択された約 2 万 4000 件を対象に総額 682 億円が交付されており、1 件あたりの平均交付額は約 284 万円であった。ある意味では、プロの科学者よりも潤沢な研究資金が、「科学者の卵たち」に投じられていることになる。

文部科学省が用意した大学への橋渡し

果たして、予算に見合うだけの成果は得られているのだろうか。あるいは、成果が得られる目処がついているのか。文部科学省科学技術・学術政策局基盤政策課の福島崇専門官は「SSH 指定校数は年々増加し、科学技術、理科、数学に対する興味・感心の向上がみられ、自分から取り組む姿勢や真実を探って

明らかにしたいという気持ちについても向上している」と分析する。なるほど、SSH 発表会に参加した高校生たちは、いずれも独創性の高い研究を進め、結果をユニークな視点で解析し、質の高いプレゼンテーションを行っていた。なかには、将来の日本の科学者を彷彿とさせる姿も見受けられた。

ただし、科学者育成への本格的な一歩となるのは大学教育である。つまり、SSH 事業は大学教育に橋渡しされなければ、中途半端に終わってしまう可能性が高い。文部科学省は、平成 19 年度より、新たに「理数学生応援プロジェクト」を発足させ、東京理科大学など全国の 5 大学に「入試等選抜方法の開発・実践」「教育プログラムの開発・実践」「意欲・能力を伸ばすための工夫した取り組み」の各事業を委託し始めた。例えば、東京理科大学は「スーパーサイエンティスト育成プログラム」を発足。対象学生（SSH の卒業生以外も可能）は、2 年次から実験や実習に参加し、先端研究機関の見学、他学科との共同研究等を進めるとともに、4 年次で大学院共通教育科目の受講が許される

という。また、同じく同プロジェクトを委託された愛媛大学は、平成 17 年度から「スーパーサイエンス特別コース」を設置し（AO 入試に合格することが必須）、環境科学、地球惑星科学、生命科学工学の 3 領域において、チューターによる個別指導、理数分野に特化した英語教育、国内外の研究施設訪問などを進めている。

一般大学も、独自の待遇を検討

一方、このプログラムに参加しない大多数の大学の理系学部にとっては、入試や授業カリキュラム等に SSH 事業の成果を生かすのか否か、生かすとしたらどのような内容にするのか、といったことが、自分たちにすべて任せられた状況にある。それでも、北海道大学、東北大学、東京大学、千葉大学、大阪大学、京都大学、鹿児島大学などが、独自の教育プロジェクトを立ち上げ、理科好き高校生（SSH 参加者に限らない）のための特別な待遇を整え始めている。

今日の SSH 生徒研究発表会の会場の一角には、こうした大学の取り組みを紹介するコーナーが設けられ、高校生たちが自由に資料を手にしたたり、質問したりできるようになっていた。大学ごとのパンフレットでは、特別入試のしくみや

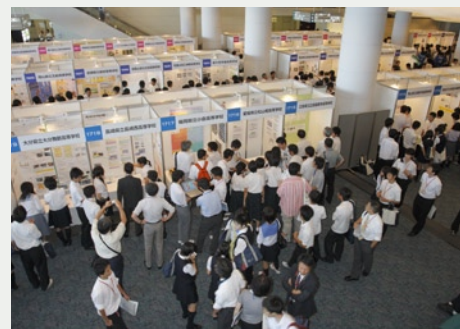
文化祭の模擬店さながらの「ポスターセッション」

口頭発表とは別に、学校ごとに設けられたブースにて成果発表を行うポスターセッションも行われた。94 校の参加校は、自分たちに与えられた幅 1m、高さ 2m ほどの小さなブースで、ポスターやパソコン映像、実物展示などを巧みに使い、熱いプレゼンテーションを繰り広げた。自由に傍聴者を募るスタイルなので、客集めも真剣である。他校の生徒や教諭、文部科学省や JST の関係者、取材陣などに声をかけ、自分たちのブースへと勧誘していた。

筆者は興味の赴くままにブースを回った。全体としては、その地方ならではの素材や生き物を用いた研究や、日頃感じる身近で素朴な疑問を掘り下げた研究、機器や装置を自作する研究などが多い印象を受けた。いずれの研究もすばらしいものだったが、埼玉県立川越高等学校の「RESEARCH on the スペクトル ― 自作分光器による天体の分光観測」や岡山県立倉敷天城高等学校の「身近な植物に生息するセルロース分解菌のスクリーニン

グ」などが印象に残った。前者は、地球のはるかかなたに存在する天体までの距離を自作の分光器で測定したいという高校生らしい動機に好感がもてた。後者は、穀物を用いたバイオエタノールに代わって注目されているセルロース由来のバイオエタノール研究に直結しうるので、この先の研究に期待したいと感じた。

ポスターセッションもまた、評価委員によって採点された。その結果を受け、全体会において、徳島県立城南高等学校



（ヘロンの噴水）など、すぐれた研究発表を行った計 7 校に「ポスターセッション賞」が授与された。受賞校の生徒たちには、口頭発表の受賞生徒とともに暖かい拍手が贈られた。

募集研究領域、入学後のカリキュラム等が、写真や図を使って説明されており、「高いレベルの教育」「将来を担う科学者に」「少人数性教育」といったフレーズが並んでいた。いずれも、大学側の熱意は理解できるものだったが、「どういう領域の研究が強いのか」「他の大学と何が違うのか」「参加すると、誰から、どのような指導を受けることができるのか」、といった具体的な情報がやや不足しているようにも思えた。

SSHを核に「理科好き」の輪を

昨年行われた、経済協力開発機構（OECD）による15歳を対象にした学習到達度調査（PISA）において、日本は順位を大きく後退させた。世界57か国・地域のなかで、「科学的活用」が2位から6位、「数学的リテラシー」が6位から10位などとなったのである。公立の学校をはじめとする教育の現場で

も、歯止めのかからない学力低下を憂慮する声が大きくなっている。

こうした状況を受け、文部科学省は、学習指導要領の改訂、全国学力・学習調査の実施などによって、学力の底上げをねらっている。が、画一的な押しつけ教育はすでに限界にきている。現代に限らず、子どもは興味をもてなければ、がんばれない。逆に、自らの知的好奇心が満たされれば、それが指導要領の域を出たむずかしい内容であっても食いついていく。こうした力は、選ばれた生徒だけでなく、誰もが持ち合わせているものだろう。

だからこそ、SSHに参加するような「理科好き高校生たち」は、貴重な存在だといえるのではないかな。筆者は、SSHの生徒や卒業生たちに、特別枠のなかで英才教育する場を与えるだけでなく、一般の中学や高校で自らの研究について発表したり、交流するなどの活動

をさせていってほしいと思う。理科好きのリーダーとして、早い段階から大学や研究機関ともつながり、一般の中等教育機関とも広くつながることで、高額の予算を投じたSSH事業の波及効果を最大限に高めてほしいと願うからだ。

1年にわたって連載してきた本シリーズ（High School Scientists）は、今月号で終了となる。理科好き高校生たちとの短い交流は、筆者が20年以上前に抱いていた「分子生物学へのあこがれ」を思い出させてくれるものとなり、執筆活動にも新たな風を吹き込んでくれた。楽観的だと思われるかもしれないが、取材を経るなかで、今は、トップダウンではない「子どもの目線」で理科好きの仲間を増やすことができれば、現状を打開する糸口が見つかるのではないかという気がしている。今後の展開を、暖かい目で見守っていきたい。 ■

Poisoned waters traced to source

環境科学

水質汚染の原因が突き止められた

Charles F. Harvey

南アジアの井戸水は広範囲にわたってヒ素で汚染されているが、ヒ素の源については特定されていなかった。このほど、メコン川流域での調査で、汚染は池の堆積物から始まり、地下水の流れによって井戸に達することがわかった。

Nature Vol.454 (415-416) / 24 July 2008

バングラデシュと西ベンガルのガンジスデルタに住む数百万人の人々は、ヒ素で汚染された地下水を飲んでいる。さらにカンボジアとベトナムのメコン川およびホン川（紅河）、そしておそらくは、ミャンマーのイラワジ川の流域でも、多くの人々がヒ素で汚染された井戸水を飲んでいると思われる。ヒ素は天然の堆積物から地下水に溶け込んで

おり、堆積帯水層内での位置はわかりにくい。汚染のひどい水が出る井戸が、安全な井戸から10メートルしか離れていないこともあるのだ。今回、Polizzottoらは、*Nature* 2008年7月24日号の505ページで、汚染源からヒ素を追跡する初めての研究を発表している¹。その論文では、メコン川に近いある場所のヒ素汚染地下水が、池に

著作権等の理由により画像を掲載することができません。

ヒ素に注意。この井戸（バングラデシュ、Jhikargachha）の上に塗られた赤い塗料は、水質汚染を警告している。しかし、ほかに水が得られる場所がないことも多い。

由来することが明らかにされた。その水は、帯水層を通して水平方向に流れ、土壌を浸透する地下水の下で、下流の井戸を汚染させている。

ヒ素を含む水を汚染源までさかのぼる方法を理解するには、帯水層を流れる地下水による溶質輸送の物理学を考慮する必要がある。自然なままの原形を保っている典型的な帯水層を通る地下水の流路は概して水平になっており（図1参照）、連続的に深い層ほど遠くの水源に端を発している²。こうした流路間で水が混じり合うことはほとんどないため³、帯水層内では溶質濃度も層状となり、それぞれの深い層には、遠く離れた水源に由来する水流についての生物地球化学的な情報が記録されている。

この物理プロセスを考慮することにより、Polizzottoら¹は2つの重要なことを認識するに至った。1つは、地下水の流れが基本的にメコン川と直交する地点を選択すれば、その流れに沿って並ぶさまざまな深さの井戸を含む一断面で、地下のシステムのさまざまな層に由来する水が採取され、その地点の完全な三次元的システムがマッピングできるということである。もう1つは、さまざまな深さの地下水の化学組成が、それぞれの水の由来を反映しているということである。こうした認識に

より、溶質が帯水層の堆積物と時間をかけて反応しながら変化するゆるやかなプロセスによってのみ地下水の組成が決まるという、ありがちな誤った考えをもたずにすんだ。一般に深い地下水ほど古いのは事実だが、低深度の地下水がまっすぐ下に向かって流れるわけではない。測定現場のさまざまな深さと地点で採取した試料のヒ素含量を分析することにより、Polizzottoらは最終的に、その地域のヒ素汚染が近くの池の堆積物に由来していると結論づけた。では、この汚染源はどう説明したらよいのだろうか。

このヒ素はもともと、ヒマラヤの堆積物が浸食されて低地に流出したものであり、一般に嫌気条件で溶解して地下水に流入すると考えられている。したがって、汚染度の高い地下水が池の堆積物から出てくるという事実は何ら不思議なことではない。熱帯の池の底では、拡散や下向きの流れによって堆積物に到達する酸素が、有機物の絶え間ない沈降と分解のためにすべて利用されてしまうのである。

池の堆積物を透過する水が有機炭素を含む場合もあり、その分解が深い帯水層堆積物からのヒ素の遊離を助長して汚染に拍車をかけている可能性もある。しかし、既に高深度帯水層堆積物に含まれている有機炭素はそれ以上補給されず、残存し

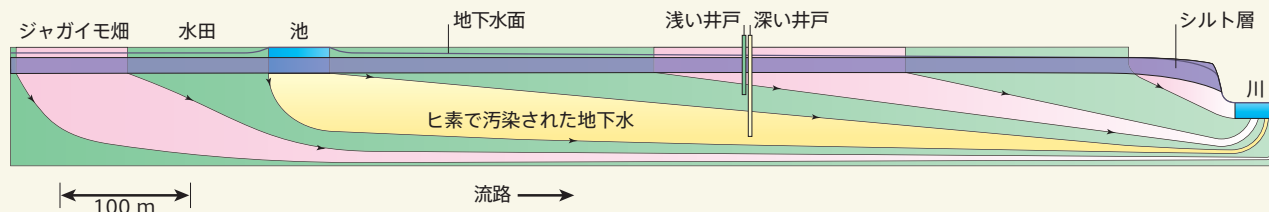


図1：南アジアの帯水層のヒ素汚染。Polizzottoら¹は、メコンデルタのある場所の地下水のヒ素汚染が、帯水層の水源となっている池までさかのぼることを示した。この図は、Polizzottoらの研究に基づくシステムの断面を流れる地下水を表している。さまざまな水源（ジャガイモ畑、水田、池）に由来する地下水が、川に向かう層の中を流れている。池よりも「下流」の浅い井戸は、水田に源をもつ地下水に達している。一方、深い井戸では、池由来の汚染水が汲み上げられている。

ているものは一般に反応性が低いことから、生物地球化学的プロセスへの寄与は小さいと考えられる。Polizzottoらは炭素の年代測定を行い、観測現場の汚染水に溶解している無機炭素が新しいものであり、池の堆積物に由来すると考えればつじつまが合うとしている。

この研究結果は、南アジア全域のほかの帯水層にみられるヒ素汚染も同じプロセスによるものなのかという問題を提起している。そうだとすると、池やそのたぐいに由来する地下水の採取を避けるように井戸を掘るという対策も可能だ。この問題に答えるにはほかの場所での実地調査が必要だが、複数の観測により、ヒ素汚染に関して今回提唱されたメカニズム¹が、南アジアの別の場所でも作用しているという考えが支持されている。例えば、自然の池や人工的な池はこの地域に遍在しており、それらの池の堆積物は水を常にたっぷり含んでいるため、土壌と比べて無酸素的と考えられる。というのも、稲作地ですら、土壌は年に数回は空気にさらされているからである。

もう1つの手がかりは、地下水のヒ素濃度は高深度ほど高い場合が多いということだ。これは地表水の浸透を示していると考えられる。帯水層の上部からとった井戸水は、井戸が池に掘られることはないため、ヒ素汚染の原因となる無酸素的な堆積物ではなく周囲の土壌のみを透過した地表水なのだろう。一方、深い井戸は、池やそのたぐいが水源のためにヒ素で汚染されている可能性のある地下水に達しているのであろう。

ヒ素汚染にさらされている人が最も多いガンジス

デルタでは、地理的要因と時間的要因のために地下水の流れが極めて複雑で、問題をむずかしくしている。そのうえ、この問題は人間によってさらに複雑になっている。季節的なモンスーンサイクルで変化する三次元パターンをもつ地下水が、灌漑用に汲み上げられているのだ。さらに、あちこちで池が掘られ、灌漑用の揚水も爆発的に増えているため、地下の溶質濃度は数十年の単位で変化している⁴。

欧米では、地下水汚染地域の調査が地下水の流れの分析から着手されることが多い。しかし南アジアの研究では、帯水層の基岩物質からのヒ素移行に関する生物地球化学が注目されてきた。この違いには一理ある。なぜなら、南アジアの水に含まれるヒ素の汚染源は、欧米のような汚染物質の流出ではなく、天然の堆積物だからだ。しかし、Polizzottoらの研究¹は、堆積物に由来するヒ素の所在を地下水の流れが支配する場合があることを明確に示している。メコンデルタよりも複雑な場所で地下水の動きを把握するには、欧米の小規模な汚染地で通常行われるような、詳しい物理水文地質学的分析が必要と考えられる。コストはかかるが、何百万人もの人々に安全できれいな飲み水を届けるというメリットの対価としては、間違いなく安いものだろう。

Charles F. Harvey、マサチューセッツ工科大学（米）

1. Polizzotto, M. L., Kocar, B. D., Benner, S. G., Sampson, M. & Fendorf, S. *Nature* **454**, 505–508 (2008).
2. Freeze, R. A. & Cherry, J. A. *Groundwater* (Prentice Hall, 1979).
3. Gelhar, L. W. *Stochastic Subsurface Hydrology* (Prentice Hall, 1993).
4. Harvey, C. F. et al. *Chem. Geol.* **228**, 112–136 (2006).

Electronic eyeballs

光学

電子の目玉

染谷 隆夫

曲面上にシリコンオプトエレクトロニクス素子を製作する技術は、これまでにない特性を備えた撮像システムを可能にする。この革新的な技術には、さまざまな応用の道が考えられる。

Nature Vol.454 (703-704) / 7 August 2008

すべての動物は、球面からなる撮像素子を目としてもっている。これに対して、デジタルカメラやビデオカメラなどの人工視覚システムは、平面的な画像記録表面に頼らなければならない。これらの人工撮像素子に必要な半導体光検出器のネットワークは、シリコン微細加工技術を用いて作製されており、現時点では1000万以上の画素を使って画像を作ることができる。しかし、平面的な撮像素子を使って、明るく、ひずみのない画像を作るにはどうすればよいかという大きな問題は、いまだに解決されていない。ひずみはレンズの端で生じるため、うまく撮像するためには、異なるレンズを複数の方法で組み合わせなければならない。ところがその結果、レンズ構成は重く、高額になり、本来よりも暗い画像を作ってしまうことになる¹。

Nature 2008年8月7日号748ページでは、Rogersとその共同研究者であるKoら²が、動物の目からヒントを得て、従来の人工視覚システムに付きまとっていたこれらの本質的な限界をいかにして打ち破ったかを説明している。彼らの電子アイカメラ(図1)は、完全に機械的な圧縮-伸張性をもつように設計されたシリコンエレクトロニクス素子を基礎にしており、半球形の基板の上に形成することができる。

著者らの方法の概略は、その論文の図1(749

ページ)で説明されている。これを可能にしたのは、主として2つの技術的進歩だった。1つは、大きくひずんだ(典型的には50%以上)ときにも弾性的な圧縮性を示す半導体光検出器のネットワークをシリコンウエハー上に製作する技術である。このような圧縮性を実現するかぎとなったのは、光検出器どうしを連結している細い金属線だった。もう1つの革新は、最初に平面的な形に作った光検出器のネットワークを半球形に変形させる弾性材を使用したことである。これにより、撮像素子への実装が可能になる。この技術は、広角で、ひずみが少なく、コンパクトな、新しいタイプの撮像素子の到来を告げるものである。

近年の圧縮-伸張性エレクトロニクス素子の進歩³は、長期にわたって使用できる人工臓器、センサーつき人工皮膚⁴、壁紙などに埋め込んだアンビエント・ディスプレイ、化学機能や電子機能を備え、人間やものや環境と相互作用することができる「インテリジェント表面」など、多くの新しい応用を可能にすることが期待されている。むしろかしいのは、電子回路素子としての基本的要請を満たしながら、すぐれた機械的耐久性と高い電子的性能を実現することである。つまり、ほかの部品に合わせて変形することができる、伸張性のあるエレクトロニクス素子に用いられる材料および回

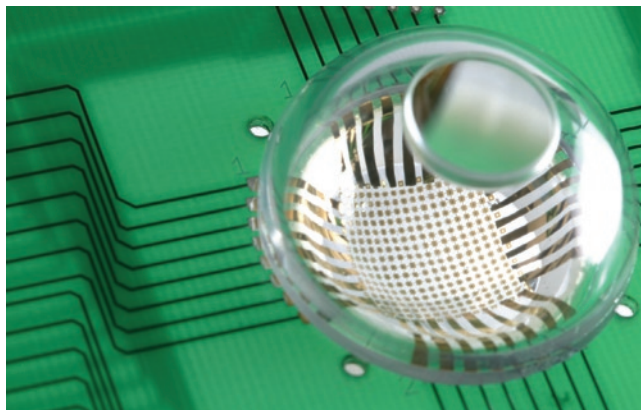


図1 電子アイカメラ。この素子は、Koら²が開発した凹型の光検出器システムを、1個の簡単なレンズを備えた小型カメラに実装したものである。通常は、頂点のレンズは別として、半球状の覆いは透明にはしない。カメラの直径は約2センチメートルである(写真はJ.A.Rogersの厚意による)。

路のアーキテクチャは、製造過程においても、部品として用いられるときにも、機械的完全性と電子的機能性が保持されるように設計されていなければならないのである。Rogersら⁵は近年、この目的のために、1次元および2次元の伸張可能ナリボンや回路を開発した。電子アイカメラに用いられた2次元の圧縮性部品は、この研究の自然な延長線にある。

この技術の可能性は、Koら²が実証してみせた半球形の構成をはるかに超えたところまで広がっている。例えばそれは、血液中の酸素やその他の成分の濃度を光学的に検出する健康管理装置の複雑な曲線からなる表面にオプトエレクトロニクス素子を組み込むのに用いられるだろう。光学デザインにおける新しい可能性を超コンパクトカメラシステムに応用すれば、光検出器の表面の幾何学的形状を慎重に最適化して、画像のひずみをさらに小さくすることができるだろう。さらに、こうしたカメラシステムの伸張性のある撮像素子を、自在に変形できる基板の表面に作製できるなら、ひずみがなく、適応性の高い焦点調節機構が実現するかもしれない。このように単純化されたシステムは、光学的透明性が大幅に向上しているはずであり、複数のレンズを使うことにより生じていた光学的損失を大幅に減らせる可能性がある。この長

所は、こうしたシステムの工業的応用を増やすだけでなく、基礎研究の分野においても、既存の材料では十分な光学的透明性を確保できなかった波長での研究を可能にするだろう。

我々は、凹型の光検出器システムのさらなる進歩を期待できるだけでなく、凸型の撮像素子の作製についても前進を期待できる。後者の技術は、極めてすぐれた動体視力をもつ昆虫の複眼に似た人工レンズや、360°の視野をもつ魚の目に似た人工レンズに利用できる。幾何学的に変形でき、伸張-圧縮性のあるエレクトロニクス素子やオプトエレクトロニクス素子が開発されれば、光学技術はさらに進歩し、生物にヒントを得た各種の素子を現実のものにしていくだろう。Rogersらは、電子アイカメラの開発を通じて、平面的なシリコンウエハーの制約から解放されたエレクトロニクスがどのように進歩しうるかを端的に示してくれたのである。

染谷隆夫、東京大学工学系研究科附属量子相エレクトロニクス研究センター

1. Born, M. & Wolf, E. *Principles of Optics* (Pergamon, 1959).
2. Ko, H. C. et al. *Nature* **454**, 748-753 (2008).
3. Lacour, S. P., Jones, J., Wagner, S., Li, T. & Suo, Z. *Proc. IEEE* **93**, 1459-1467 (2005).
4. Someya, T. et al. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **102**, 12321-12325 (2005).
5. Choi, W. M. et al. *Nano Lett.* **7**, 1655-1663 (2007).

世界最短波長 342nm の紫外半導体レーザーの 発振に成功！

吉田 治正

窒化アルミガリウムを使い、世界最短波長 342nm の紫外半導体レーザーの発振に、浜松ホトニクス株式会社中央研究所の吉田治正主任部員らの研究グループが世界で初めて成功した。半導体レーザーの核心部である発光層の材料にインジウムを含まない新しい結晶構造で、バイオ、環境、加工など幅広い分野で応用が期待される。成果は *Nature Photonics* 2008 年 9 月号¹ に掲載された。研究の経緯、将来展望について吉田主任部員に聞いた。

発光ダイオードよりも作製が困難な半導体レーザー

Nature Digest — 半導体レーザー (LD) の世界最短波長の更新ですね。

吉田 — これまでの半導体レーザーの最短波長は、国内の別の研究グループが 2004 年に達成した 350.9nm です²。ただ、同じ 2004 年、米国のグループが発光ダイオード (LED) と LD に関連する論文の中で、343nm の発振に成功したことを報告しています³。明確なデータが示されていない報告でしたが、我々の 342.3nm は、わずか 1nm 弱とはいえ、この記録をも更新したことになります (図 1)。しかし、重要なのは短波長の記録を更新したことだけではありません。LED では、すでに赤色 (波長 600nm 以上) から深紫外 (210nm) の広範囲のスペクトル領域をカバーしています。構造がシンプルな LED に比べ、LD はレーザー発振のための光を発光層に閉じ込めなくてはならないので、複雑な結晶層構造や深い量子井戸構造にするなど半導体結晶作製の条件が厳しく、

LD は青色 (450 ~ 488nm) から紫外 (340nm 程度) の領域に限られていました。けれども今回の成功で、さらに短い波長の可能性が高まったといえるのです。

ND — むずかしい短波長の領域の発振に挑み、克服したことになります。

吉田 — 短波長の LD の実現に欠かせないのは、バンドギャップの大きい半導体材料を使うことです。半導体結晶は、原子どうしがいちばん外側の電子を共有して結合しています。それは「価電子帯」とよばれ、通常、電子が充満しています。ところが、外部エネルギーによって励起されると、共有電子が自由に動ける「伝導帯」に移ります。価電子帯では電子が抜け、正の電荷 (正孔、ホール) ができます。価電子帯と伝導帯の間に、電子が存在できない禁止帯が存在し、価電子帯と伝導帯にはエネルギーの差が生まれます。これがバンドギャップです。ここに電流を流すと伝導帯の電子と価電子帯の正孔が再結合し、バンドギャップ相当の光が放出されます。これを集めて発振させたのが半導体レーザーです。価電子帯にはホール、伝導帯には電子が多くあったほうがいいわけですが、この状態を作り出すのが半導体の PN 接合です。ホールの多い P 型半導体、電子の多い N 型半導体を繋ぎ合わせますが、実際の LD では、発光層をバンドギャップの異なる P、N 型の半導体の層 (クラッド層) で挟みます。LD の光の波長は、バンドギャップに反比例する関係があります。短い波長の光を得るには、バンドギャップの大きい材料を使えばいいわけです。

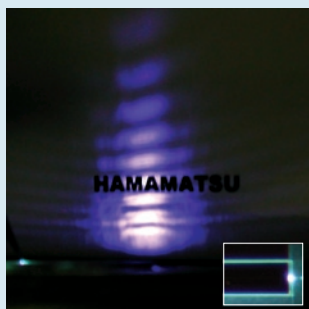
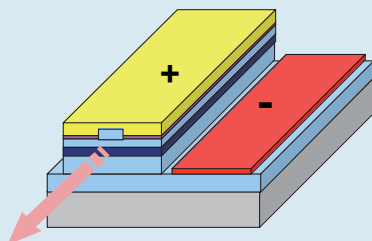


図 1 紫外レーザー光が紙のスクリーンに投影され、青紫色に見える。紙には紫外線に励起される色素があり、レーザー光に反応している。右下の囲みは、発光しているときの実際の半導体レーザー素子を上部から撮影した画像。右側の明るいところが紫外レーザー光。緑色に見えるのは、レーザー光に励起された別の部位が光ったと思われる。

図 2 紫外半導体レーザーの模式図。サファイア基板 (灰色) の上に独自の手法を駆使して、欠陥が少なくクラックのない結晶 (青色、Al 組成 30% の AlGaIn) を成長させていく。電流を流すことで、光は多重量子井戸構造の発光層 (濃い青色、井戸の Al 組成 4%、壁の Al 組成 14% の AlGaIn) に閉じ込められ、発振していく。ピンクの矢印がレーザー光を表す。黄色は P 電極で、赤が N 電極。



成功の秘訣は、インジウムを使わない独自の薄膜材料成長法

ND — そこで窒化アルミガリウム (AlGaIn) に目をつけたのですか？

吉田 — これまで、青色 LED や LD の材料として、窒化ガリウムインジウム (GaInN) など III 族の窒化物半導体である窒化インジウム (InN)、窒化ガリウム (GaN) の割合を調整したものが多用されてきました。InN、GaN のバンドギャップはそれぞれおよそ 0.7eV、3.4eV と小さく、理論的に得られる光の波長はそれぞれ 1770nm、365nm です。その点、同じ III 族の窒化アルミニウム (AlN) のバンドギャップは、6.2eV で理論上は 200nm の短い波長が可能になりま



吉田 治正（よしだ・はるまさ）／浜松ホトニクス株式会社中央研究所材料研究室主任部長。工学博士。1957年、愛知県生まれ。1980年、三重大学工学部電気工学科卒業。1982年、同大学大学院工学研究科修士課程修了。2003年、同大学大学院工学研究科博士後期課程修了。1982年、ブラザー工業株式会社入社。1985年、浜松ホトニクス株式会社入社、同社電子管事業部勤務。1991年、同システム事業部勤務を経て、2004年より現職。

電子線ホログラフィ研究、ロボットの研究開発、各種光検出器・計測装置の開発、設計製造、光計測装置の企画、営業から販売まで多岐にわたる技術分野と業務を経験。光と物質の相互作用、光の制御に興味があり、窒化物半導体の光応用への可能性について研究。趣味はいわゆるスポーツオタク。過去には自転車ロードレース、トライアスロン、リバーカヤックなどに傾注。今ではエンジン付きに移行してのマリンスポーツやバイクツーリングを楽しむ程度と、おとなしくなったという。

す。ならば最初からアルミニウムを使えばよいということになりますが、そこは簡単にいきません。バンドギャップの大きな材料は、絶縁体に近くなるため電気が流れにくく、また製造がむずかしいという大きな壁があるのです。1000℃以上の高温で結晶を積み上げていきますが、Al組成の異なる、すなわち結晶の格子間隔の異なる層を重ねていく過程で、クラックが入ったり、欠陥が生じたりしてきちんと機能するものができません。また結晶中に「転位」とよばれる欠陥が多くあると、電子がそこにつかまってしまい、発光が非常に弱くなってしまいます。ところが、Inを含むGaInNでは、欠陥があっても発光効率が低下しにくいという特長がありました。そのため、波長の短い光を得るために、発光層にAlとInを含んだ窒化アルミガリウムインジウム（AlGaInN）も使われていました。

先ほど例に挙げた国内研究グループのLDでは、多重量子井戸構造（MQW）の発光層の井戸にGaInN、壁にAlGaInNが使われています。MQWは、LDでは必須といえるものですが、これはバンドギャップの小さいnmオーダーの薄膜材料をバンドギャップの大きい材料で挟んだもの（量子井戸）を複数もつものです。バンドギャップが小さい部分は、電子が閉じ込められることから「井戸」とよばれ、ギャップの大きい部分は「壁」といわれます。我々は昨年、GaInNを井戸とするLDを作り355nmの波長を取り出しましたが⁴、GaInNでは限界があってその先の短波長が開けませんでした。そのためAlGaInNで多重量子井戸構造を作ろうとしたのです。よく光が出るInを含んだAlGaInNでもよかったのですが、Inは波長を長くするため使わないことにしました。

ND — 成功の秘訣はどこにありますか？

吉田 — LDは、発光層のMQWに光を閉じ込めることが必要です。そのため、発光層をバンドギャップの大きいクラッド層で挟むサンドイッチ構造になっています。ギャップを大きくするには、Alの割合を高めなくてはなりませんが、Alの組成を高めるほど欠陥が増えたりクラックが発生したりして、良質な薄膜作製はむずかしくなります。これを可能にしたのが、GaInNの結晶構造作製で培った我々独自の技術です。大事なのは、「土台が悪いと上は崩れる」ということです。つまりサファイア基板にGaInNの結晶を成長させ、その上に「ファセット制御エピタキシャル横方向異種結晶成長法」という特殊な方法でアルミニウム組成30%の良質なAlGaInNの結晶を積層させ良質な土台を作ることになりました。発光層もAl_{0.04}Ga_{0.96}N

を井戸、Al_{0.14}Ga_{0.86}Nを壁とするMQWができました（図2）。レーザ構造の薄膜の厚さは4μm程度。Al組成の高いクラッド層の屈折率は発光層より低くなるので、光は逃げずに閉じ込められます。こうして発振した光は紫外線なので肉眼では見えませんが、光測定器にレーザ発振の信号が現れたときは本当にうれしかったですね。室温で発振したレーザ光の発光効率（微分外部量子効率）は8.2%で、まずまずの成果といえます。

バイオなどさまざまな分野に応用可能

ND — どのような分野への応用が考えられますか？

吉田 — これまで紫外領域の光源は殺菌用の水銀灯、医療用の大型ガスレーザが実用化していますが、使い勝手のよい小型のLDの登場によってバイオ、環境、情報など幅広い分野への応用が期待されます。紫外線によって日焼けすることからもわかるように、特にバイオでは、紫外線領域の光と反応するタンパク質などの物質が多く、紫外領域のLDを使い生体活動を測定することで、生体物質が生命現象にどう関係しているかの解明につながります。例えば、紫外線による、日焼けやがんを引き起こす仕組みを解明し、病気予防などに応用できます。病原体監視、有害物質の検出にも有効です。また、現在、高密度の記憶デバイスに用いられるブルーレイ（405nmの青紫色レーザ）の次世代ディスク開発にも光が当てられたと思います。微細で精巧なレーザ印刷、加工、検査などにも使えます。競争は激化しますが、実用化も視野に入れながらの研究はとても楽しみです。

ND — 最初から光に興味をもったのですか？

吉田 — 最初は電子回路やコンピュータが得意で、別の会社に入りました。光を得意とする浜松ホトニクスに転職した後、光計測装置などの企画・営業にもかかわりましたが、広範な経験が今、生きています。研究にもさまざまな経験が重要だと考えています。物作りはたいへんおもしろく、LDで実現していない緑色レーザへの挑戦など、今後も光の可能性を探索したいと思っています。

ND — ありがとうございます。

聞き手は、長谷川聖治（読売新聞科学部記者）。

1. Yoshida H. et al. *Nature Photonics* **2**, 551-554 (2008)
2. Iida K. et al. *Jpn J. Appl. Phys.* **42**, L499-L500 (2004)
3. Edmond J. et al. *J. Cryst. Growth* **272**, 242-250 (2004)
4. Yoshida H. et al. *Jpn J. Appl. Phys.* **46**, 5782-5784 (2007)

今年の夏、米国炭疽菌^{たんそ}テロ事件の捜査が幕を閉じました。7年前の秋に発生したこの事件では、政府機関やマスコミに炭疽菌芽胞入りの郵便物が送られ5人が死亡し、世界中にパニックが広がりました。

捜査当局は、事件で使われた炭疽菌がある研究室で管理さ

れていた炭疽菌に由来するものと科学的に裏づけられたとし、一人の炭疽菌研究者による犯行だと断定しました。

今回は、この事件の捜査によって注目が高まった新たな法医学の分野について、読んでみましょう。

NEWS

語数: 365 words 分野: 微生物・社会

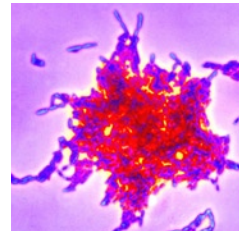
Published online 13 August 2008 | *Nature* **454**, 813 (2008) | doi:10.1038/454813a

Anthrax case ignites new forensics field

Biochemical method of tracking microbes hits the limelight.

<http://www.nature.com/news/2008/080813/full/454813a.html>

Amber Dance



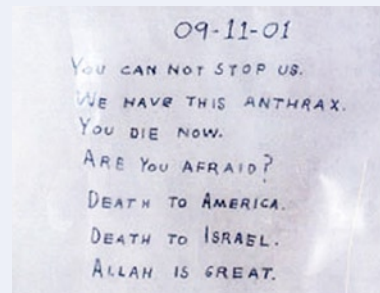
炭疽菌

1. The messy tragedy surrounding the 2001 US anthrax attacks and the suicide of chief suspect Bruce Ivins has thrown the emergent field of microbial forensics into the spotlight. The forensic techniques proved vital in allowing the Federal Bureau of Investigation (FBI) to make its case that the anthrax used in the attacks came from a particular sample in Ivins's lab.
2. Ivins died before facing charges, but had his case reached trial it would have been a major test for the discipline, which barely existed before 2001.
3. Microbial forensics traces the origin of a biological agent using a range of biochemical analyses, including genomic sequencing and protein and carbohydrate fingerprinting. The discipline has its roots in military and intelligence communities, and was used successfully in court as far back as 1998, in the trial of a doctor in Louisiana who intentionally infected his former mistress with HIV. But the field took off during the anthrax investigation with an influx of government funding and the advent of cheaper, faster sequencing technology.
4. Microbial forensics is likely to have an increasing role beyond biocrime. "The big thing that's going to be useful out of all this is its application to molecular epidemiology," says Paul Keim, a molecular geneticist at Northern Arizona University in Flagstaff, who worked with the FBI investigation. For example, microbial forensics could be used to pinpoint the source of food- or water-borne pathogens. Referring to the recent US Salmonella outbreak, Keim says, "If the same thing happens in a year, I would expect to see hundreds of Salmonella genomes sequenced."
5. The field could also be important in lawsuits over hospital-acquired infections, says microbiologist Abigail Salyers of the University of Illinois at Urbana-Champaign. People have sued hospitals for millions, claiming they contracted methicillin-resistant Staphylococcus aureus (MRSA) as patients. Microbial forensics could be used to trace an infection to its source and ascertain whether it was acquired at a particular hospital.
6. Microbiologists will need to be confident of their technique — forensic analysis requires unusual rigour. In a journal publication, it is usually understood that further work is needed, says Keim. "In court, you don't have that luxury," he says. "You have to get it right the first time."

Topics 米国の炭疽菌テロ事件(2001年)と Bruce Ivins 博士

2001年9月から11月にかけて、白い粉と炭疽菌芽胞が同封された郵便物が新聞社やテレビ局、上院議員事務所などに送られ、ワシントンDC、フロリダ州、ニュージャージー州、ニューヨーク州などで炭疽菌感染が広がった。最初の被害者は9月27日に発症し、同年12月7日までに、肺炎炭疽11人(すべて確定)、皮膚炭疽12人(確定7人、疑い5人)が報告され、5人が死亡した。感染者の多くは、郵便局職員を中心に、炭疽菌の入った郵便物に接触した人だった。この事件をきっかけに、米国だけでなく全世界で悪質な模倣事件が多発し、「白い粉のパニック」が起こった。

犯人はなかなか捕まらなかったが、2008年8月6日、米司法省は容疑者(単独犯)の自殺をもって捜査の終了を発表した。容疑者は Bruce Ivins 博士といい、米陸軍感染症医学研究所(メリーランド州)の炭疽菌専門家であった。検事によれば、手紙から採取された炭疽菌と博士が研究室で管理していた炭疽菌のDNAが一致したこと、当時の博士の不自然な時間帯での勤務、犯行に使用された封筒が博士の自宅周辺で売られていた可能性が高い、などの状況証拠から博士を容疑者としていた。動機は、当時研究していた炭疽菌ワクチンの打ち切りを不安に思っていたといわれている。ただし、これだけの動機でこれほどの大事件を起こさうのか、また、本当に単独で実行可能なのかという疑惑もささやかれている。



送られた手紙に「アメリカに死を/イスラエルに死を/アラーは偉大なり」と書かれていたことから、生物テロ発生と報じられた。

Science key words

タイトル **anthrax**: 炭疽菌 (学名 *Bacillus anthracis*)

大きさ $1 \sim 2\mu\text{m} \times 5 \sim 10\mu\text{m}$ の好気性グラム陽性大桿菌。土壤中に広く存在し、動物からヒトへは感染するが、ヒトからヒトへの感染は報告されていない。生育環境が悪化すると、芽胞とよばれる細菌胞子になり、熱や乾燥、化学物質に強い抵抗性をもつ。このため、土壤中で半永久的に生存する。芽胞が生体内に侵入すると発芽し、栄養型(通常の菌体)となって増殖して、発症する。感染経路によって、肺炎炭疽、皮膚炭疽、腸炭疽に分けられるが、このうち肺炎炭疽は、自然発生はまれで致死率が90%以上に達する。治療は、感染後できるだけ早く、大量に抗生物質を投与する。消毒は、焼却、オートクレープ処理(121°C 、20~30分)、1平方メートル当たり1~1.5ℓの30%ホルマリン処理、放射線滅菌、エチレンオキシドガス滅菌などを行う。

1. **microbial forensics**: 微生物法医学、微生物鑑識学
事件現場に残っている微生物のDNA配列や、タンパク質や糖などを解析して、その由来を調べ、感染経路を明らかにしたり証拠を得たりする、新しい鑑識技術。炭疽菌事件の場合、手紙に残っていた炭疽菌のDNA配列がIvins博士の研究室のものと一致したことが証拠になった。
3. **biological agent**: 生物剤、生物作用因子
微生物そのものや、毒物や生理活性物質など生物が作り出す物質のこと。
3. **biochemical analysis**: 生化学的解析
含まれるアミノ酸や糖の組成を調べたり、DNA配列を決定したり、生物活性を調べたりすること。

4. molecular epidemiology: 分子疫学

疫学を分子生物学的に研究する分野。微生物の感染経路を突き止めて今後の予防に努めたり、ゲノムの中の遺伝的個人差から疾患の原因と地域性を調べて診断や予防、治療を進めたりする。

4. Salmonella: サルモネラ

グラム陰性通性嫌気性桿菌。サルモネラは、2500種類以上の血清型に分類され、そのうちの一部分が病原性を持ち、チフス菌も含まれる。一般にサルモネラ食中毒は、原因菌が腸管上皮細胞に感染して起こる胃腸炎で、日本では、腸炎ビブリオと並ぶ代表的な食中毒原因菌である。症状は、発熱、腹痛、下痢、嘔吐などで、死亡率は0.1~0.2%。特に高齢者や乳幼児などで重症化しやすく、死亡例も多い。治療は、脱水症状の緩和と痛みの緩和といった対症療法である。

5. methicillin-resistant Staphylococcus aureus (MRSA):

メチシリン耐性黄色ブドウ球菌

抗生物質メチシリンに耐性を示す黄色ブドウ球菌の意味であるが、一般に多剤耐性を示す。黄色ブドウ球菌は、ヒトや動物の皮膚や消化管などに常在するグラム陰性球菌。通常は無害であるが、傷口から感染すると化膿し、また免疫力が弱っている場合、肺炎や敗血症、髄膜炎など重篤な感染症となる。MRSAは通常の黄色ブドウ球菌が変異を起こして、多くの抗生物質に耐性をもつようになったもので、原因は抗生物質の多用と考えられている。現在、臨床分離される黄色ブドウ球菌の60%がMRSAといわれている。MRSA感染の症状は通常の黄色ブドウ球菌と同様であるが、高齢者や乳幼児、手術後まもない患者などが感染すると、多剤耐性のため治療がやっかいである。

Words and phrases

タイトル **ignite(s)**: 「火をつける」「引き起こす」「～のきっかけとなる」

リード **hit(s) the limelight**: 「注目を集める」

limelight はイギリス英語で「(ステージ上の) スポットライト」のこと。hit は「点灯する」という意味。1. の throw ~ into the spotlight も「～が注目を集めるようになる」という意味。

1. **messy tragedy**: 「やっかいな悲劇」
この messy は、解決するのが不愉快なほどむずかしい、という意味。
1. **proved vital**: 「極めて重要なことがわかった」
1. **make (its) case that ~**: 「～と主張する」
2. **face[-ing] charges**: 「起訴される」

2. discipline: 「研究分野」

ここでは、「微生物法医学」のことを指している。

3. has its roots in ~: 「のルーツ(起源)は～にある」

3. intelligence communities: 「情報機関」

3. take[took] off: 「軌道に乗る」「うまくいき始める」

3. influx: 「流入」

3. advent: 「登場」「出現」「到来」

4. -borne pathogen(s): 「～感染する病原体」

food-borne は「食品感染」、water-borne は「水系感染」。

5. hospital-acquired infection(s): 「院内感染」

6. rigour: 「厳密さ」

6. have the luxury: 「ぜいたくが許される」「余裕がある」

NEWS

参考記

Published online 13 August 2008 | *Nature* **454**, 813 (2008) | doi:10.1038/454813a

炭疽菌事件がきっかけとなって確立した法医学の新分野

微生物を生化学的に追跡調査する方法が注目を集めている。

<http://www.nature.com/news/2008/080813/full/454813a.html>

アンバー・ダンス



厳重に開封された上院議員宛の手紙。

1. 2001年に米国で発生した炭疽菌攻撃と重要容疑者 Bruce Ivins の自殺をめぐるやっかいな悲劇をきっかけとして、微生物法医学という新興分野が注目を集めるようになった。この攻撃に使用された炭疽菌が Ivins の研究室にあった特定のサンプルに由来すると米国連邦捜査局 (FBI) が主張するうえで、この法医学的手法が決定的な役割を果たしたのである。
2. Ivins は起訴される前に死んでしまったが、もし裁判になっていれば、2001年以前はかろうじて存在しているだけだった微生物法医学にとっての重要な試金石となっていただろう。
3. 微生物法医学では、ゲノムの塩基配列解読や、タンパク質および炭水化物のフィンガープリンティングなど、さまざまな生化学的解析法を使って生物剤の出どころを突き止める。微生物法医学のルーツは、軍部や情報機関にある。この方法が法廷で有効に活用された事例としては、ルイジアナ州の医師が元愛人を故意に HIV に感染させたという、1998年の事件までさかのぼることができる。しかし、微生物法医学が軌道に乗ったのは、炭疽菌事件の捜査が行われていた時のことだった。この間に政府から多額の資金が流入し、より低いコストで迅速に塩基配列を決定する技術が登場したのである。
4. 微生物法医学の活躍の場は、バイオ犯罪にとどまらず、ますます広がっていく可能性が高い。北アリゾナ大学 (米国フラッグスタッフ) に所属する分子遺伝学者であり、FBI の調査にも協力した Paul Keim は、「なかでも期待されているのは、分子疫学への応用です」という。例えば、微生物法医学を利用すれば、食品や飲料水を介して伝染する病原体の出どころを正確に特定することもできるのである。Keim は、最近米国で発生したサルモネラ集団感染に言及し、「1年後に同じことが起きたとすれば、数百種類のサルモネラのゲノム配列が解読されることになるでしょう」という。
5. イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校 (米国) に所属する微生物学者の Abigail Salyers は、微生物法医学は院内感染をめぐる訴訟にとっても重要となるかもしれない、と指摘する。病院内で治療を受けていたときにメチシリン耐性黄色ブドウ球菌 (MRSA) に感染したと主張して、病院に対して数百万ドルの損害賠償を求める訴訟を起こす人々がいるからである。こうした訴訟に微生物法医学を用いれば、感染源を突き止めることができ、特定の病院で感染したもののなかのかがわかるのである。
6. 微生物学者は、その技術に自信をもつ必要がある。法医学解析には、通常とは違った厳密さが要求されるからである。学術誌に論文を発表するときには、さらなる研究を必要とすることにつき暗黙の了解があるのが普通である、と Keim はいう。「法廷では、そんな悠長なことはいってはいられません。一度に決着をつけないければならないのです」。

Climate Feedback

the climate change blog



An informal forum facilitating **lively** and **informative** discussion on **climate science** and wider implications of global warming.

Join in the debate!

<http://blogs.nature.com/climatefeedback>

nature publishing group 

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

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

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

日本語でnatureを読む

Nature Digestは、Natureを日本の皆様により身近に感じていただくために全ページ日本語で編集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

Highlights 論文ハイライト

Editorial 社説

News 科学ニュース

News Feature 科学ニュース読み物
興味あるテーマを親しみやすく解説

News & Views 科学論説

オリジナル編集記事

Japan News Feature
日本の科学ニュース

Japanese Author
日本人科学者へのインタビュー記事

High School Scientist
スーパーサイエンスハイスクールへの取材記事

英語でNature
Natureに掲載の記事から生きた英語を学ぶ



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