

nature DIGEST

日本語編集版

AUGUST 2007

VOL. 04, NO. 8

8

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



nature asia-pacific

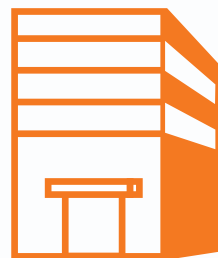
Established 1987 as Nature Japan K.K.



環境にやさしい F1

WWW.研究機関 ホームページ.com

www.lab-www.com



豊富な経験を生かしたホームページ制作

私たちは、研究内容に即したデザインと、見る人にわかりやすい研究成果のWeb制作をご提案します。

ホームページを作成したい

10ページ程度→**30万円**

ホームページの作成は、10ページ(HTMLファイル)程度で、料金は30万円程度になります。

納期までは、1~2ヶ月かかります。料金には設計企画からデザイン作成、HTML作成(コーディング)、総合点検としてのブラウザでの確認作業が含まれます。納品までの修正は、無料で行います。

参加登録や掲示板などの Webシステムの開発も行います。



- ・ CGIや、データベース、PHPスクリプト言語などを利用して、Webシステムを開発します。
- ・ Wikiサイトの構築や、Webサーバ、DBサーバの構築も行います。
- ・ セキュリティに対応したSSL対応のサイト構築も行います。

ホームページを更新したい

1ヶ月→**3万円**

公開されているホームページの更新作業や運営管理を行います。

お客様は、毎月1回、データをご準備いただき、ご送付ください。契約は1ヶ月単位です。料金は1ヶ月、3万円程度になります。

ユーザの80%以上は検索エンジンからの訪問者です！

研究成果をGoogle、Yahooで上位に表示するために!!

SEO対応 PPCアド

- ・ SEOは検索時上位に結果がでるだけでなく、ユーザの視点からも情報を見やすく効果的に発信。(有料)
- ・ PPCとは、検索時上位に表示するための手法。広告料金支払額に応じて、特定のキーワードを検索した際に検索サイトの広告エリアに表示。(有料)

ホームページの実績

産業技術総合研究所 サイエンス・タウン
産業技術総合研究所 バーチャルミュージアム
農業・食品産業技術総合研究機構 食品総合研究所
情報通信研究機構 脳情報グループ
情報通信研究機構 ナノ機構グループ
気象予測データを基にした農作物栽培支援情報サービス
農林水産生態系における有害化学物質の総合管理技術の開発
林産業に係わるエコシステム創出に関する技術開発
外来植物のリスク評価と蔓延防止策
株式会社 生体分子計測研究所
バイオコミュニケーションシンポジウム2006
脳情報通信テクノロジー国際シンポジウム
分子通信テクノロジー国際シンポジウム など



環境にやさしいF1

表紙 : JEAN-FRANCOIS GALERON / MAXPPP / NEWSCOM

HIGHLIGHTS

02 vol.447 no.7147, 7148, vol.448 no.7149, 7150

AUTHOR

05 月面で赤外線望遠鏡を製作する方法
— Ermanno Borra

EDITORIAL

06 アジアの台頭

NEWS FEATURE

08 慈善財団からの研究助成金の現状
Meredith Wadman

12 世界の主な慈善財団
Lucy Odling-Smee

14 環境にやさしいF1
Andreas Trabesinger

NEWS

19 首位交代:1990～2006 年の CO₂ 排出量

NEWS & VIEWS

20 化石の森
Kirk R. Johnson

JAPANESE AUTHOR

22 原子間力顕微鏡で半導体表面の原子を観察、
元素を同定することに成功 — 森田清三
小島あゆみ

24 光が当たると伸び縮みするフォトクロミック結晶の
開発に世界で初めて成功 — 入江正浩
北原逸美

英語でNATURE

26 Plastics for posterity
プラスチック作品を後世に残す



**nature
DIGEST**

08 volume 4 no.08
August
www.nature.com/naturedigest

© 2007 年 NPG Nature Asia-Pacific
掲載記事の無断転載を禁じます。

発行人:ディビッド・スウィンバンク
編集:北原逸美、中野美香
デザイン/制作:村上武、中村創
広告:米山ケイト
マーケティング:吉原聖豪

2007年8月2日 毎月第1木曜日発行
NPG ネイチャー アジア・パシフィック
〒162-0843
東京都新宿区市谷田町 2-37 千代田ビル
Tel.03-3267-8751 Fax.03-3267-8754

有望なメタボ治療薬**Treating metabolic syndrome**

脂質シャペロン（脂肪酸結合タンパク質としても知られる）は、代謝応答と炎症応答の結びつきに重要であり、特に脂肪酸結合タンパク質aP2の機能を遺伝的に欠損させたマウスは、メタボリックシンドロームのさまざまな病態から守られることが知られている。今回、新たな研究によって、脂肪酸結合タンパク質が治療薬の標的となる可能性が出てきた。aP2の強力な阻害剤であるBMS309403を一連のマウスモデルに経口投与したところ、糖尿病と動脈硬化症の両方が予防された。ヒトでのaP2の機能はマウスの場合と類似しているため、この結果は、aP2の化学的阻害が糖尿病や心血管疾患に対して有効である可能性を示している。

21 June 2007 Vol.447 / Issue 7147

Article p.959 参照

有胎盤類は北半球出身**Our friends in the north**

有胎盤哺乳類がその長い進化の道のりを歩み始めたのは、恐竜の絶滅した6500万年前のことなのか、それとも、もっと古い年代までさかのぼるのかについては、長らく議論が続いてきた。今回、モンゴルで新たに見つかった7500万年前の哺乳類化石の特徴と、白亜紀の哺乳類全般の形態に関する包括的解析とを考え合わせた研究によって、有胎盤哺乳類は恐竜が絶滅したところに登場して「爆発的」に進化したことが示唆された。これまでは、有胎盤類の起源には北半球の（ローラシア）大陸と南半球の（ゴンドワナ）大陸の両方が関係していると思われていたが、今回の研究結果で、およそ6500万年前のローラシア大陸に起源があることがわかった。

21 June 2007 Vol.447 / Issue 7147

Letter p.1003, N&V p.918 参照

窒素は回る**Nitrogen does the rounds**

アマゾン原生林は農作のために約16パーセントが皆伐されたが、その多くはもはや利用されておらず、森林の再生が始まっている。熱帯の土地利用が変化した結果、かつて農地であった広大な土地が森林化しているため、このような「二次林」はますます重要さを増しつつある。今回、森林への回帰が始まってから3年から70年が経過したアマゾン森林の調査研究が発表され、窒素およびリンの循環過程は、土地利用変化の間に起こった多量の窒素消失に一致する

ものであることが明らかとなった。窒素が利用可能なのはわずかな期間であり、自然あるいは人為的攪乱によりすぐに利用できなくなる。二次林への自然遷移の間に栄養循環過程がどのように変化するのかを解明することは、アマゾンの生態系のよりよい管理の一助となるだろう。一方、窒素循環の別の側面である外洋での硝化に関して、現存する事実上すべてのデータが地球生態系モデルとの関連において分析され、一般的に受け入れられていた仮定が正しくないことが実証された。海洋に取り込まれる硝酸塩のほとんどは海面表層近くで硝化を通じて生成され、地球規模では、そのような硝化が増殖中の植物プランクトンにより消費される硝酸塩の約半分に当たる。これはつまり、海洋からの炭素搬出を定量化しようとする多くの試みが、かなりの過大評価を行っている可能性があるということだ。

21 June 2007 Vol.447 / Issue 7147

Letters pp.995, 999 参照

よりよいバイオ燃料を目指して**Towards better biofuels**

ガソリンの価格の上昇に伴って、バイオ燃料は最近大きなニュースとなっている。運送に使われる液体バイオ燃料として最もよく知られているのは、バイオマス由来エタノールだろうが、エタノールは揮発性が高く、水を吸収し、エネルギー密度が低いため、こうした用途には限界がある。今回、ウィスコンシン大学マディソン校の研究チームが、フルクトースを変換して、よりすぐれた液体バイオ燃料と考えられる2,5ジメチルフラン（DMF）にする2段階触媒プロセスを開発した。DMFは、エタノールよりエネルギー密度が40パーセント高いという長所をもち、エタノールより沸点が高く、水に溶解しない。フルクトースは、バイオマスから直接、あるいはグルコースから作られる。DMF生産が商業的に可能になるまでには、まだいくぶんの努力が必要だが、この新しい触媒的合成法は有望と思われる。

21 June 2007 Vol.447 / Issue 7147

Letter p.982, N&V p.914 参照

グリーンになるF1? : 省エネを競うフォーミュラワン**HOW GREEN IS THIS?: Formula 1 in race for fuel economy**

表紙は、モントリオールでのカナダGPで、フェラーリのキミ・ライコネンに差をつけ、初優勝目前のマクラーレンの驚異の新人ドライバー、ルイス・ハミルトンである。この勝利は彼のその後の北米での連続勝利の皮切

りとなった。こういうカーレースは「環境にやさしい」とはとてもいえない。サーキットをぐるぐる回るために、世界中に機械や人員を送り込んでいるのだから。だが、自動車にディスクブレーキをもたらした「性能の向上」という伝統を受け継ぎ、F1（フォーミュラワン）レースを技術革新に貢献するものに作り直そうという野心的な計画が立てられている。2009年から、環境への負荷を軽減する新しい規制が実施され、そのままならむだになる減速時のエネルギーを活用するための機械式エネルギー回収装置（KERS）が導入される。熾烈な競争と有能な技術陣、巨額な研究予算とが合わさってこの技術の進歩が推進されれば、最終的には一般の車にもKERSが使われるようになるだろう。

21 June 2007 Vol.447 / Issue 7147
News Feature p.900 参照

地球のコアに取り込まれたケイ素**Silicon to the core**

地球や月の鉄同位体存在比は、火星や小惑星ベスタ、始原隕石に比べるとわずかに「重く」なっているが、この理由はよくわかっていない。考えられる説明の1つは、初期の地球と火星規模の天体が衝突して月を形成した「巨大衝突」の際に、同位体平衡が大規模に起こったというものである。しかし、ほかの元素の大部分にこうした影響がみられないことを考えると、その可能性は低くなる。今回、隕石と地上の岩石のサンプル44個の分析結果から、地球や月の玄武岩質の石ではケイ素の同位体組成も明らかに重いことが示された。この結果は同位体平衡モデルと一致し、月形成以前にケイ素が既に軽元素として地球のコアに分離していたことを示している。

28 June 2007 Vol.447 / Issue 7148

Letter p.1102, N&V p.1060 参照

乳がん遺伝子が新たに4つ**Novel breast cancer genes**

今週号に掲載されている全ゲノム関連解析の研究が発表されるまで、BRCA1やBRCA2などの既知の乳がん感受性遺伝子では、乳がんの家族性リスクの25パーセント未満しか説明がつかなかった。今回の研究では、2万1860名の患者と2万2578名の対照例が調べられ、乳がんへの遺伝的なかかりやすさと正の相関を示す4つの遺伝子（FGFR2、



TNRC9, MAP3K1およびLSP1) が同定された。これまでに同定された乳がん感受性遺伝子の大部分はDNA修復にかかわるものだったが、今回新たに見いだされた結びつきは細胞の増殖やシグナル伝達に関係するものようだ。これらの遺伝子のうち、FGFR2だけは乳がんとの重大な関連が既にはっきりしていた。これらの遺伝子の発見は、乳がんの原因研究に新たな道を開くとともに、女性のがんリスクを分類する新しい戦略の一部となって、よりよいがん予防につながるかもしれない。

28 June 2007 Vol.447 / Issue 7148

Article p.1087 参照

パーキンソン病との取り組み

Tackling Parkinson's

パーキンソン病の病変の兆候は脳のいくつかの領域でみられるが、この病気の特徴である運動症状を引き起こすのは、黒質緻密部にあるドーパミン (DA) ニューロンの死である。なぜこれらのニューロンが傷害を受けやすいかは明らかではないが、細胞内カルシウムの上昇が主要な因子だろうと考えられてきた。今回Chanたちは、DAニューロンがCa²⁺チャンネルに依存して律動的な活動を維持しており、この依存性が年齢とともに強くなることを示した。ところが、高血圧や脳卒中の治療に使われるカルシウム拮抗薬のイスラジピンを投与すると、成人のニューロンを若年のニューロンと同様に、Na⁺/HCNチャンネルに依存するように逆戻りさせることができる。パーキンソン病のマウスモデルでは、この「若返り」がDAニューロンを保護することから、これによって病気の進行を遅らせたり停止させたりする可能性が示唆される。現在使われている抗パーキンソン病薬は対症的な治療効果しかないため、この新たな方法の臨床試験への移行には極めて強い関心が集まりそうだ。

28 June 2007 Vol.447 / Issue 7148

Article p.1081, N&V p.1059

サルも「確率的推論」を行う

Monkeys back their hunches

人は、よい結果が得られる見込みをすばやく評価して、それに基づき日々たくさんの判断を下している。心理学では、これは「確率的推論」とよばれ、大脳基底核中の記憶回路に依存する作業だと考えられている。今回、アカゲザルを用いた実験で、サルも確率的推論を行う能力をもっていることがわかった。先に見せた4つの形の並び順が、その後で見る2つの色のうちのどちらが報酬につながるかの確率を決めるという課題

について、2匹のサルを訓練し、2つの色のうち一方を選ばせた。サルは、形のさまざまな組み合わせを見て集めた情報を使って、2色の表示のどちらが報酬につながるかを推論することを学習した。頭頂皮質の活動記録から、この脳領域のニューロンが、こうした決定を下す基盤となる確率量の足し算・引き算に関与していることもわかった。

28 June 2007 Vol.447 / Issue 7148

Article p.1075, N&V p.1061 参照

ナノワイヤー光源の開発：ナノフォトニクス用の生物にやさしい波長可変光源

DOWN TO THE NANOWIRE: A tunable light source for bio-friendly nanophotonics

光の特性をナノメートルスケールで操作するナノフォトニクスは、遠隔通信、コンピューターやセンシングの分野を革新する可能性がある。新しく開発された波長可変なナノワイヤー光源は、ナノフォトニクスの発展に寄与しそうだ。この光源は生理的条件下で機能し、試料に最小限の損傷しか与えないため、バイオイメージングへの応用が特に期待できる。非線形光学的性質をもち、そのため光の波長を変換できる無機材料であるニオブ酸カリウムを使ったこの光源を光ピンセットによって安定に保持し、試料を走査した。得られた画像は、光の波長以下の分解能での試料構造を明らかにしている。この手法は、バイオイメージングだけでなく、高度情報技術、暗号法やシグナル処理回路にも使える。

28 June 2007 Vol.447 / Issue 7148

Letter p.1098 参照



カッシーニ探査機が見た土星の衛星ヒペリオン Cassini's view of Hyperion

土星の衛星ヒペリオンはいびつな形をしていて、カオス的な軌道運動をしている。外観も変わっていて、2005年9月カッシーニ探査機接近通過の際に、スポンジのような独特の表面をしていることがわかった。今週号の2編の論文には、カッシーニによる観測の初めての解析結果が報告されている。1つ目の論文では、画像と電波計測データから、スポンジ状の外観は、多孔質の天体の表面にできた衝突クレーターによるものであることが示唆されている。2つ目の論文では、近赤外領域と紫外領域の分光学研究により、天体表面の相当部分を覆う反射率の

高い領域だけでなく、大部分がクレーターの底面にあるより暗い領域の表面組成の詳細も明らかにされている。これらのスペクトルは、有機物固体の混じった氷水の存在と一致している。低アルベドの(暗い)物質は、ほかの土星の衛星イアペトゥスやフェーベで見ついている、氷水や複雑な有機化合物、二酸化炭素、ニトリルが混ざったものと、分光学的に似ている。この混合物は、彗星にみられるものと類似しており、おそらくカイパーベルト天体のものも同様だろう。

5 July 2007 Vol.448 / Issue 7149

Letters pp.50, 54, N&V p.37 参照

まねするだけでOK

Just a mimic

生物種が捕食者から逃れるために他者に似るように進化するという防御的擬態は、動物界で極めて広くみられる。擬態の主な種類としては、「ベイツ擬態」と「ミュラー擬態」の2つが知られている。ベイツ擬態は、モデルとなる種がもつものと類似した信号(視覚的な合図など)を発達させるが、捕食者を忌避させる特性を備えるには至らない。ミュラー擬態は、モデル種と似ているうえに、危険あるいはまずいといった捕食者回避のための特性もモデル種と同じく備えている。これらの異なる種類の擬態は1世紀前から知られていたが、防御能に差のある被食者間における擬態の動態は解明されていなかった。Rowlandたちは今回、競合するさまざまな仮説を直接検証できるように設計した実験で、どちらの種類の擬態も、モデルと擬態者の両方に利益をもたらすことを実証した。実験室内で行われた「新天地」実験では、本物の捕食者(シジュウカラ)に人工餌(紙に包んだアーモンド片)が与えられた。防御能に差のある擬態者(食べられる擬態者を含む)は、互いに連合することで生存上の利益を得た。この結果は、そこそこの防御能しかない種は防御能が高い種の防衛効果を希釈してしまうとする通説を覆すものであり、教科書やウィキペディアの記述の一部を書き改める必要が出てくるかもしれない。

5 July 2007 Vol.448 / Issue 7149

Letter p.64, N&V p.34 参照

pale tremor 遺伝子の発見

Pale tremor gene discovery

ミシガン大学の研究室のマウスに生じた自然突然変異が、シャルコー・マリー・トゥース病とよばれる遺伝性神経変性疾患の原因遺伝子の同定に結びついた。このpale tremorマウスは、酵母遺伝子Fig4の相同体に変異が

起こっており、多臓器に神経変性が生じる。Fig4は、シグナル伝達分子である脂質ホスファチジルイノシトール-3,5-ビスリン酸 (PtdIns (3,5)P₂) の量を正常に維持するのに不可欠な遺伝子である。この研究以前には、シグナル伝達分子PtdIns(3,5)P₂の欠乏がニューロンの維持に特異的な役割を果たしていることは、まったく指摘されていなかった。

5 July 2007 Vol.448 / Issue 7149

Letter p.68 参照

多数の世界：量子物理学の奇妙さを解釈する理論の50年

MANY WORLDS: Fifty years of the ultimate quantum strangeness

これがネイチャーだ！ D Parkinsが描いた表紙イラストは、量子力学の重要な年への敬意を表した作品である。50年前に、ヒュー・エヴェレット三世は、その後「多世界」解釈として知られるようになる仮説を提出した。エヴェレットは、量子物理学を顔面通り受け取ったうえで、ではそれが実際に何を意味するのか、想像をめぐらした。彼は、あらゆる事象のあらゆる可能な帰結がそれぞれ独自の世界に存在すると考えることによって、量子理論のパラドックスを解決しようと試みたのである。



M BuchananはNews Featureで、現在の「多世界」解釈に対する反応について述べている。1950年代には、ほとんどの物理学者が多世界理論はあまりにも奇想天外と考えていたが、現在では信奉者がいる。だが、そのひとりであるM TegmarkがCommentaryで嘆いているように、エヴェレットの原著論文は考えられるほど広く読まれているわけではない。Tegmarkはまた、Books & ArtsでG Wolfが述べているように、SF作家にとって何よりありがたいネタとなっている並行宇宙を彼が信じる理由を説明している。生命科学も、サイエンスフィクションを扱った今週号のNews Featureに顔を出しており、Editorialではこれらの話題をまとめて論じている。

5 July 2007 Vol.448 / Issue 7149

Editorial p.1, News Feature pp.15, 18, Commentary p.23, Books & Arts p.25 参照

天皇陛下がリンネ協会で講演

Where are they now?

「日本産ハゼ科魚類クワアナゴ属の4種について」(Jpn J. Ichthyol. 14 (4/6), 135) と題した論文の著者の住所はおそらく東京都千代田区の皇居だ。実は彼は日本の現天皇なのである。だが、今年5月、天皇陛下は分類学者の顔に戻り、カール・リンネ生誕300年記念行事の一環としてロンドンのリンネ協会で講演をされた。今週号のEssayは、この講演を土台として書かれたものであり、Natureのリンネ生誕300年記念のウェブフォーカス(www.nature.com/nature/focus/linnaeus300/index.html) に加えられている。

12 July 2007 Vol.448 / Issue 7150
Letters pp.191, 196 参照

12 July 2007 Vol.448 / Issue 7150

Letters pp.191, 196 参照

イネがケイ素をため込む仕組み

How rice grabs its silicon

ケイ素は植物の生育に有益な作用を示す。病気や害虫に対する抵抗性を高め、蒸散による損失を最小限に抑える。イネはケイ素を集積する植物の代表格で、根の土壌ケイ素取り込み能力が高いために、地上部にケイ素を高度に蓄積できる。ケイ素を大量に蓄積する巧妙な仕組みの一部は、「低ケイ素」遺伝子Lsi1が、ケイ素を土壌から根の細胞へ取り込む「内向き」輸送体をコードすることがわかって、既に明らかになっていた。今回、2番目の「低ケイ素」遺伝子で「外向き」輸送体をコードしているLsi2が見つかり、根の細胞からケイ素を送り出し、根の中を通っている維管束内部に運び込むという、取り込みの第二段階に当たる過程が明らかになった。

12 July 2007 Vol.448 / Issue 7150

Letter p.209 参照

超らせんの蓄積：抗腫瘍薬であるトポイソメラーゼ阻害剤はDNA超らせんの解消を遅らせる

SUPERCOILED: Antitumour 'topo' inhibitor slows DNA supercoil removal

トポイソメラーゼは、DNAに生じるひずみの一種である超らせんを解消する働きをする酵素である。トポイソメラーゼの阻害剤は抗がん剤として重要で、トポイソメラーゼとDNAとが作る共有結合性複合体を安定化することによって作用し、安定化した複合体はDNA複製装置の進行の障害となると考えられている。だが、トポイソメラーゼを標的とする薬剤の有効性が生じる仕組みはほとんどわかっていない。今回、主に卵巣がんや小細胞肺がんの治療に使われるトポテカンとトポイソメラーゼIB-DNA複合体との相互作用を単一分子操作



法で調べることで、反応過程がもっと詳しく解明された。表紙にあるように、トポテカン(赤で示す)の働きにより、正のDNA超らせんが蓄積する。このようなDNAの巻き過ぎはDNAポリメラーゼの進行を妨げ、複製フォークの停止や崩壊の要因となり、最終的に細胞死につながる可能性がある。

12 July 2007 Vol.448 / Issue 7150

Letter p.213 参照

間近で見るRNAポリメラーゼ

RNA polymerase up close

今週号では、2本の相補的な関係にある論文が細菌RNAポリメラーゼの構造と機能に焦点を当てている。1本目では、この酵素がDNA鋳型とRNA生成物に結合した状態にあるときの、転写伸長複合体の詳細な構造を示している。この構造から、すべての生細胞にとって必須であるDNAからRNAへの転写過程の詳細が明らかとなった。2本目の論文では、RNAポリメラーゼ伸長複合体が基質アナログおよび抗生物質に結合した状態が記述されており、基質の取り込みと抗生物質による阻害の機構が明らかにされている。RNAポリメラーゼはリファマイシンやその誘導体を含む抗生物質の標的となっているので、ヒトと細菌のRNAポリメラーゼの構造比較は薬剤設計に役立つだろう。

12 July 2007 Vol.448 / Issue 7150

Articles pp.157, 163, N&V p.142

マウスで得られた新種の胚性幹細胞

A new type of stem cell

ヒトの胚性幹(ES)細胞は、適切な刺激によって事実上あらゆる種類の細胞に分化できる多分化能をもつため、臨床治療において重要となる可能性が高い。幹細胞研究の進展を阻む障害の1つは、ヒトとマウスのES細胞の間にみられる不可解な差異だった。今回、2つの研究グループがそれぞれ独立に行った研究により、新たな種類の多分化能性ES細胞が作製された。子宮内壁に着床後のマウス胚から得られたこれらのEpiSC(epiblast stem cell; 胚盤葉上層由来幹細胞)は、「古典的」なマウスES細胞とは明らかに異なり、ヒトES細胞がもついくつかの主要な特徴がそっくり備わっている。このEpiSCは、基礎研究を加速し、おそらく将来的には治療目的へのヒトES細胞の使用をも促進する重要な実験モデルとなるだろう。

MAKING THE PAPER

Ermanno Borra

Nature Vol.447(xv)/21 June 2007

月面で赤外線望遠鏡を製作する方法



水銀など光沢のある液体を回転させて望遠鏡の鏡にするという方法は、1850年にイタリア人天文学者 Ernesto Capocciにより提案された。このアイデアが最初に試されたのは1900年代のことだったが、技術的な問題が多すぎたため、夢見がちな天文学者の歴史のひとつとして長らく忘れ去られることになった。

その後、別のイタリア人天文学者が1982年に液体鏡望遠鏡のアイデアを復活させた。彼は、現代の技術をもってすればかつての問題を解決できることと、液体鏡望遠鏡はガラス鏡望遠鏡の数分の1のコストで製作できることに気づいたからである。ラバール大学（カナダ、ケベック州）の天文学者 Ermanno Borra とその共同研究者たちは、月面での使用に適した液体鏡の製作技術を確立した。

液体鏡望遠鏡は、反射率の高い液体を張った回転盤を利用する。重力と遠心力が液体を放物面にし、光に焦点を結ばせる。「自然の基本的な力が鏡に正しい形を取らせるのです」と Borra は説明する。そして、この形が乱されることがあっても、「液体は常に正しい形に戻ります」。固体鏡では、その反対のことが起きる。年月を経るうちに、重力により変形してしまうのだ。

ブリティッシュ・コロンビア大学（カナダ、ブリティッシュ・コロンビア州バンクーバー）の Paul Hickson が率いるチームは、Borra の研究に基づいて水銀を使った口径6メートルの液体鏡望遠鏡を設計し、これを製作した。それが、バンクーバー郊外の Large Zenith Telescope である。けれども、宇宙論研究者が本当に液体鏡望遠鏡を設置しがっているのは月面である。これにより、宇宙で最初に形成された星や銀河を観測するのに必要な赤外線領域の画像を収集できるようになるからである。月の重力は小さいため、月面の液体鏡望遠鏡は地球上の固体鏡望遠鏡よりもはるかに大きくすることができ、口径を20～100メートルにすることも可能である（これだけの大きさになると、宇宙に打ち上げることはほとんど不可

能であるかもしれないが）。このクラスの液体鏡望遠鏡なら、宇宙の最も遠くで起きた、最も古い出来事の、非常に弱い光を検出することができる。

「ただし、それには主役の登場を待つ必要があります」と Borra はいう。月面の液体鏡望遠鏡で微弱な赤外線シグナルを捉えるためには、望遠鏡自身が赤外線を放射しないように、温度を非常に低くしなければならない。つまり、反射率が高く、蒸発せず、130K（-143℃）以下という極端に低い温度でも液体のままであるような材料が必要なのだ。

「これはとんでもない要請です」と Borra はいう。天然に存在する水銀などの反射率の高い液体は、この温度要請を満たすことができないからだ。彼と大学院生の Omar Seddiki は、シリコン油やポリエチレングリコールなどの粘度の高いシロップ状の液体を金属でコーティングする方法を試したが、コーティングされたシロップは表面にしわを作ってしまった。

研究チームが必要としていた突破口をもたらしたのは、イオン液体（蒸発せず、凝固点が非常に低い液体の塩）だった。彼らは1-エチル-3-メチルイミダゾリウムエチル硫酸塩という市販のイオン液体を銀でコーティングすると、高い反射率を安定して保てることを実証した。この混合物は175Kという低温でも液体の状態を保つことができた。

イオン液体は1兆種類もあるため、Borra は、その中には130Kで使えるものが必ずあると信じている。次の大きな問いは、「人類は再び月に行くのか？」である。「人類が月に行くなら、このプロジェクトが実現する可能性は大いにあります」と Borra はいう。

彼の研究はSFのように見えるかもしれないが、Borra はこの点については現実的な見方をしている。「宇宙は、人類が暮らす環境の一部です。ならば、そこで何が起きているのかを知る必要があります。20年先を見ている科学者もいますが、100万年先を見る科学者も必要なのです」。

アジアの台頭

Asia on the rise

Nature Vol.447 (885) / 21 June 2007

論説

アジア・パシフィック地域の研究者たちが共同研究をより効果的に行うようになり、それにつれて科学の勢力分布が東洋へシフトしつつある。

6月上旬、本誌の発行元であるネイチャー・パブリッシング・グループ (NPG) のアジア・パシフィック支社 (東京) が、創立20周年を記念して、アジア・パシフィック地域の主だった科学者200人を集め、科学研究ネットワークの形成に関するフォーラムを開催した。

キラル分子の片方だけを合成する触媒に関する研究で2001年ノーベル化学賞を受賞し、日本最大の研究機関である理化学研究所の理事長を務める野依良治は、このフォーラムの趣旨を次のように見事に言いまとめた。「アジアの人々は、世界にはアメリカ、ヨーロッパ、アジアの3つのプレーヤーがいてしかるべきだという意識をもたねばならない」。

このような考え方、すなわちアジアの科学が、日本、中国、韓国、東南アジアのみならず、インド、オーストラリアやその他の国々からの寄与を受け入れて同化する有意義な1つの統一体として存在するという意識は、徐々に受け入れられつつある。

ところで、「アジアの科学」という統合の構想がさらに進むと、最終的にはどのような姿になるのだろうか。世界人口の半数にあたる人々が科学に強く望むものを受け止めて取り込むような、巨大な事業となることは明らかである。そして、それは政治的な緊張関係と共存していくことになる。例えば日本、中国、韓国の間では、過去の戦争責任の解釈や領土権をめぐる対立が続いている。また、台湾の科学者は中国大陆への渡航を制限されており、学会から締め出されることもある。そしてシンガポールとマレーシアは、しばしば水の供給をめぐる対立している。というように、具体的事例については枚挙にいとまがない。これと比べれば、ヨーロッパの科学大国間の対立などは学校内の些細なけんかにはすぎないといえる。

アジアの研究コミュニティという名に値するものができあがれば、恐るべき存在になるだろう。また、米国フィラデルフィアに本社を置く引用分析サービスのISI社の調査によれば、アジア・パシフィック地域の研究者の手による科学

論文が全論文に占める割合は着実に伸びてきており、1990年には15%未満だったのが2006年には25%に達している。

この地域の研究者は特に物理科学が強い。例えばISIの調査対象となっている学術誌で発表された物理学論文に関する生の数値データによれば、同地域は、ヨーロッパをやや下回るものの、米国とは互角の戦いになっている。化学では、ヨーロッパと肩を並べ、米国をはるかに凌いでいる。工学では、3つの地域が接戦を繰り広げ、フォトンクスではアジアが圧倒的な優位に立っている。ナノサイエンスと材料科学では、同地域はヨーロッパと米国を合わせた数にほぼ等しい。平均でみた場合には、アジア・パシフィック地域からの論文は、確かに文献としての被引用回数は相対的に少ないが、この点でも他の2地域との格差は急速に縮まってきている。

アジア・パシフィック地域におけるNPGの在り方の変化は、同地域の成長を反映している。1990年の東京事務所には4人の社員しかいなかったが、現在では50人を超え、同地域は、全世界のNature購読者数の約6分の1を占めるに至った。Nature Photonicsの場合には編集長が東京に常駐し、Nature Nanotechnologyも編集者1名を東京に駐在させている。地域内でも数々の活動が行われており、6月にスタートしたウェブサイト『Nature China』は、中国で最もホットな研究成果を紹介することを目的としている。このような事業拡大は、すべて科学の世界におけるアジア・パシフィック地域の役割の増大を反映している。

しかし、この成長によって、アジアの研究者たちには、お互いを有望な共同研究者と見なす責務が課せられることになる。このようなことは、今まで必ずしもなされていなかった。シンガポールゲノム研究所のEdison Liu所長は今回の記念フォーラムで、アジア・パシフィック地域の科学者は共同研究について「欧米第一」の姿勢をなかなか崩さないと指摘した。

これには、いくつかの根深い理由がある。多くの科学者が、研鑽を積んだヨーロッパや北米の学術研究機関と強固

なつながりをもっていることが、その1つである。また、米国国立衛生研究所、パスツール研究所、ウェルカムトラストなど欧米の資金提供組織は、アジアの資金提供組織よりも国際的な視野をもって活動してきた。

よくいわれる権威の魅力も1つの役割を果たしている。近隣諸国と共同研究を行うよりも「ボストンとの共同研究のほうが、所属講座の教授に認めてもらいやすい」とLiuはいう。それに北京の研究者は、東京や、さらにいえば広州で起こっていることよりも、ボストンで起こっていることを知っている可能性が高いのである。

アジア・パシフィック地域の多くの科学者が取り得る前向きな取り組みの1つは、インターネット上での自身の認知度を高めることである。多くの科学者は、いまだに自分のホームページをもっておらず、もっていても基本的な連絡先や研究内容に関する記述がなかったり、更新が滞っていたりすることが多い。このことは、地球上で最もインターネット環境の充実した日本や韓国の科学者についてもいえる。

この問題は、同じ名字の人が多数いるという事実によって悪化することがある。例えば韓国では5人に1人が「Kim」という名字である。また中国でもこれと同じ問題がみられ、13億人が約100種類の名字のいずれかを名乗っている。この点を認識している中国政府は、子供が父親の名字に加えて母親の名字も名乗ることを慣例化させる制度の導入を検討している。

より大きなスケールでの研究者の取り組みとして、政治的緊張を回避し、真に質の高い地域の研究機関を設立するために大いに努力する必要がある。いくつかの研究機関が既に立ち上がっており、アジア・パシフィック分子生物学ネットワークが、その一例である。しかし、世界の科学者を対象とした調査の1つによれば、同ネットワークの認知度は欧州分子生物学機構に遠く及ばない。

共同研究の成功例はすでにいくつか出ている。例えば『Pan-Asian SNP Initiative（汎アジア一塩基多型イニシアチブ）』は、多様な分野の才能ある研究者を11か国から集め、ゲノムの種内変動解析を行い、アジア大陸全土でのヒトの移動パターンを詳細に調べた。

このほかにも地球温暖化といった共通の関心事によって、アジアの科学者の協力関係が緊密化すると考えられる。去る1月に韓国、日本、中国の科学担当大臣が韓国のソウルで会議を行い、有望な共同研究分野としてエネルギー、バイオインフォマティクス、災害の防止と軽減、伝統的な医学を挙げた。

もし、この3国が力を合わせることに成功すれば、アジア・パシフィック地域全体での共同研究の強力な牽引役となるだろう。これが将来的に拡大かつ深化し、近隣諸国の理解を進めることで、研究者に多くの恩恵をもたらすのは確実である。 ■

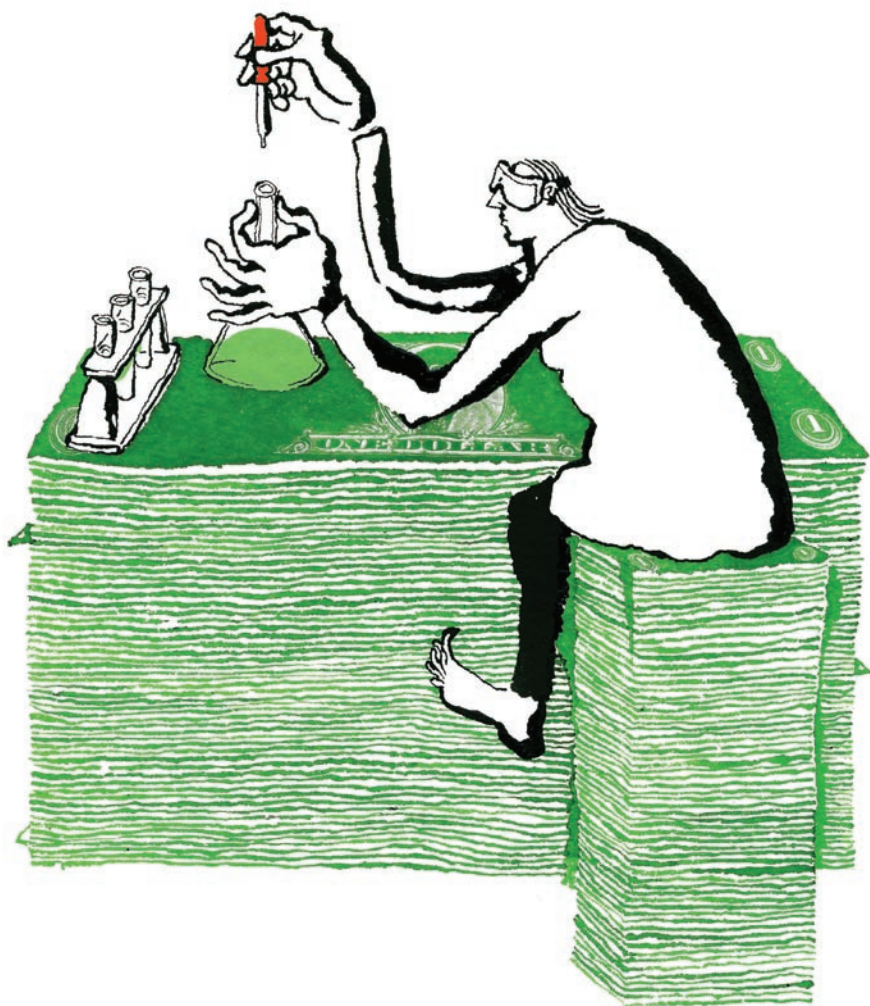


フォーラムのようす（上から、Natureのフィリップ・キャンベル編集長、理化学研究所の野依良治理事長、NPG ネイチャー アジア・パシフィックのデビッド・スウィンバンクス代表取締役社長兼CEO、シンガポールゲノム研究所のエディソン・リウ所長）。

STATE OF THE DONATION

慈善財団からの 研究助成金の現状

Nature Vol.447 (248-250) / 17 May 2007



裕福な慈善家や民間財団が生物医学研究に大規模な助成をするようになってきた。こうした助成金には、公的機関からの助成金にはない柔軟性がある反面、それゆえの新しい問題も生じてきている。Meredith Wadman記者がその実態を報告する。

B. MELLOR

米国ミズーリ州カンザスシティにあるストワーズ医学研究所に来たばかりの科学者は、桃源郷に迷い込んだような気がするかもしれない。大理石の床とすばらしい調度が目をひき、広大な庭園からは噴水の音が聞こえてきて心がやすらぐ。この豪華な研究所は、投資信託会社で成功を収めた同州の事業家Jim StowersとVirginia Stowersが、細胞生物学の基礎研究のために20億ドル(約2500億円)を投じて設立したものである。数十人の研究者が年間100万ドル(約1億2000万円)という潤沢な研究資金を与えられて研究に励んでおり、その成果は一流の論文誌にしばしば発表されている。

気前がよいのはStowersだけではない。慈善財団は昔から生物医学研究において重要な役割を果たしてきた。ワシントンDCにカーネギー研究所が誕生したのは1902年のことであつたし、1930年代から1940年代にかけてはロックフェラー財団が生物医学研究を積極的に支援していた。しかし、慈善家(およびその資金を分配するために彼らが設立した財団)が生物医学研究に助成する金額は、この10年間にかつてない規模まで増加している。

特に大きな影響力を誇るのは、世界中の人々の健康状態を改善するという理念をもつビル・アンド・メリンダ・ゲイ

ツ財団である。この財団は、2006年、億万長者の投資家Warren Buffetの資金を加えてさらに規模を増している。ほかにも数多くの寄付団体があるが、その多くはより基礎的な生物学研究に資金を提供している。米国の巨大なハーワード・ヒューズ医学研究所や、生物医学専門としては世界最大の慈善団体である英国のウエルカムトラストがこれにあたる。米国の国立衛生研究所(NIH)などの公的機関からの助成金では不足、研究資金を渴望している研究者たちが、こうした団体からの資金に群がっている。

新しい巨大慈善家は研究現場に影響を及ぼしており、その影響力は資金総

額よりもはるかに大きいとみられている。生物医学研究における新しい動きを主に研究しているアレリオン研究所（米国バージニア州）というシンクタンクのHamilton Mosesは、「民間財団の影響力は、提供している助成金の総額でははかれない。それは不釣り合いに大きいのだ」と話す。民間財団は、税金を投入するわけにはいかないような経済的・科学的リスクのある研究を支援することができ、事実、そのように運営されている。彼らは政府と企業との溝を埋め、助成金の用途を厳密に指示し、もたつきがちな政府省庁に比べて行動が早い。民間の慈善団体の運営者たちは、自分たちは公的機関よりも多くのすぐれた科学研究を支援していると考えているが、具体的な証拠はほとんどない。

民間財団からの研究資金も「ひもつき」だ。財団の中には、助成金を出す研究の方向をビジネスライクに管理し、研究者が苦痛に感じるほどの報告義務を課すところもある。将来、慈善団体からの寄付はこれまで以上に大きくなると予測されているが、一部の人々は、巨大慈善家が研究計画に干渉しすぎるようになることを懸念している。彼らは、生物医学研究の動向を左右するような多くの重要な決定が、財団の会議室で行われてしまうことを心配している。こうした決定にたずさわる人々は、科学の専門知識をほとんどもっておらず、市民の意見を広く求めることもなく、説明責任も負っていないからである。ジョージタウン公共政策研究所（米国ワシントンDC）の上級特別研究員であり、慈善団体問題の専門家であるPablo Eisenbergは、「世界の国の約70パーセントよりも大きな資産をもつ財団が、公的な議論や政治プロセスなしに、公的な政策や優先事項についての決定を行っているかもしれないのだ」と指摘する。

成果は助成額に見合うか？

非営利の財団や慈善家からの研究助成金が著しく増えていることは、さまざまな

データから読み取れる。例えばドイツのヘルティ財団（フランクフルト）は、2000年から今日までに神経科学を支援するために9000万ユーロ（約150億円）以上を使っているが、2000年までの25年間の総額は3000万ユーロ（約50億円）だった。

英国では、生物医学研究計画の半数以上が慈善団体から助成金を受けている。最も多いウエルカムトラストの助成額は10年ほど前には2億7000万ポンド（約680億円）であったが、昨年は4億8400万ポンド（約1200億円）に達した。米国では、活気のある株式市場や高齢で裕福なベビーブーム世代が、ここ10年の慈善寄付の増加を支えてきた。生物医学研究を支援することで、自分たちの子孫の健康を守れる可能性があるだけでなく、税制上もかなりの優遇措置を受けられるからである。

2005年にMosesらが行った研究によると、米国の生物医学研究に対する民間の非法人からの支援は、1994年から2003年の間に36パーセントも増加して25億ドル（約3100億円）に達したという（H. Moses et al. *J. Am. Med. Assoc.* **294**, 1333-1342; 2005）。「あらゆる種類の慈善的支援を含めると、今日ではおそらく50億ドル（約6200億円）を超えているだろう」とMosesは話す。米国では生物医学研究のために年間約1000億ドル（約12兆円）が使われてい

るが、バイオテクノロジー企業と製薬企業がその約60パーセントを出している。290億ドル（約3兆6000億円）のNIH予算を筆頭に、残りのほとんどが政府からの支援であり、慈善家や慈善団体からの支援は5パーセントにすぎない。それでも、米国の財団からの巨額の寄付とその影響力は、ウエルカムトラストとともに検討に値するものである。

Linheng Liは、ストワーズ研究所が2000年後半に開所した当初にその門をくぐった科学者の1人だった。当時、幹細胞研究者たちは25年にわたって造血幹細胞が潜んでいる骨髄の「ニッチ」を見つめようと努力してきたが、Liはその問題に決着をつけようと決意していた。そして2003年に、体外で幹細胞を成長させるのに役立つ可能性のある成果をあげ、マウスの造血幹細胞の物理的・生化学的環境について報告する論文を*Nature*に発表したのである（J. Zhang et al. *Nature* **425**, 836-841; 2003）。

同様の逸話は多く、巨大慈善家の気前のよい支援は、より多くの、より影響力のある科学的成果を生むとほのめかしている。しかし、それは逸話にすぎない。例えば、ハワード・ヒューズ医学研究所から研究資金を得ている研究者の生産性を、NIHから資金を得ている、同じ棟にいる同僚研究者の生産性と厳密に比較した調査はほとんどない。



米国のストワーズ研究所は、研究者に潤沢な研究資金を与えるがめざましい成果も期待している。

こうした評価はむずかしい。その理由の1つは、慈善団体からの研究資金のみに頼っている研究者や公的な研究資金のみに頼っている研究者がほとんどいないため、明確な比較ができないからだ。ウエルカムトラストのMark Walport理事長は、「支援の対象となる研究者の違いもある」と指摘する。ウエルカムトラストは若手科学者と発展途上国の研究基盤の整備に重点をおいて支援を行っている。「ウエルカムトラストの支援プログラムから得られた科学的成果と、英国政府の研究審議会の支援を受けた一人前の研究者があげる成果を比較することには意味がない」と彼は話す。

巨大慈善家たちはさまざまな方法で、自分たちが出している助成金の額に見合う科学的成果が得られているかどうかを判断している。例えばウエルカムトラストは、世界のサイテーションインデックス（引用度指数）を徹底的に調べて、引用回数の多い上位10人のマラリア研究者のうち5人と、上位10人の認知科学者のうち4人を支援していることを立証した。また、老化研究を支援しているエリソン医学財団（米国メリーランド州ベセズダ）は、受理したすべての研究助成金申請書の電子アーカイブを作り、引用回数などを基準として、同財団が支援した研究者と支援を断った研究者の影響力を今後長期にわたって分析していくことを計画している。さらに、同財団常任理事のRichard Sprottは、できるだけ多くの国内会議と国際会議に出席するようにしているという。「会議では、誰が最先端のエキサイティングな研究をしているかに耳を傾ける。それが、自分たちが支援している研究者だったら、私たちはうまくやっていると考える」とSprottは話す。

2000年からハワード・ヒューズ医学研究所を指揮しているノーベル賞受賞化学者Thomas Cechは、「私たちが支援する科学者が高い水準の成果をあげていることは、彼らが受けるさまざまな栄誉の数により証明されている」という。1994年から2007年の間に、ハワード・ヒューズ

研究所から支援を受けた研究者の89人が全米科学アカデミー（NAS）に選出され、7人がノーベル賞を受賞した。同研究所の計算によると、彼らが支援する研究者がNASに選出される可能性はNIHから研究資金を得ている米国の生物学者たちの10倍以上高く、ノーベル化学賞か医学・生理学賞を受賞する可能性は16倍以上高いという。「もっとも、私たちから支援を受けることで彼らの生産性が高まったのか、私たちが成功する研究者を選ぶのが上手なだけなのかを厳密に証明することはできないのだが」とCechは話す。

リスクを引き受ける

Eisenbergは、「すべての財団が、成功する研究者の選び方を知っているわけではない。頭が切れ、科学に精通している財団役員もいるし、そうでない者もいる」と指摘する。厳密な比較はなされていないため、「同じ金額で比べると、慈善家からの寄付による研究は、政府や企業から資金を受けている研究よりもすぐれた科学的成果をあげている」という主張を疑問視する人もいる。バージニア州アレクサンドリアにある医学研究支援団体「リサーチ！アメリカ」のMary Woolley代表は、「こうしたデータを全面的に信じるわけにはいかない」と話す。「NIHから研究資金を得てノーベル賞を受賞した研究者はたくさんいるのだから」。

慈善団体は、助成金を受けた研究者が確実に成果をあげるよう、大きな圧力をかけることがある。例えばストワーズ研究所では、上級科学者たちは5年間にわたって潤沢な資金提供を受けた後、その専門分野の指導的研究者から業績を評価されることになっている。ストワーズ研究所のBill Neaves所長は、「それぞれの分野をリードする研究者が、『この研究者はストワーズ研究所でこういった成果をあげ、この分野に対する人々の見方をこのように変えた』と、具体的に断言できるか否かということだけを知りたいのだ」と話す。研究所の設立以来、9人の上級科学者が査定を受け、そのうちの8人が合格した。

民間財団は、企業や政府省庁とは違って臨機応変に資金を出すことができる。企業とは違って株主やベンチャー投資家に対する責任を負っていないし、NIHなどの公的機関とは違って政治的・公的な監視を受けることもない。国立老化研究所の元所長でもあるSprottは、「私がNIHにいたころは、研究助成金について考えるときには常に、『これでワシントンポスト紙の一面に載れるだろうか？』と自問自答しなければならなかった」と話す。「このような考え方は、NIHを極めて保守的にしてしまう」。

NIHはElias Zerhouni所長のもと、この保守性と闘う野心的な取り組みを始めた。例えば2004年以来、Zerhouniはハイリスクな研究を行っている研究者に35件の「パイオニア賞」を与え、各受賞者に5年間で約250万ドル（約3億1000万円）の研究資金を交付している。しかし、慈善家にとってはリスクを引き受けることは特例ではなく、いつものことだ。「人並み外れた成功を収めた人は、リスクをおかして新しいことに挑戦する機会があるだけでなく、その義務も負っているのだ」とCechは話す。



莫大な資金：米国のPaul Allenはマウス脳地図を作成する計画に数百万ドルを提供した。

VULCAN/ALLEN INST. BRAIN SCI.

機敏か拙速か

ハーワード・ヒューズ医学研究所は最近、新しい試みとして、ワシントンDCの近くに複合研究施設「ジャネリアファーム」を5億ドル（約600億円）で建設した。昨年9月以来、トップレベルの科学者たちが、神経回路での情報処理の仕組みを解明しようと、ここで自由に研究を行っている。これまで研究者たちを元の研究所に在籍させたまま支援してきた同研究所にとっては新機軸の計画だ。

ジャネリアファームでは、研究者たちは小さなグループの中で研究を行う。終身在職権や外部からの資金はないが、米国の科学研究に特有の研究助成金の申請書の作成や講義や管理業務からは解放される。Gerry Rubin所長は、「最良の科学的成果を得るためには、金額もリスクも大きい投資をしなければならない。たとえ10件のプロジェクトのうち9件が失敗するとしても、このような投資は必要なのだ。私たちはここではベンチャー投資家なのだ」と話す。

巨大慈善家は行動も速い。2001年秋に米国の郵政公社が炭疽菌によるテロ攻撃を受けたとき、研究者たちはすぐに米国中の郵便局における炭疽菌のバックグラウンドレベルを知る必要があることを悟った。Sprottは、「NIHなら、この疑問に答える研究の助成金を申請し、資金が出るまでに2年から3年はかかっただろう」と話す。「私たちは世界最高の炭疽菌専門家に電話をかけて、必要な研究の計画を立てて実行してほしいと依頼することができた。こうして6か月以内に答えを得たのだ」。エリソン医学財団が援助する研究者は、ウシ、ヒツジ、ウマに感染する種類の炭疽菌株を15種類発見した。そのどれもが郵便で送りつけられた株とは違っていた。

一般に、新しい慈善家たちは小切手を書いて立ち去るようなタイプではない。彼らは、公的な研究資金では取り残されてしまう重要なはざ間を見つけてそれを埋め、さらにその研究が確実に行われるようにしようと心に決めている。Bill



リスクを冒す：米国のジャネリアファームは、研究者にとってもハーワード・ヒューズ医学研究所にとっても大胆な試みだ。

Gatesとともにマイクロソフト社を共同設立した、シアトルの億万長者Paul Allenの例をみてよう。Allenは2001年に、ゲノム学、神経科学、心理学の分野で、自分で見つけた最も優秀な人々を呼び集め、脳科学を変革するためには今何ができ、何をすべきかと尋ねた。そして2003年には、シアトルにアレン脳科学研究所を設立するため、妹のJody Allen Pattonとともに1億ドル（約120億円）の小切手にサインした^{*}。昨年、この研究所の研究者たちはアレン脳地図を発表した。これは、マウスの脳の中で数千の遺伝子がどこで活性化しているかを示す3次元地図だ。研究所によると、約800人の科学者たちがこの地図を毎日使っているという。

ポストドクを支援するための奨学金をほかの財団や企業に要請する活動をしているメリーランド州ボルティモアにある非営利組織「生命科学研究財団」のDonald Brown理事長は、Allenの財団と同じく、「あらゆる財団はその使命を達成することを願っている」と話す。

慈善家が明確な目的のもとに研究資金を提供することで、莫大な費用がかかる大規模なプロジェクトが迅速に実行されることになる。けれどもこれには批判もある。米国の慈善財団は毎年その資産の5パーセントを支出するように法律で義務づけられているため、一部の人々からみると、あまりに拙速に研究資金が提供



英国のウエルカムトラストのMark Walport理事長は、数億ポンドの研究資金を扱っている。

されることがあるからだ。巨大慈善財団は、その後援者や彼らが選んだアドバイザーの思いつきで研究資金を提供することができる。これは、政府の予算で大規模な研究プロジェクトを進める際に、科学者コミュニティとの徹底的な協議を経て初めて資金が与えられるのとはまったく違っている。アレン脳地図の場合、その研究資金が一流の研究者のグループに分配されていれば、神経科学にはるかに大きな影響を及ぼす成果が得られたはずだと不満をもらす研究者もいる。

もっと最近では、機敏に行動できる一部の財団が、NIHの予算凍結の埋め合わせをしたり、資金難にあえぐ研究者を救っ

たりするために奔走せざるをえなくなり、これが大きな負担になっている。一部の人は、財団の柔軟性がそがれるのではないか、財団がリスクを引き受けることを当てにされてしまうのではないかと心配している。Sprottは、「私たちの存在が政府を甘やかして、『政府がその金を出す必要はない。民間の慈善団体が出してくれるだろう』と思わせてしまっているのではないかと懸念している。それは私たちが望んでいることではない」と話す。

ボストンカレッジの「富と慈善活動研究センター」のPaul Schervishセンター長は、慈善家からの助成はこれからも増え続け、現在のポストドクが引退するころには、今とは比べ物にならないような額になっているかもしれないと考えている。彼と同僚のJohn Havensは、よく引用される1999年の報告書の中で、2052年までに米国の高齢者の資産から少なくとも6兆ドル（約740兆円）が慈善団体に寄付されるだろうと予測した。これを1年あたりの金額にすると、今日よりも年間約1000億ドル（約12兆円）多いことになる。現在のように、その約20パーセントが生物医学分野に流れるならば、かなりの金額になる。「慈善財団は大きく成長することになるだろう」とSchervishは予測する。

彼の予測どおりになるなら、巨大慈善家に頼り、彼らに対して責任を負う研究者は、ますます増えてくるはずだ。ストワーズ研究所の設立者はすでに、10年ごとに施設を5万6000平方メートルずつ拡張し、研究者を600人ずつ増やすという計画を発表している。しかし、今後豊富な資金が流れ込むことが予想される生命科学分野では、ストワーズ研究所はどこにでもある豪華な研究所の1つにすぎなくなっているかもしれない。 ■

Meredith Wadman は *Nature* のワシントン DC 駐在生物医学担当記者。

慈善団体についてはネイチャーのオンラインスペシャル (<http://www.nature.com/news/specials/philanthropy>) を参照。

★ *Nature* は「神経科学ゲートウェイ」でアレン脳研究所と提携している。

ビル・アンド・メリンダ・ゲイツ財団 (米国)

2006年の助成額: 9億800万ドル (約1100億円)

米国最大の慈善財団で、マイクロソフト社の収益と Warren Buffett 氏の投資資産の一部をもとにしている。上の数字は同財団の「世界健康プログラム」における研究活動への助成額と研究以外の活動への助成額を合わせたものである。

ハワード・ヒューズ医学研究所 (米国)

2006年の助成額: 6億9400万ドル (約860億円)

才能ある若者に惜しみなく奨学金を出すことで有名で、生物医学系慈善団体としては世界で2番目に多い資金をもつ。この研究所が設立したジャネリアファームキャンパスは、神経科学の研究室群に混じって遊技卓や運動器具やバブを備えていることを自慢としている。

ハイ・キューおよびCHDI (米国)

2006年の助成額: 5000万ドル (約62億円)

この2財団は姉妹関係にあり、ハンチントン舞踏病という命にかかわる遺伝性脳疾患の治療薬の開発を促すために、バイオテクノロジー企業の手法を借りて運営されている。

アレン脳科学研究所 (米国)

2006年の助成額: 1300万ドル (約16億円)

マイクロソフト社の共同設立者である Paul Allen は脳の神経回路に興味をもっている。彼が設立したこの研究所は、昨年、マウスの脳における遺伝子発現のオンライン地図である「アレン脳地図」を発表した。

クライブ・アンド・ベラ・ラマシオッティ財団 (オーストラリア)

2006年の助成額: 1300万オーストラリアドル (約14億円)

Vera Ramaciotti は1970年に、自分と兄弟の Clive が相続した劇場を売却して得た6700万オーストラリアドル (約72億円) を投じて、オーストラリア最大の生物医学専門慈善財団となる組織を設立した。

The money tree

世界の主な慈善財団

Nature Vol.447 (251) / 17 May 2007

慈善家や民間財団が生物医学研究に提供する資金はますます増えている。資金力と影響力が大きい財団の一部を Lucy Odling-Smee 記者が紹介する。

ウエルカムトラスト (英国)

2006年の助成額：4億8400万ポンド (約1200億円)

世界最大の生物医学系慈善団体。長年にわたって英国科学の救済者と見なされているが、アフリカや東南アジアなどの研究基盤の整備にも力を注いでいる。

フランス筋ジストロフィー協会 (AFM) (フランス)

2006年の助成額：6100万ユーロ (約100億円)

AMFは、フランスの遺伝病研究における主たる民間資金援助団体である。ヒトゲノム上に散在するマーカーの最初の地図を作成するための研究に資金を提供した。

ストワーズ医学研究所 (米国)

2006年の助成額：7300万ドル (約91億円)

がんを克服したJames StowersとVirginia Stowersは、投資信託会社により築いた資産を生物医学研究に投じた。20億ドル (約2500億円) でストワーズ研究所を設立したことに加え、昨年はミズーリ州での幹細胞研究を推進するための政治キャンペーンに1500万ドル (約19億円) 以上を提供した。

エリソン医学財団 (米国)

2006年の助成額：3600万ドル (約45億円)

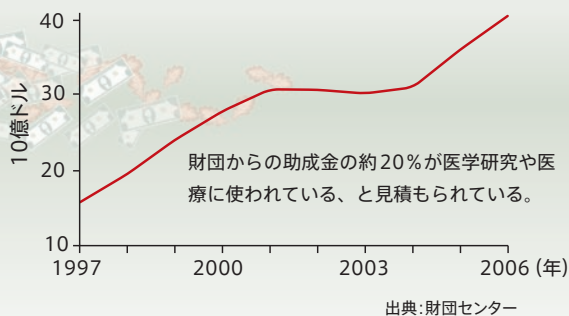
巨大ソフトウェア企業のオラクル社の最高経営責任者 (CEO) であるLarry Ellisonは、1994年にノーベル賞科学者Joshua Lederbergの研究室で2週間を過ごした。彼の資産の一部は今、老化研究者への資金援助に提供されている。

フォルクスワーゲン財団 (ドイツ)

2006年の助成額：560万ユーロ (約9億3000万円)

フォルクスワーゲン工場の売金で設立され、その資金力は欧州連合 (EU) でトップ10に入る。ここにあげた数字は生物医学研究に支出されている額である。ほかの財団が支援の対象としていない学際的研究も支援している。

米国の慈善財団からの助成総額の推移



Power games

環境にやさしいF1

Nature Vol.447 (900-903) / 21 June 2007



環境にやさしい自動車レースは可能だろうか？ フォーミュラ1（F1）を主催する国際自動車連盟（FIA）のMax Mosley会長は、一般車にも使えるエネルギー効率のよい技術の開発を支援していきたいと考えている。この取り組みをどのようにして進めていくのか。Andreas Trabesinger記者が取材した。

2007年6月10日、カナダのモントリオールで行われたフォーミュラ1（F1）グランプリレース。BMWザウバー F1 チームのRobert Kubicaが、ヘアピンカーブで競り合っていたトヨタのJarno Trulliを追い越そうとした。時速280キロメートル。その瞬間、Kubicaはレーシングカーのコントロールを失い、コンクリート壁に正面から激突した。跳ね返った車はコースに沿って宙返りし、それから停止した。車体はつぶれ、車輪は1つしか残っていなかった。驚くべきことに、車内から救出されたKubicaは軽い脳震とうを起こし、足首をくじいていただけだった。ここまで軽いけがですんだのは、F1

カーの安全性の向上と、F1を主催する国際自動車連盟（FIA）が安全基準の厳格化に努めてきたことの証である。15年前ならKubicaはほぼ間違いなく死んでいただろう。

モントリオールでのレースを含め、F1チャンピオンシップ（今年は全17レース）は、自動車技術を理性の限界まで推し進めるスリルを売り物にしている。こうした極限のレースにおいて、スピードの追求に歯止めをかけて分別のある競技にとどめることは至難の業だ。

FIAは、この責務を負っている。つい最近まで、FIAは主として、ドライバーの安全を確保しつつ、数万人のサーキット

の観客や数千万人にのぼるテレビ視聴者が満足するような刺激的なレースを見せることに心を砕いてきた。理性と興奮を強引に混ぜ合わせたようなこの競技は、時に思いがけない展開を見せることがある。FIAは昨年、F1の「グリーンアジェンダ（環境計画）」を発表し、100キロメートルあたり60～70リットルという大量のガソリンを消費するこのスポーツを、環境にやさしい一般車の技術開発を促進するための「触媒」に変えていくという計画を公表した。

Max Mosley（写真上）は、このグリーンアジェンダの舵取りをしている人物である。現在60歳代の彼は、ロンドンの

トラファルガー広場を見下ろすペントハウスで、2009年以降にFIAが達成すべき目標を思い描いている。英国のオックスフォード大学を物理学の学位を得て卒業し、続いて法律を学んだという経歴から、彼が自動車技術の専門家ではないことは明らかである。しかし彼は、1960年代半ばからドライバーおよびチームのオーナーとして自動車レースの世界で活動し、1990年代初めからFIA会長を務めている。環境にやさしい技術のために、F1にどのような貢献ができるのか？

Mosleyの展望は明快だ。一般車に活用できる技術、特に二酸化炭素の排出量を削減するための技術をF1で研究していくのである。

では、F1はどうやってそれを実現するのだろうか？ FIAには、毎年のチャンピオンシップの技術ルールを改定できるという強い権威があるが、これを利用するのである。FIAはこれまで、安全面への配慮から、エンジンの大きさなどを制限することによってエンジンの出力を抑えてきた。つまり、F1カーのエンジニアにとっての課題は、決められた大きさのエンジンから最大のパワーを引き出して、F1がサーキットで行われる最速のレースであり続けられるようにすることだったのである（コラム「F1のこれまで」を参照）。しかし今回、F1チームは2011年シーズンの開幕までに、決められた量のエネ

ルギーを最大限に活用するという新しい技術をもにしなければならないことになった。それ以降は、各レースで使える燃料の量も制限されることになる。

Mosleyはここで、F1カーと一般車との結びつきを意識している。彼はいう。「これはまさに自動車産業が解決しようとしている問題であり、世界全体が解決しようとしている問題なのだ。ひとたび、こう考えるようになれば、『なぜもっと早くからこのようにしてこなかったのか？』という疑問が出てくるかもしれない。その理由は、一般車メーカーがそれをしてこなかった理由や、一般の人々がそれを要求してこなかった理由とまったく同じだ。エネルギーがまだ非常に安いからなのだ」。

F1は、この10年間で一般車との関係を強めてきた。現在、レースに参加している11チームのうち6チームは、大手一般車メーカーが直接のスポンサーになっている。1997年の時点では、多くの一般車メーカーがエンジンなどの部品をF1に供給していたが、自身のチームをもっていたのはマクラーレン・メルセデスとフェラーリの2つだけだった。この状況が変化し始めたのは、一般車メーカーがF1を販売促進の舞台とみなすようになってからのことである。一般車メーカーの参入は、レース費用が資金力を超え始めていたF1側にとっても好都合だった。

F1チームの維持費は毎年数億ドルにのぼる。こうしたチームを所有することは、限られた者にしかできないぜいたくだ。30年前には変速装置1個を変えるにも新たな資金調達が必要だったが、今日のF1には一流スポンサーと広告から多額の資金が流れ込んでくる。

100万ドルで4ミリ秒

では、この多額の資金は何を成し遂げてきたのだろうか？ Mosleyによると、FIAが昨シーズンの終わりにエンジン開発を凍結するまで、エンジンの改良により短縮されるラップタイムは、開発費100万ドル（約1億2000万円）あたり平均4ミリ秒だったという。空気力学的性状の最適化により短縮されるラップタイムは、開発費100万ドルあたり20ミリ秒だった。Mosleyの意見は明快だ。「実に高度で驚くべき技術だが、まったく無意味だ。そして実生活と関係がない。なぜなら、こうしたエンジンは本質的に効率が悪いからだ」。参加チームは大規模な風洞、スーパーコンピューター、模型工房をもち、毎日24時間働いているが、それは既存の技術に磨きをかけているにすぎないとMosleyは指摘する。「私はこれをやめさせたい。本当に能力のある人たちが、世界全体が解決しようとしている問題に取り組むようにさせたいのだ。それはF1にとってもよいことだ」。

F1のこれまで



1950年代のF1

死者数：8人

エンジン排気量：1.5～4.5リットル
パワー：1958年時点で270馬力



1970年代のF1

死者数：10人

エンジン排気量：1.5～3.0リットル
パワー：1974年時点で485馬力



1990年代のF1

死者数：2人

エンジン排気量：3.0～3.5リットル
パワー：1997年時点で755馬力

Mosleyは、F1が取り組むことで一般車の役に立つだけでなく、F1の繁栄も確実なものにしてくれるような課題が2つあると考えている。1つは熱として失われるエネルギーを回収することであり、もう1つは制動（ブレーキ）により失われるエネルギーを回収することである。燃料から得られるエネルギーの約3分の2は、熱として排気ガスと冷却液を通して空気中に失われる。車を走行させるエネルギーは残りの3分の1にすぎず、この運動エネルギーの一部も、ドライバーがブレーキをかけたときに熱に変わって失われる。2009年からF1に導入される新しいレギュレーション（規定）により、各チームは制動により失われるエネルギーを決まった範囲で回収して車の推進力に使うことを許され、かつそれを強制されることになる。さらに、2011年か

ら導入されるレギュレーションでは、熱として空気中に失われる残り3分の2のエネルギーを回収するという、より困難な課題が待っている。

現時点では、制動により失われるエネルギーを回収することは許可されていない。F1カーが受ける極端な力のもとでこの技術がどのように機能するのかという懸念があるからである。この技術は運動エネルギー回収システム（KERS）とよばれている。ハイブリッドカーに乗っている人なら、「回生制動」という呼称のほうがわかりやすいだろう。現在のハイブリッドカーはガソリンエンジンと電気モーターの両方を備えており、ガソリンエンジンと回生制動のどちらでも電気モーター用のバッテリーを充電することができる。エネルギーはさまざまな形で貯えられるが、F1で実現する可能性が高い

のは、バッテリーやキャパシターを使って電気として蓄える方法かフライホイール（はずみ車）を使う方法だろう。

2009年のレギュレーションでは、車の燃料消費を直接制限することはしない。レース中の燃料補給もまだ許される。ここで運動エネルギーを回収できるようになることは、レーシングカーがパワーアップすることを意味している。余分な燃料を積むことなく（つまり重量を増やすことなく）、これまでより多くのエネルギーを使えるようになるからである。運動エネルギー回収システムには、貯えたエネルギーを使って車の性能を向上させられるという利点もある。特に、コーナーを出るときやほかの車を追い越すときの加速性能がアップすれば、よりエキサイティングなレースをファンに見せられるようになる。こうした点で、運動工

排ガスゼロの自動車レース

排ガスゼロの自動車レースは可能だろうか？ オランダのアムステルダムにある小さな企業が、水素燃料電池車による「フォーミュラゼロ」というレースシリーズを開催しようとしている。従来のエンジンとは違い、燃料電池は加圧タンクに貯蔵した水素燃料を空気中から取り入れた酸素と反応させてエネルギーを得るため、排出されるのは水だけだ。

フォーミュラゼロ計画は走り出したばかりである。工業デザインエンジニアのEelco Rietveldと環境コンサルタントのGodert Van Hardenbroekが会社を設立したのは2003年のことであり、2008年から2009年に水素を燃料にしたゴーカートのレースシリーズを開催することをめざしている。彼らは、すでにいくつかの大学チームを説得して燃料電池

ゴーカートを開発してもらい、重量500キログラム未満の燃料電池車でのFIA公認速度記録を打ち立てている。そのゴーカート（写真）は昨年、停止状態からスタートして200メートルを平均時速61キロメートルで走っている。

しかし、この会社は長期的にはもっと大きな目標をもっ

ている。自動車メーカーがフルサイズのレーシングカーで排ガスゼロ技術を披露するためのレースシリーズを開催したいと考えているのだ。Van Hardenbroekは、FIAが燃費の向上に力を入れ始めたことを歓迎する。「Max Mosleyはとても賢明な判断をした。世界はハイブリッドカーに向かう

だろうし、F1もそれを反映していくべきだ」。けれども彼は、燃料電池技術がガソリンエンジンと競えるようになる日がまだまだ遠いことも認めている。「F1が燃料電池に移行することは非常にむずかしいだろう。これはなだらかな道のりではないからだ」と彼は話した。

A.T.



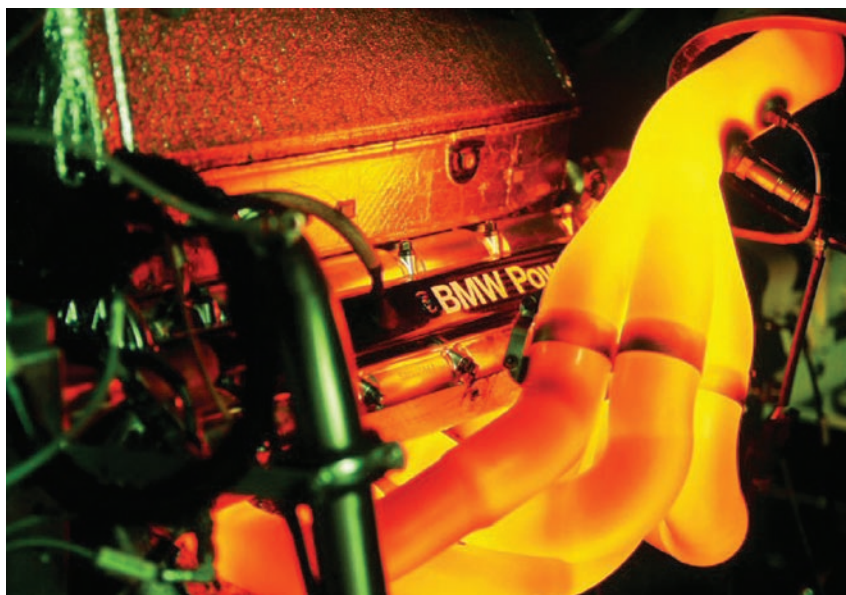
エネルギー回収システムはF1 エンジニアにとっても非常に魅力的なのだ。

電化するレーシングカー

FIAの「F1 マニファクチャラーズ(製造者) 諮問委員会」の委員長であり、BMW社の役員だったBurkhard Göschelは、FIAのグリーンアジェンダの「技術ブレーン」だ。彼は、ほとんどのチームはいわゆるスーパーキャパシター(エネルギー密度が極めて高く、エネルギーをすばやく貯蔵・放出できる蓄電器)か、リチウムイオンバッテリーを使った新しいバッテリー技術のどちらかの蓄電システムを採用するだろうとみている。

MosleyとGöschelは、自動車産業は長期的にはもっと電気を使うようになる予測している。「これからは自動車の電化が進むだろう。後戻りすることはない。F1は正しい方向に進んでおり、一般車もそのあとを追うことになるだろう」とGöschelは話す。彼は、F1が技術開発に取り組むことで、効率が高く、小さく、軽い電気エネルギー貯蔵システムが実現し、その過程で開発された技術は一般車にもすぐに応用できるはずだと考えている。例えば、燃料と電気のハイブリッドカーのバッテリーはまだ重すぎるし、蓄電装置に貯えたり取り出したりできるエネルギーの量は限られている。こうした問題は、設計サイクルが短く、性能の目標が高いF1で取り組んでいくのうってつけである。Mosleyは、レーシングカーのエンジニアたちはやり遂げると確信している。「エンジニアたちは『2年で準備します』というわけにはいかない。チームは『来週必要だ』というからだ。しかも、隣のピットのチームも来週、それを準備しているはずだからだ」。

では、F1は一般車と同じ方向に進んでいるのだろうか？ ミシガン州プレザントリッジの自動車情報ウェブサイトに「TheCarConnection.com」の運営者であり、1979年から自動車産業を見てきたPaul Eisensteinは、自動車産業が燃費改善という大きな圧力のもとにあることは間違いないが、消費者は車の大きさや性



高まる熱気:2011年以降、F1チームはエンジンの廃熱を再利用して車の性能を上げることが可能になる。

能について妥協しようとは思っていないと指摘する。「この点で、現実のハイブリッドカーは人々の期待に沿うものになっていない。コストは高いし、多くのモデルは、燃費も含めて際立った点がない。既存のハイブリッドカーのほとんどは、うたい文句ほどのものになっていないのだ。これはいい状況ではない」と彼は話す。

「ハイブリッドカーの次なる躍進は、電気モーターとガソリンエンジンの相互作用の効率を向上させることでなければならない」とEisensteinはいう。レーシングカーのエンジニアは、ハイブリッド技術にどのような貢献をするのだろうか？

「レーシングカー技術が一般車に応用されることは間違いないだろう。しかし、そのためにはコストや耐久性などの厳しい基準を満たさなければならない。今日、一般車向けの部品は少なくとも10万マイル(約16万キロメートル)の走行に耐えられることが期待されている」とEisensteinは指摘する。F1のために開発された技術が、一般車に求められる性能と耐久性をほどほどのコストで実現できるかどうかは、まだわからない。

廃熱を回収する

回生制動技術の改良はハイブリッドカーのエネルギー効率の向上につながるが、運

動エネルギーの回収は燃料から得られるエネルギーの3分の1についての問題にすぎず、熱として失われる3分の2のエネルギーも考えていく必要がある。Göschelは、「このエネルギーを回収することは魅力的だが、容易なことではない」という。F1カーは以前、エンジンの効率を上げるためにターボチャージャー技術を使っていた。これは、排気ガスでタービンを回し、その力で燃焼室に送り込まれる空気の流れを圧縮する技術であり、エンジンの燃焼効率を高めることができる。

ターボチャージャーは1980年代にF1の各チームで使われていたが、危険なほどエンジンのパワーを上げてしまうため、1989年に禁止された。2011年以降のFIAレギュレーションの改定で再び認められる可能性があるが、まだ詳細は決まっていない。F1が一般車向けのターボチャージャー技術に何をもらすかははっきりしない。一般車では、すでにディーゼルエンジン車から高性能スポーツカーまで、ターボチャージャーが広く使われているからである。

蒸気機関も

物理化学的プロセスを使って、廃熱を直接電気エネルギーに変える新しい方法も検討されているが、Göschelは、そうし

た装置の効率は非常に低いという。さらに先進的な技術としては、BMWが「ターボスチーマー」という名称で導入した蒸気タービンがある。F1カー向けの技術として蒸気機関が検討されるようになるなど、誰が想像しただろう？ ターボスチーマーはガソリンエンジンで生成した熱からパワーを得るため、力学的なエネルギーが熱から回収されることになる。これと似た「ターボコンパウンド」という装置は、排気ガスでターボチャージャーのタービンを回すだけでなく、排気ガスの流れの中のタービンも回して、得られたパワーを直接利用するか電氣的に貯蔵するものである。ターボチャージャーとは違い、これらの装置は一般車向けにも生産されていない。

F1のエンジニアたちは、こうしたルール変更をどのように見ているのだろうか？「チームはそれを歓迎してはいない。彼らが理解していることをやめさせ、理解していないことをやるように頼んでいるわけだから」とMosleyは話す。Göschelはより前向きな面を見ており、「エンジニアたちは、最初はいくら心配していたが、今では新しい技術に取り組むことに興奮を覚えている」と話す。ホンダレーシングF1チームのNick Fry代表は、ルールの変更が若いエンジニアたちの刺激となり、新しい技術が生み出されることを期待している。「これは、人や、学習することや、知的財産への投資なの



JEAN-FRANÇOIS GALERON / MAXPPP / NEWS.COM

だ。2週間ごとに観衆の前で技術開発の成果を披露しなければならない状況に身を置くことで、私たちは猛スピードで前進しようとしているのだ」とFryは話す。

社会の中で

エネルギーを効率よく回収できるようになれば、それで終わりなのだろうか？「F1は生物燃料に切り替えられるようになるかもしれない。それも2011年から」とMosleyは語る。「私たちは生物燃料を使いたいと考えている。問題はどれにするかだ。現時点ではあまりに多くの生物燃料システムがあるからだ。F1は、生物燃料を率先して選ぶことはせず、広く使われるようになったものを採用したい

と考えている。水素を使った燃料電池は、F1向けとしてはまだ検討されていないが、オランダの小さな企業が燃料電池車のレースシリーズを開催しようとしている（コラム「排ガスゼロの自動車レース」を参照）。さらにFIAは、年に一度の代替エネルギー車のカップレースを計画する代替エネルギー委員会も設けている。

Mosleyは、2009年10月に4回目の任期が終わるときにFIA会長を辞任するつもりでいる。それでは彼は、遺産のつもりでグリーンアジェンダに取り組んでいるのだろうか？彼はそれを部分的に認めているが、今日の環境への配慮は、彼が最初にFIA会長になったときにF1の重大事だった安全性への配慮と同じよう

二酸化炭素の排出を相殺する

自動車レースを主催する国際自動車連盟（FIA）は、1997年以来、F1チームがグランプリシーズン中に排出する二酸化炭素（レース中にレーシングカーが排出する分と、チームがレース会場まで移動するときに出す分）の相殺をめざす研究計画を支援してきた。FIAは、英国に本拠を置く慈善団体「FIA基金」を通じてスコレレデ計画を支援

している。これは、メキシコ南部の村落を援助し、持続可能な土地利用と生計の改善をはかることで、F1に参加する11のチームが1年間に排出する二酸化炭素（1997年時点で約2万トン）を相殺しようとする計画である。

この計画に助言をしている英国のエディンバラ炭素管理センターのRichard Tipper代表によると、2005年12月時点で、

チアパス州とオアハカ州にまたがる43村落の888人の農民が計画に参加しているという。

2006年にドイツで開催されたサッカーワールドカップなどのスポーツイベントとは異なり、FIAはレース会場に来るファンが排出する二酸化炭素を相殺していないので、F1全体でカーボンニュートラル（二酸化炭素排出量の完全な相殺）を

主張することはできない。FIA基金のDavid Ward理事長によると、今年はスコレレデ計画の有効性を検討し、F1チームによる二酸化炭素の排出量が1997年から変化したかどうか調べる予定であるという。今のところ、FIA基金にはカーボンニュートラルをめざす計画はない。

A.T.

なものだと考えている（コラム「二酸化炭素の排出を相殺する」を参照）。「環境問題は安全問題といくらか似ている。私たちが安全問題に取り組んだのは、だれも殺したくはなかったし、傷つけたくもなかったからだ。けれどもまた、1960年代のようにドライバーが死ぬことを社会が許さなくなっていたという事情もあった」とMosleyは話す。1960年代には毎年1人のF1ドライバーが死んでいた。「同様に、私たちが環境問題に取り組む理由も2つある。私たち自身が環境

問題に取り組みたいと思っているだけでなく、社会もそれを求めているのだ」。

F1は将来、「環境にやさしいスポーツ」といわれるようになるのだろうか? 「ファンがそれを歓迎するかどうかはわからない」とMosleyはいうが、理性と興奮が両立不可能であるとは考えていない。彼は、二酸化炭素の排出と燃費に対する人々の関心がこれまで以上に高くなって、スピード感があり、パワフルで、しかも燃費がよかったF1に魅了され続けていてくれることを願っている。ルール変

更の影響については、Mosleyはおおむね実利的に考えている。「技術的に面白ければ楽しいし、社会に貢献できるならいいことだ」。とはいえ、F1が生き残るためには一般の人々の支持が必要不可欠だと彼は考えている。「何よりも大切なのは、F1をますます魅力的で面白いものにしていくことで、人々が有料で楽しみ続けてくれるようにすることだ」。

Andreas Trabesinger は、*Nature Physics* のアソシエートエディター。

Gas exchange: CO₂ emissions 1990-2006

首位交代: 1990～2006年のCO₂排出量

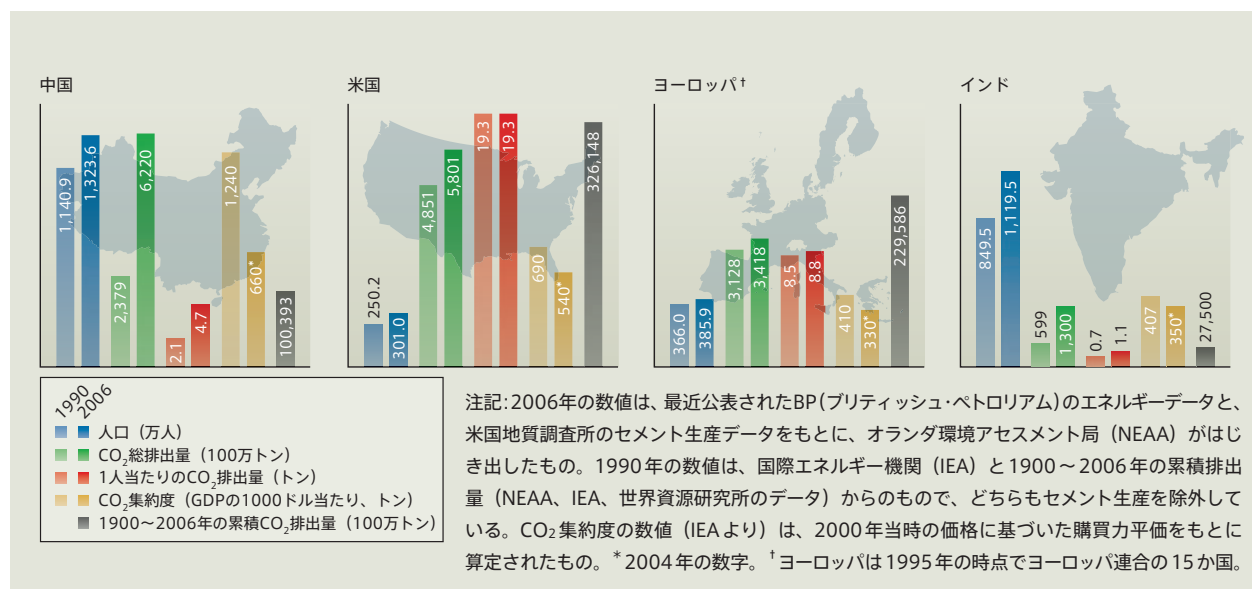
Nature Vol.447(1038)/28 June 2007

オランダ環境アセスメント局が6月下旬に出した予備報告によると、中国は化石燃料の燃焼とセメントの製造のため、米国を抜いて世界一の二酸化炭素排出国となった（現在、世界の新しいセメントの44パーセントは中国で製造されている）。そこで、CO₂排出量が世界最大級の国々、

もしくは経済圏の比較を見てみよう。

国民1人当たりでみれば、米国はいまだに炭素を最も浪費する経済圏として他を大きく引き離しており、歴史的にみて大気中へのCO₂蓄積に対し圧倒的に最大の関与をしてきた。国内総生産（GDP）に対するCO₂排出量、つまり炭素集約

度（carbon intensity）の点からみると、中国が最悪となる。1990年以降、炭素集約度は4つの経済圏すべてで低下しており、中国での低下ぶりが最も顕著である。しかし、経済成長率に対する世界のCO₂総排出量は1990～2006年の間に35パーセント以上も上昇した。



Forests frozen in time

化石の森

Kirk R. Johnson

かれこれ3億年以上も前に、地震のせいで1つの森が海面下に沈み、たちまち埋もれてしまった。短時間のうちに起こったこの出来事のおかげで、大昔に失われた生態系の姿を広大な空間スケールでとらえることができる。

Nature Vol.447 (786-787) / 14 June 2007

植物の化石には大昔の生態系や気候について実に多くの情報が隠されているが、こうした情報の多くはなかなかうまく取り出せない。植物は生きている最中にも死後にも各部分分散するからである。しかも、器官がすべて見つまっているわけではないため、絶滅した分類群の多くは記載報告がまだ十分になされていない。しかし、植物に根のついた状態であれば、植物がその場で土砂などに埋もれた可能性があり、移動可能な生物の場合には決して得られない空間や生態に関する情報が残されていることになる。

Geology 誌で DiMichele たち¹ は、大きな自然災害によって1つの森が埋もれるという、大昔の異例の出来事について報告している。米国イリノイ州バーミリオン郡にある炭鉱の坑道の天井で、森の化石が見つかったのである。DiMichele たちは、この炭鉱を調査して、石炭紀後期の1000ヘクタールを超える面積の森の植生を記録した。こうした綿密なデータをとったことで、DiMichele たちは、3億700万年前の森について小規模と大規模の両方の空間パターンをマッピングして、生態的な傾度（連続的な変化のようす）を統計的に解明することができた。

植物体の各部分が地面に散らばって落ちると、土壌生物によってすみやかに回収・再利用され、数か月も経たないうちにこれらの生物の体を構成する成分になる。したがって、大昔の植物の化石が良好な保存状態で見つかるということは、土壌内で起こる分解過程を経ないで急速に埋没したことの直接的な証拠である。

このことから、植物の化石は陸上化石の中では時間平均が最も小さく、大昔の生態系や気候に関して高精度のデータを得る格好の手がかりとなる。急速な埋没はさまざまな経緯で起こりうる。今回のイリノイ州の森は海岸近くの沼地にあったが、局所的な地殻変動によって沈下し、植物体がそのまま保存されるのに十分な速さで、林床が海水位まで下がった。この種の沈下の速度は測定がむずかしいが、DiMichele たち¹によれば、炭鉱内でみられる素晴らしい保存状態からみて、沈下には2カ月もかからなかったはずだという。

植物群落が短時間で埋もれて保存される、わかりやすいもう1つの事例として、火山噴火による降灰や泥流がある。実際、植物化石が見事な保存状態で見つかる化石産出場の多くは、化石生成に火山灰堆積がかかわっていたとみられている。例えば Wing たち² は、およそ7170万年前の白亜紀後期の草原を横断する、4キロメートルの長さのトランセクト（帯状に横断する標本地）について報告している。この草原の化石は、火山灰からなる2〜4メートルの厚さのスラリー（微小な固体粒子が液体中に混じった泥状のもの）中に保存されていた。この例では、木本の植物群だけでなく草本の植物群も、もともとあった場所に根を張った状態で見つかった。Wing たちは、この植生を土壌に従ってマッピングし、水はけのよい場所ほど草本の被子植物がよく見られるが、沼地に近づくほどシダ類やソテツ類が多くなる傾向があることを明らかにした。

こうした「ポンペイ遺跡の植物版」には、放射性年代測定に適した媒質中に化石が保存されているという、おまけの利点がある。火山灰層は、サニディンもしくはジルコンの結晶を含むことが多い。これらの結晶は噴火の直前にマグマ溜りで形成され、サニディンは放射性カリウムを、ジルコンは放射性ウランを捕捉している。したがって火山灰層の植物化石群は、いかなれば「化石の時計」といっしょに埋もれているのである。年代測定技術の精度が上がるとともに、もともとあった場所で堆積した堆積物の年代の決定能も上がっている。質量分析機器や実験慣行が改良・向上してきたため、この2、3年の間にエラーバー（誤差を表示したバー）が短くなってきており、2シグマ統計水準での誤差は、0.5 パーセントから0.1 パーセントへとゆるやかに低下し、研究室によっては0.05 パーセントかそれ未満になろうという例もある^{3,4}。

EARTHTIME^{5,6}は、研究室間の数値のばらつきを狭めることで得られた数値を統合したり、各種の年代測定法（特に、放射年代測定のウラン-鉛法とアルゴン-アルゴン法）の精度の違いを理解したりすることを目的とした国際プロジェクトである。この精度が上がるのと相まって、天文学的な時間スケールで2万2000年のミランコビッチ周期（地球の公転軌道の変動によって生じる）がとらえられるようになりつつある⁷。全体としてみれば、およそ1億4500万年も前の白亜紀初めに起こった出来事の年代を、10万年単位や100万年単位どころか100年単位という高精度で直接測定できるようになるものと期待される。これで得られた200～300年の枠から次に、瞬間的な堆積を示す堆積学的な証拠によって、ある出来事の年代を2、3か月かそれ以内の期間までピンポイントで正確に絞り込むことができるだろう。

DiMichele たち¹は、見つけた森の化石がほとんど瞬間的に埋まったことや、保存状態が見事なこと、面積が広大であることを活かして、太古にあった1つの景観全体にさまざまな高木種がどのように分布していたかを統計的に解析した。石炭紀の降雨林を構成していた高木の主要分類群は、現在見られるような主要分類群とはまったく異なっていた。例えば、石炭紀の降雨林で最大級の高木だった小葉植物類は、木生シダや絶滅したシダ種子類、コルダボク類（針葉樹に近縁な絶滅種子植物）、有節類（現生のトクサに近縁な高木）といった森林下層の上に伸びていた（図1）。今回の解析によって、大昔に姿を消したこうした森林の生態が復元可能なこと、そして、景観スケールでの生態の勾



図1：沼地にて。DiMichele たち¹が今回報告した、米国イリノイ州バーミリオン郡の炭鉱にそっくり保存されていた森に似た、小葉植物類の森の復元図。これらの森の大木（ときには高さ40メートルを超えた）は、林床に日光が差し込んだことを示す、まばらな樹冠や光合成を行う樹皮といった特徴を備えていた。（絵はJ. Vriesen と K. Johnson による。文化庁のデンバー支所から許可を得て転載。）

配から局所スケールでの森林の不均質性（多様性）を読み取れることがわかったのである。

植生が気候と動的平衡状態にあることを示す明快な証拠は得られており⁸、一部の気候変動は10年未満の時間スケールで起こりうるということが明らかになりつつある⁹。数時間から数か月の期間で埋もれた化石群が見つかり、気候変動は数十年で起こり、地質年代の分解能は日ごとに向上している。こうした状況の中で、我々は「地質時代」という言葉の当てはまらない世界に足を踏み入れつつあり、また、急速に起こった出来事を実時間で解読するためのツールを作り上げようとしている。古生物学者と地質年代学者が新たに手を結ぶことで、数億年前に起こった出来事の変化の速度に対する考え方は大きく変わってしまうだろう。大昔に起こった出来事だからといって、起こるのに長い時間がかかったわけではないのだから。

Kirk R. Johnson、デンバー自然科学博物館（米）

1. DiMichele, W. A., Falcon-Lang, H. J., Nelson, W. J., Elrick, S. D. & Ames, P. *R. Geology* **35**, 415–418 (2007).
2. Wing, S. L., Hickey, L. J. & Swisher, C. C. *Nature* **363**, 342–344 (1993).
3. Storey, M., Duncan, R. A. & Swisher, C. C. *Science* **316**, 587–589 (2007).
4. Furin, S. *et al. Geology* **34**, 1009–1012 (2006).
5. Kerr, R. A. *Science* **302**, 375 (2003).
6. www.earthtime.org
7. Kuiper, K. F., Wijbrans, J. R. & Hilgen, F. J. *Terra Nova* **17**, 385–398 (2005).
8. Webb, T. *Vegetatio* **67**, 75–91 (1986).
9. Alley, R. B. *Quat. Sci. Rev.* **19**, 213–226 (2000).

原子間力顕微鏡で半導体表面の原子を観察、元素を同定することに成功

森田 清三

半導体デバイス上では複数の元素が混在しており、さらなる機能アップのためには、ドーパントとなる不純物元素の同定や原子位置の制御が課題となっている。大阪大学大学院工学研究科の森田清三教授らのグループは、原子間力顕微鏡 (AFM) を用いて元素を同定する方法を開発、原子の制御によるボトムアップのナノテクノロジーへの道を開いた (*Nature* 2007年3月1日号で発表¹)。AFMによる原子の識別と移動の分野で、世界のトップを走る森田教授に今回の成果について聞いた。

原子間力顕微鏡 (AFM) による新しい測定法を開発

Nature Digest — 今回の成果はAFMの新たな可能性を示すものですね。

森田 — AFMはシリコン製の探針が材料の表面をなぞることで表面の原子を調べる顕微鏡ですが、探針先端の形や組成、丈夫さの影響を強く受けるため、データの再現性が得られないといわれてきました。一方、半導体などの機能をもつナノ材料やナノデバイスには通常、複数の元素の原子が混在し、それらの原子どうしが結合して結晶を作るときには、原子のいちばん外側にある最外殻電子だけが結合に関与します。そうすると最外殻電子は性質が変わり、元素の性質が覆い隠されてしまうため、最外殻電子では既存の方法による原子の識別ができません。また、結晶の表面は表面緩和^{*1}や表面再構成^{*2}によって原子の位置が変わるため、原子を識別するのはもともとむずかしいことなのです。しかし、私たちはAFMによる実験を繰り返すうちに、探針と表面の原子の最外殻電子どうしが極限に近づいたときに現れる化学結合の最大引力は、同じ探針で2種類の元素を測定したときに一定の比になることを見いだしました。スズや鉛のさまざまな試料を何度測定しても、シリコンとスズの比は77%、シリコンと鉛は59%となったのです (図1c)。今回の発見によって、探針先端の形や原子種によらず、AFMで最外殻電子を見ることで原子を識別できることが明らかになりました。今のところ化学結合の最大引力の比が一定になるのを確認したのは、シリコンとスズ、シリコンと鉛、シリコンとインジウムの原子の組み合わせです。さらに、3元素以上を均等に混在させて識別ができることを確認したのは、シリコンとスズと鉛の組み合わせだけです。

ND — 開発されたAFMと従来のAFMとの違いは何でしょうか？

森田 — AFMの開発当初 (1986年ごろ) は表面に探針を接触させ、凹凸で原子を識別する方法でしたが、それでは表面が破壊されるため、次に、弱い力で表面に周期的に接触させ、斥力を働かせるタイプが登場しました。1995年からは非接触で弱い引力を測定し、原子を識別するタイプが使われています。私たちのAFMは表面に触るか触らないかぐらいの疑似接触でシリコンの探針と試料中の原子の化学結合力を測ります。疑似接触の状態では、温度や振動の変化でAFMが揺れたり、探針の位置が変わったりすると原子に接触してしまうため、探針と原子の距離の制御が大きなポイントとなります。そこで我々は、アトムトラッキングという技術を開発しました²。これは特定の原子で探針の位置を合わせ、探針の位置がずれると自動的に戻る技術です。この技術を室温で使うAFMに初めて取り込み、装置の安定性を高めました。これによって精密なデータが取れるようになりました。AFMで複数の元素を混ぜた試料の原子の識別をしようとする技術と、アトムトラッキングとが組み合わせられて、新しいAFMの測定法を編み出すことができたわけです。

原子を移動させて文字を描く

ND — 原子の識別や操作の研究の発端はどんなことだったのでしょうか？

森田 — このような構想をもったのは、1992年ごろです。IBMがニッケルの基板にキセノン原子を並べて「IBM」と世界初の原子の文字を描いて発表し、世間を驚かせました。しかし、ほんとうは多くの元素を混ぜて自由自在に新しいナノ材料やナ

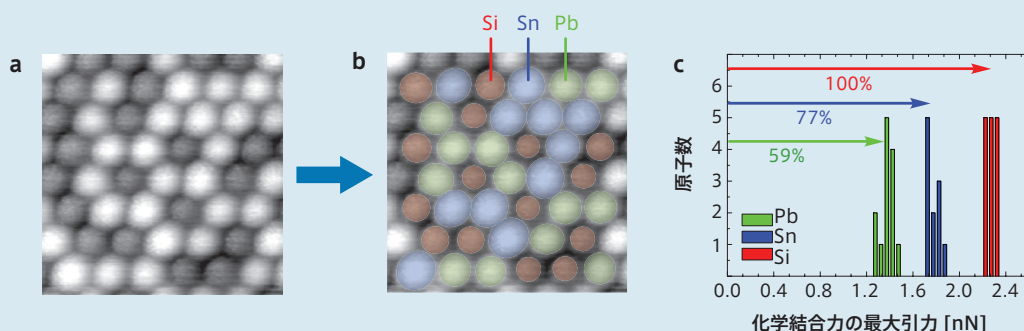


図1 シリコン基板上に埋め込まれた鉛原子とスズ原子にシリコン製の探針を極限まで近づけると、シリコン原子との化学結合力の最大引力の違いによって元素を特定することができる。aはAFMの画像で、個々の原子の化学結合力の最大引力から、bのように区別できる。化学結合の最大引力の分布はcのグラフのようになり、2種類の元素間で測定したときの一定の比 (シリコン:スズ:鉛=100:77:59) との比較から元素が決定できる。



森田清三（もりた・せいぞう）／大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻教授。理学博士。専門は表面工学。1948年、和歌山県生まれ。1970年、大阪大学理学部物理学科卒業、1975年、同大学大学院理学研究科博士課程修了。1975～1987年、東北大学電気通信研究所に所属、助教授を務めた後、岩手大学工学部電子工学科教授、広島大学理学部物理学教授、同大学理学部附属微晶研究施設教授、同施設長を歴任。1996年、大阪大学工学部電子工学科教授、1998年同大学大学院工学研究科電子工学専攻教授を経て、2005年から現職。

大阪大学大学院理学研究科では川村肇教授に師事し、半導体の光吸収を研究。東北大学電気通信研究

所時代には超伝導体素子のテラヘルツ応答を研究していた。テラヘルツ波の遠赤外レーザーを照射する際、2つの超伝導体の点接触によるショート为避免にトンネル構造にするため、間に絶縁体を入れる方法を世界で初めて考案。1985年ごろに走査型トンネル顕微鏡（STM）に出会い、顕微鏡作りを始め、超高真空技術や表面処理を学ぶ。その後、原子間力顕微鏡（AFM）の空気中の応用研究に移り、広島大学では摩擦を研究、原子レベルでは摩擦は動くのを止める方向だけでなく、直角方向にも動き、2次元で動くことを発見。また、ミクロな帯電における帯電や電荷の散逸のしくみを解明した。現在は超高真空中のAFMの研究に移り、装置だけでなく試料作製までも手がけ、原子の識別や操作を研究している。

ノデバイスを作れるのが理想です。そのためにはどうしたらいいかを考えたのです。当初、走査型トンネル顕微鏡（STM）^{*3}を使いましたが、絶縁体も扱える顕微鏡でないといけなと考えてAFMに変えました。もともとSTMやAFMは試料表面の凹凸の差から原子を区別するものですが、その後、3元素以上の混在試料や立体構造の試料の識別には凹凸以外の方法が必要だということがわかりました。そこからこの化学結合を使う方法を探し出すまで、15年かかりました。

ND — 原子の動きは温度の影響を大きく受けますが、最初から室温で研究されたのでしょうか？

森田 — 当初は世界のほかのSTMの研究グループと同様、極低温で高い電圧による電界蒸発を使って実験していました。室温だと熱ドリフト^{*4}もあり、また、半導体のような活性の強い原子では電界蒸発のような強い力をかけないと動かせないと考えていたためです。IBMの発表の翌年には、日立がSTMで高い電圧をかけて原子を蒸発させる電界蒸発の実験を成功させています。基板からイオウ原子を抜くことによって、イオウ原子の抜けた孔を、文字を描くのに利用したわけです。この実験をAFMで再現して調べていたところ、学生がときどきその高い電圧よりも低いところで原子が抜ける現象が起こるといってきました。これは高い電圧による電気的方法以外にも原子を動かす条件がある可能性を示すもので、電圧をかけずに実験を続けました。そうすると斥力で原子がはじかれて抜けたり、引力で引き抜かれたりする力学的方法で原子を動かせることがわかってきました。そして、力学的に原子を抜いてできた孔にその原子を落としたり、原子を横に動かしたりできるようになったのです。

その後、室温で2種類以上の原子を埋め込んで凹凸で識別しようとしていました。するとまた別の大学院生が、ときどき異種の原子が入れ替わって動いているように見えるといってきました。私たちには、欠陥のない表面では原子は引力と斥力でぎゅうぎゅう詰めにされて、動けないという意識が強かったのですが、ある程度AFMの探針が表面に近づくと異種の原子が入れ替わって動くことがわかったのです。この動きには熱エネルギーが関与しており、室温でこそ見られる現象でした。そして、スズ原子を1個ずつ玉突き的にゲルマニウム原子と交換しながら、9時間かけて120回交換し、ゲルマニウム原子に埋め込んだスズ原子で元素記号の「Sn」という文字を描きました³。室温で埋め込んだ原子を動かしたのも、埋め込んだ原子で文字

を描くのも世界で初めての成果です。我々の技術は1ピコメートル（ 10^{-12}m ）単位の仕事で、原子の100分の1くらいの大さを制御していることになります。

100年計画のナノテクノロジー

ND — 今後の課題や抱負をお聞かせください。

森田 — 私たちが研究に使っているAFMは手作りで、その精度は私たちしか実現できないと自負していますが、化学結合力の差が小さい原子番号の近い元素の識別を可能にするにはさらに装置の性能を上げる必要があります。また、今後何年ものかかるでしょうが、元素ごとのデータベースを作りたいですね。さらに3つ以上の元素を混ぜて、特定の元素を特定の位置に移動させて立体的なナノ構造をつくる技術も開発したいと考えています。金属やイオン結晶のような絶縁体でも研究を進めます。原子の識別はできると予測していますが、原子の交換現象はむずかしそうです。絶縁体の混在する表面を作る方法にはあまり先行研究がなく、苦労しているところです。もう1つ大きな目標にしているのが、AFMによる分子や高分子の作製です。いずれはそれらを組み立てて動くものを作りたい。いわば100年計画です。ナノスケールの原子の世界は「未開の新大陸」です。“Think globally, manipulate atom locally”を合言葉にボトムアップの技術を考案するのが楽しみです。

ND — ありがとうございます。 ■

聞き手は小島あゆみ（サイエンスライター）。

^{*1} 表面緩和
表面の結晶構造の2次元的な対称性は保たれたまま、結晶表面の原子の垂直方向の間隔がゆるやかに広がる変化をさす。

^{*2} 表面再構成
表面を安定化するために、表面の結晶構造の2次元的な対称性が固体内部と異なり、結晶表面の原子の水平方向の間隔が広がる変化をさす。

^{*3} 走査型トンネル顕微鏡（STM）
探針を導電性の物質の表面に近づけ、流れるトンネル電流から表面の原子レベルの電子状態、構造など観測する顕微鏡。ただし、絶縁体は扱えない。1982年にGerd BinnigとHeinrich Rohrerによって開発され、彼らは1986年にノーベル物理学賞を受賞した。

^{*4} 熱ドリフト
STMやAFMでは探針や試料、またそれぞれの位置を保持する構造材の材料や長さが異なるため、温度の変化による熱膨張の差が探針と試料の相対位置の変化を引き起こす。これを熱ドリフトとよぶ。室温では、昼と夜の温度差やエアコンのオン・オフが大きな熱ドリフトを引き起こす。

1. Sugimoto, Y. et al, *Nature* **446**, 64 - 67 (2007)
2. Abe, M. et al, *Applied Physics Letters* **87**, 173503-1-173503-3 (2005)
3. Sugimoto, Y. et al, *Nature Materials* **4**, 156 - 159 (2005)

光が当たると伸び縮みするフォトクロミック結晶の開発に世界で初めて成功

入江正浩

光を当てると色が変わることで知られるフォトクロミック分子。今回、立教大学理学部の入江正浩教授らの研究チームは、光の照射によって色の変化だけでなく、伸び縮みしたり、曲がったりするフォトクロミック単結晶を世界で初めて開発した。ナノサイズで物を動かすアクチュエーターとしての応用が期待されるこの成果は、*Nature* 2007年4月12日号で発表された¹。入江教授に開発の経緯やその意義、今後の展望などについて話を聞いた。

光反応で色が可逆的に変化する有機化合物

Nature Digest — フォトクロミック分子とはどのようなものですか？

入江 — 特定の波長の光を受けることによって、物質の色が可逆的に変化する現象を「フォトクロミズム」といい、そのような性質をもつ低分子の有機化合物がフォトクロミック分子です。私たちが20年ほど前に発見し²、開発を続けてきた「ジアリールエテン」とよばれるフォトクロミック分子群では、紫外線を当てると、氷砂糖のような無色の結晶が赤色や青色、黄色、緑色などに変わります（図1）。光エネルギーを吸収して分子中の化学結合の一部が組みかわり、吸収スペクトルが長波長側、つまり可視光域にシフトするからです。具体的には、中央の3つの二重結合の部分が開環構造から閉環構造の異性体（6員環）へと変化するのですが、可視光を照射すると再び元の開環構造に戻るため、無色になります。紫外線を受けたときの色がさまざまなのは、分子中の置換基の種類の違いに依ります。世界中でさまざまなジアリールエテン誘導体の合成が進められており、今では300種以上が知られています。

ND — ほかにどんなフォトクロミック分子があるのですか？

入江 — フォトクロミズム現象を起こす分子は自然界にも存在しています。例えば、植物の光形態形成に働く光受容体フィトクロムにはテトラピロールが、動物では目の光受容体ロドプシンにレチナールが含まれています。これらの分子は光を受けて異性化することによって、生体内に光が入ってきたことを知らせる役割を担っているのです。人工物での発見の歴史は古く、すでに1867年には、テトラセンにおいて最初のフォトクロミズム現象が発見されています。

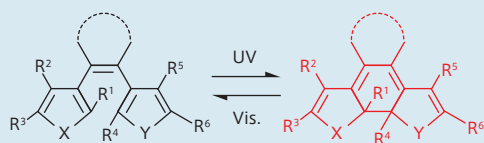


図1：ジアリールエテン単結晶の紫外光・可視光照射による着色・脱色と化学式。結晶だけではなく、ジアリールエテンをトルエンなどの有機溶媒に溶かした溶液や、濾紙に染み込ませたものでも、まったく同じように色が変わります。

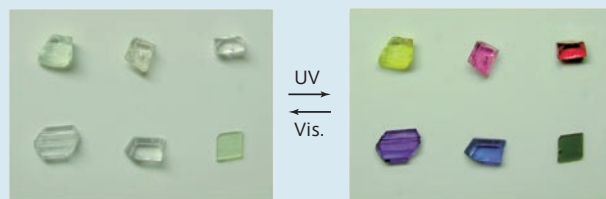
その後、20世紀前半には染料合成の際の副産物として、フルギド、アゾベンゼンやスピロベンソフランなどが偶然に発見されました。これらは誘導体の合成も容易で、サングラス用の調光レンズとしてすでに応用されていますが、不安定で耐久性に乏しく、信頼性に欠けるという問題があります。しかしジアリールエテンは、熱安定性（室温で47万年安定）や耐久性（着色・脱色が1万回以上可能）、感度（光反応の量子収率100%）が高く、色の変化速度も10ピコ秒以下（ピコは 10^{-12} ）というすぐれた特長をもっています。

ND — どのような応用が考えられますか？

入江 — 単一分子光メモリとして使える可能性があります。フォトクロミズムの反応は、1分子を単位として生じるため、各分子に独立に光情報を蓄え、取り出すことができると考えられます。2002年に私たちは、反応に伴って蛍光強度の変わるジアリールエテンを合成し、分子1個1個を区別して、オン・オフの書き込みや読み出し動作の確認に世界で初めて成功しました³。これを用いると原理的には、DVD100万枚分の情報がたった1枚の光ディスクに入ることになります。「ストレージ技術における高密度化のロードマップ」によると、現在、1平方インチ当たり数ギガ（ 10^9 ）ビットの記録密度が、2030年には1ペタ（ 10^{15} ）ビットになると予想されています。このような究極の大容量光メモリが、ジアリールエテンで可能になるかもしれません。

テニスラケットでボールを飛ばすような動きをする結晶

ND — さらに今回、ジアリールエテンで結晶が変形することを発見されました。



立教大学 入江正浩



図2：ジアリールエテンの棒状結晶（長さ約300μm）に紫外光を当てて屈曲させ、シリカの微粒子（黒い球、直径80μm）を飛ばしているようす。棒状結晶の下側部分は固定されており、そこが支点となって動かない。



入江正浩（いりえ・まさひろ）／立教大学理学部化学科教授。九州大学名誉教授。工学博士。専門は光化学・分子工学。1944年、京都府生まれ。1966年、京都大学工学部高分子化学科卒業。1968年、同大学大学院工学研究科博士課程修了。同年、北海道大学助手。1978年大阪大学産業科学研究所助教授。1988年、九州大学機能物質科学研究所教授。1996年、九州大学工学部（大学院工学研究科）教授。1997年～2002年、科学技術事業団戦略的基礎研究推進事業（CREST）「完全フォトリソミック反応系の構築」プロジェクトリーダーを務め、2007年4月より現職。

最初の論文は、ESRを用いた溶媒と電子の反応

に関する研究。その後、放射線化学から光化学へ研究分野を移し、光により溶液物性あるいは固体物性が可逆的に変化する「光応答性高分子」の基本概念を提案し、合成高分子が静的構造材料としてのみならず動的応答材料としても有用であることを初めて示した。1980年代後半に「ジアリールエテン」分子を発見し、現在は、このフォトリソミック分子の顕在、潜在能力の開発と応用展開に努めている。1988年に高分子学会賞、1993年に光化学協会賞、1995年にフランスLVMH財団よりダヴィンチ賞、2004年に日本化学会賞、2007年には向井賞を受賞。2003年にフランス・ボルドー大学より名誉博士号を授与される。

入江 — はい。「フォトメカニカル機能」といって、光に反応して、微小な結晶全体が伸び縮みしたり、曲がったりするジアリールエテンを開発することができました。数百nm～0.5mm角程度の結晶に紫外線を当てると、結晶を構成する分子間の相互作用力が影響を受け、系全体がより安定な状態へ移行するため、5～7%の割合で縮み、可視光を当てると元の大きさに戻ります。反応速度は約25μ秒。長さ約300μmの棒状結晶をテニスラケットのように使い、微小なガラス球を打たせる実験にも成功しました（図2）。2001年の時点で、原子間力顕微鏡測定によって結晶表面が少し動くことがわかっていましたので⁴、結晶をもっと薄く小さくすれば、系全体が動くのではないかと考えたのです。この研究の意義は、分子レベルでの変形をマクロな可視レベルでの動きにまで拡大する手法を明らかにしたことにあります。同様のことが生体では、ATP-ADP変換エネルギーによる筋肉の動きとして現れますが、人工物での成功例はこれまでありませんでした。

ND — どのようなものに応用できるのですか？

入江 — これらの結晶は、光によって歪むことから「光歪素子」と名づけることができます。電歪素子、つまり電圧を加えると微小に屈伸する素子はこれまでも知られていて、MEMS^{*1}などに広く利用されていますが、光歪素子の例は少なく、分子結晶としてはこれが初めてです。光歪素子の大きなメリットは配線を必要とせず、光を当てただけで遠隔操作ができることです。極微小領域でメカニカルな仕事をする光駆動アクチュエーターとして期待されます。

ND — 今後の方向性をお聞かせください。

入江 — 私は今年の春に九州大学を定年退職して立教大学へ移り、現在新しい研究室を立ち上げているところです。立教大学では、今回発表した分子結晶のフォトメカニカル機能に関する研究をさらに深め、ナノレベルでの分子の変形をマクロな世界のメカニカル機能につなげる仕組みを分子レベルから明らかにしたいと考えています。前述のように生体ではいともたやすい「動く」ことが、人工物では実現していません。これまでもちえなかったこの「動く」というメカニカル機能を合成有機分子材料に与え、それを応用展開することがこれからの夢です。また、フォトリソミズム研究の裾野を広げ、若い研究者の参入を促し、日本のこの研究分野をさらに強くする「特定領域研究」を推進することも考えています。フォトリソミズム研究は、単一分子光メモリや光駆動アクチュエーターのほか単一分子電導スイッチ、光演算素子などの分子素子、機能性光学材料、光記録、表示材料など、多彩な分野へ発展を続けています。

研究にまつわる3つの言葉

ND — 若い研究者の方々へ、何かメッセージをお願いします。

入江 — 私がこれまでの研究生活で気にとめてきた3つの言葉があります。まずセレンディピティ。予期せぬことから重要な結果を得ること、あるいはその能力という意味に使われますが、とくに実験を必要とする分野の研究では、必ずこのようなチャンスにめぐり会えます。それを見落とさずに育てることが、創造的な研究への道を拓くことになります。実はジアリールエテンも、光で性質を変える高分子材料の合成を研究しているときに偶然に発見したもののなのです。セレンディピティで何かを発見している研究者は多いと思いますが、それをピックアップしてうまく一般化するという操作があって、初めて先に進めるのです。その操作が成功するかどうかは、その人がどれだけの基礎知識をもっているかに依ります。基礎知識が少ないと、せっかく発見しても小さくしかまとまりません。

ND — 偶然に発見したものをしっかり取り上げて、大きくできるかどうかのポイントなのですね。

入江 — 次はNIHルールです。NIHはNot Invented Here（ここで発明されたものではない）、つまりオリジナルな研究しか認めないことを意味しています。企業はともかく、大学の研究者には大切なことだと思います。また、米国にはPublish or Perish（論文を書かない学者は消滅する）という言葉があります。しかし、私が留学したドイツでは、断片的な研究内容を論文で小出しに書くのではなく、研究の総体として本を書くことのほうが重要視されます。本を書くということは、1つの分野を新しく作るということを意味し、それくらいの高い志をもって仕事をせよということなのです。研究が職業となったのは、それほど古いことではありません。その職業に就けた幸せを常に心にとどめて、頑張ってくださいね。

ND — ありがとうございます。

聞き手は北原逸美（Nature Digestのエディター）。

* 1 MEMS

Micro Electro Mechanical Systems（マイクロ電気機械システム）の略でMEMSと読む。微小な機械部品、センサー、アクチュエーター、電子回路などを1つのシリコン基板上に集積化したデバイスを指す。半導体の微細加工技術を駆使して作製され、加速度センサーなどの各種センサー、検査測定装置、インクジェットプリンターの微小ノズルなど広く応用されている。

1. Kobatake, S. et al, *Nature*, **446**, 778-781 (2007)
2. Irie, M. et al, *J. Org. Chem.*, **53**, 803 (1988)
3. Irie, M. et al, *Nature*, **420**, 759-760 (2002)
4. Irie, M. et al, *Science*, **291**, 1769-1772 (2001)

映画やアニメのキャラクターのフィギュアを好んで収集する人は、かなりの数に上ると思われます。堂々と自分が「オタク」だと公言する人もいれば、こっそりと部屋に数え切れないほどのフィギュアを大切に陳列している人もいることでしょう。

しかし、多くのフィギュアが長持ちするプラスチック製だと

はいても、新しいままの状態を半永久的に保てるわけではありません。プラスチック作品を展示している博物館でも、近年、展示品の劣化が始まっているようです。劣化を防ぐにはどのような対策をとればいいのか、読んでみましょう。

NEWS news@nature.com

語数: 677 words 分野: 高分子化学

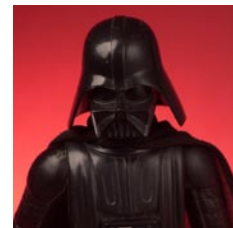
Published online: 25 May 2007 | doi:10.1038/news070521-12

Plastics for posterity

How do you prevent valuable collectors' items from degrading?

<http://www.nature.com/news/2007/070521/full/070521-12.html>

Katharine Sanderson



- Many environmentalists would tell you that plastics, such as those that litter our oceans and landscapes, last for ever. But ask the collectors and museum curators who have gathered at London's Victoria and Albert Museum this week, and they will say the opposite.
 - They have met to discuss ways to prevent damage to culturally important plastic objects such as museum pieces and collectibles — created to last for ever, but doomed to degrade if not properly cared for.
 - Compared with paintings and sculptures, plastics have a short cultural history. But some plastics are now more than a century old, and preservation of some ageing items is becoming a headache. "You can't prevent degradation; you can only slow down the process," says Yvonne Shashoua from the National Museum of Denmark, Copenhagen.
 - Polyvinyl chloride, or PVC, is one of the big problems. "It is one of the plastics used the most in society," Shashoua says. Plastic figurines from cult movies such as Star Wars can attract whopping price tags if sold in pristine condition, but the Force isn't strong enough to keep the plastic from inevitable degradation.
 - The trouble arises from the plasticizing additives used to prevent the PVC from turning out brittle. These plasticizers generally belong to a class of chemicals called phthalate esters and are only attached physically, rather than chemically, to the PVC polymer chain. Over time, this weak attachment breaks down and the plasticizers leak out to the surface of the material.
 - If the phthalate esters are exposed to an acidic environment — such as that present in many packaging materials — they form crystals of phthalic acid. And eventually that pristinely cared-for Darth Vader doll will end up with these crystals growing out of his famously fearsome black helmet, which rather ruins the effect. "Culturally, the figurines look a lot different if they've got a white head," says Shashoua. Not surprisingly, this reduces their value both commercially and culturally.
 - The best way to prevent such objects from deteriorating is to store them in a household freezer, Shashoua advises.
- Role for charcoal**
- Other common plastics include cellulose acetate and cellulose nitrate. The artist Naum Gabo made several cellulose acetate sculptures, renowned glass artist René Lalique worked with cellulose nitrate in the 1920s, and early plastic dolls were made from cellulose nitrate. Both of these plastics degrade via an unstoppable chain reaction, which is initiated by light. "When I found out I immediately had the windows in the plastics gallery masked out," says Susan Mossman, plastics curator at the Science Museum in London.
 - Mossman is investigating the extent to which adsorbent materials placed with plastic exhibits

Black to white

affect degradation. **Charcoal cloth**, for example, has a huge surface area and can take up gases given out during the degradation process — including nitric acid or acetic acid, depending on the polymer. These **by-products** can themselves **catalyse** the polymer-breaking reaction in a process called **autocatalysis**.

10. The gases are easy to detect, says Amy Anderson from the National Trust's Museum of Childhood in Sudbury, UK. "You can smell a **great waft of** acids as you open the exhibiting case," she says.
11. Removing the emitted by-products from the system can therefore **halt** autocatalysis. Mossman also suggests that the main mechanism by which charcoal cloth slows the plastic's degradation is by removing oxygen from the system. Others say that

the charcoal is more likely to be simply absorbing anything that is given off — including the acids.

12. One thing is clear: the problem of preserving plastics objects is not easy to solve, and the responsibility to maintain these preservation steps will fall to curators, says Mossman. "It requires good **housekeeping**," she says.
13. Shashoua agrees that plastics conservation is not **set to** get any easier, even with developments in new manufacturing processes. "Plastics made today are still made to last a particular length of time. We'll see the same problem when those plastics are old enough," she says. In the meantime, it might be worth renewing the insurance on your irreplaceable original Darth Vader before he starts to lose both his **menace** and his value.

Science key words

4. **Polyvinyl chloride : ポリ塩化ビニル (PVC)**
一般的なプラスチックの一種で、塩化ビニル樹脂ともいう。塩化ビニル $\text{CH}_2=\text{CHCl}$ を付加重合させて合成され、柔らかくするための可塑剤（下記参照）と劣化を防ぐ安定剤を加えて利用される。熱を加えると軟化する性質（熱可塑性）がある。プラスチック消しゴムやレジ袋などの日用品から建築材料に至るまで、幅広い用途に使用されている。しかし近年では、焼却処理に伴うダイオキシンの発生源の1つとみられているため、製品への使用を控えるメーカーが増えている。
5. **plasticizing additives : 可塑剤**
同じ段落の **plasticizers** も同じ意味。PVC などの熱可塑性合成樹脂に添加して、柔軟性や耐候性を改良する薬品類。
5. **phthalate esters : フタル酸エステル**
後述のフタル酸のエステル化合物の総称。PVC に使用される可塑剤として利用されているが、環境ホルモンへの関心が高まる中、食品中などに溶け出すことで人体に与える影響も取り沙汰されるようになった。また、フタル酸エステルの一部には、シックハウス症候群の原因物質の1つと考えられているものもある。

5. **polymer chain : 高分子鎖**
複数の単量体が結合して鎖状になることによってできた高分子化合物のこと。
6. **phthalic acid : フタル酸**
化学式 $\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOH})_2$ で表されるベンゼンジカルボン酸。3つの異性体がある。
8. **cellulose acetate : 酢酸セルロース**
セルロースの酢酸エステル。丈夫で、柔軟性、遅燃性、耐久性のある熱可塑性物質。磁気テープやアセートレーヨン、食品包装フィルムなどに用いられる。耐薬品性、耐熱性、耐燃焼性にすぐれており、また、天然のセルロースを原料とした、人体や環境にやさしい樹脂として近年注目されている。
8. **cellulose nitrate : 硝酸セルロース (ニトロ・セルロース)**
セルロースを硝酸と硫酸の混合物で処理して作られる硝酸エステルの総称。白色で、着火すると激しく燃える。ラッカー塗料や火薬、セルロイドなどに用いられる。
9. **catalyse : 触媒作用を及ぼす**
触媒作用 (catalysis) とは、特定の物質がそれ自身は消費されることなく、特定の化学反応を促進させる現象のこと。catalyse はその動詞形。9. の **autocatalysis** は「自己触媒反応」「自触媒現象」のこと。

Words and phrases

- タイトル **posterity** : 「後世」「子孫」
リード **degrading** : 「劣化すること」
3. の **degradation** は名詞形。 7. の **deteriorating** も同じ意味。
1. **litter** : 「散らかす」「汚す」
 2. **collectibles** : 「収集品」
 2. **doomed to** : 「～となる運命にある」
 4. **figurines** : 「小さな像」
 4. **whopping** : 「とてつもなく大きい」
バーガーキング社の Whopper (ワッパー) は、「とてつもなく大きい (ハンバーガー)」という意味が込められている。
 4. **in pristine condition** : 「新品同様の」
pristine はもともと「原始の」「元の状態の」という意味だったが、「新品同様の」「未使用の」という意味でも使われるようになった。
 4. **the Force** : 「フォース」

- 映画『スター・ウォーズ』に登場するジェダイの力の源泉。
4. **inevitable** : 「不可避の」「避けられない」
 5. **brittle** : 「もろい」
 6. **white head** : 「白にきび」
 8. **renowned** : 「有名な」「著名な」
 8. **chain reaction** : 「連鎖反応」
 8. **initiated** : 「開始される」
 9. **adsorbent materials** : 「吸着剤」
 9. **Charcoal cloth** : 「炭布」
 9. **by-products** : 「副産物」
 10. **a great waft of** : 「～の強い香り」
 11. **halt** : 「中止する」「止める」
 11. **housekeeping** : 「手入れ」
 13. **set to** : 「(今後) ～ (といった状態) になる (ことに決まっている)」
 13. **menace** : 「脅威」

Published online: 25 May 2007 | doi:10.1038/news070521-12

プラスチック作品を後世に残す

どうすれば貴重なコレクターズアイテムの劣化を防げるだろうか。

<http://www.nature.com/news/2007/070521/full/070521-12.html>

キャサリン・サンダーソン



- 多くの環境保護論者は、地球の海や景観を汚しているプラスチックは、その姿を永久にとどめることになるというだろう。けれども、今週ピクトリア・アルパート博物館（英国ロンドン）に集まったコレクターや博物館学芸員に質問すれば、これとは反対の答えが返ってくるだろう。
 - この会議の目的は、博物館の所蔵品や収集品になるような文化的に重要なプラスチック作品の損傷を防ぐ方法を議論することにあった。これらの作品は、その姿を永久にとどめるべきものとして制作されたが、適切な手入れをしないと劣化する運命にあるのだ。
 - 絵画や彫刻と比べれば、プラスチックの文化史は短い。それでも、なかには1世紀以上の年月を経ているプラスチック作品もあり、年代物の作品の保存は頭の痛い問題になってきている。「劣化を防ぐことはできません。遅らせることしかできないのです」。こう語るの、デンマーク国立博物館（コペンハーゲン）のYvonne Shashouaである。
 - ポリ塩化ビニル（PVC）は大きな問題の1つである。「これは、世間で最もよく使われているプラスチックの一種です」とShashouaはいう。『スター・ウォーズ』のようなカルト・ムービーの登場人物をかたどったプラスチック製のフィギュアは、コンディションがよければとんでもない高値で取り引きされるが、強大なる「フォース」をもってしても、プラスチックの宿命である劣化から逃れることはできない。
- 黒いヘルメットが白くなる**
- 劣化の原因は、PVCの脆化を防ぐために用いられる各種の可塑剤にある。こうした可塑剤は、一般にはフタル酸エステルに分類される化学物質であり、PVCの高分子鎖と化学的に結合することなく、物理的にのみ結合している。そのため、時間が経つと、この弱い結合が壊れてきて、材料の表面に可塑剤が漏れ出してくる。
 - 多くの梱包材の内部は酸性になっている。フタル酸エステルがこうした酸性環境に置かれると、フタル酸の結晶が析出する。だから、ダースベイダーのフィギュアを手つかずのまま大切に保管していても、いつかはあの有名な恐ろしい黒ヘルメットにフタル酸の結晶が出てきて、その印象を台無しにしてしまうのだ。「文化的にいうと、フィギュアに白にきびができる、感じが大きく変わってしまうのです」とShashouaはいう。当然のことながら、これによってフィギュアの価値は商業的にも文化的にも低下する。
 - プラスチック製フィギュアの劣化を防ぐには家庭用冷凍庫で保管するのがいちばんだ、というのがShashouaのアドバイスである。
- 炭が果たす役割**
- このほかに頻繁に用いられるプラスチックとしては、酢酸セルロースと硝酸セルロースがある。芸術家ナウム・ガボは、酢酸セルロース製の彫像をいくつか作った。ガラス工芸家として名高いルネ・ラリックは、1920年代に硝酸セルロースで作品を制作している。初期のプラスチック人形も、硝酸セルロースで作られていた。どちらの素材も光によって始まり、止めることのできない連鎖反応によって劣化する。「これを知ったとき、私はすぐにプラスチック製品の展示室の窓を覆いました」。こう語るの、科学博物館（英国ロンドン）のプラスチック担当学芸員のSusan Mossmanである。
 - Mossmanは、プラスチック製の展示品のそばに吸着剤を置いた場合に劣化のようすがどの程度変わってくるかを調べている。例えば、炭布は表面積が非常に大きく、プラスチックの劣化の過程で放出されるガス（高分子の種類に応じて硝酸や酢酸を含んでいる）を吸収することができる。このような副産物は、それ自体が高分子分解反応を触媒する。これを自己触媒過程という。
 - ナショナルトラスト子ども博物館（英国サドバリー）のAmy Andersonは、「ガスの存在はすぐにわかります。展示ケースを開くと、強い酸のにおいがするのです」という。
 - したがって、系から放出される副産物を除去すれば、自己触媒反応を止められることになる。これに対してMossmanは、炭布を置くことでプラスチックの劣化が遅くなるのは、系から酸素が除去されることが大きいのではないかと提案している。また、炭布は酸を含めて系から発せられる物質を片っぴら吸収している可能性が高いとする意見もある。
 - 「1つははっきりしているのは、プラスチック製品の保存に関する問題の解決は容易でなく、こうした保存作業の励行は学芸員の責任だということです。十分な手入れが必要なのです」とMossmanは話す。
 - たとえ新たな製造法が開発されても、プラスチックの保存が簡単になることはないだろうという点では、Shashouaも同じ考えだ。「今日製造されているプラスチックも、耐久性には限界があります。このようなプラスチックも、一定の年月を経れば、同じ問題が起こるのです」と彼女はいう。そういうわけで、二度と手に入らないダースベイダーのオリジナルフィギュアを持っている人は、その威嚇的な風貌と価値が損なわれないうちに保険契約を更新しておくといいかもしれない。

ライフサイエンス研究職キャリアセミナー

日本と海外におけるライフサイエンス業界の今と未来

基調講演：

「ライフサイエンス業界における人材採用の近況と今後の変化」 福島信弘（サイエンス・テクノロジー・システムズ株式会社）

「研究者の多角的なキャリアパス提案」 ダグラス・シップ（理化学研究所）

「研究職の国際的なキャリア構築方法」 パベル・デルガド（株式会社オークアソシエイツ）

企業講演：

「若手研究者のキャリアアップを支援します」

株式会社スタッフジャパン テクノサイエンス事業部

「オークアソシエイツを体験しよう」

株式会社オークアソシエイツ

「トランスサイエンスグループの取り組みと最近の求人動向について」

株式会社トランスサイエンス・キャリア



日時：平成 19 年 9 月 7 日（金）9：25-17：00

会場：財団法人修養団 SYD ホール

参加費無料（定員 200 名）

NPG ネイチャー アジア・パシフィックは株式会社エーイー企画と協同でキャリアセミナーを開催致します。ライフサイエンスの分野に特化した人材企業 3 社が出展し、企業が求める人材情報から仕事のスキルまで個別面談を行います。また、3 名の講師をお招きし、ライフサイエンス研究職のキャリアパス、転職や就職に関する講演を行います。現在求職、転職活動中の方、自分のスキルを生かしてキャリアアップをご希望の方、国際的なキャリアについて情報収集の方はふるってご参加ください。

尚、当セミナーに参加ご希望の方は、事前にオンライン参加登録をしてください。ご希望人材企業との面談予約が可能です。

キャリアセミナーの詳細はこちら：www.natureasia.com/jobs/careerseminar



TRANS-SCIENCE CAREER INC.
株式会社トランスサイエンス・キャリア



株式会社スタッフジャパン
テクノサイエンス事業部



株式会社エーイー企画



nature asia-pacific

Natureだからお届けできる「質の高い情報」

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

Natureならではの質の高い、面白い記事をお楽しみいただけます！

最近Natureに掲載されたニュース、論文を日本語に翻訳しました。分野も幅広く、宇宙・天文学、地球科学、物理から環境、医学、生命科学、バイオテクノロジー、コンピューター等の記事が1冊に集約されています。

日本オリジナル編集記事

Nature本誌にはないからこそ、是非Nature Digestで楽しみください。

日本人著者も世界的に偉大な研究発表を数多くしており、新聞等のメディアで、それらの記事を多くの方が目にしています。そのような研究や、論文を発表した研究者にNatureがインタビューを行い、日本の研究をお伝えしていきます。

News
科学ニュース

Special Report
特別レポート

Highlight
論文ハイライト

Business News
ビジネス・ニュース

News Feature
科学ニュース 読み物

news@nature.com
Natureオンラインニュース

Japanese Author

日本人科学者へのインタビュー記事

Natureに論文を発表した日本人研究者にインタビュー。研究者をめざす人への有意義なメッセージをお伝えします。



英語でNature

Natureの記事を、単語やフレーズの解説に加えて、どのように読んだらいいか、読解のポイントも紹介するセクション。毎回少しずつレベルアップしていくので、科学英語を学ぶ教材としても使用できます。



Japanese News Feature

日本の科学ニュース

鳥インフルエンザや地震、宇宙開発、幹細胞など、日本のさまざまな科学ニュースを独自取材し、わかりやすく紹介します。



News and Views

科学論説

Editorial
社説

Author

論文著者のプロフィール

Research Highlights

リサーチ・ハイライト

Nature Digest定期購読お申込みはこちらから

www.naturejpn.com/digest-f07