

nature DIGEST

日本語編集版

JUNE 2007

VOL. 04, NO. 6

6

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

20 years

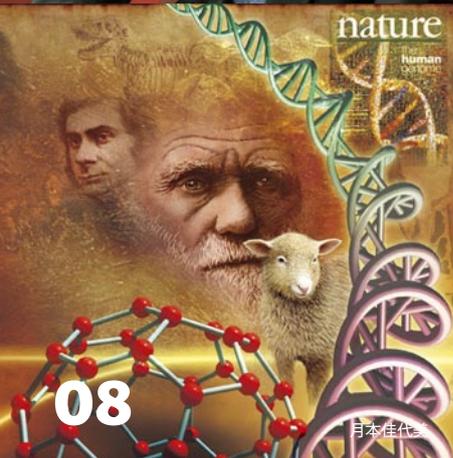
NPG ネイチャー アジア・パシフィック設立 20 周年記念特別号

科学誌の新時代へ



nature asia-pacific

Established 1987 as Nature Japan K.K.



科学誌の新時代へ

HIGHLIGHTS

02 vol. 446 no.7138, 7139, vol. 447 no.7140, 7141, 7142

AUTHOR

05 マイクロ流体工学で、液体中の微小質量測定分解能を飛躍的に向上させる — Scott Manalis



SPECIAL 20th ANNIVERSARY FEATURES

07 *Nature*とともに20年

デイビッド・スウィンバンクス

08 創刊138年、*Nature*の輝ける軌跡

冬野いち子

12 日本からアジア・パシフィックへ

デイビッド・スウィンバンクス、中村康一、アントワーン・ブーケ

16 新事業へのチャレンジ

オリバー・グレイドン、アイ・リン・チュン、ニック・キャンベル、大西進

18 この20年の科学、その偉大なる発展を振り返る

Part 1 — 物理科学分野

竹内薫

24 この20年の科学、その偉大なる発展を振り返る

Part 2 — 生物科学分野

水谷治央

特別インタビュー

29 21世紀に科学の向かうところ — 野依良治

冬野いち子

33 ネットワークを生かした研究推進をめざして

デイビッド・スウィンバンクス

今月号はページ数を通常の2倍に増量した特別編集版です。

EDITORIAL

- 37 南アフリカのエイズ抑制計画

NEWS@NATURE.COM

- 38 果物 vs ビタミン C 剤
39 モーツァルトを聴いても頭はよくなるらない

BUSINESS NEWS

- 40 医薬品管理をめぐる中国の深刻な問題
David Cyranoski

NEWS FEATURE

- 42 透明マントの使い道
Katharine Sanderson
45 ゴアの軍隊
Amanda Haag

JAPAN NEWS FEATURE

- 48 夢の新素材、カーボンナノチューブの
実用化研究が加速
北原逸美

SNAPSHOT

- 53 天にも昇る心地

NEWS & VIEWS

- 54 脳内の掃除屋
Helmut Kettenmann

JAPANESE AUTHOR

- 56 糖尿病発症のかぎを握るアディポネクチンの
受容体機能を解明! — 門脇 孝
西村尚子

英語でNATURE

- 58 Wings in a wind tunnel show secrets of flight
鳥の翼の風洞実験で明らかになった飛行の極意

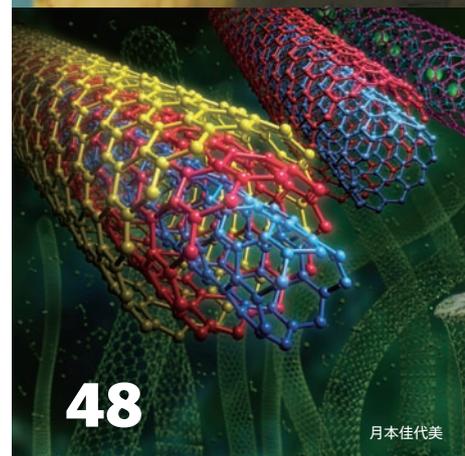
発行人: デビッド・スウィンバックス
編集: 北原逸美
デザイン/制作: 村上武
広告: 米山ケイト
マーケティング: 吉原聖豪

2007年6月1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

©2007 NPG Nature Asia-Pacific



PARAMOUNT CLASSICS



月本佳代美



B. HERRENKIND

nature
DIGEST

06 volume 4 no.06
June

www.nature.com/naturedigest

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

太古の高木群の姿**Forest stump is crowned**

高木の進化は地球の陸上生態系の基盤となるものであった。最古の森林の証拠として知られているものは、米国ニューヨーク州北部のギルボアで発見された約3億8500万年前の高木の根株の化石群である。これは1870年代に発見され、その後 *Eospermatopteris* と命名されたが、これらの高木化石には地上部がなかったため、分類上の類縁関係や重要性はよくわかっていない。Steinたちは今回、スカハリー郡（米国ニューヨーク州）の高木化石の発見について報告している。 *Wattieza* という既に知られている植物の仲間がもっていた樹冠が初めて完全な形で、 *Eospermatopteris* の幹と基部と一緒に見つかり、Steinたちは2つを組み合わせて示した。この木生シダの一種の完全な化石により、史上最古の森林の姿を詳細に再現するのに必要な証拠が得られた。

19 April 2007 Vol.446 / Issue 7138

Letter p.904, N&V p.861 参照

道徳的判断と感情**Judgement calls**

道徳的判断は主として理性による問題処理過程なのだろうか、それとも情緒、すなわち感情が何らかの役割を果たしているのだろうか。情緒の正常な発生にかかわる脳領域（腹内側前頭前皮質）に損傷のある6名の患者の研究から、道徳的判断を下す理由として情緒が特異的な役割を果たしていることが示された。これらの患者は、ある種類の道徳的ジレンマ、つまり大勢の他人を救うために自分の子どもを犠牲にするかどうかを決めなければならないといった、いわば「断腸の思い」に駆られるような状況下での判断に、異常に「功利主義的」なパターンを示した。こうしたもの以外の道徳的ジレンマについては、患者たちの下した判断は正常だった。この研究は、道徳的判断に情緒が果たしている正常な役割を明らかにしただけでなく、サイコパス（人格障害）のような人々でみられる病的な道徳行動の裏にある機構にも関係がある。

19 April 2007 Vol.446 / Issue 7138

Letter p.908, N&V p.865 参照

大統領候補に聞く：フランス大統領選挙候補者もつ科学のビジョン**THE NEXT PRESIDENT SPEAKS: France's election candidates reveal their visions for science**

フランス大統領選の選挙運動も最終週に

入ったが、最近の調査では誰に投票するかまだ決めていない有権者が40%に上っており、12人の候補者にとっては総力戦のときとなった。世論調査では、中道右派、国民運動連合のニコラ・サルコジ氏がセゴレーヌ・ロワイヤル氏（社会党）とフランソワ・バイル氏（フランス民主連合）をリードしている。 *Nature* 誌では、科学にかかわるさまざまな問題について、最有力候補の3人に政策の説明を求めた。その回答はNews Feature (p.847) にまとめられており、質問と回答全文（フランス語）はオンラインでみることができる。出馬は今回が最後となるのがほぼ確実な極右政党の老兵、ジャン＝マリー・ルペン氏は4位につけており、前回はこの位置からまさかと思われた決選投票進出をやったのけた。

19 April 2007 Vol.446 / Issue 7138

News Feature p.847 参照

血球の起源**Something in the blood**

胚発生において血球を作り出す造血の過程には、2つの段階が知られている。最初の「一次」段階は胚体外の卵黄嚢で起こり、初期胚に栄養分を供給する。その後、胚の大動脈-生殖腺-中腎（AGM）とよばれる領域で「最終」段階が始まる。この最終段階の造血細胞集団の起原が、胚内に由来するのか、それとも胚外の卵黄嚢から移動してきた前駆細胞に由来するものなのか、長らく議論が続いていた。今回、新たに開発された非侵襲的な細胞追跡法での研究によって、現行の定説が否定され、実は成体の造血幹細胞は卵黄嚢に起源をもつことが示された。血球供給源についての知見は、培養で造血幹細胞を作り出す研究にも関連し、臨床応用への可能性も秘めていると考えられる。

26 April 2007 Vol.446 / Issue 7139

Article p.1056, N&V p.996 参照

脳の中をいつもきれいに**Keeping things tidy**

アポトーシスを起こした細胞は、ホスファチジルセリンやアミロイドβなどの「私を食べて」という意味のシグナル分子を発現する。食作用は、こうしたシグナルを認識する食作用促進受容体が活性化されることによって始まると考えられている。しかし、

今回小泉修一たちは、食作用開始の典型的な「食べて」シグナルもFc受容体リガンドも必要としない、まったく新しいタイプの食作用をミクログリアが行うことを明らかにしている。この食作用を促進するのは、損傷を受けた細胞から放出されて細胞外に拡散する分子、ウリジン5'-二リン酸（UDP）である。UDPはミクログリアの表面にあるP2Y₆受容体を活性化させる。死んだ細胞の除去は脳の機能維持に非常に重要なので、この知見は中枢神経系のさまざまな疾患に大きななかかわりがありそうだ。

26 April 2007 Vol.446 / Issue 7139

Letter p.1091, N&V p.987 参照

高次元に拡張したノイマン関係式**Added dimensions**

セル構造あるいはモザイク構造は、自然界の至るところに存在する。泡とか、金属やセラミックス中の結晶粒はその実例である。多くの場合、セル/粒/泡の壁は、表面張力の影響を受けて壁面の平均曲率に比例する速度で移動する（毛管現象）。その結果、セルが発達して構造が粗大化する。50年以上前、ハンガリー生まれの数学者ジョン・フォン・ノイマンは、二次元セル構造におけるセルの成長速度に関する厳密式を導き出した。今回、このノイマンの成果を長らくの課題であった三次元（またはさらに高次元）に拡張できることが見いだされた。得られた式は、金属の熱処理からガラスにつがれたビールの泡の制御に至るまで、さまざまな工業的・商業的プロセスに関する予測モデルにつながるはずである。

26 April 2007 Vol.446 / Issue 7139

Article p.1053, N&V p.995 参照

飛行中のアマツバメ：アマツバメの絶妙な飛行技術は翼の「滑らかな形状変化」によって**ON THE WING: 'Morphing' gives the swift exquisite flight control**

滑空している鳥は、絶えず翼の形状と大きさを変化させ、翼の形状によって飛行性能を調節している。滑空中の鳥が滑空速度に適するように翼の広げ方を調節しているだろうということは、空気力学理論から予測されていたが、今回、風洞内での計測データを基に、精度のさらに高い空気力学的モデルが開発さ



※「今週号」とは当該号を示します。

れた。その結果、アマツバメは飛行性能を非常に巧みに制御していることが明らかになった。この鳥は最も適した翼の広げ方を選ぶことにより、沈下速度を半減したり、旋回率を3倍にしたりできる。横に広げた翼は低速の滑空や旋回に使われ、後方に曲げた翼は高速滑空のためや（負荷に耐えるために揚力を犠牲にする）高速旋回で使われる。滑らかに形状変化する翼は効率がよく、そのため、航空機設計者はこれを現在の可変翼に続く次世代技術とみているが、アマツバメは既にいち早くそこに到達していたのである。

26 April 2007 Vol.446 / Issue 7139

Letter p.1082 参照

地震の新しいカテゴリー

A new class of 'quake'

全地球測位システムなどの技術的進歩により、比較的長周期で起きる珍しい地震現象が数多く見つかっている。これらには、深部低周波微動、低周波地震、スロースリップ、「サイレント」地震などが含まれる。井出哲たちは、主に西日本のデータに基づいて、このような「ゆっくりとした」地震現象が単一のスケーリング関係に従うことを報告している。この関係は、このような地震が「普通の」地震とは明らかに性質が違うことを示している。

3 May 2007 Vol.447 / Issue 7140

Letter p.76, N&V p.49 参照

翻訳を正常に終結させる PTC124

PTC124: a no-nonsense drug

メッセンジャー RNA からタンパク質への翻訳が最後まで行かず中途で終わってしまうために起こる遺伝病は数多くあり、筋ジストロフィーもその1つである。今回 Welch たちは、低分子化合物 PTC124 によって、翻訳装置が翻訳の中途終止の原因となる部位を迂回できるようになり、しかも、mRNA の末端では正常に翻訳を終結できることを報告している。この薬剤によって、ヒトとマウスの細胞では筋ジストロフィーで変異が生じている遺伝子の翻訳が正常に戻り、ヒト筋ジストロフィーのモデルである mdx マウスでは筋肉の機能が回復した。この研究結果から、PTC124 と似たような薬剤をナンセンス変異を標的として用いれば、さまざまな病気でタンパク質の機能を回復できる望みが出てくる。現在、筋ジストロフィー患者と嚢胞性繊維症患者を対象に、PTC124 の臨床試験が行われている。

3 May 2007 Vol.447 / Issue 7140

Letter p.87, N&V p.42 参照

火星の氷を掘り出そう

Digging for ice on Mars

理論モデルでは、火星の地下で水氷が安定に存在する深さは、岩石や斜面といった局地的な表面地形や、その水氷を覆っている地表の熱慣性によって変化すると予測されている。今のところ測定は、探査機マーズ・オデッセイに搭載されたガンマ線分光器でカバーできる数百キロメートルの範囲を俯瞰した結果に限られている。しかし、J Bandfield は今回、オデッセイの THEMIS パッケージを使って得られた火星の地表温度の季節応答を使い、1キロメートル以下のスケールで水氷分布の地図を作製した。この観測結果によって、今年後半に打ち上げ予定のマーズ・フェニックス計画の着陸候補地点で、水氷の深さが地域的局所的に大幅に変化しているのが明らかになった。フェニックス探査機のロボットアームを使えば、深さ 50 センチメートル程度まで土壌を掘削して水氷を探することができるため、今回の観測結果からすると、氷の層までの深さがかなり変化しているのが見つかるかもしれない。

3 May 2007 Vol.447 / Issue 7140

Letter p.64 参照

アイドリング状態の脳：自発的な変動から明らかになった神経回路

THE IDLING BRAIN: Neural circuits revealed by spontaneous fluctuations

脳の機能研究は、特定課題の遂行中や特定刺激への応答時の活動の測定に傾きがちである。しかし実際には、脳は時間とエネルギーの大部分をこうした活動に費やしているわけではない。今回、機能的磁気共鳴画像解析から、サルは、感覚や運動、認知といった現象とこれまで関係づけられてきた型の複雑な分布パターンをとって絶えず周期的に変動していることが明らかになった。この変動は、麻酔で意識が消失した状態でも存在し、解剖学的な連結構造の基本パターンに対応している。これらの神経回路が、知覚や思考を可能にしている基本構造なのかもしれない。面白いことに、この変動の枠組みは、サルとヒトとでまったく同じではないにしろ似通っていることから、この構造は霊長類の種を通じて保存されているとみられる。

3 May 2007 Vol.447 / Issue 7140

Letter p.83, N&V p.46 参照



表面の質感のとらえ方

Texture is skin deep

我々は、ある物体が金属でできているか石膏でできているか、あるいは木地の表面が仕上げ前か磨いた後かを、表面の明暗や光沢の有無から簡単に見分けられる。だが、これは「ニトリが先か卵が先か」的な問題を含んでいる。つまり、三次元表面からの反射の性質を知るには、形と照明についての詳細な情報が必要だが、それを得るには反射の性質を知っていなくてはならない。本吉勇たちは、この問題を解明し、ロボットの視覚システム開発やコンピュータアニメ製作でリアルな映像を作製するのに役立つようなヒントを示している。鍵を握るのは、画像の単純な統計量である。我々の光沢の知覚は、画像の輝度値分布が正の方向にどれくらい歪んでいるかによって決まるらしい。

10 May 2007 Vol.447 / Issue 7141

Letter p.206, N&V p.158 参照

脳萎縮マウスでの記憶回復

Rewriting the memory

記憶力を増進したり、さらにはアルツハイマー病などの疾患で失われた記憶を回復させたりできる薬を作るという夢のような話への期待が、重度神経変性の動物モデル (CK-p25 Tg マウス) を使った新しい研究によってぐっと高まった。環境エンリッチメント (生活環境をもっと興味のもてるものにすること) とヒストン・デアセチラーゼ (HDAC) 阻害剤の投与という2通りの方法で、こうしたマウスの学習能力や長期記憶が回復したのである。HDAC は、ヒストンのアセチル化を促進し、それによって細胞核内での転写を変化させることで記憶形成を増進していると考えられている。重要なのは、p25 マウスには重度の脳萎縮があるにもかかわらず、こうした記憶増進が起こったことだ。記憶回復には既存のニューロンネットワークの再構成が伴っていたことから、こうした再構成によって長期記憶を再びよび出せるようになった可能性がある。

10 May 2007 Vol.447 / Issue 7141

Article p.178, N&V p.151 参照

リチウムでもみられた普通の超伝導

Lithium acting naturally

超伝導は、低温にしたたいの金属で生じる。しかし、いくつかの単純な系は、この状態をとりにくいように見え、その興味を引く一例が金属リチウムである。リチウムは高圧下では 20 K まで超伝導を示し、これ

は元素の超伝導転移温度としては最も高いものの1つである。これまで、天然リチウムは超伝導体としてふるまうことはないだろうと考えられてきたが、今回、常圧で0.4 mKという極端に低い転移温度で超伝導が観測された。このことからすると、リチウムはその単純さゆえに理論研究に向いており、超伝導の研究に役立つだろうと考えられる。

10 May 2007 Vol.447 / Issue 7141

Letter p.187 参照

オポッサム・ゲノムの解読：有袋類のゲノム塩基配列からわかる哺乳類の進化

THE OPOSSUM GENOME: Marsupial sequence illuminates mammalian evolution

ハイイロネズミオポッサム (*Monodelphis domestica*) ゲノムの塩基配列解読と解析が行われ、有袋類の遺伝的組成が初めて明らかになった。進化的に保存されている領域を有袋類と有胎盤哺乳類とで比較した結果、タンパク質をコードする遺伝子の進化における本質的な革新は比較的小さいが、その一方で、保存されている非コード領域の起源は、有胎盤哺乳類系統の進化で急速に出現したことが示唆される。最初に塩基配列解読を行う有袋類のゲノムとしてこの種のオポッサムが選ばれた理由の1つは、これが実験動物として長らく使われてきたためである。免疫系の遺伝学や神経生物学、腫瘍形成、および発生生物学にかかわる遺伝子座は特に関心がもたれそうだ。

10 May 2007 Vol.447 / Issue 7141

Article p.167, Editorial p.115 参照

細胞極性を乱すピロリ菌毒素

H. pylori beats PAR

ピロリ菌 (*Helicobacter pylori*) は世界人口の半数以上に感染しており、通常はあまり問題にならないものの、時として胃粘膜損傷や消化性潰瘍、胃炎、腺がんを引き起こすことがある。CagAはピロリ菌の主要な毒性因子であり、菌から上皮細胞へ直接送り込まれて細胞内シグナル伝達を阻害する。このCagAが、細胞極性に関与するタンパク質Par-1に結合して、そのリン酸化を阻害し、上皮細胞の極性を破壊することが今回明らかになった。この研究によって、ヒトの病原体とPAR細胞極性制御装置をつなぐ分子機構が初めて明らかになり、

PAR1の阻害が消化管での発がんに広くかかわっている可能性が示された。

17 May 2007 Vol.447 / Issue 7142

Letter p.330 参照

潮汐作用にとらえられたエンセラダス

High tide on Enceladus

2005年7月14日、土星の周りをめぐる氷の衛星エンセラダスに接近通過したカッシーニ探査機は、その表面に「虎のしま模様」の地形がみえ、それに沿って水蒸気と氷が円柱状に吹き出ている（プルーム）のを発見した。それ以来、このプルームの性質やプルームの駆動力の説明が試みられてきている。これまでに提案されているいくつかのモデルでは、地表面下の浅いところに液体の水の存在を仮定する必要があったが、今週号の2編の論文では、このような仮定を必要とせずにプルームの性質とホットスポットの存在の両方を説明している。Nimmoたちは、虎のしま模様の付近に、潮汐作用によって駆動される断層の水平方向の動きがあると考え、この動きが熱と水蒸気の発生の原因として最も可能性が高いとしている。またHurfordたちは、エンセラダスが土星の周りをめぐる際に土星から受ける潮汐作用が、エンセラダス上の氷を伸縮させるように働くことを示した。おそらくこうした影響によって、虎のしま模様が周期的に開閉し、そこから揮発性のガスが地表に噴き出すのだろう。

17 May 2007 Vol.447 / Issue 7142

Letters pp.289, 292, N&V p.276 参照

タンパク質と取り組むSUMO

Wrestling with proteins

SUMO (Small Ubiquitin-like MOdifier protein) は核内で基質となる標的タンパク質に結合し、そこで遺伝子転写の制御などの働きをすることが知られている。今回SUMOが、神経伝達物質の受容体であるカイニン酸受容体のターンオーバーを制御することがわかった。これは、SUMOが神経細胞間の接合部でほかのタンパク質に結合することにより、脳機能に影響を与えている可能性を示唆している。

17 May 2007 Vol.447 / Issue 7142

Letter p.321, N&V p.271 参照

けがで毛が再生

A good hair day?

哺乳類の毛嚢は発生期間中にしか新たに形成されないと考えられており、成体になってから失われた毛嚢は永久に戻らないと見

なされている。50年前に、BillinghamとRusselがNature誌でウサギの皮膚での毛の新生について報告しているが、この結果はその後、信頼性が低いとして無視されてきた。しかし今回、成体マウスの皮膚で創傷によって毛嚢の再生を誘導できることがわかり、この問題が再考されることになった。今回の結果は、哺乳類の皮膚が創傷に対して、これまで考えられていたよりも大きな可塑性と高い再生能力をもって応答することを示唆しており、創傷治癒や組織再生、幹細胞機能の研究にもかかわってくる。

17 May 2007 Vol.447 / Issue 7142

Letter p.316, N&V p.265 参照

南極の生物多様性：明らかになってきた南大洋動物相

ANTARCTIC BIODIVERSITY: The Southern Ocean fauna yields its secrets

南極大陸棚に生息する海洋生物については多くのことがわかっているが、南極大陸周囲の深海域についてはほとんど調べられていない。この欠落を補うために立てられたのがANDEEP計画である。学術調査船ポーラーシュテルン号によるウェッデル海での3回の試料採集航海から、南大洋の生物多様性の規模やパターンがこれまでよりもはっきりしてきた。これらの調査航海で、従来型の試料採取法とビデオ撮影や最新の分子生物学的手法とを併用して得られたデータをまとめた論文が、今週号に掲載されている。この新しい成果によって、南極深海の重要領域に生息する生物の解明が大きく進み、多数の新種も見つかった。

17 May 2007 Vol.447 / Issue 7142

Letter p.307 参照

Nature Digest に一部誤りがありました。お詫びして訂正いたします。

2007年4月号 p.23「左脳と右脳、分子レベルでその非対称性を探る」の引用文献、3番目

3. Hoso, M. and Hori, M. *Herpetological Review* 37, 174-176 (2006)



3. Hoso, M., Asami, T. & Hori, M. *Biol. Lett.* 3, 169-172 (2007)



MAKING THE PAPER

Scott Manalis

Nature Vol.446 (xxiii) / 26 April 2007

マイクロ流体工学で、液体中の微小質量測定分解能を飛躍的に向上させる



マサチューセッツ工科大学（米国マサチューセッツ州ケンブリッジ）のScott Manalisのグループは、以前から、生体分子を非常に高い感度で測定する装置の開発に興味をもっていた。けれども彼らは、蛍光物質や放射性物質で試料を標識する手法は利用しなくなかった。こうした手法では、いくつもの段階を経て試料を調製しなければならず、比較的少量の試料を必要とするからである。「我々は、試料を標識することなく、蛍光標識に匹敵する感度をもつ検出法を開発したかった」とManalisはいう。分子を検出する方法の1つに、その質量を検出する方法がある。それでは、極めて小さな物体の質量を、どのようにして測定すればよいのだろうか？

ナノスケールの機械振動子は、わずかに数zeptogram（1zeptogramは 10^{-21} グラム）の重さしかない粒子の質量を測定することができる。こうした装置は、共振周波数とよばれる周波数で振動するように設計されている。振動子の表面に分子が1個付着すると、その分子の質量に相当する分だけ共振周波数が変化する。こうした装置は液体中では使えない。なぜなら、液体は機械的振動を止めてしまうからである。このことが、液体を必要とすることが多い生物学分野へナノ振動子の応用を制限してきた。

2002年、Manalisと彼のチームは、この問題を解決するアプローチを思いついた。振動子の内側のマイクロ流路に液体を入れてみたらどうだろう？ 当時、Manalisの研究室の大学院生であったThomas Burgは、試作機の製作にとりかかった。試作機はなんとか機能したが、感度は高いとはいえず、確実に測定することもできなかった。その一因は、この装置が真空中に置けるように作られていないことにあった。非常に小さな質量を測定するには、装置を真空中に置く必要があるのである。「よく知られているように、MEMS（微小電気機械システム）の分野ではパッケージングが問

題になることが多い」とManalisはいう。「ほとんどの場合、パッケージングの詳細は、その装置を開発した大学院生しか知らない。だから、その大学院生が卒業してしまうと、当初のデモンストレーション以上にプロジェクトを進めることが困難になってしまう」。

このような事態を避けるために、ManalisはMEMSの製造を専門とするInnovative Micro Technology (IMT) というカリフォルニアの企業でサンタバーバラに本拠地を置く研究所と共同研究を行うことにした。「IMTと共同研究を行い、最先端のパッケージング技術とマイクロ流体過程に触れられたことで、強力で感度の高い質量分析装置を開発することができた」とManalisはいう。この頃までに学位論文をほぼ仕上げていたBurgは、ポスドクとしてプロジェクトを続けることを決意した。その後、さらに約3年にわたる開発の末に、Manalisのグループは振動子の真空パッケージングに成功し、液体中の1個のナノ粒子、1個の細菌、単層のタンパク質の質量を 10^{-15} グラムという分解能で測定するに至ったのである。

この装置は、マイクロ流路の側面に結合する粒子の質量だけでなく、その中を流れる試料の質量も測定することができる。装置をこのように設計するという発想は、ほとんど偶然に生まれた。「マイクロ流路の高さを3マイクロメートルとして装置を設計したときに、ふと、その中に細菌を流して1個ずつ質量を測定できることと思いついたのだ」とManalisはいう。この「流れモード」では装置の表面に粒子を結合させる必要がないため、さまざまな粒子を測定することができる。

この装置は、Manalisとその共同研究者たちの予想以上によく機能している。けれども、この装置を使って何ができるかは、これから証明していかなければならない。「ナノ粒子や細胞の質量を測定できることはわかっている。今後は、有益な応用の道を探ることに集中していく必要がある」とManalisは語った。 ■



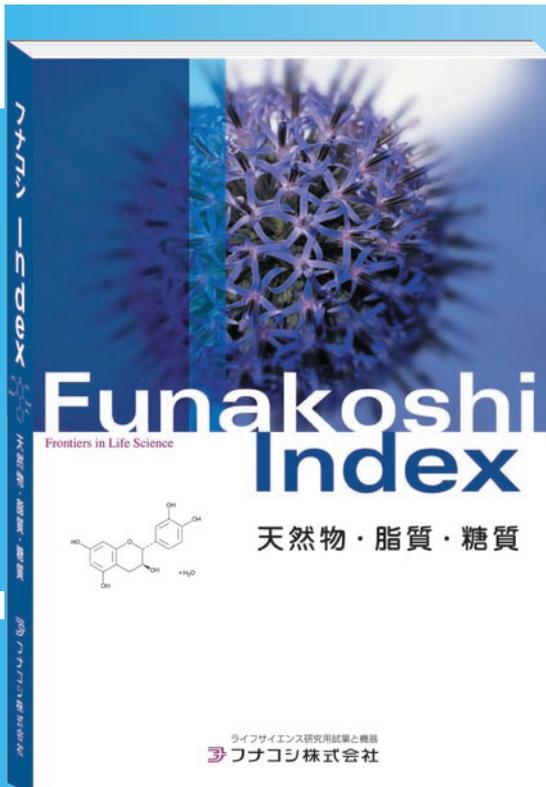
研究用

Funakoshi Index

天然物・脂質・糖質

やさしさ&ライフサイエンス

Funakoshi



A4版 約530ページ

目次

| | |
|------------------|--|
| A スクリーニング用ライブラリー | 脂質ライブラリー／核内受容体ライブラリー etc. |
| B 脂質 | 脂肪酸／リン脂質／グリセリド／エイコサノイド／GLC/TLC標準品 etc. |
| C 天然有機化合物 | フラボノイド／テルペノイド／ポリフィリン／毒素 etc. |
| D 糖質 | 単糖，多糖，糖鎖複合体／レクチン etc. |
| E その他生理活性物質 | 情報伝達関連物質／神経生理化学物質／酵素阻害物質 etc. |
| F 化学合成受託サービス | 有機合成受託サービス etc. |

オール・イン・ワン!

いろいろなメーカーが扱っている製品がこのカタログ一冊にまとまっています。

豊富なラインナップ!

約16,000点の製品が掲載されています。どこを探しても見つからなかった製品が、きっと見つかります。

化学構造式が満載!

化学構造式が豊富に掲載されており、見ているだけでわくわくするカタログです。

※カタログをご希望の方は、Funakoshiホームページ（<http://www.funakoshi.co.jp/>）のオンライン請求か、当社営業担当（Fax 03-5684-1634）までお申し込み下さい。



Natureとともに20年

NPG ネイチャー アジア・パシフィック
設立20周年記念特集

- 1 創刊138年、Natureの輝ける軌跡
冬野いち子
- 2 日本からアジア・パシフィックへ
ディビッド・スウィンバックス、
中村康一、アントワーン・ブーケ
- 3 新事業へのチャレンジ
オリバー・グレイドン、アイ・リン・チュン、
ニック・キャンベル、大西進
- 4 この20年の科学、その偉大なる発展を振り返る
Part 1 物理学分野／竹内薫
Part 2 生物学分野／水谷治央
- 5 特別インタビュー 21世紀に科学の向かうところ
野依良治、聞き手・冬野いち子
- 6 ネットワークを生かした研究推進をめざして
ディビッド・スウィンバックス

Natureとともに20年

NPG ネイチャー アジア・パシフィック設立20周年記念特集



1987年、マクミラン出版社 (Macmillan Publishers Ltd. 本社・ロンドン) の日本法人として出発したネイチャー・ジャパン株式会社 (2006年、商号をNPG ネイチャーアジア・パシフィックに改称) は、今年をもって設立20周年を迎えました。これを記念し、*Nature Digest* 6月号はページ数を通常号の2倍に増量させた特別編集をお届けいたします。

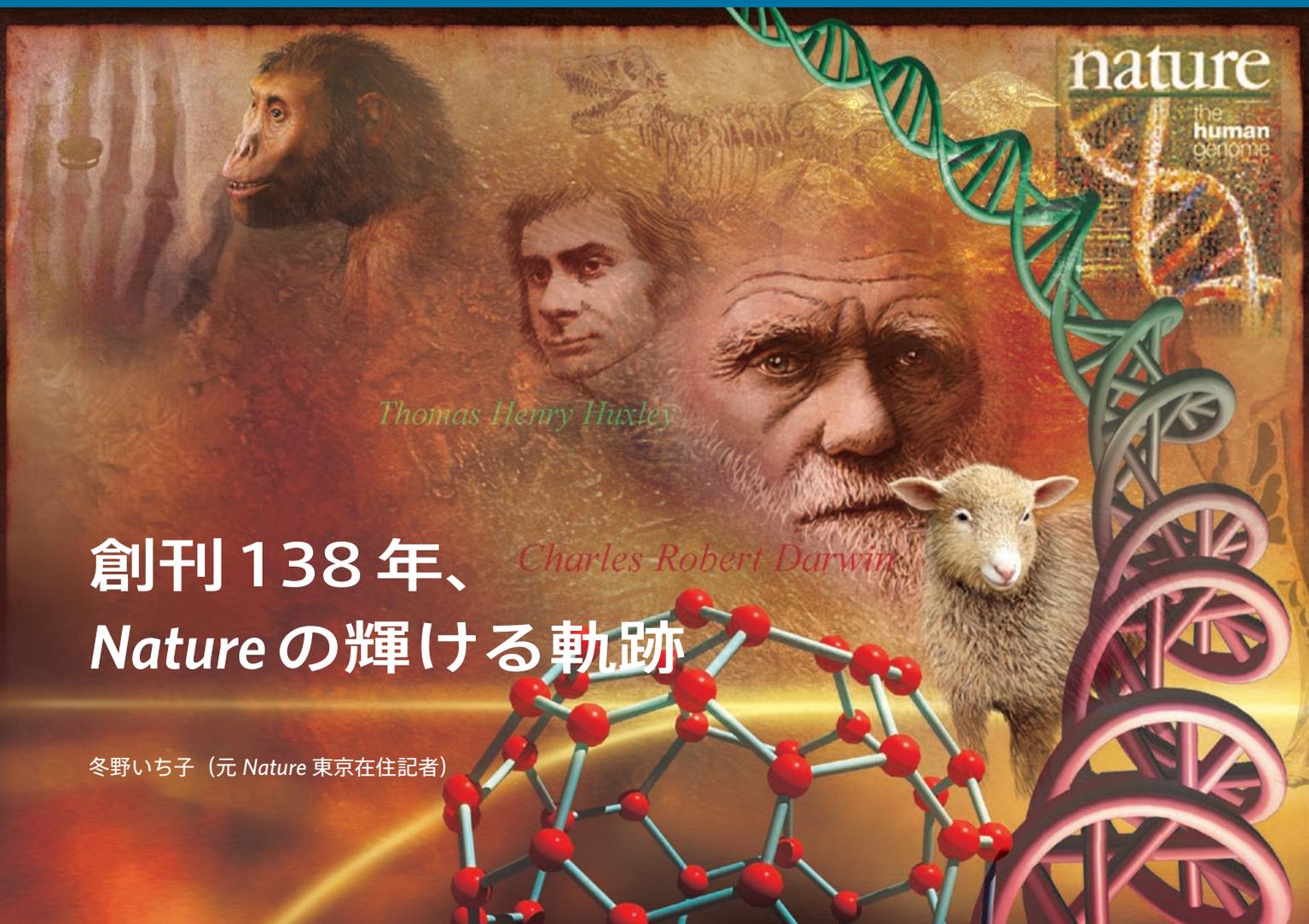
本号では、*Nature* 本誌およびオンラインニュースサイト news@nature.com から厳選

選した科学ニュースや科学論説の翻訳記事、東京事務所による日本オリジナル編集記事といった通常どおりの記事に加えて、NPG ネイチャー アジア・パシフィックの20年の変遷を振り返るとともに、今後の事業展開についてお伝えします。さらには、精鋭のサイエンスライター陣による過去20年の科学技術の発展に関するレポートや、野依良治博士に21世紀の科学のあるべき姿について意見を求めた記事なども掲載しています。

弊社は当初、日本市場をターゲットに3人のメンバーでスタートしましたが、現在では50人を超えるスタッフを抱えるまでになり、日本のみならず、アジア・パシ

フィック地域におけるNPG (ネイチャー・パブリッシング・グループ) の出版事業を全面的に担当しています。こうした私たちの歴史とともに、今後の科学技術の進展に合わせ、私たちがどのような姿勢であろうとしているかを感じていただければ幸いです。本号に対する感想やその他の意見がありましたら、ぜひ digestanniversary@natureasia.com までお寄せください。■

ディビッド・スウィンバックス
ネイチャー・パブリッシング・グループ (NPG)
パブリッシング・ディレクター
NPG ネイチャーアジア・パシフィック
代表取締役社長、CEO



創刊138年、 Natureの輝ける軌跡

冬野いち子 (元 Nature 東京在住記者)

1869年に創刊されて以来、科学雑誌Natureは時代に合った科学情報や発見を世界に伝えるため、その姿を常に変ぼうさせてきた。現編集長フィリップ・キャンベルとともに、この138年間を振り返りながら、今後のNatureのあるべき姿を考える。

日本代表美

英国が産業革命の恩恵を受け時代を謳歌していた19世紀半ば、科学界では自然科学者チャールズ・ダーウィンによる『種の起原』が出版され、大胆な仮説が既存概念と対立し大きな論争を巻き起こしていた。時を同じくして、科学の時代の到来を予感させる一冊の週刊誌がロンドンで生まれた。その雑誌は『Nature』と名づけられ、1869年11月4日に第1号が出版された。明治2年のことである。

創刊から138年がたった現在もNatureの進化はとどまることを知らず、世界の科学界を常にリードしている。論文の引用数では常に上位の座を守り、これまで270人以上のノーベル賞受賞者が1700本を超える論文を発表してきた。英国以

外で読まれる機会も急速に増え、1960年代半ばに1万を超える程度だった発行部数は2005年には6万部を超え、全世界での個人の総読者数は62万人に近づいている。1990年代から論文だけでなくジャーナリズム面も充実させ、読みやすさを重視するなど、幅広い読者層に受け入れてもらうべくさまざまな工夫をこらしてきた。スピードと研究の多様性の重要度が高まるなか、姉妹誌も相次いで創刊されNatureは科学界に新たな軌跡を残そうとしている。

「創刊から現在に至るまで、Natureはジャーナリズムと論文の双方で、自然科学界の内外にいるできるだけ多くの読者の役に立てるよう努めてきました。そし

て私は、Natureの価値をさらに高めることをめざしています」と現編集長のフィリップ・キャンベルは話す。

Natureの歴史

Natureが生まれた背景には、著名な生物学者トーマス・ハックスレーらの働きかけがあった。彼らは良質な科学雑誌の創刊を求め、英国のマクミラン出版社を説得したのだ。ハックスレーはダーウィンの進化論の擁護者でもあったため（ダーウィンのブルドッグというあだ名までついていた）、当時のNatureは進化論を普及する目的も兼ね備えていた。

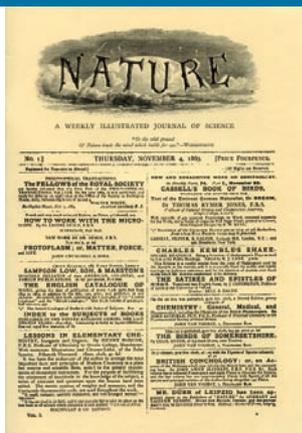
Natureというタイトルはハックスレーが名づけた。その由来は推測するしか

いが、1961年まで表紙に掲げられていた英国の自然派詩人ウィリアム・ワーズワースのソネット第34番「To the solid ground of Nature trusts the mind which builds for aye (forever)」にみられるように、永遠へと続く精神が敬うべき自然 (nature) への畏敬の念に基づいている、と推測される。ハックスレーはまた、創刊号に巻頭記事「Aphorism on Nature (自然のアフォリズム)」を書き、人類の発展と進化における自然の役割と人の精神を詠ったドイツの詩人ゲーテの詩を紹介し、「自然そのものが形作られる過程を映し出すことを目的とする雑誌に、これ以上ふさわしい序文はないだろう」と書いている。

もちろん、実際の雑誌のねらいは自然の賛美ではなく、自然そのものの探求であった。*Nature*の基礎を築いたのは、わずか28歳で初代編集長に就任した天文学者ノーマン・ロッキアー（在任期：1869-1919）である。科学が職業として確立していなかった当時、主な読者層は科学に興味のある地方の聖職者や錬金術師、鉄道技術者などであった。それにもかかわらず、ロッキアーは雑誌の目的を「世界を理解するうえでの偉大なる前進を提示すること」と定め、その後50年もの間雑誌の発展に精力を傾けた。

*Nature*は当時から、論文だけでなく世界中の旬な科学の話題をレポートし続けてきた。ロンドンやパリで開催された万博から科学政策・予算といった政治的な事柄まで、記事の内容は多岐にわたった。議論好きだったロッキアーは、世間で話題になっていた事項を公開質問として取り上げたり、投書欄を設けてさまざまな読者のコメントを紹介したりした。

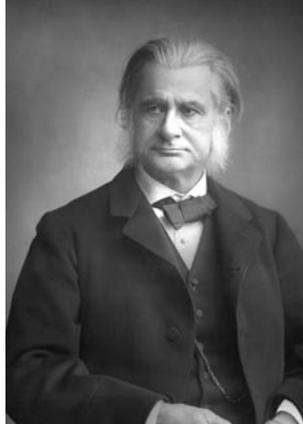
当時の*Nature*には、論文らしい論文はあまりなかった。論文審査はなく、掲載されていた多くのはほかの雑誌に載った論文のハイライトだった。そうはいつても、時代を先取る発見や研究を*Nature*は見逃していない。1896年には、ドイツの物理学者W・K・レントゲンが発表したX線についての論文の英訳をX線で透過した妻の左手の写真とともに掲載し、その



HULTON ARCHIVE / GETTY HULTON ARCHIVE / NEWS.COM

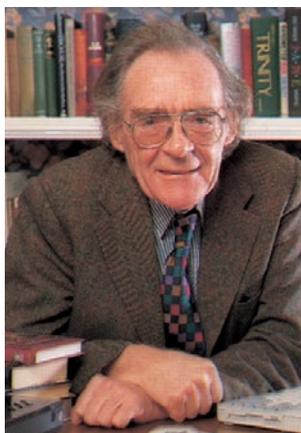


HULTON ARCHIVE / GETTY HULTON ARCHIVE / NEWS.COM



*Nature*は1869年（明治2年）に創刊され、今年で138年の歴史をもつ。左から創刊号（11月4日号）の表紙と、その表紙に引用されたソネット第34番の作者で、19世紀の自然派詩人ウィリアム・ワーズワース。右は*Nature*というタイトルの名づけ親で、創刊に向け尽力した生物学者トーマス・ハックスレー。

HULTON ARCHIVE / GETTY HULTON ARCHIVE / NEWS.COM



*Nature*の歴代編集長。左から初代編集長のノーマン・ロッキアー（在任期：1869-1919）、前編集長のサー・ジョン・マドックス（在任期1966-1973, 1980-1995）、現編集長のフィリップ・キャンベル（在任期：1995-）。ロッキアーは28歳の若さで編集長となり、その後なんと50年も務め上げた。

翌年には英国の物理学者J・J・トムソンによる電子発見の報告文を載せている。

困難期を越えて

ロッキアーの後任には、彼の下で長い間一緒に働いたリチャード・グレゴリー（在任期：1919～1945）が就任し、雑誌の国際化を積極的に進めた。グレゴリーが活躍した1930年代は物理学の勢力が大きく、原子の分裂、陽子・中性子の存在の確認、核分裂など新時代を切り開く論文が多く取り上げられた。第二次世界大戦が終わる頃グレゴリーは引退し、彼の右腕だったL・J・プリンプル（在任期：1945-1965）とA・J・ゲイル（在任期：1945-1958）の2人が共同編集長に就任した。

寡黙な勉強家だったゲイルに対し、外交的だったプリンプルは、ロンドンの社交クラブ「Athanaeum」に毎日ランチ

を取りに行き、コートのポケットから論文を取り出しては周りの客である科学者たちに意見を求めた。これが1950年代の論文審査のスタイルだった。一方、1953年に発表された生物学者ジェームズ・ワトソンとフランシス・クリックによるDNAの2重らせん構造についての論文は、実は審査はされておらず、彼らが在籍していたケンブリッジ大学キャンディッシュ研究所の所長と編集長の電話のやりとりだけで受理されたと考えられている。創刊号から1963年までの論文原稿は、古文書管理人によって燃やされてしまったため、残念ながら推測するしか手立てはない。

1958年にゲイルが引退したあと、プリンプルが1人で後を引き継いだ。1965年に亡くなった。その翌年、科学担当の新聞記者だったジョン・マドックス（在任

期：1966-1973, 1980-1995) が五代目の編集長として *Nature* に招かれた。

Nature は創刊以来、くだけた感じではあるが威勢のよい語り口で科学の新しい動きを論じてきた。このスタイルは基本的に今でも変わっていないが、*Nature* が論文の書式や審査体制を整え始めたのは1960年代に入ってからである。しかし、「1960年代の *Nature* は非常にまずい方法で運営されていました」とマドックスは回想している。当時は、論文が受理された日から掲載までに1年半ほどを要し、著者から未掲載についてのクレームが来た順に掲載予定を早めていったのだ。

マドックスは論文掲載が滞ってしまう状態を解消した。その結果、*Nature* の発行部数は飛躍的に伸びた。1970年代に入ると、*Nature* は英国より海外での購読が上回り、米国をはじめ海外にもオフィスを設け始めた。マドックスは1973年にいったん *Nature* を離れ、地球物理学

者だったディビッド・デイビス（在任期：1973-1980）にその席を譲った。

現在に続く道

1980年にマドックスが2度目の編集長として返り咲いた頃、*Nature* は真の国際化に向けての布石を打ち始めていた。英国以外の国々にも特派員を置き、ヨーロッパ大陸やワシントン、東京などにオフィスを構え、刻々と変わる科学の状況をいち早く伝えたり、各国の科学者との交流を深めたりした。科学者だけの狭いフォーラムのようだった雑誌の間口を広げ、社会との接点を増やそうと努力を続けたのだ。

科学発展の摂理の結果、純粋な物理・化学の研究は少なくなり、代わりに生物学の勢いが強くなっていった。しかし、その後の数年間で *Nature* は、物理・化学分野をうまく再導入できた、と当時物理学分野担当の編集者だったキャンベルは

いう。「私にはたくさんの思い出深い論文がありますが、個人的に好きだったものは、1985年のフラーレンの発見でした」とキャンベルは回想する。60個の炭素原子から成るサッカーボールのようなこの分子は、のちに花開くナノテクノロジーという新分野の出発点となった。

キャンベルは、マドックスが築いた足がかりをさらに固める努力を続けている（キャンベルは1988年に *Nature* を離れ科学誌 *Physics World* を創刊したが、1995年に編集長として戻ってきた）。編集長に就任してすぐ、*Nature* で最も人気の高いセクション「News and Views」の改革を断行した。最新号の *Nature* やほかのジャーナルに掲載された論文を専門家がわかりやすく解説するこのセクションは、たいへん成功したモデルとして確立していたが、キャンベルはさらに文章を読みやすくし、図版を増やし、ヨーロッパ大陸やアジアからの執筆者を多く

Nature に発表された偉大なる 25 の科学理論

1. X線の発見 (1896)

W・K・レントゲン*

2. 電子の発見 (1897)

J・J・トムソン*

3. アウストラロピテクス・アフリカヌス：南アフリカの猿人 (1925)

R・A・ダート

4. ニッケルの単結晶による電子の散乱 (1927)

C・デイヴィソン*、L・H・ジャーマー

5. 中性子存在の可能性 (1932)

J・チャドウィック*

6. 氷点以下の温度での液体ヘリウムの粘性率 (1938)

P・カピッツァ*

7. 中性子によるウランの改変：新しい型の核反応 (1939)

L・マイトナー、O・R・フリッシュ

8. デオキシリボ核酸 (DNA) の構造 (1953)

J・D・ワトソン*、F・H・C・クリック*

9. X線解析によるミオグロビン分子の3次元構造モデル (1958)

J・C・ケンドラー*、G・ボウドウほか

10. ルビーにおける光の誘導放射 (1960)

T・H・メイマン

11. 3C 273: 大きな赤方偏移を示す星状物体 (1963)

M・シュミット

12. 海嶺の磁気異常 (1963)

F・J・ヴァイン、D・H・マシューズ

13. 急速に脈動する電波源の観測 (1968)

A・ヒューイッシュ*、S・J・ペルほか

14. ウイルスのRNA依存性DNAポリメラーゼ (1970)

RNA 腫瘍ウイルス粒子中に存在する RNA 依存性 DNA ポリメラーゼ D・ボルチモア*
ラウス肉腫ウイルスがもつ RNA 依存性 DNA ポリメラーゼ H・M・テミン*、S・水谷

15. 誘導された局所的相互作用による画像形成：核磁気共鳴を使った例 (1973)

P・C・ラウターバー*

16. 試験管内でのリン球性脈絡髄膜炎ウイルスに感染した細胞に対するT細胞の細胞傷害性は、感染細胞が同系統か半異系統でなければならないという拘束を受ける (1974)

R・M・ツインカーナーゲル*、P・C・ドハティ*

17. モノクローナル抗体の作製 (1975)

G・J・F・クーラー*、C・ミルスティン*

18. カエル脱神経繊維膜の単一チャネルを通して流れる電流の測定 (1976)

E・ネーアー*、B・ザクマン*

19. バクテリオファージのΦX174 DNAの塩基配列 (1977)

F・サンガー*ほか

20. ショウジョウバエにおける体節の数とその極性に影響する突然変異 (1980)

C・ニュスライン＝フォルハルト*、E・ヴィーシャウス*

21. ClO_x/NO_xの季節的相互作用を明らかにする南極オゾン全量の大きな消失 (1985)

J・C・ファルマン、B・G・ガーディナー、J・D・シャンクラン

22. C₆₀: バックミンスターフラーレン (1985)

H・W・クロト*、R・F・カール*、R・E・スモーリー*ほか

23. 木星質量の伴星が太陽型恒星に (1995)

M・マヨール、D・クロ

24. 哺乳類の胎児細胞や成体細胞から作った生存可能な子孫 (1997)

I・ウィルマットほか

25. ヒトゲノム概要配列解読 (2001)

国際ヒトゲノム解読コンソーシアムほか

*はノーベル賞受賞者

参考図書：『知の歴史—世界を変えた21の科学理論 (ネイチャー特別編集)』徳間書店刊 (2002年)

招いた。「私たちは、アジアからの執筆者がもっと増えることを望んでいます」とキャンベルはいう。

特にキャンベルが力を注いできたのはジャーナリズム (News) と論説 (Editorial) のセクションである。2000年に入ってから新しいセクションを設けてページ数を増やし、ニュース・チームを拡充するかたわら、巻頭の論説の内容や量も充実させてきた。「私はNatureのジャーナリストが世界に与えるインパクトの大きさにとっても誇りをもっています」とキャンベルはいう。「私はこれまで、ジャーナリズムと論説のセクションを、できるだけ多くの読者の興味を引き、説得力のあるものにしようと努めてきました。まだまだこれから発展の余地はあります」。

雑誌の後半部分を占める論文の内容は、時代を経るごとに詳細になってきた。これまでは、誌面の都合上、専門家の読者にとっては不十分な情報しか載せることができなかったが、インターネットの発展をうまく利用して、この問題を解消しつつある。今年から、実験方法の全詳細を論文の一部としてWebで公開するようになったのだ。今後も「Natureのオンライン化はより進むでしょう」とキャンベルはいう。「しかし、私たちは印刷体の週刊誌としての形を維持する重要性も強く信じています。これ以上は、私は予測を口外しないようにしています。ライブに手の内を知られては困りますから」。

科学は、Natureが創刊された頃には考えも及ばなかった高度な領域にたどり着いた。キャンベルが編集長に就任してから最も注目を集めた論文は、1997年のクローンヒツジ・ドリーと2001年のヒトゲノム概要配列解読であった。「ドリーの論文内容は、私たちが想像していた以上の出来でした。ヒトゲノム解読は、多くの政治的要素 (科学界と各国間という両方の政治的問題) が絡んでいましたが、私たちは、Natureの論文掲載のプロセスと質を維持しつつ、どうかよい形で掲載することができました」とキャンベルはいう。

科学の発展のスピードが増して複雑化するにつれ、Natureは科学の信頼にまつ

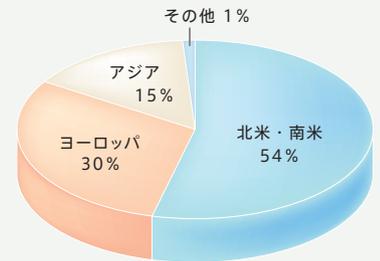
現在のNature (印刷版) に関するデータ

全世界での総発行部数
約60,500部 (BPA 2005)

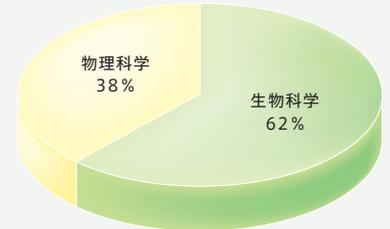
全世界での総読者数
約617,000人 (自社データ 2006)

インパクトファクターの最高値
32.183 (Journal Citation Reports, Thomson ISI 2004)

※上記のほかに、ここ数年、Nature (電子版) の読者数が急激に増加している。



読者の地域分布 (2004年)



掲載論文の分野 (2004年)

現編集長のキャンベルは、ジャーナリズムと論説のセクションに特に力を注いできた。

わる問題にも向き合わざるを得なくなってきた。米国ベル研究所の若きホープだったドイツ人物理学者J・H・ショーンによるデータ改ざん事件は「非常に痛ましい出来事でした」とキャンベルは語る。この事件は世界を揺るがし、Natureも彼が筆頭著者であった論文7本を2003年に取り下げた。その後も、世界で科学不正の問題は後を絶たず、査読 (ピア・レビュー) の方法なども含め、Natureでも不正防止策や科学者の倫理について活発に議論をしている。

Natureの発展と日本・アジア

科学界におけるアジアの重要性は年々高まってきており、日本の動向に世界の科学者は常に注視している。ほぼ毎年日本を訪れているキャンベルは「大学の改革や、主要研究所の国際化に向けた日本の努力はとてすばらしいですが、それらが大きな進展をみせているとはまだいいがたいようです」と感想をもらす。

そうはいつても、キャンベルは日本の科学が十分に発展し競争力をつけたことを高く評価している。「近年のNatureにおいて、日本の科学の成長がみられるのはとてもうれしいことです」とキャンベルはいう。

Natureにとって、アジアの重要度が高まってきているのは明らかだ。昨年以降、NPG (ネイチャー・パブリッシング・グループ) は、アジアが強い競争力を誇るナノテクノロジー分野とフォトニクス分野の姉妹誌を相次いで創刊したし (p.16参照)、「Nature China」という中国の科学者を対象にしたサイトも立ち上げた。「我々にとって、主要な国々での出版活動を発展させながら、かつその科学界と強力で密接なコンタクトをもつことが大事なのです」とキャンベルは話す。「このことは、NPGのどのオフィスにもいえることです。とりわけNPG ネイチャー アジア・パシフィックにはほかのオフィスに負けない活力があります。長らくその発展が続くことを期待しています」。

日本からアジア・パシフィックへ

ディビッド・スウィンバンクス NPG ネイチャー アジア・パシフィック 代表取締役社長、CEO

今から20年前、Nature東京特派員の若きスコットランド人を中心にしたたった3名のスタッフで立ち上げられたネイチャー・ジャパン株式会社。今では、50名の社員を抱えるまでになり、出版事業のターゲットは日本のみならず、アジア・パシフィック地域全体に広がった。その間、Nature誌自体もその主力を印刷版から電子版へと移し、大きく変ぼうを遂げた。ディビッド・スウィンバンクスが設立からこれまでを回想する。

たった3人で立ち上げた新会社

1987年5月、ネイチャー・ジャパン株式会社（現在のNPGネイチャー アジア・パシフィック）を、私の中村康一（現専務取締役）、浅見りの子（現プロジェクト・マネージャー）とともに、市ヶ谷の小さいが3名の小所帯には十分な広さの事務所に設立したとき、まさか当社が今ほどの規模になるとは夢にも思っていなかった。現在、当社は日本から韓国、中国、香港、オーストラリア、インドに至るアジア・パシフィック地域を統括しており、社員数は50名を超え、総売上高は数十億円に達している。

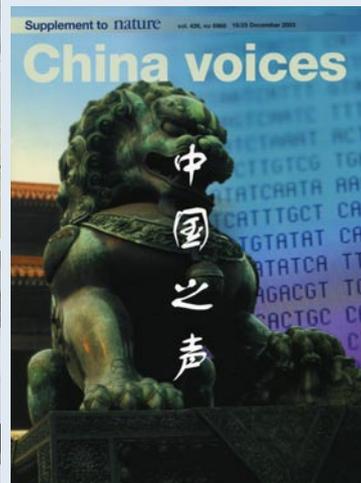
新事務所へ、私は水道橋にあった株

式会社マクミラン出版（MSKK）社内のNatureニュース特派員事務所から、また中村と浅見は、神保町にある日本出版貿易株式会社（JPT）から移ってきた。JPTは当時、Nature誌の受注から配送・在庫管理・入金管理までの業務を一括代行していた（今もその一部を代行している）。私は、グラスゴーの生まれで、カナダのプリティッシュ・コロンビア大学で海洋地質学のPh.D.を取得し、東京大学海洋研究所で6年間のポスドク研究を行った後、1986年に二代目のNature東京特派員として採用されていた。初代東京特派員はアラン・アンダーソン（現フリーライター、元New Scientist編集長）で、1984年春

に東京特派員事務所を開設していた。

特派員事務所には当時から私はすでに、Natureへの論文掲載を希望したり投稿論文が受理されなかった理由の説明を求めたりする日本人研究者からの問い合わせに忙殺され始めていた。しかも当社を開設すると、そうした問い合わせも急増した。けれどもそれらのほとんどを中村と浅見がうまく処理してくれたので、ほんとうに助かったものだ。

私たちの会社は小さいながらも、それまでロンドンで印刷されていたNatureを日本で印刷・配布することを始めた。この印刷を請け負ってくれたのが欧文印刷株式会社で、この関係は現在まで20年



間続いている（そして、今後も続いてほしいと願っている）。

さらに私たちは、すでにあったNature 法人購読のほかに、料金がその3分の1という安さですむ個人購読制度を新たに導入した。このとき、6か月間で個人購読者500人を目標にしたが、結果的にそれを超える数の購読者を獲得できた。そのおかげで、日本国内でのNatureの発行部数はおよそ2000部から2500部以上へと増加した。なお、日本での発行部数は現在、6000部を超えており、ほかに中国・韓国で合わせて2300部が発行されている。

日本の洋書業界では、個人購読が開始されると、取り扱っている法人購読の需要が減ってしまうのではないかという懸念があったようだ。しかし私は、個人購読価格の導入が読者の開拓に大いに寄与し、結果的に紀伊國屋や丸善、ユサコなど多くの書店に扱ってもらっている法人購読の増加にもつながったと考えている。

私たちに最初に訪れた大きなチャレンジの1つは、1988年1月に東京で開催した「Horizons in Molecular Biology」と

題する国際会議だった。この会議にはたいへん名誉なことに、当時の皇太子殿下ご夫妻（現在の天皇后陛下）にご臨席いただくことができた。この国際会議の開催にあたって私に課せられたのは、経費の一部を賄うためスポンサーから約2500万円を集めることだった。そこでロンドンの本部と相談して、スポンサー各社から70万円の寄付を募ることにした。私は友人の寺岡義満氏（現株式会社メディカル・トリビューン）と東京大学の織田敏次教授（現東京大学名誉教授）に同行してもらい、65社を回って、そのうち35社からの後援を取りつけることができた。私はこのとき、自分の内なる商売への情熱とでもいうものに気づいたように思う。そしてまた、1社あたりの負担を70万円以上にすれば、依頼する企業数をもっと減らせること、つまり少ない労力で済むことにも気づいたのだった。

最初の会社拡大は広告セールスで

最初に会社の規模が拡大したのは、1988年に英国から、広告セールスのためにフィル・ハミル（現英国農薬会社勤務）が入

社したときだった。中村と私は最初、ロンドンとの話し合いで、広告セールスには新たに1人加える必要はなく、広告代理店との提携でなんとかできると主張した。しかし、それは大きな間違いだったことがのちに判明する。ハミルの入社する前には200万～300万円だった広告収入が、現在では数億円にもなっているのだから。忘れられないのは、スカッシュでアキレス腱を切ったハミルが1988年夏の猛暑の中を、松葉杖をつけてよろよろ歩きながらクライアントをまわり、最初の広告契約を取ってくれたことだ。松葉杖がクライアントの同情を買って、契約がスムーズにいったのかもしれない…。

もう1つの大きな転機は1992年のことだった。株式会社ニコンなど数社の後援と、私たちのよき友人であった通産省の梅原克彦氏（現仙台市長）の尽力により当時の通産省の後援を得ることができ、その年の1月に東京で「Nanotechnology: Science at the atomic scale」と題する国際会議を開催したのである（p.20参照）。この会議は、Natureへの論文掲載や購読を日本の物理学者や化学者の方々に理解



してもらったための、5年がかりの活動の集大成だった。おかげで、この会議は大成功を収めることができた。

1992年4月にはNature初の姉妹誌としてNature Geneticsが創刊され、続いて6冊の生命科学系専門誌が次々と創刊されていったため、当社のマーケティング部門はそれらの販売も担当するようになった。その後、2002年以降は、Nature Materials、Nature Chemical Biology、Nature Physics、Nature Nanotechnology、そしてNature Photonicsといった物理学系の姉妹誌が続々と創刊されたが、日本でも、皆さまのおかげで順調に軌道に乗ることができた。2008年にはNature Geoscienceの創刊が予定されている。

サイトライセンス・ビジネスへの挑戦

次の大変動は1994年に訪れた。リチャード・ネイサン（現マクミラン本社ディレクター）が初めての専任マーケティングマネージャーとしてやってきたのだ。彼は5年近い在職中、私たちに大きな影響を及ぼし、それは今もなお残っている。その内容をすべて知るにはwww.newnathan.comをご覧ください。このウェブサイトはネイサンが1999年にニューヨークに異動した際、私たちが彼のために作ったものだ。

1990年代以降には、ほかに数名の社員が重要な働きをしてくれた。1996年に米山ケイト（現セールス・ディレクター）が二代目の広告マネージャーとして加わり、特にオンライン部門でのセールスをこれま

でなく高めてくれた。1997年には三枝麻子（現国連勤務）が私の代わりに東京特派員として入社し、そのおかげで私は、編集の枠を超えたさまざまな仕事をこなすことができた。その三枝の代わりに、2000年にはディビッド・シラノスキーが四代目の東京特派員として着任した。

1998年、オックスフォード大学で神経物理学を研究していたティモ・ハネイ（現NPGウェブパブリッシング・ディレクター）が加わった。彼は独学でウェブサイトの作成法と運営法を勉強して、アクセス数が多いのに、まだ適切な設備がなくて、クラッシュのおそれのあった当社の日本語ウェブサイトwww.naturejpn.com（1996年4月に開設）を改良してくれたのだ。

Nature、印刷版と電子版の橋渡し

中村康一 NPG ネイチャー アジア・パシフィック専務取締役

今から54年前の1953年4月、日本の新聞にJ・D・ワトソンとF・H・C・クリックによる論文「DNAの2重らせん構造」がNatureに発表されたとの記事が掲載された。この記事を目にした当時の新進気鋭の日本の生物学者たちは、Natureの到着を一日千秋の思いで待ちわびたという。当時はNatureに限らず、外国雑誌の配送は船便だった。今ではインターネットで瞬時にダウンロードできるのに、Natureがロンドン郊外の印刷工場を出てから日本の図書館に配達されるまで、およそ3か月を要したとのことだ。

1980年代初頭、NPGでは日本向けに航空貨物便による一括輸送を導入し、日本到着後、都内の配送センターから国内郵便で再発送するシステムに切り替えた。これにより、配送時間はおよそ2週間に短縮されたのだ。その後、1987年にネイチャー・ジャパン株式会社が設立され、同年7月から、す

でに現地印刷を行っていた米国に次いで、日本でも印刷が開始された。そして、日本の購読者に雑誌が届く時間は欧米とほぼ同時になり、現在では毎週木曜日発行のNatureは、翌金曜日に印刷工場から出荷されている。

当初はロンドンから航空便で成田空港に到着した印刷用フィルムを、バイク便が埼玉県坂戸市の欧文印刷株式会社（現欧文印刷株式会社）の工場まで夜間に運んでいた。それがインターネットのおかげで、ロンドンのプロダクション・サイトにアップロードされた印刷データを東京でダウンロードし、直接印刷工程にもち込む方式に変わったのが2002年7月である。

このように、外国雑誌の配送はアナログからデジタルへ大きく変遷し、2001年秋からは電子ジャーナル・サイトライセンスという印刷版とは別の新しい購読方式がスタートした。こ

の方式のめざましい発展はアントワーン・ブーケのコラム（右ページ）にあるとおりである。

現在、世界の科学雑誌は電子化の一途をたどっている。なかには印刷版の発行をストップした雑誌もある。それでは、Natureはどのような方向に進んでいくのだろうか。Nature編集部の物理分野編集主任カール・ジーマリスは今春、宮崎大学におけるセミナーでの質問にこう答えた。「Nature印刷版は今後、徐々に雑誌化の傾向が強まるであろう」。

ますます論文が長大になり、付属データも大きくなって、印刷版には収めきれなくなるのではないだろうか。もし、毎号100ページあまりのNatureが500ページになったら、毎週電車の中でページをめくって楽しんでる読者には、はなはだ迷惑な話である。Nature印刷版は、ニュースや論説、投書、書評、最新研究の概説、論文アブスト



ラクトなどが中心となり、論文全文はウェブ上に掲載され、必要なものをダウンロードするという傾向が強まるのではないだろうか。

いかに電子化が進もうとも、印刷版はいつまでも雑誌として存在してほしい。科学者は、必要な論文だけをダウンロードして読むだけでよいのだろうか。政治、経済、医療、戦争など、科学がかかわらないものはないといっても過言ではないだろう。論文掲載だけではなく科学ジャーナリズムを標榜する、Natureのような雑誌がいつまでも生き続けることを願っている。

そして、2000年は私と家族にとって忘れられない年となった。私はNPG（ネイチャー・パブリッシング・グループ、2000年設立）のパブリッシング・ディレクターとしてロンドンへ異動になったのだ。NPGの世界全域の広告業務を担当し、また、物理科学の出版プログラムを発足させたが、遠くからネイチャー・ジャパンをずっと見守り続けていた。その頃は、もう二度と日本で仕事をすることはないだろうと思っていた。

2001年からはアントワン・ブーケ（現代表取締役副社長）がネイチャー・ジャパンの代表となり、5年間で当社をこれまでにない規模にまで拡大してくれた。特に大きな貢献は、新たにオンライ

ン購読のサイトライセンス・ビジネスを展開したことと、あまり組織化されていなかったベンチャービジネスをより現実的な企業へと変ぼうさせたことだ。当社がステップアップできるのは、ブーケの業績があればこそといえる。

新たな境地を切り開く

2004年にリチャード・ネイスンが報告したNPGのアジア戦略の展望では、アジアにおいて科学が急速に進歩しているため、編集、マーケティング、広告営業といった出版ビジネス全体の基盤をアジアにおいて確立させる必要があると結論づけていた。その目標達成のため、私は2005年夏に思いがけなく日本への帰

還を果たし、その年の秋には商号をネイチャー・ジャパンからNPG ネイチャーアジア・パシフィックへと改めた。

それから1年半の間に、当社の社員数は倍増し、香港やメルボルン、ニューデリーでの業務も開始した。当社の新スタッフをここでひとりひとり紹介するのはとても無理だが、有能な人々の力を借りて、当社は新たな境地を切り開こうとしている。

最後に、この20年にわたって私どもを支援してくださった日本や中国、韓国の多くの皆さま、そして新たに交流の生まれたオーストラリアやインドの皆さまに、心よりお礼を申し上げます。さて、これから先の20年間には、どのような物語が生まれるのだろうか…。 ■

アジアの電子化時代にNPGも参画

アントワン・ブーケ NPG ネイチャーアジア・パシフィック代表取締役副社長

NPGに入社した2001年3月の初日は、私自身の職歴の中でも最長の1日として、いつまでも忘れられないことだろう。その長さは実に36時間にも及んだ。私は東京で、アジア・パシフィック地域の発行人として採用されたが、1日目は米国シアトルで開催された米国物理学会の年次総会への渡航に費やされてしまった。この学会開催を機に、NPGは初めての物理科学ウェブサイト「The Physics Portal」を立ち上げようとしていたのだ。9時間もかけて空を旅した後、時差のせいでは、NPGのブースでまたもや丸1日過ごすはめになった。そして、そこで私は初めて将来の同僚たちに出会ったのだ。

あの頃はNPGの大きな変化の時代だった。2000年に図書館関係への無料サービスとしてwww.nature.comを立ち上げた後、NPGはちょうど、現在当社のビジネスの基軸となっているサイトライセンス・ビジ

ネス部門（SLBU）の試験段階に入ろうとしていた。もちろん当時は「部門」とまではいかず、まだマーケティング・スタッフが営業を行い、印刷版の当社ジャーナルをたくさん購入してくれていた図書館に、革新的で新しいオンライン製品を売り込みに行ったのだ。中村康一と私は、この新製品を2001年11月に日本で初めて販売し、2003年に水木元太が入社するまで、2人だけでこのビジネスを務めた。現在は、水木のほかに4名が加わっている。

www.nature.comのサイトライセンス販売によって、NPGは図書館コンソーシアムの世界に初めて足を踏み入れることになった。当社がコンソーシアムに近づこうとした最初の出版社の1つであることを、いったい何度痛感したことか！ 当社の印刷刊行物をそれまで一度も購入したことのない図書館が、電子化した情報資源を買ってくれる

ようにするためには、新しい考え方が必要だった。これはまた、技術的問題や法的問題といった新しく動きの速い世界をもち込むことでもあった。私たちが達成した大きな成果の1つは、現在までの6年という時の試練にも耐えうる購買モデルを作り出したことだと思う。現在、当社では、日本やオーストラリア、韓国、中国、台湾、香港にある10の主要な図書館コンソーシアムと契約しており、シンガポールやマレーシア、タイでも重要な取引があり、ほぼ600のクライアントを抱えている。現在、電子版の売上高は印刷版を超えており、アジアにおけるNPGの販売収益のおよそ半分を占める。

私がNPGに入ってから6年、当社は予想をはるかに超えた成長を遂げた。最もよい思い出としては、サイトライセンスの販売以外に、2003年に英国大使館との共催で東京において開催したDNA50周年記念フォーラ



ムや、2004年に中国で開催した会議「China Voices」といった計画の準備に私自身も加わったイベントが挙げられる。現在、新しい挑戦課題がいくつかもち上がっている。2006年からは、メルボルンオフィスのニック・キャンベルをリーダーとしてアジア・パシフィック地域で最高の学会誌を出版しようという計画に着手しており、同年、本格的な医療コミュニケーション部門としてマクミラン・メディカル・コミュニケーションズ（MMC）を開設した。私の経験したあの長い最初の1日は、いくつかの興味深い時代に確実につながっていたのである。 ■

新事業へのチャレンジ

2006年以降、NPG ネイチャー アジア・パシフィックでは科学技術の進展に合わせ、新しい出版事業に精力的に取り組んでいる。その中から主なものを紹介する。

2007年1月創刊、*Nature Photonics* は編集部を初めて東京に設置

オリバー・グレイドン (*Nature Photonics* 編集長)

Nature Photonics は、ネイチャー・パブリッシング・グループ (NPG) が発行する物理学分野の最新ジャーナルである。この月刊ジャーナルが創刊されたのは2007年1月で、好評を得た *Nature Materials*、*Nature Physics*、*Nature Nanotechnology* に続く順調なスタートを切った。

Nature Photonics の使命は単純明快で、オプトエレクトロニクス、レーザー科学、光学をはじめとするフォトニクス分野の最高水準の論文を掲載することである。このほかに、フォトニクス業界で進行している技術の実用化、応用、それにビジネスの展開に関する最新動向を紹介する有益で読みやすい記事も掲載している。

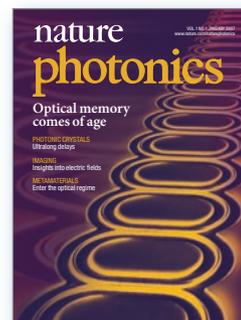
多彩な誌面構成をめざして、光の発生、操作および検出の全領域が網羅されるようにし、新規性、技術革新、および性能と能力

の飛躍的進歩を重視している。これまでに *Nature Photonics* では、フォトニック結晶、メタ材料、光バッファ、半導体レーザー、イメージング、それに光ファイバーをはじめとする各領域の論文を掲載した。

意外に思われるかもしれないが、編集拠点を日本にもつネイチャー系ジャーナルは *Nature Photonics* が初めてである。東京の市ヶ谷にあるオフィスには編集長の私のほか、編集者2名と製作スタッフが常駐しており、アジア・パシフィック地域全体の研究者と交流を行う絶好の拠点となっている。さらに誌面の国際性を確保するべく、サンフランシスコとロンドンの編集者が日本の編集チームを支援している。

Nature Photonics では、本誌のほかに、フォトニクス領域の有望な技術の進歩に的を絞った隔月刊の「Technology Focus 特別増刊号」

も発行している。年6回発行の Technology Focus が2007年に取り扱うトピックは、LED (1月)、通信 (3月)、ディスプレイ (5月)、半導体レーザー (7月)、バイオフォトニクス (9月)、イメージング (11月) である。この増刊号はウェブサイト www.nature.com/nphoton にて無料で閲覧することができる。 ■



2006年10月創刊、*Nature Nanotechnology* は編集者の1人を東京に配置

アイ・リン・チュン (*Nature Nanotechnology* アソシエイト・エディター)

「ナノテクノロジー」という用語が科学論文に用いられたのは、1974年の東京理科大学谷口紀男教授による論文が最初である。ただし、この用語が実際に使われるようになってきたのは1980年代後半であり、それ以降、使われる機会が増え続けている。Institute for Scientific Information (ISI) のデータによると、ナノ論文は今や、米国やヨーロッパを抜いて、東アジア (中国、香港、台湾、日本、韓国) 発のものが最も多い。国別では、中国が2001年に発表数で日本を追い抜き、韓国も着実に成長している。1999～2004年発表のナノ論文数で世界各国を順位づけると、日本が米国に次いで第2位、中国が第3位、韓国が第8位である。

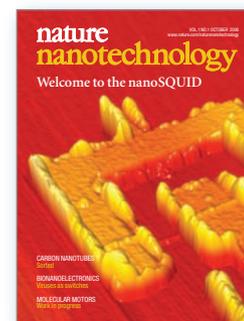
研究開発への支出や投資も増大している。米国国立科学財団は、世界各国の政府によるナノテクノロジー研究開発への支出額について、1997年の4.32億ドル、2001年の15

億ドルに対し、2005年が約41億ドルと推計している。2004年、各国の企業によるナノテクノロジー投資は38億ドルであり、アジア企業は合計14億ドルを投資している。

このように、アジア・パシフィック地域の研究者や企業の影響力が増大するに伴い、NPGは2006年10月、*Nature Nanotechnology* の創刊にあたり、編集者の1人を東京オフィスに配置することを決定した。ネイチャーが編集者をこの地域に置いたのはこれが初めてである。編集者が常時東京で活動することにより、*Nature Nanotechnology* は、研究室訪問や学会出席、*Nature Nanotechnology* 発行に関する集中セミナーを通じ、この地域のナノ学界と良好な関係を構築することが可能となる。

Nature Nanotechnology は、生物学、物理学、化学の基礎研究から新素材や機能的装置、技術まで、幅広いトピックを対象としている。原

著論文のほかに、総説論文、ニュース概説、他誌が掲載した重要論文の研究ハイライト、解説、書評、通信、それに幅広く捉えたナノテクノロジーの全体像 (ナノテクノロジーの資金、商品化、社会的影響度) の分析も掲載される。*Nature Nanotechnology* はこれによってナノサイエンス、ナノテクノロジーの分野で世界的コミュニティの声となることをめざしている。 ■



2006年、アジア・パシフィック地域のすぐれた学術誌と提携・発行

ニック・キャンベル (アソシエイト・パブリッシャー、エグゼクティブ・エディター)

2006年1月、NPGは、アジア・パシフィック地域の科学・医学分野の一流学会や団体と提携してすぐれたジャーナルを発行するという新たな戦略プログラムをスタートさせた。このプログラムでは、優良性と革新性、先見性という核心的価値をNPGと共有する提携先とジャーナルに的を絞り、メルボルンに拠点を置く私と東京の浅見りの子が、アントワーン・ブーケの統率の下で進めている。

このプログラムで発行されることになった最初のジャーナルは、中国科学院上海生命科学研究院機関誌である *Cell Research* である。*Cell Research* は1990年の創刊以来、中国随一の生命科学ジャーナルとして、すでにめざましい発展と拡大を遂げてきた。同誌はISIの細胞生物学分野で中国のナンバーワンであり、インパクトファクター (現在2.161) は上昇を続けている。これにより、*Nature*

Cell Biology、*Nature Reviews Molecular Cell Biology*、*Cell Death & Differentiation* を擁するNPGのすぐれた分子細胞生物学ジャーナルのレポーターに、新たな優良誌が加わったことになる。

上海生命科学研究院側も、同誌がいかにかNPGにふさわしいものであるかを認識していた。提携契約が調印されたとき、院長の裴鋼教授は「今日は中国の科学にとってすばらしい日だ。世界最高の科学誌発行元であるNPGと提携することは、中国の科学が成熟し、それにふさわしい認識が得られるようになってきたことをはっきり示している」と語った。

2番目のジャーナルとなったのは、すぐれた国際的研究の発表に関して輝かしい歴史を誇っているオーストラレーシア免疫学会機関誌の *Immunology and Cell Biology* (ICB) である。ICBは、免疫学と細胞生物学の幅広い領

域に着目し、アジア・パシフィック地域の主要な基礎生物学研究ジャーナルの1つという地位を獲得していることから、同誌はNPGのポートフォリオに加えるジャーナルとして理想的なものであった。

これ以外にも最終段階を迎えている提携契約交渉があり、幸先のよいスタートを切ったこの新プログラムは、今後も大きく発展することが期待されている。 ■



2006年、医療関係者と製薬企業を橋渡しする新部門を設立

大西進 (MMC コンサルタント・ディレクター)

2006年8月、マクミラン出版社*1の新しい事業としてマクミラン・メディカル・コミュニケーションズ (MMC) が立ち上がった。我々のめざすメディカル・コミュニケーションとは、情報を求める医療関係者と情報を提供する製薬企業のコミュニケーション活動を全面的にサポートするものである。MMCでは、NPGのもつ豊富な医学・医療関連コンテンツ*2を独占的に利用できる利点を生かし、質の高い学術情報をわかりやすいプロモーション資料の作成などを通して提供していく。

欧米に遅れているといわれて久しい国内治験整備が、2007年以降、厚生労働省の「新たな治験活性化5か年計画」としてスタートする。これにより今後、有用な新薬の増加が期待されている。MMCでは、市場へのスムーズな新薬の導入をサポートするための基礎的な体制をこの8か月間の活動で築き上げ、さ

らなる拡充をめざしている。

我々の掲げる理念は、「常に有用な情報を医療関係者に提供する」「ほかにはない独自性のある医学情報提供を追求する」「信頼と尊敬を与えるビジネス関係の構築に努力する」「長期安定成長をめざせるチームづくりを意識する」の4つ。これらの中で、よりよいメディカル・コミュニケーション事業のビジネス作りに邁進したいと考えている。 ■

*1 マクミラン 出版社 (Macmillan Publishers Ltd.) は1843年に英国で設立され、現在では世界70か国で事業を展開する総合出版社である。傘下にはNPGのほか、米国の科学誌 *Scientific American* もグループの雑誌である。

*2 コンテンツには、*Nature* のほか *Nature Medicine* などリサーチ誌、*Nature Reviews Cancer*、*Nature Reviews Neuroscience* などのレビュー誌、領域

別に臨床の最新研究の概要をまとめた *Nature Clinical Practice* シリーズ (8誌)、国際腎臓病学会機関誌 *Kidney International* などがある。




この20年の科学、 その偉大なる発展を振り返る

Part 1 — 物理科学分野

竹内 薫

この20年は、科学にとっていったいどんな年月だったのか。最も偉大な発見や研究について、その軌跡を追ってみよう。Part 1では、宇宙・地球・物理・化学・テクノロジーなど物理科学分野の発展を、科学作家としてテレビや出版界で活躍中の竹内薫氏が概観する。

この小論では、この20年間(1987-2007)の物理科学分野の発展を振り返ってみたい。実をいえば、このような試みは「暴挙」とよぶにふさわしい。なぜなら、現代科学の研究の裾野は広大であり、物理科学だけに話を限っても、毎年のナンバーワンの研究を追うだけで紙数が足りなくなってしまうからだ(スポーツ競技などと違って、科学では、そもそも、その年のナンバーワンの研究など決められやしない…)

そこで、いろいろと思い悩んだ末、「日本人の研究」「インパクトの大きさ」「Natureに掲載」という3つのキーワードを頼りに、宇宙・地球・化学・物理・

テクノロジーの各分野から、それぞれ数本の研究をピックアップして解説することにした。それでも、ほとんどの重要な研究を取りこぼすことになるが、あくまでも、筆者が個人的に「この20年を振り返って」書いているのである。あらかじめご了承ください。

精密科学の仲間入りを果たした宇宙論

過去20年の天文・宇宙物理学の発展はすさまじく、理論面では、超ひも理論やDブレーンをもとにした宇宙論まで登場した。だが、そういった数学的な色彩の強い研究は、ここでは取り上げない。もう少し「地に足のついた」研究を中心に

振り返ってみよう。

まず、どうしてもはずすことができないのが、COBE (Cosmic Background Explorer、宇宙背景放射探査機)による宇宙背景放射の観測である(図1、ちなみにCOBEの発音は「コービー」である)。宇宙背景放射は、宇宙初期の放射の痕跡であり、日常生活においても、携帯電話の雑音や、アナログテレビの砂嵐として「見たり聞いたり」することができる。1989年に打ち上げられたCOBEによる観測から、1992年には、宇宙初期の放射分布に小さな「ゆらぎ」があることが判明した。このゆらぎこそが、銀河や星といった宇宙の構造が生まれるために必

NASA; NASA

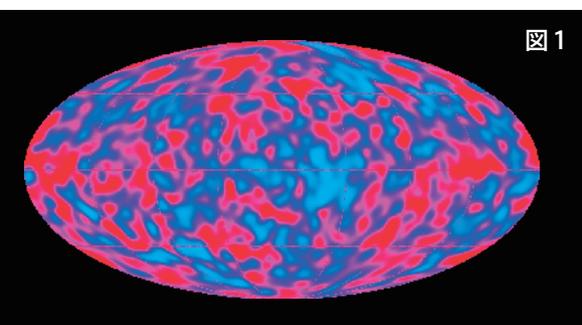


図1

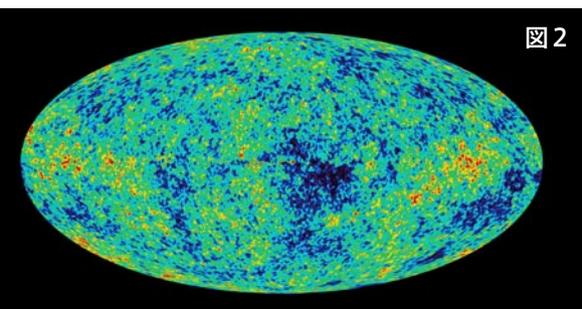


図2

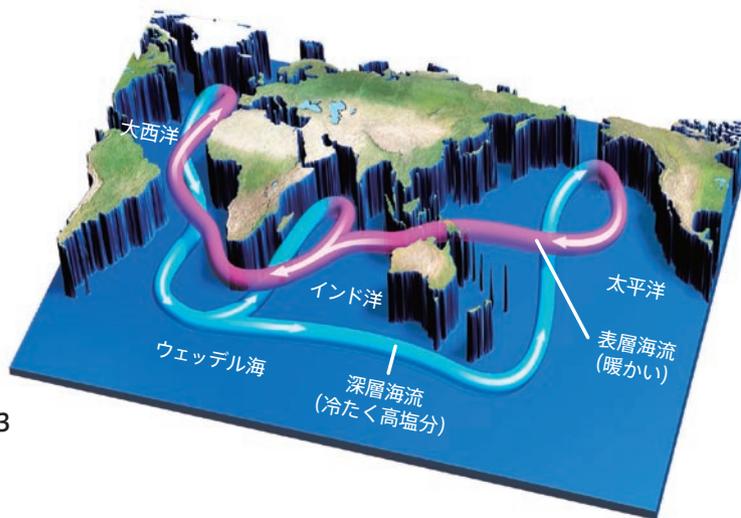


図3

図1は、1992年にCOBEが観測した宇宙マイクロ背景放射の全天マップ。図2は、COBEの後継機として2001年に打ち上げられたWMAPがより精密に観測した宇宙マイクロ背景放射の全天マップ。図3は、1980年代に提唱され始めた海洋深層大循環の流れ。高緯度の寒冷な海の水が冷やされて深層に沈み込むが、深海を流れている間に表層から伝わる熱によってだいに軽くなり、また表層に出てきて循環する。一巡するのにおよそ2000年かかるといわれている。

日本佳代美

要な「種」の役割を果たす。COBEによる観測チームを率い、我々の宇宙の成り立ちを解明した功績により、2006年度のノーベル物理学賞は、J・C・マザーとJ・F・スムートに授与された。

そのCOBEの後継機として、2001年に打ち上げられたのがWMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) である。さらに精密な観測が行われた結果、さまざまな宇宙のパラメータが確定した(図2)。例えば、宇宙の年齢は約137億年であり、宇宙の組成は4%が通常の物質、23%が暗黒物質、73%が暗黒エネルギーであることがわかった。COBEとWMAPによる精密観測により、宇宙論は、数学的な仮説の集まりから、精密物理学の仲間入りを果たしたといえよう。

天文分野では、太陽系外惑星の発見も見逃せない。太陽系外惑星の探査の歴史は古く、19世紀にまで遡ることができるが、そのほとんどは誤りであったと考えられている。現在では、発表された論文としては、1988年のB・キャンベル、G・A・H・ウォーカー、S・ヤングによるものが最初の太陽系外惑星として認められている¹。しかし、個人的に印象深かったのは、やはり、1995年のM・マヨールとD・クロによるペガサス51番星の惑星の発見だ²。なにしろ、太陽と同じ種類の恒星(主系列星)の周りの惑星が見つかったのである。現在、太陽系外惑星は200個以上が発見されている。果たして、その中に生命の宿る惑星は存在するのだろうか。

大気圏・岩石圏・水圏から見た地球科学の進展

まず、大気圏では、なんといっても、地球温暖化論の確立が目につく。特にGCM (General Circulation Model、一般循環モデル)の果たした役割が大きい。GCMは、大気循環に海洋大循環を組み合わせた複合的な気候変動モデルだが、やはり、日本の真鍋淑郎の先駆的な業績に注目すべきだろう³。

次に、岩石圏に目を向けてみると、地震国日本に住む我々としては、どうしても地震研究が気にかかる。そのなか



図4 2002年、日本は小柴昌俊と田中耕一のノーベル賞ダブル受賞(物理学賞と化学賞)に沸いた。

でも、いわゆる「スロー地震」(Slow Earthquake)がここ20年における最大の収穫といえるだろう。日本の川崎一朗が主な提唱者だ。スロー地震はほとんど地震波を放出しない「非地震性すべり」である。普通の地震は秒速2~3kmで断層面が拡大するが、スロー地震は、非常にゆっくり断層面が拡大するので、地震として感知されない。プレートの動きと地震の総量との差を埋め合わせるため、「プレート沈み込み帯の暗黒物質」ともよばれる⁴。

水圏では、やはり、海の(表層ではなく)深層の大循環が忘れてはならない研究成果だろう。海流の主な原因は風にある。その風は海の表面に影響を与えるため、長い間、海流は海の表層に限られるものと考えられてきた。実際、私が学校で海流について教わったとき、その流れが、どれくらいの深さについてのものなのかは、あまり疑問にも思わなかった。80年代にW・S・ブロッカーが提唱し始めた海洋深層大循環(Great Ocean Conveyor Belt)(図3)は、「コンベアーベルト」というわかりやすい比喻とともに、海流に対する我々の認識を根底から覆した⁵。

最後に、この分野で忘れてはならないのが日本の「地球シミュレーター」だ。一時、スーパーコンピューターの演算速度で世界一を占めていたことでも有名に

なったが、無論、地球科学への貢献には特筆すべきものがある。

「基礎的な技法」から物理・化学・テクノロジーを振り返る

物理・化学・テクノロジーに関しては、あまりにも細分化されており、インパクトのある業績も数え切れないため、何本かの論文に絞ることは至難の業である。したがって、いささかたよることを承知で、「基礎的な技法」という視点を軸に、この20年を振り返ることとしたい。

まずは、2002年度のノーベル化学賞に輝いた田中耕一による「ソフトレーザー脱離イオン化法」を挙げたい(図4)。サラリーマンのノーベル賞受賞として世間の話題をさらったのは事実だが、もちろん、質量分析の手法によりタンパク質が研究できるようになった点で大きな業績といえる。病気の診断や薬の開発など、幅広い応用へとつながった「原点」のような基礎研究だ。化学が苦手な私など、「質量分析」という言葉すらコワイ感じがするが、極めて軽いタンパク質をその質量から判別するというのは、どこことなく職人芸の雰囲気漂う。試料分子のイオン化を助ける補助剤と試料を混ぜた混合物に窒素レーザー光を照射し、気化させると、補助材のおかげで試料分子が壊れることなくイオン化される。そして、

イオン化された分子を電位差のある空間で飛行させると、「重いと遅く飛び、軽くと速く飛び」という単純な原理により、その質量がわかる。ただし、5人の共同研究なのに1名の受賞になった点については、個人的にノーベル賞の選考過程に素朴な疑問を抱いてしまった⁶。

続いて、さまざまな研究に使われる基礎技術の代表として「レーザー冷却」を取り上げたい(図5)。原子の移動速度を自在に変化させる技術、それがレーザー冷却である。レーザーを原子の集団に照射し、原子の運動エネルギーを減少させて止めることさえ可能になった。レーザー冷却の技術が発展したのは1980年代に入ってからである。まずW・フィリップスが原子ビームを減速させる方法を提案し、その後S・チューヤやC・C・タヌージらによって3次元や、さらなる低温の技術へと拡張された。3名は、これらの業績により、1997年度のノーベ

ル物理学賞を受賞している。現在、世界中で100を超える研究グループがレーザー冷却の分野で仕事をしており、原子光学、原子時計、光学格子、ボース-アインシュタイン凝縮などの分野に応用され、重要な基礎技術として、その地位が確立されている^{7,8}。

1990年代の材料科学界の幕開けは、「アーク放電によるフラーレンの大量合成」のニュースだった。アーク放電といえば、鉄鋼の溶接などに使われる古典的な技法である。放電の電流の通り道がアーク(arc、弓なり)になっていることから、こうよばれる。ようするに、正負の電極の間の放電を利用して、電極そのものの一部を蒸発分解させる手法だ。ドイツのW・クレッチマー、D・R・ハフマンらは、この地味ともいえる方法を使うことにより、世界で初めて、フラーレンの大量合成に成功した⁹。この研究により、それまで「応用研究」とは



図5 1980年代レーザー冷却の技術が発展した。写真は光と磁場の中に捕捉されたネオン原子。

程遠かったフラーレンに一気に注目が集まることとなった。ところで、フラーレンは、アーク放電の陽極側にできるのだが、誰も注目していなかった陰極側を調べて、フラーレンとはまったく異なる新材料であるカーボンナノチューブを発見したのが飯島澄男であった¹⁰(下コラム参照)。フラーレンの発見者の1人であるR・E・スモーリーが1996年にカーボンナノチューブの大量合成法を発見する

ナノテクノロジーと Nature

もともと材料に強い日本だが、フラーレンからカーボンナノチューブにいたる研究を眺めると、波乱万丈の感がある。フラーレンの発見は1985年のH・クロトー、R・カール、R・スモーリーらに帰せられる。3人は1996年度のノーベル化学賞を受賞した。フラーレンの存在自体は、大澤映二が1970年頃に着想していたものの、邦文雑誌にしか発表しなかったため、世界に知られることはなく、「幻の予言」に終わった。

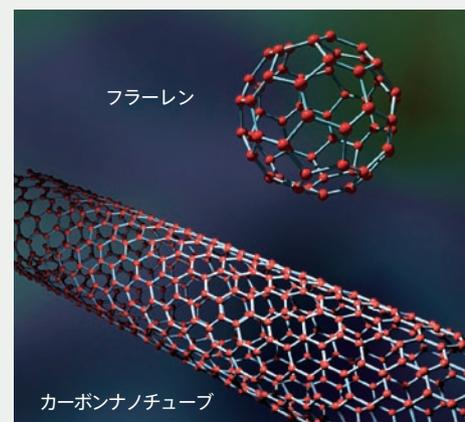
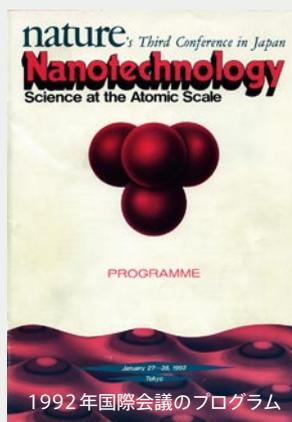
1992年の1月にNatureは、東京で3回目となる国際会議を開催した。「Nanotechnology: Science at the Atomic Scale」と題された会議には、本文でも取り上げた外村彰やスモーリーらの名前も見える。スモーリーは、会議のプログラ

ム(写真)の中で次のように述べている。「フラーレンの他にも(中略)同じように曲がったグラファイトをもとにしたトポロジカルな構造が存在する。特に直径数nmで長さ1 μ mくらいまでのグラファイトの閉じた微小チューブが、最近になって合成された(竹内訳)」多少意識したが、もちろん、飯島澄男により発見されたカーボンナノチューブのことである。この時点では、おそらくカーボンナノチューブという用語さえ定着していなかったのであろう。それどころか、当時のNatureをめぐってみると¹⁷、ナノテクノロジーなる分野の存在自体が、ようやく物理の世界において認知されつつあったようで、まさにナノテクの揺籃期だったことに気がつく。

興味深いのは、1986年から開催されたNatureによる東京国際会議は、ほとんどが生物・医学分野であり、物理科学は1992年のナノテクノロジーだけであることだ。Nature姉妹誌の相次ぐ創刊をみても、2002年のNature Materialsま

では、すべて生物・医学分野であることに驚かされる。この20年の最初の10年間、Natureは生物・医学分野に力を注ぎ、後半になって、バランスを取るように、ようやく物理科学に目が向けられるようになったようすがうかがわれる。KT

月本佳代美



に及び¹¹、今では、全世界で夢の新材料を使った研究が活発に行なわれるようになってきている (p.48 参照)。

電子線ホログラフィーで見る

日本のお家芸である電子顕微鏡の話題に移ろう。電子顕微鏡は、もともと光学顕微鏡では見えないような小さな物体を見るために開発された。ところが、電子顕微鏡には大きな弱点があった。それは、凸レンズはあっても凹レンズがないことである。カメラ好きの人なら誰でも知っているように、レンズは、必ず凸レンズと凹レンズを組み合わせて「収差」を補正している (収差とは、レンズによってできる像のズレや歪みのこと)。なぜ、凹レンズがつかれないのかの説明は省くが、その対策として登場したのが「電子線ホログラフィー」である。ホログラフィーというと、身近なクレジットカードに付いている鏡のような虹色の輝きを思い浮かべるが、もともと、電子顕微鏡の解像度をアップさせる目的で考案されたのだ。

電子線ホログラフィーでは、まず、物体に電子線を当てて散乱させる。次に、この散乱波に参照波とよばれる別の波を干渉させ、その干渉パターンを記録する。この記録が「ホログラム」だ。こうやってできたホログラムに、今度は (電子ではなく!) 光を当てると、最初の電子の散乱情報は光に置き換えられる。光の像ならば、凹レンズが存在するので、収差の問題も解決できる。この電子線ホログラフィーの歴史は、50年ほど前から始まったが、ここ20年の間に2つの画期的な応用研究がなされた。代表的な研究者として外村彰を挙げたい (図6)。

第1の応用は、超伝導体中の磁束量子の姿を捕らえたことである^{12,13}。超伝導薄膜にかけた磁場が細い糸のように絞られ、超伝導体を突き抜けるのが磁束量子だ。この磁束量子を直接「見る」ことができるようになり、超伝導研究に大きなインパクトを与えた。第2の応用として、ベクトルポテンシャルの観測が挙げられる。電磁気現象はマクスウェルの方程式で記述される。我々に馴染み深い電場・

磁場は、数学的には(ベクトル)ポテンシャルから導かれる。特に量子力学では、電場・磁場よりもベクトルポテンシャルのほうが主役に躍り出る。外村彰らは、世界で初めて、このベクトルポテンシャルを「見る」ことに成功した¹⁴。電子線ホログラフィーは、強誘電体や半導体内部の電場観測にも応用されつつあり、今後の発展が非常に楽しみである。

極微の世界に挑む

SFの古典「スタートレック」では、宇宙船エンタープライズ号のカーク船長が「スコッティ、上げてくれ」というと、機関士長のスコッティが転送装置で惑星の上から船長を宇宙船まで転送する。そんなSFの夢が、現実のものとなった。ただし、転送されるのは人間ではなく、ずっとずっと小さい「量子」なのであるが……。1997年にA・ツァイリンガーらが*Nature*に発表した論文は、量子のテレポーテーション (=転送) を実証したことで、大きな話題をよんだ¹⁵。

量子テレポーテーションをFAX送信と比較してみると、両者の似ている点と異なる点が理解できるだろう。まず、量子の世界には「複製不可能」という仕組みがあるため、量子テレポーテーションでは、転送されるオリジナルは送信側に残らない。そして、受信側に出現するのは完全なオリジナルなのだ。それに対して、FAXの場合は、オリジナルは送信側に残り、その不完全な複製が受信側で作られる。ツァイリンガーらの論文は、量子テレポーテーションの実証、という点で大きな意味をもつが、送信者と受信者のほかに制御者を加えた3者間での量子テレポーテーションを実証したのが古澤明らのグループである¹⁶。「なんだ、2者から3者に増やしただけじゃないか」というなかれ。この場合、2と3の差は極めて大きい。なぜなら、3者になって初めて「ネットワーク形成」の可能性が開かれるからである。3者での方法は、すぐに4者、5者と一般化することができるのだ。量子テレポーテーションは、単なる学術的な興味だけでなく、将来的



図6 IMVホログラフィー電子顕微鏡と外村彰博士。

には量子コンピューターなどへの幅広い応用が見込まれている。

自然界を作っている物質の構成単位である素粒子は、電子の仲間とクォークに分かれる。電子の仲間には、ミュー粒子、タウ粒子のほかに、3種類のニュートリノがある (ニュートリノについては次ページのコラム参照)。クォークは、アップ、ダウン、チャーム、ストレンジ、トップ、ボトム の6種類がある。この6つのうち、最後に発見されたのが、最も重いトップ・クォークであった(1995年)。その質量は、不思議なことにアップやダウンと比べて、約10万倍も重い。現在、この重い粒子をつくることできるのは、フェルミ研究所にあるテヴァトロンという粒子加速器のみである。トップ・クォークの発見に先駆けて、その質量を間接的な実験結果と理論から予測していたM・J・G・フェルトマンとG・トーフフトは、その業績により、1999年度ノーベル物理学賞を受賞した。

新たな『科学の黎明 (はじまり)』

137億光年のひろがりをもつ宇宙の話から始めて、地球、化学、ナノテク、量子、そして、極微の素粒子であるトップ・クォークまで……駆け足でみてきたが、あらためて、科学の探究に終わりなどないことを実感させられた。

残念ながら、ハッブル宇宙望遠鏡、すばる天文台、地球物理学のブルーム説、

材料科学のフォトニック結晶、ボース-アインシュタイン凝縮の実証等々…、多くの話題に触れることができなかった。研究に関わっていた方々には、心からお詫び申し上げます。

私は、サイエンスライターであるとともに翻訳家でもあるので、『科学の終焉（おわり）』という本を訳したことがある（ジョン・ホーガン著、竹内薫訳、1997年徳間書店刊）。その中で、ホーガンは、科学における「収穫逓減の法則」を提唱していた。成熟した科学という分野は、どんどん収穫が減っていく運命にある…重要なことは、すべて20世紀までに発見つくされてしまった…、そんな意味のことが書かれていた。2007年の今、私は、ホーガンの主張がとんでもなく間違いであったと確信している。科学の営みに終わりなどない。逆に、研究が進めば進むほど、

謎は深まり、未知の世界が開ける。今から20年後、果たして、科学は我々にどのような驚きの世界をみせつけるのだろうか。それは、誰にもわからない…。 ■

謝辞

地球分野については、加藤茂生氏（早稲田大学人間科学学術院・専任講師）から情報をいただいた。物理・化学・テクノロジー分野については、金子雄太氏（横浜国立大学大学院博士課程）にリサーチをお願いした。トピックスの選定も記述内容も、おふたりに負うところが大きい。ここに記して感謝したい（ただし文責はすべて竹内にある）。

竹内薫（たけうち・かおる） / 科学作家、翻訳家。1960年生まれ。東京大学理学部物理学科卒業、カナダのマギル大学大学院博士課程修了。専門はエネルギー物理学。著書に『99.9%は仮説』（光文社新書）、『世界が変わる現代物理学』（ちくま新書）、『Natureを英語で読みこなす』（ブルーバックス）など多数。1990年から12年間、Nature（日本印刷版）の巻頭翻訳に携わった。

参考文献：COBEやWMAPのように大きな研究チームによる共同研究については参考文献を省略した。また、複数の関連論文がある場合、筆者の視点から代表的なもの1点を選んだ。以下は、決して網羅的なものではないことをお断りしておく。

1. Campbell, B. et al. *Astrophysical Journal*, Part 1331, 902-921 (1988)
2. Mayor, M. & Queloz, D. *Nature* **378**, 355-359 (1995)
3. Manabe, S. & Stouffer, R. J. *Nature* **364**, 215-218 (1993)
4. Heki, K. et al. *Nature* **386**, 595-598 (1997)
5. Broecker, W. S. *Nature* **367**, 414-415 (1994)
6. Tanaka, T. et al. Second Japan-China Joint Symposium on Mass Spectrometry Abstract (1987)
7. Chu, S. et al. "Three Dimensional Viscous Confinement and cooling of Atoms by Resonance Radiation Pressure." (in *Laser Spectroscopy VII*, T.W. Hänsch and Y.R. Shen, eds., Springer-Verlag.) (1985)
8. Lett, P. D. et al. *Phys. Rev. Lett.* **61**, 169-172 (1988)
9. Krätschmer, W. et al. *Nature* **347**, 354-358 (1990)
10. Iijima, S. *Nature* **354**, 56-58 (1991)
11. Thess, A. et al. *Science* **273**, 483-487 (1996)
12. Matsuda, T. et al. *Phys. Rev. Lett.* **62**, 2519-2522 (1989)
13. Harada, K. et al. *Nature* **360**, 51-53 (1992)
14. Tonomura, A. et al. *Am. J. Phys.* **57**, 117-120 (1989)
15. Bouwmeester, D. et al. *Nature* **390**, 575-579 (1997)
16. Yonezawa, H. et al. *Nature* **431**, 430-433 (2004)
17. Ball, P. & Garwin, L. *Nature* **355**, 761-766 (1992)

スーパーカミオカンデとK2K実験

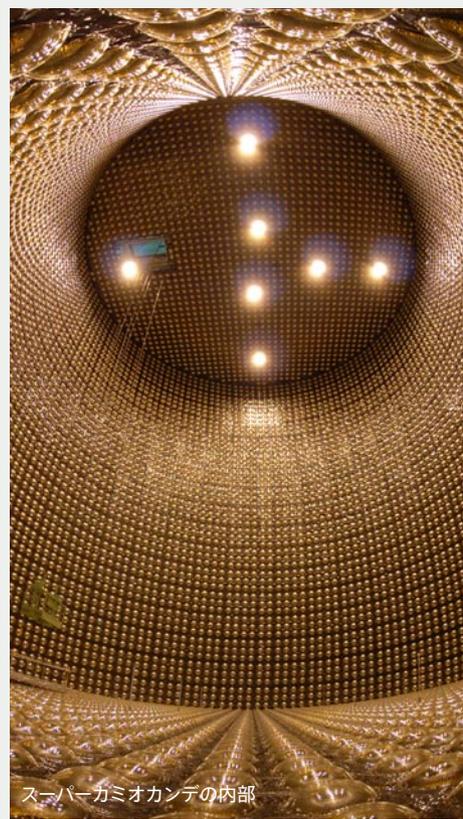
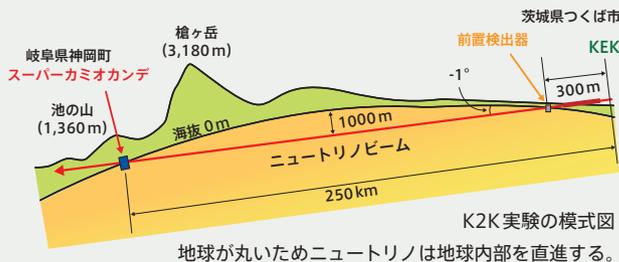
日本を代表するニュートリノ研究のメッカがスーパーカミオカンデ（右写真）と高エネルギー加速器研究機構（KEK）である。ニュートリノは日本語では「中性微子」。その名のごとく電氣的に中性（＝電荷がゼロ）で、微小な素粒子なのだ。スーパーカミオカンデは、岐阜県飛騨市神岡町にある岩盤の中に5万トンの水槽を作り、宇宙から飛んでくるニュートリノを捕らえる施設だ。ニュートリノはほとんど物質と反応しないため、地球も人間の身体も素通りしてしまう。その数は膨大で、親指大の面積を1秒間に660億個のニュートリノが通過する。そんな捕らえどころのない素粒子だが、5万トンの純水があれば、まれに水の分子と衝突し、チェレンコフ光という「青い光」が発生する。その光を観測することによりニュートリノの性質を調べることが可能になる。

このニュートリノは、長い間、質量がゼロだと考えられてきたが、実は、極めて小さい質量をもつことが、1998年にスーパーカミオカンデで実証された（ちなみに、スーパーカミオカンデの「ンデ」は、陽子崩壊実験（Nucleon Decay Experiment）の頭文字からきている。当初の目的は、ニュートリノの観測ではなく、陽子の崩壊実験だったのだ）。その後、茨城県つくば市にあるKEKで人工的に作られたニュートリノを250km離れたスーパーカミオカンデに撃ち込んで、ニュートリノが質量を

もつことは実験的にも確認された。この実験は、KEKから神岡まで、ということで、KtoKを文字で「K2K実験」と名づけられた（下図）。

捕らえどころのない素粒子の素顔がみえてきた。ニュートリノに関する一連の研究成果により、小柴昌俊は2002年度のノーベル物理学賞を受賞した（図4）。また、後継者の戸塚洋二は2007年度のフランクリン・メダルを授与された。まさに、日本が世界に誇る研究だといえよう。

KT



スーパーカミオカンデの内部



太陽を測る

肌をまもる

正確な紫外線測定でよりよい皮膚の保護

焼け付くような日差しで、SPF(Sun Protection Factor、日焼け防止指数)30のローションのキャップを開けながら、この指数がどういう意味なのかと思ったことはありませんか。

現在、SPF値はヒトの皮膚を使って測定されています。皮膚を複数の区画に分け、一部にはローションを塗布し、一部は塗布せずにおきます。ここに、さまざまに異なる量の擬似太陽光を照射し、翌日、日焼けの程度を判断します。このとき、ローションを塗布しなかった区画が、ローションを塗布したうえで30倍の量の光を当てた区画と同程度の日焼けであれば、そのローションのSPF値は30とされます。個人差があるため、この測定を10人以上に行い、その平均値を算出します。

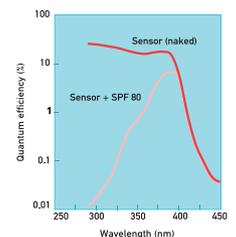
このテストは結果を得るのに丸一日を要します。しかも、日焼けの程度の判断は目視で行われるため、主観性をまぬがれません。

浜松ホトニクスと化粧品大手の資生堂は、有害放射光のより客観的で迅速な測定法について共同研究を行っており、浜松ホトニクスはこのための、高感度なセンサを開発しました。このセンサは、紫外線のみ感度をもち、それ以外の光には反応しません。

微弱な紫外線を正確に測定するためには、迷光となる赤外線や可視光線を分離しなければなりません。また、SPF50あるいはSPF100といった日焼け防止効果の高いローションの場合は、信号がさらに微弱になるため、高い感度が必要になります。

浜松ホトニクスは健康や環境の分野で幅広い研究開発を行っています。有害紫外線の影響は、オゾン層の問題に見られるように、ますますその重要性を増しています。

開発したセンサ(光電子増倍管、左)と、その分光感度(右、赤い曲線)。ピンクの線は、SPF80化粧品を通した場合。



浜松ホトニクスは光技術で、さまざまな問題に挑戦していきます。

詳細については、右記URLをご参照ください。URL:<http://jp.hamamatsu.com/rd/publication>

浜松ホトニクス株式会社

〒430-8587 浜松市中区砂山町325-6 TEL: (053)-452-2141 FAX: (053)-456-7889 URL <http://jp.hamamatsu.com>

HAMAMATSU
Photon is Our Business

この20年の科学、 その偉大なる発展を振り返る

Part 2—生物科学分野

水谷 治央

「21世紀は生物学の時代」といわれて久しいが、この20年間はゲノム科学を中心に、まさにその序盤戦ともいべき数々の偉大な発見があった。Part 2では、遺伝子・進化・免疫・脳・薬学・医学など生物科学分野の発展を、生理学研究者として知の統合化をめざしている、水谷治央氏が概観する。

ネイチャー・ジャパンが誕生した20年前の1987年、日本の生物学界は空前の吉報に歓喜の声をあげた。「利根川進博士、ノーベル医学・生理学賞単独受賞!」の知らせである(図1)。受賞理由は、「抗体の多様性を生み出す遺伝学的原理の発見」であった。ほぼ無限とも思われる外敵(抗原)たちと、有限個の抗体遺伝子が戦う巧みな生体メカニズムを解明し、世界の賞賛を浴びたのである。現時点においても、ノーベル医学・生理学賞の日本人受賞者は彼しかいない。しかし、これまでの20年間の生命科学の歩みの中で、日本人研究者達は、その発展に計り知れない貢献を果たしている。本稿では彼らの歩みを中心に振り返ってみることにしよう。

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。

図1 1987年、利根川進博士がノーベル医学・生理学賞を受賞。

全世界をあげての一大プロジェクト

この20年の間で一般の人の耳にも、よく届くようになった専門用語がある。「ゲノム」だ。ヒトの染色体の中に眠る全遺伝暗号(ヒトゲノム)を読み解いてしまおうという試み、「ヒトゲノム計画(HGP: Human Genome Project)」による影響が大きい。和田昭允がDNAの塩基配列を高速で解読する手法を提案したのをきっかけに、1987年には30億塩基対にも及ぶヒトゲノムの完全解読が視野に入っていた¹。その3年後、米国が総額30億ドルの研究予算を投じることを決め、国を挙げてこの壮大なプロジェクトに取り組むことになる。

日本や英国などを含め、計6か国の国際チームとなったHGPは、ヒトゲノム解読完了までを15年と見積もっていたが、J・C・ベンター率いるセララ・ゲノミクス社がゲノム解読競争に参入することで事態は急変する。HGPは、染色体をそれぞれの国で分担し、無償公開を原則として解読を進めていたが、セララ社は、独自に採用したショットガン・シークエンス法を用いて、ヒトゲノムを商業目的で解読しようとしたのだ。ショットガン・シークエンス法は、全ゲノムをランダムに細切れにし、その解読結果をコンピューターでパズルのようにつなぎ合わせるという画期的な手法だった。その解読の速さは飛ぶ鳥を落とす勢いという表現が適切で、国際チームはこの小さな会社を脅威に感じずにはいられなかった。1996年、彼らは解読した塩基配列

を無償で公開することを約束するものの、ゲノム解読競争は驚異的な加速度をまとい、計画を前倒して概要配列を発表するに至る。2001年の2月、HGPがNature誌、セララ社がScience誌の1号分の誌上をほぼ独占した^{2,3}(図2)。

そして、J・D・ワトソンとF・H・C・クリックがDNAのらせん構造を発見したちょうど50年後の2003年、HGPはヒトゲノム解読の完了を宣言する。その翌年、ゲノム解読終了の論文報告がNature誌上で行われることとなる⁴。その塩基配列は世界に3つあるインターネット上のデータベースに公開されており、誰でも自由にその情報を利用することができる。現在では解読率99%、その精度は99.999%以上にまで高められ、遺伝子の数は当初の予想の4分の1、約2万8900個(最も多い推定値)程度と見積もられている。これらの配列情報は、いまや生命科学研究には必要不可欠な資源になるとともに、医学的応用を後押しした。特に、個人によって配列が異なる遺伝子(遺伝子多型)を病気の治療や予防に活用するテーラーメイド医療が目ざされている。

証明された「人類単一起源説」

ゲノム計画はヒトだけではない。これまでに細菌*H. influenzae*、イネ*Oryza sativa*、線虫*C. elegans*、ショウジョウバエ*Drosophila melanogaster*、マウス*Mus musculus*、チンパンジー*Pan troglodytes*など多くの種のゲノムが解読されてい

る。ゲノムの全配列が明らかになることで、遺伝子の機能解析が飛躍的に進み、重要な遺伝子が発見された例も多い。また、異種間でゲノムを比較することにより、人類の進化に与えた影響を網羅的に検討できるようになった。特に、ヒトと同じくヒト科に属するチンパンジーとの比較により、ヒトで急速に変化した遺伝子を特定することができ、その中には言語能力にかかわる「FOXP2」という遺伝子も含まれていた。

DNAの塩基配列の比較を行うことで、我々現代人がどこからやって来たのか、つまり「人類の起源」をたどることができる。ゲノム計画が始まる以前の1987年、1万6500塩基対程度しかないミトコンドリアDNA (mtDNA) を解読して得られた結果は興味深い。mtDNAは母親のものがすべて子供に遺伝するという特徴を生かして、人類の起源を突き止めることに成功したのだ。A・C・ウィルソンのグループは、世界各地147人のmtDNAを解読することで、現生人類のミトコンドリアは約20万年前のアフリカに住む1人の女性に由来することを示した⁵。この女性はミトコンドリア・イヴと名づけられ、瀬名秀明氏が著した『パラサイト・イヴ』のモデルになったことでご存知の方も多いかもしい。これまで、人類の起源については「単一起源説」と「多地域起源説」で論争が巻き起こっていたが、ウィルソンらは「アフリカ単一起源説」を支持する有力な証拠を初めて示したのである(図3)。

「多地域起源説」とは、北京原人やネアンデルタール人のような旧人も我々の祖先であったとする仮説である。そして、現代人(新人)は彼らの混血によって生まれたと主張されていた。ならば、旧人と新人のmtDNAを比較し、交雑の有無を確かめることができれば、より確固たる証拠を打ち出すことができる。そう考えたS・ペーボらのグループは1997年、ネアンデルタール人の化石からmtDNAを抽出することに成功し、ネアンデルタール人は新人と約60万年前には分岐していたことを示した⁶。これにより「ア

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。

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。

図2 2001年、ヒトゲノム概要配列解読が完了。上はNature誌の日本での記者発表のようす(左から、ディビッド・スウィンバンク、和田昭允、藤山秋佐夫、榊佳之、清水信義、養島伸生、菅原秀明、大石道夫)、左はScience誌の表紙画像を脇に置き、研究成果について説明するセララ・ゲノミクス社のJ・C・ベンター社長。

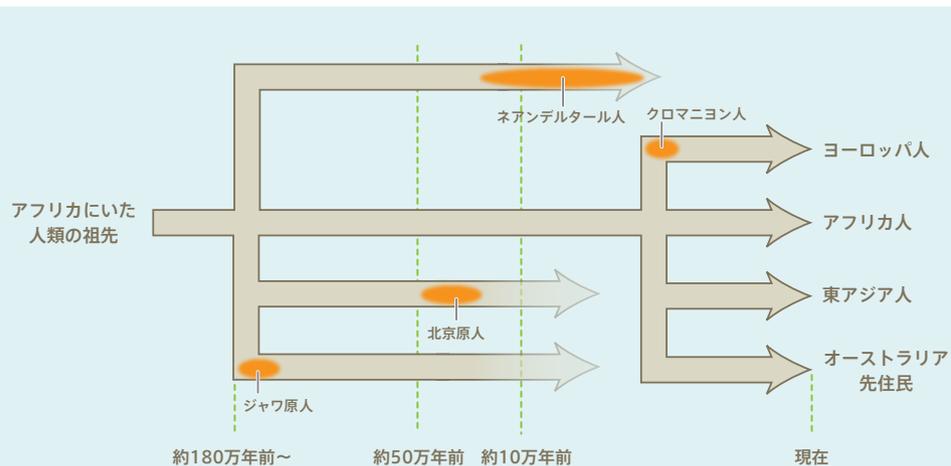


図3 アフリカ単一起源説は、すべての現代人(新人)は、アフリカに出現した単一の祖先に由来するとする説。

フリカ単一起源説」がほぼ間違いないことが証明される。さらに昨年、同グループにより核ゲノムDNAも比較されたことで証拠が補強され、両者間で交雑した明らかな痕跡は見られないという結論を導き出した⁷。よって、現代人以外のヒト属は何らかの理由により絶滅したことになるわけだが、そのはっきりした原因は未だ明らかになっていない。

RNAに秘められた能力

「生命の起源」は何だったのだろう。ネイチャー・ジャパンが設立されるさらに20年前、つまり1967年に、C・R・ウーズが『The Genetic Code』という著書の中で、「生命はRNAから始まった」のではないかという概念を提唱している。1986年、この概念はウィルター・ギルバートによって「RNAワールド」と名づ

けられた⁸。RNAの主な役割は、DNAの遺伝情報をタンパク質へ変換させるための「伝達係」であるが、RNAには酵素のような触媒機能があること、ある種のウイルスは遺伝情報をRNAに保持していることなどから、生命の起源はRNAだったとするものである。しかし、本仮説の証明困難さも手伝って、RNAが科学の表舞台に立つことは稀であった。

ところが、1998年、RNAのもつ意外な能力が明らかになったことで、その存在感は大きなものとなる。2006年のノーベル医学・生理学賞の対象にもなった「RNA干渉 (RNAi: RNA interference)」それは、RNAがRNAを切断して遺伝子の発現を抑制する生命現象であった (図4)。

A・ファイヤーとC・C・メローらは、遺伝子の配列情報と相補的な2本鎖RNAを細胞内に注入するだけで、標的とする遺伝子の発現量を抑制するという作用を線虫で見いだした⁹。その後、特殊なRNA分解酵素により2本鎖RNAは20塩基ほどの長さに分断されること、標的遺伝子と相補的なRNAはタンパク質と複合体を形成してmRNAを切断することが明らかになる。2001年、T・タシュルらのグループが人間を含めた哺乳類の細胞においても、20塩基対程度のRNAによって、遺伝子発現の抑制効果が得られることを実証し、RNAiが遺伝子機能を同定するための技術として有望であることが確実となった¹⁰。

RNAiの応用は医療にも及ぶ。アメリカでは黄斑変性症やウイルス感染症の治療

に役立てようと、臨床試験がすでに試みられている。ヒトでの安全性はまだ確立されていないが、RNAiの医療応用が進めば、ハンチントン病などの遺伝病の発症を抑制することも可能になる。さらには、がん細胞の分裂増殖にかかわっている遺伝子の働きを抑え込むことで、強い抗がん作用を誘導できるかもしれない。RNAiは、遺伝子の機能解析という基礎研究の発展を促すばかりでなく、私達が将来直面する難病の克服にも大きな期待を抱かせる。その可能性を展望するだけでも、発見からたった8年でノーベル賞に輝いた価値の大きさを痛感せずにはいられない。

免疫の力でがんを倒す

がんの悪性度は、細胞増殖にかかわる遺伝子のみならず、がんの進行を抑制する遺伝子の変異が決定的となる。前者をがん (原) 遺伝子、後者をがん抑制遺伝子とよび、それぞれがん細胞のアクセルとブレーキに例えられることが多い。アクセルが勢いよく踏み込まればがん細胞はとめどなく増殖するし、ブレーキが壊れればがんの進行を抑えられなくなる。特に後者のブレーキの役割が重要で、がん抑制遺伝子の中でもp53とよばれる分子が壊れると腫瘍が悪性化しやすいのだ。当初p53はどのような機能をもつ遺伝子なのか不明だったため、分子量が5万3000 (53kDa) のタンパク質という意味合いで名づけられた。発見から10年近くたった1989年、p53遺伝子の変異ががんを引き起こすことが確実視されたことで、がん抑制遺伝子として機能していることが判明したのである¹¹。

p53は転写因子とよばれる一群のタンパク質の1つで、さまざまな遺伝子の発現調節を行っている。中村祐輔は、その標的となる遺伝子群の単離などが関連遺伝子の研究を数多く残している¹²。これまでに明らかになっているp53の主な機能としては、細胞周期の制御、損傷を受けたDNAを修復するタンパク質の活性化などがある。さらに、修復不可能な損傷を受けた場合には、細胞の自殺であるアポトーシスを誘導する。

がんの治療法といえば、外科療法 (手術)、化学療法 (抗がん剤)、放射線療法が代表的であるが、近年は免疫療法という新しい治療法が注目を集めている。自分が元来もっている免疫細胞を直接賦活化して、自己免疫力でがん細胞を退治してしまおうというものである。免疫細胞の中には、樹状細胞とよばれる「異物監視役」があり、細菌やがん細胞を自然免疫にかかわる受容体で感知している¹³。この分野の第一人者である審良静男は、現在「世界で最も注目された研究者ランキング」で2年連続一位に輝いている気鋭の科学者だ。自然免疫の機能を思いのまま操ることができれば、がんワクチンの作製も可能であり、他の治療法にみられるような副作用を大幅に軽減できるようになると期待されている。

まだまだ続く HIV との戦い

遺伝子の突然変異ががんを誘発する諸悪の根源なのだが、突然変異が最も恐ろしい事態を引き起こすのはウイルスにおけるケースかもしれない。近年の鳥インフルエンザH5N1型の報道には耳を塞ぎたくない思いだ。H5N1型がヒトからヒトに感染できる新種のインフルエンザに変異したとき、それはパンデミック (世界的流行) を引き起こす可能性をもつ。人間は、絶え間なく変異を繰り返すウイルスと戦うことを余儀なくされている運命にある。

なかにはヒトの免疫細胞に感染し、我々の免疫機能を奪うことで、死に至らしめるウイルスもいる。ヒト免疫不全ウイルス (HIV)、いわゆるエイズウイルスだ (図5)。現在HIV感染者は世界に約3000万人以上いると報告されている。HIVは免疫細胞の1つ、CD4陽性リンパ球に感染し、10年程度の潜伏期間を経た後、免疫力低下による種々の症状を引き起こすようになる。

これまで、多くの研究者がHIVの増殖を抑制する治療法を模索し、HIVの逆転写酵素を阻害する薬 (AZT: アジドチミン) が有効であることを見いだした。しかし、AZTをエイズ患者に投与しても1年もしないうちに、HIVは突然変異に

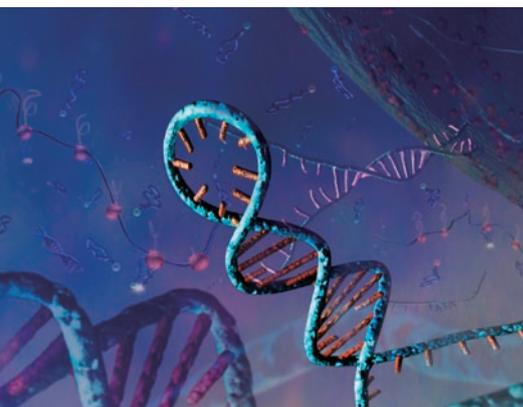


図4 1998年、RNAの新たな能力 (RNAi) が発見された。

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。

図5 1995年、エイズウイルス（HIV）の増殖を抑える効果的な薬が完成した。上はT細胞から出芽するHIVを捕らえたTEM（透過型電子顕微鏡）画像。

より薬剤耐性を獲得してしまう。不十分だったエイズ治療に、ようやく光が差し込んできたのは1995年のことである。HIVが増殖するのに必要なプロテアーゼを阻害する薬が完成したのだ¹⁴。その後、同様の阻害薬が複数完成することで、エイズの「カクテル療法（HAART）」が確立した¹⁵。逆転写酵素阻害薬2つとプロテアーゼ阻害薬1つを混合することで、血液中のHIVの数を検出限界以下にまで減らすことが可能となり、患者の寿命を年単位で延長することを実現させた。

しかし、それでもなおHIVの変異スピードは急速であるため、エイズの根本治療には至っていない。現在、作用の異なる薬の導入や遺伝子治療による方法などが臨床試験の段階にある。

クローン技術が抱える光と影

そして、ついに人間は自らの力で遺伝子を変異させたり、同じ遺伝子をもつ生命を作り出すことができるようになった。それを象徴する出来事といえば、体細胞クローンヒツジ「ドリー」が1996年7月5日に生まれたことであろう。この事実、翌年の2月にウィルムットらによりNature誌に報告された¹⁶（図6）。彼らは

成体の羊の乳腺上皮細胞から核だけを取り出し、除核した未受精卵にその核を移植することで、成体と同じ遺伝子をもった個体を生み出すことに成功したのだ。このとき世界で初めて、成体の体細胞を使ったクローン動物が誕生し、それは同時に我々人間が自分自身のクローンを作製できる可能性を知ることであった。

クローン技術の応用範囲は幅広い。まずは、良質な家畜を大量に生産することができよう。普通の受精では、どんなに優秀な形質の親同士を交配させても優秀な子が生まれるとは限らないが、体細胞クローンなら親とまったく同じ遺伝形質が保証される。乳をたくさん出す乳牛のクローンを作製すれば、計画的に搾乳量を調整できる。ほかに医学的な活用法も考えられる。遺伝子を改変して高価な医薬品を乳汁中に分泌するウシを作製したとする。遺伝子改変動物を1頭作るには高価で手間がかかるのだが、その乳牛のクローンを作ってしまえば安く医薬品を生産できる可能性がある。

しかしながら、現段階においてクローン技術には問題点が非常に多いのも事実である。胚の早期死産、流産、死産などにより生産効率が悪く、正常な発生過程



図6 1996年、体細胞クローンヒツジのドリーが誕生した。

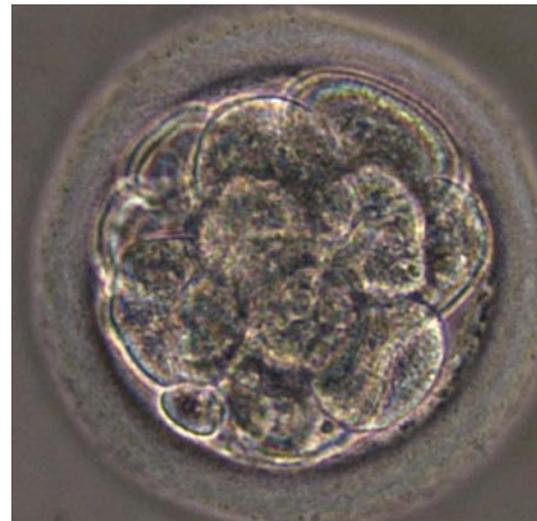


図7 1998年、初めてヒトES細胞が樹立された。写真は、アドバンスト・セル・テクノロジー社が体細胞核移植で作製したヒト桑実胚クローン。

を経ているのか不明な部分も残る。事実、ドリーの染色体末端部（テロメア）は生まれつき短く、初めから老化が進んでいたことが示されている。それに加え、クローン技術をヒトへ応用するとなると、生命倫理的な問題は避けられない。たとえば、それが不妊治療行為だとしても、親

と同じ遺伝子をもつ子の気持ちや人権はどうなってしまうのだろうか。子を人工的に作ることが可能になりつつある現代、我々が考えなければならない生命観は非常に繊細なものになっている。

これらの問題を別とすれば、クローン胚から胚性幹 (ES) 細胞を樹立することで、それをあらゆる細胞や臓器に分化させることができるというのは特筆すべきことだ。1998年に初めてヒトのES細胞が樹立されて以来 (図7)、再生医療が脚光を浴びている¹⁷。自分のクローン胚から新しい臓器を作れば、まったく拒絶反応の起こらない臓器を移植することができる。適合ドナーが現れるのを待つこともないし、免疫抑制剤の副作用に苦しむ必要もないので、その恩恵は絶大なものである。すでに、ES細胞を分化させる手段は様々な研究されており、例えば、パーキンソン病で脱落した神経細胞を補うためにはドーパミン神経細胞が作製されている。しかし、ES細胞樹立のために必要な卵子は、どこから提供されるのだろうか。また、クローン胚を子宮に戻せばクローン人間を誕生させることもで

きる。技術的にクローン胚を作製することが現段階ではむずかしいことも加味して、日本でのヒトクローン胚研究は当面の間見送られるようだ。

自然が教えてくれるもの

最後に少しだけ神経細胞の再生について触れておこう。脳内の神経細胞は成人になるとまったく再生しなくなってしまうのだろうか。一昔前までは、脳の中で新しい神経細胞は生まれにくいという説が常識であったが、1998年、成人の脳で神経細胞が再生している事実が明らかになった¹⁸。しかも、記憶にかかわるといわれている海馬という領域においてだ。私達の脳は、使えば使うほど神経細胞どうしのつながりが強化されて、新しいことを学習できる。微量でありながらも新しく生まれた神経細胞が、我々の脳の働きを継続的に維持していることだろう。

母なる自然が教えてくれる森羅万象を、五感を研ぎ澄まして感じることで、私たちは常に生き生きとした活動を続けることができる。私達の心的内部状態は外部環境を学習することによって更新さ

れるものだ。学習の喜び、それは脳を活動的にし、人間性豊かに生きていくために自然が与えてくれた珠玉の賜物なのかもしれない。 ■

水谷治央 (みずたに・はるお) / 東京大学学術統合化プロジェクト特任助教。1977年生まれ。東北大学薬学部卒業、東京大学大学院医学系研究科博士課程修了。専門は神経生理学。脳神経ネットワークの3次元構造と機能に関する研究を行っている。

1. Wada, A. *Nature* **325**, 771-772 (1987)
2. Lander, E. S. et al. *Nature* **409**, 860-921 (2001)
3. Venter, J. C. et al. *Science* **291**, 1304-1351 (2001)
4. International Human Genome Sequencing Consortium. *Nature* **431**, 931-945 (2004)
5. Cann, R. L., Stoneking, M. & Wilson, A. C. *Nature* **325**, 31-36 (1987)
6. Krings, M. et al. *Cell* **90**, 19-30 (1997)
7. Green, R. E. et al. *Nature* **444**, 330-336 (2006)
8. Gilbert, W. *Nature* **319**, 618 (1986)
9. Fire, A. et al. *Nature* **391**, 806-811 (1998)
10. Elbashir, S. M. et al. *Nature* **411**, 494-498 (2001)
11. Baker, S. J. et al. *Science* **244**, 217-221 (1989)
12. Tanaka, H. et al. *Nature* **404**, 42-49 (2000)
13. Hemmi, H. et al. *Nature* **408**, 740-5 (2000)
14. Ho, D. D. et al. *Nature* **373**, 123-126 (1995)
15. Autran, B. et al. *Science* **277**, 112-116 (1997)
16. Wilmut, I. et al. *Nature* **385**, 810-813 (1997)
17. Thomson, J. A. et al. *Science* **282**, 1145-1147 (1998)
18. Eriksson, P. S. et al. *Nat. Med.* **4**, 1313-1317 (1998)
19. Ogawa, S. et al. *Proc Natl Acad Sci USA* **87**, 9868-9672 (1990)
20. Sakai, K. *Science* **310**, 815-819 (2005)

MRIと脳機能地図

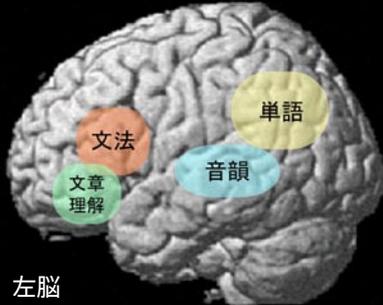
2003年のノーベル医学・生理学賞は磁気共鳴画像法 (MRI) に関する発見だった。病院の検査などでX線CTと同様、MRIを体験した人もいるだろう。測定には磁気を用いるので、放射線による被曝はもちろんない。さらには、骨による影響を受けにくく、CTよりコントラストのよい体内断層画像を得ることができる。特にMRIは、硬い頭蓋骨に囲まれている脳を測定するときに威力を発揮する。感度が非常に高いため、脳梗塞の早期発見などにも役立っている。狂牛病と同じ「異常プリオン」が原因で発症する変異型クロイツフェルト・ヤコブ病の所見もMRIで見分けることが可能だ。

脳全体が萎縮し、視床枕という部位に強いシグナルが出るのが特異的病状である。また、アルツハイマー病の原因物質であるアミロイド斑を、特別な条件下で可視化することもでき、発症前診断に向けた応用開発も進んでいる。このように、MRIは脳内の形態情報を非破壊的に精査できる画期的な技術であるが、その活用法はこれだけではない。1990年、ベル研究所に勤めていた小川誠二が脳活動の変化をMRIで捉えることに成功した¹⁹。それは、脳活動により周辺の血流量が変化することをとらえる技術であった。神経細胞が活動すると、賦活領域において血流量が増大し、酸素が結合

している血液が多く流れるようになる。血液中のヘモグロビンは酸素との結合度によって磁気特性が変化するので、その磁気共鳴変化を捉えて画像化したのである。本手法により、特定の生理学的条件下で活性化した脳部位を同定することが可能となり、これをfMRI (機能的磁気共鳴画像法) とよぶようになった。現在では、ヒトの高次認知機能解明をめざす脳科学や心理学において、脳活動計測の主流な技術となっている。fMRIを用いた研究は爆発的に普及し、酒井邦嘉はこの手法を用いて脳内の文法中枢などを発見し、左脳の「言語地図」を作成した²⁰ (右図)。fMRIを用いることで、

脳のどの部位がどのような機能を持っているのかという脳機能地図を描くことができる。このような知見は、脳の作動原理解明に大きなヒントを与えてくれるものとなっている。 HM

言語地図



左脳

21世紀に 科学の向かうところ

特別インタビュー

この20年間の科学技術の躍進は研究の高度化・複雑化をもたらしたが、科学の本質を見極める力はますます重要になってきた。一方、アジアの台頭が価値の多様化を生み、成熟した社会は科学の文化的素養を必要としている。2001年度ノーベル化学賞受賞者で理化学研究所理事長の野依良治博士に、科学と科学者のあり方について、冬野いち子が話を聞いた。





野依良治 (のより・りょうじ) / 理化学研究所理事長。工学博士。1938年、兵庫県生まれ。1961年、京都大学工学部工業化学科卒業。1963年、同大学大学院修士課程修了。1972年、名古屋大学理学部教授。1997年、同大学大学院研究科長・理学部長。2001年、「キラル触媒による不斉反応の研究」においてノーベル化学賞受賞。2003年10月より現職。自ら提唱した、野依イニシアチブ（見える理研、科学技術史に輝き続ける理研、研究者がやる気を出せる理研、世の中の役に立つ理研、文化に貢献する理研）をもとに、理研の運営に力を注いでいる。

分野を融合し、将来を見通す

冬野—この20年間で、物理・化学・生物など主な科学分野はどのように変わってきましたか？

野依—科学は自然の森羅万象を客観的に記述する学問です。20世紀は物理と化学を中心とした、自然を客体としてとらえるサイエンスが主流でした。しかし20年前ごろから、生命科学、特に分子生物学的なアプローチが非常に盛んになり、人間自身も研究対象となってきました。脳科学などの進歩によって、身体だけでなく精神や心などに関しても科学的なアプローチがとられるようになりました。最近、特にその傾向があると思っています。いずれにしても、物理、化学、生物など一面的な見方ではなく、統合しないと自然の理解は不可能になってきました。宇宙、生命、物質、情報などは、知識の統合なくして理解はありえない。さらに、自然科学と人文科学の統合も必要です。

冬野—それは容易にできることでしょうか？

野依—いいえ、分野間の融合は非常にむずかしく、むしろ実際には、分野の細分化・知識の断片化のような色彩が強くなってきたことをたいへん恐れています。分野の融合は極めて重要ですが、いったん細分化したものを統合するのはなかなか困難です。これは、教育の問題に帰結するのではないかと考えています。自然と正面から向き合うことなく、細分化した分野を先端科学と称しながら研究を行っている。若い人はまず、人間としての教養を身につけなければなりません。あまり早くから専門教育をしないことが大事ですが、今のような状況であればやむを得ないので、多様な専門家たちが同じテーブルについて、物事を考えることが必要でしょう。

冬野—そのほかにありますか？

野依—もうひとつ、将来を見通すことが非

常に重要になってきています。今までの科学は「証拠がないことは絶対にいわない」という証拠主義でした。今後もサイエンス自体は証拠主義で推移する面があると思いますが、それに基づく技術の開発になると、公共性を意識し将来を見通すことが大切です。幸い、計算機が発達してきたので、非常に大きなデータベースと確実な原理があれば、信頼性のあるシミュレーションができます。こうした未来予測というのは、人類社会にとってほんとうに大事になると思います。環境、エネルギー、医療、福祉、安全などに関する研究は、必ずしも利益をもたらすとは限りませんが、これらを十分に推進していく必要があります。こういった正統性ある研究の中から、事業性や採算性が生まれる可能性もあると思っています。

科学を表現する

冬野—研究者と社会とのかかわり方も変わってきていますか？

野依—私は、科学と社会のかかわりは時代の宿命だと思っています。自然科学の研究の本質は知識の創造で、社会とあまり関係がないように思われていますが、私は決してそうは思いません。自然科学の研究でいちばん大切なことは、社会を啓発することです。科学は、宇宙の誕生や生物の進化など、私たちを取り巻くものについて客観的に教えてくれます。こういう知識を得ると、人は自分がいかにささやかな存在であるかを知り、まっとうな人生観・自然観をもち、謙虚になります。これが自然科学の最大の意義であり、科学技術や経済への効果を越えて大切です。研究者はそういったことを主張し、説得しないとイケない。

冬野—しかし、その積極性が研究社会に不足している？

野依—そのとおりです。自然科学の研究は依然として「記述」ととどまっています。これをいかに「表現」していくか、ということが大事です。芸術—絵画、建築、文学など多くの知的な活動は記述もしていますが、表現力があります。だから人の心を打つわけです。音楽だって譜面をもとに歌手や演

奏者、指揮者、オーケストラがいて表現するから人々にわかる。こういったプロセスや方法、スキルが科学にはありませんね。サイエンスは人類にとって本質的なものです。研究成果を学術論文や特許といった記述にとどまらず、表現しなくてはイケない。

冬野—どのような形で表現すればいいでしょう？

野依—それは未知の部分です。しかし大きな未開の分野だろうと思います。科学者社会と一般社会が「これがすばらしい」と思えば、政策や慈善家などいろいろなものが後押ししてくれるでしょう。科学者だけではできないので、新しい種類の技法が必要です。科学の本質ゆえに、将来の発展性がすごくあると思います。科学インタープリター*というのは表現のひとつの手段です。しかし、その科学インタープリターも現状では、研究成果を直訳か意識している程度のものであるから、もっと大きな伝え方があると思います。芸術、文学が嫌いという人はいません。でも、科学が嫌いだという人はいます。おかしいですね。私は、自然にかかわる科学の本質が嫌いな人はいないと思っています。科学の表現は、21世紀前半の非常に大きな課題だと思っています。

価値の多様性とアジア

冬野—科学技術はますます高度化が進み、研究のスピードも速くなっています。競争力を保つために、科学者はどのような意識をもつべきでしょうか？

野依—*Nature* 誌は著者の国籍を問わず、すばらしい研究成果であれば掲載していますね。しかし、逆に *Nature* 誌に掲載されない論文は意味がないのでしょうか。過去の長い間、欧米先進国が科学技術研究を先導し、日本もそれに加わりました。今後もしばらくはそうであろうと思います。欧米や日本は、アカデミックな意味での科学のフロンティアを切り開くことに最大の関心があると思います。だけど、アジア諸国の情勢は少し違います。もちろん、先端科学に関心もっていますが、水、エネルギー、食糧そして貧困など、より深刻な社会的・地球的規模の問題に直面しています。そして、これらの

元 *Nature* 東京在住記者（現英国大使館上級科学担当官）の冬野いち子。
2005年3月から2年間、アジア・パシフィック地域の科学ニュースを担当した。



友友園博

解決、軽減にかかわる科学の役割は大きい。

冬野—たしかにそうですね。

野依—しかし、*Nature* 誌の主なプレーヤーたちはこういうことに対して関心が薄いのではないかと、アジアの1人の研究者である私にはそう思えます。既成の科学知識の修正・改良、あるいは類似の知識の再生産ではなく、人類の生存にかかわる問題に正面から向き合わなければならない、と思っているのがアジアの人たちの正直な気持ちです。競争は価値観の画一化をもたらします。しかし、今求められているのは価値の多様性です。私は、競争をあおることは少し見方が狭いと思います。もっと視野の広い俯瞰的なものの見方が、世界中の科学社会に求められているのではないのでしょうか。

冬野—アジアの国の中には、競争を助長する政策を取っているところもあります。

野依—そうですね。研究者社会を構成する人々の意識改革をしなければいけないですね。「我々は何のために科学をやっているのか」という科学の本質を再認識することが必要です。*Nature* 誌に期待するところ大です。

文化としての科学

冬野—話は変わって、教育についておうかがいします。理科離れといわれて久しいですが、科学技術教育はどうあるべきでしょうか？

野依—「青少年の科学技術に対する意識が低下している」という批判は、部分的に的を射ていると思います。しかし、日本の大人の科学技術リテラシーは世界最低レベルです。子どものレベルよりずっと低いです。これが何を意味するのかというのを考えなければいけません。理科をする心は、人生80年を生きるための糧です。実世界で幸せに生きるための理科。自然を知り、自分の生きている位置を知ることができる。これが大事ですが、今の理科はそうありません。文化は人間の心の拠りどころとして非常に大切で、その要素のひとつとして科学があります。あまり小さいときから理科系、文科系と分けてはいけません。人間というのはもともと文化的な生き物ですから、ひとつの大きな人間性を作っていくた

めに科学が必要です。科学を職業としない人たちも、きちんとした教養人であるためには科学の素養が必要だと思います。そういう位置づけで理科をやらないと、国をつくるしっかりした教育はできません。

研究の異端児であれ

冬野—教育と並んで最近問題になっているのが、研究不正や倫理問題です。研究者がもつべき意識も変わってきていますか？

野依—研究者の社会は非常に保守的で、新しいものをなかなか受け入れようとしません。問題は、その研究社会が間違った意味での民主主義を取り入れて、多数派主義になっていることです。本当の意味での独創的な研究は、本来少数派です。私は研究者に「異端研究をやれ」とよくいいますが、保守化した研究社会では、人事や研究費採択も多数決で決められています。学術研究は多数決で物事を決めるべきではないと思います。少数派であることを恐れるべきではない。本来、独創的な大研究は少数派に属していて、年月を経て真価が明らかになって多数派になります。しかし、短期的に有名学会や *Nature* のような雑誌がもてはやされています。問題は、科学の本質を理解できない権力者、さらに研究社会自身、雑誌名あるいは論文数・引用数などによる評価を偏重することです。

冬野—そういうところに、データのねつ造・改ざんや論文不正の原因のひとつがあると？

野依—ええ。しかし、結局は科学研究の本質に戻らしたいと思います。真摯に自然と向き合って研究するというのが科学研究の基本です。データのねつ造・改ざんや論文不正は私には理解できません。そんなことをして何が楽しいのかと思います。全体的にみると、不正行為にかかわる研究者はごく一部であり、ほとんどの研究者は今までどおり良心的にやっていくでしょう。大学などには必要以上のプレッシャーをかけるより、自然に研究ができる雰囲気を作るべきです。再現性の問題もよく問われていますが、実験結果はいつも再現されるとは限りません。測定技術の精度や材料の純度の問題も

あります。亜鉛の中にちよっと鉛が混入していることが、化学反応によかったりします。間違いを恐れることはありませんよ。

冬野—最後に、*Nature* や NPG ネイチャー アジア・パシフィックに関する思い出と、今後に期待することがあればお聞かせください。

野依—私は、一科学者としては *Nature* 誌にあまりかかわってきませんでした。一度投稿して一度採用されただけです¹。あまり投稿しなかったのは、仲間が一般誌より専門誌を読むからという理由だけです。*Nature* 誌は生命科学の論文が多いので、理解できるものが少ないというのが正直な告白ですが、科学界の情勢に関するニュース記事などが多く載っているのはたいへん参考になります。*Nature* には、引き続き科学社会をリードするオピニオン・リーダーとしての役割を果たしてほしいです。ただ、申し上げたいことは、アジアの台頭により社会・地球規模の問題に課題が移ってきているので、アジア諸国が科学に何を望んでいるのかを十分勘案してほしいということです。近代科学は西洋の還元主義によって先導されてきましたが、それだけでは解決できない問題が起こってきています。分析だけでなく、総合的に物事をとらえることが不可欠になっています。アジアの科学者たちの本来の思想・哲学や動きを注意深く見守りながら、*Nature* には発展していつてほしい。その意味でも、NPG ネイチャー アジア・パシフィックに期待するところは大きいです。

冬野—ありがとうございました。 ■

* 科学インタープリター

比較的新しい職業のジャンルのひとつで、複雑かつ難解な科学の世界を一般の人々にわかりやすく伝えることを役割とする。

1. Jessop, G. P., Ikariya, T. & Noyori, R. Homogeneous catalytic hydrogenation of supercritical carbon dioxide. *Nature* **368**, 231-233 (1994).

自分の体で 実験したい

—命がけの科学者列伝—



L.デンディ、M.ボーリング
梶山あゆみ訳

危険も顧みず、時には死を賭して自分の体で実験することにした。科学者たちの涙ぐましい物語。笑うガスを吸う実験、食べ物を入れた筒や袋を飲み込む消化実験など、全10話。

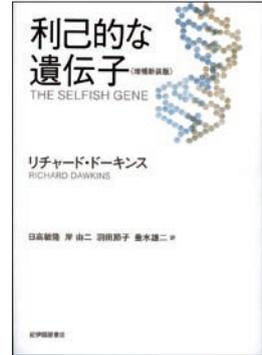
1995円

ISBN978-4-314-01021-4

勇気か、
はたまた科学への愛か…？

世界的大ベストセラーが、
装いも新たに蘇る！

R.ドーキンス
日高敏隆、他訳



天才的生物学者の洞察が世界の思想界を震撼させる！分野を超えて多大な影響力を及ぼし続けるロングセラー。新序文・書評3本追加。新組・索引充実！

2940円

ISBN978-4-314-01003-0

利己的な 遺伝子

—増補新装版—



岩坂 泰信

黄砂
その謎を追う

環境問題の行方を左右し、プランクトンの餌にもなる黄砂の謎を探る。

1890円

978-4-314-01002-3



飛び道具の人類史
火を投げるサルが宇宙を飛びまです

2940円

978-4-314-01004-7



感染爆発
鳥インフルエンザの脅威

マイク・テイヴェイス／柴田裕之・斉藤隆史訳
パンデミック前後、いま何をすべきか。世界に警鐘をならす！

1680円

978-4-314-01001-6

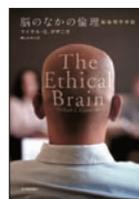


赤を見る
感覚の進化と意識の存在理由

ニコラス・ハンフリー／柴田裕之訳
「赤の感覚」から意識の迷宮へ斬り込み、パラダイム転換を自論む。

2100円

978-4-314-01017-7



脳の中の倫理
脳倫理学序説

M.S.ガザニガ／梶山あゆみ訳
脳の中の思想が読み取られる時代——「脳倫理学」ついに日本上陸。

1890円

978-4-314-00999-7



脳の中の水分子
意識が創られるとき

中田力
意識は脳の中の水から生まれる！これは脳の見方の革命です。

1680円

978-4-314-01011-5



教えて!! Mr. アイニシユタイン

J. ストーズホル／ドレクスラー序／斉藤隆史訳
もしもアイニシユタインが生きていたら…ファンタジー版科学入門。

1680円

978-4-314-01016-0



ナノフューチャー
21世紀の産業革命

J. ストーズホル／ドレクスラー序／斉藤隆史訳
衣食住からエネルギー、環境、医療まで、ナノテクの未来像を俯瞰。

2520円

978-4-314-01022-1



ネットワークを生かした 研究推進をめざして

ディビッド・スウィンバンク
NPG ネイチャー アジア・パシフィック 代表取締役社長、CEO

近年のアジア・パシフィック地域における科学研究の進展にはめざましいものがあるが、それに対する世界的な認知度はなお低いままである。この問題を解決するにはどうしたらよいか、ディビッド・スウィンバンクが提案する。

アジア・パシフィック地域の台頭

アジア・パシフィック地域は近年、幅広い研究分野で急速に台頭してきている。いうまでもなく、日本はすでに長年、世界の舞台で重要な役割を果たしてきた。Institute of Scientific Information (ISI、米国・フィラデルフィア)の統計によれば、「科学アウトプット」、つまり1年間に発表される日本の論文数は、英国に匹敵する。さらに最近になって急発展を遂げているのが中国(香港を含む)で、1年間に全世界で出される合計約100万本の論文のうち、8万本以上を占めるまでになった (ISI 調べ)。これは、英国や日本に肩を並べる数字だ。韓国、台湾、シンガポールも急速な伸びを示しているし、インドも増加傾向にある (図1)。オーストラリアとニュージーランドはそもそも長年、科学研究を得意としてきた。中国やインドなどの新興経済国の成長ぶりをみれば、この傾向は今後も続くだろう。

ナノテクノロジーやフォトニクスといった研究分野では、アジア・パシフィック地域(特に東アジア)が論文数で世界をリードしている (図2、図3)。アジアは一般的に生命科学よりも物理科学に強い傾向があるが、幹細胞学やゲノミクス、プロテオミクスといった生命科学の

領域でも、アジア・パシフィック地域で行われる研究は世界的にみて欠かせないものになってきている。今後は、これらの分野でもより主導的な役割を果たしていく潜在性を秘めている。

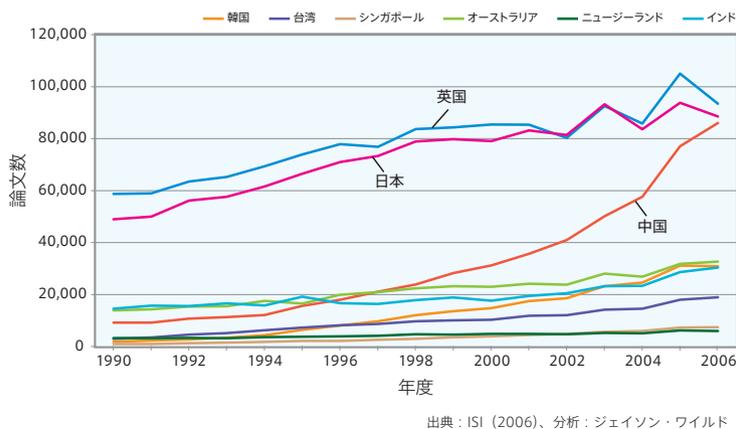
また、研究論文の質も年を追うごとに急速に向上してきた。中国を例にとると、10年ほど前にはISIの被引用度の上位1%に入るインパクトの高い論文はわずか数十本に過ぎなかったが、それが今では200本を超えるまでになっている (図4)。

アジア・パシフィック地域で行われている研究の認知度

ここ数年、アジア・パシフィック地域のハイレベルな研究や一流研究者、研究機関については、世界的に広く知られるようになってきた。しかし、その認知度はなお、比較的低いままであるといわざるをえない。この傾向は、日本や中国、韓国のような英語を母国語としていない国々に特によく当てはまる。その原因は、こうした国の一流研究者や研究機関に関する、英語で書かれた上質のインターネット情報が圧倒的に不足していることにある。

この問題については、フランス・ストラスブールに本

図1 英国とアジア・パシフィック地域からの論文数の推移



1年間に発表される日本からの論文数は、英国に匹敵している。中国（香港を含む）からの論文はこの10年間で急激に伸び、日本・英国に迫る勢いだ。

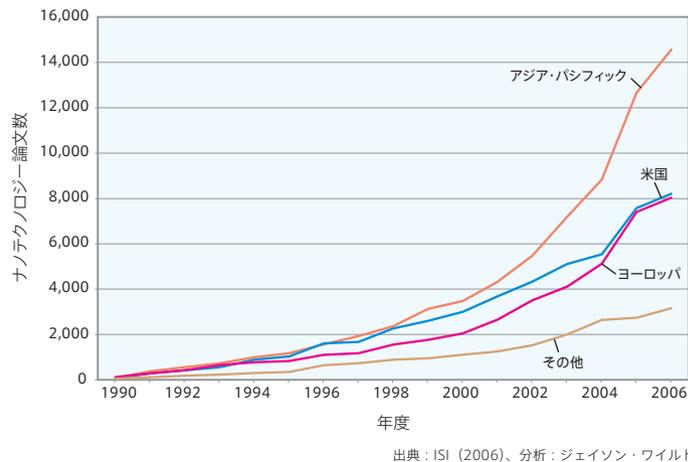
部のあるヒューマン・フロンティア・サイエンス・プログラム (HFSP) の会長、伊藤正男が最近指摘している。インターネット上での認知度不足が原因で、HFSPの国際的な研究プロジェクトに日本人研究者が参加しにくい傾向がみられるというのだ。日本がこの革新的な国際研究プログラムに多額の資金を提供していることを考えると、これは皮肉な話である (*Nature* 2006年12月14日号 p.817、*Nature Digest* 2007年1月号 p.7)。

なかには認知度アップに取り組む研究機関もある。理化学研究所は「RIKEN RESEARCH」とよばれるウェブサイトと英文ニュースレターを発行して (www.rikenresearch.riken.jp)、同研究所の最新かつレベルの高い研究成果を世界に向けて発信している。また、東京工業大学をはじめとするいくつかの大学は、広報誌を出したりウェブサイトを経営したりするなど、研究成果の広報活動を積極化させ始めた。しかし、マサチューセッツ工科大学やハーバード大学 (いずれも米国)、マックス・プランク研究所 (ドイツ) など欧米の一流研究機関は常勤の広報専門家チームを雇い、大学が生み出す最高レベルの研究と研究者のプロモーションを常に行っている。そのことを考えれば、アジア・パシフィック地域の研究機関には、なすべきことが数多く残されている。

ネットワーク作りと共同研究の必要性

アジア・パシフィック地域では、各国がますます力をつけてきている一方、欧州などに比べて、研究者や研究機関の地域内交流は依然として数少ない。そのため、アジア・パシフィック地域が得意とする研究分野でも、世界の研究をリードするチャンスを生かしていきなるといえるだろう。

図2 ナノテクノロジー分野 論文数の推移



アジア・パシフィック地域からのナノテクノロジーに関する論文数は、ほかの地域に比べてダントツに多く、2006年には世界全体の43%を占めている。

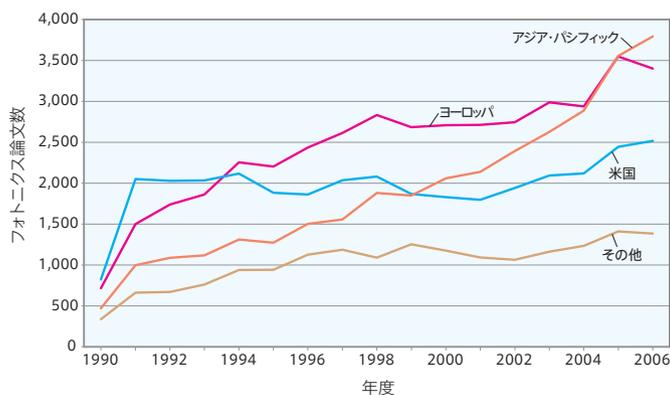
もちろん、なかにはいくつかの小規模な成功例もあり、共同研究へと拡大していく動きもみられる。榊佳之 (理化学研究所ゲノム科学総合研究センター長、ヒトゲノム国際機構 HUGO Pacific 会長) や Edison Liu (シンガポールゲノム研究所所長) らがリーダーシップをとり、HUGO Pacificの後援で進められている汎アジア集団遺伝学研究がその一例だ。この共同研究には、インド、インドネシア、韓国、シンガポール、タイ、台湾、中国、日本、ネパール、フィリピン、マレーシアの研究者が参加しており、アジアの人々の遺伝的多様性と類似性の解明をめざしている。

また、アジア・パシフィック・リウマチ学会議 (APLAR、www.aplar.org) や環太平洋大学協会 (APRU、www.apru.org) といったアジア・パシフィック地域の団体が、地域内の研究者を結集させることに成功し始めている。それでも、やらなければならないことはまだまだたくさんある。

比較的簡単で役立つと思われる対応策の1つが、地域内の一流研究者のプロフィールを収めたウェブ・データベースの構築だ。データベースには各研究者の関心テーマや最近発表した研究論文の記載欄を設け、各人が定期的に内容を更新できるようにする。こうした Web 2.0 技術を使えば、研究者はウェブサイト上のデータベースを通じて類似の研究課題を探究する研究者ネットワークを形成し、情報交換ができるようになるだろう。ネイチャー・パブリッシング・グループ (NPG) では「Nature Network」(<http://network.nature.com>)を立ち上げ、現在、ボストンおよびロンドン在住の研究者が上記の機能を利用しているが、今後はアジア・パシフィック地域向けにも研究者プロフィールのデータベースを構築する予定だ。

しかし、地域内のネットワーク形成と共同研究をさらに促進していくには、研究機関どうし、各国国内、そし

図3 フォトニクス分野 論文数の推移



出典：ISI (2006)、分析：ジェイソン・ワイルド

アジア・パシフィック地域からのフォトニクスに関する論文数は順調な伸びを示し、2006年にはヨーロッパを抜いて世界全体の34%を占めるまでになった。

て多国政府間といった、それぞれのレベルでの施策を考えていく必要がある。例えば、アジア・パシフィック地域にはナノテクノロジーや幹細胞学で世界をリードする研究者がいるというのに、これらの分野の研究者ネットワークは、国内レベル、あるいは研究者どうしが個人的につながる草の根レベルにとどまっている。各国政府がもう少し積極的に動いてアジア・パシフィック地域内の共同研究を活性化できれば、やがて欧米の先を行き、こうした分野で世界をリードしていく可能性は十分にある。

しかし、このような共同研究の行く手に立ちふさがり政治的障害の壁は厚い。例えば、アジア・パシフィックの近隣諸国間を科学者が行き来しようにも、現状では、必要なビザの取得に数週間～数か月かかることがある。地域内の有力国政府と出入国管理当局には、より寛容な姿勢で研究者の自由な往来を認めてほしい。それこそが当事国にとって最大の利益につながるということを、地域内の関係者は早く認識するべきである。

そのほかにも、科学系出版社と学術団体が手を組んで地域内の協力関係を強化したり、すぐれた研究成果を紹介したりすることも大切だ。ノーベル賞受賞者の野依良治(理化学研究所理事長)は出版社のワイリー社と共同で、アジア内の主要な化学系学術団体を集め、アジア発の初めての国際化学ジャーナル *Chemistry-An Asian Journal* 誌を創刊した。また、NPG ネイチャー アジア・パシフィックはアジア・パシフィック国際分子生物学ネットワーク(A-IMBN)と共同で、同ネットワークに所属する研究機関から発表された、分子生物学およびバイオテクノロジーのすぐれた論文の一部を取り上げて紹介するウェブサイトを開設した。

我々は、そのほかにもアジア・パシフィック地域の学

図4 中国の高インパクト論文数の推移



出典：Thomson ISI Essential Science Indicators (2003)

中国からの論文で、ISIの被引用度が上位1%に入るインパクトの高いものが、この10年で10倍にも増加している。

術誌との提携を始めている。例えば、中国の著名な科学ジャーナル *Cell Research* 誌 (www.nature.com/cr) やオーストラリアの *Immunology and Cell Biology* 誌 (www.nature.com/icb) は www.nature.com 上で読むことができる。また、日本の複数の学会機関誌もまもなく www.nature.com のサイト上で発行される予定だ。さらには新しいウェブサイト「Nature China」(www.nature.com/nchina) もスタートさせており、中国大陸と香港で発表されたトップクラスの研究論文を紹介している。

最後に、アジア・パシフィック地域に残された大きな問題の1つとして、地域内の開発途上国には優秀な研究者が多数いるにもかかわらず、彼らの研究資金や研究施設が不十分なのが挙げられる。この点については、地域内の先進国政府や民間企業による、必要な財政支援協力が望まれる。そうすれば、この地域の科学発展はさらに大きな伸びをみせ、地域全体としての潜在力が十分に発揮されるようになるだろう。

東京で国際フォーラムを開催

アジア・パシフィック地域の発展の歴史はまだ始まったばかりだ。その分、未来は明るく、潜在力も相当に大きい。我々としては、この地域の研究者ネットワークの拡大と共同研究の活性化のために、できる限りの努力をしていきたいと考えている。2007年6月6日には東京で国際フォーラムを開催し、アジア・パシフィック地域から一流の科学者と政府関係者を招いて、地域間ネットワークをいかに拡大し、研究の推進につなげていくかをテーマに、討論とブレインストーミングを行う予定である。このフォーラムで得られる結論については後日、本誌 *Nature Digest* の読者にもお伝えしたい。 ■



| | | | |
|---|---|---|---|
| 知 | り | た | い |
| を | 、 |  | |
| 科 | 学 | す | る |

「知りたい」ことを知る、そこからまた新たな「知りたい」が生まれる。

その積み重ねが、技術を進歩させ、より豊かな暮らしへと結びついていく。

島津は、さらなる社会の貢献をめざして、分析計測機器、医用機器、航空機器、

産業機器などの分野で培ってきた技術を融合・進化させることにより、

ライフサイエンス、環境、半導体・フラットパネルディスプレイ、

さらには次世代医療、新エネルギーなどの分野へと事業領域を拡大し、

新たなソリューションを提供してまいります。

島津は、つねに一歩先の未来を見つめ、「知りたい」という熱い思いに応え、

人々の夢、社会の夢を実現する企業であり続けます。

<http://www.shimadzu.co.jp>

株式
会社 **島津製作所**

京都市中京区西ノ京桑原町1 Tel. (075) 823-1110

分析計測
事業部

医用機器
事業部

半導体機器
事業部

航空機器
事業部

南アフリカのエイズ抑制計画

South Africa's AIDS plan

Nature Vol.447 (1) / 3 May 2007

論説

エイズ蔓延による国内の危機的状況の解決に向けて、南アフリカ政府がようやく長期戦略計画を打ち出した。

何年にもわたっていい逃れを続けてきた南アフリカ共和国政府が、ついに、自国のエイズ蔓延に対処するための適切かつ包括的な戦略を導入した。160ページに上る計画書では、感染率の低減やエイズ診断の向上と拡充、そして、550万人と推定される国内HIV感染者の治療がうたわれており、4月30日の南アフリカ国家エイズ評議会において正式に承認された。

この計画は、南アの医師やエイズ研究者、エイズ対策活動家たちに喜びをもって迎えられている。彼らは以前から、世界でも最も深刻な状況にある国家のエイズ危機問題に真摯に取り組もうとしないターボ・ムベキ大統領政権に不満を募らせていた。

計画では2つの大きな目標が掲げられている。2011年末までに感染率を半減させること、そして、抗レトロウイルス薬療法の必要な人々の80%にこの治療法が直ちに行きわたるようにすることである。計画全体の予算額は今後5年間で60億米ドル（約7200億円）、そのうち40%が薬剤費に当てられる予定だ。また、計画では予算の半分を民間企業や海外からの援助金でまかなうことを折り返ししており、南ア政府が残りの半分を負担するという。

南アフリカ保険計理人協会（ASSA）が2006年11月に発表した報告によると、南アではこれまでにエイズで180万人が死亡した。また、抗レトロウイルス薬療法の必要な人々の数は、現在のところ80万～100万人と見積もられているが、実際にこの治療法を受けているのはわずか30万人ほどにすぎない。そのうち3分の2は保健省による治療を、残り3分の1は民間の医療機関や非政府組織（NGO）の手による治療を受けている。さらに、すでにHIVに感染していて、この5年以内に薬剤療法を受ける必要が出てくる人々は相当数に上るとされる。

これまで南アに実効的なエイズ戦略がなかったことのしわ寄せは、HIVに感染して生まれてきた子どもたちに特に向かっていた。国際治療準備連合（ITPC）によれば、抗レトロウイルス薬療法を受けることができれば、およそ20万人の子どもたちがその恩恵にあずかると推定されるが、実際に治療を受けられているのは、そのわずか10分の1だという。原因の一部は、子どもの治療にあたってもついでに余計なお役所仕事にある。例えば、HIV検査（抗レトロウイルス薬療法の前提条件となる）を実施するには国民識別番号が必要だという

が、多くの場合、子どもたちにはそうした識別番号がつけられていない。そのうえ、検査や治療にあたって血のつながった生物学的な親の承諾を得る必要があるというのも、問題の1つとなっている。多くの子どもたちは、実際には複合家族内で親以外の近親者に養育されているからである。治療に入る前にこうした諸々の基本手順を踏まねばならない疾患は、ほかにはない。

HIV感染率低下の取り組みは、治療の拡充よりもさらにずっと困難かもしれない。都市部では感染率がすでに下がりがつある。ASSAの見積もりによると、南アの昨年の新たな感染者数は53万人で、年間感染者数が史上最高となった1998年の65万人に比べると少なくなっている。しかし、例えばクワズール・ナタール州のUmkhanyakude地区などの農村部での感染率は依然として高く、エイズに対する一般市民の理解は貧弱で乏しい。

加えて、十分な経験を積んだ医師や看護師の絶対的な不足が、この戦略計画遂行の大きな足かせとなる可能性が高い。多くの医療関係者がムベキ政権のエイズ政策に不満を募らせて公的機関を去ってしまい、場合によっては、国外に出てしまった例もある。

今回の計画は、適用範囲こそ十分に広げたものの、エイズの子防と治療の前に立ちほだかる技術的障害、および官僚主義による障壁に真正面から取り組むところまではいっていない。もう1つの問題は、国家的なエイズ危機について、これまでムベキ政権が国民への啓蒙を怠ってきたことだ。

実際のところ、南アの指導者たちの中にはエイズ問題の重要性を認めようとしないうきもあり、この点がまだ問題として残っている。しかし、今回この戦略計画の策定に尽力し、ムベキ政権のエイズ政策を是正した現副大統領プムズイレ・ムランボ＝ヌクカ氏は、2009年に任期が切れるムベキ大統領の後継者として有力視されている。2006年8月にトロントで開催された国際エイズ会議で、南アの恥となるようなあきれた発言を行った（非科学的で非人道的なエイズ治療策を述べた）マント・チャバララ＝ムシマン保健相（*Nature* 444: 663; 2006参照）は現在、病氣療養で休職している。もし、ムベキ政権が本腰を入れてエイズに取り組むのであれば、保健相の後任には、ノジズウェ・マドララ＝ルートルレツ健康相代理のような、必要な適性と熱意を備えた人物を任命すべきであろう。 ■

果物 vs ビタミンC 剤

Fruit proves better than vitamin C alone

ビタミンCだけでは体を守れないことが実験から明らかになった。

doi:10.1038/news070416-15/20 April 2007

Matt Kaplan

LEW ROBERTSON / PICTUREARTS / NEWS.COM

体を若々しく健康に保つために抗酸化剤をとりたいと思っているのであれば、ビタミンC剤よりもオレンジを買ったほうがよいことが、最近の研究で示唆された。

ビタミンCは壊血病を予防することがよく知られており、風邪にも予防効果があるとみられている。ビタミンCを多く含む果物は強力な「抗酸化剤」でもあり、細胞内のDNAを酸化による損傷から防ぐ。こうした食品をとらずにいるとDNAの損傷をまねき、しばらくすると、壊血病に特有の症状である歯肉からの出血がみられるようになる。

しかし、ビタミンC剤だけで果物と同程度の予防効果が得られるのだろうか。ミラノ大学人間栄養学科（イタリア）のSerena Guarnieriたちは、単純な実験でこれを見極めることにした。

研究チームは被験者に、コップ1杯のブラッドオレンジジュース、ビタミンCを添加した水、砂糖水のいずれかを与えた。オレンジジュースとビタミンC添加水にはそれぞれ150ミリグラムのビタミンCが含まれるが、砂糖水にはビタミンCはまったく含まれない。飲んでから3時間後と24時間後にそれぞれ被験者の血液を採取したところ、当然のことだが、ジュースを飲んだ被験者とビタミンC添加水を飲んだ被験者では、血漿中のビタミンC濃度が上昇していた。

研究チームは別途、採取したそれぞれの血液試料に、酸化によってDNAの損傷を引き起こす過酸化水素を加えた。すると、オレンジジュースを飲んだ者の血液では、飲んで3時間後と24時間後のいずれの試料でもDNAの損傷が有意に軽いことがわかった。当然のことながら、砂糖水には酸化防止効果はなかったが、ビタミンC添加水にも酸化防止効



抗酸化作用をお望みならサプリメントよりもオレンジをどうぞ。

果が認められなかったのである。

ビタミンCの大量摂取を調べた別の少なくとも1つの研究では、ビタミンC単独で酸化防止効果があることが報告されている。しかし、今回の研究で同様の結果が得られなかったという事実は、予防メカニズムがそう単純ではないことを意味している、とGuarnieriは指摘する。「抗酸化的な保護効果を担う化学物質はビタミンCだけではなく、ほかにも作用しているものがあるようだ」と彼はいう。今回の研究結果は、*British Journal of Nutrition* 誌に掲載された¹。

「これは重要な観察結果だ」と、カリフォルニア大学ロサンゼルス校人間栄養研究センター長のDavid Heberは語る。今回の結果からみて、ビタミンCの作用を研究する場合には、このビタミンをどのような形で摂取するかに注意を払うべきだろう。「ビタミンCを摂取するた

めに果実の基質部分を食べれば、それと一緒にほかのさまざまな有効成分も摂取することになる」とHeberはいう。そして、これらの成分がすべて相互作用している可能性がある。

ジュースに含まれる糖分がビタミンCと相互作用することで抗酸化作用が発揮されるのではないかと考える栄養学者もいる²。しかしGuarnieriは、オレンジで見つかった植物化学物質（シアニジン-3-グルコシド、フラバノン、カロテノイド）をさらに調べるべきだと考えている。「ただし、これらの物質がどのように相互作用しているのかは今のところまったく不明だ」と彼女は付け加えている。 ■

1. Guarnieri S., Riso P. & Porrini M. *Brit. J. Nutr.*, **97**, 639-643 (2007).

2. Lotito S. B. & Frei B. *Free Rad. Biol. Med.*, **37**, 251-258 (2004).

モーツァルトを聴いても頭はよくなるらない

Mozart doesn't make you clever

ドイツ政府が「モーツァルト効果」の神話に取り組むことを決意した。

doi:10.1038/news070409-13 / 13 April 2007

Alison Abbott

モーツァルトに限らず、好きな音楽を受動的に聴いているだけでは頭はよくなるらない。しかし、音楽教育によって子どものIQを長期的に高められるかどうかについては、さらなる研究を必要とする。これが、音楽と知能の関係を扱うすべての科学文献を解析した結果として、ドイツ研究省が2007年4月6日に報告した内容である。

今回、ドイツ研究省が調査を委嘱したチームは、ドイツの神経科学者、心理学者、教育学者、哲学者の合計9人から構成されており、その全員が音楽の専門家である。意外なことに、音楽の知能増進効果に関する文献の系統的な調査が行われたのはこれが初めてだった。ドイツ研究省がこのテーマに取り組まなければならないと考えたのは、音楽と知能の関係を研究対象とする補助金申請が殺到していたにもかかわらず、同省にそれを評価する方法がなかったからである。

この科学分野に対する関心が高まる最初のきっかけとなったのが、1993年に*Nature*誌に発表されて物議をかもした研究論文¹だった。この論文で、カリフォルニア大学アーバイン校（米国）の心理学者 Frances Rauscher たちは、モーツァルトの音楽を10分間聴いた後パターン認識や紙の折り畳みといった空間課題を行うと、その成績が上がる、と主張した。

その後に行われた多くの研究が、この「モーツァルト効果」に対して疑問を投げかけてきた。しかし、音楽業界や一部の私立学校は、長い間、「モーツァルト効果」をマーケティングの手段として利用し続けた。猛威をふるう商業主義の中で、研究データはしばしば拡大解釈され、音楽を受動的に聴くことと能



モーツァルトを聴くだけでは天才にはなれない？

動的に練習することが一緒にされることも少なくなかった。

「私たちはすべての文献にあたって、どの論点が未解決なのかを調べた」。こう話すのは、フンボルト大学（ドイツ、ベルリン）で哲学を専攻し、ピアノも弾ける Ralph Schumacher だ。彼が、今回の報告書の筆頭著者である。この報告書では、Rauscher が唱えた「モーツァルト効果」に対する死亡宣告が行われた。

音楽鑑賞が知能に与える影響に関する研究は、音楽の研究者によって「モーツァルトのレクイエム（鎮魂曲）」というニックネームで総称され、そのほとんどは、研究結果に再現性がないか、鑑賞後20分間も持続しない一時的な効果しか確認できなかった。しかも、その一時的な効果でさえモーツァルトの音楽に特有のものではなく、被験者が好むタイプの音楽の鑑賞や物語の読み聞かせによっても同様の効果が確認された。

しかし、音楽のレッスンが（特に幼児

の）IQの発達を促すとする主張については、あまり強く否定されていない。これまでの研究は規模が小さく、解釈のむずかしいものがほとんどであり、IQに対する長期的効果がないことを示唆するものもあった。「それでも、慎重に実施された1つか2つの大規模研究で、IQに対する小さいながらも有意な効果が何年にもわたって継続することが示されていた」と Schumacher はいう。

とはいえ、今後の研究で音楽教育の効果が確認されたとしても、自分の子どもを天才に育てられる可能性は非常に低いことを Schumacher は認めている。「音楽教育によって子どもを天才にできるなら、今ある文献でもっと明確に示されているはず。もし音楽教育にこのような効果があるのなら、私は脳の中で効果をもたらす過程を解明することに最も興味がある」と彼は語った。 ■

1. Rauscher F.H., et al. *Nature*, 365, 611 (1993).

China's deadly drug problem

医薬品管理をめぐる中国の深刻な問題

Nature Vol.446 (598-599) / 5 April 2007

中国の医薬品安全管理当局のトップが、収賄の疑いで取り調べられている。はたして中国の成長著しい製薬産業にどう影響するのか、David Cyranoski が報告する。

中国の中央医薬品規制官庁を舞台に起きた汚職スキャンダルは、前局長の逮捕に発展、前局長の在任中に認可された薬剤に対し、前例のない規模の調査が行われることとなった。この措置に対する中国国内の反応は2つに分かれている。今回の事件は製薬産業の近代化に向けた一歩であり、技術革新の推進につながるという向きがある一方で、実際に何かが変わるのかどうか、懐疑的な目を向ける者も多い。上海にある国家新薬スクリーニングセンター所長の王明偉 (Wang Ming Wei) は「政府が粛正を行っていますが、これを最後に確実に変わってもらいたい、うわべだけ取り繕うことになってはならない、と多くの人が願っています」と話す。

スキャンダルの中心人物となった鄭篠莢 (Zheng Xiaoyu) は、1998年から2005年6月まで、国家食品薬品监督管理局 (SFDA) の局長を務めていた。そこに昨夏、劣悪な薬剤による死亡例が発表され、同局に関する懸念がもち上がった。適切に滅菌されていない抗生物質クリンダマイシンを注射され、中国全土で10人以上の死者が出ていたこと、また、毒物から製造された薬物「亮菌甲素」(アルミラリシンA)の投与により、中国南部で11人以上が腎不全で死亡していたことが明るみに出たのだ。

2006年12月、SFDA上層部の捜査によって鄭が拘禁された。2007年1月後半には、中国首相の温家宝が鄭の収賄話に関して捜査を命じ、のちに鄭は共産党を除名された。鄭のもとで働いていた2名も拘束された。医療機器の製造に許認可を与える部署のトップだった曹文庄 (Hao Heping) は、医薬品の認可で便宜を図る見返りに金銭を受け取った罪で懲役15年が確定。同じく、医薬品登録部門のトップだった曹文庄 (Cao Wenzhuang) も収監された。

中国の情報筋は、鄭の妻子も逮捕されたと伝えている。ある外資系製薬企業の幹部は匿名で、彼らは医薬品の認可を受けるための手助けを行うコンサルティング会社を運営していた、と話す。

130億米ドル (約1兆5600億円) 規模の中国の製薬産業は、根深い問題の克服に苦労してきた。中国では、技術革新ではなく、剤形を変えた製品を作り出すことで収益を上げている製薬企業が多い。王の統計データから、「新」薬の約半数は、認可済み製品を何らかの形で焼き直したものであることがわかる。しかし、SFDAは大量の申請に翻弄されている。例えば、2004年に処理した新薬申請の数は、米国食品医薬品局 (FDA) が167件だったのに対し、中国の

SFDAでは約1万7000件に上った。

当初、鄭は中国の規制管理を近代化しようとする改革者とみられていた。製薬産業の経験が豊富な鄭は1998年、自らがトップを務めていた国家医薬品局と、国家食品局との統合を主導してSFDAを誕生させた。中国版GMP (Good Manufacturing Practice ; 医薬品の製造および品質管理に関する基準) を導入し、基準にのっとった医薬品製造を行い、医薬品問題に対応するための仕組みを作り上げた。中国の全製薬企業は、2004年7月までにこの中国版GMPを遵守する体制を確保するよう指導され、その結果、4分の1以上の企業が廃業に追い込まれた。さらに鄭は、漢方薬に対しても、既存の地域ごとの基準ではなく、国家の定める規格を満たすよう求める基準を設定した。

この新たな圧力を受け、各製薬企業は必死でSFDA高官に製品の認可をもらおうとしたという。高官は、地位を利用して医薬品の認可を進めることができた。「ひと握りの個人に過大な権限が与えられていました」と王は語る。政府高官の見立ても同じようだ。2月、中国の副首相の1人である呉儀は「緊急に組織を改革して食品医薬品管理の抜け穴をなくし、クリーンで有効な管理を行う仕組みを構築しなければならない」と

SFDA スタッフに語ったという。さらに呉は、新薬申請の受理、評価、認可を別々の者が担当することなど、実現可能な方法をいくつか示した。

窮屈な基準

しかし、医薬品認可手順の基準を引き上げようとする SFDA の動きに対して、中小企業の存立を心配する声も出始めている。新薬開発に携わる上海のある研究者によれば、かつて数百例の患者を対象に行うこととされていた臨床試験のなかに、現在では数千例が必要とされるものがあるという。この研究者は、「モラルのない」SFDA スタッフへの対策としてできたこのような「専断的に高い」基準を非難している。「過剰な反応のため、豊かでない者が苦勞する」と彼は不満の色をみせる。

医薬品と医療機器の卸売業、北京医薬の副社長 David Liu も、この仕組みが中小メーカーを市場から排除する方向に向かわせていると話す。しかし、中小企業の多くは技術革新を行っていないため、これはかえってよいことかもしれないと彼はいう。「起業家精神のある中小企業が存在する米国とは事情が異なります。中国でいう中小企業とは、参入も撤退もすばやくできる、というだけですから」。

中国で事業を展開する多国籍製薬企業としては、この事態は有利に働く可能性がある。「外国企業は汚職の一掃されたプロセスを歓迎するでしょう。外国企業にはもともと、倫理に注意を払う土壌があります」と Liu はいう。スイスのロシュ、英国のアストラゼネカ、それに米国のイーライリリーなどの大手製薬企業が最近、相次いで中国に研究開発拠点を開設している。また、スイスのノバルティスは昨年 11 月、1 億米ドル（約 120 億円）を投資し、研究者 400 名規模の施設を上海に置く計画を発表した。



欠陥のある薬剤：中国では抗生物質クリンダマイシンによる死亡例が多発している。

改革の行方

複数の多国籍製薬企業の幹部が *Nature* 誌に対し、中国の医薬品規制システムの改革を喜んで見守りたいと私的に語っている。そのうちの 1 人は「クリーンであるほど我々に有利だ」と話す。しかし、医薬品登録の申請でかつて賄賂や「コンサルティング料」の支払いを求められたことがあるかどうか、あるいは SFDA のスキャンダルが彼らの中国への投資意欲に影響するかどうかを尋ねると、多くは正式な返答を避けた。

中国国内では事件の余波が続いている。贈収賄スキャンダルにより、当局は 1999～2002 年に認可された医薬品約 17 万点の申請を集中的に再検討することとなった。現地の製薬業界筋によると、SFDA 高官と製薬企業には浄化に取り組むための猶予期間が与えられており、場合によっては処罰の減免も予定されてい

るという。一方で当局はスキャンダルに関与したと考えられる企業と薬局の捜査をてこ入れし、2006 年には 160 社の医薬品製造、あるいは販売の免許をはく奪した。

この改革の効果が続くかどうかについては、なお懐疑的な声も残っている。本稿で取り上げた多くの人々も含め、懸念を公けに表明できないということは、政府が必要な措置を講じ切れていない可能性がある。この改革は政治的な動きであり、鄭のもとにいた高官の排除が終われば、また元に戻ってしまうのではないかとこの者さえている。

「SFDA を監視する機構がもう 1 つ必要です」と Liu は話す。それでも Liu は、多くの人々と同様に、政府の改革願望を好感をもって見つめている。「政府は問題を認識しています。今はその問題を是正しようとしているのです」。

Unexpected tricks of the light

透明マントの使い道

Nature Vol.446 (364-365) / 22 March 2007



昨年、身につけた人の姿が見えなくなる「透明マント」を作れるかもしれないというニュースが報じられた。確かに透明マントは好奇心をそそられる話だが、その材料となる「メタ物質」が実際に応用されるのは、もっと地味な分野になりそうだ。Katharine Sanderson記者が報告する

物体を見えなくしてしまうことができる世界がある。この世界では、光を異常な方向に曲げたり、「スーパーレンズ」を使って信じられないほど小さな物体の鮮明な映像を得たりすることができる。この不思議な世界が現実中存在するとは考えにくいかもしれない。事実、この世界はまだ現実のものにはなっておらず、おおむね理論物理学者の頭の中にある。しかし、こうした奇妙な性質の一部は「メタ物質」という形で実現しつつあり、「透明マント」を夢見る少年の胸を躍らせるだけでなく、ビジネス界の興味も引き始めている。

ロンドン大学インペリアルカレッジの研究者である Michael Wiltshire は、「実際には、メタ物質の応用はずっと地味なものになりそうだ」と話す。彼は、メタ物質の最初の用途は、通信用アンテナか生物学研究のための画像撮影技術になるだろうと予測する。それは、昨年、「ハ

リー・ポッターと魔法のマント」という派手な見出しで報じられたものとはかけ離れた用途であるが、新しい光学的トリックの世界への第一歩なのだ。

メタ物質は、それが操作する電磁波の波長と同程度か、通常はそれよりも小さい機能単位をもつように設計されている。機能単位は金属製の小さなワイヤとコイルであることが多く、これらが電磁波の電気的成分と磁気的成分を一見、異常な方法で操作する。メタ物質の性質を決めるのは、メタ物質の原子構造ではなく、この小さな機能単位なのである。

メタ物質の研究が盛んになったきっかけは、2000年にインペリアルカレッジの John Pendry が、これを使って入射する光の波長よりも小さい物体の像を得る「スーパーレンズ」を作れるかもしれないと提案したことだった¹。こうした物体を鮮明に撮影できるレンズを作る

ためには、入射する光を異常な方向に曲げる、負の屈折率をもつ物質が必要となる。早くも2001年には、可視光域ではないが、負の屈折率をもつ物質が作られた。デューク大学（ノースカロライナ州ダラム）の David Smith が、片面に銅の細いテープを、反対側の面にC字型リング共振器をプリントしたガラスファイバー回路基板を格子状に組み合わせて2次元メタ物質を作ったのである²。

しかし、メタ物質の研究が一般の人々の注目も集めるようになったのは、2006年5月に Pendry が理論的にはメタ物質を使って透明マントを作れるかもしれないと提案してからのことだった。Smithらの研究チームはこのときもわずか5か月後に、メタ物質を使って物体を見えなくすることができることを実験で示してみせた。Smithの「透明マント」は、銅線をプリントしたガラスファイバー板の輪を

同心円状に配置したものであった（次ページ図参照）。物体をこの装置の中に置いてマイクロ波を当てると、水の流れの中に差し込んだ棒の周囲を流れが回るように、マイクロ波はここを避けて伝わっていく。う回したマイクロ波は装置の向こう側で再び出会い、物体がそこになかったかのように伝わっていくのである³。

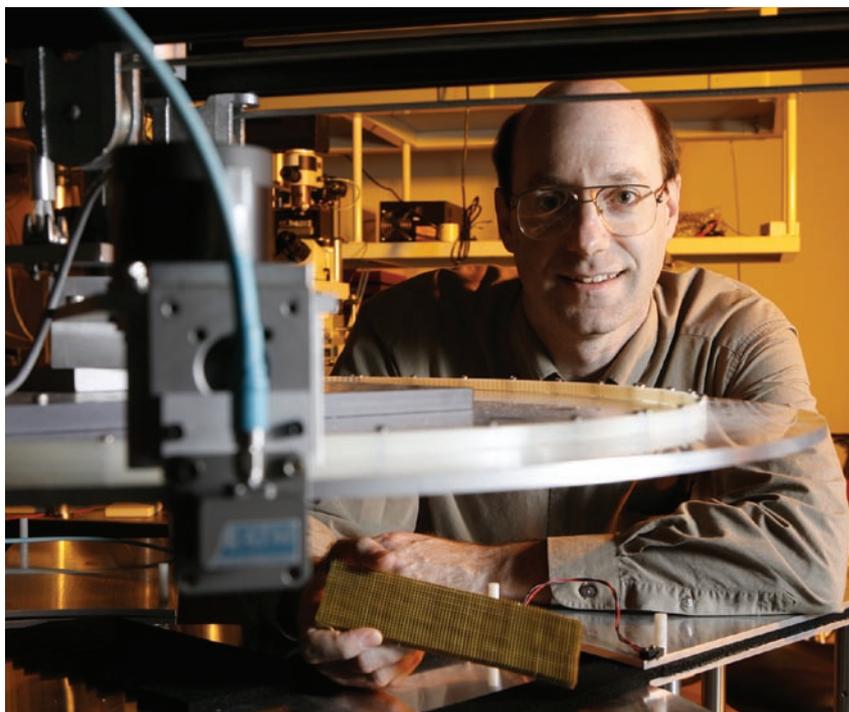
この透明マントの試作品は、2次元でのみ、かつ、狭い幅の波長でしか働かないものの、マントの原理が正しいことを証明した。これにより、軍関連機関が大喜びしそうな「究極のカムフラージュ」が実現可能であることが確実にされた。

Pendryによると、1950年代に最初のメタ物質を開発したのは米軍であり、それ以来、米軍はこの技術に興味をもち続けてきた。研究予算の大半を軍から得ているSmithは、「確か最も関心をもっているのは軍だ」と話す。米国の国防総省高等研究計画局（DARPA）は、2001年にメタ物質研究計画を立ち上げた。DARPAは6年間で合計4000万ドル（約48億円）の研究予算を投じてきた。これは、年間予算が数十億ドルのDARPAにとっては小さな額だが、新興の研究分野にとっては十分な額である。

DARPAのスポークスマンは、「メタ物質の開発は今のところ、エキサイティングで有望だ。しかし、それを現実に応用するにはまだかなりの研究開発を必要とする」と話す。Smithでさえ、完全な透明マントが現実のものになるとは考えていない。「ジェット戦闘機を見えなくすることはできないだろう。どれほどの大きさの物体なら隠せるようになるのかも、まだわからない。私たちは現在、完全なマントを実現するためのパラメーターを調べているが、それでさえ非常にむずかしい」とSmithは話す。

源流はロシアに

Pendryは、軍の契約企業のためにレーダー吸収物質の研究に取り組んでいるときに、ロシア科学アカデミー（モスクワ）の物理学者Victor Veselagoが行った研究に出くわした。メタ物質は、物質の誘



David Smithは、メタ物質が負の屈折率をもちうることを初めて示した。

電率と透磁率という2つの基本的性質を利用する。誘電率と透磁率は、電磁波の電場と磁場が物質とどのような相互作用をするかを定める量である。大半の物質の誘電率と透磁率は正の値になっている。Veselagoは1960年代に、それまでの研究を拡張して、誘電率と透磁率の両方が負であるときに何が起るかを研究した。そしてこのとき、屈折率（光がある媒質から別の媒質に入るときに曲がり方を定める量）が負になって、新しい光学的性質が現れるという結論に達した。この研究を知ったPendryは、メタ物質を使えばVeselagoのアイデアを実現できるかもしれないと考えたのである。

DARPAは当初、光学にとどまらず、もっと強力なモーターを作るための磁石、レーダー、材料の熱処理能力を制御できる構造をもった表面などへの応用も考えていた。けれども現在では、レーダー用の極超短波（UHF）アンテナへの応用がもっとも有望そうだと考えている。Wiltshireも同じ意見である。

DARPAはレーダー研究について多くを明かそうとしないものの、別の研究者たちは無線周波数のアンテナにメタ物質

を応用して製品化しようとしている。従来のアンテナは無線電波の波長の半分の高さが必要とする。このため、低い周波数ではアンテナの高さは何メートルにもなってしまう。しかし、携帯電話やノートパソコンなどの次世代の携帯機器のアンテナは、もっとコンパクトでなければならぬ。

まずはアンテナに

波長を短くし、アンテナを小さくする1つの方法は、周波数を上げることだ。30ギガヘルツでは波長は1センチになる。しかし、周波数の高い電波は障害物によって遮られやすく、都市部の通信網には使えない。通常物質では波長は周波数に反比例する。しかし、負の屈折率をもつ材料で作ったアンテナでは奇妙なことが起る。周波数が下がると、見かけの波長も短くなるのだ。カナダのトロント大学の電気工学者であるGeorge Eleftheriadesは、「これは従来の物質で起ることとまったく逆だ」と説明する。

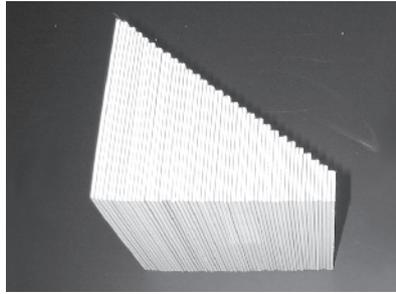
Eleftheriadesによると、この性質を利用すればアンテナの高さを波長のわずか30分の1にすることができ、ミ

リメートルサイズのコンパクトな装置を実現できる（右図を参照）。「この装置では、周波数が下がると波長も短くなる。大半の無線通信システムが利用している1～5ギガヘルツの低い周波数帯でも短いアンテナを作ることができる」とEleftheriadesは話す。

Eleftheriadesは、アンテナ用のメタ物質の開発でトロントのノーテルネットワークス社と契約を結んだ。同社とカナダ政府は、その開発プロジェクトに40万ドル（約4800万円）もの資金を共同出資している。Eleftheriadesはアンテナの設計の特許も持っている。

応用はアンテナだけではない。「可視光領域は現実的にもっとも重要な応用分野かもしれない」とPendryは話す。可視光を新しい方法で操作できるようになれば、光ファイバーケーブルなどの光通信装置の性能や生物学での画像撮影技術は大きく向上するだろう。しかし、可視光の波長に合わせてメタ物質の機能単位を縮小することは、これまで以上にむずかしい。複数の波長を同時に制御できる機能も必要になる。それには非常に微細で複雑な技術が必要となるだろう。

物理学者たちは、負の屈折率をもつ材料を使った光デバイスにより「回折限界」を突破し、スーパーレンズを作りたいと考えている。光の波長の約半分よりも小さな物体を見ようとする、通常のレンズでは回折により像がゆがんでしまう。これに対して、負の屈折率をもつ



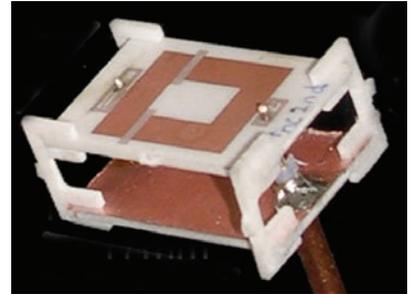
負の屈折率をもつ物質（左）は、コンパクトなアンテナ（右）などの装置で使われている。

レンズでは、波長以下の物体からの可視光を結像させることができ、ゆがみのない像が得られるはずだ。「細胞や細胞内過程の詳細で鮮明な画像を得られるようになり、生物学での画像撮影技術に革命が起こるはずだ」とPendryは主張する。

2005年、米国とニュージーランドの2つの研究チームが、銀の薄膜を用いて、紫外線の波長域で働く単純なスーパーレンズを作れることを示した^{4,5}。銀はもともこの波長域で負の誘電率をもっているため（透磁率は負ではない）、物体とレンズの間の距離を波長よりもずっと短くすることで、スーパーレンズとして機能することができる。実験では、回折限界についてはわずかな改善しかみられなかったが、このようなスーパーレンズはすでに近接場赤外顕微鏡の改良に使われている⁶。Smithは、メタ物質中の損失と欠陥により達成できる分解能には限界があることを認めているが、「スーパーレンズという概念自体は確かなものだ」という。

「メタ物質の技術が有用であるかどうか、ビジネスとして成り立つかどうかは別問題だ。それはライバル技術との競争しだいだ」とSmithは話す。彼は、メタ物質のアイディアはすでに次世代のエンジニアに影響を及ぼしている指摘する。「こうした概念は、エンジニアたちが利用する巧妙な技術中に入り込み、特に意識されることなく用いられていくのかもしれない。それは非常に静かな革命になるだろう」という。

例えば航空宇宙企業のボーイング社（ワシントン州シアトル）も、主としてDARPAから研究資金を得て、負の屈折率をもつメタ物質をレンズとして使う方



法を研究した。人工衛星では、レンズを使ってマイクロ波の信号をアンテナに集中させ、地上から見つけやすくなるようにしているからである。ここで、負の屈折率をもつレンズを通信衛星に利用すれば、レンズを軽くしながら、性能を向上させることができるだろう。Wiltshireは、「これは特殊な分野だが、メタ物質の応用例としてわかりやすい。私たちがメタ物質を利用して実現しようとしているのは、人目を引くようなことではない。レンズが軽くなるといった地味なことなのだ」と説明する。

インテレクトチュアルベンチャー社（ワシントン州ベルビュー）の最高経営責任者であり、マイクロソフト社の最初の最高技術責任者だったNathan Myhrvoldは、メタ物質に関する特許をだれよりも多くもっているという。彼は「メタ物質の特許は数十件ももっている。メタ物質を応用する際に問題となるのは、いつそれを使うかではなく、どこにそれを使うかだ。ビジネスの面からいえば、メタ物質は今のところ、問題を探している答えのようなものだ」と話す。Myhrvoldはこの分野に参入している多くの人たちと同じように、この技術が大きく飛躍するときがくると確信している。 ■

Katharine SandersonはNatureのロンドン駐在記者。

1. Pendry, J. B. *Phys. Rev. Lett.* **85**, 3966–3969 (2000).
2. Shelby, R. A., Smith, D. R. & Schultz, S. *Science* **292**, 77–79 (2001).
3. Schurig, D. *et al. Science* **314**, 977–980 (2006).
4. Fang, N., Lee, H., Sun, C. & Zhang, X. *Science* **308**, 534–537 (2005).
5. Melville, D. *et al. Opt. Express* **13**, 2127 (2005).
6. Taubner, T., Korobkin, D., Urzhumov, Y., Shvets, G. & Hillenbrand, R. *Science* **313**, 1595 (2006).



Smithが作った「物を見えなくする装置」は今のところ、マイクロ波で見る場合にのみ有効である。

AI's Army

ゴアの軍隊

Nature Vol.446 (723-724) / 12 April 2007



地球温暖化の危機を訴えるアル・ゴア前米副大統領のメッセージを広めるため、多くの一般市民が行動を開始している。Amanda Haag 記者がゴアの「歩兵」たちに会った。

米国コロラド州ルーイービルにあるモナク高校の放課後。廊下は静けさに包まれている。生物室では、数人の科学教師たちがいつもは生徒たちが使っている机に座っている。Mark McCaffreyは、彼らに地球温暖化の教え方を説明し、アポロ17号の宇宙飛行士が撮影した地球の写真をパワーポイントで示した。象徴的な「青いビー玉」の写真。「人類の歴史のすべては、宇宙に浮かぶこの壊れやすい小さな惑星、地球の上で起きたのだ」。彼はほとんど厳かといってもよい口調で話した。

この文句に聞き覚えがあったとしたら、それはアル・ゴア前副大統領の講演に似ているからだ。2006年9月以来、ゴアとそのスタッフは、ゴアの地元であるテネシー州ナッシュビルで、こうしたプレゼンテーションを行うボランティアを訓練するための2日半の講習を行っている。講習を受けたボランティアは約1000人に達しており、McCaffreyもその1人だ。講習の目的は、ゴアが地球温暖化の現状をレポートしてアカデミー賞

長編ドキュメンタリー映画賞を受賞した映画『不都合な真実』のメッセージを広めることにある。受講者たちは、ゴアが用意した科学的内容をまとめた300枚以上のスライドを使って、二酸化炭素濃度の上昇や、ハリケーンの強度の物理学や、海氷の後退の仕組みなどの重要な話題を説明する方法を学習する。

ボランティアたちはその後、地元に戻り、高校、教会、市議会、会社、高齢者保護施設などで、できるだけ多くの人たちにそれを伝える。McCaffreyは、普段はコロラド大学環境科学共同研究所（同州ポールダー）で科学教育や地域貢献活動に従事している。彼がゴアの講習に参加した動機の一つに、地球温暖化に懐疑的な人たちに反論できるように、気候学の理解を深めることがあったという。「懐疑的な人たちによって、私の話は行き詰ってしまうことがある。私はうろたえ、どう反応してよいかわからなくなる。彼らは気候学以外の分野の科学者の場合があり、不確かさを際立たせる方法や、

人々の心に疑いを植えつける方法を十分によく知っている」と彼は話す。

ゴアは講習を受けた人たちを「騎兵隊」とよんでいるが、彼らがその役割に対して抱いている情熱を考えると、「宣教師」や「伝道師」とよぶほうがふさわしいかもしれない。アーカンソー州ハケットから来たあるボランティアは、電子メールの末尾に「気候変動の使者、Robert McAfee」と署名している。テキサス州シュガーランドから来たGary Dunhamはいわゆる無党派層の1人だが、映画『不都合な真実』を見ている間に宗教的改心に近い経験をしたという。「私がこれを見に行ったのは、映画そのものに興味があったからにすぎず、地球が温暖化しているという話はまったく信じていなかった」と彼は当時を振り返る。「映画が始まってから15分もしないうちに、私は完全に立場を変えていた。政治演説に突き動かされて何かをしなければと思ったのは、ジョン・F・ケネディの時代以来、初めてだった」。テキサス州ケラーのボランティ

ア Reggie Allen の両親は、日曜日の礼拝後によく公民権運動の行進に参加していたという。Allen は今、地球温暖化に関する「真実」を広めることは、公民権運動に匹敵する使命であると思っている。

数千人の応募者の中から選ばれたボランティアには、中学生、牧師、市長、原子力エンジニア、保守主義者、スーパー「ウォルマート」の従業員、ミス・ロードアイランド州、女優のキャメロン・ディアスもいる。職業は違うが、彼らは皆、同じ使命感をもっている。それは、人間の活動が地球の気候を変えつつあることと、それを阻止するためにできることがひとりひとりにあることを、友人、家族、隣人に伝えることだ。

ナッシュビルでの講習の1日目はゴア自身が90%を指揮し、科学的内容のスライドを1枚ずつボランティアに説明していく。彼は質問も受けつける。講習には常に1人の科学者が同席していて、ゴアの回答を補助している。ゴアのチームには、ワシントンDCにある気候研究所の気候変動主任研究員であり、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の長年の貢献者である Michael MacCracken、ペンシルベニア州立大学の雪氷学者

Richard Alleyら4人の科学者がいて、交替で参加している。

2日目、受講者たちは小さいグループに分かれてプレゼンテーションの練習をする。ゴアのスタッフの1人で全米野生生物連盟 (NWF) の教育担当専務理事である Carey Stanton は、「彼らの話は力強い。それは彼らが心の底から話しているからだ。彼らが科学的内容を真に理解したとき、その話はさらに説得力のあるものになる」と話す。

受講者たちは、聴衆に合わせて話を組み立てるように奨励されているが、ゴアのプレゼンテーションの骨組みは守るよういわれている。例えば、宇宙から地球を見た感銘深い映像は、映画では最後に使われているが、プレゼンテーションもその映像で締めくくるといわれている。McCaffrey のプレゼンテーションではスライドの3分の1を使っている。

教育現場に波紋も

McCaffrey がゴアのプレゼンテーションから脱線するのは、若者にメッセージを伝えるのに効果的な例を挙げるためである。「多くの例を挙げるだけでは、聴衆の左の耳から入って右の耳から抜けてしまう。少なくとも、我が家のティーンエイジャーに対してはそうだった」と、彼は高校教師らに説明する。McCaffrey はまた、学校で二酸化炭素排出ゼロプログラムを始めるなど、生徒たちが率先してできる取り組みがあることにも言及する。

ゴアの運動は、まるで新興宗教のように支持者を集めた。2006年12月には、左派の圧力団体であるムーブオン・オルグが、このドキュメンタリーを米国全土で同じ日の同じ時間に放送するように運動を行った。講習はオーストラリアや英国でも行われた。今年の4月上旬には、同月14日に「気候変動全国行動デー」を計画した市民運動団体ステップ・イット・アップのウェブサイトにゴアの支持者たちが押し寄せて、あやうくサイトをシャットダウンさせてしまうところだった。

しかし、運動はあらゆる方面から温かく歓迎されたわけではない。2006年11月、この映画のプロデューサーは高校にDVDを大量配布することを計画し、全米科学教師協会に5万枚の無料DVDを寄贈しようとした。けれども協会はしり込みした。会員から求められたわけでもない教材を協会が押しつけるわけにはいかないし、そんなことをすれば協会が会員にこの映画を推薦したものとみなされ、ほかの「特別利益団体」からも教材の配布を依頼されることになりかねない、というのがその理由だった。協会はそのウェブサイトに映画へのリンクを張って、DVDを欲しい人はだれでも手に入れられるようにすると申し出たものの、映画のプロデューサーの1人である Laurie David は、DVDの配布に乗り気でない協会を公然と批判した。

今年1月、ワシントン州シアトルに近いフェデラルウェイ地区の教育委員会は、『不都合な真実』を生徒に見せることを一時的に禁止することを決め、全米ニュースとなった。ある親が、この映画は地球温暖化問題の一方の側の見方しか伝えていないと苦情をいったからだった。地区の方針も、「偏り」のある教材を見せることにした教師は「信頼できる妥当な反対意見」も提示し、校長と教育長の許可を得なければならぬと定めていた。上映の一時停止はその後、解除された。

コロラド州ボルダーのようなやや左寄りの学区でさえ、地球温暖化についてどのように (そしてどの程度) 教えるべきかについては意見の相違が根強くある。ボルダーバリー学区の一部の教師は、教室で『不都合な真実』を見せ、生徒の親やほかの教師から後で抗議された。ボルダーバリー学区で科学カリキュラムの調整をしている Kristin Donley は、「教師たちには政治的な支持や支援がないため、議論のある問題は敬遠しがちだ」と話す。彼女は自身のクラスのために、気候変動に関する単元を作ろうとしている。Donleyによると、炭素循環



アカデミー賞を受賞したアル・ゴアの映画によって、米国では地球温暖化が熱い議論をよんでいる。

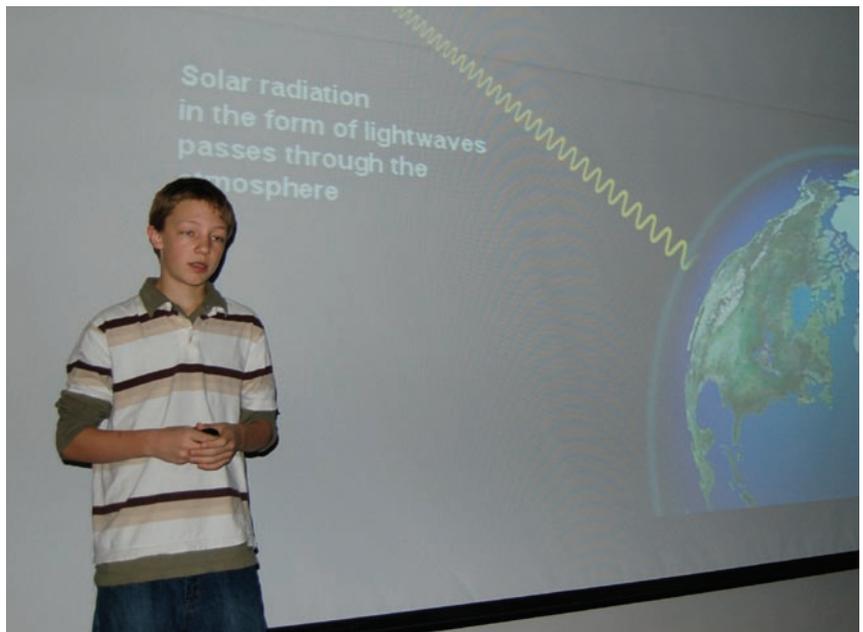
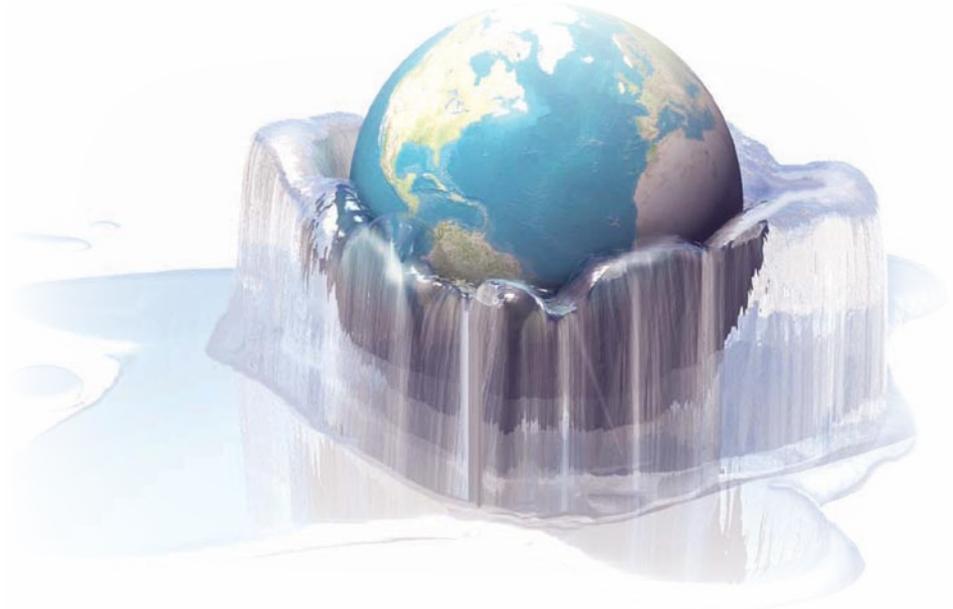
や温室効果など、いくつかの基本的な概念は物理学の通常のカリキュラムで教えることになっている。しかし、このカリキュラムは自由度が大きく、地球温暖化の話題をもち出すか否かは教師が選ぶことができるのだ。

若者の危機感

McCaffreyがモナク高校にやってきたのは、ボールダーバリー学区の教師たちが授業で気候変動の問題を扱うことに関心をもってると聞きつけたからだった。最後のスライドを見せ終えた彼は、現代の若者たちとの触れ合いを大切にしてくれるよう、教師たちに頼んだ。「私たちの前には大きな問題が立ちはだかっている。あなたたち教育者は、気候の基礎とそれを取り巻く状況を若者たちに伝えるという、特別に重要な使命を帯びている」と彼は話した。

McCaffreyの話が終わったあと、1人の教師が、映画のタイトルに「真実」という言葉が使われていることを問題にした。「科学は仮説のみを扱うのではないのか。これをどう生徒に説明すればよいのか」と彼は尋ねた。別の教師は、自分の生徒には映画に出てくる「同分野の専門家が査読を行う科学研究」という言葉の意味がわからなかったといい、「米国民の大半はこの言葉を理解できないのではないのか」と指摘した。McCaffreyは、査読の意味を正しく理解させるには、ロールプレイング形式で説明するとわかりやすいだろうと答えた。

すべてのティーンエイジャーが気候変動問題に強い関心をもってはいるわけではないが、ボールダーに住む14歳のAlex Buddは、気候変動問題について行動を起こすことは道徳的に必須のことだと考えている。Buddは、テネシー州に住む叔母から講習について聞いてゴアの講習を受け、最年少のボランティアとなった。BuddとMcCaffreyは、コロラド州のもう1人のボランティア、Steve Wiltonとともに、ボールダー地域でプレゼンテー

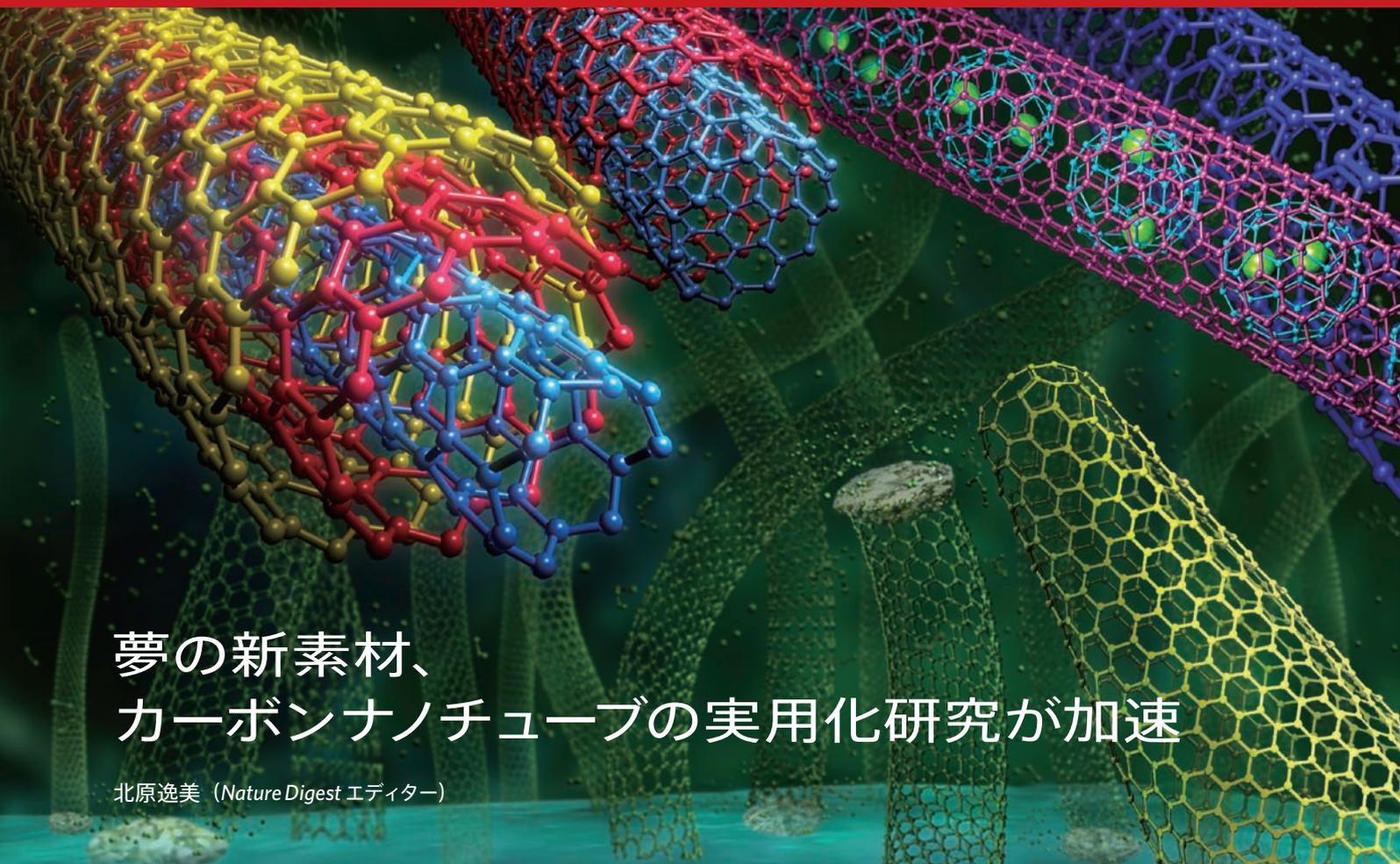


14歳のAlex Buddは、最年少のボランティアとしてアル・ゴアの地球温暖化のメッセージを広めている。

ションを行った。Buddは「私たちは地球を破壊しています」と淡々と話した。「これは政治や経済の問題ではありません。道徳的に間違っているのです」。彼は、学校での昼食時間や、「少しでも話すことができれば、あらゆる機会に」、ゴアの講習で学んだことを話している。「だれにでもできる小さな行動で、大きな変化を起こすことができます」と彼はいい、小型電球型蛍光灯の使用や家の断熱性の改善などを例に挙げた。

「少なくとも今、何が起きているのかを人々に知ってもらいたいというのが、僕の願いなんです」とBuddは話す。「それは簡単なことではないでしょう。だからこそ、それは『不都合な真実』とよばれているのです。それは真実であっても、人々が予定していなかったことであるからです」。

Amanda Haag はコロラド州在住のサイエンスライター。



夢の新素材、 カーボンナノチューブの実用化研究が加速

北原逸美 (Nature Digest エディター)

飯島澄男博士によるカーボンナノチューブの発見から16年。本号の竹内薫氏の記事 (p.21) にもあるように、その特性の多様さは多くの研究者の興味を引きつけ、世界中で基礎および応用研究が精力的に行われてきた。現在のところ、まだ商品化はされていないが、ここ数年で量産化への見通しがある程度立ったことから、実用化への進展が速まりそうだ。

日本産代美

21世紀の新素材として脚光を浴びているカーボンナノチューブ (以下、ナノチューブ)。ナノチューブは、炭素原子が正六角形の網目状に並んだグラファイトシートがチューブ状になった構造をしている。その直径はナノメートル (nm、10億分の1m) の単位であり、自然界で最も細いチューブといえる。細くて軽くて非常に強い、柔軟性に富む、さらには電気や熱をよく通す、吸着能力が大きいなどの多彩な性質をもったすぐれモノだ。こうした特長を生かして、宇宙船の複合材料や電子部品、次世代ディスプレイ、燃料電池などへの応用が期待されてきた。

日本人が発見した炭素の第5の形

ナノチューブの発見は1991年だが、話の発端は1985年まで遡る。その年に英国のH・クロトー博士らによって、サッカーボー

ル型の炭素分子、フラレン (C₆₀) が発見されたのだ¹。それまで知られていた純粋な炭素の形 (同素体) は、ダイヤモンド、黒鉛 (グラファイト)、無定形炭素 (木炭・コークス・活性炭など) の3種類だけでほかにはないと考えられてきた。それに第4の形が加わったのだから、世界中が驚いたのも無理はない。Nature誌に発表されたこの成果について、現編集長のフィリップ・キャンベルは当時を振り返り「個人的に好きな論文だった」と述べている (本号p.10参照)。フラレンの発見は、のちにナノテクノロジーとよばれる新分野の出発点となる。この功績により、クロトー博士らは1996年にノーベル化学賞を受賞している。

そして、フラレンの発見から6年後、当時 NEC の研究員だった飯島澄男博士がアーク放電法によるフラレンの生成過程

を調べていたとき、炭素電極の陰極側堆積物の中からナノチューブを発見した²。フラレンに続く炭素第5の形の発見であった。この発見が、その後のナノテクノロジーを牽引することになる。

ナノチューブはフラレンとは異なり、その形は1種類ではない。まずは、1枚のグラファイトシートからなる単層ナノチューブと、2枚以上がバームクーヘンのように重なった多層ナノチューブとに分けられる。一般に単層のチューブは直径が0.5~5nmと極めて細いのにに対し、多層は10~100nmと太くなる。さらに、一見同じように見えるナノチューブでも原子配列の違い (カイラリティ) によって3種類に分けられ、興味深いことにそれぞれの電気的特性が異なっている。アームチェア型はバンドギャップがなく金属的な性質を示すのに対し、らせん

型はバンドギャップがあって半導体としてふるまう。ジグザク型はその中間で、チューブの太さによって金属と半導体のどちらかの性質をもつ(図1)。チューブの長さは一般的には数 μm だが、最近では2mm台の長いものまで作製が可能になっている。このように、ひと口にナノチューブといっても、長さ、太さ、カイラリティの状態、層の数によって、多種多様なナノチューブが存在し、性質も異なるというわけだ。

発見者の飯島博士は現在、名城大学大学院理工学研究科教授、産業技術総合研究所ナノカーボン研究センター長、NEC特別首席研究員と3つの肩書きをもち、いくつもの国家プロジェクトのリーダーを務めている。まさに日本のナノチューブ研究推進の要として活躍中だ。その飯島博士に、ナノチューブがなかなか商品化されない理由を尋ねてみたところ、「量産化と構造制御の問題が大きい」との答えが返ってきた。「商品化するためには、テストに必要な少なくともキログラム単位の量のナノチューブを安く供給できることが必要ですが、量産することがむずかしいために高価で、市販品は1グラム5万~30万円もしているのが現状です」と飯島博士。また、合成の際に使用する金属触媒の微粒子が残りやすいという不純物の問題や、用途に応じて、多様な構造を作り分けながら合成するか、もしくは生成物を選別する必要がある、といった重

い課題を抱えている。これらの難問に風穴を開けるべく、新エネルギー・産業技術開発機構(NEDO)は2003年に飯島博士をリーダーとして「ナノカーボン応用製品創製プロジェクト」を立ち上げた。その中から得られた成果を中心に紹介していこう。

拓けてきた量産化への道

ナノチューブの製法は3つに分類される。アーク放電法、レーザー蒸発法、化学的気相成長法(CVD法)である。固体のグラファイトを原料に用いるアーク放電法とレーザー蒸発法からは、高品質なナノチューブが得られる。しかし生産性が低く、生成物に触媒や炭素不純物が多く含まれるため、工業用には向かないといわれている。一方、CVD法は、炭素を含むガス(メタンやアセチレンなど)と金属触媒を高温状態で化学反応させるもので、基板を用いる方法と用いない方法の2つのやり方がある。飯島博士は「今回、この両方の技術にブレークスルーがあり、ようやく量産化への見通しがつきました。これから第2ラウンドです」と意気込みを語る。

基板を用いないCVD法は気相流動法とよばれ、原料ガスと触媒を反応器内の気流中で接触させ、連続的に生成物としてナノチューブを得る。スケールアップが容易で、連続運転が可能という工業的メリットがある。この方法を進化させ、用途に応じて、直径を選択的に制御しながら細い単層

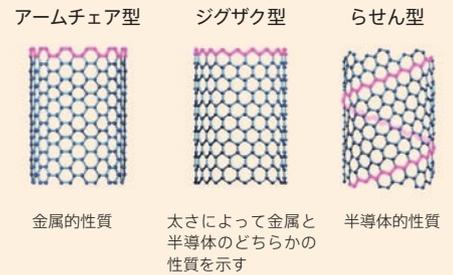


図1 カーボンナノチューブの原子配列の違い(カイラリティ)。電気的性質が異なる。

ナノチューブを量産できる技術(e-DIPS法)の開発に成功したのが、産業技術総合研究所ナノカーボン研究センターの斎藤毅研究員らのグループである(図2)。「簡単にいうと、原料と触媒を高温の反応容器の上から降らせて反応を起こし、下に落ちてきたナノチューブを集めるといったやり方です」と斎藤博士は説明する。課題だった純度は従来の50%から97.5%まで飛躍的に向上し、生産性も100倍にアップした。成功の鍵は「原料のトルエンに加えて、第2炭素源としてエチレンを使ったことです。エチレンの流量を精密に調節することで、0.8~2.0nmまで、0.1nm単位での直径制御ができるようになり、かつ品質もよくなりました」と斎藤博士。

この製法は2007年2月に日機装株式会社へ技術移転され、研究機関への無料配布が始められた。本格的な製品販売は2~3年後とみられている。直径制御ができるe-DIPS法による単層ナノチューブは、ナノエレクトロニクスや光電子材料などの半導体材料として適している。ほかに、引っ張り強度が大きく、かつ紡糸などの構造材料への加工もできるため、高強度航空機部材などの複合材料への応用も期待されている。

基板上に起立・整列させる

これに対し、同じナノカーボン研究センターに所属する畠賢治ナノカーボンチーム長のグループは、基板を用いたCVD法の効率を大きく向上させた。シリコン基板にあらかじめ鉄などの触媒微粒子を塗っておき、電気炉の中でエチレンなどのガスと反応させる。するとナノチューブは基板から真上に向かって、まるでモヤシが成長するように伸びていく。畠博士は「当初はチューブの成長が遅く、数 μm の長さを得るのがやっ

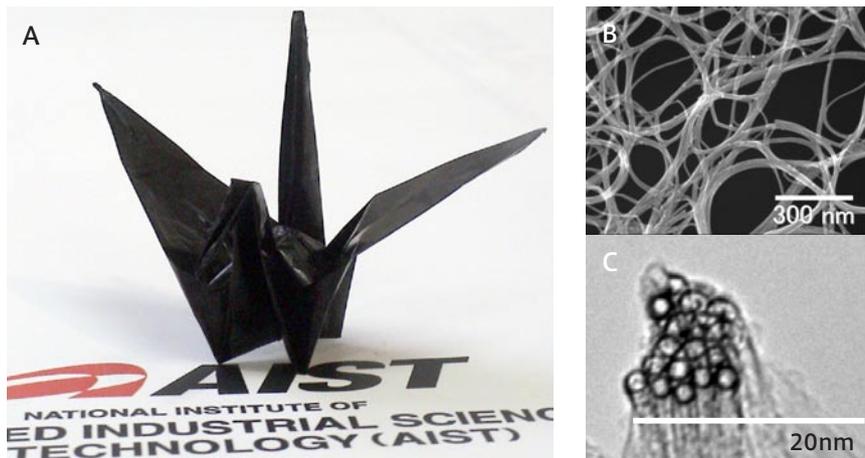


図2 e-DIPS法で作製された単層カーボンナノチューブ。Aは、単層ナノチューブを厚さ約9 μm の高品質なシートにして作製された折り鶴。品質が悪いと破れやすく、このような折り紙はできない。Bは、走査型電子顕微鏡(SEM)で見た写真。触媒などの不純物はほとんど見られない。Cは、透過型電子顕微鏡(TEM)で見た写真。丸く見えるのはナノチューブの断面で、直径が揃っているのがわかる。

Yamada, T. et al./Nature Nanotechnology 1, 131-136 (2006)

とでした」と振り返る。しかし2004年、その効率を500倍にも高め、わずか10分ほどの間に長さ2.5mmに及ぶ単層ナノチューブ（直径2~3nm）を得ることに成功した³。しかも、純度が99.98%と極めて高い。この画期的な方法は「スーパーグロース法」と命名された。「成長を遅らせる原因となっていた不純物を、ごく少量の水を加えることによって取り除いた点が功を奏しました」と畠博士。

スーパーグロース法でできるナノチューブは、前述のe-DIPS法で作製されるものとはいくつかの点で特性が異なる。まず、配向性が高い（チューブの向きが揃っている）ため、その構造を生かしたマイクロ電気機械システム（MEMS）としての応用に向いている。また、体積あたりの表面積が大きいことを利用して、同チームはスーパーキャパシターとよばれる電極材料への応用研究を進めている。キャパシターは現在、プリンターなどのスタート電源として利用されており、将来的にはハイブリッド自動車の電源としても期待されている。ナノチューブのキャパシターは、活性炭を利用した従来型よりもハイパワーを示すという。さらに、スーパーグロース法では触媒のサイズを制御することによって、多層ナノチューブの合成も可能だ。同チームは、2006年に2.2mmの高さの二層ナノチューブ構造

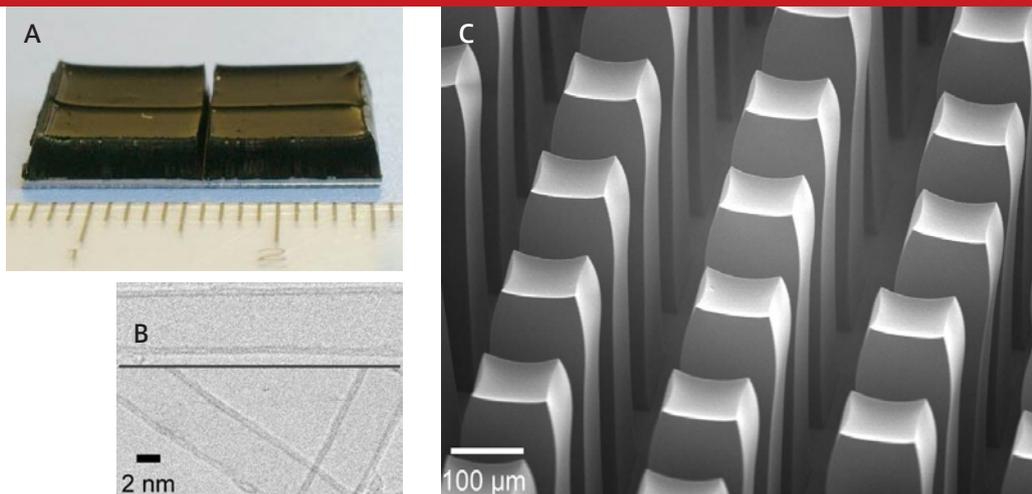


図3 スーパーグロース法で作製された二層カーボンナノチューブ。Aは、肉眼で見たもので、高さ2.2mm（20mm四方）に及ぶ。Bは、二層ナノチューブの1本1本を拡大して見たTEM写真。チューブが二層になっているのが見てとれる。Cは、基板上的触媒のパターニングによって作られた、垂直配向マクロ構造体（SEM写真）。1本の柱の中には起立整列した超多数の二層ナノチューブが含まれている。

体を作製した⁴（図3）。二層ナノチューブは電子放出特性にすぐれており、高輝度、低電圧ディスプレイの開発につながる。

多層ナノチューブをLSIのビア配線に

量産化技術に見通しが立った一方、企業による応用研究も進展をみせている。その1つが、LSI（大規模集積回路）のトランジスタをつなぐ配線に関する技術だ。現在、その配線には銅が使用されている。「しかし今後も微細化が進むと、いずれは限界を迎えることがわかっています」というのは富士通研究所（兼MIRAI-Selete）の栗野祐

二博士である。配線に流れる電流密度が、銅の許容範囲を超えてしまうためだ。半導体技術のロードマップによると、その臨界を迎える時期は2013年と予測されている。

ナノチューブは電流密度が銅の1000倍も流せることから、この問題を解決できると考えられている。細い銅線に多くの電流を流すと、銅原子が動き出し最後には切れてしまう。これに対して、ナノチューブでは炭素原子どうしの結合が強いため、かなりの量の電流を流しても切れることはない。また、電子の流れがスムーズで高速に移動することができ、銅よりも電気抵抗が

月本佳代美

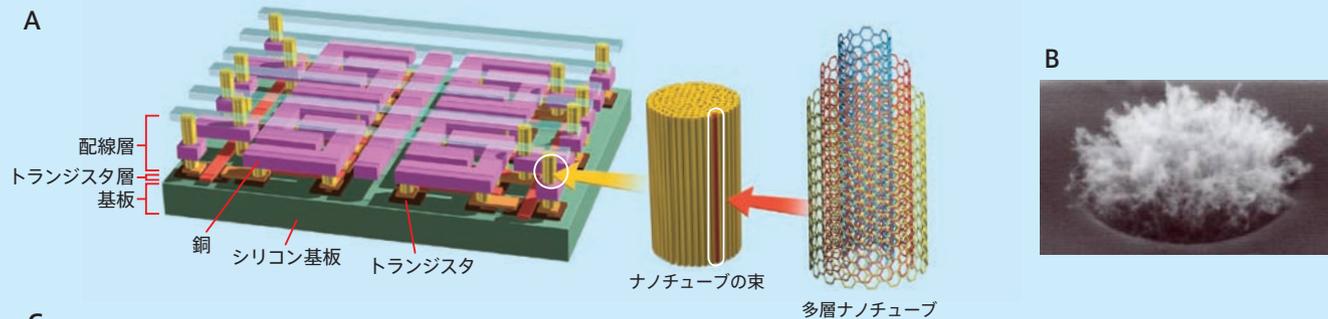


図4 LSIのビア配線と多層カーボンナノチューブ。Aは、LSIの構造を示す模式図。LSIは下から基板、トランジスタ層、配線層から成り立っている。横配線よりも切れやすい縦方向の配線（ビア配線）に多層ナノチューブを束にして使用する。Bは、シリコン基板上に成長させた多層ナノチューブの電子顕微鏡写真。孔の直径は2μm、この中におよそ1500本のナノチューブが成長している。Cは、微細化が進む半導体技術のロードマップで、製造年と配線に流れる電流密度の関係を示している。LSIの性能を上げるには電流をある程度たくさん流さなければならず、配線が微細化されるほど電流密度は上がっていく。2013年には、配線に流れる電流密度が銅の許容範囲を超えてしまう。

富士通研究所 栗野祐二

小さいといわれている。さらに、構造的に縦横比の大きなものを容易に作製できる。

これらのメリットを利用して、栗野博士のグループは、LSI配線中で上下の層を結ぶ縦配線（ピア配線）用ナノチューブの開発を進めている（図4）。ピア配線は横配線よりも切れやすく、先に限界を迎えると考えられるからだ。これも前述のNEDOのプロジェクトで始まった研究である（現在はNEDO半導体MIRAIプロジェクトへ発展）。ピア配線には、金属的性質が強い太めの多層ナノチューブが適しており、それを束ねたものを利用する。製法には、基板にあらかじめニッケルやコバルトなどの触媒を付けておき、アセチレン原料からの炭素と反応させるCVD法を採用。合成条件として、LSIに入っている他の部品が壊れない耐熱温度（約400℃）まで、反応温度を下げる必要性があったものの、2006年、世界に先駆けてその目標を達成した⁵。成功の理由は「触媒を従来の薄膜ではなく、ナノサイズの微粒子にすることで融点を下げ、反

応がより低温で起こるようにしたことで」と栗野博士。現在、2013年の初商品化を視野に、リスク低減のため、ナノチューブ以外は従来のLSI中の材料のみを使用するという方針で研究を進めている。

「ナノチューブの電子部品への応用研究は当初、トランジスタをターゲットとして盛んに行われましたが、半導体的性質のナノチューブだけを作製する必要があるという技術課題の前に足踏み状態にあります。現在では、このピア配線への応用のほうが実用化に近いといわれています」と栗野博士は説明する。

ナノホーンで抗がん剤を患部へ運ぶ

1998年、飯島博士らはカーボンナノホーンを発見している。ナノホーンはチューブの先がウシの角（ホーン）のような形に閉じた単層のグラファイトである。直径は2～5nmで、数千本がホーンの先を外側に向けた集合体として存在する。顕微鏡では「イガグリ」のように見え、全体の直径は100nmくら

い。いわばナノチューブの親戚筋にあたるナノホーンだが、製造には触媒が不要である。室温で炭素にレーザー光を照射するだけで生成され、均質なものを90%の純度で量産できる。最大の特長はその広い表面積がもたらす、高い吸着能力である。しかも、500℃に加熱するとホーン表面に無数の極小の孔が開き、ここから分子レベルの物質が内部に入り込むこともできる。

こうした特性に着目して、科学技術振興機構（JST）とNEC、（財）癌研究会癌研究所はドラッグ・デリバリー・システム（DDS）への応用研究を進め、2005年、ナノホーンに抗がん剤（シスプラチン）を内包させて、培養下のがん細胞を死滅させることに成功した⁶（図5）。腫瘍組織には100nm程度の物質が集積しやすいという性質があり、ナノホーンを用いることで、腫瘍部位に抗がん剤を選択的に運ぶことができると期待されている。ナノホーンは、種々の動物・細胞実験から生体への短期毒性はないことがすでに検証されており、周囲にある細胞や組織に悪

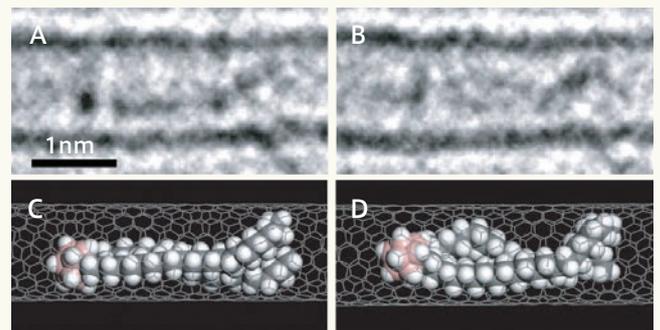
ピーポッドで有機分子を直接観察

カーボンナノチューブは極めて細いチューブだが、その中にフラーレンなどの分子を取り込むことができる。電子顕微鏡で見たその姿がサヤエンドウに似ていることから「ピーポッド（peapod）」とよばれる。石英管の中にフラーレンとナノチューブを封入し、500℃くらいに加熱すると、フラーレンが蒸発してナノチューブの中に入っていく。

さらに、フラーレンをアーク放電で生成する際に電極に金属を入れておくと、金属を内包したフラーレンができる。このような金属内包フラーレンを取り込んだピーポッドも作られている。ピーポッドは柔軟なナノチューブを硬くしたり、電気的特性を変えたりすることができる。「世界中でさまざまな

基礎レベルの研究が行われていて、花盛りの感があります」と飯島教授はいう。

その中で、つい最近発表された画期的な研究を紹介しよう。東京大学大学院の中村栄一教授のグループが、ナノチューブの中に有機分子を取り込み、有機分子1個の形や動きを電子顕微鏡で直接撮影することに世界で初めて成功したのだ⁷。これまで電子顕微鏡は、電子線を照射しても壊れず、かつ、くっきりとした像が得られる金属原子の観察や、ウイルスやタンパク質など比較的大きな生体分子の観察に利用されてきた。しかし小さな有機分子となると、「有機分子は不安定で電子線が当たると壊れてしまうため、見るができない」というのが常識だった。



AとBは、カーボンナノチューブの中で動く有機分子の電子顕微鏡写真。BはAの2.1秒後のようす。CとDは、それぞれAとBの分子モデル図を示す。

中村教授は、有機分子が薄膜のかたまりとして観察されてきたことに問題点があると考えた。薄膜では電子線のエネルギーが化学反応を引き起こしたり、熱を発生させたりして、分子どうしが反応して分解してしまうからだ。そこで、ピーポッドのよ

うに分子をナノチューブに閉じた状態の結晶として、つまり分子の孤立させて観察するというアイデアを思いつき、これが成功につながった。工夫を重ねられた結果、観察用に合成した有機分子が回転したり、2本の足のような鎖状部分を動かしたりするようすを見事に捕らえることができた。 IK

影響を及ぼさない安全なドラッグキャリアーといえる。飯島博士は「薬を患部だけに集めておいて、必要なときに必要なだけの量を出せるようにすることが最終目標です。DDSのような、少量でも付加価値の高い用途への実用化は早いかもしれません」と話す。

想像を超えた用途の可能性も

ナノチューブは当初、その高い吸着能力から水素吸蔵材料としての可能性が考えられ、水素自動車用燃料電池への応用が期待されていた。引火して爆発しやすく取り扱いのむずかしい水素ガスをナノチューブに蓄え、安全な水素タンクとして使おうという発想である。水素吸蔵合金よりは、はるかに軽量で小型化ができるとみられていた。「ところが世界中で研究が進み、よくよく調べてみると、水素に関してはそれほど吸わないことがわかってきました」と飯島博士は振り返る。

水素タンク案は期待外れに終わってしまったが、逆に思いがけない用途の可能性も残されているようだ。例えば高エネルギー加速器研究機構（KEK）では、加速器の一

部に使えないかといったアイデアが出されている。陽子を加速させる際には特殊な薄膜が必要だが、従来の無定形炭素では熱に弱く破れやすいため、ナノチューブの膜が適しているらしい。現在テスト中だという。飯島博士は「さまざまな分野の研究者がアイデアを暖めているようです。試供品を提供していますから、近いうちに独自の興味や用途を出してくれるのではないかと期待しています」と語る。やがて「飯島博士もまったく想像しなかった用途」がどんどん出てくるかもしれない。それほど大きな可能性を秘めている素材といえるのだろう。

ただし、実用化に向けて忘れてならないのが、健康・環境に及ぼす危険性の問題である。アスベストによる健康被害の拡大は記憶に新しいが、一般的に肺に吸い込まれた微粒子は、サイズが小さいほど奥のほうまで入り込みやすく、排出されにくいといわれている。ナノチューブを含めたナノ粒子（一般に粒子直径が100nm以下）が環境に放出された場合の人体や生態系に対する有害性の有無の特定など、正しいリスク

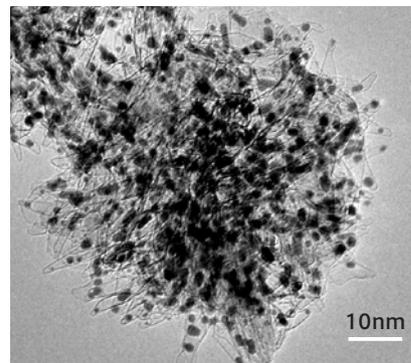


図5 抗がん剤シスプラチン（黒い丸）を内包したカーボンナノホーンの集合体。

評価とそれに伴う規制が必要である。そのための世界レベルでの活発な研究がすでに始まっている。安全性をしっかりと確認したうえでの進展が望まれる。

1. Kroto, H. W. et al. *Nature* **318**, 162-163 (1985)
2. Iijima, S. *Nature* **354**, 56-58 (1991)
3. Hata, K. et al. *Science* **306**, 1362-1364 (2004)
4. Yamada, T. et al. *Nature Nanotechnology* **1**, 131-136 (2006)
5. Nihei M. et al. 2006 International Conference on Solid State Devices and Materials, 140-141(2006)
6. Ajima, K. et al. *Mol. Pharm.* **2**, 475-480 (2005)
7. Koshino, M. et al. *Science* **316**, 853 (2007)

本屋さんで 最先端の科学に会えます

平成19年春、natureの書店販売を始めました。

本屋さんの雑誌売場や理工書コーナーをのぞいてみてください。

最新の科学を沢山抱え、natureが首を長くして皆様をお待ちしております。

全国主要店舗にて取り扱っております。詳しくはお問合せください。

日本出版貿易株式会社 ネイチャー係

本社 〒101-0064 東京都千代田区猿樂町1-2-1
TEL 03-3292-3767 FAX 03-3292-8766
e-mail: natureinfo@jptco.co.jp
http://www.jptco.co.jp



SNAPSHOT

Over the Moon

天にも昇る心地

Nature Vol. 446 (595) / 5 April 2007

ガリレオは美術の教育も受けていたが、その心は現代の科学者とまったく同じであった。彼は新しい技術にすぐに飛びつき、同業者に先を越されることを極端に恐れていた。

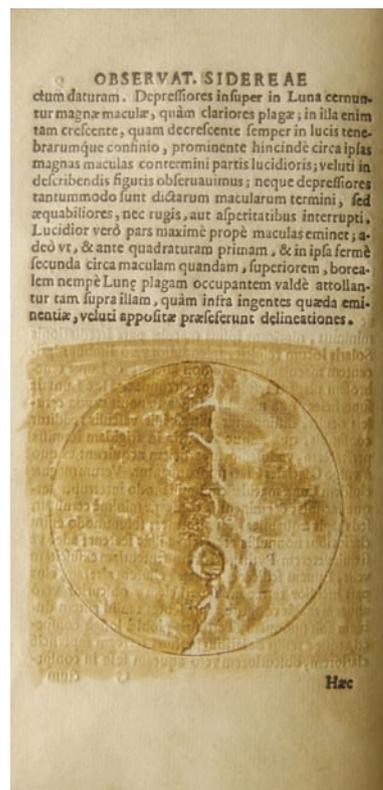
自分で試作した望遠鏡をパドヴァの空に向けたガリレオは、月の表面が滑らかではないことに気づき、この発見を報告しようと急いだ。これは、月が完全な球体であるとする教会の教えに反しているが、美術の素養があり、新しい遠近法にも精通していた彼は、月の

表面にある黒い斑が山々やクレーターを作る影であることに気づいたのである。

彼の著書『星界の報告』での最後の観察は、1610年3月2日という日付になっている。これは、宗教裁判所がこの本の出版を許可した翌日である。そして3月12日には550部の本が完成し、学者仲間に配布する準備がすでに整っていた。プラハのヨハネス・ケプラーは、この本を4月8日に受け取っている。

この550部のうち、ガリレオが描いた有名な月のスケッチが印刷されているものは500部しかない。今回、これまで知られていなかった絵が、南米の古物収集家の手に入った。疑いもなく、彼は幸せ者である。2007年3月28日に、美術史と科学史の専門家によって、5つの黄色い絵がガリレオ自身の手によるものであることが公式に確認されたのだから。

Alison Abbot



chuou-Logistics



www.chuou.co.jp
中央印刷事務器(株)
tel 03-3265-4858

The brain's garbage men

脳内の掃除屋

Helmut Kettenmann



ミクログリア細胞は脳内の免疫を担っており、疾患や損傷によって活性化される。これらの細胞にスイッチが入って、損傷した細胞や細胞の残骸を除去するようになる仕組みが、新たな知見によってわかってきた。

Nature Vol.446 (987-988) / 26 April 2007

脳の機能とは、ニューロン（神経細胞）からなるネットワークの活動だと一般にとらえられている。そのため、脳の機能不全や障害は、ニューロンの減少や機能異常でこのネットワークが乱れることによって起こると考えられている。しかし、脳にはニューロン以外にグリアとよばれる細胞も存在し、ヒトではグリア細胞の数のほうがニューロンの数よりも多い。脳の疾患研究では、グリア細胞のうちミクログリアという種類の細胞が、あらゆる脳損傷を感知するセンサー役として注目されている。例えば、損傷への反応としてミクログリアが活性化され、結果的にこれらの細胞が免疫細胞と相互作用したり、損傷部位へ能動的に移動したり、炎症誘発物質を放出したり、損傷した細胞や細胞のかけらを食作用によって飲み込んだりする。Nature 4月26日号1091ページ¹で小泉修一たちは、ミクログリアが特定種類の細胞膜受容体を発現しており、これらの受容体はプリン受容体ファミリーの一群であるとして、食作用活動に関与していることを報告している。

プリン受容体ファミリー（プリン化合物によって活性化される受容体群）の仲間は一般に、ヌクレオチドであるATPによって活性化される。ATPは細胞内のエネルギー伝達物質としてだけでなく、細胞外のシグナル伝達分子としての役目も果たしている。ニューロンや星状膠細胞（ミクログリアとは別の種類のグリア細胞）は普通にATPを放出するが、病気の状態であれば損傷した細胞はいずれもATPを放出することができる。

これまで少なくとも15種類のプリン受容体が見つかっており、これらは2つのグループに分けられている。1つはP2Xイオンチャネル受容体群、もう1つはP2Y代謝調節型（非イオンチャネル型）の7回膜貫通型ドメイン受容体群である。ミクログリアは2つのグループのそれぞれについて数種類の受容体を発現しており、これらの受容体は細胞の休止状態と活性化状態の両方でさまざまな機能を制御している。P2Y₁₂受容体は、生きた動物での画像解析研究によって^{2,3}、ミクログリアの伸ばす突起の運動に不可欠な制御因子として見つかった。この受容体は、脳の損傷後にミクログリアが活性化されると下方制御されて減少する。

小泉たち¹は今回、P2Y₆受容体がP2Y₁₂受容体とは逆であることを報告している。つまり、脳が損傷するとP2Y₆受容体は上方制御されて増加し、この受容体の活性化が食作用を引き起こすのである（図1）。小泉たちは、培養で増殖させたミクログリアを、P2Y₆に特異的な作動薬（UDPヌクレオチド）で刺激すると、蛍光標識した粒子を飲み込むことを見つけた。次に、海馬領域に損傷を生じさせるカイニン酸をマウスの脳内に注入して、生じた細胞死について調べたところ、活性化したミクログリアでP2Y₆受容体の発現が増大していた。

小泉たちは、カイニン酸で引き起こした損傷に反応して、UTPの量が増大することも見つけた。そのため彼らは、UTPとその分解産物であるUDPが、P2Y₆受容体に結合する天然のリガンドなのではないかと推

測している。そしてまた、損傷した細胞からはATPもUTPも放出されるが、ATPとUTPはそれぞれミクログリアの別の機能に関与していると、小泉たちは考えている。ATPはP2Y₁₂受容体を介して細胞の運動性を制御しており（ほかのプリン受容体を經由する活性化過程の後半での可能性が考えられる）、一方、UTPはP2Y₆受容体を介して食作用を引き起こす。つまり、ATPは損傷した細胞が発する「私を見つけて」というシグナルをミクログリアに伝えて変化させているらしく、UTPは「私を食べて」というメッセージをミクログリアに伝えて活性化させているのである。

小泉たちの今回の知見¹から、ヌクレオチドとプリン受容体が、ミクログリアの機能を制御するスイッチ機構の大事な部分を担っていることがわかる。プリン受容体は、例えば腫瘍壊死因子 α やインターロイキン-6などの炎症誘発分子の放出など、ミクログリアのほかの活性も制御している⁴（図1）。しかし、これらの受容体だけがミクログリアの活性を制御しているわけではない。ミクログリアのほかの機能（移動など）は、ほかのいくつかの因子類によって制御されている。例えば脳損傷のあと、変性した細胞層へのミクログリアの移動には、CXCR3というタンパク質が関与している⁵。CXCR3の欠損した動物では、ミクログリアの移動・浸潤がうまくいかないだけでなく、電気的入力喪失のために機能していないニューロン突起の除去もうまくできなくなる。したがって、ミクログリアは細胞全体だけでなく細胞の一部の除去もできるとみられる^{1,5}。

P2Y₆受容体がミクログリアの食作用に介在していると今回わかった¹ことで、脳疾患においてミクログリアの活性を妨げる治療薬の開発に道が開けるかもしれない。しかし、ミクログリアの活性化がニューロンの変性と再生の過程に有益なことなのかどうかについては、まだ議論中である。例えば、ニューロンの新しい突起が芽生えて新たな結合を形成するためには、電気的入力を喪失したニューロン突起を除去することが必要なのかもしれない。同じように、取り返しのつかないほど損傷した細胞は、新生ニューロンのスペースを作り出すために取り除く必要があるのかもしれない。その一方で、ミクログリアの活性化を部分的に抑制すると、

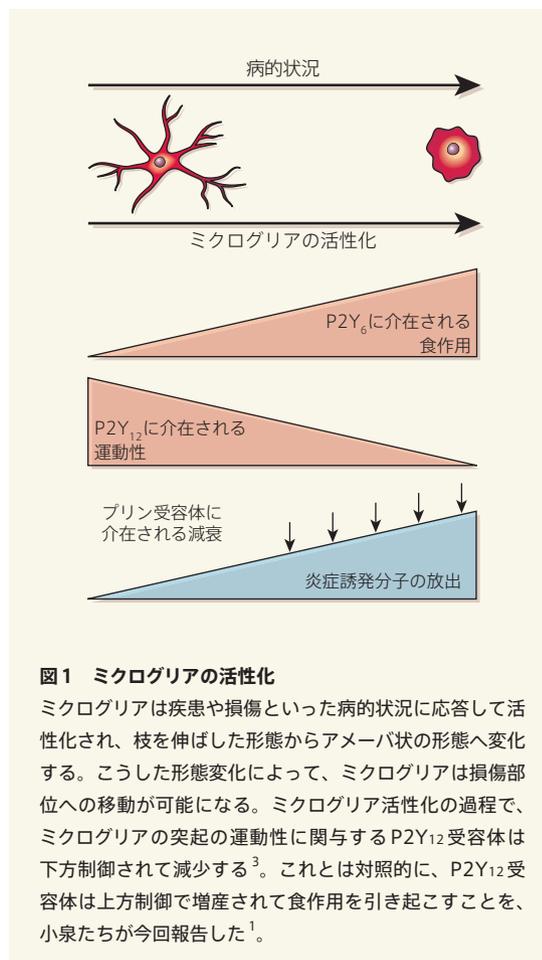


図1 ミクログリアの活性化

ミクログリアは疾患や損傷といった病的状況に応答して活性化され、枝を伸ばした形態からアメーバ状の形態へ変化する。こうした形態変化によって、ミクログリアは損傷部位への移動が可能になる。ミクログリア活性化の過程で、ミクログリアの突起の運動性に関与するP2Y₁₂受容体は下方制御されて減少する³。これとは対照的に、P2Y₁₂受容体は上方制御で増産されて食作用を引き起こすことを、小泉たちが今回報告した¹。

実験的自己免疫性脳脊髄炎の症状の発生が抑えられることから、ミクログリアは何らかの状況下では脳損傷を拡大させる可能性があると考えられる⁶。しかしとなく、はっきりしていることが1つある。それは、ミクログリアによる不要の反応から脳を守る必要があるため、ミクログリアの活性化、とりわけ食作用の活性は厳しく統制されているに違いない、ということだ。 ■

Helmut Kettenmann, マックス・デルブリュック分子医学センター (独)

1. Koizumi, S. et al. *Nature* **446**, 1091-1095 (2007).
2. Honda, S. et al. *J. Neurosci.* **21**, 1975-1982 (2001).
3. Haynes, S. E. et al. *Nature Neurosci.* **12**, 1512-1519 (2006).
4. FaÄNnber, K. & Kettenmann, H. *Pflügers Arch.* **452**, 615-621 (2006).
5. Rappert, A. et al. *J. Neurosci.* **24**, 8500-8509 (2004).
6. Heppner, F. L. et al. *Nature Med.* **11**, 146-152 (2005).

糖尿病発症のかぎを握るアディポネクチンの受容体機能を解明！

門脇 孝

食生活の欧米化が進むなか、日本の糖尿病患者・予備群合わせた数は、1620万人にも達するといわれる。患者の多くは、肥満や遺伝的な素因が複雑に関与する2型糖尿病。門脇孝教授は、東京大学大学院医学研究科糖尿病・代謝内科において臨床に携わる一方で、肥満と糖尿病発症の関連についての研究を進めている。今回、そのかぎを握るアディポネクチンの受容体だと思われる2種のタンパク質を同定し、それらが確かに機能していることを明らかにした。この成果は*Nature Medicine*2007年3月号で発表された。

インスリン抵抗性との関連に着目

Nature Digest — なぜアディポネクチンに注目されたのでしょうか？

門脇 — 私は東大病院で糖尿病・代謝内科の医師として臨床を続け、一方で、糖尿病の原因究明を目標に研究も行ってきました。糖尿病は、日本でも世界でも増える一方ですが、その背景には肥満の増加があります。2000年ごろには、肥満に伴ってアディポネクチンの分泌量が減るという疫学的データが出ていました。一方、そのころの私は、インスリン抵抗性*¹改善薬のターゲットでもあるPPAR γ という因子に興味をもち、PPAR γ のヘテロ欠損マウスを作って解析を進めていました。このマウスはインスリン感受性が亢進しており、私たちはPPAR γ がエネルギー消費を向上させるレプチンというタンパク質の遺伝子を転写レベルで抑制していることを突き止めました。さらに、野生型マウスとPPAR γ ヘテロ欠損マウスの脂肪細胞内で発現している遺伝子をDNAチップによって網羅的に比べてみたところ、PPAR γ ヘテロ欠損マウスで発現が亢進している遺伝子があり、その中の1つがアディポネクチンの遺伝子であることがわかりました。こうしてアディポネクチンの上昇がインスリ

ン感受性の亢進と同時並行しておきていることを認識し、研究室で力を入れて研究するようになりました。

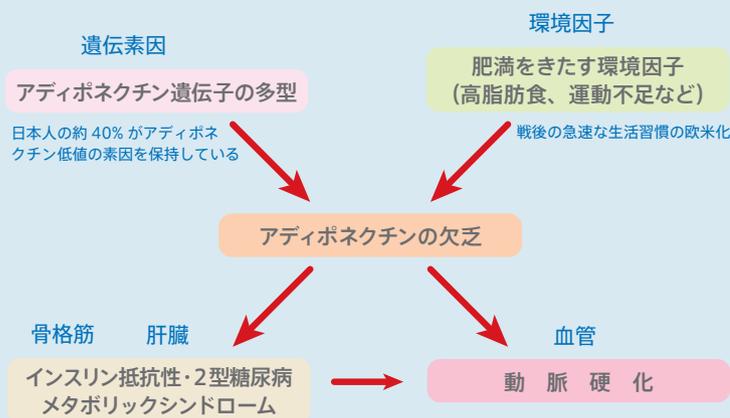
ND — アディポネクチンとはどのような物質ですか？

門脇 — 脂肪細胞からは「アディポカイン」と総称されるさまざまなホルモンやサイトカインが産生されていますが、アディポネクチンもその一種です。脂肪細胞から常に分泌されていますが、空腹時に分泌量が増え、食事をすると減って、次の空腹時に向けて再び増える傾向にあります。歴史的には、10年ほど前にアディポネクチン同定の論文が4つ発表されました。ただし、この時点ではどのような機能なのかは不明で、2001年の私たちの研究によって、肥満かつメタボリック症候群の病態を示すマウスでアディポネクチンの分泌量が減っており、アディポネクチンを遺伝子組み換え技術を用いて補給してやると、インスリン抵抗性が回復して病態も改善することがわかりました¹。同じころ、アメリカの2つの研究室からも独立に同様の成果を示した論文が出され、アディポネクチンがインスリン抵抗性を改善することで血糖値を下げる作用をもつ、糖代謝に極めて重要なホルモンであると認知されるようになりました。

ND — どのような分子メカニズムで血糖値を下げるのですか？

門脇 — 私たちはまず、脂肪細胞からアディポネクチンが分泌されると、肝臓と筋肉において2つの情報伝達経路が活性化されることを明らかにしました²。その1つは、細胞がストレスにさらされるなどしてエネルギーが枯渇するようになるときに、糖や脂肪を取り込んでATPを産生する「AMPキナーゼ系」で、もう1つは、肝臓や筋肉中の「脂肪の燃焼に関わる酵素の遺伝子」を調節している核内受容体（PPAR α ）を活性化する系です。これらの系が活性化されると、筋肉と肝臓において脂肪の燃焼が促進され、肝臓においては糖の新生が抑えられるようになります。結果として、糖代謝が促進され、血糖値を下げる機能を発揮するというわけです。また、患者さんとその兄弟224組に協力いただき、「アディポネクチン遺伝子のなかに一塩基多型（SNPs）があり、その部位がGG型の場合、GT型に比べて分泌量が3分の2に低下し、糖尿病に2倍なりやすくなること」も突き止めました。さらに、日本人の実に40%は、体質的にアディポネクチンが低いこともわかりました³。こうして、SNPsや肥

アディポネクチン仮説



遺伝的な素因と肥満をきたす環境因子が相互作用することで、アディポネクチンの低下が引き起こされ、インスリン抵抗性・2型糖尿病、メタボリックシンドロームの主要な原因になるとともに、動脈硬化の直接的な原因となる。



門脇 孝（かどわき・たかし）／東京大学大学院医学系研究科糖尿病・代謝内科教授。医学博士。1978年東京大学医学部卒業。東京大学医学部附属病院などにて内科研修。東京大学第3内科糖尿病グループに所属。1986年から1990年まで米国国立衛生研究所（NIH）糖尿病部門に留学。2003年より現職。医学部附属病院副院長を兼任。

東京大学第3内科糖尿病グループにて春日雅人教授（現神戸大学大学院医学系研究科糖尿病・消化器・腎臓内科教授、医学部附属病院院長）に師事。

インスリンシグナル伝達の研究を始める。留学中に、インスリン受容体遺伝子異常による糖尿病を同定。帰国後、発生物理的手法を用いたインスリン作用・インスリン分泌・2型糖尿病の分子機構研究を進め、1990年代の後半から脂肪細胞、特にPPAR γ やアディポネクチンに関する研究を開始。2001年、アディポネクチンのインスリン感受性亢進作用を発見、2003年アディポネクチン受容体を同定。現在、糖尿病・メタボリックシンドロームの成因に関する基礎研究と診断法・治療法開発のトランスレーショナル・リサーチを進めている。

満によって分泌量が低下すると、インスリン抵抗性と関連する疾患（メタボリックシンドローム、糖尿病など）や、心筋梗塞などの動脈硬化性の疾患、脂肪肝炎が発症しやすくなるのです（アディポネクチンには抗炎症効果もあることがわかってきた）。さらに、アディポネクチンががん細胞のアポトーシスを促進させる機能をもつこともわかり、肥満や糖尿病患者に肝臓がん、子宮体がん、乳がん、大腸がんが多い理由にアディポネクチンの減少が関与していると考えられるようになってきました。

力業での解析が功を奏することに

ND — アディポネクチンの受容体については、どのように研究を進められたのでしょうか？

門脇 — 私たちはアディポネクチンを蛍光標識し、アディポネクチン受容体を発現する細胞をFACSとよばれる手法を用いて単離しようと試みました。アディポネクチンはさまざまな受容体と非特異的に結合してしまうので試行錯誤しましたが、結合が特異的なものだけを拾う工夫をし、幸いにも、世界で初めて2種の受容体を同定することができました。その解析の結果、アディポネクチン受容体タンパク質は「細胞膜に7回貫通しているタイプの受容体で、Gタンパク質共役型受容体^{*2}とよく似ているが、細胞膜中のタンパク質の向きが、それまでに知られていたGタンパク質とはまったく逆の新規の受容体ファミリーである」ということがわかりました。そのため、多数存在するGタンパク質を念頭にハイスループットで探索していた世界中の研究者はアディポネクチン受容体を見つけ出すことができず、力業で解析を進めていた私たちが、世界で初めて受容体を同定する幸運を手にしたのです⁴。

ND — 具体的に、どのような受容体だったのでしょうか？

門脇 — siRNAを用いて受容体数を減らすとアディポネクチンの結合がどう変化するか、また、PPAR α の活性がどう変化するかを検討したところ、「2種のアディポネクチン受容体のうちの1つ（1型受容体）は短いタイプのアディポネクチンと強く結合し、かつ、長いタイプのアディポネクチンとも結合すること」「もう1つ（2型受容体）は長いタイプのアディポネクチンと結合すること」がわかりました。結合後は、アディポネクチンのシグナルが細胞内に伝わり、AMPキナーゼやPPAR α の系を活性化していました。また、同定した受容体タンパク質が確かにアディポネクチン受容体として機能していることを示すために、2種の受容体の遺伝子がともに欠損しているダブルノックアウトマウスを作

製し、このようなマウスではアディポネクチンが細胞に結合せず、機能を果たせないことも示しました⁵。

ND — 今回の成果は、医療にどのように応用可能でしょうか？

門脇 — アディポネクチンは進化的に古く保存されているタンパク質で、植物にも似た構造と機能をもつペプチド（オスモチン）が存在することがわかってきています。私たちは、オスモチンがアディポネクチン受容体に結合することで、アディポネクチンと同様・同レベルの機能を発揮することを突き止めており、JSTのプロジェクトとして、野菜や果物に含まれる「アディポネクチン受容体のアゴニスト」や「アディポネクチン受容体の数を増やす因子」を網羅的に探索しつつあります。実際に見つかれば、野菜や果物、あるいはそこから抽出した成分を摂取することで糖尿病を抑えられる可能性が出てくるでしょう。一方で私たちは、アディポネクチンが脳脊髄液中にも存在し、食欲を増進する作用をもつことも明らかにしつつあります。おそらく、アディポネクチンは人類が長い間さらされた飢餓時代に対応するホルモンだったのでしょう。中枢では食欲を増進させて脂肪を蓄積するようにはたらし、末梢では脂肪を燃焼させて当座の飢餓を回避していると思われます。創薬という点では、末梢においてアゴニストを抗糖尿病薬として使い、中枢ではアンタゴニストを抗肥満薬として使うことが理想ですが、使い分けができるようになるかどうかはかぎだといえるでしょう。私自身は、臨床の医師ならでのスタンスをもちつつ基礎研究も続けることで、アディポネクチンの生理的機能や構造、病態における影響、シグナル伝達の全貌を解明したいと考えています。そのうえで、治療や創薬に結びつくような研究ができるとよいと思っています。

ND — ありがとうございます。

聞き手は西村尚子（サイエンスライター）。

*1 インスリン抵抗性
同じ量のインスリンが分泌されているにもかかわらず、その機能が発揮されにくく、正常な場合よりも血糖値が下がりにくくなる状態で、糖尿病の本態の1つとされる。逆に、インスリンが働き過ぎる状態のことを「インスリン感受性が亢進」と表現する。

*2 Gタンパク質共役型受容体
細胞膜に7回貫通し、C末端が細胞内に向いている受容体の総称。リガンドと結合することで、膜電位の変化、細胞内へのカルシウムイオンの流入や各種シグナルの伝達などを引き起こすことが知られている。

1. Yamauchi T. et al, *Nature Medicine* 7,941-946(2001)
2. Yamauchi T. et al, *Nature Medicine* 8,1288-1295(2002)
3. Hara K. et al, *Diabetes* 51, 536-540(2002)
4. Yamauchi T. et al, *Nature* 423, 762-769(2003)
5. Yamauchi T. et al, *Nature Medicine* 13-3,332-339(2007)

昔から、空を飛びたいと願う人は常に鳥に目を向けてきました。レオナルド・ダビンチもそのひとりで、鳥の翼や飛行のメカニズムの研究の記録が残されています。しかし現在でもなお、鳥の翼を使っ

た実験データが、戦闘機などの最先端技術に応用されています。今回は、鳥の中でもいちばんの飛行の達人ともいえる、アマツバメの翼を使った実験について読んでみましょう。

NEWS news@nature.com

語数：687words 分野：航空工学・動物行動

Published online: 25 April 2007 | doi:10.1038/news070423-7

Wings in a wind tunnel show secrets of flight

Study of swifts could improve airplane designs.

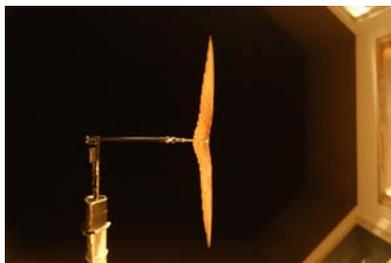
<http://www.nature.com/news/2007/070423/full/070423-7.html>

Heidi Ledford

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。

RANSCHOLS

1. The average swift (*Apus apus*) travels 4.5 million kilometres in its lifetime — roughly the same as six round trips to the Moon. Now researchers have demonstrated how these **adept** aviators change the shape of their wings to improve performance, providing hints as to how aircraft engineers can improve their designs.
 2. Common swifts spend nearly their entire lives in the air — eating, mating, and even sleeping **'on the wing'**. It was this aerial lifestyle that drew the attention of David Lentink, a former aerospace engineer who is now working towards a doctoral degree in zoology at Wageningen University in the Netherlands.
 3. Previous work looking at the flight of swifts has been based on **theoretical models** or experiments performed with imitation wings made of **epoxy resin** and metal. To improve on these **surrogates**, Lentink and his colleagues looked at 15 pairs of real swift wings, taken from dead birds from **sanctuaries**. They placed the wings in a wind tunnel and varied their **orientation** to measure the effect of wing shape and position on flight efficiency.
 4. The results, reported this week in *Nature*¹, show how swifts can adjust the shape of their wings to increase the **efficiency** of their **glide** or to make faster turns. Although some of these general principles of flight have been known for some time, Lentink's team were able to **quantify** the efficiencies; and at least one of their conclusions **runs contrary to** previous assumptions about the swift's flight.
 5. The report is published just in time for the birds' annual return to the Netherlands after a winter spent in southern Africa — an event often celebrated as a sign of the start of summer. The **cacophonous hordes** arrived there just a few days ago.
- Swoop and glide**
6. The team found that extended wings provide the best slow glide, whereas those swept back away from the head function better at high speeds. Extremely fast turns require swept-back wings because extended wings would break under the extreme force. Swept-back wings also do not **flutter**, which protects against **bone fractures** under these conditions of high force.
 7. Placing wings in the best formation for each activity means that the birds can fly 60% further in a single glide, and improve their turning efficiency by three times over how they would do with their wings poorly placed.
 8. Lentink could also determine the glide speeds at which the birds would minimize **energy expenditure** — ideal for, say, taking a nap. That speed was eight to ten metres per second, the same speed at which the birds glide as they



アマツバメの翼を使った風洞実験

roost. "They have evolved an aerodynamic design for cheap flight," says Anders Hedenström, a theoretical ecologist at Lund University in Sweden and a co-author on the study.

- Such information is useful — although perhaps not perfectly accurate. "The problem is a dead bird wing doesn't necessarily behave much like a live bird wing," says engineer Geoffrey Spedding of the University of Southern California in Los Angeles.

Hitching a lift

- But using a real wing is still much better than a model, says Spedding — and it sometimes throws up surprisingly different results. Previous studies using brass models had suggested that using swept-back wings helps swifts to **boost** lift by generating small **vortices** in the air-flow around the wings². But Lentink's data contradict this theory; his results show that swifts generate lift more effectively by fully extending their wings.
- This information could be used to improve the design of aircraft, Lentink says. Some planes, such as the F-14 Tomcat, already **incorporate** these principles by allowing the wings to sweep back when the plane is flying particularly fast.
- Lentink says that these aircraft designs are **crude** compared with what the swifts can do, thanks to the engineering challenges involved. "The swifts are just better at it," he says, "The amount of feathers and muscle involved is challenging for us [to imitate]."
- Engineers have a lot of things to consider, Spedding adds. For example, having flexible wings could require extremely heavy supports, **cutting into** any gains in fuel efficiency made by the wing shape. "Aeroengineers tend to look at you in horror when you suggest things like that," he says.

References

- Lentink D., et al. *Nature*, **446**. 1082-1085 (2007).
- Videler J. J., Samhuis E. J. & Povel G. D. E. *Science*, **306**. 1960-1962 (2004).

Science key words

タイトル **wind tunnel** : 風洞 (実験)

人工的に空気などの流れを発生させるためのトンネル型の施設や装置、またそれを用いた実験。流れの中に置いた試験体に働く力や周りの流れなどを観測できる。

リード **swifts** : アマツバメ

ここでは、特にヨーロッパアマツバメ (*Apus apus*; common swifts) のこと。形態や生活様式がツバメと似ているが、分類上は別の目に属する。文中にもあり、著しく空中での生活に適応しており、群れで鳴きながら移動する。体長約16~17センチメートルだが、翼長は40センチメートル以上に及び鎌の形をしている。全身は黒っぽい色で、のどの部分だけが白い。渡り鳥で、夏の間はヨーロッパ北部で過ごし、アフリカ南部などで越冬する。

3. **epoxy resin** : エポキシ樹脂

高分子内にエポキシ基をもつ熱硬化性の合成樹脂。寸法安定性、耐熱性、耐水性、対薬品性にすぐれ、電気絶縁性が高く、接着性も強いなどの特長をもつ。そのため、電気・電子部品、自動車、土木・建築分野などで幅広く使用されている。

Words and phrases

- adept** : 「熟練した」「上手な」「うまい」
- 'on the wing'** : 「飛行中で」「飛んでいる」
- theoretical models** : 「理論モデル」
- surrogates** : 「代用物」「代替物」
文脈によっては、「代理指標」「代理母」と訳す例もある。
- sanctuaries** : 「鳥獣保護区」
- orientation** : ここでは「向き」「方向性」のこと。
- efficiency** : 「効率」「能率」
- glide** : 「滑空」
- quantify** : 「定量化する」
- runs contrary to ...** : 「…に反する」
- cacophonous hordes** : 「耳障りな鳴き声の群れ」
ここでは「アマツバメの群れ」のこと。
- 見出し **swoop** : 「急降下」
- flutter** : 「ばたばたと揺れる」「ばたつく」
- bone fractures** : 「骨折」
- energy expenditure** : 「エネルギー消費量」
- roost** : 「止まり木にとまる」「眠ること」
- 見出し **hitching** : 「高める」
ここは「ぐいっと引き上げる」という意味から転じて「～を上げる」という意味。
- boost** : 「増やす」「高める」
- vortices** : (vortexの複数形) 「渦」
- incorporate** : 「取り入れる、組み入れる」
- crude** : 「洗練されていない」
もともとは「生の」という意味で、手が加わっていないことから、「雑な」「大ざっぱな」「粗い」といった意味が派生している。
- cutting into** : 「(減らす、下げるという意味での) 食い込む」

Published online: 25 April 2007 | doi:10.1038/news070423-7

鳥の翼の風洞実験で明らかになった飛行の極意

アマツバメの研究で航空機の設計が改良されるかもしれない。

<http://www.nature.com/news/2007/070423/full/070423-7.html>

ハイジ・レッドフォード



- 平均的なヨーロッパアマツバメ (*Apus apus*) は、一生の間に450万キロメートルを飛行する。これは地球と月をほぼ6往復する距離に等しい。このほど発表された研究で、飛行の達人であるこの鳥が翼の形状を変化させて飛行性能を高めている方法が明らかになり、航空機エンジニアが航空機の設計を改良するのに役立つようなヒントが得られた。
 - ヨーロッパアマツバメは一生のほとんどを空中で過ごし、空を飛びながら、摂食、交尾、それに睡眠までやってしまう。この空中型の生活スタイルに目をつけたのが、元航空宇宙エンジニアで、ワーヘニンゲン大学（オランダ）で動物学の博士課程にある David Lentink である。
 - これまでアマツバメの飛行に関する研究は、理論モデルあるいはエポキシ樹脂製や金属製の翼の模型を使った実験に基づいていた。Lentink の研究チームは、これらの代用物よりもすぐれた研究素材として、鳥獣保護区で死んだアマツバメから得た15対の本物の翼を使って研究を行った。彼らは風洞内に翼を設置し、その向きを変えながら翼の形状と位置が飛行効率に与える影響を調べた。
 - その結果は今週号の *Nature*¹ で報告され、アマツバメが翼の形状を調節して、滑空効率を高めたり旋回速度を上げたりできる仕組みが明らかにされた。飛行のこのような一般原理は、しばらく前から部分的にはわかっていたことだが、Lentink の研究チームは、その効率を定量化することに成功した。しかも、今回の研究で導かれた結論のうち少なくとも1つは、アマツバメの飛行に関する従来の仮説に反していた。
 - この研究論文の発表は、ヨーロッパアマツバメがアフリカ南部での越冬を終えてオランダに戻ってくる時期とちょうど重なっていた。この鳥の到来は夏の始まりを告げる出来事として喜ばれることが多い。鳴き声の耳障りな群れは、ちょうど論文発表の数日前にオランダに到着したところだった。
- 急降下と滑空**
- 研究チームは、翼を横に広げると低速滑空の効率が最高になり、翼を後方に曲げて後退角を大きくすると高速滑空性能が上がることを見いだした。非常に高速で旋回する場合には、翼を横に広げておくことと極めて強い力を受けて翼が折れてしまうため、翼を少し折り畳むように後方に曲げる必要がある。後方に曲げた翼はパタパタとはためくこともなく、強い力の加わる条件下でも骨折せずにすむ。
 - アマツバメは、活動内容に合わせて翼を最適な形状にすることで、翼が不適切な形状になっている場合に比べ、1回の滑空につき距離にして60%遠くまで飛んだり、旋回効率を3倍に高めたりすることができる。
 - Lentink は、エネルギー消費量が最小になる（つまり、飛びながら眠るのに最適な）アマツバメの滑空速度も測定できた。その速度は秒速8～10メートルで、この鳥が実際に眠りながら飛行するときの速度と同じだった。「アマツバメは、省エネ飛行のための空気力学的設計を進化させてきたのだ」。そう語るの、今回の研究論文の共著者の1人であるルンド大学（スウェーデン）の理論生態学者、Anders Hedenström である。
 - こうした情報は有益ではあるが、おそらく完全に正確なものではないだろう。「問題なのは、死んだ鳥の翼が生きている鳥の翼と必ずしも同じ挙動を示すとは限らないことだ」と話すのは、南カリフォルニア大学（米国ロサンゼルス）の工学者 Geoffrey Spedding である。
- 揚力を高める**
- それでも本物の翼は模型よりもはるかにすぐれている、と Spedding はいう。それに本物を使うと、意外なほど異なった結果が得られることがある。真ちゅう製の模型を使った過去の研究では、後方に曲げた翼を使うと、翼の周囲に生じる気流の中に小さな渦が発生し、揚力が高まるという見解が示された²。しかし Lentink のデータは、この考えと矛盾しており、翼を横に完全に広げたほうが揚力の生成効率が高いことを示している。
 - この情報を利用して、航空機の設計を改良できるかもしれない、と Lentink はいう。F-14 トムキャットなど一部の航空機には、これらの原理が既に取り入れられ、特に高速で飛行するには翼の後退角を大きくできるようにしている。
 - このような航空機の設計はアマツバメの能力と比べて洗練されておらず、そこには取り組む価値のある工学上の難題がいくつかかわっていると Lentink は話す。「アマツバメは飛ぶことにおいては断然すぐれている。飛行に関係する羽と筋肉の量 [を模倣すること] が、我々に課せられている難題である」と彼は付言する。
 - エンジニアは数多くの事項を検討しなければならない、と Spedding は説明を続けた。例えば柔軟性のある翼を備えるには、極めて重い支持材が必要となる可能性があり、翼の形状によって燃費を高めても支持材の重量によって燃費が引き下げられてしまう。「そういう話をすると、たいがいの航空エンジニアは恐れをなした表情を浮かべる」と Spedding は語った。

私は、世界最高水準「科学技術創造立国」実現のサポーター
産学「官」イノベーションに貢献を
www.science-japan.com

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



WWW.
研究職派遣
 .com



WWW.
オンライン校閲
 .com



WWW.
広報制作
 .com



WWW.
会議運営
 .com



WWW.
研究秘書派遣
 .com



WWW.
校閲依頼
 .com



WWW.
布地ポスター
 .com



WWW.
展示会ブース
 .com



WWW.
研究補助依頼
 .com



WWW.
翻訳依頼
 .com



WWW.
**研究機関
 ホームページ**
 .com



WWW.
研究職紹介
 .com



WWW.
通訳依頼
 .com



WWW.
研究印刷物
 .com



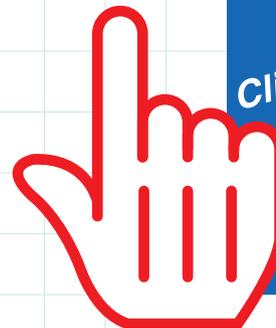
WWW.
翻訳通訳仕事
 .com



WWW.
科学イベント
 .com



WWW.
英語司会
 .com



研究開発サポート企業のネットワーク

国際会議運営


 株式会社 アイキューブつくば
 www.icube-t.com

海外招聘


 ヨビックス
 YOBIX
 www.yobix.co.jp

映像メディア


 映像館
 EIZOHKAN INC.
 www.eizohkan.co.jp

プレゼン制作


 株式会社アサヒ・シーアンドアイ
 http://asahi-ci.kir.jp

テーブル起こし


 ADDRESS
 www.adrs.co.jp

21st International Mammalian Genome Conference

第21回 **IMGC2007**

国際哺乳類 ゲノム会議

2007年10月28日(日)~11月1日(木)

京都テルサ

同時通訳付(29日午後のみ)



主催：林崎 良英 (独立行政法人 理化学研究所)
IMGC2007組織委員会
独立行政法人理化学研究所
国際哺乳類ゲノム学会

Main Topics

- Comparative Genomics / Computational Biology
- Rat and Other Genomes
- Modeling Disease by Genome Manipulation / Mutagenesis
- Neuroscience / Behavior
- Modeling Disease by Natural Variation / Complex Traits
- Development / Cancer Biology / Aging
- Immunity / Infection
- The Transcriptome World

Speakers (Confirmed)

Tom GINGERAS, Affymetrix, Inc., USA
David HUME, University of Queensland, USA
Takashi KADOWAKI, Tokyo University, Japan
Hiroaki KITANO, JST (Japan Science and Technology Agency), Japan
John QUACKENBUSH, Dana-Farber Cancer Institute, USA
Yumiko SAGA, National Institute of Genetics, Japan
Tadao SERIKAWA, Kyoto University, Japan
Bill SKARNES, Wellcome Trust Sanger Institute, UK
Christine WELLS, Griffith University, Australia
(Alphabetical)

[アブストラクト締切]
2007年7月31日(火)
[登録締切]
2007年9月30日(日)

Conference Fees

| Early Registration Fees (~Aug. 1st) | | Late Registration Fees (Aug. 2nd~) | |
|-------------------------------------|------------|------------------------------------|------------|
| Member of IMGS | 20,000 yen | Member of IMGS | 23,000 yen |
| Non-Member | 25,000 yen | Non-Member | 28,000 yen |
| Student | 20,000 yen | Student | 23,000 yen |

www.IMGC2007.com

IMGC2007 Secretariat: sec@imgc2007.com

20070607