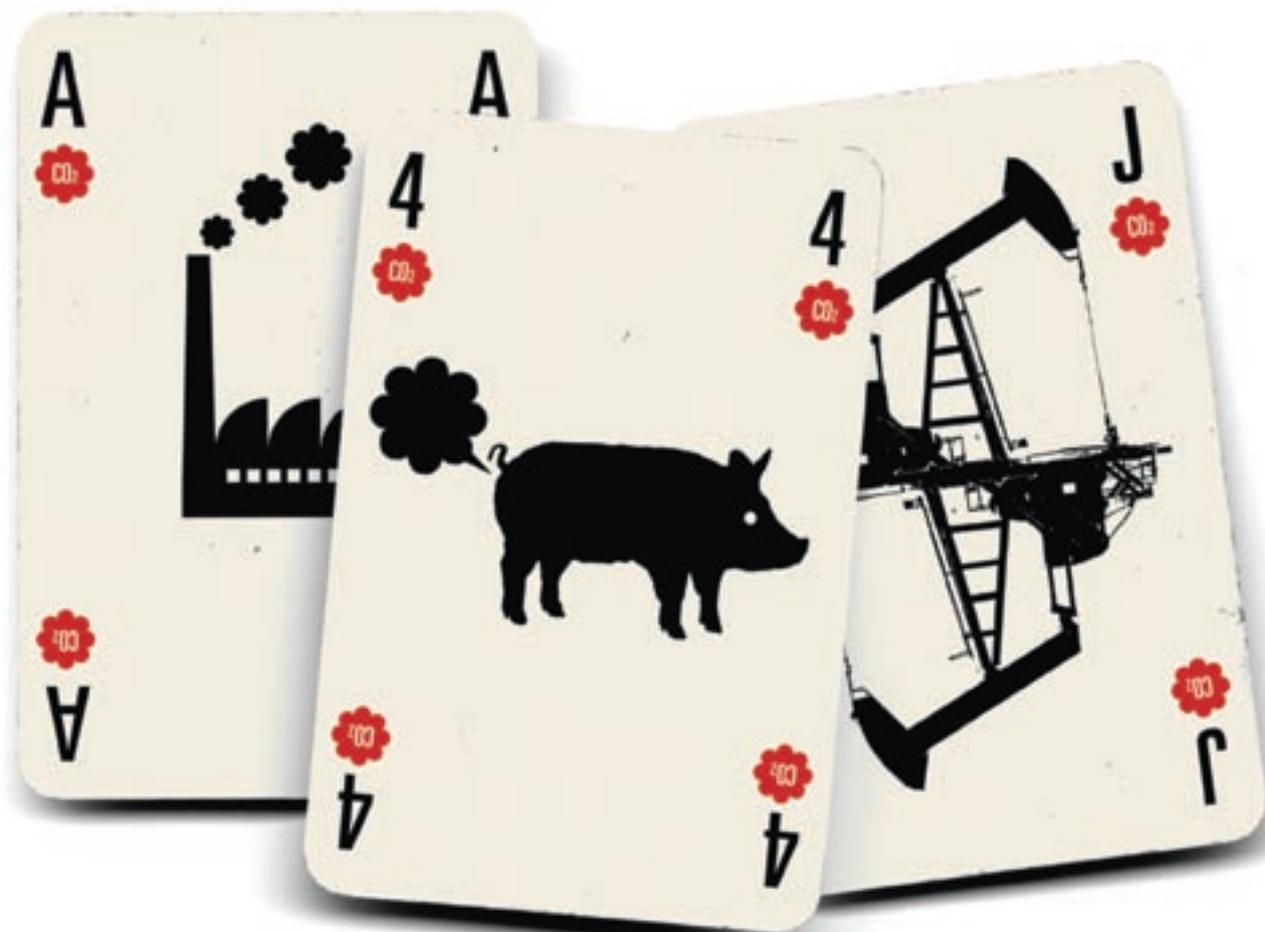


nature DIGEST

日本語編集版
JANUARY 2005
VOL.02, NO.1

1



「炭素」

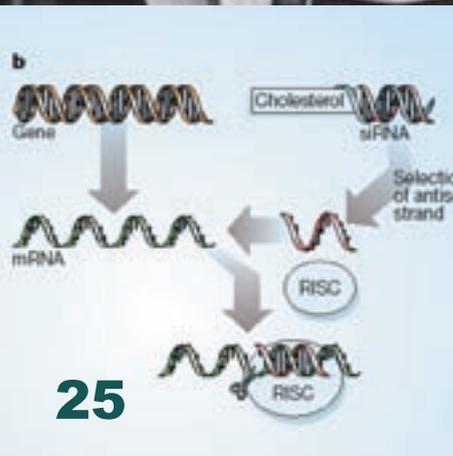
取引の市場を探る



06



19



25

nature
DIGEST

01

volume 2 no.01
January
www.naturejpn.com/digest

© 2005 年 ネイチャー・ジャパン
掲載記事の無断転載を禁じます。

news feature

「炭素」 取引の市場を探る

Michael Hopkin

06

editorial

神学がモノを言う時

02

highlights

vol. 432 no. 7015, 7016, 7017, 7018, 7019

04

news feature

巨大な「炭素市場」が動き出す

Michael Hopkin

06

2005 年、科学界の願いごと

10

蟻と象の争い?

Erika Check

19

news and views

2003 年夏のヨーロッパ、あの猛暑は誰のせい?

Christoph Schär and Gerald Jendritzky

23

RNA 干渉でコレステロール値を下げる

John J. Rossi

25

研究者訪問

人間の限界を超えた機能を持つロボットを
デザインする

27

book review

結果に学ぶ

伊藤嘉明

28

発行人: アントワーン・ブーケ
編集: 津田純子、セラ・ハリス
デザイン/制作: 村上武、佐藤恵
広告: 浅見りの子
マーケティング: 吉原聖豪

ネイチャー・ジャパン株式会社
〒162-0841
東京都新宿区弘方町 19-1
エムジー市ヶ谷ビル 5 階
Tel. 03-3267-8751 Fax. 03-3267-8746

©2005 NPG Nature Asia-Pacific

神学がモノを言う時

Where theology matters

Nature Vol.432(657)/9 December 2004

この数十年間で、今ほど宗教の声が目立って聞かれ、影響力をもつことはなかった。宗教界に身を置く研究者であれ、世俗の研究者であれ、この現実を受け入れる必要がある。ただし、神学者全員の支持が得られていない教義も存在する点には留意すべきである。



神学者と哲学者は、何世紀にもわたって宗教と科学の関係について論争を続けてきた。もうこの局面に新たな展開は期待できない。それに今から約800年前にトマス・アクィナスが両者の折り合いをつける方法を見出している。そして1930年にはアインシュタインが「宇宙的な宗教感情は、科学研究を行う動機として最も強固で高貴なものである」と記した。これでよいではないか。科学と宗教は「現実のそれぞれ異なる側面を明らかにしている」とするローマ教皇ヨハネ・パウロ二世の見方を素直に受け入れようではないか。

その理由は、宗教と科学という2つの伝統が、いつも、お互いの領域に迷い込んで問題を起こすからである。「天地創造説」や「インテリジェントデザイン論」を学校で教えることをめぐって巻き起こった政治闘争を考えてみるとよい。これは、一部の宗教関係者が、自分たちの信仰に科学の装いをさせて、他の人々にも押しつけようとした動きだった。科学研究では、実験データに基づいて結論が導き出されるのであり、タルムードや聖書、コーランの権威には頼らない。神の存在が科学の世界で認められていないことに心を悩ませる人々がいるかもしれないが、神の存在そのものや神の言うことに強制的に従っ

たとしても、それは歪んだ科学の世界を生み出すだけだ。

他方で科学は、産業界と手を結び、人間性に関する重大な問題を引き起こすような技術を導入して、宗教の領域を侵害している。宗教界の思想家や世俗の倫理学者が懸念を表明するのは正当な対応であり、科学者が、その声に耳を傾けずに研究に突き進むべきではない。将来的には初期胚を破壊せずに幹細胞を取り出す方法が開発されるかもしれないし、そうすれば今日生命倫理に関するホットなジレンマは解決されるだろう。しかし、その時には、また新たなジレンマが生まれることになる。

ユダヤ系の生命倫理学者で、生命倫理に関する米国大統領諮問委員会の委員長を務めるレオン・カスは、問題の核心に踏み込んで、こう語っている。「人間の死という問題を克服することが、現代医学の目標である。そのように表明されてはいないが、暗黙の了解が存在している」。永遠の命という課題は、これまで長い間、宗教の領域に属していた。

医学は、苦しみを和らげることを目指している。これは、確かに崇高な目標である。しかし宗教の世界では、この目標を他のすべての価値に優先させるのは誤りだと考えられている。カスは次のように語る。「医学の進歩

nature

とともに、死を克服しようという医学関係者の活動をま
さに支えるような新たな倫理観が生まれた。すなわち、
命が助かるのならば、病気が治るのならば、あるいは死
を避けられるのであれば、何をしても許されるという見
方だ」。ほとんどの宗教宗派は、苦痛と死が不可避であ
ることを受け入れ、単なる延命ではなく、命に意味合い
を与えることを目指している。

また、宗教と科学は互いに異なる方法や基準を持つ。
「ヒト胚研究を推進する人々は、科学的に妥当と思われ
る研究はすべて同時に推進すべきだと主張する。科学的
観点からすれば、この考え方が一番正しい。科学の世界
では、不確定性が認められれば、必要とされる研究をす
べて行って必要な知識と理解を得ようとする。ただし、
科学にとってベストなことが、社会やその社会を構成す
る人々にとってベストであるとは限らない」。こう記し
ているのは、ジョージタウン大学（米国）で分子生物学
を研究するイエズス会の司祭 Kevin FitzGerald だ。

FitzGerald の研究では、倫理上許されないと判断し
た実験を避けるようにしている。これに対して、医学の
進歩がもたらされようとしている時に、もし一部の人が
が倫理性の問題を口にすれば、社会全体としての進歩も

否定されなければならないのか、と考える人もいる。こ
れが大きな問題となるのは、*Nature* 2004 年 12 月 9 号
p.666 の news feature にあるように、この倫理観が一
部の神学者によって従来以上にあまりにも強い信念をも
って主張される場合だ。たとえば、カトリック教徒のす
べてが、ヒト胚の位置付けに関するローマ教皇庁の見解
によって胚性幹細胞研究は否定されるべきだと考えてい
るわけではないのだ。

このような論争では、テレビ宣教師やバイオテクノロ
ジー業界のロビイストによるレトリックがあふれており、
お互いに相手をく神を恐れぬフランケンシュタイン>、
<無知な熱狂的キリスト教原理主義者>と風刺してい
る。しかし生命倫理に関する大統領諮問委員会における
数々の証言を調べてみると、高い志に基づいた誠実な議
論がきちんと展開されていることに気がつく。

世俗の科学者（おそらく多数派を形成すると思われる）
は、この世の中、人間の苦痛、そして人間の死に意味付
けができるのは神のみだと考える人々の影響力や権利を
過小評価すべきではない。 ■

癌の拡大

Cancer spreads

癌は複雑な病気である。治療法や治療薬を見つけるのは難しいが、その複雑さを解明し、活用することで将来の展望が開けそうだ。Insight 特集では、癌研究という急速に進歩しつつある分野を紹介する。

Review Articles では細胞分裂と癌を取りあげ、癌細胞が無限に増殖する仕組みや増殖に影響するゲノム因子、環境因子についてなど、癌細胞をよりよく知ることがより効果的な治療につながることを論じている。このような理解をもたらす恩恵をよく示す例が、いわゆる「魔法の弾丸」、すなわち特定の分子標的を攻撃するように設計された薬剤で、それについては Introduction で扱う。これらの他にも、体に備わっている癌抑制機構や、癌は幹細胞に似た性質をもつ細胞が引き起こす病気だという見方について、また治療の効果が副作用を予測するうえで DNA 損傷（例えば日光によるものなど）に対する細胞応答がいかに重要かを述べた論文などを掲載する。

18 November 2004 Vol.432/Issue 7015

insight p.293 参照

走らざるにはられない

Born to run

マラソンに対する昨今の熱狂ぶりは、200 万年にわたって受けてきた強力な選択の名残なのかもしれない。ヒトの歩行の進化に関する研究では、長年にわたって二足歩行に焦点が当てられてきた。ヒトは足が遅くて走るのに向いていないと考えられたため、走行についてはほとんど無視されてきたのである。だが今回、D Bramble と D Lieberman は比較生理学や運動能力、解剖学のデータに基づいて、我々人類が実際には比類ない適応をとげた持久走者であることを示している。この能力は一連の構造的な（多くは骨格上の）特殊化から生じたものであり、化石記録からみてヒト属は持久走能を持つべく強い選択を受けたと考えられる。そうだとすると、アウストラロピテクスがどんな歩き方をしていたかはともかく、もし我々が彼らと違う歩き方をしているなら、それは我々が「走る」からなのかもしれない。表紙



は、19 世紀に連続写真を撮って疾走する馬の足の運びを調べた Muybridge にならって、J Libby、M Baissac、D Lieberman が作製した図。

18 November 2004 Vol.432/Issue 7015

review article p. 345 参照

壊れた心臓を修理する

Mending a broken heart

心筋細胞を守り、生存を助けられる分子が同定され、これを投与することで心臓発作による損傷の治療ができる見込みが出てきた。心臓はふつう損傷しても自己修復できないが、ある程度は回復力があるのではないかと考えられている。D Srivastava たちは、発生中の胚の心臓でチモシン β 4 と呼ばれるペプチドが活性をもち、細胞の移動と生存に重要な役割を果たしていることを明らかにした。さらにこのペプチドは、成体の培養心筋細胞の生存も助けることがわかった。

心臓発作後にチモシン β 4 を投与したマウスでは、偽薬投与マウスに比べ、心臓組織の生存量が多く、心筋の収縮能力や血液の拍出能力も勝っていた。心臓発作後にこの分子を使えば、現在研究者たちが有望視している実験の治療、すなわち幹細胞を単離して心臓に導入する方法よりも優れた方法になる可能性がある。「この報告は、心不全の主要な原因の治療法に結びつく興味深い手がかりを与えてくれる」と、M Schneider は News and Views で述べている。

25 November 2004 Vol.432/Issue 7016

articles p.466, N&V p.451 参照

光の量子メモリー

A quantum memory for light

微弱なレーザーパルスが運ぶ量子情報が原子気体中にトラップされたことが今週号で報告されている。この実験は将来、コンピューティングシステムに使う「量子メモリー」の基本原則となるかもしれない。量子コンピューターは従来型のデスクトップより非常に高速になると考えられている。それは、量子コンピューターが同時に「オン」にも「オフ」にもなれる「キュービット」で情報を処理できるからだ。その結果、理論的には、量子コンピューターは大量の計算を同時に行うことが可能になる。

E Polzik たちは、セシウム原子の希薄な気

体中に短いレーザーパルス光を導き、原子中にトラップされた量子情報が最初のパルスから 4 ミリ秒後まで検出できることを見出した。「このスキームは、重厚長大な技術ではなく賢明なアイデアに基づいたむしろ簡単な要素に基づいており、そのため実際のデバイスに応用できるだろう」と J-M Raimond が News and Views で述べている。

25 November 2004 Vol.432/Issue 7016

letters p.482, N&V p.453 参照

核の暗雲がたちこめる

Under a cloud

今週の特集記事 (nature.com のオンライン特集にリンク) は、核兵器拡散問題が表面化しつつあることと、専門家たち（大半は元物理学者である）がこの問題にどのように対処すべきだと考えているかを中心としている。Commentary では、サンディア国立研究所の所長である C P Robinson が、50 年以上も前に米国の政治家 B Baruch が提案した核の脅威に対する解決策について再検討している。Baruch の考えには今日でも利点が認められると Robinson は論評している。表紙は、1946 年 7 月 1 日太平洋マーシャル群島のビキニ環礁で行われた原爆実験（コード名 Able Day）の写真で、爆心から数マイル離れた島に設置された自動カメラで撮影され、後日手描きで着色されたもの。(Science Photo Library 提供)



25 November 2004 Vol.432/Issue 7016

editorial p.421, News Features p.432,

Commentary p.441 参照

透明エレクトロニクス用の新しい材料

New material for transparent electronics

薄くて透明な電子デバイスはフレキシブルなディスプレイやウェアラブルコンピューターへの応用が期待できるが、現在これらのデバイスを作製するのに使われている材料では日常の使用に十分応えるだけの性能を發揮できない。

今週号では、細野秀雄たちが、この問題を解決する可能性のある In-Ga-Zn-O 系の新しい透明な半導体について報告している。この材料は室温でポリマーシートに薄い膜を作るこ

※「今週号」とは当該号を示します。

とができ、今までの水素化シリコン薄膜よりもっと効率よいトランジスタを作製できる。

25 November 2004 Vol.432/Issue 7016
letters 488, N&V 450 参照

酷暑の原因は人間にあった？

Heatwave risk man-made

2003年夏にヨーロッパを襲ったような地域的な熱波の発生リスクは、人間活動が及ぼす影響で少なくとも2倍大きくなったとP Stottたちが報告している。

2003年の夏は、西暦1500年以降のヨーロッパで最も暑い夏だったと考えられている。フランス、ドイツ、イタリアでは、例年の夏に予想されるより多くの死者が出たと報告された。しかし、この熱波の原因は人間が気候に与えた影響にあったのだろうか。気候モデルを、温暖化ガスを計算に入れた場合とそうでない場合で統計的に評価した結果、この年のような地域的な夏季の熱波が発生するリスクは、過去の人間活動の影響を受けて少なくとも2倍は高くなっているようだという結論が得られた。さらにStottたちの最良の推定値では、この値は4倍に跳ね上がる。

「今回のような緻密な研究は、地球温暖化対策をめぐる国際交渉の行く末に大きな影響を及ぼすだろう」と、C SchärとG JendritzkyがNews and Viewsで述べている。また、Stottの共同研究者の一人であるM Allenと環境法の専門家R Lordは、気候に悪影響をもたらした法律上の責任の所在についてCommentaryで論じている。

2 December 2004 Vol.432/Issue 7017

letters p.610, N&V p.559, commentary p.551 参照

膜輸送の重要な成分

Key player in membrane traffic

タンパク質クラスリンの被覆を持つ小胞は、細胞内の膜で囲まれた小区画間でタンパク質や脂質を輸送する。クラスリン分子は自己集合して閉じた籠状の被覆を作り、輸送する分子は小胞内に取り込まれる。小胞が形成されると、この被覆構造はすみやかに解体される。低温電子顕微鏡を使った多角的な解析により、今回クラスリン格子の高分解能のモデルが得られた。このモデルから、輸送小胞の自己集合に重要な分子相互作用が明らかになった。9個のクラスリンタンパク質が各多角形の頂点で連結して、全体で36のクラスリン・

トリスケリオン（三脚型構造）を含むバレル様の格子を形成する。表紙は、クラスリンのアルファ炭素のトレースと、被覆解体過程で必要とされる調節タンパク質auxilinの電子密度図である。

2 December 2004

Vol.432/Issue 7017

article p.573, letters p.

649, N&V p. 568 参照



翼竜のオムレツ

A pterosaur omelette

すでに絶滅した空を飛び爬虫類、翼竜の卵の化石がBrief Communicationsで2つ紹介されている。2つの卵はまるで違っており、翼竜の多様性がうかがえる。

LM Chiappeたちが報告した1つ目の卵はアルゼンチンで出土し、およそ1億年前にフラミンゴに似た翼竜の一種のプテロダウストロガ産んだものである。卵の中に胚の化石も保存されているので、身元を探る手がかりが得られる。化石に残る固い方解石の卵の殻は、トカゲの卵には似ておらず、鳥類や恐竜の卵を思わせる。一方Q Jiたちが報告したもう1つの卵は、化石産出で有名な中国の義鳳層で出土したおよそ1億2,100万年前のものである。この卵の殻はアルゼンチン産の卵と違って柔らかく革のようで、現生爬虫類で広く見られる殻に似ている。翼竜の卵は、今年初めに中国で見つかるまで(Nature 429, 621; 2004 参照)知られていなかった。翼竜は爬虫類の一群で、恐竜や鳥類の遠い親戚にあたる。

2 December 2004 Vol.432/Issue 7017

brief communications p.571, 572 参照

ニワトリゲノム解読

Cracking the code

家禽であるニワトリ類すべての祖先にあたるセキショクヤケイ(Gallus gallus)のゲノム概要配列が発表された。鳥類のゲノム解読は初めてであり、すでにゲノム配列が解読されている哺乳類と他の生物種(線虫、ハエ、魚類)の間の進化上のギャップを橋渡しするものとなる。鳥類は恐竜の現在に残る子孫とみなされており、そのゲノムは過去について多くを語ってくれる。このゲノムに含まれる多くの非コード配列は、ヒトにまでよく保存されているが、機能はわかっていない。1つ

意外だったのは、ニワトリには匂いの感覚があるらしいことだ。既知の嗅覚受容体遺伝子に似た遺伝子が200個以上見つかったのである。また今回、家禽であるニワトリとその祖先にあたるセキショクヤケイとを比較した遺伝的変動地図とゲノムの物理地図も同時に発表された。

9 December 2004

Vol.432/Issue 7018

articles p.695, 717, letters,

p.761, N&V p.679 参照



「化合物の宇宙」は最後のフロンティア

Chemical space... the final frontier

あらゆる小型有機分子を包含する「化合物の宇宙」は非常に広大であり、無限と考えてもいいかもしれない。今週号のInsight特集では、この「化合物の宇宙」のどこに研究の力点を置くべきか、また有用な生物学的活性をもつ分子を探すにはこの「宇宙空間」のどの領域を探検すべきなのかを考える。

これまでに行われてきた「化合物の宇宙」の探索は限られたものだったが、それでも生物学の理解を大きく進展させ、現在使われている多くの薬の開発に結びついた。生物活性をもつ新たな分子の発見からはさらに多くのものが得られそうだが、このような分子の発見の助けになるのは、この宇宙の中で生物学的に関連がある化合物を含む領域に関する理解の進展であろう。今回のInsight特集の6つの論文は、「化合物の宇宙」の探検、天然分子から学べることの考察、膨大な化合物ライブラリーのスクリーニングへのコンピューター利用について論じ、さらにこの広大な化合物の宇宙を探る旅が生物学や医学にどのような利益をもたらすかを考える。

これらの論文は、Nature Publishing GroupとAventis社が共同で開催するユニークな討論会シリーズの第4回、Horizon Symposium on Charting Chemical Space: Finding New Tools to Explore Biology(「化合物の宇宙」の航路図を描く境界領域シンポジウム:生物学探求の新たな手段を求めて)に関連するものである。

16 December 2004 Vol.432/Issue 7019

insight p.823 参照



The carbon game

巨大な「炭素市場」が動き出す

Nature Vol.432(268-270)/18 November 2004

二酸化炭素などの温室効果ガスを企業が排出することを認める、排出権の売買がすでに始まっている。温室効果ガスを吸収するように計画されたプロジェクトで利益を得る企業も現れている。こうした排出権取引市場が活況を呈すれば、二酸化炭素の排出量を本当に減らすことができるのだろうか。Michael Hopkin が報告する。

2004年夏、日本とカナダの電力会社のグループが、豚のふんに並々ならぬ関心を寄せた。電力会社と、南米・チリで最大の豚肉生産業者が行った数百万ドル(数億円)規模の画期的な取引。その中心となるのが豚のふんだったのだ。この取引の結果、電力会社はより多くの温室効果ガスを排出することが可能になった。豚飼育場側は、ふんに覆いをする事で、ふんから出るメタンガス(強力な温室効果ガス)をつかまえ、持続可能なエネルギーとして燃やすことを約束。そうして電力会社は、豚飼育場から地球を半周離れた発電所で、より多くの二酸化炭素を排出できる権利を買ったのだ。

この取引は2004年8月にサインされた。この種の取引の中でもスケールが大きなものだった。しかし、全くはじめてだったわけではない。温室効果ガス排出権の売買は1990年代半ばからすでに行われてきた。温室効果ガス

の削減を目指す国際協定である京都議定書はその目標達成のため、二酸化炭素排出権を企業が売買することを認めた。排出権売買の話が京都議定書が発効していない段階で出てくるのは、奇妙に聞こえるかもしれない。しかしロシアが最近、京都議定書を批准したことで議定書の発効はまもなくという状況のなか(Nature 431, 1030; 2004を参照)、排出権市場ではすでに活発な取引が行われている。

排出権の取引市場は、その開始以来、ゆっくりと成長してきた(10ページのグラフを参照)。そして今、少数の専門ブローカーの仲介のもと、爆発的に増加しようとしている。2004年末までに、二酸化炭素排出権取引の総量は2003年の2倍になると予想されている。しかし、排出権取引が本当に広がるのは2005年だろう。欧州連合(EU)は、2005年1月に「排出権取引制度」(ETS)をスタートさせ

る。この制度には、EU加盟25カ国の約12,700の企業が参加する。ノルウェーのオスロにあるコンサルタント会社、ポイントカーボン社のアナリストHenrik Hasselknippeによると、この欧州市場の取引額は、2007年までに年間100億ユーロ(約1兆4000億円)に達する見込みだという。

排出量を割り当て

ETSでの排出上限は「国内割り当て計画」で決められる。これはEU加盟各国が提出する計画案で、現在、欧州委員会でも個別に承認されている。EU加盟国がその計画に承認を得ると、当該国政府は割り当て量を電力会社、鉱山会社、セメントメーカー、製紙会社などの産業設備に振り分け、国際的に取引できる排出権を分配する。各国政府は、これらの設備について、主に投入される原料やエネルギーの量にもとづいて排出量を監視し、登録取引情報とともに

ババ抜き：排出権取引というゲームが成功するためには輸送業からの排出を含める必要があると、現行制度に批判的な者は主張している。

に数字を記録していく。二酸化炭素が上限を超えて排出されると、企業は1トンあたり40ユーロ（約5,600円）の罰金を払うことになる。この罰金は2008年以降、1トンあたり100ユーロ（約14,000円）に引き上げられる。

企業は、京都議定書の目標達成を目指して作られた制度（ETSや、カナダおよびノルウェーでまもなく登場するシステム）を利用するほか、排出権を独自に売り出すことも行っている。これには、企業が一定の社会的責任を株主に示す目的もある。国内で公的に割り当てられた二酸化炭素排出権を持たない場合でも、企業は代わりに豚飼育場との取引などの計画を売りに出す。米国やオーストラリアなど、京都議定書を批准していない国でさえも取引は行われている。さらに、温室効果ガスの排出を削減するためというよりも、運用目的で市場を利用するとみられるデイ・トレーダー（個人投資家）たちも、まもなくこの市場に参入してくるだろう。

ほとんどの人の排出権取引に関する認識は、経済的に必要な、さらに環境にもよいのかもしれないもの、といったところだ。企業にとって排出権を商品に変えることは、法的に実施する必要があるからという以上に、企業活動をクリーンにするための、財政面での動機となる。米国で1990年代に自発的に設立された小さな市場は、排出量の削減が金銭に換算できるようにすると排出量は減ることを証明したかのように思われる。しかし、取引を世界的にみると、単に排出源が移動しているだけで、排出の総量が減るかどうかは懐疑的だとする研究者や政治家もいる。彼らは、国内の排出量割り当てを決める交渉は寛大すぎたのではないかと指摘する。また、排出権の価格はあまりに安く、排出権を生み出すとされるプロジェクトが将来にわたって確実に排出量を削減するかどうかの保障はないという。

米国での成功

排出権市場のアイデアが京都議定書に盛り込まれたのは、主に米国の圧力のためだった。にもかかわらず、米国は2001年に議定書から離脱した。当時は、企業が必要なときに余分に排出権を買うことが許されないかぎり、多くの国は長期の排出量削減には同意できないだろうと考えられていた。排出権取引制度があれば、排出コストの重荷を負担すべきところに分散させることができるだろう。このやり方は、別の問題、特に二酸化硫黄（亜硫酸ガス）排出量の削減に関してうまくいくと米国で実証され、市場が環境ルールを順守させる力を持つ証しと広くみなされた。

この米国の制度は「酸性雨プログラム」といい、1990年の米国の大気浄化法の強化に応じて、石炭発電所からの二酸化硫黄の排出を減らす原動力となった。このプログラムは、「キャップ・アンド・トレード」（上限と取引）という方針にもとづいて二酸化硫黄排出の削減を進めた。排出量が多い、260を超える発電所に排出量の上限が割り当てられた。上限を超えざるをえない発電所は、よりクリーンで排出量の少ない発電所から追加の排出権を買わなければならなかった。米国のすべての石炭発電所に排出権取引市場が開放された2000年までに、二酸化硫黄の全国的な排出量は、1980年代後半の年間およそ1600万トンから1100万トンにまで減少した¹。

欧州の排出権取引制度（ETS）では、ヨーロッパの二酸化炭素排出量削減が同様の手法で試されようとしている。しかし、ETSには排出量を毎年約1%ずつ減らそうと努力している25カ国が参加する。一国の一産業分野だけでの取引だった米国の計画よりも、ずっと難しい計画だ。米国のシンクタンク「ピュー・センター・オン・グローバル・クライメイト・チェンジ」（バージニア州アーリントン）の経済学者で気候研究

者のNeil Strachanは「これだけの規模での排出権取引を行った経験はだれにもない」と話す。

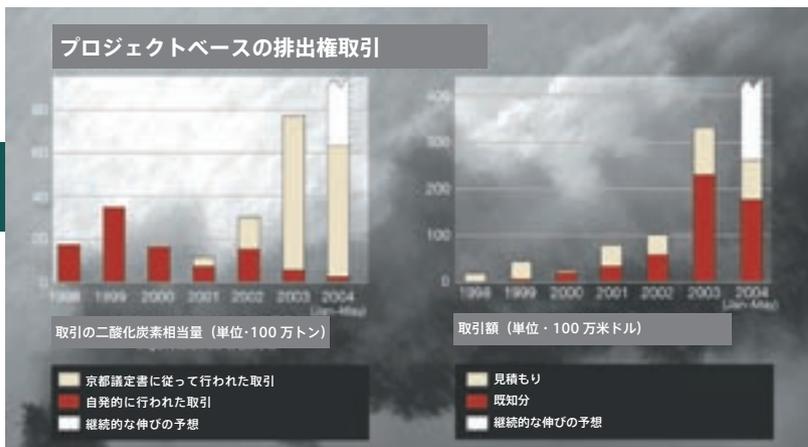
この問題の行方を見守っている人たちは、ETSが成功することを強く望んでいる。排出量削減の手段となるだけでなく、地球温暖化問題への取り組みにおける欧州の伝統的な指導力の証しともなるからだ。もし、ETSがうまくいけば、2008年には義務を果たし始めなければならない残りの京都議定書批准国に先例を示すことになる。

ETSにおける取引のほとんどは、メンバー間での排出権の直接の売買か、「クリーン開発メカニズム」への投資かのどちらかになる。クリーン開発メカニズムは国連の制度で、発展途上国での環境にやさしい産業の成長を促進するためのものである。

クリーン開発メカニズムはすでに、いくつかの革新的なアイデアを生み出している。チリの豚もその一例だ。このほか、少数の計画が国連の厳格な検証プロセスを通過した。この検証プロセスでは、事業者が約束する二酸化炭素排出権が確実に生み出されるものかをチェックする。検証プロセスを通過したプランには、化学冷媒製造の副産物として生じる温室効果ガス、HFC-23を破壊するものや、ゴミ埋め立て地から発生するガスをエネルギーに変えるものなどが含まれている。しかし、この手の話の引き合いに出されることが多い、ユーカリなどの成長の速い木を植林して森を作り、二酸化炭素を吸収するという計画で承認を得たものはまだない。計画をチェックする側は、この種の計画が確実なものであるとはまだ考えていないのだ。

二酸化炭素の排出量を制限するのではなく、二酸化炭素を取り除いてしまおうというような現状のクリーン開発メカニズムプロジェクトの効果の保証は困難だという批判がある。今のところ、そのようなプロジェクトによ

成長産業：企業がより多くの二酸化炭素を排出する権利を得る、排出権の取引は着実に増加している。取引は2004年末までには2003年の倍になると予想されている。



SOURCE: REF2

る二酸化炭素レベルの変化を予測したり、変化が実際に起こったことを確かめたりする正確な方法が存在しない。たとえそういった方法があったとして、また別の問題は残ってしまうだろう。ダートマス大学（米国ニューハンプシャー州ハノーバー）の環境科学者 Michael Dorsey は「ユーカリの森を植えた後に、政権が変わって森を伐採し、リゾート地を建設したらどうするのか。植林計画と引き換えに建設した米国の発電所を壊すのか」と問いかける。排出権の問題だけでなく、二酸化炭素排出量の超過を指摘する仕組み、そして規則に従わないものを罰する効果的な方法がなくては、排出量を確実に減らすことはほぼ不可能だと Dorsey は主張する。

課題は山積み

クリーン開発メカニズムそのものが、欧米の産業の発展を持続させる一方、発展途上国には一時しのぎの解決策をもたらすだけだという批判もある。プロジェクトは発展途上国にいくらかの産業と金をもたらすかもしれないが、利益を得るのは一部の人間だ。現在、排出量削減の3分の2以上が、わずか5カ国によってもたらされている。インド、ブラジル、チリ、ルーマニア、インドネシアである²。アフリカ諸国のほとんどでは、まだ取引が行われていない。そして、ロシアが登場すれば（それはまもなくと予想されている）、その排出割当量で巨額の金を稼ぎ、市場の相当部分を占めることになるはずだ。

ロシアはばく大な量の排出権を手

しそうだ。京都議定書の削減目標は、基準年である1990年の排出量にもとづいているからである。当時、旧共産主義体制の重工業は、まだ多量の二酸化炭素を吐き出していた。1991年のソビエト連邦崩壊後、ロシアはこうした工場を閉鎖した。その結果、割り当てられた排出量に余剰が生じ、今度はそれを転売できるようになっている。排出権取引に批判的な者は、もし、ロシアがすべての排出権を売り払ったら、事実上、だれかがこうした旧式の発電所をふたたびフル稼働させたのと同じだけの二酸化炭素が排出されてしまうことになる」と指摘する。それでも事態は14年前よりはましだろうが、短期的には排出量削減にとってマイナスとなるだろう。

さらなる懸念は、京都議定書で規制が免除された産業から見込まれる排出量かもしれない。こうした産業分野は、排出量の削減に寄与するとして設立された排出権市場からも除外された。たとえば、車や航空機からの排出は国内割り当てに含まれていない。「排出権取引のシステムは、EUの総排出量の約50%しかカバーしていない。輸送などのほかの分野はまだ成長を続けている」と Hasselknippe は指摘する。

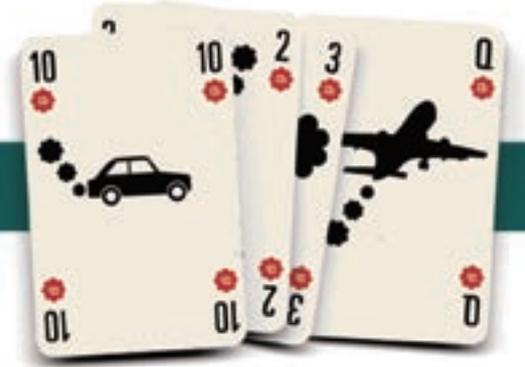
気候取引所

こうした批判にもかかわらず、排出権取引市場の支持者と環境保護論者たちは、排出権取引は問題解決への唯一の現実的な方法だと感じている。二酸化炭素の削減に、排出権取引がうまく機能したことがその大きな理由だ。二酸

化硫黄の排出権市場も、当初数年間は同じような批判に直面した。二酸化硫黄排出権取引のプロジェクトに加わった「シカゴ気候取引所」(CCX)の最高経営責任者、Richard Sandor は「二酸化硫黄の取引を始めたとき、私たちは『スモッグ商人』や『ゴミ商人』とののしられた。(環境保護団体の)グリーンピースに監視されさせられた。しかし、この取引のおかげで人命が守られた」と振り返る。「酸性雨プログラム」により米国経済は12億ドル(約1,250億円)のコストを負担したものの、酸性雨の削減によって肺疾患の治療費が270億ドル(約2兆8,000億円)減少した、と Sandor は言う。

Sandor は今、世界中の排出権を扱う単一市場を目標にしつつ、ETS参加企業間の取引を仲介する「欧州気候取引所」をスタートさせた。これも Sandor が監督する、シカゴ証券取引所運営の自発的な二酸化炭素取引制度の成功に続くというものだ。この米国市場には現在、フォード、IBM、デュポン、ロールスロイスなど、電力、製造業、林業、農業の各分野から選ばれた約75社が参加している。これらの企業をあわせた排出量は、英国全体よりも多い。参加企業は、毎年1%ずつ排出量を減らす契約にサインした。しかし、Sandorによると2003年12月の取引開始以降、参加企業の総排出量は9%減少したという。これは、排出権市場が環境に有利に機能する証拠だと、排出権市場の支持者は話す。

これらの米国企業の動機は、京都議定書に伴う市場参入企業の動機とは大



大きく異なっている。排出量の多い企業の一部は、現在タバコ産業に対して起こされているような訴訟を避けるために、何らかの行動を起こしたいのかもしれない、と Sandor は言う。環境にやさしい産業に投資して、もうけたい企業もあるだろう。これから出てくるのかもしれない法律制定にあらかじめ対応しておいたり、既存の環境ルールに対応したい企業もあるだろう。たとえばオレゴン州では、発電所は二酸化炭素排出量をもっとも効率的な複合サイクル発電所の排出量より 17% 減らす義務があり、さもなければ超過分について 1 トンあたり 0.85 ドルを支払わなければならない²。

シカゴでの自発的な制度での規制は、企業が目標とする削減レベルをコンサルタント会社が決定したものであったが、欧州の政府がトップダウン式に言い渡した ETS での規制と驚くほど近く、両者とも毎年 1% の削減という目標だった。これは関係者を勇気づけた。企業の自己見積もりが政府による規制と食い違わないならば、たとえ排出権取引市場への各国の意気込みがまちまちだとしても、世界規模での市場開設の可能性は現実的だ、と多くの者が主張する。

世界市場が設立されれば、理想的には自動調節が起きてくるはずだ。政府に強制された規制を真剣に守るほど排出権の価格は高くなり、一部の企業は排出権供給に向けてさらに懸命に努力するだろう。

今のところ、ヨーロッパでの二酸化炭素 1 トンの排出権の価格は、クリーン開発メカニズムへの投資では 4 ユーロ (約 560 円) から 5 ユーロ、別の

市場参加企業との排出権取引では 8 ユーロ (約 1,120 円) から 9 ユーロである。市場の動向に注目している人たちは、これらの価格はとても低いと言う。つまり、いくつかの国内割り当てプランによって多くの欧州企業に比較的寛大な上限が与えられた結果、市場参加企業との取引での価格は 2004 年 2 月時点よりもわずかに低い。しかし、チリの豚飼育場の取引を仲介したロンドンの co2e.com 社の Reena Qureshi は、「いったん市場が動き始めたら、どんな価格もありえる。価格は、利率にも、価格が動くだろうと予想する一部のアナリストの言葉にも、イラク戦争のような政治的危機にも反応するだろう」と話す。天候さえも市場を動かすかもしれない。2003 年夏のような焼けつくような熱波が来たら、電力の使用量は急上昇する。これは、電力会社がより多くの排出権を買う必要が生じる可能性を意味する。

投機の対象に

公式にスタートすれば、欧州の市場は安易に金もうけを目論む個人デイ・トレーダーにも開かれるだろう。また、デイ・トレーダーの関心を引くことは期待されてもいる。世界中の二酸化炭素排出の状況は、突然、パソコンの前に座って株取引をしている人たちの強い関心的になるだろう。そうなれば、この市場は少なくとも地球温暖化の意識向上の一助にはなる。

一部の評論家は、排出権がどのような価格で取引されたとしても、二酸化炭素排出にかかる本当のコストに比べると常に安すぎることになるだろう。コンサルタント会社「プライスウォー

ターハウスクーパーズ」のロンドンのアナリスト、Melissa Carrington は「排出権取引価格を社会的コストと一致させる仕組みはない」と話す。ETS 参加企業の場合、罰金は 1 トンあたり 40 ユーロだが、この罰金が市場価格に上限を設けることになるだろう。この価格はあまりに低いとみる者が多い。英国政府が行ったある研究では、気候変動が社会におよぼす総コスト (洪水、極端な天候、健康問題などによる) を、二酸化炭素排出量 1 トンあたり約 100 ユーロと見積もっている³。

それでも排出権売買制度の支持者は、排出権市場は企業を排出量削減へと誘導するための経済的に実行可能な方策だと指摘する。排出権取引が盛り込まれなければ、京都議定書は採択されなかっただろう。実際には排出権取引が導入された結果、企業は排出量の削減がお金に等しいことを悟り、市場は企業をよい方向に導く。これは、たとえば電力会社が排出量を管理したり、豚飼育場がふんをリサイクルしたりすることを促す。そして、それは間違いなくよいことだ。 ■

Michael Hopkin は、ロンドンの news@nature.com 記者。

1. Ellerman, A. D., Joskow, P. L. & Harrison, D. Emissions Trading in the US: Experience, Lessons and Considerations for Greenhouse Gases (Pew Center on Global Climate Change, Arlington, VA, 2003).
2. Lecocq, F. State and Trends of the Carbon Market 2004 (Carbon Finance at the World Bank, Washington DC, 2004).
3. Clarkson, R. & Deyes, K. Estimating the Social Cost of Carbon Emissions Government Economic Service Working Paper 140 (HM Treasury, London, 2002).

2005年、 科学界の 願いごと All I want for 2005 is...

Nature Vol.432(942-948)/23/30 December 2004



「アメリカへ外国から自由に入国できるようにしたい」

David Baltimore

カリフォルニア工科大学学長

昨年、複数の学生や研究者、そして少なくともノーベル賞受賞者一人が米国入国の際に厄介な目にあっている。これは2001年9月11日のテロ攻撃以来厳しくなった入国管理規則のせいだ。半導体の研究で2000年のノーベル物理学賞を受賞した Zhores Alferov は昨年9月、ロシアの在サンクトペテルブルグ米国領事館で自分の研究の性質についてしつこく尋問されて激怒し、ビザをもらわずに領事館から飛び出した。

2004年は戦争や病気のニュースが他を圧して多く、またバイオテクノロジーや核開発の増大におびえた年でもあった。ただ、科学界についていえば、まったくなんの進展も希望もない年だったわけではない。ラットゲノムの解読から今まで知られていなかった小型のヒト属の発見まで、今年も自然の本質の追及が続けられ、好奇心をそそる結果が生ま出された。また問題を真剣に受け取らない政治家たちにイライラさせられてきた科学者たちも、ロシアが京都議定書の批准を決めたことで少しは慰められたかもしれない。今回は、そんな2004年の科学界を沸かせたいいくつかの出来事について特集する。

また Nature では科学者たちに、次にしようと考えていることについて質問した。どんな制約もないとしたら、2005年にしたいことは何かというわけである。この news feature 特集では、Nature のリポーターがあらゆる分野の研究者や政治家に取材したその回答と、そうした願いは何かヒントになって生まれたのか、それについてもまとめて掲載する。HIV やマラリアに有効な治療法の開発から、宇宙のどこかよその場所に存在するかもしれない生命の探索、また政治やお役所仕事の口出しを受けることなく研究を行うのに必要な能力まで、この科学界の願い事リストは、洞察に富んだ、そして元気が出てくる前向きな未来像をうかがわせてくれる。

9.11 事件の直後に厳しい制限が導入された時からみると、状況はいくらか改善されている。今ではバックグラウンド・チェックのほとんどが30日以内に完了するが、これは以前かかっていた時間のほぼ半分であるし、一度済ませればその後一年間は有効なので、米国で働く外国人研究者が休日や家族の事情などで一時帰国するのは楽になった。しかし、こうした改善がなされても、それが外国人に米国の研究機関を敬遠するのをやめさせるのに充分なのかどうかはまだわからない。昨年、よくない前触れが認められた。過去30年間あまりで初めて、米国内に在籍する留学生の数が減少したのである。

この傾向を、Baltimore は非常に気がかりなものだと見なしている。研究においてヨーロッパやアジアの競争力が上昇する中で、米国はもはや一頭地を抜く存在ではないと彼は考えており、その原因の1つが、研究のための米国への入国が以前よりずっと難しくなったことだと論じている。

一方で、他の国々は米国の厳重な新規規を最大限に活用している。オース

トラリアの大学に在籍する科学専攻の外国人学生数は2001年以来32%も急上昇した。アジアの学生は英国にも大勢が移動しているようで、例えばケンブリッジ大学では中国からの学生が急増している。その一方で中国は、インドネシアなどの近隣諸国の学生を記録的な数で受け入れつつある。

「本当に効果があって、しかも充分安価でアフリカの子供たちにも接種できるマラリアワクチン」

Gustav Nossal

免疫学研究者、

メルボルン大学（オーストラリア）

RTS、S/AS02A と呼ばれている試験中のワクチンは、かなりの子供たちをマラリアから守る効果があることが昨年明らかになった。これはマラリアワクチンの研究で初めて得られた実際的な成功といえる。完全な防御性を持ち、しかも接種が手頃な価格でできるようにするには、さらに研究を行わなくてはならない。ともあれ、現在はさらに詳しい臨床試験が進行中である。

「プラズマ燃焼実験を行える場所が世界で1つ、じゃなくて2つできたらもっとうれしい」

Gerald Naviatil

プラズマ物理学研究者、
コロンビア大学（ニューヨーク）
プラズマ物理学の研究者にとって、2004年は国際熱核融合実験炉（ITER）をどこに建造するかという議論に明け暮れた年だった。ITERは水素原子の核融合からのエネルギー生産を目標とする国際的な実験炉である。ITER関連分野の研究者たちは、このプロジェクトの推進を望む点では一致している。しかし、ロシア、中国、韓国、日本、米国の5カ国にEUという国際チームのメンバーは、フランスと日本のどちらに実験炉を設置すべきかという問題で行き詰まり状態にある。

こうした手詰まり状態に業を煮やしたヨーロッパのメンバーは、必要なら彼らだけで計画を遂行しようとした。もしそれが、ヨーロッパと日本のコンソーシアムがそれぞれ1つずつ実験炉を建造するという意味ならば、「一向にかまわない」とNaviatilは笑い飛ばし、「言うまでもないが、ITERを少なくとも1つは持ちたいんだから」と言っている。でも、ITERが2つあればもっといいというわけだ。しかし、もしこ

の願いがほんとうに実現したりすれば、周りの人々はびっくりして腰を抜かすかもしれない。

「地核構造プレートのとんでもない再配列、あるいは立法による独創的な境界改定でもいいけど、とにかくそんなようなことが起こって、サンアンドレアス断層線の端っこがちょうどマサチューセッツ州ボストンの西あたりに来るようになってほしい」

George Daley

幹細胞研究者、ハーバード大学
米国東海岸の幹細胞研究者たちがヒト胚性幹細胞の研究に必要としている資金を手に入れるには、大地震による地殻変動ぐらいの大騒ぎが起こらないと無理なようだ。

このような研究のための連邦準備銀行準備金は、20余りの細胞系列に限られたままである。しかし、ジョージ・W・ブッシュが大統領に再選されたその日に、カリフォルニア州で行われた住民投票では州準備金からこの領域の研究に30億ドルを拠出するという州民発案が可決されて、遠く東海岸に住む多数の胚性幹細胞研究者はねたみの炎に身を焦がさんばかりになった。

カリフォルニア州外の研究者でも「望みなきにしもあらず」で
「政治的大混乱の中で苦しんでいる地域の科学者たちに静穏と安全、思想の自由が与えられんことを願う」
— Radwan Barakat
植物学者、ヘブロン大学（パレスチナ自治区）
カリフォルニア州外の研究者でも「望みなきにしもあらず」で
「政治的大混乱の中で苦しんでいる地域の科学者たちに静穏と安全、思想の自由が与えられんことを願う」
— Radwan Barakat
植物学者、ヘブロン大学（パレスチナ自治区）
研究所を設立することを発表した。その3ヶ月後、ニュージャージー州知事が幹細胞研究に950万ドルを拠出するという法案にサインしたのである。

今や、事態は保守的な連邦政府と公的資金を胚性幹細胞研究に使うという州の間の法規上の戦いに移りつつある。「治療目的でのクローン胚作製」、つまり患者のクローン胚由来の遺伝物質を使って移植用に使える新しい細胞を作るといった研究を禁じる法律は2001年以来棚上げにされてきたが、

上院の共和党議員の数が新たに増えて過半数となったことで2005年には可決されるかもしれない。たとえこの議案が承認されなくとも、幹細胞研究への制限が関係のない法案に追加されることだってある。そして、幹細胞研究を支持する側が政治的な力をかき集めるのに失敗でもすれば、最終的には法制化されてしまいかねないのだ。

「何らかの一般的な疾患に対する確実な遺伝子治療法で、その他の数多くの疾患にも適用可能なもの」

Mark Kay

遺伝子治療研究者、
スタンフォード大学
困難な時期にあった遺伝子治療研究だが、昨年になって再編が始まった。RNA干渉法という、登場から日の浅い技術が「カンフル剤」の役割を果たしたのだ。

フランス当局は、ネッカー病院（パリ）のAlain Fischerに対し、それまで約2年間凍結状態にあった遺伝子治療試験の再開を許可した。この試験では、遺伝子治療によって、X連鎖重症複合免疫不全症（SCID）という致死的な疾患にかかった子供たちの治療が行われる。SCIDは、感染症に対抗できなくなる疾患だ。この遺伝子治療試験を始めとする全世界のSCIDに対する遺伝子治療試験は2003年1月以来、中断していた。Fischerの遺伝子治療試験で11人中2人の子供が癌にかかったからだ。

フランスを始め各国の規制当局は、SCID臨床試験の再開に踏み切っている。この遺伝子治療を代替すべき骨髄移植が常に成功するとは限らないことが、その理由だ。また米国の食品医薬品局（FDA）も同様に少なくとも1件の臨床試験に対する許可を決定した。

ところで、遺伝子治療は成功するのだろうか？ここに登場したのがRNA干渉法だ。これは、人間に本来備わっている防御機構を利用した技術で、多



くの研究者は、分子医学の分野にとって初の完結した治療法を生み出す可能性があると考えている。バイオテクノロジー企業も同じ考えのようだ。Sirna Therapeutics (米国コロラド州ボルダー) と Acuity Pharmaceuticals (米国ペンシルベニア州フィラデルフィア) の2社は、昨年、RNA 干渉法を使った黄斑変性症 (進行性眼疾患の一つ) 治療の臨床試験に対する許可を FDA に申請した。

さらに今年、Alnylam Pharmaceuticals (米国マサチューセッツ州ケンブリッジ) が同様の申請を行う可能性が高い。同社の研究者は、RNA 干渉法を使ってマウスのコレステロールを減らせることを既に実証している。コレステロールを減らす治療法は、RNA 干渉法の大ヒットとなるだろうが、その実現は、まだ何年も先の話だ。

近い将来の話としては、2005 年に新たな臨床試験が予定されている。そのなかには、RNA 干渉法を使って C 型肝炎や HIV を治療する臨床試験が含まれている。

「時差ぼけの解決法、あるいは超高速飛行。それに迅速で間違いがなく人目につかない空港での所持品検査技術。本当は、超快適飛行ができればそれで満足なのですが……」

George Daley

幹細胞研究者、ハーバード大学

研究者の誰もが思っているのは、飛行機のエコノミークラスに詰め込まれて

いる時間が長すぎて、実験に十分な時間を割けないということである。2004 年になって、移動に要する時間は、さらに長くなったように思われる。

例えば米国では、これまでで最大規模の入国管理用バイオメトリクスシステムが導入され、入国しようとする外国人の電子指紋採取、好ましからざる人物のデータベースとの照合作業が行われているため、入国管理窓口に並ぶ人々の列は、さらに長くなっている。今年、持ち主のバイオメトリクス情報をマイクロチップにコード化したパスポートが多くの国々で導入される予定だ。その結果、窓口の行列が短くなるか長くなるかは、この技術をどれだけ信頼するかにかかっている。

今日の交通機関がはらむ限界について不平を言う研究者がいる一方で、未来の交通手段を大きく変えるかもしれないプロジェクトに携わる研究者もいる。宇宙飛行は宇宙機関だけでなく、ごく普通の億万長者にもできることを証明するための、航空宇宙デザイナーの Burt Rutan とマイクロソフト社の創業者の一人である Paul Allen によ

る、初めての民間ロケットの弾道飛行は成功し、「Ansari X Prize」の賞金 1,000 万米ドル (約 10 億 5,000 万円) をさらった。

ロケットファンの人々は、この偉業を宇宙観光旅行という新時代の幕開けとして祝った。しかしこれに懐疑的な人々は、観光客を乗せた軌道周回飛行という、より難しい偉業を成し遂げるまでは民間宇宙旅行が軌道に乗ったとは言えないとする。Virgin Galactic 社では、早ければ 2007 年にも宇宙飛行の営業を開始し、1 回の宇宙飛行を約 20 万米ドル (約 2,100 万円) で提供したいと考えている。おそらく、この料金ではほとんどの研究者の手が届かないと思われるが、少なくとも一部の研究者は、この技術が、かつてのコンコルドよりも短い時間で大陸間を移動できる交通手段に利用される日がくると考えている。



Highlights

クローン胚を作り出す

韓国の研究者たちが 30 個のヒトクローン胚を作り、そこから幹細胞を取り出すのに成功した。これと同じような成果は以前にも報告されており、例えば米国のある企業は 2001 年に短寿命ながらクローン胚作製に成功したと発表した。しかし現在まで、こうした研究ではそれを裏付ける証拠が乏しい。このような少数のクローンを作るのに、16 人の女性から採取した 242 個という数の卵子が使われた。作製過程の効率がよくなれ

ば、将来は患者の必要に合わせた置換用細胞を作るのにこの方法が使われるようになるかもしれない。

ホビット

インドネシアで小型のヒト属の骨格化石が発掘され、ヒトの進化の過程でこれまで知られていなかった新種人類が、今からわずか 1 万 8 千年前という時代に暮らしていたことを示す証拠が得られた。身長が 1 メートル程度というこの種は、発見された島の名前にちなんで *Homo floresiensis* と命名

され、発見者たちには「ホビット」というあだ名で呼ばれている。この発見に驚いた研究者たちは、また別のヒト属がまだどこかに埋もれているかもしれないと考えるようになってきている。

電子を追っかける

磁気顕微鏡の感度を向上させて、1 個の電子のスピンの生じるわずかなシグナルを検出することができた。この装置は磁気チップを供えた微小カンチレバーで、1 個の電子のスピンによって作り出される磁場がある

「私の願望ですか？『ETよ、私に電話してくれ』です」

Louis Friedman

惑星協会エグゼクティブディレクター
宇宙探査を支持する大きな団体の代表をつとめる Friedman にとって、宇宙探査の主たる目的が生命体の発見であることについては疑いの余地がない。この目的のため、惑星協会は SETI を強力に支援している。SETI とは、宇宙からの電波の中に通信用電波がないかどうかを片っ端から調べて、地球外知的生命体を探索する活動のことだ。

それに比べると、米国航空宇宙局 (NASA) は、その目的について確信を持ってなくなってきているように思われる。国際宇宙ステーションを完成させるべきなのか？ほとんどの宇宙飛行をロボットで行うという現在の方針を堅持すべきなのか、それとも有人宇宙飛行を推進すべきなのだろうか？

昨年、米国のブッシュ政権は、2020 年までに月に宇宙飛行士を再び送り込み、その後は火星への有人飛行を目指すことを宣言して、NASA の活動への注目を集めようとした。11 月には、大統領の「宇宙探査ビジョン」のための当初予算が議会を通過したが、多くの議員や研究者は疑義を表明した。この「ビジョン」は、宇宙探査プログラムにフォーカスを

与えるものではあるが、高い人気を得られるとは思われない。

米国の研究者の一部は、宇宙飛行士による有人宇宙探査という高額なプログラムが再び重視されるようになると、純粋研究が損なわれ、明らかな利益があまり得られなくなる点を懸念している。ただし既に着手されている宇宙探査計画は影響を受けずに進められるだろう。例えば、2011 年に水星に到達する予定になっている「メッセンジャー」探査機、この 1 月に「途切れることのない思考時間」が延々と続く」— Chris Rapley 英国南極調査所所長
土星の衛星の 1 つであるタイタンに探査装置を投下する予定になっている

「カッシーニ」探査機などだ。しかしブラックホールやダークマターを研究するための探査機の計画は中断しており、これによって遠い宇宙の生命体のワームホールやポケットの発見が遅れると考えられる。もちろん、ET が交信してくてくれれば、話は別なのだが。

「火星上に生命体がいるのかどうかを確かめたい。もしかすると、おなから火星人の存在がわかるかもしれない」

Roger Buick

地質学者、ワシントン大学 (米国ワシントン州シアトル)

もし地球外生命体を探しているのなら、火星から始めるのがよい。昨年、興味をかきたてられる発見が公表され、火星上で微生物の化石あるいは生きた微

生物を発見できる可能性が再び注目されるようになった。

地球上に設置された天体望遠鏡や火星の周回軌道を飛行するヨーロッパの探査機「マーズ・エクスプレス」によって、火星の大気中にメタンが存在することが確認された。メタンは寿命の短いガスであるため、このメタンは過去 300 年以内に生成されたものにちがいないと研究者は言う。火星上にメタンを生成する活火山が確認されていないため、火星上には生きた微生物がいて、それによってメタンが発生している可能性があり、研究者は「体をびくつかせて興奮している」と Buick は言う。

このメタンが生命体由来のものかどうかを確認する方法はあるのだろうか？ Buick は、硫化水素の痕跡を探することを提案している。硫化水素も生物活動によって一般的に生成されるガスの一つだ。もしメタンとともに十分な量の硫化水素が検出できれば、これらのガスが地下生物によって生成されていることが示唆される、と Buick は言う。現に硫化水素を思わせる痕跡がマーズ・エクスプレスによって観察されているが、この測定結果は確認されていない。

かつて火星に液体の水が存在したことを示す証拠は蓄積されてきており、NASA の火星探査車「オポチュニティ」もその手がかりを採取している。例え

と振動する。この振動をレーザーで追跡するのである。原理は簡単だが、単一電子について測定を行うのに必要な感度が得られるまでに研究チームは 12 年を費やした。同じ手法で電子のスピン方向も測定できるだろうと予想されており、この成果は量子コンピューターを作製する際の助けになりそうだ。

写真をとった！

窒素分子にレーザーパルス照射することによって、この分子を巡る電子軌道が画像

化された。強力なレーザーパルスを受けた後に放出される光から、分子を構成する電子が存在する空間領域の画像が描かれる。電子軌道の形や大きさは、以前に実験や理論計算によって決定されていたが、画像化されたのはこれが初めてである。将来、これと同じ手法によって、化学反応が起こっている際の電子の挙動を観察することができるようになるかもしれない。

ラットの話

Brown Norway 種のラットはヒトとマウスに次いで、ゲノムが解読された第 3 番目の

哺乳動物となった。このラットは生理学や薬理学の研究における優れたモデル動物であり、心臓血管病から宇宙酔いに至るあらゆる疾病の研究に使われている。解読に際しては、ラットの 2 万 5 千個の遺伝子についても広く解析が行われ、情報量がさらに増えることになった。2005 年には、チンパンジーやイヌなど、さらに数種の哺乳動物のゲノムが解読され、お目見えするものと思われる。

ば、さざ波によってできたと思われる痕跡の残った岩石、塩分の多い水溜りが蒸発した残りと思われる硫酸塩やその他の堆積物、水泡から飛び出した鉱物が沈殿して生成した可能性が非常に高い球形の岩石などだ。これとは別に、ヨーロッパの火星探査機「ビークル2号」は、火星上の生物の痕跡を発見するという明確な目的で設計されていたが、残念なことに火星への着陸に失敗してしまった。

『第一に、害を与えてはならない』とするヒポクラテスの誓いを法的に執行して、倫理基準に違反した医師や研究者が必ず責任をとるようにすること』

Vera Sharav

Alliance for Human Research

Protection 委員長 (ニューヨーク) 研究室で嘘をつき、盗みをはたらき、人を騙し、あるいはそれよりも微妙な倫理基準違反に足をすくわれる人々が毎年報告されている。

ここ数年で見た場合、2004年は最悪の年ではなかったが、盗作、詐欺や

その他の不正行為に関与した研究者は後を絶たなかった。学術誌の編集者さえも、編集作業において倫理規範違

反が時々あったことを告白している。例えば、論文著者に対し、その学術誌に掲載された論文の引用を頼んで、学術誌のインパクトファクターを引き上げようとしたのだ。

このため、医学雑誌団体の1つが、自らの行動の倫理性を保つための行動規範を制定し、それが昨年12月から施行された。

グラクソスミスクライン (GSK) に対して、数種類の抗うつ剤によって子供の自殺リスクが増加することを示唆した臨床試験結果を公表しなかったという告発がなされた時、製薬業界は非難的となった。そして米国では、当該薬剤に警告文の表示を義務づけ、データを追加提出させて原則として公的

精査の対象とするように規則が改正された。さらに、国際的な医学雑誌のうちの主要12誌は、臨床試験結果を発表しようとする企業に対して、その臨床試験の詳細の公共データベースへの登録を義務づけることに決めた。これらの学術誌は、結果が良好だった臨床

試験ばかりが発表され、報道されるという傾向をこの決定によって修正したいと考えている。またGSKも現在発売中の薬剤に関する臨床試験データの概要をインターネットで無料閲覧できるようにすることを約束し、実施に移している。

物理学の世界もいくつかの異常な問題に遭遇した。例えば、国立ロスアラモス研究所 (米国ニューメキシコ州) では、機密データが保存されたコンピューター記憶装置のいくつかが行方不明となり、セキュリティ検査のため、数週間閉鎖されるという事態に及んだ。その後、何人かのスタッフが解雇されている。

韓国でのヒト胚細胞クローニングの成功は、昨年の科学技術上のハイライトの一つだったが、研究者の一人が一部の卵子を提供するという倫理的に許されない作業が行われていたのではないかとこの疑惑が生じ、せっかくの成功に暗い影が投げかけられている。このような告発を受けて、研究の責任者である黄禹錫教授 (国立ソウル大学) は、研究を中断している。同国では、生命倫理に関する国内法が2005年1月に施行されるが、今後発生する問題の処理に役立つかもしれない。

Highlights

言っちゃだめだよ!

マウスの卵細胞を精子による受精なしで成長させ、一見したところ健康なマウスとすることができた。これは哺乳動物が父親の関与なしで産まれた初めてのケースである。この実験の成功は、男性の存在意義を無くすものではない。この研究チームが行った遺伝的操作は、少なくとも現在では技術から見ても倫理の上からもヒトでは実行不可能なものだからだ。この実験では、死んだり欠陥があったりする赤ちゃんマウスの数の方が正常なものよりはるかに多かったのである。

ひどく古い氷

74万年前という古い時代にまで遡る南極大陸氷床コアの解析が進められ、過去8回

の氷河期間の気温と温室ガスに関する手がかりが得られた。8年を要したこのコアの掘削は2回にわたって行われたが、成功したのはかなりの幸運にも助けられている。当初の解析から、現在の間氷期はほぼ40万年前の前のものと似ていて例外的に長く、地球温暖化を計算に入れなくとも、さらに1万6千年程度続くらしいことが示された。

温室ガスで難しい立場に

気象学の研究者が、人間活動の気候への影響は、2003年の夏にヨーロッパを襲った熱波のような事象が起こる確率を少なくとも2倍にしていると推定した。専門家はずっと以前から、地球温暖化によってもっと激しい気候事象が起こるだろうと予想してきたが、この結果は地球温暖化と単一の気候

現象の間の関連を、今まででもっともはっきりと示したものである。こうした研究は、悪天候による損害について、温室ガスを大量に放出している企業や国を相手に訴訟を起こしているグループに勝利への道を開くものとなるかもしれない。

デスクトップ型加速器

粒子加速器で使われる高品質の電子ビームを、エネルギー拡がりの小さいレーザービームを使って生成させることが成功した。これによって、従来こうしたビームを作るのに使われてきた大きくて重い磁石が要らなくなり、また装置の方も減らせるので、サッカースタジアムくらいの大きさだった粒子加速器が実験室に収まる程度のものになるかもしれない。このような装置がどんどん小型化していけば、大学や個々

「過激派に悩まされることなく、失読症やパーキンソン病の患者を救うための実験を進めることができればいいのだが」

John Stein

神経科学者、オックスフォード大学(英)
 昨年の夏、Stein は、動物実験がもたらす恩恵を公然と述べる一握りの英国人研究者たちの仲間入りをする決意を固めた。このとき彼は、まもなく自分は動物の権利を擁護する活動家たちのターゲットになるだろうと予想していた。「悪意に満ちた電子メールが山のように送りつけられてきた」と彼はため息をつく。中にはこんなメールもあった。「ナチと生体解剖を行う人々との違いは何か? 答え: 違いはない」

Stein と彼の同僚 Tipu Aziz が自分の意見を率直に発言しようと決心したのは、活動家たちが2度にわたり世間の注目を集める勝利をおさめてからだ。昨年1月、過激派の抗議によりケンブリッジ大学は霊長類研究センター建設計画の断念を強いられた。その6カ月後には、オックスフォード大学

の新しい動物舎建設を請け負っていた業者が手を引いてしまった。

Stein も Aziz も、反対の立場に立つのは危険だと承知していた。少なくとも過去においては、活動家は単なる脅し以上の行動に出ている。動物実験支持者のなかには、野球のバットで襲われたり、手紙爆弾を家に送り付けられた人々もいた。

しかし、2004年末現在、二人は用心しながらも楽観的になっている。現在、

「将来の研究のあり方についての研究者の提案をフランス政府が取り入れて、再びフランスを若い研究者にとって魅力ある土地とすること」

— Alain Trautmann

細胞生物学研究者で、Save Research のリーダー。Save Research は、フランス政府の政策や科学研究助成方針に異議を唱える史上初の科学者団体である。

一部のメディアは活動家たちをテロリストと書き立てており、過激派のしばしば好戦的なやり口が、潜入調査を行ったジャーナリストによって暴露された。そして、11月、オックスフォード大学は動物舎建設予定地に抗議者が近寄ることを禁止する

裁判所の命令を勝ち取った。Stein と Aziz は、今では脅迫されることはほとんどなくなったと言う。

彼らは、一般大衆が自分たちの味方についているとほぼ確信している。そう確信できるようになったのは、ひとつにはある奇妙な経験のおかげだ。Stein は昨年9月に栄養および神経科学に関する王立研究所のイベントを、自分の兄弟でもあり、シェフとして英国ではとても有名な Rick と共同で主催した。ところが、動物の着ぐるみに身を包んだ活動家たちが「John はサル of 虐待者だ」と叫んで妨害を始めたのである。しかし、「到着した警察がしなければならなかったのは」とStein は言う。「活動家たちから私たち兄弟を守るのではなく、群衆から活動家たちを守ることだった。怒りにかられた群衆は、抗議行動を起こした連中に襲いかかったのだ」

2005年を更り多き年にするためには、動物実験が必要とされる理由を説明する際に、所属する大学や研究者仲間からより多くのサポートを得ることも必要になるだろう。同じく重要なのは、昨年7月から中断しているオック

スフォード大学の動物舎建設を再開することだ。大学によれば、新しい建設業者をみつけるつもりであるという。しかし、2004年のNature誌最終号が印刷に回された時点で、まだ建設業者は指名されていない。

「合衆国にとって、ヨーロッパをはじめとする世界各国を出し抜く切り札は、マンハッタン計画とアポロ計画に続く計画、すなわち50年以内にエネルギー・システムから炭素を除去するという大胆な計画のイニシアチブをとることだ」

Stefan Rahmstorf

気候モデラー、

ポツダム気候影響研究所(独)

もし誰かが新年にシャンペングラスを上げる理由があるとしたら、それは気候研究者たちに乾杯するためだ。彼らは、過去、現在、そして未来の気候変化の本質を理解することにおいて、大きな進歩を遂げた (highlights 参照)。そして何年にもわたる議論の末、昨年秋にとうとうロシアのウラジミール・プーチン大統領が地球温暖化防止のための京都議定書を批准し、ようやく京都議定書は法的に拘束力のある国際協定となった。ロシアの決定により、温室効果ガス排出削減を義務付ける政治的土台ができあがった。こうした土台は非

の研究チームが使うこともますます容易になっていくだろう。

治療剤は自家製で

より安価な抗マラリア薬となる可能性のある化合物が作り出された。現在、マラリア原虫のクロロキンなどの薬剤に対する耐性が問題になっている地域では、アルテミシニンの大量投与を柱とする治療法が推奨されている。しかし、漢方で使われる薬草から得られるアルテミシニンは極めて高価である。そこで、公的機関と民間企業との協力研究により安価な合成アルテミシニンが作られ、目下英国で臨床試験が行われている。

「私の肩には鮮やかな色のオウムがとまっている。私が新しいデータを見るたびに、オウムは私の耳元で甲高い声をあげる。『だけど、これ、本当はどういう意味なのさ? 重要なことなの?』」 — Brandon Wainwright

ヒト遺伝学者、クイーンズランド大学・分子生物学研究所(オーストラリア)



常に必要とされていたが、前年の同じ時期には、実現はるか遠く先と思われたものだった。しかし、Rahmstorf たちは、二酸化炭素排出を抑えるには京都議定書だけではまだ足りない、できれば米国の全面的な協力が望ましいと述べる。

京都議定書によって弾みがついた計画のひとつが、2005年に成果をあげそうだ。二酸化炭素排出権を取引するというアイデアだ。2004年の二酸化炭素取引総量は2003年の約2倍も多かった。2005年1月には、ヨーロッパで排出権取引制度が開始され、炭素は政府が規制する資産となる。排出量削減に経済価値を与えることで、企業はガス廃棄物の削減に熱心になるだろうとオプザーバーは期待している。京都議定書に署名しなかった合衆国などの国々にも効果があるだろう。しかし、これで実際に全体の排出量が減少するかどうかはまだわからない。

一方、大ヒットしたハリウッド映画「デイ・アフター・トゥモロー」は、突然の気候変化によって起こりうる状況を鮮やかに描き出してみせた。映画ではたった1日で北半球全体が凍り付いてしまったが、これは現実と比べるとあまりにも誇張しすぎているといえるかもしれない。だが、遠い昔に劇的な気温の変動が何度もあり、それが数千

年、いや数百年の周期で起こっていたという科学的証拠は次々に明らかになっている。たとえば、昨年、約7000万年前にあたる白亜紀に北極の気候が温暖化した時期があったという手がかりが発見された。昨年の北極掘削航海で採取されたサンプルからのデータは、かつて北極が温暖な地中海のような気候に転じたときのようすをまもなく我々に示してくれることだろう。

「莫大な予算を投じた映画のおかげで、科学者が若者のアイドルになり、科学者という職業にがぜん人気が集まることだろう。もうロックスターやテレビ俳優やスポーツ選手なんか目じゃないぞ！」

Francis Collins

国立ヒトゲノム研究所所長（メリーランド州ベセスダ）

映画「デイ・アフター・トゥモロー」だけではCollinsが満足しないというなら、お楽しみはまだたくさんある。といっても、おそらく複雑な気持ちを抱きながらではあるが。2005年公開予定作品のひとつ、「ファンタスティック・フォー（Fantastic Four）」では、宇宙飛行士たちが宇宙線を浴びたあと、超能力を手に入れるようになる。また、カルトの人気を誇るシリーズ本「The Hitchhiker's Guide to the

Galaxy」も映画化される予定だ。この物語の中では、ありえない航海をする宇宙船が一見不可能と思われることをやってのける（ただし、どれくらい起こりそうもないことがわかっている場合に限るが）。そして、50年代のSF映画の傑作「宇宙戦争」のリメイク版では、トム・クルーズが主演の科学者を演じる。セルロイドのフィルムと現実との間の深い溝にすぐにも橋がかかるとは思えないが、ファンタジーの世界でも多少なりとも科学への関心（のようなもの）に火がつきそうだ。

「2005年にこんな新発見がしたいという私の願事リストの最上位にくるのは、HIVに対して広い反応性をもつ中和抗体を誘導する分子の開発だろう」

Anthony Fauci

国立アレルギー感染症研究所所長（メリーランド州ベセスダ）

タイのバンコクで昨年7月に開かれた第15回国際エイズ会議に出席していた人々は、「我々はエイズを治療するツールを手に入れている」という言葉が何度も繰り返されるのを聞いた。しかし、それらのツールが届いているのは、3900万人にもものぼるHIV感染者の中のごくわずかにすぎない。エイズはサハラ砂漠以南のアフリカ諸国に根強く蔓延しており、HIV感染者の60%以上がこの地域に住んでいる。さらにエイズは、HIV感染者が2番目に多

Schandals

消えたベスト菌

自分の研究室からベスト菌が入ったガラス瓶がいくつかなくなったと報告したあとで、実は自分が瓶をうっかり壊してしまった可能性があることを認めた米国の微生物学者Thomas Butlerは、昨年3月に詐欺罪で懲役2年の刑を言い渡された。検察側が求めていた数百万ドルの罰金と10年以上の懲役よりは寛大な処罰である。しかし、テロを企てるつもりなど毛頭ない62歳の高名な研究者を見せしめにするのはフェアではないと言う研究者もいる。

芸術のため

米国の大学の遺伝学者と芸術家が、郵便・電信詐欺の罪で告発された。彼らが美術展のために細菌を入手したとされるやり方に問題があったためだ。パフォーマンスアーティストSteven Kurtzの家で、実験装置と細菌と生物戦争に関する本が発見されたことから、捜査が始まった。見つかった細菌は無害であることが判明したが、彼とRobert Ferrellは、実験室外で非研究目的のために細菌を使うことによって販売元をだましたとして告発された。Kurtzの裁判は、1月11日に審問が行われることになっ

ているが、Ferrellの方は病気のために保留になっている。

「誤り」のレッテルを貼られた自閉症の論文

医学雑誌The Lancetは、ある論文を掲載記録から抹消し、ジャーナル自らがその論文の結果に反論するという異例の措置をとった。Andrew Wakefieldは1998年に、麻疹・流行性耳下腺炎・風疹の3種混合ワクチンが自閉症と関係するという内容の論文をThe Lancetに発表した。しかし昨年2月、同誌のエディターは、この論文には利害がからんでいるために「誤りがあり」、掲載さ



インドだけでなく、ロシアや中国でも急増する恐れがある。しかし、抗レトロウイルス薬はいまだに非常に高価で、ほとんどの患者は治療費をまかなえない。こうした非常に厳しい見通しに直面して、指導者たちは、エイズの広がりをきっぱりとくいとめる予防法措置を求めている。

だが、エイズワクチンの開発は遅々として進まない。少なくとも10数種のワクチンが臨床試験中だが、それらによってエイズ感染が完全に防げると期待は薄い。多くの専門家は、この目的の達成に必要とされているのは、あらゆるタイプのHIVを認識し、中和してしまう抗体を誘導するワクチンだと考えている。構造生物学者たちは、現在、こうした「広範に中和する」抗体を同定するために必死の努力を続けている。

れるべきでなかったと述べた。Wakefieldによればそのような利害関係はなかったという。この論文のせいで、英国では多くの親たちが3種混合ワクチンの接種を拒否し、その結果、麻疹発症率が高まった。

取り下げられたクローン論文

生殖研究者Panayitis Zavosは、論文審査を受けたヒト・クローンに関する論文を取り下げた。自身の研究成果を公表してしまったからだ。Zavosは9月に、死者から採取した遺伝物質をウシの卵とミックスすることによってクローン胚を造ったと発

「我々は、新たに出現する感染症のリスクの増大に直面している。常におこたりに警戒すること、そして、政治ではなく科学に基づき、善意の科学と監視と公共政策によってこの脅威と戦うためのリソースを望む」

Paul Tam

臨時副学長代理、香港大学

今冬、これまでのところでは新たな症例が出ていないことから、重症急性呼吸器症候群(SARS)の脅威は遠のいたと思えるかもしれない。しかし、心配すべきウイルスはほかにもある。昨年、鳥インフルエンザのせいで、東南アジア諸国では数千万羽の鳥が病死、あるいは処分され、タイとベトナムでは少なくとも32人が鳥インフルエンザによって死亡した。

「炭素をベースとする燃料への依存をなくすために有用な微生物を海洋から見つけだす」— Craig Venter
J. Craig Venter 科学財団代表(メリーランド州ロックビル)

最も警戒されるH5N1型ウイルスは、中国でブタへの感染が確認された。ブタの体内は、トリとヒトのウイルスが感染して混合するにうってつ

けの場所で、致死性で非常に感染力の強いタイプのウイルスを生み出す。気がかりなのは、H5N1がヒトからヒトへ伝染したと見られる症例が1例あったことだ。タイのある少女からその母親へおそらく感染が起こったと考えられている。このウイルスがもっと容易にヒトからヒトへ感染するようになれば、20世紀の大流行に似た状況が起こ

表し、新聞紙上で一騒動を起こした。The Journal of Assisted Reproduction and Genetics 誌は、そのあと同様の研究に関する論文を取り下げたが、Zavosはそれは異なる研究だったと主張している。

締め出される

取り調べを受けたイランの物理学者が、職場である米国エネルギー省管轄スタンフォード線形加速器センター(カリフォルニア)への立ち入りを禁じられた。同僚たちはNature誌に、彼の締め出しについては何の説明もなされていないと述べた。

り、多数の死者が出るだろう。

「再び大流行が起こることは避けられない。実際、すでに起こっていても不思議はないのだ」とロックフェラー大学(米国ニューヨーク)の感染症専門家、David Hoは述べる。発展途上国の監視・保健システムでは対処が難しいかもしれない、と彼は言う。

「このダーウィンの寿命は残りわずかだ。ガラパゴスの『チャールズ・ダーウィン研究所』は近代的なゲノム研究施設に生まれ変わらせる必要がある」

Hunt Willard

遺伝学者、デューク大学(ノースカロライナ州ダラム)

ガラパゴス諸島は進化研究の生きた実験場といえる。博物学者たちは、この島々に100年以上にもわたって魅了され続けてきた。ガラパゴス諸島はかつて、進化に関する革命的な理論の誕生に大いに貢献したが、いま専門家たちは、サンタ・クルス島に1964年に設立された「チャールズ・ダーウィン研究所」の設備を、21世紀型の遺伝学の進展に対応させるべく、また進化に関する未解決の謎を解明するために拡充させる必要があると訴えている。

生物学者たちには、進化上の変化は、稀に起きる遺伝的変異が環境からの圧力を受けて種の個体群に固定されることで生じると想定する向きがある。しかしWillardは、ガラパゴス諸島に見

Shahram Rahatlouは、自分が追放されたのは2001年9月11日以来厳しくなっているセキュリティ・チェックのせいではないかと考えている。現在、他のイラン人にとっても、政府の施設で働くことは、いや、そうした場所を訪問することさえ難しいと言う。Rahatlouはその後ローマで4年間の職を見つけることができた。

られる変化のスピードが非常に速く見えるために、これが唯一の進化推進機構になっていると考えている。さらに劇的で大規模なゲノムの変化が、異なる亜種間の交配が進んだ結果として生じている可能性がある」と Willard は語る。しかし、ゲノム研究に通じた「ガラパゴス諸島再訪」計画が進められなければ、DNA レベルで実際に何が起きているかを明らかにすることはできないというのが Willard の考えだ。

こうした遺伝学研究は、ガラパゴス諸島に生息する絶滅一步手前の種に有用なことが判明しつつある。カメの研究では、ピンタ島に生息する最後のゾウガメである「孤独なジョージ」の花嫁にふさわしい亜種がわかってきた。ジョージと選ばれた花嫁候補との対面こそ未だ実現していないものの、今度こそ同じケージ内で現在生活をともにしているメスガメに対するようなつれない態度はとれないだろうと研究者は期待している。

「米語と英語のスペルチェッカーをインストール済みの私のパソコンに EU 式英語のチェッカーを追加した。これでようやく難解な『EU 語』の解説が可能となったわけだ」

匿名の研究者

昨年欧州各地で開催された学会の休憩時間に交わされた一番の話題は、ヨーロッパの「研究フレームワークプログラム」の助成金獲得にまつわる、複雑さわまりない応募過程に対する不満であった。

"sideground" といった造語が頻出する書式に対して、まるで読めた代物ではないと感じて空欄のまま放置する研究者は少なくない。

フレームワークプログラム用の用語集があることはある (<http://fp6.cordis.lu/fp6/glossary.cfm>)。しかし悲しいかな、前述の単語の説明は、この用語集にもオックスフォード大英語辞典にも見あたらない。欧州委員会が作成

した知的財産権に関するヘルプデスクのウェブサイトを探し回ってようやく見つかるありさまだ。ちなみにこの用語の意味は、「プロジェクトの進行と並行して得られる情報および権利」だそうだ。

研究者たちは言う。複雑化する一方の書式は、科学の実践を脇において、

ヨーロッパを覆う経済および社会の病理を治す方策の提示を自分たちに求めているようだ。研究プロジェクトを書き連ねることは手慣れたものだが、政治的なあれこれの文言を操ることは一苦勞

だと研究者は訴えている。

2006 年から始まる第 7 次研究フレームワークプログラムの詳細は 2005 年中に固まる予定だ。しかし、新しい書式がすっきりする可能性は低い。研究者たちはむしろ、現在設立が計画されている欧州研究評議会が、EU と少しでも距離をおいてくれることを願っている。

Odds & ends

ジェネシス計画の失敗

太陽風のかけらを地球に持ち帰ろうというアメリカ航空宇宙局 (NASA) のジェネシス計画は、昨年 9 月にユタ州の砂漠の砂粒と化した。回収装置には極めて精巧な検出器が備えられており、計画では、ハリウッド映画のスタントパイロットに依頼して、パラシュートを揚げつつ落下してくるカプセルのもとに急降下してすばやくキャッチし、できるだけソフトな着地を目指していた。ところが実際にはパラシュートは開かなかった。設計段階のミスで、要となる複数のスイッチが上下逆に取り付けられたことが原因であった。

爆発したクジラ

昨年 2 月のある日、喧噪に満ちた台湾の道路が、爆発した 60 トンものマッコウクジラの残骸で塞がれた。この事故は、クジラの死体を解剖するため研究所へと運搬する最中に発生した。死体が腐敗することで体内にたまったガスが爆発の原因だった。

しかし幸いにも、道路に散乱した内臓は一部にとどまり、解剖対象の心臓と肺は無傷であった。

ニュートンの著作集が刊行

アイザック・ニュートンが 17 世紀後半に書き記した、「ヨハネの黙示録」に関する 300,000 語にも及ぶ解釈が昨年 8 月に刊行された。ドラゴンに関する言及がそこかしこに含まれ、カトリック信仰に対する不信感も露わな驚くべき文章を読むと、ニュートンが精神世界に強い関心を寄せていたことがわかる。残された著作の半数以上は、科学ではなく宗教に関するものであった。

学術サイトに自分史を掲載

ある理論物理学者が、第二次世界大戦中に占領下のフランスでポーランド系ユダヤ人として育った自らの半生の記録を一風かわったメディアに発表した。その掲載先とは、物理学のプレプリントサーバー arXiv だ。このサーバーは一般に学術論文を掲載する場所である。しかし、サーバー管理者

は全内容をオンラインで発表することを快く思わなかった。サーバー側から不当に扱われたと感じた一部の研究者たちは団結して「アーカイブ・フリーダム」と命名したウェブサイトを、サイトの選択基準を守るために新たに立ち上げた。

宇宙船の補償問題

火星に下降中に姿を消した着陸機「ビーグル 2 号」に何が起きたのか真相は不明だ。だが計画失敗の責任をどこに求めるかについては大きな問題となる可能性が出てきた。欧州宇宙機関 (ESA) は、英国の計画者たちに 1,600 万ユーロ (2,100 万米ドル) を貸していた。昨年の秋には、同機関から研究資金をもらっている一部の研究者から、ESA が貸与した金の返済の是非について、またその方法について不平が出始めた。英国側は、財と労役で払い戻す可能性を探っているようだ。しかし宇宙研究者たちは、キャッシュでの償還がベストだと考えている。

蟻と象の争い？

David versus Goliath



Nature Vol.432 (546-548)/2 December 2004

研究資金の配分先が、1人のリーダーが率いる小規模な研究室から、高額な装置を使用する大人数のチーム研究へと移っている。こうした「ビッグ・バイオロジー」の高まりに行き過ぎはないだろうか。Erika Checkが報告する。

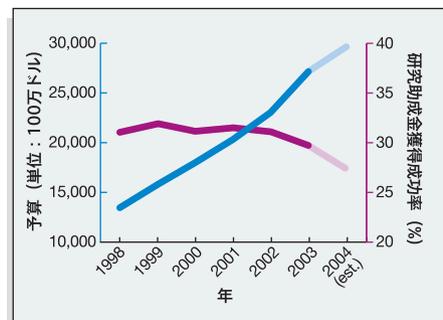
ジェームズ・ワトソンとフランシス・クリックは、現代のチームサイエンスの理想的なモデルとして引き合いに出されることが多い。ワトソンは動物学者から遺伝学者に転じた研究者であり、クリックは物理学から生物学へ越境した経歴をもつ。1950年代の初頭に2人は、生命の基本分子すなわちDNA構造の解明に取り組むべく、英国・ケンブリッジにある研究所にこもることにした。そして研究所から再び出てきたとき、2人は、旧来の生物学を情報ベースの科学へと変化させる発見を手にしていった。これこそが今日のシステム生物学の萌芽にほかならない。

そして今、世界中の資金提供機関は、ワトソンとクリックを勝利に導いた状況を再現しようとしている。多額の資金、高額な装置を学際的な研究施設に投じ、生物学者と化学者、物理学者、数学者などを一同に集める。そこで新たな相互作用が生まれ、生物学の諸問題に新しい糸口がでてくることを期待してのことだ。資金提供機関はまた、通常の研究プロジェクト以外に、技術や研究ツールの開発に資金を多く投入

し、巨大で貴重な情報バンクの構築を考えている。

科学界の指導者たちは、専門化した個人研究者が単独で取り組むには難しいような研究についても、共同研究で結果を出すことができる、という見解で一致している。しかし、歯車のひとつひとつではなく、歯車の間の相互作用に注目するシステム生物学という革命が、発見に基づくという科学の基礎を弱体化させてしまうのではないかといった危惧もある。技術開発に使われる資金は、複雑な問題をじっくりと考える研究者の養成に使った方が生きるのではないか、というわけだ。また大型プロジェクトでは、官僚制度の狭間で資金が無駄に使われたり、特定の疾患に焦点が当てられることで創造性が薄められたりすることがないだろうかや疑問視されることもある。こうした不安に何らかの根拠はあるのだろうか。それとも現在進行中の改革は、生物学を石器時代から引っ張りだすようなものなのだろうか。

以上のような議論は特に米国で加熱している。米国では近年、生物学研究



に対する連邦資金が倍増するとともに、研究助成金申請の通る率が下がってきた。この事実つまり、大型プロジェクト重視の傾向を意味するものだ(上記チャート参照)。同様の懸念はヨーロッパからも聞こえてくる。ただし、ヨーロッパでは資金源が多岐にわたるので、こうした傾向はそれほど劇的ではなく、むしろ逆だと言えるかもしれない。一方、中国では、国内外の指導的研究者たちが、大規模研究重視の政策を厳しく批判している。今日の国の姿勢は、あたかも中国国内における巨大ダム建設と変わらないというのだ。

米国では、世界最大の生物医学研究費提供機関である国立衛生研究所(NIH)が、Elias Zerhouni 所長のもと、改革

のさなかにある。Zerhouni が舵取りを引き受けた 2002 年は、まさに NIH が 5 年越しの予算倍増計画を完了する年だった。NIH は研究成果を治療法に結びつける仕事をする必要があると Zerhouni は宣言した。「生物医学研究はいま、新戦略を必要とする重要な転換期にあります」と、2002 年 4 月に行われた指名承認公聴会で述べている。

大きいことはいいことだ

NIH の予算倍増計画が完了した現在、従来の個人主導の研究活動と比べて、大規模に行う科学研究の方が大きな利益をもたらすことを示す証拠がいくつか現れている。注目すべき指標の 1 つに、助成金申請が通った割合を示す「成功率」がある。全体予算が潤沢でなければ、成功率は下がり、個人研究者は経済的苦境にたたされ頭を抱えることになる。しかし、研究プロジェクト助成金の成功率は、予算倍増の開始時期から全体的に低下してきているのだ。NIH のデータによれば、1998 年には 31% だった成功率が、2005 年には 27% になると予測されている。また、自らの研究室を開く新規研究者の助成金獲得成功率も 1998 年の 24.9% から、2000 年の 25.9% をピークに 2003 年には 24.1% へと若干低下する傾向にある。

総予算が増えているにもかかわらず助成金獲得の成功率が低下している理由は何か。答えの 1 つは、資金の多くが、研究施設に拠出されているという点にある。そこでの研究には、あらかじめ指定された問題に取り組むことに同意した研究者集団がかかわる。2005 年の終わりまでに、研究施設を対象とした支出は、1998 年と比べて 31% 増が見込まれている。これに対して、個人の研究プロジェクトへの助成金割

当ては 98 年の 97% となる。

こうした状況は、一部の研究者、特に自前の研究室を設立するため、個人プロジェクト向け助成金に頼る研究者たちを悩ませている。「大いに不安です」と語るのは、ウイルス学・免疫学の研究者で、昨年 7 月に最初の研究室をエモリー大学（ジョージア州アトランタ）に開いた Arash Grakoui だ。「独立したばかりの研究者にとっては、むしろ歓迎しかねる傾向です」。また Grakoui は、1 人の研究者が全てを独力で準備する時代は終わりを迎え、一部の問題の解決には大規模チームを対象とした助成金が必要だとも認識している。しかしその一方で、「R01」と呼ばれる新規研究者向けの助成金も不可欠だという。この助成金のおかげで、若手研究者たちは自分たちの存在意義を主張できる。「R01 助成金が得られれば、活力にあふれた若くて優秀な研究者が、状況を新鮮な視点から眺めるのに役立ちます」と Grakoui は語っている。

Zerhouni は、NIH が個人研究者を見捨てているということはないと強調する。そして、注目すべき重要な傾向として、全体的に下がりつつあるといっても、研究者 1 人あたりで見ると、助成金獲得の成功率は 1996 年の 30.5% から 2003 年には 34% に上昇している点を挙げている。この事実も、助成金を申請したなかで、より多くの研究者が最終的には資金を得ていることを意味する。「NIH の意図するところは、資金配分のバランスを保つことであり、個人的には、NIH 主導の研究や大規模科学へと向か



クリックとワトソン（上）の学際的アプローチは、ウェルカムトラスト・サンガー研究所（右ページ）などの「ビッグ・バイオロジー」を担う施設の設定を促した。NIH 予算の総額が増えている一方で、個々のプロジェクトへの資金提供成功率が低下していること（21 ページのグラフ）が、この傾向を示している。

う大きな変化が起きているとは思いません」と Zerhouni は語る。

あらゆる側面を評価

しかし、根本的な動きを心配する生物学者もいる。より多くの基礎科学を臨床へと移そうという自らのビジョンの一環として Zerhouni は、技術、チームサイエンス、そして臨床研究の 3 点に的を絞ったプロジェクトへ資金を重点的に提供する「ロードマップ」と呼ばれるプランを 1 年前に導入した。これは NIH 総予算のわずか 1% を占めるに過ぎないが、資金投入時の優先順位を決めるにあたって別の変化を呼び起こしているようだ。

例えば 2004 年 8 月に NIH は、「学際的研究」、「トランスレーショナルリサーチ」、「臨床研究」の 3 つのプロジェクトを優先するようにピアレビュー基準を改めた。これまで「研究の意義」という項目で臨床研究に言及されることはなかったが、審査担当者は今、申請を受理した結果として「科学的知見または実地臨床」が進んでゆくかどうか考慮することを求められている。また 10 月には、国立精神衛生研究所（NIMH）が活動の重点を基礎研究から、特定の疾患を標的としたプロジェクトへと移す計画をまとめた。

Zerhouni は、「ロードマップ」が NIH に根本的な変化を引き起こしつつあることは認めている。しかし、こうした変化は長く待ち望まれてきたことだと指摘する。「自分たちの問題解決能力に見あう範囲で、生物学上の複雑な問題に取り組む必要があります。そして基礎研究から臨床に至る問題にも対峙する必要があります」と Zerhouni は語る。

このように主張するのは彼だけではない。ヨーロッパでは、ドイツ生物工学研究センター（ブラウンシュウィク）の研究部門の責任者を務める遺伝学者 Rudi Balling を始めとする指導的立場の研究者が、さらに多くの「ビッグ・サイエンス」プロジェクトを求めて働きかけを行っている。「学際的な研究を避けて通ることはできません」と Balling は語る。「巨額の投資を共有できるネットワークの構築が求められているのです」

しかしその実現は、ヨーロッパでは難しい。1つの機関が全ての研究費を管理する米国とは違うからだ。ヨーロッパ委員会、研究理事会の科学担当官 Jacques Remacle は、ヨーロッパでは生物学への研究資金はさまざまな機関から拠出されているが、諸機関が共同で大型プロジェクトを組み、米国と互にゆくことが必要だと語る。「大きな主導権を発揮できるのは、英国やドイツなどの一部の国に限られます」

ヨーロッパでは「ビッグ・バイオロジー」から遠ざかる傾向にあると感じている者たちもいる。例えば、2001年に設立された国立ゲノム研究ネットワークへのドイツ連邦資金の拠出は、最初の3年間に1億8,000万ユーロ（2億3,700万ドル）であったものが、続く3年間は1億3,500万ユーロに減額されると推定されている。マックス・プランク分子遺伝学研究所（ベルリン）の Hans Lehrach は減額に渋い顔だ。

「大規模プロジェクトに対する投資は後ろ向きになっており、資金の大半は従来型の研究へと戻りつつあります」

一方、中国では逆の問題が生じている。2003年に温家宝首相は「中長期国家科学技術計画」と呼ばれる、今後15～20年を見据えた戦略を策定した。このプランでは、数億～数十億ドルの「メガプロジェクト」に対する資金供与が謳われている。

しかし世界に散らばる中国人研究者たちは、これは研究費の最適な使い方ではないと警告している。中国では科学は未だ政治と不可分であり、研究費が不適切なプロジェクトに浪費される恐れがあると彼らは強く主張している。そして政府に対して、まずは小規模な研究に投資を行い、その後に巨大なトップダウン型プロジェクトに取り組むことで、自国の科学領域の人材と資源を蓄積していくことを求めている。

「ビッグプロジェクトを十分な数の優秀な研究者なしに進めても、資源の無駄に終わることは目に見えています」と、上海生物科学研究所・神経科学研究所の所長を務める Mu-ming Poo は最近のネイチャー誌で述べている (*Nature* **432**, (Suppl.), A18-A23; 2004)。

交錯の機会を求めて

ビッグ・バイオロジー重視の傾向が世界中で強くなっている理由の1つには、ヒトゲノムプロジェクトの成功が挙げられる。この計画では、英国のウェルカムトラスト・サンガー研究所や横浜の理化学研究所ゲノム科学総合研究センターのような、大規模な配列決定施設の設立が世界各地で相次いだ。また同時に生物学では、専門家集団によるチームアプローチを必要とする、細胞シグナルの複雑なネットワーク解明に関する取り組みが増えてきた。いくつかの大規模研究施設がこうした目的で設立されており、例えば民間の寄付でスタンフォード大学（カリフォルニア州）に設立された1億5,000万ドルのジェームズ H. クラークセンターがその好例である。

しかし少なくとも米国では、こうした動きには研究上の必要性と同時に政治的側面も絡んでいる。NIH 予算を倍増させようという考えは、大学、研究者、研究所、患者支援団体の連合体から幅広く支持された。こうしたグループは、予算増額を求めて1990年代の初頭から中頃にかけて熱心なロビー活動を繰り広げた。そしてゲノムプロジェクト

一丸となって難問に挑む：スタンフォード大学のジェームズ H. クラークセンターは、生物学の難問に挑む新しい学際的な研究所である。



は、科学が新たな方向に進みつつあり、米国の科学が世界で主導的地位を保つために NIH の拡大が必要なのだと言議員たちを説得するための追い風となった。

「R01 に象徴される小規模科学の道にそのままとどまる選択をしていたなら、予算規模が 130 億～140 億ドルを超える組織になることはなかったでしょう」と、ワシントン DC で生物医学研究分野のロビー活動を行い、今回の予算倍増に大きな役割を果たした April Burke は語る。「変わりつつある状況にあったからこそ、政策立案者たちも『わかった、あなたたちのやっていることに投資しよう』と口にしたのです」

一丸となって

多くの基礎生物学研究者は、チームサイエンスを重視する流れを支持しており、研究者が医学についてこれまで以上に深く考えるべきであることに異存はない。ノーベル賞受賞者でスタンフォード大学の生化学者である Paul Berg もその 1 人だ。Berg によれば、20 年前に大学院生が医学に関心を寄せることはなかった。「ところが最近では、基礎科学領域を専攻する大学院生たちの姿を臨床セミナーの場で見かけるようになりました。自分たちの日々の研究が何かの疾患に応用されることが頭のなかに浮かんでいるでしょう」。Berg は、臨床研究を過度に重視する姿勢は NIH にとって良くないという考えに賛成だが、しかしまだそのような状況に陥っているわけではないと考えている。

チーム精神が強くなりつつある兆しは増えている。若手の科学者たちは皆、自らのキャリアを踏み出すにあたって個人としてのサポートを受けることを望む一方で、高額な装置を利用するために、また流れてくる資金の恩恵にあずかるために、チームを組むことの必要性を十分承知している。

「ベストの投資戦略ということを考えなくてはなりません。対象をある程度分散し、また R01 だけではなく他のグラントの申請も行うべきでしょう」と、2005 年 1 月に自身にとって最初の研究室をウイスター研究所（ペンシルベニア州フィラデルフィア）に開く予定の免疫学者 John Wherry は語る。R01 助成金を得るためには、より高いメリットスコア（審査委員会が助成金申請書に割り当てる数値）が必要になってきている一方で、施設にとっての必要条件はそれほど変わっていないと Wherry はみている。「複数の、そして少しでも大きな案件にかかわることができれば、経験の少ない研究者でもすぐに良い機会に恵まれるでしょう」と Wherry は語る。

こうした動きを好ましいとみなす研究者は多いが、本当の問題はこれからにあるのかもしれない。予算倍増を終えた NIH には、さまざまな種類のプロジェクトに支出できる資金が十分にある。また、生物兵器防衛研究に対する 17 億ドルの速やかな注人も NIH が使える予算を膨らませた。ただし今後も状況が明るいとは限らない。対生物テロ研究への配分は支給済みであり、2 桁の伸び率が続いていた予算も、2004 年度の伸びはわずか 2.8% に留まり、2005 年には 2% 程度になると予測されている。

巨額の赤字財政と、自国の安全保障および防衛手段以外における全ての支出を抑える姿勢から考えると、こうした傾向は当面続くことになる。そしてこの状況は、一部の科学推進派を悩ませている。彼らは、大規模研究施設に支給を約束済みの資金を取り消すよりも、新規研究者向けの助成金をカットしていくほうが簡単なことを承知している。「確かに不安です」と、オクラホマ医学研究財団の免疫学者で、ベセスダ（メリーランド州）に本部をおく米



おいてけぼり：Arash Grakoui は、個人研究者向けのプロジェクトが、ビッグ・バイオロジーによって脇に追いやられるのではないかと懸念している。

国生物医学研究学会共同体 FASEB の理事長を務める Paul Kincade は語る。

こうした全ての変化が、ワトソンとクリックの後に続きたいと考える研究者たちにとって何を意味するかという問いに答えることは難しい。チームアプローチは、基礎研究者たちの研究を前進させることが見込まれるが、科学者には生物学の新しいアイデアを追い求める自由も必要だ。たとえそれらが、直ちに患者の生命に望ましい影響をもたらすかはっきりしない状況であってもだ。金庫の中味に比較的ゆとりがあるので NIH は世界中からうらやまれる立場にある。潤沢な資金で大規模、小規模いずれの生物学研究もまかなえる。ただし、仮に米国の科学関連支出が落ち込めば NIH は苦しい判断を迫られることになるだろう。「状況が厳しくなれば、またそうなることが予測されれば、我々は個々の研究者主導の科学を守る必要があります」と Kincade は語っている。 ■

Erika Check は、ネイチャーの生物医学部門担当記者（ワシントン）。追加取材は Federica Castellani による。

2003年夏のヨーロッパ、あの猛暑は誰のせい？

Hot news from summer 2003

Christoph Schär and Gerd Jendritzky

2003年、ヨーロッパは熱波に見舞われた。あれは、単なる珍しい気象現象だったのだろうか、それとも初めて垣間見ることのできた未来の気候変動の姿だったのだろうか？ おそらくその両方だったのだろう、という答えが示され、人間活動による影響を定量化できることが明らかになった。

Nature Vol.432(559-560)/2 December 2004

2003年夏のヨーロッパの気象状態は極めて異常で¹、猛暑と日照りの日々が続いた^{2,3}。ヨーロッパ大陸北部の人々にとっては美しく温暖な夏だったが、中部や南西部では厳しい暑さが長く続き、経済的にも社会的にも悲惨な結果が生じた（コラム参照）。

この熱波による影響が深刻であったことから、2003年夏の気候状態は、人為的な気候変動の証拠なのかどうかという疑問が生じた。Nature 2004年12月2日号に発表されたStott, Stone and Allenの論文⁴は、この難問解明への大きな一歩だと言える。従来の研究では、最近のヨーロッパの夏の気候変化が、気候変動シナリオと矛盾しないことが判明していた^{5,6}が、因果関係を厳密に特定しようという研究は行われていなかった。もちろん、大気はカオス的な動的システムであり、異常気象を示した1つのエピソードと大気組成変化との因果関係を特定することは不可能である。それでも、自然の気候モデル条件や人為的に手を加えた気候条件における、特定の天気事象の発生確率あるいは発生リスクを推定することは可能だ。Stottたちは、この方法を使ったのだ。

Stottたちは、現在有力な地球規模の気候モデルの1つを用いて、1900年以降の2種類の気候シミュレーションについて、ヨーロッパにおける夏季温度の確率分布を得た。第1のシミュレーションには、過去の太陽活動や火山活動の変動が気候に与えた影響と、人間活動による影響（温室効果ガス濃度の上昇を含む）が反映されている。第2は、自然の要素だけを規定して自然の気候をシミュレーションしたものとなっている。

次にStottたちは、猛暑の夏となるリスクが、人間活動による温室効果ガスの排出によってどれだけ変動したかを算定した。その際、夏季気温の観測値とシミュレーションの比較結果を用いて、人為的な温暖化の不確定性と自然変動に対応した。そして、Stottたちは、人間が気候システムに及ぼす影響が、ヨーロッパの夏が2003年のような猛暑となるリスクの半分以上を占めているとする解析結果を得た。信頼水準は90%超だった。

方法論的に見た場合、Stottたち⁴が用いた研究方法は、地球規模での気候変動を検出し、検出された変動の原因を特定するために考案されたものである。このような研究には長い歴史があり、そのいずれの研究においても、人間活動の著しい程度での寄与なしに過去30～50年間の地球規模での気候記録を説明できないことが判明していた^{7,8}。今回のStottたちの研究は、こういった従来の研究結果とも整合性がある。それは、極度の熱波発生の確率が平均気温の上昇とともに必ず変動するからである。Stottたちの解析作業の詳細はかなり複雑だが、主要な結果についての基本的な解釈は比較的単純である。すなわち、人間活動による温暖化があると、夏季温度の統計的分布が温度の高い側に移動し、これが、気温分布の高温側の閾値を超える気温を記録する確率に極めて大きな影響を与えるということだった。

ただし、Stottたちの研究には2つの点で限界が見られる。第1にStottたちの論文は、（極度の熱波に見舞われた8月上旬ではなく）2003年夏全体を解析対象とし、対象地域をヨーロッパ大陸全体と南欧とした点（熱

波が最も厳しかった中欧に絞っていない点)である。より短期的で小規模な熱波を考察するためには、計算分解能を高める必要がある⁹、陸面過程の複雑な要素を考慮に入れる必要がある^{1,3}。これらの要素は難しい課題だ。第2に特定の結果に対する原因の発見を試みる研究においては、自然の気候変動を示すことが一般的に難しい点である。Stott たちの論文によれば、彼らのモデルでは、ヨーロッパ大陸での気候変動スペクトルが1年前との比較、10年前との比較という時間スケールで適切に示されていると主張されている。しかし、気候モデルから推定される自然の気候変動でも観測結果から推定される自然の気候変動でも、高い不確定性を伴う⁸ため、この Stott たちの結論を裏づけるには、より詳細な研究が必要となろう。

それでも、Stott たちの研究成果は、具体的な極端な気候事象に対する人間活動による影響を初めて検出した点でブレイクスルーである。極端な気候事象は、特に人間の営みに影響を与え、気候変動の特徴の中でも最も注目すべきものの1つとなっている。Allen と Lord の Commentary 記事¹⁰では、緻密な解析を行う

ことで、気候変動によって生じた費用の賠償を求める訴訟が可能となると論じられている。こうした「帰属研究」の登場によって、気候変動の影響を緩和し、影響に適応し、それによって生じた費用を最終的に負担する方法を決める国際的な話し合いの流れが大きく影響を受けるかもしれないのだ。 ■

スイス連邦工科大学大気気候学研究所、Christoph Schär
ドイツ気象台、Gerd Jendritzky

1. Black, E., Blackburn, M., Harrison, G., Hoskins, B. J. & Methven, J. *Weather* 59, 217-223 (2004).
2. Luterbacher, J. et al. *Science* 303, 1499-1503 (2004).
3. Schär, C. et al. *Nature* 427, 332-336 (2004).
4. Stott, P. A., Stone, D. A. & Allen, M. R. *Nature* 432, 610-614 (2004).
5. Pal, J. S., Giorgi, F. & Bi, X. *Geophys. Res. Lett.* 31, L13202 (2004).
6. Meehl, G. A. & Tebaldi, C. *Science* 305, 994-997 (2004).
7. Hegerl, G. C. et al. *J. Clim.* 9, 2281-2306 (1996).
8. Mitchell, J. F. B. et al. in *Climate Change 2001: The Scientific Basis* (eds Houghton, J. T. et al.) 605-738 (Cambridge Univ. Press, 2001).
9. Christensen, J. H. & Christensen, O. B. *Nature* 421, 805-806 (2002).
10. Allen, M. R. & Lord, R. *Nature* 432, 551-552 (2004).
11. International Federation of Red Cross and Red Crescent Disasters Report www.ifrc.org/publicat/wdr2004/chapter2.asp
12. Hémon, D. & Jouglu, E. *Surmortalité liée à la canicule d'août 2003* (INSERM, Paris, 2004); www.inserm.fr
13. Koppe, C. & Jendritzky, G. in *Gesundheitliche Auswirkungen der Hitzewelle im August 2003* (Sozialministerium Baden-Württemberg, Stuttgart, 2004); www.gesundheit-bw.de/download/bericht_gesundh_auswirkungen.pdf

コラム 熱波の爪あと

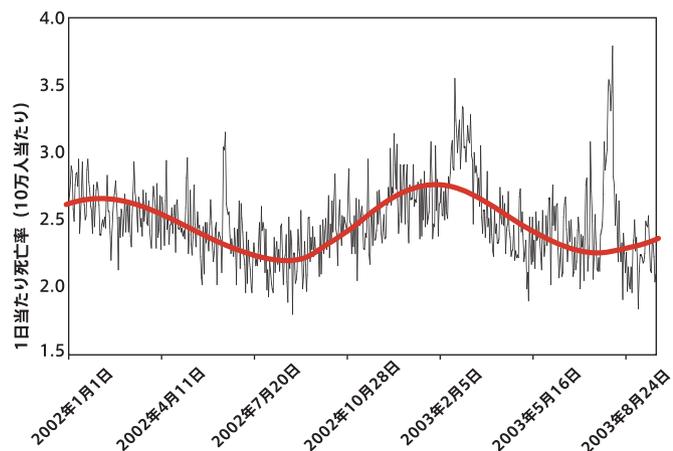
再保険会社の推計によれば、2003年夏の干ばつによって、約123億米ドル(1兆2,900億円)相当の(無保険)作物が被害を受け、ポルトガルの山火事では、さらに16億米ドル(約1,700億円)の損害が発生した。電力需要の増大に対して、ヨーロッパの電力市場は迷走した。冷却水不足により発電所は発電量カットに追い込まれ、電力のスポット価格は1メガワット時当たり100ユーロ(約14,000円)を超えた。アルプス山脈では、多くの氷河が史上最高の溶解量を記録し、永久凍土層の溶解によって一連の大量落石が起こった。

しかしトップニュースを飾ったのは、8月1~15日に亡くなった人々の、異常に多い数だった。平均死亡率に対する統計的超過をもとになされた推定によれば、ヨーロッパ全体で猛暑の関連による死者数は22,000~35,000人にのぼるとされている¹¹。フランスでは、この2週間における死亡率が通常の54%増となり、フランス国内の22地域すべてと45歳超

の年齢層すべてで、死亡率増加に統計的有意性があった¹²。

図は、参考文献13から再作成されたもので、バーデンヴェルテンベルク(独)での2ヶ月間における1日当たり死亡率が示され、ここには熱波のあった2003年8月も含まれている。1日当たり死者総数のデータは黒で示され、平均季節変動が赤で示されている。注目すべき特徴は

その季節サイクルで、死亡率は冬に高くなっている。暑さと関係する死者は2002年6月にピークがあり、インフルエンザの大流行の影響は2003年2~3月に見られる。そして著しく高いピークが2003年8月に見られる。これが熱波の影響で、人口1,070万人に対して通常よりも900~1,300人も多くの人々が命を落としたのだった。 C.S. & G.J.



RNA干渉法で コレステロール値を下げる

A cholesterol connection in RNAi

John J. Rossi



RNA干渉、略してRNAiは疾病関連遺伝子の発現抑制に役立つ可能性があるが、その進展を妨げているのは標的への送達の問題である。こうした問題が、少なくとも動物実験では解決されたようだ。

Nature 432 (155-156)/ 11 November 2004

Nature 2004年11月11日号のp. 173でSoutschekたち¹が、治療に役立つ重要なメッセンジャーRNA (mRNA)分子を標的として、低分子干渉RNA (siRNA)と呼ばれる核酸を静脈内経路で送達するための単純だが有効な方法を報告している。mRNAは遺伝子の発現に必要な一段階であり、遺伝子とタンパク質の仲立ちをする。siRNAは長さが21～23塩基の二重鎖RNAであり、鎖の1本はタンパク質複合体に組み込まれる。この小さいRNA分子が案内役となってmRNAにある相補的塩基配列を見つけ出し、タンパク質複合体によるmRNAの切断を引き起こしたり(図1)、あるいはそのmRNAがタンパク質に翻訳されるのを阻害したり²⁻⁵する。その結果、これをコードする遺伝子は発現抑制(サイレンシング)を受ける。この方法はヒトの疾患関連遺伝子の抑制に使えるのではないかと期待されており、Soutschekたちのマウスを使った研究の成果でこの夢が実現に一歩近づいた。

1970年代の後半、核酸の相補的配列どうしの特異的な結合を利用して、目的とする遺伝子の発現を抑制する因子を作り出せることが初めて示された⁶。この成果は、研究者が現在「アンチセンスを使った遺伝子発現の抑制」と呼ぶ分野の登場を告げるものだった。この分野の初期の研究で使われていたのは化学合成されたDNA鎖で、相補的塩基対の形成によって標的mRNAに選択的に結合し、リボヌクレアーゼHと呼ばれる細胞内酵素を介して目的のmRNAを切断するように設計された。

こうしたアンチセンス機構は、2本の核酸を選択的に結合させられることから、ウイルス起源であっても非ウイルス起源であっても有害な遺伝子の特異的に発現抑制できる高度な選択性をもった薬剤につながるのではない

かという見方が出てきた。この見方に大きな追い風となったのが、細菌以外のほぼすべての生物に、天然のアンチセンス機構であるRNA干渉(RNAi)が存在するという発見だった⁷。RNAiでは、siRNAは長い二重鎖の前駆分子から酵素に切断されることで天然に作られる。これが案内役となって、RNA誘導型サイレンシング複合体(RISC; 図1)というタンパク質複合体によって標的mRNAが切断(もしくは翻訳を抑制)される。その後、化学合成されたsiRNAを脂質との複合体の形で培養条件下のヒト細胞に送り込むと、相補的mRNAの配列特異的な発現抑制を引き起こせることがわかり⁸⁻¹⁰、RNAiに秘められた可能性をめぐり興奮は一段と高まった。

科学界も投資家たちもすぐに、これらの発見に目をつけた。この強力な細胞内機構は特定の細菌だけに効く薬剤を作るのに利用できそうなこと、そして、おそらくは応用の面でも市場価値についても、DNAを使った従来のアンチセンス技術に勝りそうなことに気づいた。だが、問題が1つあった。培養細胞でsiRNAが有効なことには疑いの余地がなかったが、こうした二重鎖RNAを生体内の組織へ効率よく送り届けることがなかなかできなかったのだ。糖とリン酸からなる主鎖に選択的に化学的修飾をした合成の低分子DNAは、静脈に注射するだけで生体内の組織や細胞に届く。ところがsiRNAは、施せる修飾の種類が少なく、組織に容易に取り込まれない。しかもヌクレアーゼという血中酵素に分解されやすい。

この送達の問題に対して今回Soutschekたち¹が、かなり単純な解決法を編み出した。彼らが標的に選んだのは、コレステロール代謝に関与するアポリポタンパク質Bという分子をコードするmRNAだった。ヒト

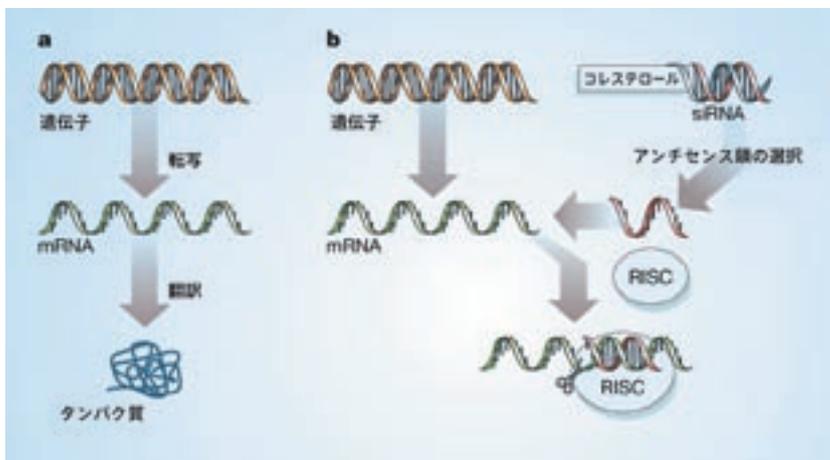


図 1 : RNAi が遺伝子の発現を抑制するしくみ。a、発現すべき遺伝子はその DNA 塩基配列がメッセージ RNA (mRNA) に転写され、これが次にタンパク質のアミノ酸配列に翻訳される。b、RNAi は、mRNA を破壊する(下)か、もしくは mRNA が翻訳されるのを妨げる(図示していない)ことにより働く。RNAi の一般的な手法に手を加えた Soutschek たち¹の方法では、低分子干渉 RNA (siRNA) を合成して化学的に修飾し、「センス」鎖(青色)をコレステロールで標識する。次に siRNA をマウスの静脈に注射すると、siRNA はコレステロール基があるおかげで組織に取り込まれる。組織に入るとセンス鎖が内在性の RNAi 機構によって破壊され、アンチセンス鎖(赤色)は標的 mRNA の相補的塩基配列に結合したままになる。RNA 誘導型サイレンシング複合体 (RISC) というタンパク質複合体が動員されて、この mRNA は切断される。

では、このタンパク質の血中濃度はコレステロール値と相関しており、両者の値が高くなるほど冠動脈性心疾患のリスクが高まる。

Soutschek たちは、アポリポタンパク質 B の mRNA を標的にする複数の長さの siRNA を合成した。これらの siRNA には選択的に安定化する修飾が施されており、センス鎖 RNA の末端ヒドロキシル基にはコレステロール基が化学的に架橋して連結している。この siRNA - コレステロール複合体をマウスの静脈内に注射したところ、肝臓や空腸(小腸の一部)、心臓、腎臓、肺、脂肪組織など何カ所かの組織に取り込まれた。ここで肝心なのは、siRNA がアポリポタンパク質 B の mRNA 量を肝臓で 50%以上、空腸で 70%も効果的に減少させた点だ。この mRNA 量減少の結果、血中コレステロール値はアポリポタンパク質 B 遺伝子を欠失したマウスに匹敵する値まで低下した。

この研究成果の優れた点は、送達方法が比較的簡単なことである。このシステムには高価な脂質複合体や他の高分子担体を必要とせず、DNA 二重鎖 1 本につきわずか 1 つのコレステロール複合体ですむ。このコレステロール基も、著者たちの成功の鍵となった。コレステロールがなければ、siRNA に化学的修飾を施して血中ヌクレアーゼ酵素に抵抗性をもたせても、組織へ送達されることはなかった。コレステロールの起用が細胞による siRNA の取り込みを助けたのである。

Soutschek たちは、siRNA が RISC の関与する mRNA の切断を介して機能していたことを実証するために、mRNA が切断される箇所も突き止めた。切断が起こったのは、siRNA の片方の端(5'末端)から 10 塩基目に対応する箇所、これはまさしく RISC で切断されることが知られる箇所¹¹だった。しかも、この切断でできた産物は、機能的な siRNA - コレステロール複合体を投与した動物から採取した RNA にしか見られなかった。

確かに Soutschek たちのあげた成果は大いに励みになる。だが、この方法をヒトに応用する前に取り組むべき問題は多い。たとえばヒトの高コレステロール血症の治療では、コレステロール降下剤を一生使う必要も出てくる。しかし長期にわたって siRNA で治療した場合に何が起こるかかわからないし、得られる恩恵がいかなるリスクにも勝るかどうかもわからない。もう 1 つの起こりうる問題は、望む効果を得るのに必要な用量である。マウスのデータをヒトに転用すると、通常の注射でグラム単位の siRNA - コレステロール複合体が必要となり、これではあまりに高価になってしまう。こうした懸念はあるものの、RNAi の発見と作用機構の報告からわずか数年で、疾患治療に役立ちそうな方法が報告されたのは嬉しい驚きである。これと比べて、アンチセンス DNA が同じような期待をもたれるまでには優に 10 年以上かかった。今回のコレステロール複合体法が他の疾患関連遺伝子の発現抑制にも使えるかどうか、今後さらに動物モデルでの研究が待たれる。もし証明されれば、RNAi の利用に大変革がもたらされるはずだ。

ベックマン研究所生物科学大学院分子生物学部門、

John J. Rossi

1. Soutschek, J. et al. 432, 173-178 (2004).
2. Novina, C. D. & Sharp, P. A. Nature 430, 161-164 (2004).
3. Mello, C. C. & Conte, D. Jr Nature 431, 338-342 (2004).
4. Hannon, G. J. & Rossi, J. J. Nature 431, 371-378 (2004).
5. Tuschl, T. & Borkhardt, A. Mol. Interv. 2, 158-167 (2002).
6. Zamecnik, P. C. & Stephenson, M. L. Proc. Natl Acad. Sci. USA 75, 280-284 (1978).
7. Fire, A. et al. Nature 391, 806-811 (1998).
8. Elbashir, S. M. et al. Nature 411, 494-498 (2001).
9. Elbashir, S. M., Lendeckel, W. & Tuschl, T. Genes Dev. 15, 188-200 (2001).
10. Caplen, N. J., Parrish, S., Imani, F., Fire, A. & Morgan, R. A. Proc. Natl Acad. Sci. USA 98, 9742-9747 (2001).
11. Schwarz, D. S., Tomari, Y. & Zamore, P. D. Curr. Biol. 14, 787-791 (2004).

人間の限界を超えた 機能を持つロボット をデザインする

東京大学情報理工学系研究科システム情報学 石川正俊教授

イチロー選手のメジャーリーグ最多安打更新に沸いた今年の野球界だが、日本にはすでに10割バッターが登場していた！ とはいっても、これはロボットの話。東京大学大学院情報理工学系研究科の石川正俊教授らのグループが開発した、高速バッティング・ロボットだ。

野球のボールがマウンドからホームベースに届くまでは0.2秒、バッターの脳が判断してバッティングの動作を始め、打つ瞬間までには0.2秒以上かかるといわれる。つまり、バッターは今までの記憶による学習を頼りに、このあたりに来るのではないかと予測してバットをコントロールしている。

しかし、このバッティング・ロボットは、ボールの軌跡を確実に捉え、それによってバットとなるアーム部分を動かす。変化球にも対応し、ストライク・ゾーンも変更できる。

バッティングには、ボールを見る＝目、その情報を処理する＝脳、バットを振る＝筋肉という3つの機能の連動が必要になる。「人間はそれぞれの動きの速度が調和しているため、バッティングができる。しかし、ロボットにバッティングをさせるとなると、目となるセンサー、脳となるコンピューター、筋肉となるアクチュエーターの情報処理速度がバラバラだった。ロボットの能力は人間よりも高いので、この調和が取れば高性能のバッティング・ロボットができると考えた」と石川教授。

とくに遅れていたのが、センサーだった。石川教授らは光を感知し、その情報を処理する「ビジョン・チップ」を15年かけて完成させた。デジタル情報処理にこだわり、それまでは人間と同じ30Hzだった処理速度を1000Hzまで上げ、実用化したのだ。これは毎秒1000画像を処理するということで、バッティング・ロボットは1ミリ秒ごとにボールの位置を認識し、アーム部分をコントロールしている。

アクチュエーターとなるアーム部分と脳となるコンピューターは既製品を導入、「調和を取るのに足りない部分



多関節マニピュレータを用いた高速打撃動作

http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/movies/fusion_movies-j.html

＝視覚」の研究に注力した。「アーム部分を開発したアメリカの技術者が、こんな使い方は全く想定していなかったと喜んでくれた」と笑う。

この技術は、従来のロボットができなかった、製品の動きを止めずに作業するという、動いているものへの働きかけを可能にし、環境の変化にも対応する。

「一つずつの機能を考えると、ロボットの能力は人間よりも高い。だから人間と同じことができることを目標にするのではなく、人間よりも高い能力を統合した性能を追求できる。将来、人間が行っている作業を高性能のロボットが肩替わりできれば、労働賃金の低い国に建てられた日本企業の工場が日本に戻ってくるなど、産業構造が変わる可能性もある」と石川教授。

今後の研究テーマの一つは、五感を工学的に実現し、融合するセンサフュージョンだ。また、高速視覚情報処理に基いた制御を行うビジュアルフィードバックや、人間の視覚のように完全並列構造を持つ超並列・超高速ビジョンチップの開発も行う。光デバイスと電子デバイスを融合した光電子ハイブリッド並列情報処理技術も研究する。

大学院の授業では、「ロボットに何ができればおもしろいか」をブレインストーミングするなど、自由な発想を大切にしている。「学生たちには、自分でテーマを見つけるまでは他人が書いた論文を読むなどと言っている。教科書の知識は必要だが、それは今あるいは過去の時点で正しいとされることであり、独創的な研究をするためには、それだけでは足りない。自分で理論を構築し、その理論とバランスの取れたデザインが結びついてこそ、新しいものができあがる」と石川教授は言う。

今後、石川教授のもとから、どんなロボットが登場し、私たちに何をもたらしてくれるのか、とても楽しみだ。

小島あゆみ / サイエンスライター

<http://www.naturejpn.com/jobs/tokusyu/041125-2.php>

結果に学ぶ

ポストゲノムのいま、国際ヒトゲノム計画をめぐる結果を振り返って日本が考えるべきこと。

Nature Vol.433(107-108)/13 January 2005

「ゲノム敗北 知財立国日本が危ない！」

岸 宣仁 著

ダイヤモンド社 2004年発行、374ページ

2,000円+税

1970年代、一人の有力な日本人科学者・和田昭允が高速DNA塩基配列解読法を開発するアイデアを誰よりも早く考えついた。にもかかわらずヒトゲノム配列が2001年に発表された時、その貢献度は米国の59%、英国の31%に比べ、日本はわずか6%。「ゲノム敗北」で岸宣仁（前読売新聞記者、現在は日本経済や知的財産権、産業競争力などを専門とするジャーナリスト）がその理由を解析している。

本書は和田昭允・元東大教授の経歴を追う形で展開する。和田は1975年にDNA配列の高速自動解読装置開発のアイデアを思い付き、1979年、その開発プロジェクトを立ち上げようとした。しかし、科学者からも官僚からも強い抵抗をうけ、和田が最終的に政府の承認を得て、DNA配列自動解読装置開発の国家プロジェクト（いわゆる和田プロジェクト）の立ち上げ責任者となったのは1981年のことだった。和田は奇人・変人と見なされ、学者仲間からも官僚からも疎外された。彼の遠大な構想を理解する先見の明を持つ者がいない中、1989年に和田は自らが考案したプロジェクトの推進役から外されてしまう。

和田の他にも二人の日本人科学者が、ヒトゲノムプロジェクト成功に欠かせない技術を考案した。その1人、伏見譲の「四色蛍光標識法」は従来の方法より格段に優れたものであった。ところが、伏見の特許出願は係官から「待った」がかかってしまう。彼の研究は国家の研究予算を使ったものであり、したがって特許は国家に帰属するというのがその理由だった。もう一人、日立の神原秀記は米科学誌*Science*に、カナダのNorm Dovichiと共にゲノム・プロジェクトの「UNSUNG HERO（影の英雄）」と紹介されている。神原はシースフロー方式によるマルチキャピラリーアレイ型DNA分析装置を発明した。この神原の装置とパークインエルマーが開発した蛍光標識法を組み合わせた形で、米アプライド・バイオシステムズ社（ABI）が高速

解読装置を製品化し、ヒトゲノム配列の解読は急速に終了されることとなった。

和田がDNAの自動解読装置の国家プロジェクトを率いていたのは、ちょうど日米が貿易摩擦でいがみ合っていた時期だった。その時流の中に和田の先導的プロジェクトは巻き込まれた形になり、DNA配列解読を機械化しようという彼の提案は、米国側の科学者たちには技術的に優位に立つ日本からの脅威と映ったようだ。実際には、最初に商品化されたDNA解読装置は1986年にABIが製造したリロイ・フッドの四色蛍光標識法を用いたものだった。

アメリカ国内でヒトゲノム配列の解読プロジェクトにはずみがついてきたころ、ジェームズ・ワトソンは当初、国際協力を念頭において、日本政府からの資金提供を要請した。だが最終的に、ワトソンは必要な研究費すべてを米政府から獲得することになる。ゲノム・プロジェクトへの米国の総支出は計2,700億円、対する日本はわずか120億円だった。外国からの典型的な評にあるように、この場合も日本の官僚の対応は「あまりに小出しで、遅きに失する（too little, too late）」ものであり、これがワトソンを激怒させたという。

「ゲノム敗北」の中で著者は、日本の科学界の組織構造と慣行がいかにして新しい概念の開発と発展を阻むものであるかを記していく。たとえば、国家の戦略的科学的政策を司る政策決定機関がない。行政機構が縦割りで、官僚は自分たちの限られた領域内だけで仕事をする。そして科学界の勢力構造は、自分たちの既得権を守りがちになるようできている。さらによく言われることがある。つまり、日本での大きな変化は、「外圧」がかかってやむを得ない場合にのみ起きるという点である。

そして岸は、状況は変わりつつあるのかどうか問う。本書の後半では、ポストゲノムの時代に入った日本で現在どのような研究が進められているかが記述されており、3,000種のタンパク質の立体構造を決定しようとする「タンパク3000」プロジェクト、マウスの遺伝子すべての完全長cDNAからなる「遺伝子エンサイクロペディア」プロジェクトなどを伝える。進取の気性に富んだ新しいタイプの科学者やビジネスマンの存在

が、自らの歩むべき道をわきまえた、もっと競争力ある日本へと変革させるかもしれない。

日本はゲノム解読における「敗北」から何を学ぶべきか？ 本書は日本社会に根付く弱点を指摘しており、日本が変化にもっと速くかつ柔軟に対応し、しかも競争力を高めるために何をすべきか、その具体策について考えさせられる。著者は、日本の風土にある何らかの要素が独創性や創造意欲の芽を摘んでいるという。

和田は奇人・変人と呼ばれたが、独創的な人間はおおむねそうなのだ。ゲノム解析の手法を大胆に変え、NIHのゲノム解読の完了予定時期を一気に数年間前倒しさせるきっかけとなったクレイグ・ベンターも一部から異端児と見られているものの、彼は米国では広く賞賛されている。日本は伝統的な保守主義を乗り越え、これらの個性豊かな人材と共存し、かつ彼らを尊重できるようにならなければならないと私は考える。いつものことだが、独創的な人間やその業績は、西欧社会が評価してはじめて日本国内でも認められ、理解されていくのが現状である。しかし最近では、このような日本社会の欠点を正そうという試みもでてきた。たとえば、国家の科学・技術政策を統括するために総合科学技術会議が内閣府に設立された。さらに、知的財産を守る目的で採られはじめた方策も効果を発揮しつつある。

ゲノム・プロジェクトが最初に提案された時、日米両国内で強い反対の声があがった。米国内での反対の声は、おそらくワトソンの強い指導力もあって間もなく少数派になったものの、日本では反対派が長い間、根強く残った。リスクを犯して何かをしようとする際に逡巡するのは、何も日本に限ったことではないし、日本の官僚が用心深すぎると批判するだけでは解決にならない。ただ、早急に行政で働く科学者の数を増やす必要があるのは確かなようだ。また、国家に対しての科学界の説明責任をより認識する一方、同時にもっと開かれた科学界になり、さらに各分野における新たな進展にすばやく対応できるような体制へと進化するにはどうすべきであろうか？

筆者の個人的な経験からしても、新しい研究分野への新規予算が提案されると、科学界の多数から既得権を守るために反対の声があがるのが常である。しかし

一旦官僚や政治家が提案の重要性を認識し、予算獲得に乗り出すと、関係者の多数は提案支持にまわってしまう。そしてその後が続くのは、プロジェクトの如何にかかわらず、また関係者が誰にかかわらず常に同じこと。つまり現状維持である。長年変わらぬ、科学界と官僚を巻き込んだ勢力構造が維持され、権力を手中にした者が研究費の配分をコントロールし続けるのだ。体制にかかわる人間の交代があるとはいえ、後継者はこの慣習に従う者の中から選任される。そしてこの基本構造は、今日まで大きく変化することなく続いている。

どうすれば変わるだろうか。ノーベル賞受賞者、野依良治・理化学研究所理事長は、独立して研究活動を行い、国内外の科学者と交流できるような、もっと若くて有能な科学者が育つよう、日本の大学院レベルの教育を大幅に改善すべきだと言う。もっとオープンで国際的な日本にするためには、海外からさらに多くの若い科学者を日本の教育・研究機関に受け入れることも必要であろう。

本書の主題は、日本がもっと競争力を養う必要があるという警告である。本書では日本社会のシステムが持つ多数の短所が描かれ、読者はその言い分の正当性に、ついなるほどと思わされてしまう。日本の生き残りは、科学と技術に基づく知財立国を築くための知的財産の蓄積にかかっていると著者は警告を発する。しかしながら、科学の知識というものは人類全体によって共有されるべきものだろう。本書では、国際競争力を和らげる必要性や、また、国際的対立ではなく国際協力を育むような方策についての視点を欠く。これからの日本が国際的な舞台、特にアジアの中で演じるべき役割についての具体的な提案にも触れられていない。とはいえ、これらの批判をふまえてなお、本書が日本の科学界に大きなインパクトを与えるものであることは確かである。

シンガポール分子細胞生物学研究所、教授、主任研究員

シンガポール大学医学部腫瘍学研究所、所長

伊藤嘉明