

nature DIGEST

日本語編集版

MAY 2006

VOL. 03, NO. 5

5

<http://www.naturejpn.com/digest>

2020 年 コンピューターと科学

2020 年 コンピューターと科学

5月号表紙：月本佳代美
4月号表紙：月本佳代美

HIGHLIGHTS

- 02** vol. 440 no. 7083, 7084, 7085, 7086

EDITORIAL

- 04** 10周年を迎えたアストロバイオロジー

NEWS@NATURE.COM

- 05** 原子核物理学者が核融合エネルギーの経済性を批判

- 06** 靴箱サイズのスキャナーで隠されたドラッグを見つける

- 07** 睡眠についての目が覚めるような報告

2020 COMPUTING SPECIAL

NEWS FEATURE

- 08** 量子コンピューターはすぐそこに？

Philip Ball

- 12** 科学計算における画期的事件

Jacqueline Ruttimann

- 14** あらゆる場所の、あらゆるものに

Declan Butler

NEWS

- 18** ロンドンの惨事と「スーパー抗体」

Michael Hopkin

JAPAN NEWS FEATURE

- 21** 非コード RNA に注がれる熱い思い

西村尚子

BUSINESS NEWS

- 24** ベル研究所の改革の行方

Geoff Brumfiel

英語でNATURE

- 26** Chemistry: Perkin, the mauve maker

化学：パーキンが作ったモープ染料

NATURE GALLERY

- 28** 虫たちの見事なカムフラージュ

海野和男

発行人：デービッド・スウィンバンク
編集：北原逸美
デザイン／制作：村上武
広告：浅見りの子
マーケティング：吉原聖豪

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

©2006 NPG Nature Asia-Pacific



nature
DIGEST

05 volume 3 no.05
May
www.naturejpn.com/digest

© 2006 年 NPG Nature Asia-Pacific
掲載記事の無断転載を禁じます。

メタン生成菌の最古の証拠**The oldest evidence of methane makers**

メタン生成菌（メタンを生成する微生物）は地球に最も古くから存在する生命体の1つであると考えられている。しかし、それが初めて出現した時期は正確にはわかっていなかった。今から38～25億年前の始生代に存在していたという仮説を支持する地質学的な直接証拠を誰も見つけることができなかったのである。

しかし、上野雄一郎たちはあきらめずに研究を続け、西オーストラリアのビルバラ地塊で得られた約35億年前の熱水沈殿にメタンを含んだ流体包有物が存在するという証拠を発見した。そして炭素同位体組成により、このメタンが微生物起源であることが示された。

これは、メタン細菌の存在を示す最も古い証拠であり、これまでの地球化学的な状況証拠より約7億年もさかのぼる。微生物起源のメタンは、十分な量の温室効果ガスを供給して極寒の条件を軽減していた可能性があり、始生代の地球の気候を調節する上で重要であった可能性がある。

23 March 2006 Vol. 440/Issue 7083

Letter p.516, N&V p.426 参照

2020年の予想図：コンピューターは科学研究の様相をどのように変化させる？**2020 VISION: how computers will change the face of science**

今週号には、2020年を目安として取り上げて科学研究とコンピューターの将来について論じる特集が掲載されている。コンピューター業界の進歩の速度を一応の指標にするならば、15年以内にナノ回路が実現するだろう。そして、2020年には、ごく最近までまったく考えられなかったような事態、つまり量子コンピューターの実用化が可能になりそう



うだ。もう1つの今にも起こりそうな技術革命が「スマートダスト」、つまりどんな場所でも環境内のあらゆるものを監視できる微小センサーである。S Muggleton はオートメーション化によって得られるデータから思いがけない大当たりが出る可能性を歓迎しながらも、科学は本質的に人間活動の1つであり、進歩には危険がつきものだとも論じている。SF小説家としてヒューゴー賞を受賞したV Vingeは、我々にはほぼ想像もできないような未来像について思量している。A SzalayとJ Grayは、単一の研究グループがデータハンドリングから得られるものは最大限界に近づきつつあると述べている。R

BrentとJ Bruckは、コンピューター科学が生物学研究に寄与できるものが何かを問い、I Fosterは科学とコンピューターの間の双方向的な関係について論評している。

23 March 2006 Vol. 440/Issue 7083

Editorial p.383, News Feature p.398, 402, Commentary p.409 参照

「頭のいい」子を作るのは何？**What makes kids "brainy"?**

知能と脳の大きさの関係の探究には長い歴史があり、論争が続いている。米国の神経科学者たちからの今回の報告で、この議論が新たな方向に向かいそうだ。小児期・青年期に起こる脳の形態変化と知能の間には関連があり、能力の高い子どものほうが、この形態変化が顕著に現れることが明らかになったのである。

P Shawたちは307人の子どもについて、小児期から成人に達するまでの成長期間に、脳を磁気共鳴画像法（MRI）を用いて数回調べた。すると、知能の高い子どもでは皮質の特定の部分が7～11歳にかけて厚くなり、その後10代の間に薄くなるという独特な変化パターンがみられた。同様の変化はほかの一部の子どもでもみられたが、知能が非常に高いグループのほうが変化が顕著だった。知能は、言語知識、非言語知識、論理的思考のテストで測定した。

今回の結果が示すように、知能と関連があるのは脳の全質量ではなく、青年期に脳がどのように変化するかだとShawたちは述べている。「頭のいい」子どもは、単にある年齢のときに脳の灰白質が多いか少ないかだけによって賢くなるわけではないのだという。知能はむしろ、皮質の成熟の動的性質に関連しているらしい。

30 March 2006 Vol. 440/Issue 7084

Letter p.676, N&V p.619 参照

結晶のいない結晶学**Crystallography without crystals**

非結晶原子クラスター中のどこに原子があるかを計算する方法が今週号に報告されている。

結晶中の原子の位置はX線結晶学によって調べることができるが、非結晶材料の原子構造の解明は困難である。一般的に、材料全体にわたって原子配列が周期的である、つまり何度も繰り返されている場合にのみ、材料の構造をX線または中性子線を用いて詳しく調べ、原子位置の精密かつ正確な情報を得ることができる。しかし今日、化学や材料科学、技術の分野で関心が集まりつつある「ナノ構造」材料では、原子が集まってわずか数～数百ナノメートルの単位を形成しているため、周期性がみられない。

S Billingeたちは、そのようなナノ構造から得られるX線または中性子線の散乱パ

ターンに、原子の位置の解明に必要な全情報の形跡が含まれている可能性を示している。Billingeたちは、最初の推測が大雑把で、わかるのはナノスケール原子クラスター中で数個の原子の存在場所だけという場合でも、散乱データによって徐々に確かな推測へと「導く」ことができ、最終的には原子スケールの構造を一意的に示すことが可能な方法を示している。この方法では、候補となる構造の「リーグ表」が作成され、計算の進行にともなって常時更新される。リーグ戦を戦うサッカーチームのように、優秀な候補は昇格し、芳しくない候補は降格されるのだ。Billingeたちはこの方法をスペインのサッカーリーグの名称であるLa LigaにちなんでLiga アルゴリズムと名づけている。

30 March 2006 Vol. 440/Issue 7084

Letter p.655, N&V p.618 参照

銀河の旅路：銀河形成の高分解能モデル**GALACTIC VOYAGE: A high-resolution model of galaxy formation**

銀河は、ガスと星の塊が次々に集まって形成され、超新星爆発によって重元素の増加が繰り返り起こることにより進化すると考えられている。遠方において高い赤方偏移を示し、130億年前の状態がみられている不規則銀河と、現在の銀河との関係は明らかではない。しかし今回、超高分解能の数値シミュレーションで、初期の不規則銀河の形成と楕円銀河への進化をモデル化することに成功した。このモデルでは、10億年後にはこの銀河が「ライマンブレイク」

銀河に似るようになり、重元素の存在比が既に太陽のものと同程度になっていることが示されている。そして、100億年にわたって無衝突過程が続いた後に楕円銀河へと進化する。表紙は銀河進化の初期段階で、形成後3億年後の姿である。ほぼこの時期に、たび重なる超新星爆発が星形成を誘発し、ガスの一部が宇宙空間に放出される。

30 March 2006 Vol. 440/Issue 7084

Letter p. 644, www.nature.com/podcast 参照

**スプレー塗布で半導体チップが作れる液体状シリコン****Liquid silicon for spray-on chips**

今回新たに報告されたシリコンデバイスの作製法により、多くのエネルギーを必要とし、コストがかさむプロセス方法は過去のものとなるかもしれない。今週号で古沢昌宏たちは、マイクロエレクトロニクスに十分応用可能な品質の結晶シリコン膜を、「液体シリコン」

※「今週号」とは当該号を示します。

のようなものから作製する方法について述べている。この液体状シリコンは、高速回転させた表面上に滴下して薄く延ばしたり、あるいはインクジェットプリンターから吐出させることで表面上に塗布できる。

シリコンチップ上にマイクロエレクトロニクスデバイスを作製するのはハイテクな作業で、極めて毒性が高い化学物質を扱う実験室と同程度の清浄さに保たれた場所で行われる。シリコンなどの半導体の層は通常、高真空中でチップ上に蒸着され、極微量の汚染ガスやちりがあれば半導体層は使い物にならなくなってしまう。

古沢たちのシリコン「ソフトプロセス技術」は、高真空・高温、あるいは超清浄な環境は必要としない。このプロセスからは平坦な微結晶がモザイク状に並んだ、いわゆる多結晶シリコンができる。その電気特性は、コストがかさむ従来の方法によって作製した多結晶シリコン薄膜に匹敵する。

今回使われた「液体状シリコン」は、実際には、シリコン原子が短い鎖状に結合し、水素原子にキャップされた分子からなるポリシラン系物質である。この物質の合成には、5個のシリコン原子が環状に結合したシクロペンタシラン分子が出発物質として使われた。この液体化合物に紫外光を照射すると環のいくつかが開裂し、鎖がつながってより長くなる。次にこの混合液体をトルエンなどの有機溶媒で希釈し、それを表面上に薄く延ばすか、スプレーで塗布する。この液体膜を 500℃ 付近でバークすると、膜が多結晶シリコンに転換されるのである。

6 April 2006 Vol. 440/Issue 7085

Letter p.783 参照

ひれが四肢になった時期：魚類から四肢動物への移行期の化石

WHEN FINS BECAME LIMBS: A fossil at the fish-to-tetrapod transition

魚類から四肢動物（肢のある脊椎動物）への移行は 3 億 7000 年以上前に起こったが、それにはほぼ全身にわたる変化が必要だった。話題となった化石の発見や既存の化石の再解釈から、四肢動物への移行に関する見方にはこの 20 年で大きな変化もたらされた。しかし、魚類から四肢動物になるちょうどその移行期のような、今もってつかめていない。その年代の化石は不完全だったり保存状態が悪かったりすることが多いからである。だが今回、状況は大きく変わった。カナダのデボン紀後期層から、ほぼ完全な移行期の、見事な新種化石がそっくり保存されて見



つかったのだ。この化石はひれのある魚類だが、そのひれは腕や手のように曲げ伸ばしができた。また、肋骨は四肢動物のものに似ており、動かせる首や手関節があった。表紙は、浅い海に生息していたとみられるこの魚類の今回発見された化石が、流木の下に見えるようにすを表したものだ。

6 April 2006 Vol. 440/Issue 7085

Articles pp.757, 764, N&V p.747,

www.nature.com/podcast 参照

抗マラリア薬生産を生物工学が後押し？ Bio-engineering could fuel antimalarial drug production

化学工学と生物工学の技術を用い、抗マラリア薬アルテミシニンの前駆体となる化合物を産生する酵母株が作られた。この進歩によって、有効性の高いアルテミシニンを効率よく安価に大量生産できるようになるかもしれない。

マラリアによる死者は毎年 100 万人を超えており、アルテミシニンは多剤耐性のマラリア原虫に感染した患者の治療の選択薬となっている。アルテミシニンは現在、クソニンジン（*Artemisia annua*）とよばれるキク科植物から抽出されているが、供給量が限られているため高価で、発展途上国の多くのマラリア患者の治療に使用することは現状では不可能である。

今回、J Keasling たちはこの問題を解決する道を開いた。出芽酵母がもつ生合成経路に手を加え、クソニンジン由来の 2 個の遺伝子を導入することによって、アルテミシニンの前駆体であるアルテミシニク酸を大量生産できる酵母を作り出したのである。ほんの数段階の化学反応でこの前駆体をアルテミシニンに変換できることは既に知られており、Keasling たちは、この方法を最適化しスケールアップすることさえできれば、アルテミシニン合成のコストを下げ、多くの患者の命を救うのに役立つだろうと期待している。

13 April 2006 Vol. 440/Issue 7086

Letter p.940 参照

「予想外の」微生物同盟が見つかった The "impossible" microbes

オランダの運河から、生物学では予想もされなかったライフスタイルを協力して営む、2 種類の微生物からなるタッグチームが見つかった。細菌の一種と古細菌の一種からなるこのコンビは、酸素のない状況でメタンを酸化しており、農業排水の主成分である硝酸塩を分解することによってこうした離れ業を成功させている。

M Strous 率いる生態学グループは、オランダの Twentekanaal という酸素の欠乏した水路で、この仲良しコンビを偶然発見した。このような代謝生活がこれまでまったく無視

されてきたのは、熱力学的な理由からではない。単に、誰もこんなやり方を実際に見たことがなかっただけのことである。

この微生物は、どちらもこれまで命名されていない生物種に属し、実験室で培養されたこともなかった。しかし世界各地の酸素の不足した淡水中に同じような生物が存在することから、施肥した農地から排出される硝酸塩の地球規模での循環には、このようなライフスタイルが大きく寄与しているものと思われる。

13 April 2006 Vol. 440/Issue 7086

Letters p.918, N&V p.878 参照

苦味感受性の進化：チンパンジーとヒトでの味覚感受性

CHANGE FOR BITTER: Taste sensitivity in chimpanzees and humans

苦味を感じ取る能力は、食物に含まれる毒を察知するために極めて重要である。フェニルチオカルバミド (PTC) は、ヒト個人の遺伝的素因によって非常に苦く感じたり味をほとんど感じなかったりするという点で、特異な物質である。既に古典となった、1939 年の *Nature* 掲載論文で R A Fisher, E B Ford, J S Huxley は、チンパンジーにも PTC 味覚感受性の個体差があることを報告し、この個体差は、ヒトとチンパンジーの共通祖先に生じた遺伝的多型が自然選択によって維持されたことを表していると考えた。ヒトの PTC 感受性を担う TAS2R38 という遺伝子座は既に突き止められており、Wooding たちは今回改めて、ヒトとチンパンジーの両種について比較検討を行った。TAS2R38 はチンパンジーにもあるが、意外なことに、感受性の個体差の原因となっている変異はヒトとチンパンジーで異なっている。「PTC 味盲」の対立遺伝子は、ヒト科の進化の過程で独立して少なくとも 2 回進化したとみられる。

D J Cox による表紙写真は、2003 年 3 月に米国テネシー州のチャタヌーガ動物園で撮影されたもので、チンパンジーが自分で運べるだけの果物を抱え込んでいるところ。

13 April 2006 Vol. 440/Issue 7086

Letter p.930 参照



2006 年 4 月号でクレジットの表記もれがありました。

表紙イラスト：
月本佳代美

10 周年を迎えたアストロバイオロジー

Astrobiology at ten

Nature Vol.440(582)/30 March 2006



この新興の研究分野には今後の展開が期待できる。

1960年代ごろ、理論進化学者の George Gaylord Simpson は、当時生まれたばかりだった（地球）圏外生物学について、研究対象のない研究分野だと批判した。圏外生物学とは、地球以外の場所に生息する生物に関する研究分野のことをいった。

今、この圏外生物学を源流とするアストロバイオロジー（宇宙生物学）が生まれて 10 年がたとうとしている。ところが、数百人の研究者を集めて 3 月 26～30 日にワシントンで開かれた AbSci-Con 会議でも、同じような批判が再び聞こえてきた。アストロバイオロジーによって有益なデータや知見は得られないという Simpson のような懐疑的な見方は、この分野の研究予算の削減に容易につながる。事実、米航空宇宙局（NASA）の最近の動きがそうだった（*Nature* 439, 768-769; 2006 参照）。この予算削減については一部撤回されたが、アストロバイオロジーの未来が不透明であることに変わりはない（*Nature* 440, 586; 2006 参照）。

全体的に抑制された NASA の科学予算の配分がむずかしいことはまた別として、アストロバイオロジーに批判的な論者の一部が唱える根本的な懐疑論に関しては、少なくとも 2 つの理由で的外れだといえる。第 1 の理由は宇宙科学の時間スケールにある。ミッション計画という観点からすると、10 年という年月はほんの一瞬にすぎない。結果的に、アストロバイオロジー関連の宇宙ミッションは、これまでまだ一度も実施されていない。だが、アストロバイオロジーにとって初めてとなる 2 つの宇宙ミッションは、今後数年のうちに実施される可能性がある。その 1 つがケプラーミッションで、ほかの恒星のまわりの軌道を周回し、地表に液体状態の水を有する可能性がある、地球大の惑星を発見することを目的としている。もう 1 つのミッションはフェニックスランダーで、火星上の氷に有機分子が含まれているかを調べることになっている。両方とも重要なミッションだが、ケプラーミッションは特に重要だ。

第 2 の理由は、故意によるもの、そうでないものが入り混じった、アストロバイオロジーの性格に関する誤解にある。アストロバイオロジーという学問分野は、圏外生物学やその他の生命科学、それに惑星科学に関する研究プログラムをひとまとめにするという政治的な必要性から作り出されたという事情が一部にある。しかしその中核には確かな統一理念がある。圏外生物学が研究対象として宇宙の別の場所にある生物に限定しているのに対して、アストロバイオロジーは、宇宙、すなわち天文学と惑星科学との関連で生物を研究する。つまりアストロバイオロジーは、その研究対象を圏外生物学の場合よりも拡大し、地球上の生物までもを含めている。アストロバイオロジーの定義からすれば、地球も惑星の 1 つにちがいない。ただ地球人である我々は、地球上の生物を調べられる特権をもっているということだ。

アストロバイオロジーに地球上の生物の研究が含まれるようになったことで、既存の研究にもブランドをかけ変えるチャンスが生まれている。好極限性微生物に関心を寄せる数多くの微生物学者は、どうやら突然、アストロバイオロジー学者になってしまったようだ。アストロバイオロジーには潤沢な予算がある、あるいはあったからだ。また、アストロバイオロジーには圏外生物学に決してみられなかった一貫性が備わった。

生物は天文の歴史の中で発生したのであり、地球自身もその流れの中にある。身近なものと宇宙的なものとの出会いがあり、遠い昔と最新の知性が出会う。アストロバイオロジーは、こうした見方を展開するための制度的な場を与えることになった。これまでは「アストロバイオロジー」という斬新な名前のおかげで、二流の研究に予算がついたこともあった。しかし、この研究分野には研究対象がある。そしてその研究対象は極めて示唆に富んでいて、科学者のみならず、一般市民の関心も幅広く集めるものなのである。

原子核物理学者が核融合エネルギーの経済性を批判

Fusion power gets slammed

一方、核融合の支持者たちは、論文で展開されているコストに関する議論は時代遅れだと反論。

doi:10.1038/news060306-13/9 March 2006

Mark Peplow

「核融合炉はコストがかかりすぎ、経済的にエネルギーを作り出すことはできない」。これは、マンハッタン計画で原子爆弾の開発に加わった、ある原子核物理学者の主張だ。国際熱核融合実験炉「ITER」の計画に加わっている科学者たちにとっては、耳の痛い批判である。

ITER はラテン語で「道」を意味し、フランス南部に建設されることになっている。計画の支持者たちは、温室効果ガスを出さずに電力を生み出す炉につながるとして、ITER に期待を寄せている。

しかし、米国カリフォルニア州の航空宇宙関連企業、ロックウェルインターナショナル社でかつてチーフサイエンティストを務めた William Parkins は、「核融合による発電所を作り、それを維持するための費用は、まず発電所を動くようにするだけでもあまりに高額で、核融合が将来、経済的なエネルギー源になることはない」とする論文を *Science* 誌に発表した¹。

Parkins は 2005 年 10 月にがんて死亡したが、*Science* 誌編集長の Donald Kennedy は彼の原稿を支持した。「この原稿は本当にすばらしいと思った。もちろん、これが人々を困惑させることはわかっていた」と Kennedy は話す。

実際、この論文は関係者を当惑させた。英国原子力公社 (UKAEA) カラム科学センター (オックスフォードシャー州) で核融合炉材料計画の責任者を務める Ian Cook は「この論文は最初から最後まで、まったくくだらない。Parkins はこの 15 年の進展を何も知らないのだ」と話す。

星のエネルギー

核分裂原子炉は、原子核がばらばらになるときに放出されるエネルギーを利用するもので、半世紀以上前に実現された。しかし、核融合（恒星の内部で起こっているような原子核の合体）エネルギーの利用は実現していない。科

学者たちは核融合を起こすことには成功しているが、それは電力として利用できるような形ではなかった。

ITER の目標は、まさに核融合をエネルギー源として利用することである。しかし、核融合反応で生まれる高エネルギーの中性子は反応炉そのものの壁をしだいに劣化させる、と Parkins は指摘した。炉の設計に関する研究ではいずれも、炉の容器は定期的に交換する必要があるとされており、これがコストを押し上げる要因になっている。また、反応炉の大きさからして、炉内に空気が入り込むのを防ぐことは事実上不可能で、これもさらなる費用増大につながる原因となる。

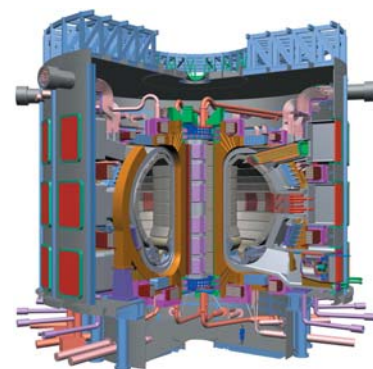
核融合反応でできる多量の熱は、最も高度な冷却システムをもってしても処理するのに苦勞を伴うはずだ。このため、反応炉から熱を運び出す部材である「ブランケット」はかなり大きくする必要があり、この部材のコストだけで出力電力あたりのコストは従来の核分裂による原子力発電所を上回ってしまうと Parkins は見積もった。

ITER 計画の予算は現在、約 55 億ドル（約 6500 億円）で、これまでに計画された科学研究計画の中でも最高額の部類に入る。Parkins は「核融合はエネルギー源としてではなく、物理学として売り込むべきときだ」という。

これについて Kennedy は、「彼の議論はかなり納得できるものだった。ITER 計画でコスト競争力のある核融合エネルギーを開発できるかについては、工学的に大きな疑問がある」と話す。

時代遅れ？

しかし、ほかの科学者たちは Parkins の結論を非難する。英国原子力公社の物理学者で核融合エネルギーの経済性について研究してきた David Ward は、「このような論文が再び掲載されたことに驚いている。こうした主張はすべて



ITER コンソーシアム

ITER: 核融合炉の経済性が論議的になっている。

1990 年代初頭に出つくし、論破されたものばかりだ」と話す。

Cook と Ward は、核融合炉の一部の部材を定期的に交換する必要があることについては認めるが、そうしたコストはすべて最新のコスト分析に盛り込まれていると主張する。さらに、熱を運び去るブランケットについて、その大きさと材料のコストの両面で Parkins は過大に見積もりすぎていると 2 人は指摘する。

核融合発電による電力コストは、現在の見積もりではキロワット時あたり 5 ～ 10 セントの間だと Ward はいう。米国エネルギー省 (DOE) は、今年の米国の電力のコストは、キロワット時あたり平均でちょうど 10 セント足らずと予測している。「核融合エネルギーのコストは、ヨーロッパにおける現在の石炭エネルギーのコストと十分競争できると思う」と Ward は話す。温室効果ガスの放出規制で、石炭エネルギーのコストが上昇しているからだ。

「核融合科学者たちは、この論文を読んでも怒ることさえないと思う。あまりに時代遅れで間違っているからだ」と Ward はつけ加えた。 ■

1. Parkins W. E., et al. *Science*, **311**, 1380 (2006).

靴箱サイズのスキャナーで隠されたドラッグを見つける

Shoebox-sized scanner can spot hidden drugs

「テラヘルツ波」検出装置によって、そのうち警察は密輸ドラッグを検出できるようになるかもしれない。

doi:10.1038/news060327-18/31 March 2006

Michael Hopkin

英国の科学捜査の研究者たちが、手荷物や衣服の下に隠されたドラッグや爆発物を検出する新型の検出器を開発した。この装置は「テラヘルツ」光を利用してさまざまな物質を透かし見ることができるので、郵便局や宅配物の集配所、警察署、移動式の科学捜査研究施設などで、必須の備品になるのではないかと開発者は期待している。

テラヘルツ波は波長がマイクロ波と赤外線の間であり、紙、布、プラスチック、木材、人体組織などを透過する一方で、多くのドラッグや爆発性化合物にはさえぎられる。このため、セキュリティや犯罪捜査目的のスキャンに役立つ可能性がある。

今回開発された装置は、スキーブーツケースほどの大きさであると、3月30日にロンドンで開催された犯罪捜査技術の会合で同装置を披露した、セントアンドリュース大学（英）のMalcolm Dunnは語る。「最終的には、持ち運びできるほどの大きさになると期待しています」。

テラヘルツ波をドラッグや爆弾の検出に利用するというアイデアは新しいものではない。2001年には日本の理化学研究所のチームが、同様の応用を念頭においたテラヘルツ波発生器を開発している。しかしながら、開発された装置は巨大で扱いにくいものであった。なぜなら、テラヘルツ波を発生させるのに、ごつい一連のレーザー群を必要とする方法を用いていたからだ。

テラヘルツ波は、電磁スペクトルにおいてマイクロ波と赤外線の間狭い帯域に位置する。テラヘルツ波を発生させることは容易ではない。その1つに、パラメトリック発振器（1つの高エネルギー光を2つの低エネルギー光に分割する

もの）として知られる物質（通常はニオブ酸リチウムの結晶）中に「ポンプレーザー」を照射するという方法がある。光線が物質を通過する角度を変化させることで発生周波数を変化させ、出力を調整することができるのだ。

Dunnの研究チームは、パラメトリック材料をポンプレーザー発生装置の外部ではなく内部に収めることで、コンパクトなテラヘルツ波発生器を作製した。これによりレーザー光源からの強度の損失が小さくなり、装置の効率が上がるという。

「そのポケットにあるのはコカインかい？」

スキャナーから発せられたテラヘルツ光線は、隠されたドラッグや爆発性化合物にはさえぎられるが、衣服や包装材はそのまま通過する。Dunnたちは既に、この装置を用いて封筒の中のヘロインやコカインに類似した化合物を検出するのに成功している。現在は、本物のドラッグを用いた試験の実施に向けて、当局の許可を得る道を模索中だ。

実際の現場でドラッグを検出するためには、装置を慎重に較正する必要があると、さまざまな薬物や爆発物のテラヘルツスペクトルを研究しているリーズ大学（英）のGiles Daviesは言う。旅行者の荷物の中にあるのはコカインか、それともただの洗濯用洗剤なのかを見極めるためには、目的の化合物がテラヘルツ放射をどのように吸収するかについての正確なデータが不可欠だということだ。

Daviesはまた、末端ではドラッグは多様な化学的形で流通しているとも指摘する。例えばコカインには、煙を吸い込む「純化」コカインや、一般に鼻から吸い込む塩酸コカインなどのさまざまな



テラヘルツ波は、宅配物の集配所でドラッグや爆発物を検出するのに役立つかもしれない。

形状がある。さらに、このようなドラッグに緩下剤、ベーキングパウダー、人工甘味料などが混ぜられることも多い。混ぜ物をする事で、その化学的特徴は変化する。捜査当局は、アンフェタミンやエクスタシーの元となる、塩酸エフェドリンなどのドラッグの前駆化合物の検出も望むだろう。

ただ、この装置が犯罪捜査施設や郵便局で一般にみられるようになるまでには、数か月ではなく数年を要するだろうとDunnはみている。研究チームは現在、実地検証を可能とするプロトタイプ装置の作製を支援してくれる企業を探している。

睡眠についての目が覚めるような報告

Sleep report opens eyes

睡眠不足は命にかかわり、財布にもひびく。

doi:10.1038/news060403-6/5 April 2006

Helen Pearson

睡眠不足のために米国は、年間数千億ドルの損失を出している。睡眠不足は、増加しているにもかかわらず、見逃されることの多い健康問題であると、報告書の作成に参加した専門家たちは話す。

1日中絶え間なく放映されるテレビや長くなる一方の労働時間のために、多くの人々はベッドで過ごす時間が短くなっている。睡眠を十分にとらないと体に悪いことはだれもが知るところだが、医師も研究者もそれによる健康被害の実態にようやく気づき始めたところである。

社会における睡眠問題の規模を推定してその解決法を探るために、睡眠研究機構の研究グループは、医学研究所(米)に対してこの問題を研究するよう要請した。そして、14人からなる同委員会は、この4月に報告書をまとめた¹。

レポートの中で委員会は、睡眠不足の影響は、この分野の専門家にとっても衝撃的であると述べている。5000万～7000万人もの米国人が睡眠障害を抱えており、また寝不足に悩む人の数はこれをはるかに上回る。

快眠は、食事や運動と同様に重要だと多くの睡眠の専門家という。睡眠不足の問題は、「正當に評価されておらず、たいていは軽視されている」と委員会の代表を務めるコロンビア大学(ニューヨーク)のHarvey Coltenは語る。

睡眠不足の深刻な影響

ほとんどの人には毎晩7～9時間の睡眠が必要であり、睡眠時間がこれより短いと、精神的・身体的異常につながると考えられている。しかし、この注意を気にとめない人は多い。「皆軽く考えている」と話すのは、ハーバード大学医学部(マ

サチューセッツ州ケンブリッジ)の研究者で、米国睡眠研究学会の会長でもあるCharles Czeislerだ。

この問題がさらに深刻化すると、慢性不眠、ナルコレプシー(睡眠発作)、睡眠時無呼吸などの明らかな臨床的症状をとまなう病気となる。睡眠時無呼吸は、眠っている間に一時的に呼吸が停止するという一般的病気だ。

状況は深刻だ。重傷者を出した交通事故の約2割が、居眠り運転と関連している。また、主な死亡原因となる肥満、糖尿病、心臓病などへのリスク上昇と睡眠不足との関連を示唆する研究は増える一方だ。こうした関連の本質は現時点で不明だが、「現在注目されているのは、睡眠がほかの多くの医学分野と深くかかわっているということだ」とCzeislerは言う。

睡眠不足問題の真のコストを見積もることはむずかしい。報告書に挙げられたある試算によれば、米国の産業界は、疲れ果てた労働者による欠勤や事故、生産性の低下のために、年間約1500億ドル(約18兆円)を失っているという。そのうちわけのトップは、病院での診療回数および事故の増加にともなう費用である。

安眠の研究

専門家によれば、多くの睡眠問題は、怠惰な生活習慣を正すことで解決できるという。それは例えば、カフェインの摂取量を減らしたり、ベッドの中でテレビを見たりしないようにすることなどだ。報告書では、さらに深刻な問題を見極めるため、実験室ではなく家庭での睡眠時の脳波測定を可能とする、安価なモニターの開発が必要だと指摘している。



睡眠不足は、事故や欠勤による労働時間の短縮という形で社会に損失をもたらしている。また、それは病気の増加にもつながるのだ。

そもそもなぜ睡眠は必要なのかという疑問、また睡眠不足が病気に至る過程の解明に関しては、一層の研究が必要であるとも委員会は述べている。こうした扱いにくい疑問は、現時点では解明がむずかしい。

報告書では、十分な睡眠をとることの重要性と、寝不足が健康に与える深刻な影響を医師と患者に訴える、公衆衛生キャンペーンの立ち上げを提案している。「このキャンペーンには、大きなインパクトが期待できる」と米国睡眠医学会(イリノイ州ウェストチェスター)の代表を務めるLawrence Epsteinは述べている。■

1. Colten H. R. & Altevogt B. M., Sleep Disorders and Sleep Deprivation: An Unmet Public Health Problem (Natl Acad. Press, 2006)(2006).

Champing at the bits

量子コンピューターはすぐそこに？

Nature Vol.440(398-401)/23 March 2006

J. MAGEE

量子コンピューターは、率直に言ってふしぎで難解な装置だ。しかし、いくつかのハードルが残っているものの、その実現の日は驚くほど近づいているらしい。この奇妙な装置はどのような道をたどって実現に向かっているのか、Philip Ball が研究の現状を取材した。

「実際に役に立つ装置を作るのに、あとどれくらい時間がかかるのか」。5年前、量子コンピューターの研究者に向かってこう尋ねたら、「推測さえできないほど先だ」という答えが返ってきただろう。しかし、もはや状況は変わっている。

「2020年までに実用的な量子コンピューターを実現するというのは、現実的な見通しだ」とオックスフォード大学（英国）量子計算グループのAndrew Steaneは話す。同大学の物理学者David Deutschも同じ意見だ。量子コ

ンピューターのアイデアを事実上考え出したDeutschは、最近の理論面の進歩を考えると、実用的な量子コンピューターは「今後10年以内に実現される可能性が大きい」と楽観的な構えをみせる。

こうした興奮の半面、克服しなければならないハードルも残っている。量子コンピューターを作るのは、まだとても、とてもむずかしい。その理由の一部は、自然には起こらないことを量子系にさせなければならないことにある。ミシガン大学アナーバー校（米国）の物理学者Chris

Monroeは、「前進してはいるが、そのペースはまだ極めてゆっくりだ」という。

また、たとえ今、量子コンピューターが実現したとしても、その上で走らせることのできるプログラムはほとんどないのが現状だ。実際、量子コンピューターは実現してもどうやら「すき間商品」にとどまりそうだ。つまり、ある作業には非常にすぐれているが、従来のパーソナルコンピューターのように何にでも使える装置ではないかもしれない。マサチューセッツ工科大学(MIT、

マサチューセッツ州ケンブリッジ) の量子物理学者 Isaac Chuang は「量子コンピューターが汎用のデスクトップマシンとはならないことは、ほぼ間違いない話だ」と認める。

しかし、ほかの量子系を模擬する能力にすぐれている量子コンピューターは、科学研究のツールとしては画期的なものとなるかもしれない。従来の古典的なコンピューターでは、情報は1列のビット、つまり0あるいは1の値をとる2進法の数字として蓄えられる。これは量子コンピューターでも同じことなのだが、ただし、量子コンピューターにおける2進法の数字である「キュービット」は、原子やイオンの電子状態などの微視的な系の量子状態に蓄えられる。だから、量子コンピューターは本来的に、古典的コンピューターよりも量子系を模擬するのに適しているはずなのだ。

「量子シミュレーター」は、分子や物質の基本的な量子的性質を正確にとらえることで、その構造や反応性を記述・予測するものになるはずだ。初期の量子コンピューターは、この種の仕事に取り組むことになるだろう。化学者や材料科学者、場合によっては分子生物学者にとっても興味ある計算を行うことになるのではないかと Steane は話す。

また、「わずかに数ダースのキュービットが、従来のコンピューターでは手におえないような物理の問題を解明するかもしれない。たとえば高温超伝導や凝縮系の理論モデルの構築に、そうした量子シミュレーターが利用される可能性があると思う」と Monroe はいう。

スピンの使って

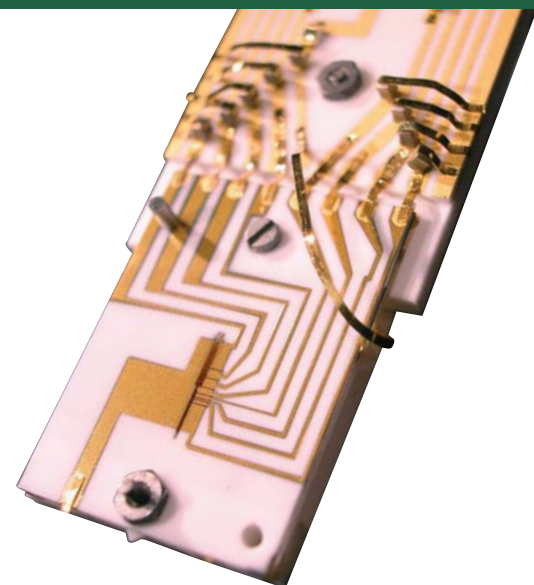
実際、量子シミュレーションはすでに、原子や分子の原子核スピンにキュービットを蓄えることにより、実行可能だ。キュービットの測定や操作には核磁気共鳴を使う。研究者はこれを「コンピューター」とよんでいて、MIT の理論研究者 Seth Lloyd によると「いかなる古典的スーパーコンピューターよりもはるかに高速だ」とい

う。Lloyd と、MIT の同僚である David Cory はこの技術を使い、フッ化カルシウムやその他の物質の結晶中の量子系など、さまざまな量子系のシミュレーションを行っている。「結晶は10の18乗個ものスピンを含むので、このような系のシミュレーションは最も高速な古典的コンピューターをもってしても不可能だ」と Lloyd は話す。Lloyd たちが取り組むこの方法では、模擬できる系についての制約があるが、完全に機能するシミュレーターも2020年までには難なく実現できるようになると Lloyd は予想する。

量子コンピューターはデータの蓄積と操作を量子的に行う。量子コンピューター実現の鍵と、またそのむずかしさの原因はここにある。古典的なコンピューターではビットは1あるいは0と明確に決まっている。しかし、量子力学に支配されるキュービットは「状態を重ね合わせたもの」になる。つまり、従来のコンピューターでは不可能な、1と0が混じりあった状態にあるわけだ。これは、量子コンピューターが情報を蓄積できる容量は、従来のコンピューターよりもはるかに大きいことを意味する。

量子的な演算装置では、一度に2つ以上のキュービットで計算を行うこともできる。これには、キュービットが相互に依存するようにさせているもつれ合い(エンタングルメント)という別の量子的性質を利用する。個々のキュービットの測定結果は測定の瞬間までわからないが、もつれた状態のふしぎな性質のため、1つのキュービットの測定は即座に別のキュービットに影響をもたらす。もつれた状態は自然にはふつつ存在しない。量子コンピューターを研究しているエンジニアたちは、キュービットを互いに相互作用させ、もつれた状態を作り出さなければならない。

重ね合わせを利用することにより、1台の量子コンピューターが事実上、同時に走る複数の古典的コンピューター群と同じ動きをする。そして量子のもつれ合いを利用すると、これらの「並列コンピューター」が互いにリンクすることになる。し



閉じ込める：この回路は、電極の上にイオンをトラップする。

かし残念ながら、この強力な並列プロセッサにはアキレス腱がある。量子的な重ね合わせは、少なくとも計算をするのに必要な時間、安定でなければならない。しかし、キュービットがその環境と相互作用するやいなや、壊れやすい重ね合わせ状態は不安定になる。これがデコヒーレンス(干渉性の消失)とよばれるプロセスで、量子コンピューターから情報が漏れ出す原因となる。デコヒーレンスをもつれた状態にとって特に問題となる。1つのキュービットのデコヒーレンスがほかのキュービットにも影響するからだ。

デコヒーレンスを防ぐには、制御されずに起きる環境との相互作用を減らさなければならない。量子系を極低温に冷やすことは、その1つの手段となる。しかし、迷い込む電磁場からキュービットを保護することも必要かもしれない。研究では、実際に特定のキュービットのデコヒーレンスを数秒間以上防ぐのはむずかしいことがわかっている。しかし、原理的には可能はずだ。「トラップされたイオンにコードされたキュービットが、コヒーレンス時間によっていつまでも制約されるとはだれも考えていない」と Monroe は話す。

キュービットはデコヒーレンスを避けるため、環境から切り離される必要がある。一方、計算を行うためにはキュービットは互いに強く相互作用しなければ

ならない。そして、重ね合わせ状態にあるキュービットは、情報を読み出すことができるよう、必要なときには環境と強く相互作用することが可能でなければならない。これは非常にむずかしいまるで綱渡りのような操作で、まだ完全に理解されていない直観に反するような法則に支配されるものである。

間違いやすい計算機

このデコヒーレンスのため、量子コンピューターは論理ゲートを使ってキュービットを処理するとき、古典的なコンピューターよりもはるかに高率で誤りをおかしてしまう。「現代のトランジスターの誤り率は、 10^{14} 回程度以上のスイッチング動作に 1 回あるかどうかだ。これに比べて、私たちが現在想定する最もすぐれた量子ゲートでも、少なく見積もって 10^7 回に 1 回ほどの誤り率になるだろう」と Chuang は話す。当初、これでは量子コンピューターはあまりに誤りが多く、実用にならないだろうと考える研究者もいた。しかし、1990 年代に考案された量子誤り訂正コードのおかげで^{1,2}、今では 10^5 回に 1 回という高い誤り率でも訂正が可能になった。

量子コンピューターの基本的な原理について 2002 年には、理論家たちによってその概略が解明された（「量子コンピューターの満たすべき条件」を参照）。しかし、現実の装置として作り上げるのにどのような方法がベストであるかは、大きな問題として残っている。現在研究されている方法の多くは、トラップの中に保持された原子やイオンを使って量子コンピューターを作るというやり方だ。イオントラップ型量子コンピューターでは、キュービットは電磁場で閉じ込められたイオンの電子状態にコードされる。イオンは静電的な反発力を通じて互いに相互作用し、レーザービームでいっせいに揺ることにより、もつれ合わされる。こうしたイオンの量子状態は、別のレーザーを照射して蛍光発光させることで読み出すことができる。このレーザーの波長は、イオンの電子状態に依存する。

しかし、キュービットの数が多いほど、その集団の複雑な振動状態を読み出すことはむずかしくなる。この問題を回避する方法の 1 つは、イオンのほとんどを容器に保持し、容器から演算室へと運ばれた少数のイオンだけを

使って各計算ステップを行うことだ。つまり、イオンの量子状態を変化させず、イオンが移動の途中でその「記憶」を失わないようにしながら、イオンをあちこちに往復させなければならない。

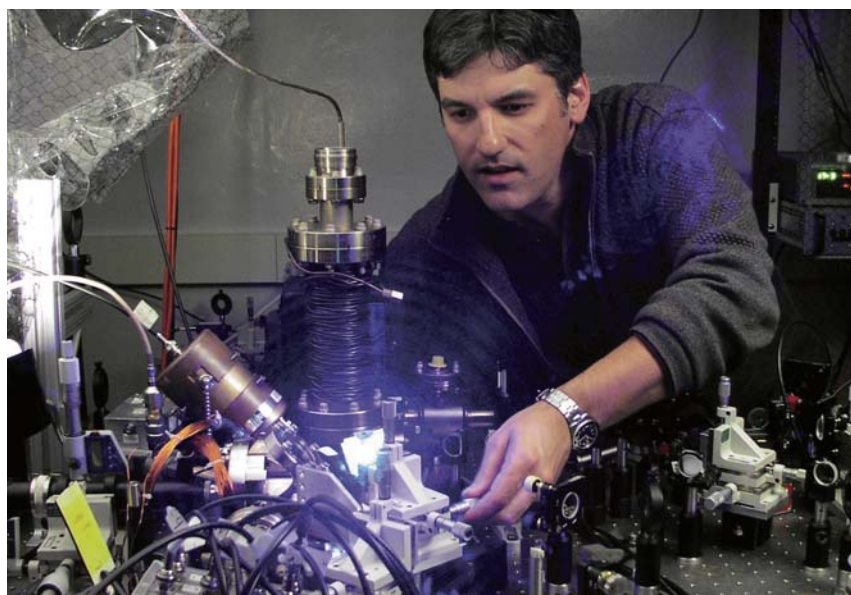
勝者はだれか

こうした問題の解決は容易ではないが、最近の進歩は励みとなる。「イオントラップチップは、ほかの方法に先んじて実用的なコンピューターの作製につなげることができそうなポジションにある」と Steane は話す。たとえば昨年 12 月、Monroe の研究チームは標準的な微細加工技術を使い、半導体チップ上にイオントラップを作ったことを報告した³。このトラップは個々のカドミウムイオンを 1 時間以上にわたって保持し、研究者たちはその間に、あるトラップ場所から別のトラップ場所へうまくイオンを動かすことができた。

米国標準技術研究所（コロラド州ボールダー）の David Wineland のグループも同じようなアイデアを研究している。彼らの方法では、イオンはチップの表面にエッチングされた電極の上にトラップされている⁴。Wineland は「Monroe の方法も私たちの方法も、すでに確立された加工技術を使うという利点がある。最終的に開発競争の勝者を決めるのは、単純にどの製作方法が最も簡単か、ということになるのかもしれない」と話す。

Monroe はこれまで成功を収めてきたにもかかわらず、長期的な見通しに関しては慎重な姿勢をみせる。「多くの研究グループが複雑なイオントラップチップを作ろうと競争している。しかし、イオントラップという方法が最終的にほかの量子技術に劣らないものであるかという保障はまだない」と彼は話す。

イオンの代わりに、トラップされた中性原子を使ってキュービットをコードしている研究者もいる。原子は、イオンよりも環境との相互作用が弱いという利点がある。しかし、原子どうしの相互作用



光でそっと捕捉する：量子計算を行わせるため、Chris Monroe がレーザービームを 1 列に並べてイオンをトラップしようとしている。

も弱い。原子はレーザービームでトラップされる。交差したレーザービームで作られた干渉パターンを使えば、数百個の原子が卵ケースのような「光の格子」の中に保持される。トラップに使うビームを調節することで、原子どうしが相互作用するよう卵ケースのくぼみを互いに近づけることも可能だ。

原子で量子計算を行う方法の1つは、より大きな格子の中で、もつれ合った原子の分離したクラスター（集団）を作ることだ。この方法は、オーストリアのインスブルック大学の Hans Briegel、Ignacio Cirac、Peter Zoller たちが1990年代後半に初めて提案した。Deutschもこの量子計算方法について、キュービットを扱う方法とし、ほかの方法よりも「はるかに物理的に実現しやすい」と話している。

標準的な方法と異なり、クラスターによる計算では個々の粒子の操作をしなくてすむ。その代わりに、計算を行う前に、いくつかのキュービットを集めて多数の粒子のもつれ合い状態を作っておく。そして、計算が実際に行われると同時に、クラスター中の個々のキュービットで一連の測定を行い、答えを読み出す。この「ワン・ステップ」な特徴ゆえ、この方法は魅力的だが、現在マックスプランク量子光学研究所（ドイツ、ガルヒング）に所属する Cirac は、この方法はほかの方法よりもずっと多くのキュービットを必要とし、そのため誤り訂正手続きが複雑なものになることを認めている。

量子ドットという方法

量子コンピュータを作るためのアイデアは、このほかにもたくさんある。あるものは超伝導デバイスを使い、超伝導そのものが量子現象であるという事実を利用する。個々の粒子を使う系と異なり、この方法ではキュービットは超伝導回路だ。超伝導回路は、電荷や磁束などの多数粒子系の量子状態を備え、古典的な電磁力で相互作用することができる。

キュービットを光子の量子状態にコー

量子コンピュータの満たすべき条件

米国の専門家たちが、今後10年間の量子コンピュータ研究についてまとめた現時点の指針 (<http://qist.lanl.gov/>)。この指針では、実用的なコンピュータが備えるべき要件を挙げている⁸。

- 1 大きさの変更が可能でなければならない。無限につけ加えることができるキュービットのセットが必要である。
- 2 すべてのキュービットを、たとえば全部が0、といった単純な初期状態にセットできなくてはならない。
- 3 キュービット間の相互作用は、量子論理ゲートを作るのに十分な程度に制御可能でなければならない。
- 4 論理ゲートを使って操作を行うため、デコヒーレンス時間はゲート操作時間よりもずっと長くなければならない（だいたい数ミリ秒から数秒）。
- 5 読み出し可能でなければならない。
- 6 コンピューターをネットワークするため、固定型キュービットを弾道型キュービットへ変えること、およびその逆が可能でなければならない。
- 7 弾道型キュービットを特定の場所から場所へと、正確に移動させることが可能でなければならない。

ドし、光学的な量子コンピュータを作りたいと考える研究者や、量子ドットとよばれる半導体材料中の小さなスペックでキュービットを作りたいと考える研究者もいる。「量子ドット系と、超伝導による方法でなされた成果が特に印象的だった」とChuangは話す。こうした方法はイオントラップと比べてより簡単に規模を大きくすることができ、読み出しのために従来のデータ転送系につなげるのも容易かもしれない、と彼は説明する。

量子ドットは初めての実用的な量子コンピュータを実現する方法とはならないかもしれないが、やがてはイオントラップチップなどのほかのシステムよりもすぐれた性能をもつはずだとSteaneは話す。その主な理由は、イオンよりもずっと軽い電子にキュービットをコードするため、当然ながら時間スケールが短くなるからだ。しかしSteaneは、「この研究分野にはさまざまな可能性があり、実現を狙う主な方法のどれもまだ研究の速度を落とすには時期尚早だ」とも語る。

量子コンピュータの実現にあたって

は、ハードウェアを作るというハードルが本質的に存在し、このため、課題は工学的な問題だといわれることが多い。しかし、理論にも課題はある。今のところ、量子コンピュータの上で走り、解くことができる形に翻訳された計算問題はまったくといえるほどない。

実際、量子コンピュータは現在、2つの芸しかもたない神童のようなものだ。1994年、今はMITにいるPeter Shorが、量子コンピュータで従来のコンピュータよりも指数関数的に高速で整数の因数分解を行うことができるアルゴリズムを考案した。因数分解は、暗号技術において暗号鍵を作り、解読するのに必要なことから重要な問題だ。1996年には、現在ルーセントテクノロジーズ社（ニュージャージー州マリーヒル）に所属するLov Groverが、極めて高速にデータベースを検索できる量子アルゴリズムを発表した。

こうしたアルゴリズムの両方はすでに、核磁気共鳴と光学技術を使って実行されているが、これらの方法は規模を大きくするのがむずかしい。昨年末、



トラップに捕まる：半導体チップ上の2つの電極間に1個のカドミウムイオンが保持されている。

Monroe の研究グループは、トラップ中の2個のカドミウムイオンを使って Grover 型の検索に成功したことを報告した⁵。もっとも、検索したのはたった4項目しか含まれていないデータベースで、元より取るに足らない作業だ。しかし Monroe によると、研究グループでは今後数年のうちに数十ダースのキュービットへと規模を拡大することを計画しているという。

「Shor の発明から10年が経過したが、新しい量子アルゴリズムがほとんど開発されなかったのは衝撃的だ」と Chuang は話す。わずかな開発例として、NEC ラボラトリーズアメリカ（ニュージャージー州プリンストン）の

Sean Hallgren が作った、整数論の問題を解くアルゴリズムがある⁶。

新しいアルゴリズムの考案を試みる研究者にとっての大きな障害は、どういう問題に量子計算が最も有効かをまず見極めなければならないことだ。この点においてはクイーンズランド大学（オーストラリア）の理論家 Michael Nielsen たちが最近、量子アルゴリズムを見つけるという全般的な問題は、幾何学からアイデアを借りることによって比較的容易になりうることを示し、前進がみられた⁷。

これは、量子操作の数、ひいてはアルゴリズムを実行するのにかかる時間は、本質的には、量子操作が可能なすべての列によって定義される幾何学的

科学計算における画期的事件

プロトタイプの時代 1960年代以前

1946 最初のデジタル電子計算機と広く考えられている ENIAC が正式に公表される。ENIAC は第二次世界大戦中に弾道計算を行うために作られ、乱数研究、風洞設計、気象予報などのさまざまな科学分野で計算を行った。気象の24時間先までの数値予報を初めて行うも、計算には約24時間を要した。

1951 Marvin Minsky がニューロンネットワークを模した初めての装置、SNARCを開発。Minsky は後にマサチューセッツ工科大学 (MIT) の研究者となった。

1954 IBM の John Backus たちが科学技術計算用のプログラミング言語 Fortran の開発を始める。

1956 マンチェスター大学 (英国) などの研究をもとに、ロスアラモス国立研究所 (米国ニューメキシコ州) が MANIAC を開発し、チェスを初めから終わりまで行うことができる最初のコンピュータとなる。後の1996年には、IBM の「ディープ・ブルー」がチェスの世界王者 Garry Kasparov を破ることになる。

1959 ケンブリッジ大学 (英国) の John Kendrew がコンピューターを使い、結晶データからミオグロビンの立体構造を決定。

大型汎用コンピューターの時代 1960年代

1962 MIT・リンカーン研究所の Charles Molnar と Wesley Clark が、米国立衛生研究所の研究者用に「ラボラトリー・インスツルメント・コンピューター」(LINC) を作製。リアルタイムでのデータ処理を目的とした、初めての実験室用コンピューターとなった。

1963 コンピューター制御による初のロボットアーム「ランチョアーム」が米国カリフォルニア州で開発される。

1966 MIT の Cyrus Levinthal が、タンパク質構造の決定と解析を行う初のプログラムを完成。

1967 米国防総省が、インターネットのもととなった ARPANET を研究用ネットワークとして提案する。

1969 気象学者の真鍋淑郎と海洋学者 Kirk Bryan が、初めての海洋・大気結合大循環モデルの計算結果を発表。後に地球温暖化に関する強力な研究ツールとなる気候シミュレーションの先駆けとなった。

ワークステーションの時代 1970年代

1971 最初のコンピューター断層撮影 (CT) スキャナーのプロトタイプが作られ、医療用画像におけるコンピューターの潜在能力を示す。

1971 米国のブルックヘブン国立研究所 (ニューヨーク州アプトン) にタンパク質データバンクが設立される。

1972 ヒューレットパッカード社が、初めての手のひらサイズの科学電卓 HP-35 を発売し、エンジニアが使う計算尺は時代遅れに。

1976 ロスアラモスで Seymour Cray が最初の「クレイ」スーパーコンピューターを完成。大量のデータが短時間で処理可能に。

空間における2点間の最短経路を見つけることで計算できるという考えだ。「古典的な類似物のない、本当に画期的なアイデアだ。新しいアルゴリズムを作る可能性のあるさまざまな方法や、既存のアルゴリズムを最適化するいろいろな方法を切り開く」とLloydは話す。

しかし、量子情報の処理装置のすべてが複雑なアルゴリズムを必要とするわけではない。その多くは、原子時計や光通信技術などの既存の技術を改良する目的で量子法則を応用した、特定用途用のツールとなるだろう。「おそらく、『量子中継器』などの基本的な装置をまず実現させることになるだろう。これは、誤り訂正のために光子の

キュービットを原子のキュービットに変え、光ファイバーで長距離を伝送させるため再び光子のキュービットに戻すといった装置だ」とMonroeは話す。

次の大きな目標として引き合いに出されることがある量子脳と比べて、こうした装置がやけに地味に思えるとしたら、そう思えることには慣れてしまうし、かしこたがないのかもしれない。しかし、Lloydは将来の見通しについて楽天的だ。「確かに、汎用性のある量子コンピューターよりも先に、特定用途に合わせた量子コンピューターが作られることになりそうだ。それは認める。でも、だからといって近い将来に『グランド・セフト・オート』（米国で人気の犯罪アク

ションゲーム）の量子コンピューター版でみんなが遊んでいるという可能性がないわけではない」とLloydは話した。

Philip BallはNatureの編集顧問。

1. Shor P. W., *Phys. Rev.*, **A52**, R2493 - R2496 (1995).
2. Steane A. M., *Phys. Rev. Lett.*, **77**, 793 - 797 (1996).
3. Stick D., et al. *Nature Phys.*, **2**, 36 - 39 (2006).
4. Seidelin S., et al. preprint at <http://www.arxiv.org/quant-ph/0601173> (2006).
5. Brickman K.-A., et al. *Phys. Rev.*, **A72**, 050306(R) (2005).
6. Hallgren S., et al. in Proc. 34th Annu. ACM Symp. Theor. Comput., 653 - 658 (ACM, New York). (2002).
7. Nielsen M. A., Dowling M. R., Gu M. & Doherty A. C., *Science*, **311**, 1133 - 1135 (2006).
8. DiVincenzo D. P., *Fortschr. Phys.*, **48**, 771 - 783 (2000).

パーソナルコンピューターの時代 1980年代

1983 Danny Hillis が並行処理を行う最初のスーパーコンピューター「コネクションマシン」を開発。流体フローのシミュレーションや人工知能に利用される。

1985 学術用的高性能計算機がないとの報告を受け、米国立科学財団が国立スーパーコンピューティングセンターを5か所設立。

1989 素粒子物理学研究所 CERN（スイス、ジュネーブ）の Tim Berners-Lee がワールドワイドウェブを開発。世界各地の物理学者による共同研究を支援するのが目的だった。

インターネットの時代 1990年代

1990 広く利用されているバイオインフォマティクスプログラム BLAST (Basic Local Alignment Search Tool) が開発される。アミノ酸や塩基対の特定配列に関する迅速なデータベース検索が可能に。

1996 George Woltman が異質なデータベースを組み合わせ、GIMPS (Great Internet Mersenne Prime Search) を発表。9個の巨大なメルセンヌ素数 ($2^n - 1$ の形で表される) を発見するプロジェクトとなる。そのうちの1つは9,152,052桁の数字である。

1996 Craig Venter がショットガン法を開発。コンピューターで DNA コードの大断片をつなぎ合わせる方法で、全ヒトゲノムの解読時間が短縮されることになった。

1998 核磁気共鳴を利用して動く最初の量子コンピューターが開発される。

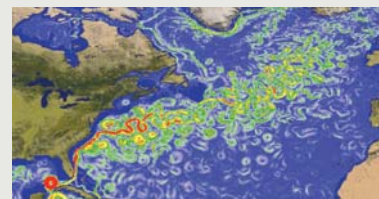
インブリットコンピューティングの時代 21世紀

2001 米国で国立バーチャル天文台プロジェクトが発足し、天文学の巨大なデータセットの探索法を開発する。



2001 米国立衛生研究所が、多数の施設間でデータを共有化するためのスーパーコンピューターのグリッド、BIRN (Biomedical Informatics Research Network) を立ち上げる。

2002 日本で「地球シミュレーター」が運用開始に。毎秒35兆以上もの演算を行い、地球のプロセスのモデル化を進める。



2005 IBM 社の「ブルージーン」ファミリーのコンピューターとして新たに「ブルーブレイン」が登場。脳の最も複雑な領域である新皮質で生じている神経の働きをモデル化を目指す。

2007 CERN（スイス）に LHC (Large Hadron Collider; 世界最大の素粒子加速器) が設置される予定である。膨大なデータ量が予想され、かつてない処理能力が必要とされる。

(年表作成: Jacqueline Ruttimann)

Everything, everywhere

あらゆる場所の、あらゆるものに

Nature Vol.440(402-405)/23 March 2006

J. MAGEE

小さなコンピューターが生態系や建物、さらには人体までも常時監視するようなことになれば、科学は大きく変化するかもしれない。Declan Butler が探る。

「研究室で何やってるんだい。フィールドワークに出かけろよ」。普通、コンピューターに向かってこんな問いかけをしたりはしない。しかし、「スマートダスト」の名でも知られる新たな情報技術の考案者によれば、そんなやりとりもやがて当たり前のことになる。

現在のコンピューターの多くはデスクトップ型で、科学でコンピューターが真価を発揮するのは通常、研究プロセスのずっと後半においてである。問いが立てられ、答えにつながりそうなデータが特定され、そのデータが収集される。コンピューターの番はようやくここからだ。だが、将来はこの位置づけがひっくり返るかもしれない。コンピューターは室内の事務屋から野外の作業員となる可能性があるの

だ。1日24時間、年がら年中、コンピューターは生態系や人体の、検知可能なあらゆる変数を測定するようになる。しかもナノメートルレベルから大陸スケールまで、どんな規模でも対応可能だ。

このような新しいコンピューターは、データの処理や伝送という機能が組み込まれたセンサーによるネットワークを形づくる。「モート」「ノード」あるいは「ポッド」とよばれる小さなコンピューターが、世の中の構造体の中に無数に埋め込まれる。それらは協調的に機能してそれぞれの収集データを共有し、そしてデータを処理して世界をデジタルで実際に表現していく。研究者はこの「センサーウェブ」を利用して、新たな探究を行ったり仮説を検定したりするわけだ。どこか別の場所で

科学者が忙しくしていても、センサーウェブは外界の変化を受けて動き方を適切に調節し、事象を自律的に分析し続ける。

この筋書きに無理があるというなら、1970年代に大型コンピューターの所有者が、なぜこれが世界中のデスクにたくさん置かれていないのかと問う姿を想像してみてほしい。その答えは、「単に時間の問題」にすぎなかった。以来、世界中の演算能力の蓄積と、各地に備えられた装置の数は飛躍的に増大し、ネットワーク技術の能力も大幅に向上した。この流れは衰える兆しをみせず、幅広いセンサー網はでき上がる可能性があるというよりも、もはや必然だ。このことを身近に感じるのに先見性なんて必要ない。すぐにでも、今日のデスクトップ機の性

能を搭載した小型機器はどこにでも設置されるほど安価なものになるだろう。

ワシントン大学（米国、シアトル）のコンピュータ科学者 Gaetano Borriello は、このようにあちこちで演算能力が幅広く利用されるようになれば、実験科学自体の発展によりもたらされたのと同じくらいのパラダイムシフトが起きるだろうと考えている。「世の中からリアルタイムのデータが初めて大規模に取れるようになるのだ」と Borriello は話す。

研究者は、自分で苦心してデータを収集しなくても、外界のあらゆる局面に関する最新のデータベースを瞬時に探り当てることができるようになる。多くの臨床患者から絶えずデータを取り続けることによって、疾患の理解が進み、治療の効果が追究されるようになるだろう。心拍数や血中酸素の連続監視装置などの医療用センサーを身の回りに組み込む研究を行っている Borriello は「データを選別してパターンを見つけるという、これまでとはかなり違った考え方をするようになる。仮説の立案と検定は、今よりもはるかに短時間で繰り返されるようになるだろう」と話す。

オークリッジ国立研究所（米国テネシー州）で軍事・国土安全保障用のセンサーウェブを研究している Mallikarjun Shankar も同じ考え方で、「コンピューターで処理された風景を見る。それが実際の世の中との接点になる。コンピューター科学が明らかにする世界、それが新たな現実世界なのだ。次のフロンティアはここにある」という。

仮想から現実へ

ヨーロッパ最大の氷床の支流で、その下に埋もれる花崗岩に向かって氷に穴を開けることは最もよい例だ。サウサンプトン大学（英国）の Kirk Martinez がここ数年間取り進めてきたセンサーウェブは、主にこの研究に関わっている。Martinez は、ノルウェー北西部のブリクスダール氷河（ヨステダール氷原の一部）の動態を研究する雪氷学者を支援し、気候変化と天候パターンが氷原に及ぼす影響の解明を目指している¹。

Martinez のチームは熱水の「ドリル」を用い、毎回 12 個ずつ、別々の地点で氷の深部にポッドを設置している。各ポッドにはセンサーが取り付けられていて、温度や圧力、動きなどの項目を測定している。収集したデータは、氷河の流速の算出と氷河底の動態のモデル化に利用されている。このセンサーウェブは、個々のポッドが協力し合うようにプログラムすることができる。Martinez は「ポッドは互いに話しかけ、測定値がほとんど変化していないから最近は大したことが起きていない、1 つが起きていて、ほかのものは休んでバッテリーを節約しよう、というような判断ができる」という。

Martinez 自身はコンピューター科学者であって雪氷学者ではない。こうしたセンサーウェブに必要とされるさまざまな技術を集約するという課題を得たいと考えていたことから、苛酷な環境を四六時中遠隔監視するこの仕事に興味をもった。「これは技術的に非常にむずかしい」と Martinez は話す。

コンピューター科学者でない者にとってはさらにたいへんな話だ。CrossBow 社や Dust Networks 社（いずれも本拠地は米国カリフォルニア州のペイエリア）など、多数の新興企業が製造するタバコ箱サイズやクレジットカード大のポッドは、すでに既製品の形で購入することができる。しかし、これは出発点にすぎない。特定の科学的用途に用いるセンサーウェブの構築には、特にプログラミングの面で大規模なカスタマイズが必要なのが現状だ。

ジョンズホプキンス大学（米国メリーランド州ボルティモア）の生態学者である Katalin Szlavecz は、土壌の生物多様性と栄養循環を研究している。Szlavecz がセンサーウェブにのめり込んだのは、限られたデータで複雑な問題を解こうとするにはあまりに制約が多いからだった。土壌は地上の生態系で最も複雑とされる階層だが、サンプルを手作業で収集して持ち帰り、研究室で分析しなければならないという現実が足かせと

なり、理解はあまり進んでいない。「無線式のセンサーネットワークがあれば、これまでは不可能だった時空間での測定ができ、土壌生態学が大きく変わることになる」と Szlavecz は話す。

データの流れ

昨年 9 月、Szlavecz は大学の敷地のすぐそばを流れる小川沿いにモートを 10 個配備した。各モートは土壌の水分と温度を分刻みで測定し、そのデータはネットワークを通じて定期的に室内のコンピューターに送られてくる。

これは単純な話にも聞こえるが、実際にはポッドを動作させるためだけに、コンピューター科学者、物理学者、数人の学生プログラマーという学際的なチームを編成しなければならなかったという。Szlavecz は、ポッドのネットワークが広がっていくこと自体は「間違いない」とするが、もっと簡単に展開できるようになることが条件だと話す。経済性も問題で、「ユニット 1 つに約 300 ドル（3 万 5000 円）かかる。でも、学生が作業する時間も算入すれば 1,000 ドル（12 万円）くらいにもなる」という。しかし Szlavecz は、マイクロソフト社が出資するこの小規模試験について、土壌の小気候が示す変化をはじめて解明するとともに、降雨が乾湿サイクルにどう影響するかを明らかにすることができ²、成功だったと話す。



眠らない目：モートとよばれる小さなコンピューターが、ある日あらゆるものに取り付けられているかもしれない。



未来の科学：氷の下に埋めた小型センサーを追跡することにより、ノルウェーの氷河の流れを絶えず観測し続けることができる。

広がるセンサーウェブ

Dust Networks 社の創設者で最高技術責任者でもある Kris Pister は、Szlavec の経験したような困難はごくありふれたものだと言語。スマートダストという言葉を作り出し、目に見えないほど小さなセンサーを組み合わせで頭で把握しきれないほどのネットワークを構築するという構想を発表したのは、カリフォルニア大学バークレー校（米国）にいたこの Pister だった。Pister は、この技術の軍事への応用に興味をもつ米国国防総省高等研究計画局から資金を得て、センサーウェブの原型を構築した。しかし、市場の資金を得て Dust Networks 社を設立することにしたのは、さらに利便性の高いシステムを構築したいという欲求からだったという。「すばらしさは示せたのに、実際に木や川に設置できる実物を科学者に提供できなかったことにいらだちがあった。求められているのは、外の世界にただ置くだけで済むセンサーと、そこからデータを取ることなのだ」と Pister は語る。

Pister は、センサーウェブ開発の現状を初期のコンピューターになぞらえる。「参入に必要な時間とノウハウをもち、この

ツールをどう使いこなせばよいのかを学べる専門家がセンサーウェブの最先端にはたくさんいる。しかし、専門家以外の人々がやってきて使おうとしてもむずかしい」という。一方で、初代ウェブブラウザの「モザイク」やその後継の「ネットスケープ」がワールドワイドウェブの一般への広がりを誘起したように、もっと扱いやすいセンサーウェブのツールができれば関心も大きくなるだろうと予想する。

科学への応用にも興味をもつものの、Pister の主要な目標は稼げる制御システム用の産業市場にある。米国エネルギー省と契約し、工場、オフィス、家庭用の「インテリジェント」な自己監視照明システムを構築するための支援を受けている。この用途の照明が使用する電力量は 6000 億キロワット時で、建物の総電気使用量の 30% にあたる。「次のステップとして、何らかの形で実際に規格が採用され、商業利用されるようにしたい。そうすればコストが下がって性能は向上し、科学向けにも手がけられるようになる」という。

現在のセンサーウェブ技術でも研究用途は増加している。ジェット推進研究所（JPL；米国カリフォルニア州パサデナ）は

NASA の惑星科学研究の大部分を取り仕切る施設だが、そのほかにも、植物園にはじまりセビレッタ国立野生生物保護区（米国ニューメキシコ州中央部）にいたるさまざまな環境で、洪水や汚染、小気候などを調べる大規模なセンサーウェブを 9 件運用している。今年 3 月、JPL のセンサーウェブ計画の責任者である Kevin Dellin は、この事業を Sensorware Systems 社として独立させた。

巨大ネットワークの構築

しかし、現在のセンサーウェブは野外で科学活動を行うには大きな制約がある、と CENS（Center for Embedded Networked Sensing；米国カリフォルニア州ロスアンゼルス）所長の Deborah Estrin は語る。CENS は大学グループと共同で、地上および海洋を拠点とする監視プロジェクトを進めている。Estrin によれば、センサーウェブだけではモニタリングで得たいとされるデータのすべてを満たすには不十分な場合が多く、しかもきめ細かな野外実験でたびたび必要とされるポッド密度は、センサーのコストの問題で達せられないのだという。

地球の監視という壮大な計画を完成させるにはセンサーウェブの大変革が重要になると Estrin は考えている。大陸と海洋を監視するこのプロジェクトでは、何十億ドルもの資金がつぎ込まれることになっている。たとえば米国立科学財団の海洋観測イニシアティブ (OOI) は、太平洋の海底にギガビットの「バックボーン」(光ファイバーのデータキャリア) を設置するため、今後 6 年間で 3 億ドル (約 350 億円) を投じる計画だ。地上では、計画中の米国立生態観測施設ネットワークを使って、地域レベルから大陸スケールまでの地上生態系をリアルタイムで研究することを目指している。さらに地中では、北米大陸の地殻から核までの 4 次元構造が「アーススコープ」プロジェクトで探査される。局所的なセンサーウェブとこうしたほかのネットワークのすべてを統合することは、観測科学が発展していくうえで直面する大きな難問の 1 つだ、と Estrin は話す。

このような巨大観測設備は、Szlavecz がボルティモアの小川にいくつも配備したセンサーとはまったく別物のように思えるかもしれない。しかし、質の高いリアルタイムデータを環境から可能な限り収集するという点で、その根本は極めてよく似ている。OOI 執行運営委員会議長の Robert Detrick は「個々のデータファイルではなく、連続的なデータの流れが取り扱われるようになる。さまざまなセンサーからの入力情報を双方向的に組み合わせてバーチャルな観測施設を構築するのだ。センサーはあらゆる場所に設置されるようになる」と語る。

海洋学者は自分の研究船が任意のタイミングで通る海域しか観測できない場合が多い、というような現実の打破を OOI は目指している。海底の光ファイバーバックボーンの面倒をみるのは、多数の小型自走式潜水艦だ。これらはセンサーを積み、サンプリング活動に出かけ、バックボーンに戻ってバッテリー充電とデータのアップロードを行う。「潜水艦は互いに音でコミュニケーションをとる。そのなかの 1 つが『お

い、こっちに変なのがあるぞ、来いよ』なんていうのかもかもしれない」と Detrick は興奮気味に話す。構造プレートについては定置式センサーが全体を連続監視する。地震や火山噴火、海流の不安定状態などの突発事象はリアルタイムに捕捉される。どれも観測船ではできない類いのことだ。

ただ、このような大規模ネットワークを存在させるには大きな課題があると Estrin はいう。センサーウェブは数々のデータ収集システムのなかの 1 つにすぎないということも十分にありうる。こうしたシステムでは、衛星のリモートセンシングデータから現場での測定値まで、さまざまな時空間における情報を引き出す。

それらのすべてを管理するには装置間での大量のコミュニケーションが必要で、さまざまな種類のネットワークが互いに作用できるような新たな統一規格とオペレーティングシステムの開発が大きな課題となる。センサーとセンサーネットワークは、自らが集めるデータは何についてのものか、データをどのように入手・校正したか、誰に見せてよいのか、異なるニーズをもつユーザーに対してどのようにデータを見せればよいのか、という点について互いにコミュニケーション



生態学者 Katalin Szlavecz は、小型のコンピューターを使って土壌水分の変化を分刻みで測定している。

ンが取れる必要がある。Shankar は、規格の欠如がセンサーウェブ問題を解決不能にしているわけではないが「この分野の進展を数年遅らせている」という。

瞬間をとらえる

いくつもの問題を伴いながらも、センサーウェブの利用は増大し続けている。最初の 10 個のポッドでいろいろと苦労した Szlavecz は、200 個からなるネットワークにまで増強している。専門家は、最終的にあらゆるものにセンサーが埋め込まれることについて、根本的な障害はないと考えている。Borriello は「我々は正しい道を進んでいる。そしてさまざまな意味ですでにゴールに達したといいたい」と話す。Estrin によれば、2020 年までには、グーグルアースのような視覚化ツールを利用する研究者が、古い衛星画像にとどまらない「地球の複数地点のリアルタイムでの現場観察」ができるようになるという。

データネットワークは科学データのレポジトリになるのではなく、やがてそこらが研究の出発点となるのだろう。科学者の思い描く世界が我々には突拍子もないものに映るのと同じく、コンピューターがデスクトップやポータブルだけだと考えられていたころを研究者が振り返ると、奇異な世界に感じるのかもしれない。これほどまでにコンピューターに依存する科学は生命の本質からかけ離れていると考えられることもあるだろうが、未来の科学者は今の世界を抽象化されたものとして振り返るのかもしれない。皮肉っぽくいえば、今の科学こそデータ選択と実験室分析の不自然さに縛られたバーチャルリアリティのようなもので、本当の世界の本質をとらえるところまではまだ達していないかもしれないのだ。■

Declan Butler は *Nature* のシニアレポーター(パリ)。

1. Martinez, K., Riddoch, A., Hart, J. & Ong, R. in *Intelligent Spaces* (eds Stevenson, A. & Wright, S.) Ch. 9, 125-138 (Springer, 2006).
2. Musaloiu, E. R. et al. *Life Under your Feet: A Wireless Soil Ecology Sensor Network* (submitted) The Third IEEE Workshop on Embedded Networked Sensors (2006).

ロンドンの惨事と「スーパー抗体」

Can super-antibody drugs be tamed?

Nature Vol.440(855-856)/13 April 2006

ロンドンの病院で今年3月、臨床試験に協力した6人の健康な男性が多臓器不全で集中治療室に運ばれ、2人が危篤、4人が重症となる事件があった。この惨事の原因は、投与された薬そのものにあったことが明らかになった。いったい何が問題だったのか、この「スーパーアゴニスト」抗体による治療に将来はあるのか。Michael Hopkin が取材した。

動物実験では問題ないはずだった。しかし今年3月、抗体薬「TGN1412」の臨床試験に参加していたイギリス人男性6人が集中治療室にかつぎ込まれるという事件が起きた。調査の結果、臨床試験の実施方法や、試験申請の許認可手続きに問題はなかったことがわかった。これらに関与した人たちにとってはやや胸をなでおろす結果となったが、この分野の研究者たちにとっては手痛い一撃となった。免疫学者たちは今、なぜ臨床試験がこれほどまでにひどい結果となったのか、「スーパーアゴニスト」抗体治療が秘める恐ろしい力は、そこに寄せられる期待をはねのけてしまうようなものなのかを調べている。[訳注：アゴニスト（作動薬）は、ある生体物質の受容体に結合し、その物質のもつ作用と同じか似た作用を現す物質である。スーパーアゴニストは、元の作用物質よりもさらに強い作用を示す物質をいう。]

ロンドンのノースウィックパーク病院で臨床試験に参加した6人のボランティア被験者は、おそらく「サイトカインストーム」とよばれる大規模な免疫応答に襲われたものとみられる。これは、ヘルパーT細胞という細胞が放出する炎症性の分子が体に充満する症状で、数時間のうちに患者の臓器

の働きを止めてしまう（Nature 440, 338-339; 2006 参照）。この臨床試験を認可した英国医薬品庁（MHRA）は4月上旬、薬に雑菌や汚染物質の混入は見つからなかったと発表した。つまり、圧倒的な作用はほぼ間違いなくTGN1412そのものによって引き起こされたことを意味する。

この薬剤を開発者は「スーパーアゴニスト」抗体と名づけている。今さらいっても遅いが、この薬剤が免疫系の中で暴れ狂ったのは、意外なことではなかったのかもしれない。現在、約20種の抗体治療が認可済み、あるいは近く認可される予定だが、それらのほとんどは、特定のウイルスやがん細胞のタイプに対して、人体で自然に生み出される抗体を真似たものだ。しかし、TGN1412は異なる。TGN1412は、T細胞が活動しすぎることを防ぐために通常働く、「チェックアンドバランス」（抑制と均衡）のしくみをすり抜けることを意図して設計された。

T細胞は通常、免疫系が認識した特定の敵、つまり抗原に反応する。抗原に遭遇すると、抗原提示細胞が抗原をT細胞の表面に提示し、T細胞表面の2か所でそれらがT細胞と結合する。この2か所というのが、T細胞受容体（TCR）とCD28受容体である。TCRとの結合は

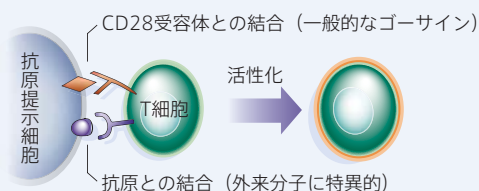
抗原に特異的に起こり、CD28受容体との結合は、T細胞に対してゴーサインを出すような働きをする。T細胞の活性化には普通、この両方が必要だ（右ページの図を参照）。しかし、TGN1412の開発者は、TCRとの結合なしにCD28受容体にゴーサインを与え、T細胞をひとくりに活性化する方法を見つけた。

T細胞は大きく3つのグループに分けられる。特定の標的細胞を破壊するキラーT細胞、免疫系のほかの部分の働きを強め、サイトカインストームの源である可能性が最も高いとされるヘルパーT細胞、そして免疫系のほかの要素を抑制する制御性T細胞である。キラーT細胞のほぼ半分、また、ほぼすべてのヘルパーT細胞と制御性T細胞がCD28受容体を発現している。

ビュルツブルグ大学（ドイツ）の免疫学者 Thomas Hünig と、TGN1412を開発するために彼が共同設立したスピンオフ企業 TeGenero 社の研究者たちは、動物で TGN1412 の試験を始め、TGN1412 が制御性T細胞だけを活性化するというのを見いだした（Beyersdorf, N. et al. J. Exp. Med. 202, 445-455; 2005）。このため、TGN1412 はリウマチ性関節炎や1型糖尿病などの自己免疫疾患の治療薬となる可能性があると考えられた。

通常のT細胞活性化

T細胞の活性化には、2つのシグナルが必要だ。一般的な活性化トリガーと、外来と認識された分子に特異的な抗原である。



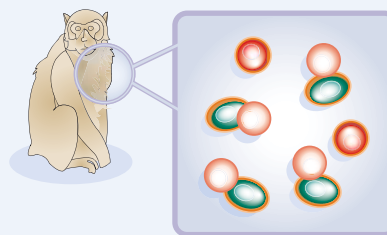
スーパー抗体によるT細胞活性化

この方法は両方のシグナルに優先されるもので、特定の抗原に特異的なT細胞だけではなく、CD28受容体をもつすべてのT細胞を活性化する可能性がある。



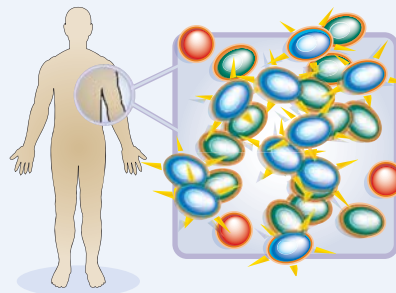
動物実験で起こったこと

サルでは、TGN1412は免疫応答におけるほかの要素を抑制する制御性T細胞だけを活性化した。このため、TGN1412は患者自身の組織を攻撃する炎症細胞（赤色）を抑え、自己免疫疾患の治療に役立つだろうと研究者たちは期待した。



ロンドンでの臨床試験で起こったとみられること

TGN1412は制御性T細胞を活性化するだけでなく、ヘルパーT細胞（青色）をも活性化した。ヘルパーT細胞は免疫応答におけるほかの要素の働きを強めるサイトカインという化学物質を作る。こうしたT細胞の大規模な活性化により、炎症性の分子が患者の体中に洪水のように急速に広がる「サイトカインストーム」が起こったものと思われる。



TGN1412を投与すれば、残りの免疫系を通常通りに機能させながら、免疫抑制力のある細胞が、過度の炎症が起きている場所の炎症を和らげてくれるかもしれないと研究者たちは期待した。

TGN1412は、動物では制御性T細胞だけに作用したが、人間の臨床試験ではまず間違いなく、そうはならなかった。その理由はまだ明らかではないが、どうやら人間では、スーパー抗体はすべてのヘルパーT細胞をも活性化し、サイトカインストームの引き金を引いたらしい。

「人間で起きた内容を知って、私たちは驚き、衝撃を受けた」とHünigはネ

イチャーの取材に答えて語った。「前臨床試験では、人間の被験者に投与された量の500倍をサルに投与した。しかもサルのCD28受容体は人間のCD28受容体と同一だ」とHünigは話す。つまり、サルに対する作用と人間に対する作用はほぼ同じはずだった。

動物実験と人間での臨床試験の結果が違った原因は何か。考えられる可能性の1つに、抗体分子のCD28受容体結合場所の逆にある「尾」の部分が、人間とサルとで同じではないかもしれないことが挙げられる。抗体は、その尾が関与する架橋というしくみで多く

の免疫細胞や抗体を巻き込み、免疫反応を増幅する場合がある。治療用の抗体は、人間の一般的な抗体と同じ全体構造をもつように修整されている。しかし、このために、TGN1412のすべての活性が動物実験では現れなかったのかもしれない。Hünigはこの可能性を認めている。

英国・ケンブリッジにある免疫研究企業ImmunoBiology社のCamilo Colacoは、この領域について以前行われた研究結果をHünigたちが熟知しているべきだったと話す。同じような研究が、過去にCD3受容体について行われ

ているというのだ。CD3 受容体はT細胞受容体と一体となって働く構成要素で、T細胞の活性化には不可欠である。CD3 受容体を目標としたスーパーアゴニスト抗体は、T細胞全般の活性を増加させ、免疫抑制剤を投与された移植患者が免疫系を回復させるのに役立つかもしれない、と研究者たちは期待していた。

危険な賭け

しかし、マウスを使ってこのスーパーアゴニスト抗体のテストを行ったところ、制御されないサイトカインの放出が起きるという問題があることがわかった。ただし、マウスはすでに免疫を弱められていたため、サイトカインの放出は大規模なものではなかった (L. Chatenoud et al. *Transplantation* **49**, 697-702; 1990)。そこで、架橋を防ぐために抗体の尾の修整を行うと、同じ問題を起こさない抗体ができ、臨床試験に入ることができた (P. A. Carpenter et al. *Biol. Blood Marrow Transplant.* **11**, 465-471; 2005)。この薬は今、visilizumab の名で認可されている。しかし、「健全な免疫系をもつ健康なボランティアで修整されていないスーパーアゴニストを使うことは、軽率に危険を冒すことにほかならない。そんなことをしたら、とんでもないことが起きてしまう」と Colaco は話す。

今回の原因に関して、さらなる議論をよぶような仮説がもう1つある。人間では、CD28 受容体はT細胞以外の免疫系にも見つかる。ベイラー医科大学 (テキサス州ヒューストン) の免疫学者 Dorothy Lewis は、人体で最も多い白血球細胞であり、ある程度の細胞殺傷能力をもつ顆粒白血球に CD28 受容体が存在するのかもしれない、とみている。あるいは、キラーT細胞が刺激を受け、グランザイム B という細胞破壊分子を放出したのかもしれないという。こうしたプロセスは、理論的には TGN1412 の臨床試験でみら

れたような作用を起こす可能性がある」と Lewis は話す。臨床試験に参加し、TGN1412 の投与を受けた6人は、全員が投与から数分以内に深刻な作用を受け、12時間以内に衰弱した。これに対してサイトカインストームの起こり方はゆっくりしているので、被験者にみられた急速な反応を説明できないと彼女はいう。そして、「T細胞を刺激してもフルに能力を発揮するまでにはいくらか時間がかかる。しかし、顆粒白血球なら反応はすばやい」と説明する。

しかし、Hünig は Lewis の仮説を受け入れてはいない。臨床試験の失敗を受け、Hünig は、CD28 受容体が、彼が考えていたよりもありふれた受容体なのかを確かめようと文献を調べた。しかし、ある1つの研究グループが顆粒白血球に CD28 受容体を見つけたと主張しているだけだったという (K. Venuprasad et al. *Eur. J. Immunol.* **31**, 1536-1543; 2001)。彼は、Lewis の考えはありえないことだと確信しているという。Hünig は、ヘルパーT細胞を活性化しすぎることの原因があるという考えには納得している。「サイトカインが原因にしては進行が速すぎるということはない」と彼は話す。

未来はあるか

エディンバラ大学 (英国) の免疫学者である Steve Anderton ら一部の研究者は、CD28 受容体の構造の推定 (E. J. Evans et al. *Nature Immunol.* **6**, 271-279; 2005) からわずか1年後に、早くも人間で TGN1412 が試されたことに懸念を抱いている。Anderton は免疫系をすり抜けるがんを抗体で治療する方法を研究している。「この方法が人間で試されたことに仰天している。TGN1412 は、免疫応答のあらゆるルールからかけ離れたものだ」と彼は話す。CD28 の経路を研究しているペンシルベニア大学 (同州フィラデルフィア) の Jim Riley も同じように感じている。

「ニュースを聞いて最初に思ったのは、『彼らはどうやって規制当局の許可を得たのか』だった」と Riley は話す。

現在の大きな問題は、この研究分野が今後どう歩みを進めていくのかということだ。スーパー抗体でさらなる研究を進めるという危険をおかす代わりに、ほかの方法に支持が集まりつつある。1つの選択肢は、患者の制御性T細胞を実験室で培養し、それを血流中に注入することだ。また別の方法は、阻止抗体を使い、抗原提示細胞とT細胞との結合などのプロセスを標的とすることだ。この方法を使えば、制御性T細胞を活性化することなしに自己免疫疾患を治療することが可能で、すでに多発性硬化症のマウスモデルで試されている (H. D. Lum et al. *Leukocyte Biol.*; in the press)。

しかし、スーパー抗体治療には将来性があると感じている研究者もいる。CD3 スーパー抗体である visilizumab は、安全なスーパー抗体というものがあろうことを示唆している。そして、主には制御性T細胞や、また一度活性化されたほかのT細胞が発現している CD25 受容体は、CD28 受容体よりも安全な標的であるかもしれない、と Anderton は話す。

TeGenero 社の将来は不明確だ。職員はわずか15人で TGN1412 が唯一の製品である。この技術を手なずけることができるのなら、同社の将来は有望にも思える。「スーパーアゴニスト抗体の今後の開発の進め方に最終的な答えを出すには早すぎる。安全面および薬学上の特徴を極めて注意深く評価することにより、危険性を減らすことは可能かもしれない」と TeGenero 社はネイチャーへ寄せたコメントの中で述べている。

しかし、スーパー抗体で CD28 受容体を活性化するというアイデアは、ほぼ間違いなく葬られてしまった。「今のままの形で、私はこの治療法とは関わりたくない」と Riley は話す。 ■

非コード RNA に注がれる熱い想い

西村尚子 (サイエンスライター)

タンパク質をコードしない RNA に関する研究が盛んだ。そのなかでも、特に注目されているのが「機能性 RNA」とよばれるもの。核内にある低分子 RNA やメッセンジャー RNA に似た構造をとる RNA などについて、最新の研究成果を報告する。

RNA 研究に、「追い風」が吹いている。ターゲットとされるのはタンパク質をコードしない、いわゆる「non-coding RNA (ncRNA、非コード RNA)」だ。ブームは近年、20 塩基ほどのマイクロ RNA に、発生や分化、代謝、ウイルス耐性、発がんといった、さまざまな生命現象を制御する機能があると、相次いで報告されたことに端を発する。

昨年の秋には、理化学研究所の林崎良英博士らが、マウスゲノムの 70% 以上の領域がいったんは RNA に写し取られていることを明らかにし、その約半数が ncRNA であることを突き止めた¹。さらに、ncRNA のなかには、ある特定の部位が化学的な修飾 (RNA 修飾) を受けることで、機能を獲得するものがあるとする研究成果も相次いでおり、ncRNA の機能解析がますます盛んになっている。

バラエティーに富む ncRNA

今や、10 種以上に分類されている RNA だが、タンパク質をコードするか否かで、大きく 2 分することができる。1 つはもちろん、伝統的なセントラルドグマの定義にあてはまるメッセンジャー RNA (mRNA) で、そのコドンがタンパク質を作るために使われる。それ以外の RNA は、すべて「ncRNA」と総称されている。mRNA には「1 本鎖で先端にキャップ構造、末端にアデニンの並びからなるポリ A 構造をもち、タンパク質への読み取り枠 (ORF: open reading frame) を含む」との定義がある。しかし、ncRNA のほうにはまだ明確な定義がなく、長さ、構造、機能のいずれの点においても、実にバラエティーに富んでいる。

現在、ncRNA のなかでもとくに注目されているのが「機能性 RNA」と称される

ものだ (表 1 を参照)。「機能性 RNA には、私が研究してきた核内の低分子 RNA や、20 塩基程度のマイクロ RNA、mRNA のような構造をしているが有意な ORF をもたない RNA (mRNA 様 ncRNA) など、さまざまなものが含まれる」。一貫して RNA の基礎研究を行い、昨年の秋から経済産業省管轄の (独) 産業技術総合研究所生物情報解析研究センターで研究を続ける廣瀬哲郎博士は、ncRNA について、そうコメントする。

注目される RNA の修飾や編集

廣瀬博士が研究対象にしてきた RNA は、核内に存在するもので、「核小体低分子 RNA (snoRNA: small nucleolar RNA)」とよばれている。ヒトではすでに 200 種以上が知られており、いずれも楕円ループ状のユニークな立体構造をもっている。

主にリボソーム RNA (rRNA) の特定部位を化学的に修飾し、正しい構造をもつリボソーム合成を可能にする役目を果たしている (図1を参照)。

「ほ乳類の rRNA には修飾を受ける部位が 200 種以上あり、それぞれの部位に相補的な配列をもつ snoRNA が特異的に結合するしくみになっている」と廣瀬博士。この場合の化学修飾にはメチル化など 2 種類があり、snoRNA の特定部位に結合したタンパク質が rRNA の特定の部位に触媒機能を発揮する。

興味深いことに、ほ乳類の snoRNA 遺伝子は、リボソーム生産に関わる遺伝子のイントロン (mRNA の生成過程で切り捨てられてしまう部分) に多くみられるという²。この点について廣瀬博士は「酵母などでは、イントロンではない部位に遺伝子があるので、もとは独立した遺伝子だったのだろうが、あるときリボソーム生産関連遺伝子のイントロンに入り込み、都合よく 1 つの領域で、同時にかつ協調的に、リボソーム生産と snoRNA 生産ができるようになったと思われる」と話す。

RNA 修飾のなかには、塩基が化学修飾されることによって指定アミノ酸が変化するものもあり、そのようなタイプは特に「RNA 編集」とよばれている。RNA 編集もまた、ncRNA の機能獲得に関与していることが示唆されており、世界各地でその解析が急がれている。たとえば、アメリカのウィスター研究所教授の西倉和子博士は、mRNA 中のアデノシン (塩基部分にアデニンを含むリボヌクレオシド:A) をイノシン (アデノシンが脱アミノ化されたもの:I) に変換するタイプの RNA 編集 (A→I RNA 編集) を対象に研究を行っている。

生体中の酵素の多くは、イノシンをグアノシン (塩基部分にグアニンを含むリボヌクレオシド) であるかのように認識するため、「A→I RNA 編集」を受けると、mRNA の塩基配列情報が変わることになり、指定アミノ酸も変化する。この変化は、最終的にはタンパ

ク質の構造変化として反映されるため、遺伝子中のどのアデノシンが「A→I RNA 編集」を受けるかによって、単一の遺伝子から複数種の機能の異なるタンパク質を作り出せるようになる。

このような「A→I RNA 編集」を行うのは、ADAR (adenosine deaminases acting on RNA) 酵素とよばれるもので、ヒトでは ADAR1、ADAR2、ADAR3 の 3 種が知られている (図2を参照)。西倉博士はそのうち ADAR1 とよばれる酵素の遺伝子を世界で初めてクローニングし、「A→I RNA 編集」の機能解析のための道を開いてきた³。「最近では、脳内のセロトニン受容体やグルタミン酸受容体の RNA 編集に ADAR1 や ADAR2 が関与していること、これらの欠損や機能低下による RNA 編集の異常が、精神疾患や神経変性疾患に関わることもわかってきた⁴」。西倉博士はそう話す。

非コード RNA 機能解析プロジェクト

ncRNA 研究の急激な進展を受け、経済産業省は 2005 年 8 月に「機能性 RNA プロジェクト」を発足させた。プロジェクトの期間は 5 年で、「機能性 RNA の探索・解析のためのバイオインフォマティクス技術の開発」「機能性 RNA 解析のための支援技術・ツールの開発」「機能性 RNA の機能解析」の 3 部門で進められている。

廣瀬博士は「機能性 RNA の機能解析」においてサブグループリーダーを務めており、「最終的には RNA を用いたまった

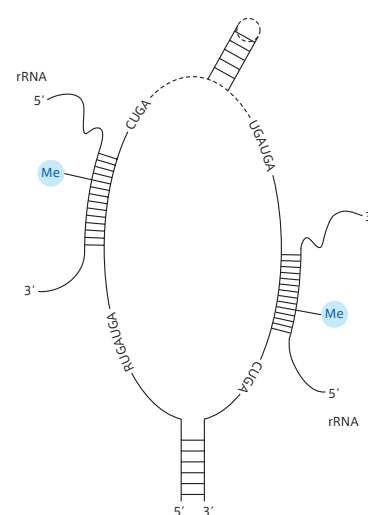


図1 核小体低分子 RNA (snoRNA) の基本構造
snoRNA は、特徴的な環状構造をもつ。基質となるリボソーム RNA (rRNA) のメチル化修飾部位を示した。

く新しい応用技術を開発して、医薬品などに結びつけることが目標。今は、ヒトとショウジョウバエを対象にしたマイクロ RNA の機能解析と、ヒトを対象にした mRNA 様 ncRNA の機能解析を始めたところだ」と話す。このうち、mRNA 様 ncRNA の機能解析は、欧米でも本格的には着手されておらず、mRNA 様 ncRNA が明確な機能をもつのか否か、もつとしたらどのような機能なのかについてはほとんど解明されていないという。廣瀬博士は「機能が不明な現状では、まず、疾患と関連があるのかどうかを探るのがよいのではないか」とし、「mRNA 様 ncRNA の細胞内挙動が、どの部分で

表1 機能性の RNA のカテゴリー

カテゴリー	鎖長	細胞内局在	機能に関する知見の例*
I マイクロ RNA	21 塩基	細胞質 核	翻訳抑制、RNA 分解 クロマチン構造変換
II mRNA 様 ncRNA	多様	細胞質 核	タンパク質輸送制御? クロマチン構造変換、転写開始制御
III その他の低分子 RNA	70~300 塩基	細胞質 核 核小体	RNA 品質管理? (Y RNA) 転写伸張制御 (7SK RNA) RNA 編集制御 (MBI-52 snoRNA)

*: 機能に関する知見は、代表的な ncRNA の既知機能について記載してある。

メッセンジャー RNA と異なっているのか、といった基礎的な知見を得ることも重要だ」と話す。

一方、東京大学大学院工学系研究科の鈴木勉博士は、機能性 RNA プロジェクトにおいて「機能性 RNA 解析のための支援技術・ツールの開発」の責任者を務めている。鈴木博士も RNA 修飾について研究を行っており、転移 RNA (tRNA) の修飾異常がミトコンドリア脳筋症などの重篤な遺伝子疾患の原因になることなどを突き止めてきた⁵。経済産業省のプロジェクトでは RNA を「情報」としてではなく「物質」としてとらえ、質量分析技術によって高感度に解析する新手法を構築中だ。「現在は、RNA 断片の質量を調べ、それを既知のゲノム情報に照らし合わせることで、その遺伝子配列を迅速に同定するための『RNA マスフィンガープリント法』の開発を急いでいる」と鈴木博士。「この手法が完成すれば、免疫沈降によって調製していた RNA・タンパク質複合体の RNA を、迅速にかつ定量的に同定できるようになる」としている。

質量分析による RNA 解析は、RNA にどのような修飾が施されているのかを検出するのにも適しているという。「たとえば、塩基にメチル基がつくと、質量は 14 ダルトン分大きくなる。この変化は、質量分析だと検出できるが、従来の配列ベースの解析では不可能だ」と鈴木博士。実際に、この手法を応用して、さまざまな RNA 修飾酵素を同定することにも成功している^{6,7}。さらなる挑戦として、マイクロ RNA のようなごく微量の RNA にも対応するために、フェモトモル (フェムトは 10^{-15}) レベルを検出できる技術も開発しているという。

日本の戦略、アメリカの戦略

大ブレイクしている感のある ncRNA 研究だが、研究の進め方には、日米で大きな違いが生まれている。たとえば西倉博士は、「日本では経済産業省主導で、RNA テクノロジー活用研究にターゲットをしばった大型プロジェクトが始まって

いるが、アメリカでは、エピジェネティック生物学研究の一環として、ncRNA やマイクロ RNA 研究に大型予算がつく傾向にある」とコメントする。エピジェネティックとは、個体レベルでみられる遺伝子の制御のことで、たとえば RNA 干渉 (RNAi) やクロマチン構造の変化といった現象が知られている。さらに西倉博士は「ここ数年、マイクロ RNA ががん遺伝子やがん抑制遺伝子の制御に深く関わっていることが報告されてきている。アメリカでは、長年、NIH 主導のもと、がん研究に巨額が投じられてきているが、近々、がんを対象にしたエピジェネティック研究の大型プロジェクトが立ち上がる」と聞いており、その一環としてのマイクロ RNA 研究もますます盛んになるだろう」と話す。

日本では、RNA 研究に対して、過度に応用を期待しているところがある。今後は個別に進められる研究をいかに統合するかが大きな課題となる。廣瀬博士は「機能性 RNA という言葉自体、科学的な専門用語ではなく、プロジェクトのために作られたものではないか」とコメントする。とはいえ、日本もアメリカも、RNA 研究を創薬や新たな治療法に結び

つけようとしている点は共通している。廣瀬博士も「すぐに薬を開発するのはむずかしいかもしれないが、RNA の細胞内挙動をとらえることで、病態の把握のためのマーカーとして利用することなどは可能だろう」としている。

ただし、機能をもつ ncRNA は、発見からごくわずかの時間しか経っていない。その基盤メカニズムもまだ解明途中だ。応用を急ぐあまり、基礎研究がおろそかになることのないよう、腰を落着けた研究体制が望まれる。

1. The FANTOM Consortium and RIKEN Genome Exploration Research Group and Genome Science Group, *Science* **309**, 1559-1563 (2005).
2. Filipowicz, W. and Pogacic, V., *Curr Opin. Cell Biol.* **14**, 319-327 (2002)
3. Yang, W., et al. *Nature structural & molecular biology*, **13**, January, 13-21 (2006)
4. Maas, S., Kawahara, Y., Tamburro, K. M., and Nishikura, K., *RNA Biol.*, **3**, e1-e9 (2006)
5. Kirino, Y., Goto, Y., Campos, Y., Arenas, J. and Suzuki, T., *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, **102**, 7127-7132 (2005)
6. Noma, A., Kirino, Y., Ikeuchi, Y. and Suzuki, T., *EMBO J.*, in press (2006)
7. Ikeuchi, Y., Shigi, N., Kato, J., Nishimura, A. and Suzuki, T., *Mol Cell.*, **21**, 97-108 (2006)

(1)

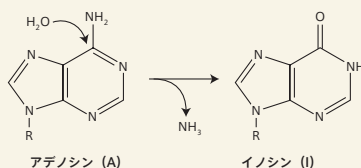
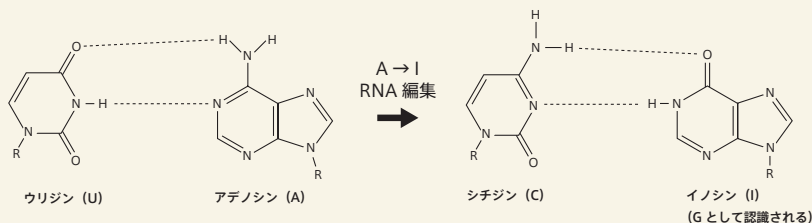


図2 ADAR 酵素による RNA 編集

- (1) ADAR 酵素による加水分解的脱アミノ化反応。アデノシン (A) がイノシン (I) に変換される。
- (2) ウリジン (U) : アデノシン (A) とシチジン (C) : イノシン (I) の塩基対を示す。生体中の酵素の多くはイノシンをグアノシンであるかのように認識する。

(2)



Ring the changes at Bell Labs

ベル研究所の改革の行方

Nature Vol.440(146-147)/9 March 2006
Geoff Brumfiel

ルーセント社が期待しているのは、起業家気質の新所長の手による伝説的なベル研究所の再生だ。

Jeong Kim にとってはさっぱりの 1 日だった。ベル研究所（米国ニュージャージー州マリーヒル）の所長として、その日は米国メリーランド州ポトマックにある広い自宅で在宅勤務の予定だったのに、インターネットのブロードバンド接続サービスがダウンし、修理の手配がつかなかったのだ。後になって、研究所から研究員を呼んで修理してもらえばよかったのといわれた彼は、肩をすくめてこういった。「それは考えつかなかったなあ」。

しかし 45 歳の Kim は最近、彼がトップに立つ研究所の科学者やエンジニアのことをかなり考えている。昨年 4 月に所長に就任して以来、Kim は世界的に有名なベル研究所の風土を変えようと日夜努力を続けてきた。研究所を再編して小規模な学際的研究グループを組織し、個々のプロジェクトを競争させて、勝ったグループに研究所の研究資金を供与するようにした。また研究所内で技術に関する責任者会議を開催し、研究者と営業担当マネージャーとの意見交換の場を増やした。そして技術開発プロジェクトの数を大幅に削減し、会社のニーズと密接に関連する研究だけを残すようにした。

フレッシュな人材

創立から 81 年を経た伝説的なベル研究所にとって、この韓国生まれの信頼性技術者の起用は、過去との決別を意味している。ベル研究所の歴代の所長は、ほとんどが同研究所の研究員とし

て長く勤めた者だったが、Kim はいわゆる外様の所長だ。1998 年、ベル研究所の親会社であるルーセント・テクノロジー社が、Kim が社長を務めていた音声・映像ネットワーク会社の Yurie Systems 社（米国メリーランド州）を 10 億ドル（約 1,150 億円）で買収した。それでルーセント社に入社することになったわけだが、彼はマリーヒルには引越さず、メリーランド州にある自宅から片道 300 キロの道のりを週 4 日通勤している。

Kim の登場によって研究所内に新たな意気込みが生まれた、とベル研究所の研究員や外部の評論家は語る。同研究所は、かつて世界最強の研究センターの 1 つに数えられたが、ここ 10 年間でひどく落ちぶれてしまっていた。「Kim には、このエネルギーがある」。こう語るのは、コロンビア大学（米国ニューヨーク）で物理学を研究するノーベル賞受賞者の Horst Störmer だ。彼は全盛期のベル研究所に在籍し、今でも同研究所の非常勤研究員である。「起業家である Kim は、歴代の所長とは異なったタイプの人物だ」。

Kim は、もっとうまく企業の幹部と連携することをベル研究所の学究肌の研究者に教え込もうとしている、とルーセント社の最高経営責任者 Patricia Russo はいう。「Jeong Kim が所長になってから、研究所内にとっても強い連帯感が生まれたといってもいいと思う」と彼女は話す。

とはいえ、方針の転換は容易なこと

ではない。これまでの歴史の中で、ベル研究所の居心地よい実験室は、企業の研究開発施設というよりも大学の物理学教室に近いような時期が長かった。もともとベル研究所は、米国電話電信会社（AT&T）の研究部門として設立された。同社は米国の電気通信業界を半世紀にわたって独占し、その中でベル研究所は AT&T にとってのブレーンとして位置づけられていた。研究所には数千人の科学者が雇われ、幅広いさまざまな関心分野の研究を進めることが許されていた。やがて同研究所は、プログラム言語である C 言語のような商業的技術革新が行われる場であると同時に、ノーベル賞受賞研究（例えば 1965 年のビッグバンの残光の発見）が行われる場所としても有名になる。

しかしこのような黄金時代は、1980 年代後半の電気通信事業の規制緩和によって終わりを迎える。だが、さらに本当の衝撃は、1996 年にルーセント社が AT&T から独立した時にやってきたと Robert Calderbank はいう。彼はプリンストン大学で電気工学を専攻する研究者で、かつては AT&T の研究担当副責任者だった。規模が小さくなった新会社では当初、ベル研究所の扱いについての方針が定まっていなかったのだという。

新会社はしばらくの間、ベル研究所の研究実績を自慢していたが、実際は他社の買収によって新技術を取得していたと Calderbank は話す。「ある時点で、ルーセント社にとっては『ベル研究

所』というブランドが技術よりも重要になったのだと思う」。2001 になって電気通信機器に対する需要が激減すると、事態はますます悪化した。ルーセント社は、研究所の一部の部門を分離独立させ、その他の部門も縮小を図った。

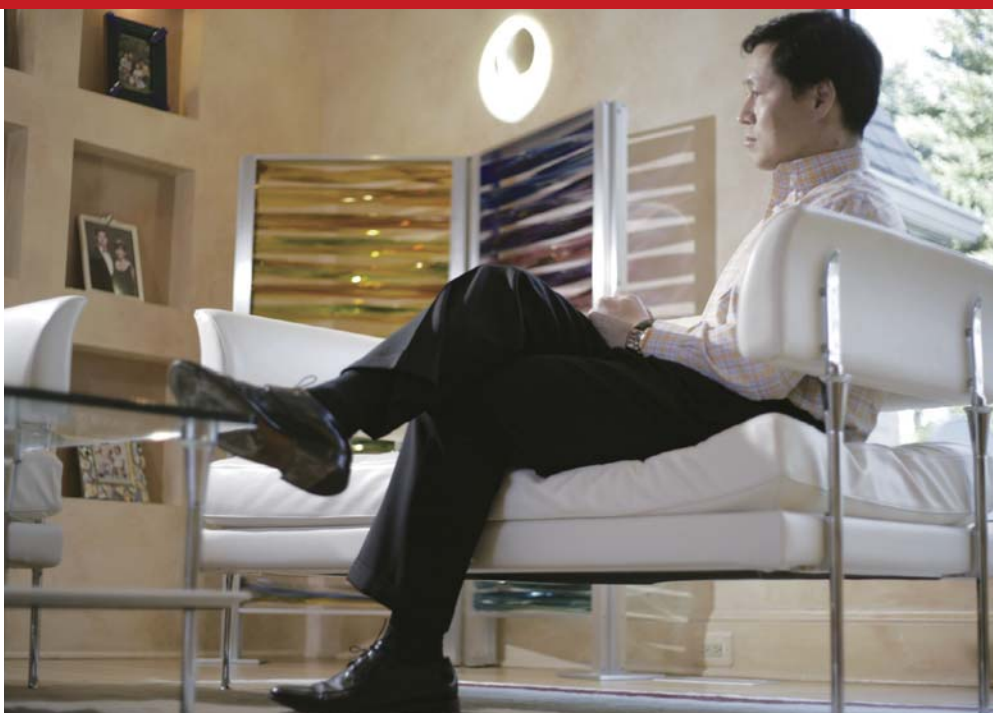
Kim は、自分の使命は研究員の士気を高めること、そしてベル研究所と親会社との関係を強化することだという。「ルーセント社の業績を高めることがベル研究所の成功を意味する、と私は明確に表明している」と Kim はいう。

有益性を重視する姿勢

「研究所内での企業家精神をもっと高めようとしています」と、ベル研究所のナノテクノロジー研究担当副主任の David Bishop もいう。彼は、Kim が小規模の新興会社と同じように研究所組織をチーム制に再編し、予算獲得のための競争をさせるようにした点を挙げる。Bishop のナノテクノロジー研究グループは現在、たとえば通信相手に触感や匂いを伝えるといったことで長距離通信をより充実したものにするデバイスの開発にしっかりと集中していると語る。

ルーセント社の製品に直ちにいかされることはないような基礎研究も継続する、と Kim は付け加える。しかし基礎研究を行う場合は、社外から積極的に研究資金を得よう研究者は指導されている。たとえばベル研究所の量子計算研究グループは、米国防総省国防高等研究計画局から資金を受けて研究を行っている。

開発部門についてはさらに踏み込んだ方針をとる。Kim によると、所長に就任した当時、この研究所の事業部門と研究員は数十件の高コストのプロジェクトを展開していたが、明確な目標が定められたものは数えるほどだった。そこで Kim は、正式な優先順位を設定するための過程を設けた。その結果、プロジェクトの数は 160 件から 30 件にまで削減され、経費の節減とほかの研究



ベル研究所の新所長 Jeong Kim は将来を見据えている。

への人員の配置ができるようになった。

これらの改革について、一部の古参研究員たちは懐疑的な見方をしている。「賭けをしたいなら大きな電気通信会社より新興企業のほうがはるかに向いている」と元 AT&T の数学者で現在はマサチューセッツ工科大学に所属する Peter Shor はいう。また、競争的な環境を作り出そうという Kim の計画によって、いくつかの興味深いテーマの研究がやりづらくなる恐れがあると話す。

ベル研究所ほどの規模の研究施設を利用するには、ルーセント社では企業規模が小さすぎるという見方をする論者もいる。近年、同社の事業のほとんどはすでに設置された機器のメンテナンスだった、と財務調査会社

Morningstar 社（米国シカゴ）のエクイティアナリスト John Slack は指摘する。「ベル研究所は、ルーセント社の事業にさほど大きな影響を与えない」。

また、研究所の競争力がどれほど強化されたとしても、その運命は究極的には親会社に依存していると Slack は話す。いくつかの投資が引き揚げられた結果、ルーセント社の売上高は 2000 年の 340 億ドル（約 3 兆 9100 億円）から昨年は 100 億ドル（約 1 兆 1500 億円）をわずかに割り込むところまできた。現在、売上高は増加傾向にあるが、ルーセント社が今よりも安定した財務基盤によって立つまでは、ベル研究所が大きく勢を取り戻す可能性は低いと Slack はいう。

Kim はこうした点を認めるが、研究所に関する強気の姿勢は変えていない。今年、ベル研究所では、ほぼ 10 年ぶりに研究員の総数が前年を上回ったことを Kim は指摘する（グラフ参照）。「頭の良い人はどこにでもいますが、ベル研究所は人材の幅の広さと深みの点でほかの研究所とは大きく違います。重要なのは、偉大な研究や開発が行われているかどうかではなく、それがどのように行われているかなのだ」と Kim は話した。 ■



News and Views

Nature **440**, 429 (23 March 2006) | doi:10.1038/440429a

Chemistry: Perkin, the mauve maker

<http://www.nature.com/nature/journal/v440/n7083/full/440429a.html>

Philip Ball

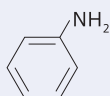


1. One hundred and fifty years ago this week, a teenager experimenting in his makeshift home laboratory made a discovery that in effect launched the modern chemicals industry. William Perkin was an 18-year-old student of August Wilhelm Hofmann at the Royal College of Chemistry in London, working on the chemical synthesis of natural products. In a classic case of serendipity, Perkin chanced on his famous 'aniline mauve' dye while attempting to synthesize something else entirely: quinine, then the only known remedy for malaria.
2. As a student of the renowned German chemist Justus von Liebig, Hofmann had made a name for himself by showing that a basic compound called aniline, obtained from coal tar, had the same properties as a compound distilled from raw, plant-derived indigo. Coal tar was the residue of coal-gas production, and there was intense interest in finding uses for the aromatic compounds, such as aniline, that could be extracted from it.
3. Working at home, Perkin tried to use an aniline derivative to make quinine by oxidation, based on the similarity of their chemical formulae (their molecular structures are very different). The reaction produced only a reddish sludge. But when the inquisitive Perkin tried the reaction using aniline instead, he got a black precipitate that dissolved in methylated spirits to give a purple solution. Textiles and dyeing being big business at the time, Perkin was astute enough to test the coloured compound on silk, which it dyed richly. Hitherto, almost all dyes were natural compounds extracted from plants and animals.
4. Boldly, Perkin persuaded his father and brother to set up a small factory with him to manufacture the dye, which he called mauve; the picture here is of a shawl, dyed with mauve, from 1862. The Perkins and others (including Hofmann) soon discovered a whole rainbow of aniline dyes, and by the mid-1860s aniline-dye companies included the nascent giants of today's chemicals industry, such as Bayer, Hoechst and BASF.

Science key words

1,2,3,4. **aniline:** アニリン

ベンゼンにアミノ基が1つついた構造をもつ有機化合物（右記構造式参照）。さまざまな工業、農業、医療用化合物の中間物質として多用される。



1,3. **quinine:** キニーネ

キナの樹皮に含まれるアルカロイド（窒素を含む塩基性の有機化合物）の1つ。マラリア原虫に特異的に毒性を示す。

2. **distill:** 蒸留

沸点の違いを利用し、液体混合物を蒸発・凝縮して目的物質の純度を高める精製法。

2. **residue:** 残留物

化学処理をして目的の物質を取り除いた後に残る物質。

2. **aromatic compounds:** 芳香族化合物
有機化合物の一群で、ベンゼン環（左記アニリン構造式中の六角形の構造）をもち、分子を構成する主要原子が同一平面上に並ぶ特徴をもつ。その多くの物質がにおいもっていたことからこの名前がついた。

3. **derivative:** 誘導体

ある化合物から化学反応によって得ら

れた生成物。

3. **oxidation:** 酸化

対象とする物質が電子を失う化学反応のこと。物質に酸素が化合する反応や水素が奪われる反応が相当する。

3. **precipitate:** 沈殿（物）

溶媒に溶けず、溶媒下方にたまる微小固体。

4. **methylated spirits:** 変性アルコール

エタノールにいろいろな物質を混入した、非飲料用アルコールのこと。燃料や溶媒として使われる。メタノールが混合されることが多いため、この名前がついた。spirit とは、酒を含むアルコール一般を指す。

News and Views

参考訳

Nature **440**, 429 (23 March 2006) | doi:10.1038/440429a

化学：パーキンが作ったモーブ染料

<http://www.nature.com/nature/journal/v440/n7083/full/440429a.html>

フィリップ・ポール (Nature の編集顧問)

1. ちょうど 150 年前の今週、自宅の仮設研究室で実験をしていたティーンエージャーが、事実上、現代化学産業の幕開けとなる 1 つの発見をした。当時 18 歳だったウィリアム・パーキンは、王立化学大学（英国ロンドン）の学生で、アウグスト・ヴィルヘルム・ホフマンの下で天然物質の化学合成を学んでいた。これはセレンディピティーの典型例だが、パーキンは、まったく別の物質を合成しようとして、有名な「アニリン・モーブ」染料を偶然に発見したのだった。彼が合成しようとしていたのは、当時知られていた唯一のマラリア治療薬、キニーネだった。
2. 有名なドイツの化学者ユストゥス・フォン・リービッヒの生徒だったホフマンは、コールタールから作り出されるアニリンという基本化合物が、植物由来のインディゴ（藍）を蒸留して得られる化合物と同じ性質をもつことを明らかにして有名になった。コールタールは石炭ガス生産における残留物であり、コールタールから抽出できるアニリンのような芳香族化合物の用途開発は大きな関心をよんでいた。
3. アニリン誘導体の 1 つがキニーネと化学式が似ている（ただし分子構造は大きく異なる）ことから、パーキンは自宅の研究室で、このアニリン誘導体を酸化処理してキニーネを合成しようと試みていた。しかしこの反応によって得られたのは赤い泥のような物質だった。ところが研究意欲旺盛なパーキンが次にアニリン自

体を酸化させたところ、黒い沈殿物が得られ、さらにこの沈殿物を変性アルコールで溶かすと紫色の液体ができたのだった。当時、繊維と染色は大きな産業で、パーキンは抜け目なくこの着色化合物を使って絹の染色テストを行い、十分な染色効果を得た。それまで、ほとんどの染料は、植物や動物から抽出された天然化合物だった。

4. パーキンは大胆にも父親と兄を説得して、共同で小さな工場を建て、「モーブ」と名づけた染料を製造した。左上の写真は、1862 年にモーブで染色されたショールである。その後間もなくパーキン家の人々やその他の人々（ホフマンを含む）がさまざまな色のアニリン染料を発見し、1860 年代中ごろになると、アニリン染料メーカーの中には、バイエル、ヘキスト、BASF といった今日の巨大化学メーカーの誕生間もない姿がみられるようになった。

Topics

科学における「偶然」

この記事では、「セレンディピティー」の有名な 1 例が紹介されている。地道な実験を重ねて結果を出すというイメージの強い科学だが、意外にもこうした「幸福な偶然」による大発見の例は多い。生物学でも、英国の細菌学者フレミングが、培養菌がカビに侵されたことから最初の抗生物質ペニシリンを発見したことは有名だ。またノーベルも、爆薬ニトログリセリンが珪藻土に偶然しみ込んでいたことから、安全性の高い爆薬ダイナマイトを発明した。

Words and phrases

1. **makeshift**: 「間に合わせの」「一時しのぎの」「仮設の」といった意味。
1. **in effect**: 副詞的に用いられ、「事実上」「実際には」という意味になる。
1. **serendipity**: セレンディピティー。意図せずに幸運な大発見をすること、あるいはそのような能力。英国の作家 Horace Walpole が童話「セレンディップの 3 人の王子」から作った造語。セレンディップとは現在のスリランカのことであり、この童話は王子たちが、宝探しの旅の途中で、目的ではない宝を偶然手に入れる話である。
1. **chance on**: 「(物) を偶然見つける」「(人) に偶然出会う」という意味の堅い表現。少しくだけると「happen to find/see」となる。
2. **renowned**: 「有名な」「高名な」「著名な」といった意味。「famous」「celebrated」と同義。
2. **make a name for oneself**: 「名を成す」「名声を得る」「有名になる」という意味の成語。
3. **inquisitive**: 「好奇心の強い」とか「詮索好きな」という意味だが、研究者であるパーキンには、「研究意欲の旺盛な」がふさわしいだろう。
3. **astute**: 「抜け目がない」「目先が利く」という意味で、「～enough to ～」との組み合わせで、「～するほど抜け目がなかった」「抜け目なく～した」という表現になっている。
3. **hitherto**: 「ここまで」と言う意味の古い表現。
4. **a whole rainbow of**: 色の話なので、文字通り「虹の色すべて」という感じがするが、実際にはもっと広く、「さまざまな」「多種多様な」という意味になっている。
4. **nascent**: 化学論文なら「発生期の」、生物論文なら「初期」「新生」などの訳語がよく使われるが、ここではニュアンスを生かしつつ、一般的表現にした。

しかし、これらの成功談は本当に単なる偶然だけによるものだろうか。本文中に登場するホフマンは、ホフマン分解・ホフマン脱離などで知られる一流の化学者であり、その師リービッヒも、蒸留装置「リービッヒ冷却器」で今日までその名を残している。パーキンはこれらの著名な化学者に才能を認められ、自宅でも熱心に研究を続け、この発見を得た。フレミングやノーベルも、日ごろの研究への熱意と探究心がなければ、失敗として片づけられたかもしれない意外な結果や何気ない現象に目を留めることもなかっただろう。セレンディピティーとは、自ら幸運を見つけ出し、成功に結びつけることなのかもしれない。



海野和男

花に隠れてチョウを捕らえたハナカマキリ。花に似て敵から隠れ、獲物には花と思わせるなんてすごい。(マレーシア)



海野和男

木の幹そっくりの模様をもったキノハダギリギリス。羽をびたりと幹につけて影を消せば、効果は倍増。(マレーシア)

虫たちの見事なカムフラージュ

海野和男 (昆虫写真家)

虫は、鳥などの敵が多いから、できるだけ見つからないようにという工夫をする。葉の裏など見えない場所に身を潜めるというのは当たり前で、ついには姿を植物に似せてしまう虫も現れた。植物にそっくりな虫たちを見ていると、どうしてここまで似ることができたのか、どうしてここまで似なければいけないのかなどと、次々と疑問が湧いてくる。

ハナカマキリは、姿を花に似せて虫を誘う。自分が花にとまっていなくても、虫が花と間違えてやってくる。おいしい蜜がある花のレストランに立ち寄ったつもりが、中から手が出てきてつかまってしまったというのはちょっと怖い。こんなにうまく擬態したハナカマキリは、大繁栄するかと思えばそうではない。案に餌をとれるから、怠け者になってしまったのだ。それで活動範囲も狭まったりする。気に入った場所があれば、そこからほとんど動かない。

そんな虫たちの生きる知恵を探して、世界中を旅するのは楽しい。自然の中に身を置いて、擬態する虫たちを眺めていると、人間も虫もそんなには考えることは違わないのだなと思ったりする。

国際会議 シンポジウム 展示会

受付
Registration Desk

2F



開催支援お任せください!!
アウトリーチ支援は出来高払い!!
約定の目標未達なら値引きもOK

国際会議、シンポジウム、 講演会、評価委員会

会議運営のプロフェッショナルとして、事務局運営の経験豊富な私たちに、運営管理のすべてをお任せ下さい。参考見積の積算から実施計画、研究所規定の会計書類一式を万全に準備し、研究者が求める会議成功を全面サポートします。

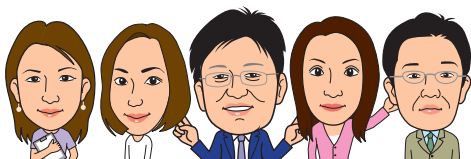
展示会

アウトリーチ活動の場、展示会運営が最も得意である私たちが、研究者の皆さまに「価値ある研究成果発信」をご提案いたします。蓄積されたノウハウによって、企画立案から開催、事後処理まで経験豊かなスタッフが一貫して行います。

最近の主な国際会議／シンポジウム

防災科学技術研究所	05/1月	E-Defense Inauguration Symposium	(兵 庫)
国立環境研究所	05/1月	Study on Urban PM2.5 Pollution Characteristics & Mechanism	(つくば)
国際農林水産業研究センター	05/3月	JIRCAS 2005 国際シンポジウムin石垣	(八重山)
臨床バイオインフォマティクス研究イニシアティブ	05/5月	CBIRI公開シンポジウム	(東 京)
産業技術総合研究所	05/5月	NMI-BIPM Workshop	(つくば)
情報通信研究機構	05/5月	第4回国際バイオEXPO	(東 京)
土木研究所	05/5月	日本スウェーデン道路科学技術に関するWorkshop	(大 阪)
情報通信研究機構	05/5月	脳情報オープンラボ開設記念シンポジウム	(神 戸)
情報通信研究機構	05/7月	オルガテック/2005出展	(東 京)
情報通信研究機構	05/7月	インターオプト2005出展	(幕 張)
生物資源研究所	05/7月	第44回ガンマフィールドシンポジウム	(水 戸)
国際農林水産業研究センター	05/7月	JIRCAS 2005 国際シンポジウム	(東 京)
SABRAO実行委員会	05/8月	10th International Congress of SABRAO	(つくば)
中央農業総合研究センター	05/10月	アジアオセアニアにおける国際セミナー	(つくば)
情報通信研究機構	05/10月	国際ワークショップ ダイニン2005	(神 戸)
食品総合研究所	05/11月	食の安全性と新規食品に関する国際ワークショップ	(京 都)
産業技術総合研究所	05/11月	第3回水素エネルギーシンポジウム	(東 京)
生物資源研究所	05/12月	植物科学研究プロジェクトシンポジウム	(品 川)
農業環境技術研究所	05/12月	外来植物のリスク評価と蔓延防止策	(つくば)
情報通信研究機構	06/1月	分子通信ICTワークショップ	(品 川)
情報通信研究機構	06/1月	バイオコミュニケーション国際シンポジウム	(品 川)
情報通信研究機構	06/2月	nanotech2006出展	(東 京)
福武学術文化振興財団	06/3月	財団創立20周年記念シンポジウム	(市ヶ谷)
農業環境技術研究所	06/3月	外来植物のリスク評価と蔓延防止策	(倉 敷)
農業環境技術研究所	06/3月	MAGEワークショップ	(つくば)
農業環境技術研究所	06/3月	日韓共同国際ワークショップ	(つくば)
生物資源研究所	06/3月	イネゲノム解読記念シンポジウム	(つくば)

お問合せの方にもれなく
**会議運営カタログ
進呈!!**



発注・お問合せはこちらへ

✉ peco@icube-t.co.jp



つくば初のプライバシーマーク認定企業

R&D 研究支援サポート企業

株式会社 アイキューブつくば

サイエンス・コミュニケーション
研究開発
支援
www.sciencetech-japan.com

www.icube-t.co.jp