

日本語で読む世界の最新科学ニュース

nature ダイジェスト

06
2010

無感ニュートリノを求めて

新型超伝導体の発見!

「脳トレ」に効果はない?

DNA 鑑定の落とし穴

深圳シーケンス工場

ついに見た! 化学反応中間体

絶対でない指紋鑑定

社会学者がみた素粒子研究所

大学ランキングの呪縛

日本人には海藻はエネルギー源

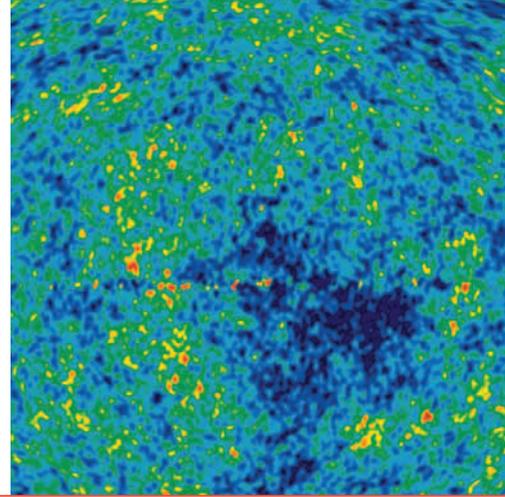
甘く危険な、人間の香り
— 蚊を惹きつける物質

メタボなラットが研究結果をゆがめる

定価 680 円

世界基準。





無感ニュートリノを求めて 22

NASA/WMAP SCIENCE TEAM

この放射の中に無感ニュートリノが存在する兆候を見いだした。

NATURE NEWS

- 03 海藻に隠された遺伝子の贈り物
- 04 雌雄モザイクのニワトリが現れる訳
- 05 好みでない雌の子を中絶する雄
- 21 英国助成機関の大胆な挑戦
- 24 太り過ぎのラットは研究結果を歪める
- 24 被験対象の性別に大きな偏り
- 25 HFSP の資金を確保するために

NEWS FEATURE

- 06 社会学者が見た LHC
- 18 絶対的でない指紋鑑定

NEWS & VIEWS

- 36 甘く危険な、人間の香り

EDITORIAL

- 28 “大学の格付けランキング”を超えて
- 29 Natureのコンテンツにコメントを!

JAPANESE AUTHOR

- 26 化学反応中間体をX線構造解析で観測した!
— 藤田 誠

HIGHLIGHTS

- 30 2010年4/8 ~ 4/29号

英語で Nature

- 38 土壌からの二酸化炭素放出量が増えている

02 「脳トレ」を検証する

パソコンを使った「脳トレ」で知的能力は向上しないという研究成果が発表された。



COPYRIGHT BBC

10 深圳シーケンス工場

シーケンス施設 BGI が推進する野心的なプログラムにより、中国はゲノム塩基配列解読で世界のリーダーとなるかもしれない。



D. CYRANOSKI

15 DNA 鑑定の落とし穴

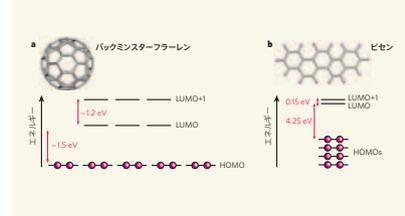
犯罪現場に残された極めて微量の DNA を同定することに対して、疑問が投げかけられている。



MARTIN SHIELDS / ALAMY

34 炭化水素の新しい超伝導体が発見された

有機物質としては10年ぶりに、新しい高温超伝導体が岡山大学の久保園芳博教授のグループによって発見された。



「脳トレ」を検証する

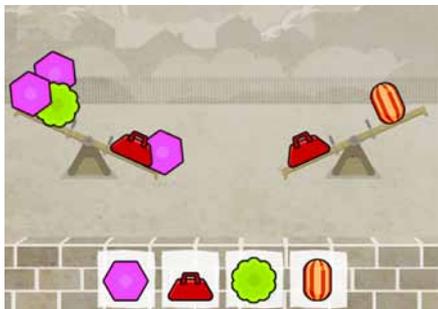
No gain from brain training

ALLA KATSNELSON 2010年4月22日号 Vol. 464 (1111)
www.nature.com/news/2010/100420/full/4641111a.html

パソコンを使った「脳トレ」で知的能力は向上しないという研究成果が発表された。

「脳トレ」ゲームの効果に関して、これまでで最大規模の検証が行われた。今回、英国の研究者と英国放送協会 (BBC) の Lab UK というウェブサイトは共同で、BBC の科学番組「Bang Goes the Theory」の視聴者に、1日最低10分間、週3回、オンラインで「脳トレ」課題に取り組んでもらった。被験者は18～60歳までの合計1万1430人に上り、実験は6週間にわたって行われた。

被験者のうち、第一グループは、一般知能に相関する論理的思考力、計画能力、問題解決能力に関する課題を行い、第二グループは、市販の「脳トレ」ソフトの対象になっている短期記憶、注意力、視空間能力、計算力といった知的機能の訓練を行った。そして第三グループは、対照群として、難解な質問の答えをインターネットで見つけるだけの作業を行った。その結果、それぞれの課題に関しては成績が上がったが、研究者チームは、どのグループも、記憶、論理的思考、学習といった一般認知能力を測定する試験の成績は上がらなかったとしている。



いちばん重いものはどれか。実験の課題の1つ。

「訓練を行った個別課題から一般的な認知機能検査への転移効果は、全くみられませんでした。広範な認知課題の訓練で頭がよくなるという期待には、全く根拠がないと思います」。こう話すのは、今回の研究のリーダーで、医学研究会議 (MRC) 認知脳科学部門 (英国ケンブリッジ) に所属する神経科学者 Adrian Owen だ。

この研究結果は、2010年4月20日の *Nature* 電子版で発表された¹が、これで脳トレ論争が沈静化することはないだろう。ブラウン大学アルバート・メディカル・スクール (米国ロードアイランド州プロビデンス) で老化を研究する神経学者 Peter Snyder は、「今回の研究はちょっと気がかりです。実験に問題があると思うのです」と話す。ただし Snyder も、脳トレの有効性を裏付けるデータが乏しいことを認めている。脳トレソフトを販売している Posit Science 社 (米国カリフォルニア州サンフランシスコ) が資金を提供した研究²など、一部の先行研究では適度の効果が実証されたが、Snyder が最近発表したメタ解析ではほとんど効果が認められなかったのだ³。

しかし、大部分の市販ソフトが、記憶と思考能力の衰退を恐れる60歳以上の成人向けに作られている、と Snyder はいう。「比較をするのなら、同一条件で行う必要があります」。さらに、被験者グループの年齢が上がると、初期スコアの平均値が低くなり、成績のばらつきも大きくなるので、訓練によって有意義な効果が得られる余地は増える、と続ける。

「健常者での超人的な効果を求めなければ、脳トレの効果は現れてくるのではないのでしょうか」。

確かに、今回の被験者は、自ら進んで集まった人々であり、「この種のゲームで遊びたいともともとと思っていたと考えられます」と、MRC 聴覚研究所 (英国ノッティンガム) 所長で、パソコン用の脳トレソフト「マインドフィット (MindFit)」を販売する MindWeavers 社 (英国オックスフォード) の創業者、David Moore は話す。

Moore と Snyder は、トレーニング時間が短すぎた可能性も指摘する。1回当たり10分のトレーニングが平均24回では、合計4時間のトレーニングにしかならない。「6週間で4時間のトレーニングは、有意義な効果を生み出す十分な時間とはいえません」と Snyder はいう。Moore も、「例えば弱視の治療や脳卒中後の訓練法の1つとしての脳トレは、より多くの時間が必要です」と話す。

これに対して Owen は、似たようないくつかの研究で6週間の訓練期間が設定されていたと反論する。Owen によれば、確かにトレーニングの平均回数は24回だったが、なかには最低2回から最高は「筋金入りの脳トレファン」の数百回」という者がおり、これら両極端の被験者の間に成績の違いはみられなかったという。「6週間のトレーニングで全く効果がなく、22週目になって突然効果が現れるかもしれませんが、これは理論的な現象ではありません」。

Owen 自身、今回の知見は、幼児や高齢の患者にトレーニングを行うことが必ずしも無駄なことを意味している訳ではないとしている。しかし「いまだ強力な証拠はなく、誰かが思い切って検証を行う必要があります」と語っている。 ■

(翻訳：菊川要)

1. Owen, A. M. et al. *Nature* advance online publication doi:10.1038/nature09042 (20 April 2010).
2. Smith, G. E. et al. *J. Am. Geriatr. Soc.* **57**, 594-603 (2009).
3. Papp, K. V., Walsh, S. J. & Snyder, P. J. *Alzheimers Dement.* **5**, 50-60 (2009).
参考動画
<http://www.youtube.com/watch?v=SDU1PraJyT8>

海藻に隠された遺伝子の贈り物

A genetic gift for sushi eaters

HEIDI LEDFORD 2010年4月7日 オンライン掲載

www.nature.com/news/2010/100407/full/news.2010.169.html

海藻をたくさん食べる食文化の証が腸内微生物で見つかった。

おそらく少量の海藻を食べた際に一緒に口に入った海洋微生物が、ヒト腸内に棲み着いている細菌に海藻を消化する酵素類の遺伝子を伝播したのではないかという研究結果が、*Nature* 2010年4月8日号に掲載された¹。これらの酵素は藻類の糖質を分解するもので、その中には海苔の原料となるアマノリ属紅藻の糖質も含まれる。

腸内微生物への遺伝子伝播はよく唱えられているが、あくまで推定の域を出ていない。しかし今回、腸内微生物が経口摂取された細菌から遺伝子を盗み取ること、新しい生物学的なニッチを得たことが初めて明らかにされたと、研究チームの2人のリーダーの1人、ピエール・マリー・キュリー大学（フランス・パリ）のMirjam Czjzekは話す。「おそらく実際には、こうした事例がもっと多く存在しているのでしょう。今回、遺伝子伝播の由来をピンポイントで突き止めることができたのは、ニッチが風変わりで、なおかつ、この酵素が非常に珍しい特異性をもっていたことが幸いしました」と、彼女は説明する。

食は人なり

ヒトの腸管内に棲む微生物の多くは、宿主である我々にとって有益なものだと考えられる。なかには、ヒト自身の酵素では消化できない植物由来の糖質を分解して、ヒトが利用できるカロリーを増やしているとみられる微生物もいる。特に日本人の場合、海藻消費量が非常に多く、こうしたヒトの酵素で消化できない糖質

には、寿司で使われる海苔をはじめ、味噌汁などの汁物やサラダに使用される海藻類に由来するものも含まれている。

Czjzekは、同じ大学の構造生物学者Gurvan Michelらとともに、海藻バイオマスを分解するタンパク質を探していた。そんな中、海洋細菌*Zobellia galactanivorans*のゲノム内に、藻類の多糖類であるアガロース類やカラギーナン類を分解する酵素によく似た酵素を発見した。解析すると、これらの酵素は、アガロースやカラギーナンの認識に必要な領域をもたず、その代わりにアマノリ類のポルフィランとよばれる多糖類を分解できる、新しい海藻分解酵素群であることがわかった。次に研究チームは、この新しい酵素群、 β -ポルフィラナーゼに属するものがほかにもないか、データベースを検索した。その結果、 β -ポルフィラナーゼは、ただ1つの例外を除いて、いずれも海洋微生物によって作られることがわかった。その例外は、ヒト腸内に棲むバクテロイデス属の細菌*Bacteroides plebeius*のゲノムで見つかった。*B. plebeius*は、アガロースの分解酵素ももっていたが、これらの酵素の遺伝子をもつバクテロイデス属細菌は、日本人や日系人にしか見つからなかった。そして、この2種類の酵素遺伝子は、*B. plebeius*のゲノム内で海洋細菌由来とみられるほかの遺伝子の近隣にあることや、海洋細菌の酵素遺伝子と相同性をもつことを考え合わせ、過去に海洋細菌からヒト腸内微生物へ伝播したものだという結論に至った。



ISTOCKPHOTO

日本人の中には、海洋細菌由来の遺伝子のおかげで、海苔などの海藻類を消化できる人がいる。

「海の幸」遺伝子

今回の研究結果は、人類史を通じて、口から入った細菌が有用な遺伝子を腸内微生物叢へ供給してきた可能性を示唆するものだと、スタンフォード大学（米国カリフォルニア州）の微生物学者Justin Sonnenburgは話す。しかし、我々はしだいに滅菌された食べ物を口にするようになってきており、こうした「遺伝子の宝箱」に出会える機会が減っていると話す。「先進国では、食べ物に含まれる微生物の量を減らすことに多大な労力を払ってきました。おかげで、食中毒などの食物由来の病気は減りました。しかしその代償として、ヒトに利益をもたらしてくれそうな微生物も排除されてしまったのです」。

Michelは、寿司好きの欧米人が海苔を消化できる細菌を保有している可能性は低い、という。遺伝子の伝播は極めてまれであり、また、欧米流の食物に日々さらされている腸内細菌が、こうした海藻消化遺伝子をわざわざもつ必要はないと考えられるからだ。「いちばん大きな違いは食べる海藻の量です。日本では毎日のように食べます。週に1度寿司を食べるくらいでは到底及びません。海藻消化遺伝子を腸内に保持するには、もっと頻りに食べなければいけないと思いますね」とMichelは話している。

（翻訳：船田晶子）

1. Hehemann, J.-H. et al. *Nature* **464**, 908-912 (2010).

雌雄モザイクのニワトリが現れる訳

Chicken's split sex identity revealed

JANET FANG 2010年3月10日 オンライン掲載

www.nature.com/news/2010/100310/full/news.2010.114.html

半身が雄で半身が雌のニワトリを調べた研究から、
鳥類の性決定の仕組みが明らかになった。

鳥類では、雄と雌の体が同居する個体が生まれることがある。こうした「雌雄モザイク」のニワトリの研究で、鳥類は体のほぼすべての細胞に性別が元来備わっており、細胞レベルで性決定されていることが示された¹。つまり、「脊椎動物の胚細胞は、発生過程で性決定遺伝子が卵巣と精巣のどちらかの形成を指定するまで、性的に未分化である」という定説がひっくり返ってしまったのだ。今回の研究成果は、性決定の進化を再検討するきっかけになるだろう。

「サム」の混乱

今回の研究に当たり、研究チームは、雌雄モザイクのニワトリを3羽入手した。その姿は、「雄鶏」側の羽毛が白くて肉垂や胸部の筋肉が大きく、「雌鶏」側はやや小ぶりで羽毛の色は黒っぽく、生殖能力をもたなかった。このうち1羽は、右半分を「サマンサ」、左半分を「サミュエル」、合わせて「サム」と名付けられた。サムはちょっとした混乱に陥っていた。自分が雄だと思っていたらしいのだ。「でも、サムを2羽の雌と一緒にしたとき、雌たちはサムのことを雄だとは思わなかったようです」と、研究チームを率いた英国エディンバラ大学（ミッドロージアン）の、Michael Clinton はいう。

ヒトも含めたほとんどのすべての哺乳類では、胚の細胞は最初、雌雄の区別はなく、発生過程で個体の性染色体（雄はXY、雌はXX）の組み合わせに従って遺伝因子が雄か雌どちらかの生殖腺の形成を誘導する。そしてその生殖腺から分泌

されたホルモンが、ほかの細胞に対して、雌雄どちらかの性別で発生するように指定する。つまり、ホルモンによって個体レベルで性別が確立されているのだ。

研究チームは当初、鳥類の性決定も哺乳類と同様だろうと予想し、雌雄モザイク個体の片側は正常な雌（もしくは雄）であって、もう片側は染色体異常を起こしているのだろうと考えていた。ところが、雌雄モザイク個体の体はほぼ完全に雄と雌に二分されていたのだ。雌鶏側の半身は大部分が雌の染色体をもった正常な雌の細胞で、雄鶏側の半身のほとんど



左半身が雄で右半身が雌のニワトリ、「サム」。

は雄の染色体をもった正常な雄の細胞で構成されていた。左右どちらの側も全く同じホルモンにさらされていたことから、ニワトリの細胞は生殖腺の指令ではなく、細胞自身のもつ染色体構成に従っていると考えられた。

雌雄のスクランブルエッグ

この仮説を検証するために研究チームは、雄と雌の細胞を混ぜてキメラ状生殖腺をもつ胚を作製した。すると、雄の細胞群の中に雌の細胞を埋め込んでも雌の細胞は雄の機能を担わず、卵巣形成を誘導する環境内に雄の細胞を入れても雄の細胞は雌の役割を果たさなかった。この結果から研究チームは、細胞は性的な役割を切り替えることはできず、生殖腺の位置に到着する前から性別は固定されているのだと結論付けた。

Clintonによれば、この研究結果はニワトリの性決定機構が哺乳類とは根本的に異なっていることを示しており、「ホルモンは確かに何らかの役割を果たしているが、その影響力は哺乳類に比べずっと少ない」のだという。さらにClintonは、同じ機構原理は鳥類のほかの種にも当てはまるが、ほとんどの場合、雌雄の違いが少ないために雌雄モザイクが気付かれずにいるのだろうと推測している。

今回の結果とキンカチョウなどの鳴禽類^{めいぎん}の研究結果を考え合わせると、鳥類は哺乳類と異なる発生パターンに従っていることが強く示唆される。哺乳類モデルは、一部の有袋類やショウジョウバエなどの無脊椎動物にも当てはまらない。

研究チームは今後、細胞の性別が性ホルモンの影響に対してどの程度優位にあるのかを解明しようとしている。Clintonは、「受精の時点で、細胞は自分が雄なのか雌なのかを了知するのだと思います」と語っている。

（翻訳：船田晶子）

1. Zhao, D. et al. *Nature* **464**, 237-242 (2010).

好いでない雌の子を中絶する雄

Male pipefish abort embryos of ugly mothers

JANET FANG 2010年3月17日 オンライン掲載
www.nature.com/news/2010/100317/full/news.2010.127.html

パイプフィッシュの雄は交尾の前と後で性選択を行う。

パイプフィッシュ、タツノオトシゴ、およびシードラゴンが属するヨウジウオ科では、雄が妊娠する。そのいくつかの種では、雌が雄に求愛し、雄を巡って競争が起こる。このほど、妊娠したパイプフィッシュの雄が産む子どもの数は、配偶相手が魅力的であるほうが多いということが、テキサス A&M 大学(米国カレッジステーション)の Kimberly Paczolt と Adam Jones により *Nature* 2010 年 3 月 18 日号に発表された¹。

Paczolt によれば、ペアが成立するとダンスを踊り、「互いを引っ張ったり、二重らせんのように渦巻状に泳いだりする」という。そうして互いの周りをぐるぐる回りながら、雌は雄の体に卵を2列に産み付ける。すると、雄は卵を受精させ、2枚の蓋からなる育児嚢を中央で貼り合わせる。数週間後、育児嚢の継ぎ目が開き、成魚と同じ形をした小さな稚魚が中から出てくる。雄は、その後わずか1時間で、再び妊娠が可能になる。

雄の育児嚢は、胚を守り、酸素と栄養を供給する。しかし、Paczolt によれば、雄は成り行きまかせで子どもの世話をす

るわけではなく、相手の雌の大きさによって、どれだけその卵に資源を投入するかを加減するのだという。

Paczolt と Jones は、ガルフパイプフィッシュ (*Syngnathus scovelli*) の雄 22 匹を、それぞれ 2 匹の雌と別々のタイミングで交尾させた。その結果、雄が交尾相手として好むのは大きな雌であり、そうした魅力的な雌のほうが、雄に卵を与える数も生まれる稚魚の数も多いことがわかった。

また、1 回目に大きな雌と交尾すると、2 回目の交尾相手の子どもの生存率が下がることもわかった。同様に、2 回目の交尾相手の子どもが多く生存する場合、十中八九、1 回目の相手の雌は小さかった。「雄はさまざまな条件の折り合いをつけています。資源に限りがあるならば、できるだけ賢い使い方をしなければならぬのです」と Paczolt は説明する。

子ども殺しの共食い？

次に Paczolt と Jones は、雄のパイプフィッシュが発生中の子どもの一部を吸収することを明らかにした。早い話が、生まれる前の子どもの一部を食べているのだ。これは、雌雄間の利害の対立を表している。雌は、すべて養育してもらおうと雄に卵を託しているのだが、雄はその一部しか養育しない場合があるのだ。

Jones はコンピューターモデルを作り、自然界の雄にとってこの種の行動がどんなときに有利なのかを調べた。モデルではパイプフィッシュの「バーチャル集団」が作られ、雌雄の個体数、雌の体の大き



NICK RATTERMAN

パイプフィッシュの雄は交尾の前と後で雌を選び好み。

さ、雄が交尾しようとする最小の雌の大きさを操作することができる。モデルによれば、大きな雌が少なく、雄が好みをする場合、雄としては、小さめの雌と交尾して少なくとも一部の子どもを育てるのが有利とされた。「そして、願わくは、その小さな雌の子どもが生まれるまでに、雄は大きな雌を見つけて交尾しようとするのです」と Paczolt は話す。

一般に多くの動物は、配偶相手の質を、交尾前、種によっては交尾後に判断している。このため、パイプフィッシュの雄が配偶相手の適応度を交尾の前にも後にも選択的に判断しているという事実は予想外だった。「こうすることで、さほど好いでない雌といつまでも愚直にかかわり合わずに、少しの資源投入ですむのです」と Paczolt は説明する。

コンスタンツ大学(ドイツ)の Axel Meyer は、「育児嚢は、雌雄間の利害の対立を解決するための調整手段を雄が獲得するために進化したのだろう、という考え方は確かにとても興味深いですね」と語る。雌は雄に卵を産み付けて自分の子どもを養育させることができるが、そうやって雄を操ることができるのは大きな雌であり、小さな雌はむしろ雄に支配されている、と考えられるという。 ■

(翻訳：小林盛方)



雄のパイプフィッシュの育児嚢で発生する胚。

KIMBERLY PACZOLT

1. Paczolt, K.A. & Jones, A.G. *Nature* **464**, 401-404 (2010).



この ALICE 実験チームでも、LHC の共同実験チームの中では小規模な部類だ。

社会科学者が見たLHC：大型ヒューマン衝突型加速器

The Large Human Collider

ZEEYA MERALI 2010年3月25日号 Vol. 464 (482-484)

世界最大規模の共同実験 LHC（大型ハドロン衝突型加速器）に従事する物理学者たちは、社会科学者にとって、極めて興味深い研究対象だ。

ここに滞在して 1 万人の物理学者を観察している彼らは、何を見たのだろう。

社会学の視点から研究共同体を見る

「皆さんを観察するために私はここに来ました」。2007年、スイスのジュネーブ近郊にあるヨーロッパ素粒子物理学研究所（CERN）にやって来た人類学者の Arpita Roy は、大勢の素粒子物理学者の前でこう自己紹介した。そのとき科学者たちは、世界最大の実験装置である大型ハドロン衝突型加速器（LHC）の仕上げにおおわらわだった。

LHCは何世代もの物理学者の期待を背負っている。この衝突型加速器は、これまでにない高さのエネルギーまで粒子を加速できるよう設計されており、その粒子を衝突させることで、従来の科学が知らなかったさまざまな新しい粒子が生成することが期待されている。空前の人数の研究者が関与する LHC は、巨大な「人体実験」でもある。近年、社会学者、人類学者、歴史学者、哲学者

が CERN にやって来て、ここに集まった大勢の物理学者が互いに衝突し、反発し、時に爆発するようすを観察するようになった。

ヴッパータール大学（ドイツ）の素粒子物理学者・物理哲学者である Arianna Borrelli は、「LHC は、1 つの実験の展開をリアルタイムに観察するという、類例のない社会学的研究を可能にします。この研究を通じて、大規模プロジェクト

に参加する研究者たちがどのようにして見解をまとめ、技術的な判断を下し、知見を伝えていくかを明らかにできるからです」と語る。

CERNの研究部長 Sergio Bertolucci は、共同実験における団結の重要性を強く感じている。「途方もない社会実験です」。LHC 実験には世界各国から約 1 万人の物理学者が参加しており、そのうちの 2250 人が CERN に直接雇用されている。Bertolucci は、自分が共同で管理に当たっている規模を考えるだけで頭が痛くなるという。「3000 人もものスタッフがクリスマスに家に帰れるかどうか前もって知りたがっている場合、どんな組織が必要なのか、想像してみてくださいよ」。

2008 年 9 月に LHC は稼働を始めたが、わずか 1 週間余りで電気接続の欠陥によって爆発が起り、プロジェクトは 14 か月にわたって中断した。この失敗で、特に学位がかかっている大学院生たちの意気消沈ぶりが大きかったと Roy はいう。「このエキゾチックな共同体の言語とタブーと儀式」を観察するために、3 年にわたって CERN での短期滞在を繰り返している彼女自身、カリフォルニア大学バークレー校（米国）の大学院生なのだ。

LHC は 2009 年 11 月に再稼働したが、計画では、2 年間データを収集したら 2012 年に 1 年間運転を停止し、アップグレードを行うことになっている。4 月の予定より早く、3 月 30 日には 7 テラ電子ボルト (TeV; 1 兆電子ボルト) での衝突実験を開始した。

高エネルギーを達成するため、LHC は 2 本の陽子ビームを光速に近い速度まで加速してから、地下にある一周 27km のトラックに送り込み、互いに逆方向に周回させる。ビームはリング上の 4 つの場所で交差し、それぞれの衝突ゾーンを取り囲む巨大な粒子検出器の中で、何が起こったのか、その正体を現す。特に大規模な検出器は ATLAS (A Toroidal LHC Apparatus) と CMS (Compact

Muon Solenoid) で、どちらも大きさはちょっとしたマンションほどあり、研究チームのメンバーは約 3000 人もいる（日本人研究者約 100 人も ATLAS に参加している）。

巨大化する共同実験チーム

衝突型加速器の世代交代が起こるたびに、共同実験の規模は飛躍的に拡大してきた（次ページのグラフ参照）。この傾向は、人間の相互作用に興味をもつ研究者には非常に都合がよい。複数世代にわたって成長を見続けてきた数少ない社会学者の 1 人が、コンスタンツ大学（ドイツ）の Karin Knorr Cetina だ。彼女は約 30 年にわたって CERN の共同実験チームを研究対象にしてきた。

Knorr Cetina が最初に CERN を訪れたとき、加速器はもっと小さく、検出器チームの規模は今日の 1/10 にも満たなかった。「当時は、100 人もいれば巨大チームと考えられました」と振り返る。彼女は物理学者たちから「好意的な困惑」をもって迎えられた。協力的ではあったが、社会学者を「真の科学者のできの悪い親戚」のようにみたのだ。

Roy は、物理学者たちのそうした態度は今も変わらないと指摘する。「なんというか、物理学者は職業的に、人を小馬鹿にするところがあるんですね」。

社会学者たちは、ある集団を研究する場合、その文化に飛び込んで信用を勝ち取り、調べを進めていく。Knorr Cetina もこのアプローチで、CERN の数千人の研究者たちが平和を維持する仕組みを解明した。

彼女は当初、「製造業や政府といった複雑な組織と同じ指揮系統があるのだろう」と考えていた。しかし、CERN にそうした階層構造はみられなかった。高い地位を占めるスポークスマンはいらぬものの、検出器の各構成要素につき、高度に専門化したチームがたくさんあるため、トップダウン式的意思決定が行われることはない。CERN には製造業のモデルは当てはまらぬと Knorr Cetina はい

う。「これほど大規模になると、1 人の人間が技術的判断を下すことは絶対にできないからです」。

CERN の型破りな構造は、その歴史と哲学にも関係している。この研究所は、戦争でばらばらになったヨーロッパをまとめ上げるために、1954 年にスイスとフランスの国境に設立された。「ここは国際的な共同実験をするための場所であり、各国の思惑よりも科学が優先されるのです」と Bertolucci。とはいえこれは理想であり、実際に研究を進めていけば、緊張した場面に出くわすこともある。「逆説的なのは、科学は民主的ではないという点です。だれが正しいのかを決めるときに、私たちは投票をしたり多数決を取ったりしないからです」。

製造業のモデルが当てはまらず、民主主義にも基づいていないとすれば、CERN はどんな組織構造になっているのだろうか。「CERN は原始共同体（コミュニティ）として機能している」と Knorr Cetina はいう。ここに集まる素粒子物理学者たちは、個人よりすばらしい全体のために働こうと、喜んで家を出て、その個性を捨て去っているのだ。CERN には独自のレストラン、郵便局、銀行およびその他の施設がある。「ジュネーブは近いですが、わざわざそこまで行かなくても、CERN の中でずっと生活しつづけることができます。彼らはいわば、逃れられない『認識の小世界』の中に住んでいるのですが、逃げようとも思っていないのです」と Knorr Cetina はいう。

ATLAS 共同実験のボスドクである Kevin Black も、「実際、世界中から多くの人々が集まって、共通の目標に向かって努力しているこの研究所にいると、原始共同体にいるような感覚をもちます」という。

アイデンティティを犠牲にする

CERN のキャンパス周辺の雰囲気はよく、2 か所あるレストランは、世界中の物理学研究機関の食堂の中でも最高水準の料理を出す評判だ。しかし、数千人

の物理学者をこの原始共同体に参加させるには、くつろぎと、新しい粒子を発見できるという約束以上のものが必要であろう。Knorr Cetinaによると、この共同実験は、物理学者たちがLHCのために自分のアイデンティティを犠牲にさせるような組織構造になっているという。

その実例として、彼女は、結成当時から見てきたATLAS実験チームの発展の歴史を説明した。ATLAS実験はLHCで最大の共同実験であり、1980年代後半にCERNの古い世代の実験チームの残りのメンバーを集めて結成された。チームは、ヒッグス粒子（他の素粒子に質量を獲得させるために仮定された粒子）の発見などをめざした。

ATLASチームが発足して間もないころ、LHCの幹部は、さまざまな大学や研究所に所属する互いにライバル関係にあるグループの提案の中から、検出器の設計を選択しなければならなかった。どの技術を用いるべきかの決定は、専門家委員会に任せるのが最も明白で効率的な戦略だと思われるかもしれない。しかし、Knorr Cetinaによると、ATLASチームのやり方は違っていた。

彼らが採用したのは、骨の折れるやり方だった。ライバル関係にあるグループに自分たちの設計を何度も検証させることで、最終的に全員が1つの案に同意できるようにしたのである。こうすることで、提案が受け入れられなかったグ

ループが疎外されたり、検出器の建設に必要な人員が失われたりするような事態を回避できた。「各グループに敗北を受け入れさせながら、共同実験への関与を続けさせる、という手法は、とても興味深い戦略です」とKnorr Cetinaはいう。

この過程には長い時間がかかり、必然的に工事は遅れた。遅れは物理学者を苛立たせたにちがいないが、少なくともいくつかのケースでは、共同研究チームを団結させるために必要だったとKnorr Cetinaは語る。

CMS実験の副スポークスマンであるAlbert de Roeckは、この戦略の背景には、ほかにも現実的な理由があるという。「スポークスマンは共同実験チームの『ボス』だと考えられていますが、実際には、私たちが専制的な決定を下すことはできないのです」と彼はいう。製造業なら、上層部の決定に同意せず、与えられた仕事を拒否する作業員は解雇できるかもしれないが、LHCの共同実験チームではそうはいかない。なぜなら「私たちの実験では、物理学者の雇い主は共同実験チームではなく、大学であることが多い」からだ。

ジョージア工科大学（米国アトランタ）の歴史学者で、ATLAS実験チームが結成される前にCERNで共同実験の組織構造を研究していたJohn Krigeも、CERNでは単純なトップダウン式の意思決定はみられなかったという。ただ

し、彼はこれを原始共同体（コミュニケーション）とよぶことには懐疑的だ。共同実験チームがコミュニケーションなら、メンバー間の競争がほとんどないことになってしまうが、実際はむしろ、検出器のさまざまな構成要素を迅速かつ効率よく開発しようとする下位グループ間の健全な「組織的競争」の上に成り立っているからだ。

LHCが稼働し始めた今、共同実験チームの内部では、個人よりも共同体を優先する体制が強化され、物理学者は研究成果を自分個人のものにできないようになってきているとKnorr Cetinaはいう。実験結果に関する論文はすべて、数千人の共同研究者の名前を国ごとにアルファベット順に掲載しなければならず、研究の本当のまとめ役が誰なのか、ほとんどわからないようになってきているのだ。

Knorr Cetinaは分子生物学者の研究生活についても研究しているが、「論文発表を巡って熾烈な競争が繰り返され、発表した論文によって評価が決まる生物学分野では、このようなことはありえません」という。

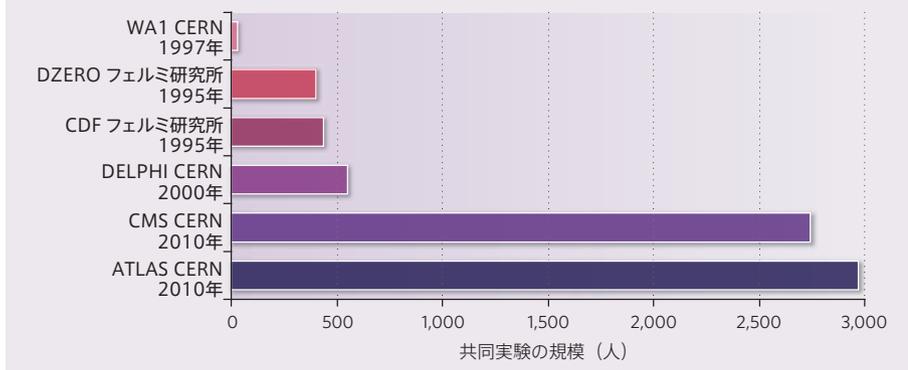
教育研究組織TERC（米国マサチューセッツ州ケンブリッジ）の社会学者Maria Ongは、「科学物語の多くは、非凡な才能をもつ個人を主人公にしています。ノーベル賞でさえ、共同受賞できるのは3人までです。LHCはその驚くべき反例なのです」という。

査読はできるのか？

ハーバード大学（米国マサチューセッツ州ケンブリッジ）の歴史学者Peter Galisonは、「論文の共同執筆は、素粒子物理学における知識の構築に対して疑問を生じさせている」と指摘する。今年の2月、CMS実験チームは、LHCのデータの分析に基づく最初の論文を発表した（CMS Collaboration *J. High Energy Phys.* doi: 10.1007/JHEP02(2010)041; 2010）。最初の衝突実験で生成したエキゾチック粒子（中間子）の個数が、予想より多いことがわかったのだ。この論文には、合計2200～2300人の執筆者の

共同研究の規模の増大

過去35年間で、高エネルギー物理学の実験チームの規模は2桁も大きくなった。



名前が15ページにわたって列挙されていた(厳密な人数は、共同実験のリーダーも把握していない)。

「この論文に書かれている内容のすべてを理解している執筆者が、1人でもいるのでしょうか」とGalisonはいう。彼はまた、このようにして生み出された論文を査読できる外部の人間がいるのだろうか、とも問いかける。「この段階になると、本当の意味で論文を査読できる人間は共同実験チームの中しかいない、という状況になってしまうのです」。

素粒子物理学の共同実験の規模は、必然的にピアレビューに影響を及ぼしている、とde Roeckはいう。CMSの論文は、内部での査読過程で数か月にわたり厳しくチェックされ、書き直されてきた。これに対して、*Journal of High Energy Physics*の外部の専門家によるピアレビューは、わずか4日で通過してしまった。「論文誌に発表するための外部専門家によるピアレビューは、以前ほど重要ではなくなっています。私たちの内部のピアレビューのほうが、はるかに厳しく行われているからです」と彼はいう。

共同実験の強みは共同体の利益を重視する体制に由来しているが、ただし、最近の技術の進歩が、この体制をゆがめる可能性はある。ブログを使って個人的に情報を発信する素粒子物理学者が増えてきているからだ。CERNのスポークスマンであるJames Gilliesは、自分たちはブログの検閲はしたくないと述べているが、CERNでは、実験結果に言及することが許される時期に、厳格なガイドラインが設けられている。

こうしたガイドラインがあっても、Borrelliらは、CERNにおけるブログの流行(と、おそらくは公式に発信される情報との緊張関係)を詳細に追跡することになるだろう。Borrelliをはじめとする20人以上の歴史学者、哲学者、社会学者からなるチームは、今年、ドイツ研究振興協会(DGF)から資金提供を受けて、この研究に着手する予定だ(彼女は冗談めかして、これを「人



ATLAS 実験チームは巨大な原始共同体に似ている。メンバーは一緒に仕事をし、食事をし、パーティーをする。

文科学における大規模共同研究チーム」とよんでいる)。

「この研究では、LHCのような大規模プロジェクトの中で知識が伝わっていく仕組みをリアルタイムで研究することになります」とBorrelliはいう。特に、オンラインレポジトリ www.arXiv.org を通して論文を直接発表できるようになった点に注目している。ここには、査読を受けていない高エネルギー物理学のプレプリントが毎日約100件も投稿されており、オープンアクセスになっている。「物理学者たちは、この膨大な情報の中からいかにして論文を選び出し、流れに適應しているのでしょうか」。

異常なストレス

社会科学者は、大規模な共同研究が個々の物理学者にどのような影響を及ぼすかを評価するために、科学者の職業生活だけでなく私生活にも目を向けている。Knorr Cetinaは言う。「多くの素粒子物理学者が、自分の行為のせいでプロジェクトが失敗するという悪夢に苦しめられています。このような悪夢は、自分のことを鎖の輪の1つとしてとらえている人が多く見るものです。彼らは自分を個人としてみていないようです」。

理由の1つは、検出器との一体感が強いからだ(K. Knorr Cetina *Interdiscipl. Sci. Rev.* 32, 361-375; 2007)。彼らは、装置を擬人化していて、検出器が壊れると、愛する肉親が死んでしまったような衝撃を受けるといふ。こんな話は、他分野の実験研究者にはみられない。

LHCの物理学者がプレッシャーにさらされていることは、de Roeckも認める。自分たちのミスによって数千人の仲間を失望させるようなことはしたくないと思っているからだ。でも、「物理学者が精神に異常をきたし、検出器を友人と勘違いして話しかけているわけではないんですよ」と笑う。

物理学者たちは既に次世代の粒子加速器の計画を立てている。けれども、それらの加速器が社会科学者の研究対象を広げることは、多分ないだろう。「規模がもう一段階大きくなり、2万5000人の物理学者が参加するような時代は来ないでしょう」とGalison。「高エネルギー物理学は、共同研究者の人数の点では、既に限界に達しているからです」。

(翻訳：三枝小夜子)

Zeeva Merali はロンドン在住のフリーランスのライター。

深圳シーケンス工場

The sequence factory

DAVID CYRANOSKI 2010年3月4日号 Vol. 464 (22-24)

大規模シーケンス施設 BGI が推進する野心的なプログラムにより、
中国はゲノム塩基配列解読で世界のリーダーとなるかもしれない。
こうしたやり方が、産業的拡大の時代に通用するかどうか、検証する。

BGI は中国第一級のゲノムシーケンス施設である。かつては「北京ゲノミクス研究所 (Beijing Genomics Institute)」と称していたが、本部を深圳しんせんに移動した2007年より公式名称を「BGI」としている。そのBGIに、北京大学を後にした李英睿 (Li Yingrui) がやって来たのは、2006年のことだった。李は、現在23歳。そばかすのある顔には、まだ初々しさが残る。BGIの先輩によれば、李は大学時代、授業中にテレビゲームや居眠りをしていたという。これに対して李は、「講義中に寝てはいません。出席しなかっただけです」とおどける。

BGIで李は、130人のバイオインフォマティクスチームを束ねているが、その中に彼よりも年長の者はほとんどいない。李のゲーム好きは、シーケンサーから毎日大量に出力されるデータの解析に大いに役立った。しかし李は、「ゲームよりもこっちのほうが断然おもしろいですよ。夢中になってしまいます」と話す。

BGIは、この数年間でいくつもの論文を一流の学術ジャーナルに発表し、ゲノム塩基配列解読の最前線に躍り出てきた。最近の成果としては、キュウリ¹やジャイアントパンダ²のゲノム、古代人の最初の完全ゲノム³、それに5770億塩基対の配列データからなる1000種を超える腸内細菌ゲノムの塩基配列⁴を発表している。

まるで示し合わせたかのようにスタッフが口をそろえるBGIのミッションは、一般の人にとってゲノミクスが重



BGIのシーケンサー室。生命のゲノムの系統樹を作り上げるのに数千件のプロジェクトが役立つだろう。

要なものであることを証明することだ。BGIの副所長で、コペンハーゲン大学の教授でもある王俊 (Wang Jun) は、「BGI全体がその重大な責任を感じています」と語る。その戦略は、塩基配列を解読 (シーケンス) することであり、その対象は、解読したいと思うありとあらゆるものであり、BGIだけでなく世界中の研究者たちが持ち込むものも増え続けている。BGIでは、進化の主要な枝をカバーできる生命のゲノム系統樹を作成する事業の一環として、微生物1万種のゲノムと、動植物1000種のゲノムプロジェクトを発足させた。このプロジェクトでは、イネなどの重要な種は100回以上、人間に至っては無制限にシーケンスが行われる。

そのミッションを果たすためBGIは、自らゲノミクス工場へんぼうに変貌し、若いバイオインフォマティクス軍団と高価な充実した装備をもって、高品質の塩基配列データを低コストで生み出そうとしている。こうした装備は絶えず更新され、2010年1月には、BGIは世界最新・最高速のシーケンサー「HiSeq 2000」をイルミナ社から128台購入すると発表した。このシーケンサーは、1台で1日当たり250億塩基対をシーケンスすることができる。全部がフル稼働すると、1年で1万人以上のゲノムを解読することになる。バイラー医科大学 (米国テキサス州ヒューストン) で分子生物学計算機リソースを統括するDavid Wheelerによれば、これは米国全体の

シーケンシング能力を凌駕する^{りょうが}という。「ゲノミクスの世界地図は完全に塗り替えられました」。

BGIが科学をやみくもな機械化におとしめた、という非難が深圳で怒りを買うことはほとんどない。王自身、BGIがプロジェクトに投入した知的な資本はほとんどないとおどけ、「我々は『筋肉』であって『脳』ではありません」という。しかし、そうしたコメントとは裏腹に、経験豊富な研究リーダーから新人に至るまで、BGIのすべてのスタッフには、自分たちがシーケンシング能力のバランスだけではなく、生物学、医学、農学にも影響を与えることができる、という自信が見え隠れしている。シーケンシング能力を拡張させるために抱え込んだ大きな借金を思えば、それは容易ではないだろう。科学と財務の板挟みになり、BGIをビジネスとするのか、非営利の研究施設とするのか、創設者も決めかねているようだ。世界のゲノム研究者たちは、BGIがどうバランスを取るのかに注目している。シンガポールゲノム研究所の幹部で国際ヒトゲノム機構を率いる Edison Liu は、「BGIが金だけのためにゲノムの解読を行うなら、見向きもされなくなるだろう」と警告する。

中央から遠く離れる

1990年代、世界はゲノム塩基配列解読に熱中し、それはヒトゲノムの解読へとつながった。そうした流れに中国は出遅れながらも、最終的には追いついたのだ。これは、強い意志をもち、カリスマ的で、時に人を不快にさせることもあるBGIのリーダー、楊煥明 (Yang Huanming) に負うところが大きい。ヒトゲノムプロジェクトが完了に近づく中、楊たちは、なんとか中国を計画に参加させようと画策し、中国科学院の支援を得て、建設および創立用の資金として100万人民币元 (約1400万円) を確保した。そして、1999年9月9日、9時9分9秒、王によりBGIの設立が発表された。「中国では『9』は『長く続くこと』を意味

する縁起のよい数字であり、BGIの末永い繁栄を願ったのです」と王は語る。同年11月、中国政府から交付された300万人民币元 (約4100万円) の補助金のほとんどをBGIが受け取り、ヒトゲノムの1%の塩基配列を解読するのに使われた。中国は、この国際プロジェクトに参加した唯一の開発途上国で、担当する3000万塩基を1年足らずで片付けた。

2000年、資金不足の中、デンマークの研究機関のためにブタゲノムの「スキャン」を完了させたとき、楊は「もっと重要なこと」をやろうと決意したという。そして2001年BGIは、イネのゲノムプロジェクトを発足させた。このプロジェクトは杭州市から6000万人民币元 (約8億2000万円) の補助金を受け、当時最新鋭のシーケンサー36台が購入された。2002年BGIは、インディカ種のイネのゲノム塩基配列を *Science* に発表した⁵。それは国際共同研究チームがジャポニカ種のゲノム塩基配列を発表する数か月前のことだった。

続いてBGIは、ニワトリ⁶やカイコガ⁷のゲノムDNAを解読し、2003年には重症急性呼吸器症候群 (SARS) の原因であるコロナウイルスのゲノムRNAも解読して⁸、診断キットを世に送り出した。これには、胡錦濤中国国家主席もご満悦だった。BGIへのご褒美は、中国科学院への参画だった。この荣誉により資金提供を受けられるようになったが、制約も受けるようになった。中国科学院の研究施設では、スタッフの数は150人までとされている。しかし、当時BGIにはその2倍が在籍しており、さらなる増員も見込んでいた。楊は、BGIのスタッフの一部を中国科学院の正規雇用とし、それ以外の者は別契約とすることで、中国科学院からの予算を最大限に引き出したが、「誰も満足しませんでしたよ」と楊はいう。

深圳に移ることはガス抜きとなった。楊は、北京の監視から少し離れたたいと考えていたところだった。それに、初期費用1000万人民币元 (約1億4000万

大量生産

過去10年、BGIはこれまでにない速度で、数百万～数十億塩基対のシーケンスを行ってきた。下に示すのは、その成果の一例である。

インディカ種のイネゲノム



4億6600万塩基対
カバー率: 6回
作業期間: 2000年4月～2001年10月

カイコガゲノム



4億8000万塩基対
カバー率: 6回
作業期間: 2003年6月～9月

初めてのアジア人ゲノム



30億塩基対
カバー率: 36回
作業期間: 2007年1月～10月

パンダゲノム



30億塩基対
カバー率: 73回
作業期間: 2008年3月～10月

古代グリーンランド人



30億塩基対
カバー率: 20回
作業期間: 2009年5月～12月

円)と年間補助金2000万人民币元(約2億7000万円)も魅力的だった。深圳は中国南部に広がる「世界の工場」の中心で、人口1200万人の多くが安価な衣料品と電気製品の製造に携わり、中国経済の奇跡に一役買っていた。楊は、自分が北京で衝突した人について多くを語らないが、「深圳では、山は高く、皇帝は遠い」が口癖だ。

拡大する BGI

BGIにとって深圳は心地よい場所である。その中で、BGIは成長し、雇用人数は全国で1500人(その3分の2以上が深圳で従事)になり、年内に3500人まで急増させる計画だ。中国開発銀行から100億人民币元(約1400億円)の融資を受け、新しいシーケンサーの購入に充てられた。BGIのシーケンシング能力が拡大するにつれ、コストも増大する。BGIのスタッフは、新しいシーケンサーにどれだけ支払ったのか語らないが、定価は1台約340万人民币元(約4600万円)だ。その購入の発表が、新型モデルの発売当日だったために、競合するほかのゲノムクス研究施設から不満の声が上がった。彼らによれば、イルミナ社が旧型モデルを他の施設に販売する一方で、BGIと秘密裏に取引を進めていたというのだ。しかしながら同社はそうした主張を否定し、アップグレードを希望する顧客向けの下取りプログラムの1つだと説明している。

新しいシーケンサーのうち100台は香港の新研究所に置き、国際共同研究に役立てる計画だ。しかし、香港の人件費はこれまでのBGIの相場よりも高く、40~50人ほどの雇用となるだろう。さらに試薬類に毎年約10億人民币元(約140億円)かかり、電気代として別途900万人民币元(約1億2000万円)が必要だ。楊は、融資は完済できると強調する。しかし、シーケンシングサービスが商品化され、どんどん価格が下がってきており、返済は不透明だ。

BGIがシーケンシングサービスの市場を独占する、と決まったわけではない。

学術研究機関のほかに、新技術を使う民間企業も競合相手になりつつある。ヒトゲノムシーケンスサービスに特化したコンプリート・ゲノミクス社(米国カリフォルニア州マウンテンビュー)は、4月にスタートしたが、2010年だけで5000件のヒトゲノムの塩基配列解読を見込んでいる。

BGIの支払い能力は、ゲノムのシーケンスを、代金を支払っても、自分がするよりも迅速かつ確実にしてくれるBGIに委託する外部の研究者に依存している。しかし、多くのシーケンス施設と同様、BGIは単なるサービス提供者の域を越えようとしているようだ。王を育て、BGIとは縁深いワシントン大学(米国シアトル)のゲノミクス研究者Maynard Olsonは、そうでなければならない、と話す。「外注がうまくいくのは、発注側と受注側に何らかの科学的なつながりがある場合に限られます。BGIにはさまざまな解析技術がありますが、すべてを駆使するわけにはいかないで、どんなレベルのデータ解析でもどの技術で行うのかお互いが合意する必要があります、できあいの商品のように扱うことはできません」。

シーケンスにかかるコストの半分を共同研究者に負担してもらって、共同で成果を発表することが理想であるが、共同研究者に資金がなくてもおもしろいプロジェクトならば、BGIがそのほとんどを負担してもよい、と楊はいう。

コペンハーゲン大学のEske Willerslevは、楊の発言は道理にかなっていると感じている。Willerslevは、永久凍土から発掘された髪の毛から、4000年前の古代グリーンランド人のゲノムシーケンスをBGIと共同で行った。Willerslev自身の研究室でも1週間で約500億塩基をシーケンスする能力があったが、彼はBGIの専門技術を求めた。「次世代のシーケンスプラットフォームの能力を自分に引き出せるBGIのスタッフを、私は尊敬しています」とWillerslevはいう。古代人のゲノムは2か月半で解読され、約50万ドル(約4700万円)の費用は、

WillerslevのスポンサーとBGIで折半された。

Willerslevによれば、BGIは、シーケンス作業だけではなく科学的な面でも不可欠な存在だったという。「王俊と私とで重要な科学的問題に関して折り合いがついたので、プロジェクト全体が進められることになったのです」。

科学のためか、サービス提供者としてか

BGIの「科学」が力任せのシーケンスサービスにとどまるものでないことを示すのは、容易でないかもしれない。華南理工大学(中国広東省広州市)の学生ながら、BGIに所属する弱冠21歳の羅鋭邦(Luo Ruibang)は、博士課程の教育を受けていない。彼は、国際学会で自分が最高レベルの研究ができることをほかの研究者に理解してもらうのに苦労したという。「本当に私に能力があるのかどうか、疑問に思う外国人が大勢います」。しかしながら、アジア人とアフリカ人のゲノムにはあって白人のゲノムにない大きなDNA領域の発見を発表した論文⁹では、羅と李が共同第一著者だった。

李をはじめとするBGIの研究リーダーたちは、こうした若者たちでも塩基配列をつなぎ合わせ、きちんと検証できると確信している。「これは新しい分野なのです。ですからどのみち、多くの経験が蓄積されていないのです」と王はいう。しかし、データの解釈と実験の立案は別物である。BGIのスタッフも、実験の知識が足りないことを認めている。「我々は生物学について知らないことが多いです」と李はいう。Liuは、BGIは生物学的側面の弱点を解消する必要があるといいつつも、BGIの研究に協力的だ。「BGIは基本的にシーケンス屋だが、強力な武器をもった賢いシーケンス屋です」と語る。

ある意味で、パンダゲノムの解読は、BGIの強さを世界に示す手段だった。パンダを研究対象とする生物学者はほとんどおらず、そのゲノム塩基配列が基礎および応用研究の両面で飛躍的な進

歩につながるとは考えにくい。しかしそれは BGI にとって、次世代シーケンシング技術の威力を示す機会となった。従来の技術では、1000 塩基対の DNA をシーケンスできるが、ある程度時間がかかる。一方、次世代シーケンシング技術では、シーケンスできる DNA こそ 1 つが 100 塩基対以下という短いものだが、そのスピードが非常に速い。ただ、王によれば、シーケンスできる DNA は数千倍に増えても、研究の進んでいないゲノムでは、最終的なゲノムの形に構築するのが難しいという。「BGI では無理だろうと考える人もいました」。今回ゲノムが解読されたパンダが北京オリンピックのマスコットだったことで、一般からも関心が寄せられ、地方政府の支援も得られた。「それに、パンダはかわいいですからね」と王はいう。

BGI は、外部の研究チームが主導する生物学的に重要性が高いプロジェクトでも強力な共同研究者となっている。例えば、昨年 10 月に発表されたカイコガ 40 系統のゲノムからは、交配と飼育化の歴史を示す遺伝子が約 300 個発見された¹⁰。最近では、チルー（チベットレイヨウ）のゲノムの解読が完了した。チルーは、海拔 4500 メートルを超える高地で走り回ることができ、高所への適応についての手がかりが得られるかもしれない。青海大学（中国青海省西寧市）で高所医学を研究する格日力（Ge Ri-Li）は、チルーのエネルギー輸送に関する遺伝子を研究しようとしている。そして、高山病が少ないチベット族のゲノムを解読し、最終的には、人間が高所に適応する能力を高めたいと思っている。

研究だけでは、100 億人民元（約 1400 億円）の銀行融資を返済することはできない。確かに、BGI の収入のいくらかは、総シーケンス作業の 40% を占めている共同研究からのものである。しかしそれ以上に利幅が大きいのは、大学や種苗会社、製薬会社向けのシーケンスサービスで、仕事の 55% を占める（残りの 5% は BGI 独自のプロジェクト）。



ゲノミクスのニューフェース。左から、王俊副所長、羅鋭邦、李英睿。

こうした作業から得られる総収入は、2009 年は 3 億人民元（約 41 億円）だった。しかしまだ不十分だ、と BGI のマーケティング担当役員を務める梁鴻生はいう。2010 年、梁は 12 億人民元（約 160 億円）の収入を見込んでいる。

農業用の知的財産権から収入が得られる可能性もある。200 件を超える特許を保有する BGI は、河北でゲノミクスを利用したアワの育種に取り組んでおり、ラオスでも農業プロジェクトを進めている。海外サービスの拡大により、さらに収入が得られるかもしれない。3 年以内に、また、コペンハーゲンとサンフランシスコに事務所を構える計画だ。BGI は、2008 年に発足した、中国人 100 人のゲノムプロジェクト「炎黄」データベースへのアクセスに課金することも考えている。BGI では、収録データを数千人に増やしたいと考えている。楊によれば、アクセス料はコンピューターの代金と維持費、つまり「原価」をカバーするものであり、データの代金ではないという。

BGI が最先端を走り続けるためにはたゆまぬ技術革新が必要であり、実入りのよい共同研究を維持しなければならないのだ、と Wheeler は語る。Wheeler によれば、幅広いシーケンシング技術を試験できる大きな国家的施設が、米国には 3 か所あるという。「それらの施設どうしが、技術の向上をめざし、絶えず互いに刺激し合っています。協力しつつも、効率や分析方法を改善するため

に互いを批評し合っているのです」。単一の技術に立脚する単独の研究施設は、その技術が時代遅れになってくると、強みを失うだろう。

楊も技術進歩の不確定要素を認識している。今回、新型の次世代シーケンサーへの投資に二の足を踏まなかったのはなぜか、との問いに対し、「保有する設備はしかるべきときに取り換えるだけです」と説明する。しかし、あまりに早く買い換えときが来るようなことになれば、運が尽きたということだろう、とも話す。

「リスクは多くても、私はあえてリスクを取ることを評価します」と Olson はいう。共同研究と新技術を果敢に追求することにより、BGI の野心的な取り組みが世界から注目を集め続けることは間違いない。「要するに、BGI は刺激的なことをしているということです。これは、強力な科学の開発という課題に対する中国式の解決法であり、どれだけ機能するかは、いずれわかることでしょう」。

（翻訳：小林盛方）

David Cyranoski は *Nature* のアジア・パシフィック地域の特派員。

- Huang, S. et al. *Nature Genet.* **41**, 1275-1281 (2009).
- Li, R. et al. *Nature* **463**, 311-317 (2010).
- Rasmussen, M. et al. *Nature* **463**, 757-762 (2010).
- Qin, J. et al. *Nature* **464**, 59-65 (2010).
- Yu, J. et al. *Science* **296**, 79-92 (2002).
- Hillier, L. W. et al. *Nature* **432**, 695-716 (2004).
- Xia, Q. et al. *Science* **306**, 1937-1940 (2004).
- Qin, E. et al. *Chinese Science Bulletin* **48**, 941-948 (2003).
- Li, R. et al. *Nature Biotechnol.* **28**, 57-63 (2010).
- Xia, Q. et al. *Science* **326**, 433-436 (2009).

The Power of Sequencing



すべての研究にシーケンサーのパワーを。
研究の規模と用途にあわせて選べる次世代シーケンサーラインアップ。



新たなシーケンスの歴史を
創り出す

HiSeq 2000



次世代シーケンサーの
世界標準

Genome Analyzer IIx



アレイとシーケンスを
1台のシステムで

HiScanSQ



手に届く
次世代シーケンサー

Genome Analyzer IIe

イリミナ株式会社

〒103-0025
東京都中央区日本橋茅場町2-13-13 共同ビル5F
Tel (03)4578-2800 Fax (03)4578-2810
www.illumina.co.jp

illumina®

DNA 鑑定 of 落とし穴

DNA's identity crisis

NATASHA GILBERT 2010年3月18日号 Vol. 464 (347-348)

DNA 鑑定は科学捜査における究極の判定材料だと考えられている。しかし、犯罪現場に残された極めて微量の DNA を同定することに対して、疑問が投げかけられている。DNA 鑑定はどこまで信頼性があるのだろうか。

2006年10月13日の昼下がり、英国北ヨークシャーに住む Peter Hoe が自宅で刺し殺されているのが発見された。この事件では、遺体の近くにあったプラスチック片から採取された少量の DNA から、Terence Reed と David Reed の兄弟がこの殺人に関与しているとされ、翌2007年、有罪判決を受けた。

ところが2009年、この判決に対する控訴審で、ごく少量の遺伝物質から DNA プロファイルを得る「低コピー数解析」という技術の信頼性や解釈に関して疑問が提示された。控訴審で、Reed 兄弟の弁護士は次のように主張した。

この鑑定を担当した Forensic Science Service (FSS) 社 (英国バーミンガム) の Valerie Tomlinson は、Reed 兄弟の DNA がどうやってプラスチック片 (2本のナイフの柄が壊れたものだと考えられた) に付着したのかまで推測したが、これは彼女の業務を逸脱している、と。控訴は2009年12月に却下されたが、こうした微量の DNA から容疑者を特定できる方法については、現在、もっと重大な疑問が浮かび上がっている。

Peter Hoe 事件は、研究者や法律関係者の間に低コピー数解析を巡る激しい論争があることを、社会へ知らしめたごく

最近の事例である。一部の関係者は、低コピー数解析によって得られる DNA プロファイルは再現性がないうえに汚染されやすく、また正確性を科学的に判断する有効な手段がないと主張している。加えて、鑑定に用いられた手法や手順は捜査機密というベールで覆い隠されている。そのため、法医科学研究者の中には、この慣行そのものの見直しとまではいかずとも、少なくとも得られた DNA プロファイルの解釈について見直すよう求める者もいる。

捜査で低コピー数解析が認められている国は、英国やニュージーランドなど

一握りにすぎないが、適用された事例は数多い。FSS社によれば、この技術が1990年代後半に開発されて以来、同社は2万1000件を超える重大な刑事事件に用いてきたという。低コピー数解析の有効性を支持する最近の控訴審から、裁判所はこの解析法をますます採用するようになるだろうと考えられる。しかしなかには、この解析法がより広く容認されることで、DNAプロファイリングが科学捜査の中心的基準だとする、20年をかけて築かれた高い評価が脅かされるのではないかと考える関係者もいる。一般市民の印象に反して、「DNAは完璧な証拠ではない」と、Innocence Projectの共同責任者であるPeter Neufeldはいう。この組織は、ニューヨークに拠点を置く権利擁護団体で、不当な有罪判決を覆すためにDNAの証拠をもっと広く利用することをよびかけている。

英国の遺伝学者Alec Jeffreysは、1980年代にDNAのプロファイリング法を開発した。DNAプロファイルは、ゲノム全域に散在する、縦列型反復配列（STR；マイクロサテライトともよばれる）という短いDNA反復配列のパターンで表される。反復数は個人差が大きいので、これらのSTRの長さも人によってさまざまである。したがって、科学捜査官はいくつかのSTRについて反復数のピークを調べることで、犯罪現場に残されたDNAが容疑者のものかどうかを、確率として算出することができる。

遺留細胞はごくわずか

STRを検出可能レベルまで増幅するために、ポリメラーゼ連鎖反応（PCR）が使われる。PCRで増幅したDNAは電気泳動により大きさ（長さ）に従って分別される。それぞれの大きさのSTRは、電気泳動ゲルや解析グラフ上の決まった位置にバンドやピークとして現れ、これをデータベースや個人のもので比較検討することができる。

標準的なDNA解析には、およそ200ピコグラム（1ピコグラムは1兆分の1

グラム）のDNAが必要とされ、これは細胞にして33個分、染色体数が体細胞の半数（半数体）の精子ではその2倍の個数に相当する。通常、血液や精液といった目に見える試料からは、十分な量以上のDNAが得られる。しかし、ほんの数個の細胞からでもDNAプロファイルを作成できるようにするために、解析の精度を上げる方法が開発されてきた。そのなかには、より多くのDNAコピーを得るためにPCRの回数を増やしたり、残留試薬を試料から除去したり、PCRで増幅したDNAをより多く高い純度で精製したりする方法がある。多くの場合、低コピー数解析開始時の試料の量は不明確である。同じくPCRに基づく定量法では、DNAが存在しないことも示せるが、検査官は少なくとも部分的なプロファイルを作成することができるだろう。こうした精度の高さは、すばらしいものだが、マイナスの側面も伴う。

どの試料であっても、解析中には、結果を歪めるような大なり小なりのランダムな変動が生じてしまう。オリジナルの試料に存在するはずのSTRが現れないという、「ドロップアウト」効果が起こる可能性もある。逆に、試料に存在しないSTRがプロファイルに現れる場合もある。この「ドロップイン」効果は、汚染によって起こりうる。

しかしながら、これらの確率的影響は容易に見つかり、標準的解析から除外できる。総括的な解析に十分なDNAが存在し、また、一般に本物のSTRからの強いシグナルは、ドロップイン効果で見られるぼんやりしたピークと明らかに区別することができるからだ。しかし、たとえうっすらとしたシグナルでも、本物のシグナルが出そうな場所に近いところにあったなら、人為的に増幅されて、それらしく見えてしまうだろう。

米国連邦捜査局（FBI）の元科学捜査官で、現在は北テキサス大学（米国フォートワース）で科学捜査にかかわる遺伝学を研究しているBruce Budowleは、Reed兄弟の控訴審で低コピー数解析に

批判的な証拠を提出した。彼は、低コピー数解析において1つのシグナルが真実かどうかを判定する方法の正当性はまだ確認されていない、と主張している。

低コピー数解析では、科学捜査官は通常、限られた量のDNA試料を2つか3つに分割し、そのうち2つを解析する。もし可能であれば、3番目の試料は弁護側のために保存される。解析結果に完全な再現性はなく、プロファイルは符合しないことがしばしばであり、捜査官は一般に、2つの解析で現れたSTRシグナル群を真実のものとして認める。この慣行が気になるのだとBudowleはいう。「このやり方のロジックはわからなくはないが、その信頼度はまだ評価されていないのです」。

個人に内在するバイアス？

科学捜査によくある慣行は、誤ったバイアスをかけることにもつながりかねないと、ライト州立大学（米国オハイオ州デイトン）の分子進化学者Dan Kraneはいう。「科学捜査官たちの話では、一緒に調べる参照用の試料があれば、試料DNAに由来するものとノイズとを区別するのは、簡単だといいます」と彼は話す。低コピー数解析法でもほかの解析法でも、多くの場合参照用試料は容疑者のDNAであり、犯罪現場で採取された試料に現れた不鮮明なピークは、容疑者由来の強いピークと並べてみることで、いかにも同一らしく見えてしまう可能性がある。Kraneによれば、解析手順内に盲検を行うことになっている研究所は、米国内でわずか2か所だけだという。

低コピー数解析法を使う科学捜査研究所は、結果の解釈に関するガイドラインを明らかにしながら、そのため批判の声が高まっている。Budowleは、科学捜査研究所には詳細事項の開示を義務付けるべきだという。彼は、この解析技術の再現性に関する問題を踏まえて、これらの解析手順が揺るぎなく信頼できることが絶対に必要だと主張する。しかし、「実際に何をやっている

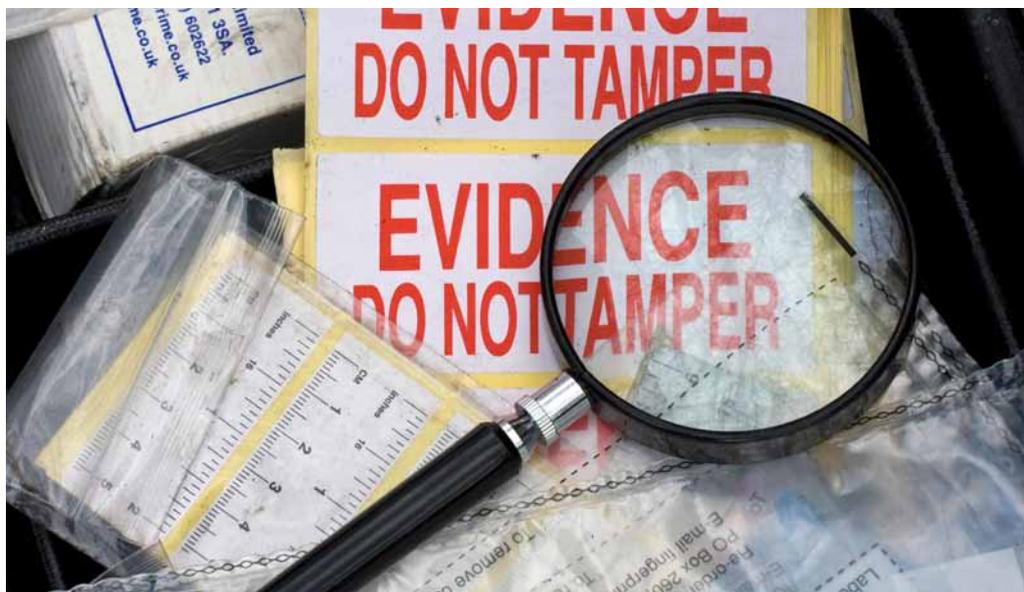
かを開示している科学捜査研究所は皆無です。機密情報だということです」と Budowle は話す。

FSS 社には何度かインタビューを申し込んだが、回答はなかった。以前 FSS 社で低コピー数解析法を開発し¹、現在はストラスクライド大学（英国グラスゴー）在籍の法医学者 Peter Gill は、低コピー数解析の科学的な質に「問題はない」という。低コピー数解析があまりに高感度であるために、通常の方法で解析する場合よりもドロップイン効果とドロップアウト効果が目立ってしまうというのだ。深刻な問題は、清浄な条件で解析を行うことと、ネガティブ・コントロールをモニターすることで回避できるはずである。

ドロップイン効果とドロップアウト効果は、統計学的に調整することも可能であり、人間による判断への依存度を軽減できると彼はいう。しかし、こうした確率的影響に対処した確率理論は、科学捜査の領域ではまだ使われていない。統計学者には既存の理論を科学捜査へ応用するだけの研究資金がないのだと、Gill は話す。「残念ながら、より正しい解釈を可能にするツールの開発は、この 10 年間の科学捜査の進歩に追いつけていないのです」。

こうしたあらゆる懸念から、いくつかの国は、低コピー数解析を用いることに慎重になっている。米国 FBI は 2001 年、低コピー数解析は、行方不明者と思われる人骨の身元確認など、米国内の特定の事例に限って使用するよう推奨した。

低コピー数解析の使用は、英国でも論議をよんでいる。Sean Hoey は、1998 年に北アイルランドのオマーの中心街で起こった爆破事件で、29 人を殺害した罪で告訴された。彼に対する申し立ての中心になったのは、このテロで使われた爆弾の部品に残された DNA の低コピー数解析だった。Hoey は、2007 年に控訴審で釈放された。この事件を担当した裁判官は、「低コピー数解析法の科学的、方法論的妥当性の現状に関する懸



念」を表明し、英国の裁判所での採用が停止された。

しかし、2008 年に英国で発表された再検討結果で、低コピー数解析法は「着実な解析」であり、「目的になっっている」と結論付けられ、再び採用されるようになった²。2009 年 3 月、米国カリフォルニア州のある裁判官は、低コピー数解析の結果の解釈に用いられる手順や統計手法は科学的見地から容認できないとし、この種の証拠は認められないと裁定した。その一方で、最近、ニューヨーク州最高裁判所の裁判官は、ある殺人の裁判で、低コピー数解析の DNA の証拠を排除すべきだという申し立てを拒否し、この解析技術は信頼できるものだとする裁定を下している。

法廷は低コピー数解析の科学を討論する最適な場ではないと、英国グラスゴーにある法医学研究所の所長、Allan Jamieson はいう。同研究所は、英国警察に科学捜査サービスを提供している。

Reed 兄弟やオマー爆破事件の裁判で証拠を提出した Jamieson は、法医学研究者たちは、解析手順を確認して、低コピー数解析によって明らかになった諸問題をさらに調べるべきであり、そうすることで初めて、研究者も法廷も解析結果を信頼できるのだと話す。「ある物体に誰かの DNA が付いているからといっ

て、その人物が触ったとは限らないのです。しかし、一般の人々はそうは思いません」と Jamieson はいう。Reed 兄弟のケースでは、兄弟が問題のナイフのプラスチックの柄に直接触ったのか、それとも、彼らの DNA が誰かほかの人物の接触を介して間接的に運ばれたのか、あるいは「くしゃみ」によって飛んだのかということが、争点となった。

Budowle によれば、「低コピー数解析を使っても、その組織が誰に由来するものなのかまでは言及できない」のだという。裁判事件で低コピー数解析の結果を解釈するとき、科学捜査官は「その境界線を踏み越えてしまうのです」と彼は話す。しかし、Gill は意見を異にする。「科学捜査官は法廷で、その証拠が何を意味するのかを説明すべきであり、その DNA がどうやって付着したのか、その可能性すべてを説明する責任があります。その後、判断を下すのが裁判所なのです」と彼はいう。この議論はまだまだ続きそうである。■

(翻訳：船田晶子)

Natasha Gilbert はロンドン在住のライター。

- Gill, P., Whitaker, J., Flaxman, C., Brown, N. & Buckleton, J. *Forensic Sci. Int.* **112**, 17-40 (2000).
- Caddy, B., Taylor, G. R. & Linacre, A. M. T. *A Review of the Science of Low Template DNA Analysis* (Home Office Forensic Science Regulation Unit, 2008).

1. R. THUMB

4. R. RING

5. R. LITTLE

6. L. THUMB

9. L. RING

Criminal History:

- Mar. 23, 2004: Attempted Murder

Notes:

- Armed and dangerous.

絶対的でない指紋鑑定

The fine print

Laura Spinney 2010年3月18日号 Vol. 464 (344-346)

たった1個の指紋が、人を刑務所送りにすることがある。
しかし、今日の指紋鑑定法には、
鑑定の際に先入観を排除する仕組みがほとんどないのだ。

2004年3月11日朝、マドリッド（スペイン）の通勤列車で爆弾テロが発生、191人が死亡し2000人以上が負傷した。間もなく、爆発地点付近で雷管入りのビニール袋が発見され、そこに不完全な指紋が1つ残されていた。捜査チームはただちにそれを全世界の捜査機関に提供した。その結果、5月6日に米国連邦捜査局（FBI）は、指紋が一致したとしてオレゴン州の弁護士 Brandon Mayfield を逮捕した。

ところが2週間半後、FBIはMayfieldを釈放することになる。スペイン警察がアルジェリア人の男を逮捕し、その男の指紋が、Mayfieldよりはるかによくビニール袋の指紋と一致したからである。FBIは最終的に、指紋分析の過程で複数のミスがあったことを認めた¹。

これは「偽陽性」つまり、異なる指紋を同一と判定してしまい、無実の人に濡れ衣を着せてしまう典型的な事例で、決して珍しいことではない。心理学者 Erin Morris は、ロサンゼルス郡公選弁護人オフィスと協力して、過去数十年間に指紋鑑定で偽陽性が出た25例のリストを作成した。このリストは現在、米国の法廷での指紋証拠に対する異議申し立てに利用されている。

指紋鑑定官や研究者の間で、指紋鑑定法への不安が高まっている。1世紀にわたって採用されてきた鑑定のプロセスが、実験的に検証されたことのない前提に依拠していることや、鑑定官の無意識の先入観を排除するのにほとんど役立っていないことが、認識されはじめたからだ。

2009年、米国科学アカデミー（NAS）は手厳しい報告書を発表した²。そこでは、指紋に貴重な情報が含まれていることを認めながらも、誤判定が起こる確率はゼロであるという長年の主張に、「科学的妥当性はない」と断を下すものだった。

ロンドン大学ユニバーシティ・カレッジの認知心理学者 Itiel Dror は、「ほとんどの指紋は問題ありません。しかし、問題ある指紋が1%としても、毎年、数千件のミスが生じてしまうのです」という。

指紋鑑定法の落とし穴

指紋鑑定には、すべての指が異なる指紋をもつという前提がある。しかし実のところ、この前提が検証されたことは一度もない。私たちの指先にある皮膚隆線は胎児期に形成され、隆線のパターン（す

なわち指紋)は遺伝要因と環境要因の複雑な組み合わせによって決まるため、一卵性双生児の間でさえ異なる。そして、損傷を受けた場合を除き、指紋は生涯にわたり不変だ。皮膚には自然な油分があるため、ほとんどどんな表面にも指先が触れると指紋が残る。

指紋鑑定法への懸念は、現場で発見された指紋が鑑定官のもとに届けられた時点から始まる。鑑定官の多くは専門的訓練を長年受けているので、さほど問題はない。問題は、ほとんどの国で採用されている ACE-V 法という指紋鑑定法にある(下図参照)。ACE-V の名は、analysis (分析)、comparison (比較)、evaluation (評価)、verification (確認)の4つの段階の頭文字をとったものだ。ACE と V の間にハイフンが入っているのは、第四段階の確認は、最初の三段階とは別の鑑定官が、同じプロセスを繰り返して行うことを表している。

分析は全体的な特徴を見ることから始

まる。指紋には渦状紋、蹄状紋、弓状紋という3つの主要なパターンがあり、指紋を分類したり、容疑者を速やかに除外したりするのに使える。次に、隆線の終止や分岐など、細かい特徴を見る(図参照)。これにより、高度な個人識別が可能になる。

指紋の特徴を明らかにしたら、次に比較を行う。その指紋とサンプル指紋(捜査ファイルから探し出した指紋や容疑者から採取した指紋)との類似点や相違点をチェックするのだ。このプロセスは自動化が進んでいる。1980年代には自動指紋識別システム(AFIS)が開発され、1990年代にはデジタル指紋取り込み技術が開発された。今日のAFIS技術では、FBIなどが収集した膨大な指紋データベースを走査し、自動的にふるい落とし、数個の候補だけを表示する。あとは、鑑定官が目で見えて一致する指紋を選び出すわけだ。

ACE-V 法のプロトコルによると、第

三の段階である評価により、鑑定官は3つの結論のいずれかに至る。すなわち、その指紋とサンプル指紋が同一の指のものだと考えられる「一致」、汚れなどにより説明することのできない著しい相違点少なくとも1か所あるため、同一の指の指紋とは考えられない「除外」、および、指紋が不鮮明のため、鑑定官が確信をもって判定できない「判定不能」の3つである。

カリフォルニア大学ロサンゼルス校の法学者 Jennifer Mnookin は、この鑑定法は「偽陰性」が出るよう意図的に作られている、と指摘する。つまり、1か所でも相違点があれば除外となるし、どんなに多くの類似点があっても判定不能とされる場合がある。これは、犯罪者を特定しそこなうリスクよりも、無実の人に罪を着せてしまうリスクのほうを重大視するからである。

しかし、Mayfield 事件をみればわかるように、それでも偽陽性は出てしまう。

指紋のパターンと ACE-V 法

ほとんどの指紋は、渦状紋、蹄状紋、弓状紋という3つのグループに入る。隆線を細かく調べていくと、分岐、鉤、橋、島などの小さな特徴がたくさん見つかる。通常、指紋1個につき細かい特徴が150個あり、その正確な配置に基づいて指紋を同定することができる。



ACE-V 法のプロトコル

1. 分析

犯罪現場に残された指紋の特徴を鑑定官が分析する。



2. 比較

その指紋を捜査機関のファイルにあるサンプル指紋と比較する。



3. 評価

2つの指紋は同一の指のものか?

✓ はい(一致)

✗ いいえ(除外)

? 判定不能

4. 確認(別の鑑定官が行う)

最も重大な問題は、「そもそもなぜこうしたミスが起こるのか」ということだ。

ACE-V 法の問題の 1 つは、プロトコルが厳密に実施されていない点にある。例えば、分析と比較は分けて行うことになっており、鑑定官はまず指紋を詳細に分析して特徴を明らかにした後で、サンプル指紋を見ることになっている。分析しながら比較すると、分析だけしていたときには目につかなかった特徴を「発見」してしまい、循環論法に陥る危険性があるからだ。

ところが実際には、分析と比較は常に分けて実施されているわけではない、と法科学コンサルタントの Lyn Haber はいう。2009 年に夫である心理学者の Ralph Haber と『Challenges to Fingerprints (指紋証拠への異議)』を共同執筆した彼女は、多くの指紋鑑定官が、時間を節約するために、分析と比較を同時に行っていると指摘する。FBI は、この慣行が Mayfield 事件のミスの一因となったと強調した。

先入観の影響

もう 1 つの問題は、ACE-V 法のプロトコルそのものが、少なくとも学問的基準からすると厳密ではないことだ。例えば最後の確認は、最初の分析と「独立」に行うよう求めているが、厳格なガイドラインを定めていない。そのため、確認を行う鑑定官は分析を行った鑑定官と同じ部署で仕事をしており、自分が誰の鑑定結果をチェックしているのか知ることが多いのだ。

ACE-V 法は、鑑定官が自分の鑑定している指紋について何を知ることができ、何を知ることができないかについても、特に厳しく定めていない。2006 年に Dror らが発表した研究³では、ベテラン鑑定官も新人も、関連情報を与えられると判定が揺らいでしまうことを示した。

ある実験では、6 人の鑑定官に指紋を鑑定させた。実は、その指紋は鑑定官たちが以前に鑑定したもののだが、その事実は告げないで置く。そして、今回の

鑑定では、鑑定官にあらかじめ、容疑者は既に自白しているとか、犯行時には警察に留置されていたなど、事件に関連する情報を与えた。その結果、実に 17% の判定が、与えた情報に沿った方向へと変わってしまったのだ。去年の NAS 報告書ではこの点が強調され、「ACE-V 法は先入観が入り込むのを防ぐことができず、再現性と透明性を確保することができない。同じ手法で鑑定を行う 2 人の鑑定官が同じ結果を得る保証はない」とされた。

指紋鑑定官は専門家か？

指紋鑑定を批判する人々の中には、鑑定官の技能を疑問視する人もいる。Haber 夫妻が著書で指摘したように、多くの場合、犯罪の真相は不明なまま終わるため、鑑定官が自分の判断が正しかったかどうかを知ることはめったにない。その結果、「どんなに長く経験を積んでも、鑑定の精度は向上しない可能性がある」のだ。

指紋鑑定官の一部は、こうした批判を真っ向から否定する。英国指紋協会の Martin Leadbetter 会長は、2007 年の会誌⁴に、外部からの情報で判断がゆらぐような無能な鑑定官は「ディズニランドで仕事を探すべきだ」と書いた。

しかし、批判を真摯に受け止める鑑定官もいる。英国で最大規模のグレーターマンチェスター警察の法科学鑑定部の Kevin Kershaw 部長は、先入観に関する Dror の研究について知ると、捜査官が鑑定結果を待つために法科学部を訪れることを禁止した。捜査官が鑑定官に事件に関する話をするのを防ぎ、鑑定官に先入観をもたせないようにするためだ(彼はそれ以外の改善も進めている)。

ローザンヌ大学(スイス)の法科学鑑定の特任家である Christophe Champod は、指紋鑑定官が鑑定結果を「一致」、「除外」、「判定不能」としか表現できない現在のシステムは、指紋鑑定の不確実性を法廷から隠している、と考える。そして、他の法科学的証拠と同様、指紋証拠も確率的に解釈して、鑑定官が

一致の可能性について自由に語れるようにすべきだと提案する。例えば「被告人がその指紋を残したとしたら一致の見込みは 95% であり、ほかの人物がその指紋を残したとしたら一致の見込みは 10 億分の 1 である」といった形で証言できるように、だ。

しかし、そうするには、集団によって指紋のパターンがどのように異なっているか、あるいは、指紋のさまざまな要素や、要素の組み合わせがどのような頻度で現れるかなど、基本的情報が必要だ。この種の研究はいくつか行われているものの、規模は十分に大きくはなく、系統だってもいない。それでも Champod は、指紋の確率的解釈に対して楽観的だ。DNA などとは違い、指紋のパターンは集団間でほとんど変化がないので、調査は容易なはずだからだ。指紋証拠を確率的に解釈するシステムは、鑑定プロセスの透明性を高めることにつながる。

指紋証拠にどの程度の重みを与えるか、最終的に決定するのは法廷だ。法廷がなお指紋を絶対的な証拠として扱い、たった 1 個の指紋が有罪証拠として人を刑務所送りにする現状を、Mnookin は「悲惨な法学」とよぶ。Champod も「指紋証拠は単なる補強証拠として扱われるべきです」という。でも裁判官はまだ、現状を変える意欲はみせていない。

コロムビア特別区巡回裁判所の首席判事で、去年の NAS の報告書を作成した委員会の共同議長である Harry Edwards は、法科学コミュニティーは、科学的文化を取り入れる必要があるという。「道のりは遠そうではありますが」。

(翻訳：三枝小夜子、要約：編集部)

Laura Spinney は、スイスのローザンヌに拠点を置くフリーランスのライター。

1. *A Review of the FBI's Handling of the Brandon Mayfield Case* (Office of the Inspector General Oversight and Review Division, 2006).
2. *Strengthening Forensic Science in the United States: A Path Forward* (National Academies, 2009).
3. Dror, I.E. & Charlton, D.J. *Forensic Identification* **56**, 600-616 (2006).
4. Leadbetter, M. *Fingerprint Whorl* **33**, 231 (2007).

www.nature.com/scienceincourt も参照されたい。

英国助成機関の大胆な挑戦

Fixing a grant system in crisis

RICHARD VAN NOORDEN AND GEOFF BRUMFIEL 2010年3月25日 Vol. 464 (474-475)
www.nature.com/news/2010/100324/full/464474a.html

英国工学・物理科学研究会議 (EPSRC) の新しい厳罰主義が目ざされている。
過去2年間、申請書3件が評価ランキングの下位半分に入り、
かつ全申請数の合格率が25%以下の研究者は、ブラックリストに載せられ、
1年間、たった1件しか助成申請を出せなくなった。

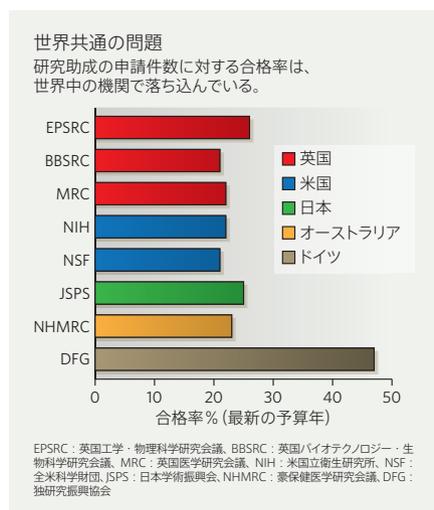
1月21日、ノッティンガム大学の物理学者 Philip Moriarty は、EPSRC (英国工学・物理科学研究会議) から恐るべき E メールを受け取った。彼は「複数不合格申請者」に特定され、大学の研究担当者にも通知されたのだ。EPSRC の新ルールは4月1日から完全実施され、Moriarty はいま「1年間の冷却期間」に追い込まれている。この間、EPSRC に出せる申請書は1件だけとなる。これまでは何件でも提出できたのに、である。

EPSRC は物理分野で英国最大の研究費助成機関。2009～2010年の予算は815ポンド (1700億円) に上る。新厳罰制度の犠牲者は Moriarty を含む140人だけではない。「こんな馬鹿げた制度を支持する人なんていませんよ」と同じ大学の Amaria Patanè は怒りをぶちまける。彼女はもっと悪い不合格者リスト450人の1人にリストアップされ、同じく「1年間の冷却期間」入りとなった。

EPSRC の新政策は、科学界にかかる過剰負荷を緩和する対策の1つだ。助成申請件数に対する合格率は、2000年の43%から2008年の26%まで落ちているし、毎年5000人の審査員 (ピアレビューアー) を探さねばならない状況もある。EPSRC はまた、一度不合格になった申請書の再提出拒否も始めている。研究担当部長 Clive Hayter によると、この対策は功を奏しているようで、申請数が昨年比で35%も減った。

申請数が増え合格率が急落しているのは世界共通だ。米国、ヨーロッパ、アジアの助成機関は EPSRC の実験を、^{かたず}固唾をのんで見守っている。彼らも同じ悩みを抱えているからだ。NSF (全米科学財団) の匿名担当者はこう打ち明ける。「初めはやりすぎだとみていましたが、今では、私たちも検討を始めてよいと考えています」。

「科学界の重荷を減らさなければなりません。目的は、研究者の行動を変えることなのです」と Hayter。変化を促すため、EPSRC は2009年、次の2つの条件を満たす研究者は1年間、申請を禁止すると宣言した。①代表申請者として出した3テーマ以上が、2年間のランキングで下位半分に入っていること、②全申請数の合格率が25%以下である



こと。この「三振、即退場」の方針は、科学者の激しい抵抗に遭った。その結果、実施時期が延期され、年1件の申請は許可するという緩い条件に変えて実行されることになったわけだ (Nature 2009年5月7日号20ページ)。山のような申請が止まり、合格率が30～40%に回復すれば「基準を緩和したい」と Hayter はいう。

各国の助成機関も同様の課題に向き合っている。NIH (メリーランド州ベセスダ) では、2008年の合格率は22%だった。日本学術振興会 (JSPS) の科研費の合格率は25%である。一方、ドイツの主要助成機関である DFG は47%の合格率を誇る。ただドイツの場合、資金の多くが大学から直接支給されている。

問題に対処するため、これらの機関は英国よりも平等主義的の方策を採っている。例えば日本では、1件当たりの額を減らして対応している。しかし、日本学術会議の金澤一郎会長は「このような対策は、申請書に約束した内容の実行可能性を危うくする」と指摘する。

米国とドイツでは、既に申請書類を簡略化する決定がなされている。書類が簡潔になれば、担当者や審査員の負担が軽減するからだ。DFG は2月、論文リストを大胆に制限する方針を打ち出した (Nature 2010年2月25日号1009ページ)。しかし、簡略化は逆効果で、申請数がどんどん増える危険性がある、と NIH 公開研究担当部長の Sally Rockey は指摘する。

EPSRC の厳しい新ルールに対して、昨年みられたような激しい英国科学者の抵抗は今のところ現れておらず、大半の研究者は静観しているようにみえる。

しかし、何人かは既に新システムからの離脱を決めている。エリオット・ワット大学 (英国エジンバラ) の化学物理学者 Martin McCoustra もブラックリスト入りとなった1人だが、彼は「EPSRC からの審査依頼は今後一切拒否する」といっている。

(翻訳再構成: 編集部)

「無感ニュートリノ」を求めて

Hunt for the sterile neutrino heats up

ERIC HAND 2010年3月18日 Vol. 464 (334-335)
www.nature.com/news/2010/100317/full/464334a.html

第四のニュートリノである無感（ステライル）ニュートリノが本当に存在するなら、天体物理学の最も深刻な問題のいくつかに、解決の糸口を与えるはずだ。

ニュートリノは秘密主義だ。この粒子は、普通の物質と相互作用したがない。そのため、毎日数十億個ものニュートリノが我々の体を猛スピードで突き抜けていっても、なんの害も及ぼさない。逆にいえば、わずか数個であっても、ニュートリノを検出しようとすれば専用の巨大検出器が必要になる。天文学者たちは今、既知のニュートリノよりもさらに検出困難なタイプのニュートリノについて、その存在を示唆する証拠を手にし始めている。ただし、この第四の無感（ステライル）ニュートリノ

ノを直接検出するのは不可能だと考えられている。

理論家も実験家も10年以上前からこの幽霊粒子に興味をもっていたが、これをとらえようとする実験は難航を極めている。けれども今、宇宙で行われている2つの観測（1つはマイクロ波、もう1つはX線を使ったもの）により、再び希望がみえてきた。

この無感ニュートリノを同定できれば、これまで何度となく検証されてきた標準モデルを超えて、新しい物理学を垣間見ることができよう。また、天文学の多くの謎を解き明かす手がかりが得られ、ひょっとすると、宇宙の質量の85%を占めていると考えられているダークマター（暗黒物質）の正体さえ説明できるかもしれない。

ロスアラモス国立研究所（米国ニューメキシコ州）に所属するWilliam Louisは、「原子核・素粒子物理学と天体物理学にとって、無感ニュートリノの問題は非常に重要です」という。彼が1990年代半ばに地上で行った実験は、この幽霊ニュートリノの存在を示唆する初期の証拠の1つとなった。

普通の3種類のニュートリノでも（次ページの図を参照）、検出するのは十分に難しい。これらのニュートリノは「弱い力」によって物質と相互作用するため、大量の物質の中を通り抜けても、その原子核とはほとんど衝突しない。そこで物理学者は、ニュートリノをとらえるために、鉱油または重水を満たしたタン

クを使って検出器を製作する。そしてさらに、原子炉や粒子加速器や太陽から来るニュートリノの流れに検出器を集中させて、キャッチする確率を高めている。

付き合いの悪い粒子

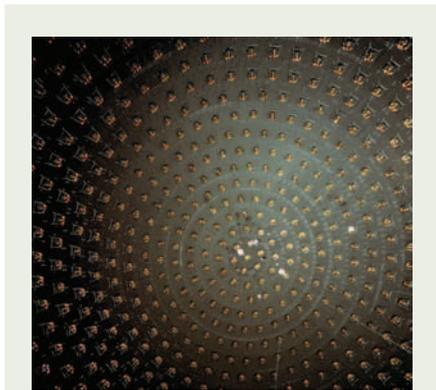
1998年、スイスのジュネーブ近郊にあるヨーロッパ素粒子物理学研究所（CERN）の加速器を使って行われた実験結果は、弱い力の作用を受けるニュートリノが、既知の3つのファミリー（フレーバー）だけであることを示した。したがって、これら以外のニュートリノは、弱い力の作用を受けない無感のニュートリノであり、既存の検出器を素通りしてしまうことになる。

そもそも、理論家はなぜ、こんな付き合いの悪い粒子を考え出したのだろうか？ それは、同じ1998年に、驚くべき発見がもう1つあったからである。3種類の普通のニュートリノは、小さいものの、確かに質量をもつことがわかったのだ。

この結果は衝撃的だった。それは単に、標準モデルではニュートリノには質量がないとされていたからではない。あるフレーバーから別のフレーバーへの振動（変化）の仕方から、3種類のニュートリノの質量が決定されたが、それらが信じられないほど小さかったからだ。最も重いものでも、電子より7桁以上軽かった。そこで理論家たちは、両者の間には、ほかのなんらかの粒子（おそらくは無感ニュートリノ）があるはずだと推測したのである。

このミッシングリンクに関するヒントをもたらしたのが、ウィルキンソンマイクロ波異方性探査機（WMAP）だった。WMAPは、2001年以来、ビッグバンの名残の放射にある微小なゆらぎの地図を作成している。このゆらぎのパターンには、ビッグバンの直後にあった素粒子の混合物に関する手がかりが残されている。

2010年1月に発表された過去7年分の観測結果は¹、原始宇宙のニュートリノ



ニュートリノハンター

MiniBooNE 実験は、1280 個の光電子増倍管を使って、ニュートリノまたは反ニュートリノが巨大なタンクに満たされた液体の中に飛び込んできたときに発する「微かな光」をとらえる。この実験から得られる新しいデータは、第四のニュートリノがあることを示唆するかもしれない、そうならば無感ニュートリノが実在する可能性が出てくる。

ノのファミリー数が4だった可能性が高いことを示唆した。つまり、あと1種類のニュートリノがまだ発見されていないことになる。ジョンズ・ホプキンス大学（メリーランド州ボルティモア）の主任研究員 Charles Bennett は、「ほかにも何かあると主張するのは、たいへんなことです」と語る。観測誤差がまだ大きく、ニュートリノの種類が最大で3である可能性は消えていない、と慎重な姿勢をとる。「結果は非常に興味深いですが、気になってしかたがないというほどではありません」。

より最近の手がかりは、チャンドラ X 線観測衛星からもたらされた。無感ニュートリノが本当に存在していて十分な重さがあるなら、これが崩壊して、より軽いニュートリノへと変化する際に、かすかな X 線パルスを放つはずだ。カリフォルニア大学ロサンゼルス校の Alexander Kusenko は、空の中で、多くのダークマターがあると考えられ、星やその他の光源がほとんどない領域に注目した。そして、銀河系の伴銀河であるウィルマン 1 という薄暗い矮小銀河からの X 線に、予測されたとおりの兆候を発見したと主張した²。しかし、Bennett と同様、Kusenko も、無感ニュートリノを発見したと主張するには時期尚早だという。「すべてがきれいに一致しているようですが、気をもませますね」。

Kusenko の観測によれば、無感ニュートリノは、それ自体がダークマター粒子となりうるほどの重さと量があることになる。一方、WMAP のデータは、無感ニュートリノの質量が、理論の予測範囲の軽い側にあることを示している。カリフォルニア大学サンディエゴ校天体物理学・宇宙科学センターの所長である George Fuller は、この軽い質量を歓迎する。それが本当なら、超新星に関する積年の問題を解決するのに役立つからだ。大質量星が爆発する際、中性子が融合して鉄よりも重い元素が形成される。けれどもこのとき、膨大な数のニュートリノも生成する。理論的には、このニュー

トリノが中性子を陽子と電子に変え、その融合を抑制すると考えられる。

無感ニュートリノは、この問題を解決する糸口となる。超新星爆発の際に生成したニュートリノの一部が無感ニュートリノに変わるなら、これらは中性子と相互作用することなく飛び去っていくため、中性子の多くがそのまま残れるからである。「その可能性は高いと思います」と Fuller はいう。

矛盾する報告

2010 年 3 月、MINOS (Main Injector Neutrino Oscillation Search) の実験から、無感ニュートリノを探す人々を落胆させるニュースが飛び込んできた³。この実験は、フェルミ国立加速器研究所（フェルミ研究所、イリノイ州バタヴィア）の加速器で生成させたニュートリノビームを、735km 離れたミネソタ州の地下にある MINOS 検出器に向かって照射し、ニュートリノ振動を検出しようとする実験だ。MINOS 実験のデータは、あるファミリーのニュートリノが無感ニュートリノに変化しにくいことを示したのだ。しかし、スポークスマンの Robert Plunkett は、無感ニュートリノが存在する余地はまだあるという。「今、無感ニュートリノに関するパラメーターの幅をしぼり込んでいるところです」。

フェルミ研究所ではもう 1 つ、無感ニュートリノの最初期の手がかりを追跡する実験が進められている。こちらはもっと明るい展望をもたらす可能性がある。1993 年から 1998 年まで、Louis と同僚は、液体シンチレーターニュートリノ検出器実験を利用して、167 トンの鉱油に反ニュートリノ（ニュートリノの反粒子）を照射し、これをとらえようとした。この実験から、ある種類の反ニュートリノが別の種類の反ニュートリノに変化する過程についてデータが得られたが、それは 4 種類のフレーバーが存在していることを示唆していた。

その 10 年後、追試として、フェルミ研究所で MiniBooNe (Mini Booster

無感ニュートリノの検出を夢見て

ニュートリノは、普通の物質と「弱い力」を通じて相互作用する。検出困難な粒子であり、どんな原子核ともほとんど衝突することなく地球を突き抜ける。ニュートリノには 3 つの種類があり、ある種類から別の種類へと変化（振動）することができる。

いくつかの実験が、第四のニュートリノの存在を示唆している。この無感（ステライル）ニュートリノは、普通のニュートリノと違って弱い力の作用を受けないため、その検出はさらに困難になる。



Neutrino Experiment) の実験が行われた。そのデータからは、第四のニュートリノの存在を裏付ける証拠は全く得られなかったが、ただこの実験ではニュートリノビームを使用していたため、結果をロスアラモスの反ニュートリノのデータと比較するのは難しかった。しかし、今回、MiniBooNE で 1 年半にわたる反ニュートリノのデータ収集を終え、MiniBooNE 実験から違ったパターンがみえてきたのだ（「ニュートリノハンター」参照）。

世界各地で行われているほかの反ニュートリノ実験と考え合わせると、このデータは、3 つの普通のニュートリノと 1 つの無感ニュートリノという「3+1 モデル」にきれいに一致する、と Louis はいう⁴。「今年の夏に発表される次のデータによって、この検出困難な侵入者がついにキャッチされたかどうか、よりはっきりわかるでしょう」。

（翻訳：三枝小夜子）

1. Komatsu, E. et al. Preprint at <http://arxiv.org/abs/1001.4538v1> (2010).
2. Lowenstein, M. & Kusenko, A. Preprint at <http://arxiv.org/abs/0912.0552> (2009).
3. Adamson, P. et al. *Phys. Rev. D* **81**, 052004 (2010).
4. Karagiorgi, G., Djuricic, Z., Conrad, J. M., Shaevitz, M. H. & Sorel, M. *Phys. Rev. D* **80**, 073001 (2009).

太り過ぎのラットは研究結果を歪める

Fat rats skew research results

DANIEL CRESSEY 2010年3月4日号 Vol. 464 (19)
www.nature.com/news/2010/100302/full/464019a.html

実験動物の多くは「不健康な生活」を送っている。しかし、その事実あまり認識されていない。このため、実験で得られた結果を誤って解釈してしまう可能性があり、ひいては治療薬の開発に当たって方向性を見誤るおそれがある。

この問題は、米国立老化研究所（NIA；メリーランド州ベセスダ）の研究グループによって提起された¹。彼らの論文によると、実験で使われているラットやマウスの大多数は太り過ぎであり、そのため耐糖能異常に陥っていて、死亡するのも早いのだという。したがって、そうした動物から得られた抗がん剤などの実験データは、標準体重の動物にうまく当てはまらない可能性がある。「研究者のほとんどは、ラットやマウスたちがかなり不健康な状態にあることを認識していません」と、NIA 神経科学研究部の責任者で、問題の論文の共著者でもある Mark Mattson は話す。「理屈からいうと、動物モデルで得られたデータは、標準体重で活動的な人ではなく、肥満で運動不足の人に当てはまるといえるでしょう」。

研究施設の標準的な飼育環境では、ラットやマウスはいつでも餌にありつくことができ、運動する機会はほとんどないので、体重が1キログラムになるほど太ってしまう場合もあると、Mattson

たちは指摘する。薬剤候補物質や治療法の実験で有益な効果を得たとしても、それは、不健康な生活を送る実験動物の状態に対してだけ効果があったのかもしれないかと、Mattson たちは話す。「カロリー制限によってラットやマウスの寿命が延びる主な理由の1つは、もともと不健康な肥満状態から実験を始めるからです」と Mattson は説明する。彼の研究チームは、免疫機能ががん、神経障害などさまざまな領域が、この問題の影響を受けることを確認している。

Mattson によれば、飼育ケージ内に回し車を設置したり、給餌を1日おきにしたりすることで、「肥満ラット問題」を解決できるという。そして、動物実験

を監督し承認する立場にある諮問委員会は、研究者にこの問題を認識させ積極的に対策を取るよう勧告すべきだと話す。

「肥満ラット説」は確かに信憑性がある、と話すのは、英国ケンブリッジ大学獣医学部の神経科学者 Robin Franklin だ。しかし、「これはヒト疾患と動物モデルとの違いの原因となっているさまざまな要因の1つにすぎない、と考えています」とも話し、自分の研究ではこうした問題は生じていないと述べている。

「Mattson たちはこれまで、げっ歯類モデルを使った多くの研究実績があり、高名な研究者です」と、国際実験動物管理公認協会（AAALAC）の事務局長 Christian Newcomer は話す。AAALAC は米国メリーランド州フレデリックに本部を置く非営利団体で、米国立衛生研究所をはじめとする多くの研究所が、動物使用に対して同協会からの認証を受けている。「今回の論文は強い影響力をもつてくると私は思います」。Newcomer はこう語っている。

（翻訳：船田晶子）

1. B. Martin et al. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **107**, 6127-6133 (2010).

被験対象の性別に大きな偏り

Sex bias blights drug studies

ERIKA CHECK HAYDEN 2010年3月18日号 Vol. 464 (332-333)
www.nature.com/news/2010/100316/full/464332b.html

慢性的な痛みで悩まされる患者の典型は55歳の女性とされるが、慢性疼痛の研究で使われる実験動物は、生後8週目の雄のマウスである。この性別の違いは、カナダのマギル大学（モントリオール）で疼痛を研究する Jeffrey Mogil によれば、「生物医学研究では、雌の実験動物や女性被験者が圧倒的に少ない」という問題を明示しているという。この問題については、2010年3月8、

9日に米国カリフォルニア州サンフランシスコで開催された「性差とそのトランスレーショナル神経科学研究との関連性に関するワークショップ」で議論された。

基礎研究でも臨床研究でも、被験対象に女性や雌はほとんどいない。これは、女性に多い疾患の有効な薬剤治療法が少ないなど、女性に不利な結果を生む。逆に、後期臨床試験で薬剤候補物質が女性に効かない、あるいは深刻な副作用が女



性にみられるといった理由で、その認可が下りない場合に、男性にも不利となる。「これは極めて重大な問題です」と、カリフォルニア大学パークレー校（米国）の生物学者 Irving Zucker はいう。「女性や雌の動物をいっさい被験対象にしていな研究分野もあります。あらゆるレベルの生体構造・機構に性差が認められているのに、男性や雄のみで行われた実験結果が女性にも当てはまるとしているのです。これは絶対に間違っています」。

多くの疾患は罹患率に性差がある。例えば、慢性疼痛、うつ病、自己免疫疾患は女性に多く、依存症や心血管疾患は男性に多い。1993年の米国立衛生研究所（NIH）再編法では、NIHの助成による臨床試験に女性を含めて治療効果の性差を検出できるよう求めている。米国政府説明責任局は2000年、NIHの助成を

受けた臨床試験での女性被験者の増加を報告し、その翌年には、食品医薬品局の監督下で行われた薬剤後期臨床試験でも同様の進展があったとしている。しかし、大規模な安全性試験や薬効試験の半数以上で女性が被験者に入っている一方で、小規模な初期研究ではわずか22%だとも指摘している。

臨床試験から得られたデータは、男女で別々に解析されない場合が多いことも問題だ。こうした性別解析をすることで、例えば、ある薬剤が男女で異なる有害作用を及ぼすかどうかを明らかにできるだろう。

一方、基礎研究では、女性の罹患率が高い疾患の研究を含め大多数の分野で、実験動物はいまだにほとんどが雄である。特に神経科学分野では、雄のみの研究と雌のみの研究の比が5.5対1と極端である。最近、Zuckerらは、42の学術ジャーナルで2009年に発表された10分野の研究について、実験動物の雄と雌の使用率を調べた。すると、8分野では、雄だけを使った研究のほうが雌だけを使った研究よりずっと多く、また、性別による解析が行われていない場合がほとんどだとわかった。研究者が雄の動物を好んで使うのは、雌では発情周期などの要因による変動要素が考えられるか

らだ。しかし Mogil は、疼痛への反応を測定するのに広く用いられる試験では、雌と雄のマウスのデータで変動性に差はみられないことを報告している¹。

フロリダ大学（米国タラハシー）の Karen Berkley たちは、女性や雌がもっと被験対象となるよう尽力を続け、*Biology of Sex Differences*（オンライン学術ジャーナル）の創刊や、性差に関する研究の総体的な進展につながった。

しかし、ワークショップで Berkley らは、さらなる対策が必要だと主張した。多くの研究者は、学術ジャーナルが掲載する論文の著者に対して、使用した動物の性別も記載するよう求めるべきだとする考え方を支持した。また、資金提供機関が、研究助成金申請者に対して、実験動物の性別を明記することや、雄だけを選んだ場合には必ず理由を説明することも要請すればよいのでは、とも論じた。そして、資金提供機関側も、性差に関するさらなる研究を支援することで、被験対象の性別の偏りを削減できるのではないかと主張したが、これについて NIH はコメントを避けた。

（翻訳：船田晶子）

1. J.S. Mogil and M.L. Chanda *Pain* 117, 1-5 (2005).



ISTOCKPHOTO

MINI NEWS

HFSPの資金を確保するために

BIOLOGY THINKS BIG TO STAY CUTS

ALISON ABBOTT 2010年3月11日号 Vol. 464 (151)

壮大な研究プロジェクトを提案する生物学者は、リスクに寛容なヒューマン・フロンティア・サイエンス・プログラム（HFSP）に資金を頼ることが多い。創設20年のHFSPは、世界で唯一の国際研究資金提供機関であり、毎年総額約6000万ドル（約54億円）の助成を行い、生体機構の研究を支えてきた。

今年3月、HFSPの事務局長

Ernst-Ludwig Winnacker は、生物学の今後について、第一人者の研究者20数人と会合を開いた。会合では、遺伝学的技術が引き続き生物学の最先端であり中心であること、顕微鏡のような技術がその原動力となり続けること、化学分野の発展がそれを支えることで、合意した。また、オーストリア科学技術研究所（ウィーン）のTom Henzingerが、

生物現象の解明に純粋数学がますます有用になるという見解を示し、賛同を得た。Winnackerは、「我々は、どのような研究アプローチにも耳を傾けます。判断基準は、卓越性、リスク、生物学の3つだけです」と話す。

会合の一般声明は、HFSP初の公式戦略報告書に盛り込まれる。この報告書は、5月のHFSPの会議で極めて重要な意味をもつ。世界的な金融危機がHFSP加盟国を圧迫しているのだ。実際、HFSP予算の約半分を拠出している日本は今年になって5%削減した。しかしHFSPは、不況時こそ賢い投資先として最先端研

究を選択すべきだと、加盟13か国と欧州連合代表の説得に奔走している。HFSPのほかにも類をみないプログラムは、野心的な研究計画に非官僚的な支援を行う点で人気があり、Winnackerは、この報告書が、継続的な資金提供に役立ってほしいと考えている。「科学研究が国際的になっても、資金提供は国や地域の問題だというパラドックスがあります。政治的国境は、資金の共同提供を複雑にしていますが、HFSPは政治的国境をもたない唯一の機関なのです」。Winnackerはこう語っている。

（翻訳：菊川要）

化学反応中間体を X線構造解析で観測した!

反応中間体は存在時間が短く、直接観察されることは少ない。ところが今回、有機化学の最も基本的な反応であるアミンとアルデヒドの反応において、その反応中間体が、X線結晶構造解析できちんと観測された。カギとなったのが「結晶フラスコ」¹という新しい手法。溶液反応を固体として観測する「新しい化学」が誕生した。



ふじた まこと
藤田 誠

—— Nature ダイジェスト：すばらしいお仕事だと思います。登場する化学反応、調べる方法、見たい物質と、すべてが由緒正しく、科学の高い香りが感じられるところがいいですね。

藤田：ありがとうございます。有機化学の最も基本的な「アミンとアルデヒドからイミン（シッフ塩基）ができる反応」を取り上げた理由は、そこにあります。大がかりな装置を使ったわけでも、画期的な物質を使ったわけでもありません。アイデアで勝負したのです。

化学反応のスナップショットが撮れた
——研究内容を簡単に整理してください。^{2,3}
分子の構造を求める最も確かな手法が、X線回折による結晶構造解析ですね。こ

こでは、対象物が結晶つまり周期構造でなければいけません。ここが大前提です。

僕たちはまず、大きな周期的な枠構造を合成しました。これにはいろいろな経緯がありますが、後で触れます。ともあれ、この枠は周期構造ですから、それ自体の構造解析ができます。

この枠構造には孔が周期的に空いています。そのように合成したものだからです。この孔にいろいろな分子を簡単に入れ込むことができます。枠構造を、入れたい分子の溶液に浸すだけでいい。今回はアミンを入れました。ここがポイントですが、個々の孔に入ったアミン分子は、やはり周期構造で並んでいるわけです。これは、いわゆるアミンの結晶とは違います。でも周期構造をとっているので、構造解析ができるのです。

——「枠構造+アミン」から「枠構造」を引き算すれば、アミンの構造になる……

そのとおりです。この状態から、次にアルデヒド溶液に浸します。すると、枠の孔の中のアミンとアルデヒドが反応して、最終反応物（イミン）ができます。そして、これもまた周期構造で並んでいるので、X線構造解析ができるわけです。

ということは、アミンから最終反応物まで、すべてが構造解析できる。あとは、うまく中間体ができたとところで反応を止めてやることです。僕たちは、液体窒素をかけて90 Kにすると反応が止まり、昇温して215 Kにすると反応がゆっくり進むことを突き止めました。この2つを繰り返せば、反応が少しずつ進むわ

けですね。こうして反応中間体となる条件を見つけ、その分子構造をX線解析でとらえることができたのです。

この化学反応の中間体は、有機化学のどの教科書にも書いてはあるのですが、存在時間は短く、X線回折で直接構造を求めることなど、誰も考えませんでした。これまで、誰も見たことのないものを分光学データだけで信じてきたんです。僕らは初めて、この中間体をX線回折で、すなわち目で見て確認したのです。

自己組織化分子から「結晶フラスコ」へ
——そもそも、こんなものを、どうやってお考えになったのですか。

かなり長い歴史があるんですよ。相模中央研究所の研究者だった時に会ったのが、無機化学の人には普通の物質ですが、僕のような有機化学の人間には非常に新鮮な格子状の無機物質でした。「こんなものを有機化学で作ったらおもしろそうだな」と思いました。そして設計したのが、ちょうど餅網のような枠構造の分子でした（図1）。金属イオンと有機分子からなる構造です。

予備的な実験は始めていましたが、本格的に合成しようと思ったのは、千葉大学の助手になって2年目です。餅網構造と思える物質はすぐできましたが、当時結晶構造解析の技術は有機の研究室からはほど遠く、構造を調べられませんでした。そこで、餅網の一マスを切り出した正方形分子を設計してそれをやってみたら、いわゆる自己組織化に遭遇したのですよ。作る前は、1%でもできてくれ

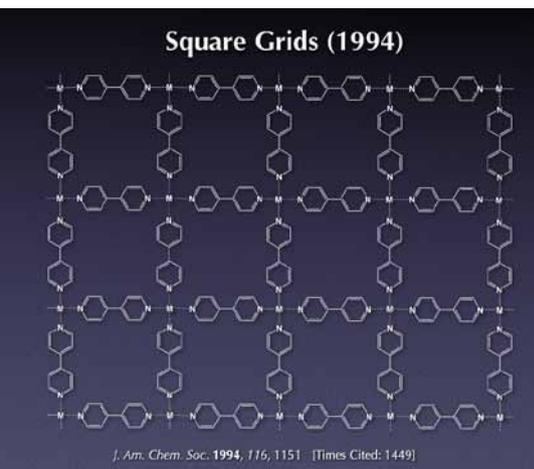


図1 餅網のような枠構造分子。1994年の論文⁴で発表された「結晶フラスコ」に至る最初の分子。金属イオンと有機分子が、自己組織化して、上下左右、餅網のようにつながっている。

るかな、でしたが、やってみると、なんと100%の収率でできてしまった。驚きでした。

それからさらに4年ほどして、ようやく最初に描いた餅網構造を結晶構造とともに世の中に出せました。ずいぶん長いことデータを眠らせてしまいました。それでも、今日世界的に注目を集めている、MOF(有機金属体構造体)とよばれる細孔性の金属錯体の原型となる物質をいち早く世に出せたわけです。

—— MOF という流行の分野の創始者だったのですか！

そこまではいえませんが、僕らの餅網錯体は細孔を意識して作られた最初の金属錯体で、MOFが提唱される以前でしたので、開拓者の1人、ぐらいいえると思います。このような物質はゼオライトのような機能を示すはずだという主張も、1994年の最初の論文で述べました⁴。世界からみれば、無名の若造が出した論文でしたが、あれよあれよという間に1500件近く引用されました。もっとも今では忘れられた論文ですが、よく「あれ、藤田先生もMOFの仕事をしているんですか」といわれてしまいますが、笑ってうなずくしかないですね。

—— 自己組織化する枠構造から今回のお仕事まで、なお大きな隔たりがあると思いますが。

先ほどの正方形分子を基点に、僕自身は2つの方向に仕事を展開させてきました。1つは、自己組織化構造を、二次元から三次元、さらに複雑で巨大な分子へと進めてきました。いま僕たちが作っているのはかなり大きな分子で、直径はフラーレンの数倍以上に到達するくらいのもので。

もう1つの方向が、餅網構造をさらに発展させ、結晶状態で枠の内部、つまり空間を利用することで、今回の研究につながっています。

世の中のMOF研究者の多くはガス吸蔵、とりわけ水素自動車の水素貯蔵に夢

中になっていますが、僕が取り組んだのは「化学反応を、溶液中でなく固体でできたらおもしろいぞ」ということでした。周期的に孔があいているので、この孔を反応場に使えるのではないかと、思いついたのです。それが「結晶性のフラスコ」というコンセプトに結びついていったわけです。

—— 固体のような状態を保っておいて、実体は溶液反応をさせる、という感じですか。

フラスコは、溶液反応をさせる道具でしょう。小さな小さなフラスコが周期的にたくさん並んでいる、ということです。もしそこで溶液反応を起こさせることができれば、溶液反応を固体としてみる、つまりX線回折で読み取ることができるでしょう。

ただし、結晶状態で化学反応をさせようという話は古い歴史があって、いろいろな人が取り組んできました。でも基本的にうまくいかなかった。最大の理由は、反応前の分子が結晶状態を保っていても、全部反応すると、個々の分子の形や大きさが変化して、結晶状態が崩れてアモルファス(非晶質)になってしまうからです。非晶質では回折像は得られません。例外は分子がほとんど変化しない分子内反応だけでした。

ところが、餅網構造を発展させて作った細孔性の錯体は、外枠がしっかりしているから、全体の結晶性は失われることがない。個々の空間がフラスコになりう

る、と気が付いた。そこで実際にやってみると、溶液が枠の空間に簡単に入り込めること、しみ込んだ物質が結晶(周期)構造をとることが確かめられたのです。「結晶フラスコ」はこんな経緯で生まれたんですよ。

例えばアミンの入った枠構造をアルデヒドに浸すと、両側から色が変わって行って、まさに反応の進行状況、時間的変化が手に取るように目に見えるんです。

—— ガス吸着のほうが、研究費も得やすいように思うのですが、なぜそちらの研究はしないのですか。

ガス吸着は神奈川大学の森和亮先生や京大の北川進先生が発見された、細孔性金属錯体のすばらしい機能であり、日本オリジナルの技術です。そこに後から参入する気にはなれません。後追い研究には全く価値を感じません。

この方法は他の分子にも適用できます。今回は原理、本質をみせたいので既知の反応を使いましたが、既に、未知の反応に取り組んでいます。

—— 大いに期待しています。どうもありがとうございます。

聞き手は、松尾義之(サイエンスライター)。

- 1 *Nature Digest* May 32-33 (2009)
- 2 Kawamichi et al. *Nature* **461**, 633-635 (2009)
- 3 Cohen S. M. *Nature* **461**, 602-603 (2009), *Nature Digest* December 30-31 (2009)
- 4 Fujita M. et al. *J. Am. Chem. Soc.* **116** 1151-1152 (1994)

AUTHOR PROFILE

藤田 誠

東京大学大学院工学系研究科応用化学専攻教授。1980年、千葉大学工学部合成化学科卒業。82年、同大学大学院工学研究科修士課程を修了し、相模中央研究所研究員。87年、東京工業大学工学博士。88年に千葉大学工学部助手、講師、助教授を経て、97年に分子科学研究所助教授。99年、名古屋大学大学院工学研究科教授。2002年より現職。90年に金属と有機分子からなる自己組織化分子を発見。以来、遷移金属を活用した自己集合性分子システム、孤立ナノ空間の化学、自己集合性高分子錯体などの研究を展開している。2001年に日本IBM科学賞を受賞。現在は山歩きが趣味だが、高校・大学時代はロッククライマー。「いったん壁に取りついたら途中でやめることができないのが、研究と似ていますね」。(写真は2009年、カナディアンロッキーにて。)

“大学の格付けランキング”を超えて

The ratings game

2010年3月4日号 Vol. 464 (7-8)

現在ある世界の大学格付けランキングには問題点が多く、それ自体の改善が必要だ。
大学関係者は高順位を狙うべく努力しているが、格付け結果をより賢明に解釈する必要がある。

フランスのニコラス・サルコジ大統領は、同国の大学が世界ランキングでお粗末な結果になったことをかなり気にしているらしい。実際、「フランスの大学がベスト20に2校、ベスト100に10校入ること」を目標に設定するよう研究・高等教育省に命じた。こうした風潮はサルコジ大統領に限らない。今や、ランキングの順位向上をめざす動きが、世界各国の政策決定や研究資金提供の決定に影響を与えるようになってきている。しかし、大学の格付けには、それ自体に問題点があることはよく知られている。

大学の格付けシステムには多くのものがある。なかでも最も有名なのが、中国国内の大学と他の大学を比較することを目的として2003年に上海交通大学が創設した格付けと、英国ロンドンのTimes Higher Educationという雑誌が2004年に商業出版事業として始動させた格付けだ。これらのランキングでは、各大学の研究論文発表数、世間の評判などの重み付け指標を合計して、総合得点を算出している。

ところが数多くの論者が指摘してきたように、こうした現行のシステムでは、研究を偏重する傾向がみられる。そして、別の形の学問的業績や、学生教育において、批判的思考を育み、イノベーションを起こす力をどの程度効果的に身に付けさせているか、といった他の重要な要素が十分には考慮されていない。また、これらの格付けシステムでは、論文引用率の高い生物医学分野で大規模な講座をもつ大学が過大評価され、工学や社会科学を重視する大学が不利に扱われる傾向も

ある。それに加え、大学が評価対象の単位としてふさわしいかどうかにも疑問の余地がある。研究についての評価であれば、個々の学部や研究室を評価の単位としたほうが意味があるといつてよい。

それでも、格付け上位の大学は、こうした既存のシステム上の重大問題に疑問を投げかけず、ランキングが上だという事実を前面に押し出して満足してしまうことが非常に多い。その結果、格付けの信頼性が水増しされている。政策当局者やジャーナリストも、こうした格付けを額面どおりに受け取ることが多くなっている。要するにサッカーリーグの格付けランキングのような見方で、そもそも、こうしたやり方に意味があるのかどうか疑わしいのだ。

幸いなことに、次世代の格付けシステムが、こうした課題のいくつかに取り組み始めている (*Nature* 2010年3月4日号16ページ参照)。新しい格付けシステムは、より多元的なシステムをめざしている。大学を比較する際も、総合得点という単一の数値に従来ほど着目せず、研究、教育、地域社会や産業界への貢献といった、具体的な側面をより重視している。また、例えばハーバード大学のように運営資金の潤沢な大学と、限られた資金で卓越した成果をあげている小規模大学を同じ土俵で比較するのをやめ、類似性のある大学どうしを比較する方向へと動いている。

そして、これが最も重要かもしれないが、新しい格付けシステムでは、単純な順位表を並べる形から、それぞれの順位表を作るもとになったデータベースを公表する方向へと、舵を切り始めた。こう

した動きは、長い間待たれていたことだ。その結果、ユーザーは、自分にとって重要と思われる基準に基づいて、オンラインで大学を比較できるようになった。

信頼できる大学情報データベースこそが、透明性と説明責任のためのツールとして最も重要であることが浮き彫りになっている。この点で、政府や大学ができるのは、入手可能なデータの質的改善と量的拡大を進めていくことだ。また、例えば経済や社会への貢献など、大学の中核的機能を測定する方法を、さらに改善する努力を進めていく必要がある。これが進めば、欧州委員会が現在行っているような独自の格付けシステムの提案を例に出すまでもなく、さまざまな果実が得られるであろう。

大学は、格付けによって政策決定が過剰に影響を受けすぎないように、十分に注意を払う必要がある。このようなリスクは、2008年のイングランド高等教育資金配分会議の格付けの影響に関する報告書 (<http://go.nature.com/Ssi6Rr>) で取り上げられた。好むと好まざるとにかかわらず、格付けは今後も続く。格付けの乱用を防止し、格付けの限界について説明し、大学事業のより全体論的な評価を行うための活動を支援することが、大学にとって最も重要な課題だ。最近、経済協力開発機構 (OECD) が、高等教育は「わずかな数の基準では要約はできない。そうした基準を用いると、考慮される要素より無視される要素のほうが多くなる」と指摘し (<http://go.nature.com/Lld7d7>)、格付け万能の風潮に強烈な一撃を見舞った。 ■

(翻訳：菊川要)

Nature のコンテンツにコメントを!

Content rules

2010年3月25日号 Vol. 464 (466)

Nature にオンラインコメント投稿機能が導入された。

本誌掲載のすべての記事と論文について、ウェブ上で議論をする道が開かれた。

Nature 読者にふさわしい質の高い対話を期待する。

オンラインソーシャルメディアの愛好家が頻繁に繰り返すお題目は、「対話は王様」というフレーズだ。しかし、私たち Nature の編集者とライターは、まずコンテンツに忠誠を誓う傾向が強い。Nature のコンテンツに対価を支払う読者にとって、有益で刺激的なコンテンツとなるよう、リサーチ、執筆依頼、選定、創造、あるいはその他のあらゆる方法で、コンテンツの価値を高めることに労力を費やす。

しかし、対話という行為が、こうした我々の努力に新たな価値を生み出すことは明らかだ。そこで、Nature は、読者が Nature のいかなるコンテンツにも直接応答できるオンラインコメント機能を、2010年3月25日号の週から導入した。

コメントの投稿は、Nature にとって初めてのことでない。Nature のオンラインニュースサービス (www.nature.com/news) では、かなり前からコメントの投稿を認めており、最近のコメントを読めば、読者の意見の活気や興味深さがわかる。例えば、中国での Google に関する記事 (go.nature.com/FJ6QTM) やメキシコで解雇された研究者の記事 (go.nature.com/t75Zn7) を読んでほしい。

ただし、Nature に掲載される研究論文については、オンラインでの議論は、これよりは相当に控えめなものとなる可能性が高い。既にコメント投稿を許可した出版社の経験に照らせば、次のようなことが考えられる。そうなるのもたぶん無理はない。まず、研究者の中には、論文誌のウェブサイトという、かなりフォー

マルな場で、論文に対するコメントを投稿することに威圧感を覚える人があるはずだ。また、無用のリスク、例えば同僚の感情を害したり、自らの不用意なコメントによって後々悩まされたりするのは嫌だと考える人もいるはずだ。それよりもっと重要な点は、コメント投稿者にとって、そのコメントが正式な学術的功績とならないため、コメントの作成が時間の無駄のように思われる点である。

こうした理由から、Nature では、これからも引き続き、電子版の Brief Communications Arising のセクションで論文に対する正式な応答を掲載していくが、このセクションに掲載される小論文については、査読が行われ、高い受理基準が適用されることにした。

新たにコメント機能をもたせたものについては、読者に適用される受理基準を2本立てとした。News & Views 記事、Review 論文と一次研究論文に対するコメントについては、審査を行った後、ウェブサイトでの掲載を許可する。

[Report this comment](#) Posted by: | 2010-03-24 10:10:07 PM

Hong Kong is part of China, but under different law(so called "One country, two systems". There is little, if any, censorship on press and internet in Hong Kong. #9829

[Report this comment](#) Posted by: | 2010-03-25 02:13:31 AM

I think the greatest achievement of the Chinese Communist Party is #9891 to transform the thinking of ordinary Chinese citizens in that they now firmly believe the government = country. Any entities, foreign or domestic, that rise against the central government is now labeled as against the country. Hence, no enemies of the government will succeed because patriotic citizens won't allow it.

[Report this comment](#) Posted by: | 2010-03-27 03:54:40 AM

Add your own comment

This is a public forum. Please keep to our [Community Guidelines](#). You can be controversial, but please don't get personal or offensive and do keep it brief. Remember our threads are for feedback and discussion - not for publishing papers, press releases or advertisements.

You need to be registered with Nature to leave a comment. Please log in or register as a new user. You will be re-directed back to this page.

審査の目的は、法的問題や猥褻性が明らかに認められる投稿や不当な主張であることが明白な投稿のみを排除することにある。例えば雑学的知識を披歴する投稿であっても、Nature としては禁止するつもりはない。しかし、批判的精神をもつ Nature の読者が相手であることを忘れずに、それにふさわしい高いレベルの投稿を期待したい。そうしたコメントが数多く寄せられることで、無益な情報の比率を下げ、有益情報の占有率を高めていきたいと願っている。

その他のセクションに関するコメントについては、オンラインニュースサービスと同様に運用される。投稿されたコメントは直ちにウェブサイトに掲載され、事前のモニタリングや審査はしない。ただし、上で述べたのと同じ理由から、読者から確かな反対があれば、コメントは速やかに削除する。

なお、コメントを投稿する場合には、現行の英国名誉毀損法による規制を免れないことにも留意してほしい。同法によれば、名誉毀損に関する重い立証責任を負うのは、コメントの対象となって訴訟を提起した人ではなく、コメント投稿者本人である。同じことが米国でも原則的に適用されている。なお、今回実施されるアプローチについては、数か月後に再検討する予定である。

こうしたことを踏まえたうえで、読者の皆さんに、多くのコメント投稿をお願いしたい。これによって科学を巡る対話がより充実することを望んでいる。

(翻訳: 菊川要)



Volume 464
Number 7290
2010年4月8日号

飛行計画：ハトの群れの順序は「飛行中の社会序列」による

FLIGHT PLANS: Airborne pecking order coordinates pigeon flocks

同じ種類の鳥が群れて飛ぶことはよく知られているが、大きな群れを成す動物がどのようにして協調的な行動をとるのかは、完全に説明されていない。現在まで、この問題は主に数値モデリングによって取り組まれてきたが、重量がほんの16グラムという小型GPS計測記録装置を背負わせる手法が実用化されたことにより、群れの各個体の追跡が可能となり、直接得られた観測値を用いてモデルを検証できるようになった。最大10羽からなる伝書バトの群れで行った実験により、ある個体の飛行時の位置は詳細に決められた社会的地位により決まることがわ



小型GPS装置が入ったリュックを背負ったハト。

かった。これは飛行中の「つつきの順位」である。興味深いことに、各個体は主に左目に映った群れメンバーに、よりすばやく反応する。これは、各個体が群れ内の位置に応じた特定の役割をもっていることを、さらに裏付けるものだ。

遺伝：イヌの古い品種、新しい品種

Dog breeds, old and new

イヌの家畜化と品種改良は、人類文明の発展に伴って急速に起こった形態と機能の劇的な放散を示す興味深い一例である。イヌおよびその祖先野生種であるタイリクオオカミを対象とした、4万8000個を超える一塩基多型の大規模かつ詳細な全ゲノム調査により、遺伝的下位区分の注目すべきパターンが明らかになった。はっきりと分岐した2つのクラスターが出現し、一方は古い品種群、もう一方は19世紀に生み出された近代の品種群だった。共有ハプロタイプの分析から、イヌは、主として中東またはヨーロッパ起源であり、ミトコンドリアDNAデータから以前示唆されたような東アジア起源ではないことが示された。このことは、最近の考古学的発見と一致している。

物理：メモリスターによる論理演算

A good memory for logic

記憶素子と抵抗器の電気的特性を組み合わせたメモリスター、すなわちメモリスティブ・デバイス実現の可能性は、1971年にL Chuaによって提案された。それは、長く理論の域を超えないもの

だったが、2年前に電圧で作動するバイポーラススイッチがメモリスターを物理的に実現したものであることが確認された。その結果、メモリスティブ・デバイスへの関心が復活し、今も続いている。そして今回、単一のデバイスが同時に論理素子としても記憶素子としても働く必要のある、基本的な論理演算も「メモリスター」が実行できることを、J Borghetti たちが明らかにした。

生理：がん細胞を生むニッチ

The cancer cell niche

腫瘍形成には、個々の細胞で一連の遺伝的およびエピジェネティックな事象が起こることが必要かもしれないが、完全な悪性化のためには、それを許容する微小環境、すなわちニッチが要求されると考えられてきた。今回、血球の微小環境に生じた遺伝的变化が造血器悪性腫瘍を引き起こす新たなマウスモデルで、この見解が裏付けられた。こうした微小環境の一部である骨前駆細胞でマイクロRNAのプロセッシングにかかわるDicer1遺伝子が欠失すると、骨髄異形成症候群に似た表現型がみられるようになり、これは白血病へ進行する可能性がある。この前駆細胞では、白血

病の素因となる骨髄機能不全であるシュバハマン・ボーディアン・ダイヤモンド症候群で変異がみられるSbds遺伝子の発現量が低下している。

気候：放牧はN₂Oの放出を減少させる

Grazing cuts N₂O emission

温室効果ガスである亜酸化窒素の濃度は産業革命以前の時代から増加しており、その主な原因は農業活動である。農業活動の変化の中で、家畜の放牧は温帯の草原からの亜酸化窒素の放出をかなり増加させると報告されてきた。中国の内モンゴルのステップ草原にある10か所の観測サイトでの通年観測から得られた新しいデータによって、これまで見落とされてきた相互作用が明らかになり、この見解に疑問が生じている。自動チャンバー方式を用いた測定によって、春季の雪解け時の一時的急増が亜酸化窒素の放出の大部分を占めており、この放出は放牧が行われていないステップ草原で最も多く、放牧強度が高くなると減少することが示された。したがって、放牧は意外にも、土壌水の収支と微生物の活動を変えることによって、亜酸化窒素の放出を増加させるのではなく、減少させているのである。



Volume 464
Number 7291
2010年4月15日号

直接的な作用：特異的に働く Notch 受容体アンタゴニストの抗がん剤としての可能性

DIRECT ACTION: Antitumour potential of specific Notch receptor antagonists

Notch ファミリーの 4 つの受容体は広く発現している膜貫通タンパク質であり、哺乳類細胞はこれらを介して相互に情報交換を行い、細胞の運命と増殖を調節している。Notch シグナル伝達の欠陥は、急性リンパ芽球性白血病などの多くのがんと関連している。今回、ジェネンテック社の研究チームがファージディスプレイ法を用いて、Notch1 と Notch2 の強力かつ特異的なアンタゴニストとして作用する合成抗体を作出した。抗 Notch1 は、前臨床マウスモデルで、がん細胞の増殖と血管新生の両方を阻害する抗がん活性を示し、また培養されたヒト、あるいはがん細胞に対しても活性がみられる。Notch1 と 2 を同時に阻害すると腸に毒性があるが、どちらか一方だけの阻害ではこの副作用はおおむね回避され、「全 Notch」阻害剤に勝る治療上の利点が見込まれる。

遺伝：がんゲノムのネットワーク

Cancer genome network

2010 年には数百のヒトがんのゲノム塩基配列が公表されると予想されており、さらに来年以降、その数は毎年数千になるだろうと考えられている。国際がんゲノムコンソーシアム (ICGC) は、成人と小児の主要ながんのすべて (全部で 50 種の異なるタイプまたはサブタイプのがん) について、大規模ながんゲノム解読研究データの状況把握を目的として立ち上げられた。Nature 4 月 15 日号では、ICGC チームがプロジェクトの方針と計画を詳細に説明している。

工学：大規模停電はどうして起こったのか Who turned the lights out?

2003 年 9 月 28 日、シチリアを除くイタリアのほぼ全域が大規模な停電に見舞われ、インターネットも不通になった。Buldyrev たちは、この大停電を、近年世界のあちこちで相当数起きている、似たような事故の典型例であると考え、複数の独立したネットワークを巻き込む故障のこのようなカスケード的広がりの仕組みについて調べている。意外なことに、分布度が広がると、相互依存ネッ

トワークの偶発故障に対してより脆弱になることがわかった。これは、単一ネットワークで起こることの逆である。このことは、偶発故障が破滅的な結果とならないように、ロバスタなネットワークを設計するには、相互依存ネットワークの特性を考慮する必要があることを示唆している。

遺伝：美味なるトリュフのゲノムを解読 A tasty genome sequence

ヨーロッパオークの根に共生して生育するペリゴール産の黒トリュフ (*Tuber melanosporum* Vittad.) はグルメにとってごちそうだが、今回、そのゲノム塩基配列が解読された。これは、塩基配列が解読された菌類ゲノムとしては、最大かつ最も複雑なものである。そのゲノムには遺伝子が意外なほど少ないが、トランスポゾンとよばれる転位性遺伝因子が多数含まれている。外生菌根を形成する別の共生菌であるオオキツネタケ (*Laccaria bicolor*) との塩基配列の比較から、根と共生する生活様式に適応するために独自に進化した、相異なる 2 つの「分子の工具セット」を表す対照的な遺伝子セットが明らかになった。トリュ

フの栽培は複雑な過程であり、市場に出回っているトリュフの大半はいまだに野生のものである。そのため、子実体形成や共生に関係する遺伝的形質の解析は、栽培による収量増大に役立ち、それによって黒トリュフが広く手に入るようになるかもしれない。

細胞：ヘビが行う熱画像化

Thermal imaging by snakes

脊椎動物で「第六の感覚」といわれる赤外線検知機能をもつことが知られているのは 4 種だけで、この機能は捕食や温度調節に使われている。これらは、系統的に離れた 3 種のヘビ (クサリヘビ類、ニシキヘビ類、ボア類のヘビ) とチスイコウモリである。この感覚を媒介するピット器官は、解剖学および行動学的観点からは詳細に研究されているが、赤外線検知の基盤となるシグナル伝達機構やそれに関与する分子についてはほとんどわかっていない。Gracheva たちは、ピット器官をもつヘビは、イオンチャンネル TRPA1 による精巧な熱検知に依存していることを明らかにしている。この結果により、哺乳類では化学刺激物質、昆虫では温度変化を感知する TRPA1 ファミリータンパク質の感覚レパートリーがさらに広がった。

地球：穏やかな始生代の海洋

A temperate Archaean ocean

始生代前期 (約 35 億年前) には海水温が 55 ~ 85 °C であったと考えられてきた。しかし、最近の研究から、始生代の海水温は 40 °C を超えなかったことが論証されている。南アフリカのバーバートン緑色岩帯で得られた保存状態のよい岩石には、32 億 ~ 35 億年前の初期生命と海洋の化学的性質の地球化学的記録が保持されている。バーバートン堆積物におけるリン酸塩の酸素同位体組成に関する新しい研究によって、始生代の海洋は海水温が約 26 ~ 35 °C と低めで穏やかな環境であったことが裏付けられた。この知見より、始生代の地球ではリン循環がよく発達し、生物活動も進化していたことが示唆されている。



Volume 464
Number 7292
2010年4月22日号

色の符号化：ショウジョウバエのパターン誘導因子 COLOUR CODING: 'Wingless' is elusive pattern-inducer in *Drosophila*

動物体表の複雑な色彩パターンの形成は、発生生物学における古典的な難題である。パターン形成を説明しようとする試みの大半は、反応拡散機構に着目した理論的なものである。この機構では、狭い領域で拡散する活性化因子（モルフォゲン）と、広範囲に拡散する阻害因子の相互作用により、安定なパターンが生成されると仮定している。しかし、こうした因子の候補となるモルフォゲンや阻害物質はこれまで未解明だった。S Carroll たちは、モデルとして *Drosophila guttifera* の翅の鮮やかな水玉模様を用いて、斑点がモルフォゲンの Wingless により誘導されることを明らかにした。さらに彼ら

は、新たな部位で Wingless を発現させることで、この複雑な水玉模様がより単純なスキームから進化した可能性を示している。



左は野生の *D. guttifera* の翅、右はダブルトランスジェニック *D. guttifera* の翅の合成画像。

細胞：インスリン放出の α および β

The α and β of insulin release

膵臓でインスリンを産生する β 細胞は寿命が長く、一生の間にほとんど複製しないが、損傷を受けたり代謝的要求があったりすれば複製することがある。 β 細胞をほぼ完全に除去したトランスジェニックマウスモデルの研究によって、通常はペプチドホルモンであるグルカゴンの産生を担っている成体 α 細胞が、自発的に再プログラム化されて β 細胞になる場合があることが示された。意外にも膵細胞の可塑性が示されたことは、*in vitro* での細胞作出もしくは *in vivo* での再生誘導のどちらかの分化を利用した糖尿病治療の可能性を示唆している。また、選択的に細胞を全滅できる新しいモデルの作製によって、ほかの臓器でもこれまで認識されていなかった細胞可塑性が明らかになるかもしれない。

地球：生態系における硝酸塩の流れ

Ecosystem nitrate flows

水圏環境における硝酸塩の蓄積は、主として化学肥料使用の結果であり、環境問題と公衆衛生問題の両方を生じさせている。今回 P Taylor と A Townsend は、大きな窒素負荷を受けている生態系を含む、土壌、淡水生態系、海洋に

わたって硝酸塩濃度と有機炭素濃度の間に一貫した逆相関があることを実証している。溶存有機炭素と硝酸塩の循環を結びつけている微生物過程の調節により硝酸塩蓄積に影響を与えている炭素と硝酸塩の比によって、この逆相関パターンを説明できることがわかった。この結果から、世界全体の生態系における硝酸塩の行方と人的介入の影響を解明するための、検証可能な枠組みが得られるかもしれない。

生化学：FTO が肥満を標的とする仕組み

How FTO targets obesity

少ない脂肪量・肥満関連 (*FTO*) 遺伝子は、体重増加や肥満のリスクと関係している。*FTO* タンパク質は DNA/RNA デメチラーゼで、これを欠損したマウスは体脂肪が異常に少ない。今回、モノヌクレオチドである 3-メチルチミジンと複合体を形成したヒト *FTO* の結晶構造が決定された。その構造から、タンパク質が一本鎖 DNA と二本鎖 DNA を区別する新たな機構が明らかになった。さらに、生化学分析により、以前は機能が不明だった *FTO* の C 末端ドメインが、N 末端の触媒ドメインとの相互作用を介して、*FTO* の触媒活性に必要とされることが示された。これらの結果は、

FTO の基質特異性を理解するための構造的基盤を与えるとともに、抗肥満作用物質となる可能性のある *FTO* 阻害物質の合理的設計の基礎となる。

物性：接触させて過冷却を促進

Supercooling makes contact

液体中の局所的原子配列は、結晶の秩序とはかなり異なっている。しかし、結晶と接触すると、液体中の隣接原子が結晶の秩序をまねる場合があり、これは液体が凝固する引き金となることが多い。この「シーディング」効果はよく知られており、凝固点に近づきつつある水や、結晶核形成でみられる。今回、もっと意外な、これとは逆の効果が報告された。つまり、表面の原子構造が接触している液相の原子構造に似ていれば、結晶化が起こるのではなく、融点を大きく下回っても液体が液体のまま維持され、過冷却が実現するというのである。この現象は、シリコン基板上に層を形成した五角形配列の金原子と接触している金シリコン共晶液滴で観察された。この発見は、凝固の基礎研究や、相転移の実験的な制御にかかわりがある。例えば、過冷却状態を得るためによく用いられる無容器技術は、正二十面体配列の表面層で容器をコーティングすれば不要になるかもしれない。



Volume 464
Number 7293
2010年4月29日号

1人が多発性硬化症を発症し、もう1人は発症していない 双子のゲノム完全塩基配列の解読

THE MS GENOME: Complete sequences of twins with and without multiple sclerosis

「一卵性」双子は、ヒトの疾患への遺伝のかかわりや環境の影響を研究する際に広く用いられている。双子のうちの1人が多発性硬化症を発症し、もう1人は発症していない3組の一卵性双子について今回行われた研究は、最新のゲノムシーケンシングと解析の技術をこの分野に導入したもので、また双子で多発性硬化症患者の女性のゲノム塩基配列を初めて公表している。双子の1組については全塩基配列が解読され、この組を含む3組について、CD4⁺リンパ球のmRNAトランスクリプトームおよびエピゲノム配列が決定された。意外にも、双子の一方が発症し、他方が発症しないことの説明となる遺伝的、エピゲノムの違い、あるいはトランスクリプトームの差異は見いだされなかった。このデータを詳しく検討したeQTL（発現量的形質遺伝子座）マッピングからは、双子間興味の深い違いが明らかになり、これはさらに詳細な解析を行うのに値する。また、多発性硬化症の発症について考えられる原因のいくつかは除外することができた。今後は、ほかの細胞型やエピジェネティックな修飾の研究が集中的に行われるだろう。

宇宙：小惑星 24 番テミス

Ice on asteroid 24 Themis

2つの独立した研究グループが、主小惑星帯の小惑星 24 番テミスの赤外スペクトルを、ハワイのマウナケアにあるNASAの赤外線望遠鏡施設 (IRTF) を使って観測し、このスペクトルはテミスが氷と有機物を含む凍った物質で広範囲に覆われていることと一致するのを見いだした。一部の小惑星の表面に氷が存在することは、いくつかの小型小惑星の活動が彗星に似ていることから推測されていたものの、主小惑星帯に存在する水と有機物が実際に測定されたのは今



回が初めてである。表面に氷が存在することは、とりわけ意外な結果である。なぜなら、火星と木星の軌道の間にあるテミスから太陽までの距離では、曝露された氷の寿命は比較的短いからだ。

生理：アディポネクチンと肥満

Adiponectin and obesity

脂肪細胞由来のホルモンであるアディポネクチンは、グルコースと脂肪酸代謝の調節に関与し、抗糖尿病作用とアテローム産生抑制作用をもつ。筋細胞のアディポネクチン受容体 AdipoR1 を欠損するマウスを用いた研究で、このマウスはインスリン抵抗性を示し、野生型のマウスよりも運動に対する持久力が低いことが示された。アディポネクチンは骨格筋で、AdipoR1 を介した細胞外 Ca²⁺ の流入を誘導するが、これはミトコンドリア機能や酸化ストレスに密接に関係する、下流のさまざまなシグナル伝達に欠かせない。このことは、AdipoR1 受容体を刺激するか、あるいは骨格筋の

AdipoR1 受容体の数を増加させれば、ミトコンドリア機能不全、インスリン抵抗性や肥満と関連のある2型糖尿病の治療に有効である可能性を示している。

気候：気候フィードバック

Climate feedback

気候変動は全球で一様に起こるわけではなく、極地増幅とよばれる過程により、北極域は熱帯や中緯度地方よりも速く暖まる。最近の研究では、上層大気の輸送過程によって近年の極地増幅の大部分が説明されることが示唆されたが、この結論は議論的になった。今回、過去20年間の再解析データの最新版を用いて、上層大気過程ではなく、海氷の面積や厚さの減少が近年の極地増幅の大半を引き起こしていることが示された。これらの結果は、強い正の氷-気温フィードバックが北極域で働いているという考え方を裏付けており、近い将来、急速な温暖化と海氷融解が継続して起こる可能性が高いことを示唆している。

進化：恐竜の多様な羽毛

Dinosaurs' varied feathers

保存状態が極めて良好で、異なる発生段階で保存された羽毛恐竜 *Similicaudipteryx* の化石標本2点から、成長につれて恐竜の羽毛の形態が急激に変化することがわかった。また、恐竜の羽毛の形態は、現生鳥類の羽毛から想像されるよりも、はるかに多様であった。



Xing Lida and Song Qijun

材料科学

炭化水素の新しい超伝導体が発見された

Hydrocarbon superconductors

MATTHEW J. ROSSEINSKY AND KOSMAS PRASSIDES

2010年3月4日号 Vol. 464 (39-41)

有機物質としては10年ぶりに、新しい高温超伝導体を岡山大学の久保園芳博教授のグループ（筆頭著者:三橋了爾）が発見した。これはピセンという炭化水素（芳香族の5環式縮合環炭化水素）で、特に珍しい物質ではない。今回の予想外の発見は、新たな超伝導研究の展開を予感させる。

炭化水素は日常生活で不可欠の物質だ。例えば飽和炭化水素アルカン (C_nH_{2n+2}) はガソリンなどの燃料の主成分である。しかし、電気材料という面では、炭化水素はそれほど注目されてこなかった。したがって、今回のピセンとよばれる炭化水素系超伝導体の発見は、ある意味で予想外だった。三橋ら¹による *Nature* 3月4日号 76 ページの報告は、超伝導研究に新たな道を切り開いたといえる。

アルカン中の炭素原子と水素原子は、単結合 (σ 結合) でつながっている。こうした単結合では、電子がきつく束縛されているため、電気を流すことはできない。一方、不飽和炭化水素では、炭素原子間に二重結合または三重結合が含まれる。これらの多重結合は、 σ 結合と1つまたは2つの π 結合から構成されていて、この π 結合では、電子が σ 結合ほどきつく束縛されていない。そのため、 π 電子は電気伝導や光学的過程に関与でき、有機エレクトロニクスの基礎となつて、ディスプレイや照明、太陽電池などへの応用が期待されている²。

分子超伝導体とは、分子が、固体構造の基本構成単位となっている超伝導物質のことだ（金属や合金では基本単位は原子であり、セラミックスではイオン）。最初に見つかった分子超伝導体の主成分は、拡張 π 結合系をもつ分子だった。ただし、その中で電荷キャリアと

なっていたのは、炭素原子からではなく、主としてイオウやセレン原子に由来する電子だった³。また単純な有機分子固体単独でも、高い圧力をかけると超伝導体になりうる⁴が、その場合も、炭素以外のほかの元素（ヨウ素や酸素）が含まれていた。

純粋に炭素原子からの π 電子に基づく超伝導は、グラファイト KC_8 で初めて観測された。これは、カリウム原子を平面状炭素原子層の間に挿入（インターカレート）したものである。 KC_8 が超伝導体になる転移温度 (T_c) は 0.125 K だが、カリウム原子の代わりにカルシウム原子が入った CaC_6 では、転移温度が 11 K まで上昇した⁵。さらに、固体のバックミンスターフラーレン (C_{60} :フラーレン) にアルカリ金属をインターカレートすることによって、グラファイト化合物より高い T_c (Cs_3C_{60} で最高 38 K) が得られている⁶。これらの物質は、 C_{60} が球形なので対称性の高い三次元構造をとる。

三橋ら¹は、今回、アルカリ金属が炭化水素ピセンの結晶格子にインターカレートして、最高 18 K という T_c 値をもつ超伝導体が形成されることを報告した。これは、有機成分が炭素原子と水素原子のみからなる分子超伝導体としては、初めての例である。ピセン ($C_{22}H_{14}$; 図1) は、辺を共有して縮合した5つのベンゼン環からなる平面状分子だ。した

がって、三次元の C_{60} 分子とは異なり、グラファイトシート1枚が断片になったような物質である。ピセン分子は平面なので、複数の π 電子が分子全体にわたって重なり合っている。

三橋ら¹は、アルカリ金属蒸気と固体ピセンを反応させて、超伝導体を作製した。ピセン結晶中の分子間相互作用は弱いため、アルカリ金属原子が分子間の間隔を広げて格子に入り込める。ピセンには、低い非占有 π 電子状態が存在する。そのため、アルカリ金属から電子を受け取ることができ、超伝導に必要な電荷キャリアが生じるわけだ。この機構は、金属ドーブグラファイトや C_{60} 化合物におけるキャリア発生と同じ仕組みである。

では、ピセン系物質は、ほかの π 電子系超伝導体と比べてどこが違うのか。これを理解するには、電子を受け入れる軌道の性質を検討する必要がある。 C_{60} は対称性が高いので、電子受容軌道が三重縮退し、同じエネルギーの軌道が3つ存在する（図1）。しかしピセンは、分子の対称性が低すぎるため縮退不可能である。ところが、三橋らの計算によって興味深い事実が明らかになった。ピセンの2つの最低エネルギー軌道がほぼ同じエネルギーをもち、偶然に縮退が起こるため、 C_{60} 系の電子構造と関連性があると考えられるのである。

次に、この金属ドーピングしたピセンの超伝導相の、分子構造と組成はどうなっているのかを検討した。炭化水素に供与される電子の数は、ピセン1分子当たりの金属原子数によって決まる。そして、最低エネルギー軌道を満たして電荷キャリアの候補になる電子が、何個になるかも決まる。ピセンの電子構造を考えると、最高で4個までの電子がピセン分子の擬縮退最低エネルギー空軌道に入るようである(図1)。もし2個の電子を受け入れたとすれば、3個の電子を受け入れて半分満たされた状態の超伝導C₆₀(C₆₀の3つの縮退軌道は、6個の電子を受け入れられる)とよく似た状態が得られるであろう。

三橋らの超伝導体では、ピセン分子の充填状態によって、電荷を担う電子がとる道、特に、どれほど強く局在化するかが決まる(局在化は電子の移動度を低下させる)。概して、ピセン分子間の相互作用は弱いため、電子伝導帯がむしろ狭くなり、超伝導状態と競合する絶縁状態(電荷密度波、スピン密度波、モット-ハバード状態など)を安定化させる可能性があると思われる。しかし、この超伝導相の構造に関する情報は、現時点ではまだ不十分である。例えば、この相が結晶なのかアモルファスなのか明らかではない。また、異なるピセン分子上の不對電子どうしが対になって炭素-炭素結合を形成し、分子どうしがつながってしまい、小さなオリゴマーユニットやポリマーユニットを形成することもありうる。こうした過程は、あるC₆₀化合物で観測されたことがある⁷。

新種の超伝導体が発見されると、電子のクーパ対(超伝導電流の電荷キャリア)が形成される機構に、常に大きな関心が寄せられる。つまり、どういう仕組みで負電荷をもつ電子どうしの反発力を克服しているかだ。さらに、ほとんどの超伝導理論では、T_cを敏感に左右するのは、フェルミ準位(金属では占有電子状態の最高エネルギー)における電子状態密度である。ピセン分子

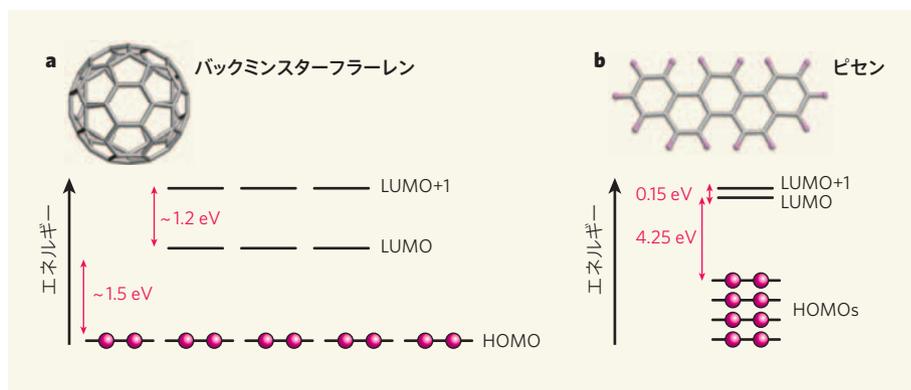


図1. π 電子を含む系の電子構造。アルカリ金属(A)原子を固体のバックミンスターフラーレン(C₆₀:フラーレン)にドーピングすると、超伝導物質A₃C₆₀が得られる。三橋ら¹の報告によると、炭化水素ピセン(C₂₂H₁₄)にアルカリ金属をドーピングしても超伝導体になる。ピセンとフラーレンの「フロンティア分子軌道」、すなわち最高被占分子軌道(HOMO)と最低空分子軌道(LUMO)の比較から、両者の類似点が明らかになっている。(a)フラーレンのLUMOは、三重縮退しており、エネルギーの等しい3つの軌道からなる。ドーピングされたアルカリ金属原子は、フラーレン分子のLUMOに電子を供与し、金属伝導に必要な電荷キャリアを発生させる。LUMOが半分満たされると、超伝導物質が得られる。赤い丸は電子を表しており、LUMO+1は2番目に低い空分子軌道である。(b)ピセンでは、LUMOとLUMO+1がエネルギー的にほぼ等価であり、偶然に二重縮退が起こる。ピセンにおいても、これらの軌道が化合物中にドーピングされたアルカリ金属から電子を受け取ったときに、超伝導電荷キャリアが発生する。フラーレンとピセンにおける電子受容軌道の縮退(あるいは擬縮退)は、フェルミ準位での高密度電子状態の発生に不可欠であり、超伝導転移温度を上昇させる。

の外殻軌道の間で予想される弱い重なりは、フェルミ準位での高い電子状態密度につながると思われ、このことが、観測されたT_c値が比較的高い¹理由の1つかもしれない。

銅酸化物⁸(T_c ≤ 155 K)や鉄ヒ素酸化物⁹(T_c ≤ 55 K)などでは、一部、超伝導相付近で磁気秩序状態が発生することが知られており、磁化またはそれにつながる電子-電子反発相互作用が、クーパ対形成機構において中心的役割を果たしていることを示唆する。最近の研究¹⁰では、そうした磁気秩序がフラーレン超伝導体Cs₃C₆₀の超伝導状態付近でも起こることが示されており、ピセン系¹における磁化の役割も慎重に調べるべきであろう。しかし、この研究は、超伝導相の構造と組成を特定する複雑な作業が完了した後の話だ。

三橋ら¹は、今回、化学組成が意外と単純に思える予想外の分子超伝導体について発表した。これは、超伝導研究者にとってまさにエキサイティングなニュー

スであり、これを契機として、ほかのアセン(ピセンが属する芳香族化合物群)の電子特性について、幅広い研究が展開されるはずである。そうした化合物では、分子軌道エネルギーと充填パターンをピセンとは異なるように系統的に調節できる。したがって、化学ドーピングによってほかのアセンにも超伝導を誘発できれば、既存の π 電子系超伝導体と同じくらい興味深い特性をもった、さまざまな超伝導体が作られていくはずだ。

(翻訳:藤野正美)

Matthew J. Rosseinsky, リバプール大学(英国)
Kosmas Prassides, ダラム大学(英国)

- Mitsuhashi, R. et al. *Nature* **464**, 76-79 (2010).
- Peet, J., Heeger, A. J. & Bazan, G. C. *Acc. Chem. Res.* **42**, 1700-1708 (2009).
- Saito, G. & Yoshida, Y. *Bull. Chem. Soc. Jpn* **80**, 1-137 (2007).
- Iwasaki, E. et al. *Synth. Metals* **120**, 1003-1004 (2001).
- Weller, T. E. et al. *Nature Phys.* **1**, 39-41 (2005).
- Ganin, A. Y. et al. *Nature Mater.* **7**, 367-371 (2008).
- Bendele, G. M. et al. *Phys. Rev. Lett.* **80**, 736-739 (1998).
- Lee, P. A., Nagaosa, N. & Wen, X.-G. *Rev. Mod. Phys.* **78**, 17-85 (2006).
- Kamihara, Y., Watanabe, T., Hirano, M. & Hosono, H. *J. Am. Chem. Soc.* **130**, 3296-3297 (2008).
- Takabayashi, Y. et al. *Science* **323**, 1585-1590 (2009).

甘く危険な、人間の香り

The treacherous scent of a human

WALTER S. LEAL 2010年3月4日号 Vol. 464 (37-38)

蚊は匂い物質受容体により、人間を見つけて血を吸い、結果的にマラリアの媒介に加担している。

こうした受容体と結合する匂い物質が発見されれば、蚊に刺されにくくする方法が見つかるかもしれない。

ハマダラカ (*Anopheles* 属) は、マラリア媒介蚊として知られる。雌の蚊は、産卵に必要な栄養を得るため人間の血を吸うが、このとき汚れた注射針のような口器を介して、知らないうちにマラリア原虫が移送される。世界人口の半数の生命を脅かすマラリアは、毎年、全世界で、米国の人口を上回る感染者を出している。ことにアフリカ大陸サハラ以南の主要マラリア媒介蚊、ガンビエハマダラカ *Anopheles gambiae* は、毎年 100 万人の命を奪っている¹。

マラリア媒介蚊がどのようにして獲物を見つけ出しているのかは明らかになっていないが、人間が発する匂い物質がカギを握っていることは知られている。例えば、マラリア患者の匂いは、雌の蚊にとってとても魅力的なのだ²。そのため、マラリア媒介蚊が匂い物質を感知する仕組みを明らかにすることは、嗅覚を利用して蚊を防除する方法の開発や、蚊に刺される回数を減らすことにつながり、極めて重要である。このたび Carlson らが *Nature* 2010 年 3 月 4 日号に、マラリア媒介蚊の嗅覚について重要な研究成果を発表した³。彼らは、*A. gambiae* がもつ匂い物質受容体 (OR) のうち、人間の発する誘因物質の感知に関与しているものを含む 50 種類の OR の機能を解析することにより、マラリア感染に使われている可能性があるものを見つけ出した。

これまでの研究により、マラリア媒介蚊のゲノム配列⁴が明らかにされ、OR と考えられるものが 79 種類発見されている⁵。研究チームは、ショウジョウバエ (*Drosophila melanogaster*) を「試験管」として、これらの OR 候補ひとつひとつの機能を解析した。これは容易な作業ではなかった。具体的には、内在性の OR を欠損している遺伝子組み換えショウジョウバエ⁶ という「empty neuron」系に、OR 候補の遺伝子 72 種類を 1 種類ずつこつこつと組み込んだ (図 1)。この系では、匂い物質の検出に必要な生化学システムは正常である。実験の結果、50 種類について *in vivo* 機能が確認できた。次に、これらの OR を発現させた組み換えショウジョウバエ群を用いて、蚊の誘因物質と思われるものを含め、110 種類の匂い物質に対して試験を行い、それぞれの OR の特徴を調べた。

今回の実験では、ハエの遺伝子組み換え宿主で蚊の OR の機能を解析しており、多少の限界はあった⁷。しかし、ハエも蚊も共に、「匂い物質結合タンパク質」という類似担体タンパク質をもっており⁸、組み換えショウジョウバエ³ は、蚊の OR にとってまさにうってつけの代理宿主だった。それどころか、私の研究室で双方を比較すると、組み換えショウジョウバエの empty neuron 系は、マラリア媒介蚊の触角にある本来の感知器を上回る感度をもっていた。

今回得られた結果³は、*A. gambiae* が、特定の物質に特化した OR と幅広い物質に非特異的に反応する OR を併用して匂いの小分子を感知し、ある程度自分を取り巻く世界をとらえていることを示唆している。また研究チームは、マラリア媒介蚊の OR の中には、ガ⁹や西洋ミツバチ¹⁰のフェロモン受容体ほど特異的ではないが、人間が発する物質を感じ取るために適応した OR があることを発見した。例えば、AgOR2 は、インドール (人間の汗の主成分) によって強く活性化されるが、フェノールや 2-メチルフェノール、ベンズアルデヒドなど、ほかの一部の芳香族 (ベンゼン環をもつ) 化合物にも弱く反応する。

これに対して、AgOR10 は、インドール、フェノール、メチルフェノール、そしてそれ以外の芳香族化合物にほぼ同程度に反応することがわかった³。この中には、別種の蚊の雌に産卵を促す 3-メチルインドールという物質も含まれている¹¹。こうした幅広い匂い感知の特徴は、複合的な嗅覚シグナルを処理するために受容体が進化したことを示唆している。マラリア媒介蚊の OR の中に、ディートなどの虫除け剤によって活性化されるものがあるかどうかを調べることは、今後、興味深い研究領域になるだろう。

さらに研究チームは、ある種の匂い物質が、一部の受容体を活性化させる一方で、ほかの受容体を抑制することも発見

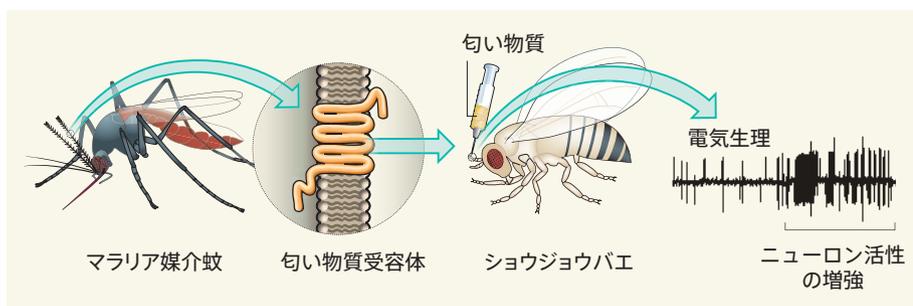


図 1. あれは何の匂いだ? マラリア媒介蚊 (*Anopheles gambiae*) の触角にある匂い物質受容体 (OR) は、人間が発する匂い物質を感知する。この昆虫のゲノムからは、OR をコードすると考えられる遺伝子が発見されている⁴。Carlson らは、ショウジョウバエ (*Drosophila melanogaster*) の empty neuron 系に、そうした遺伝子 72 個をひとつひとつ発現させた³。作製された組み換えショウジョウバエの体内では、組み込まれた OR 候補のうち、50 種類が機能していた。研究チームは、そのハエを 110 種類の匂い物質にさらし、OR をもつニューロンの電気活性を測定した。匂い物質が結合して OR が活性化すると、ニューロンの電気活性のスパイク数が増加する。こうして研究チームは、どの匂い物質がどの OR を刺激 (場合によっては抑制) するのかを明らかにした。

した。例えば、ウシが産生する天然の防ハエ剤 6-メチル-5-ヘプテン-2-オン (MHO)¹² は、AgOR21 を活性化する一方で AgOR1 を抑制することを明らかにしている³。まとめると、こうした結果は、匂い物質シグナルへの反応が触角のレベルで調節されていることを示唆しており、蚊除け剤の有力な新標的への道が開かれると考えられる。

この研究には、マラリア媒介蚊の嗅覚をショウジョウバエと比較できるようになったという、別の興味深い側面もある³。Carlson らは、これまで、ショウ

ジョウバエについて詳細な研究を行ってきた。そして今回、マラリア媒介蚊には、人間が発するシグナルを伝える芳香族化合物を感知する受容体が多いことを発見した。対照的に、ショウジョウバエの受容体は、主にエステルを感知することもわかった。エステルは、腐敗の進んだ果物が発する分子シグナルだ。この結果は、マラリア媒介蚊とショウジョウバエでは、それぞれの必要に応じ、進化によって嗅覚が最適化されたことを示している。

効果的なマラリア防除法の開発には、マラリア発生国の社会基盤、予防接種プ

ログラム、媒介するハマダラカの管理の改善を含め、多角的な取り組みが必要だろう。蚊が獲物を見つけるのに使う OR の発見は、マラリア防除の万能薬ではないが、こうした昆虫の嗅覚を理解するのに重要な突破口となる。今回研究チームにより特徴が同定された OR は³、さらに別の発現系でも検証されており¹³、試験物質と嗅覚タンパク質との結合能力に基づいて誘因物質や忌避物質を開発する「逆化学生態学」の標的分子として¹⁴、まもなく利用されるようになるかもしれない。これは、知らず知らずのうちに世界で最も繁殖力の強い殺し屋の共犯者になっている昆虫に対する、新しい防除法となるだろう。

(翻訳: 小林盛方)

Walter S. Leal, カリフォルニア大学デービス校昆虫学科 (米国)。

1. www.cdc.gov/malaria/malaria_worldwide/impact.html
2. Lacroix, R., Mukabana, W. R., Gouagna, L. C. & Koella, J. C. *PLoS Biol.* **3**, e298 (2005).
3. Carey, A. F., Wang, G., Su, C.-Y., Zwiebel, L. J. & Carlson, J. R. *Nature* **464**, 66-71 (2010).
4. Holt, R. A. et al. *Science* **298**, 129-149 (2002).
5. Hill, C. A. et al. *Science* **298**, 176-178 (2002).
6. Dobritsa, A. A., van der Goes van Naters, W., Warr, C. G., Steinbrecht, R. A. & Carlson, J. R. *Neuron* **37**, 827-841 (2003).
7. Syed, Z., Ishida, Y., Taylor, K., Kimbrell, D. A. & Leal, W. S. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **103**, 16538-16543 (2006).
8. Pelletier, J. & Leal, W. S. *PLoS ONE* **4**, e6237 (2009).
9. Nakagawa, T., Sakurai, T., Nishioka, T. & Touhara, K. *Science* **307**, 1638-1642 (2005).
10. Wanner, K. W. et al. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **104**, 14383-14388 (2007).
11. Mordue, A. J., Blackwell, A., Hansson, B. S., Wadhams, L. J. & Pickett, J. A. *Experientia* **48**, 1109-1111 (1992).
12. Birkett, M. A. et al. *Med. Vet. Entomol.* **18**, 313-322 (2004).
13. Wang, G., Carey, A. F., Carlson, J. R. & Zwiebel, L. J. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* doi:10.1073/pnas.0913392107 (2010).
14. Leal, W. S. *Top. Curr. Chem.* **240**, 1-36 (2005).



Nature Communications は、オンラインのみの新しい学際ジャーナルです。

生物科学、化学、物理学のあらゆる領域を対象範囲とし、学際的アプローチによる研究論文の投稿をお待ちしています。

詳しくは、www.nature.com/ncomms をご覧ください。

 nature asia-pacific

皆さん知ってのとおり、地球温暖化を引き起こしている大気中の二酸化炭素濃度の上昇は、主に、私たち人間の活動によるものです。今回、土壌からの自然に放出される二酸化炭素量が年々増加しており、2008年には人間活動によるものの10倍に達したことがわかりました。何が原因でしょうか？どうやら、温暖化がさらなる温暖化を進めるスパイラルのようです。

nature news

語数：528 words 分野：地球科学・大気科学・気候学・気候変動

Published online 24 March 2010 | Nature | doi:10.1038/news.2010.147

<http://www.nature.com/news/2010/100324/full/news.2010.147.html>



ISTOCKPHOTO

Soils emitting more carbon dioxide

Trend could **exacerbate global warming**.

Janet Fang

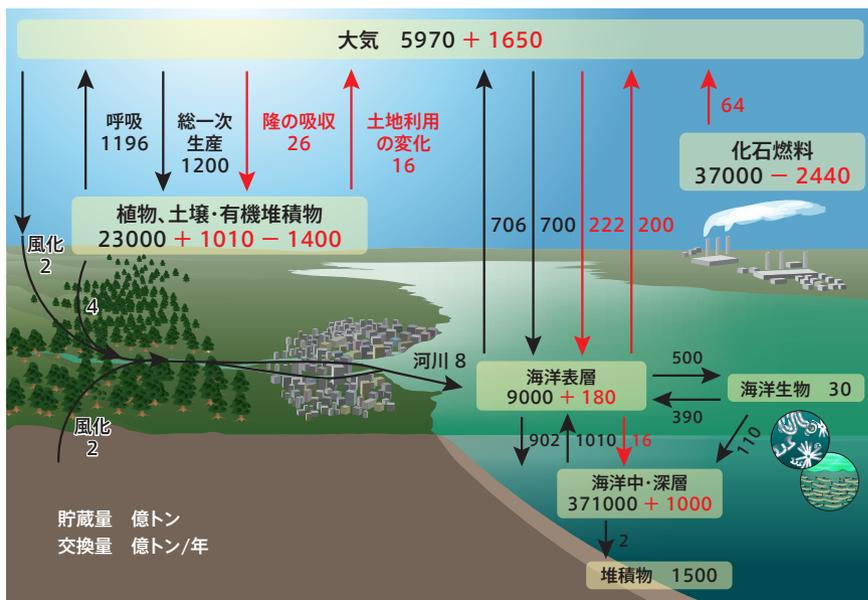
1. Soils around the globe have increased their emissions of carbon dioxide over the past few decades, according to an analysis of 439 studies.
 2. The findings¹, published in *Nature* today, match predictions that increasing temperatures will cause a **net** release of carbon dioxide from soils by triggering **microbes** to speed up their consumption of plant **debris** and other **organic matter**.
 3. Ben Bond-Lamberty and Allison Thomson, **terrestrial** carbon research scientists at the University of Maryland's Joint Global Change Research Institute in College Park, conducted the study by **stitching together** almost 50 years of soil-emissions data — 1,434 data points — from 439 studies around the world. To compare measurements, the researchers accounted for differences between the studies, such as mean annual temperatures and techniques used to **gauge** carbon dioxide levels. They totalled the data for each year to create a global estimate of **soil respiration** — the **flux** of carbon dioxide from the ground into the **atmosphere**.
 4. The researchers found that soil respiration had increased by about 0.1% per year between 1989 and 2008, the **span** when soil measurement techniques had become standardized. In 2008, the global total reached roughly 98 billion tonnes, about 10 times more carbon than humans are now putting into the atmosphere each year. The change within soils "is a slow increase, but the absolute number is so large, even a small percentage increase is quite a bit," says Bond-Lamberty.
 5. "There are a few **plausible** explanations for this trend, but the most tempting, and perhaps most likely explanation is that increasing temperatures have increased rates of decomposition of soil organic matter, which has increased the flow of CO₂," says Eric Davidson, a biogeochemist at the Woods Hole Research Center in Falmouth, Massachusetts. "If true, this is an important finding: that a **positive feedback** to climate change is already occurring at a detectable level in soils."
- Unknown cause**
6. The extra soil emissions could come from two types of sources: microbes and plants. If plant roots are emitting more carbon dioxide, the additional flux could be balanced by increasing rates of **photosynthesis**, resulting in no net increase in atmospheric carbon dioxide.
 7. In contrast, warming soils could **prompt** microbes to **break down** old sources of carbon that have been **locked away** for a long time. This would cause a net increase in the atmosphere's store of carbon dioxide.
 8. Although the study shows an increase in respiration, it can't distinguish between the two potential causes.
 9. Researchers who study soil carbon say they are impressed with the huge **undertaking**. "It's extremely difficult to compare soil respiration measurements between different experiments, **let alone** different regions of the world," says Dustin Bronson from the University of Wyoming in Laramie.
 10. William Schlesinger, president of the Cary Institute of Ecosystem Studies in Millbrook, New York, says the new study should **motivate** further **work on** the response of the carbon cycle to a warmer world.
 11. Thomson and Bond-Lamberty agree that their work is just a beginning. They have started an online global soil respiration database² to which researchers can contribute additional studies as they are completed. Over time, says Thomson, "we can see if this relationship **holds up**".
- Reference
1. Bond-Lamberty, B. & Thomson, A. *Nature* **464**, 579-582 (2010)
 2. Bond-Lamberty, B. & Thomson, A. *Biogeosci. Discuss.* **7**, 1321-1344 (2010).

TOPICS

炭素循環 (Carbon cycle)

地球上の生物圏・気圏(大気圏)・水圏・岩石圏の間での炭素の循環のこと。主に次のような過程がある。

1. 海洋表層での吸収
大気中の CO₂ が直接海水に溶け込む。
植物プランクトンや海藻が光合成を行って CO₂ を固定。
生物の呼吸で排出された CO₂ が溶解。
2. 海洋表層と深層での CO₂ の交換
海洋生物の死骸は排泄物が沈降して分解され、中・深層へと炭素が運ばれる。
表層水が特定の海域で冷却されると沈み込み、溶存無機炭素を深層へ運ぶ。深層水はやがて上昇し、表層へ炭素を運ぶ。
3. 陸上植物の光合成による CO₂ の吸収 (一次生産)
4. 生物活動 (呼吸・分解) による CO₂ の放出
5. 化石燃料の燃焼など、人間活動に伴う CO₂ の放出



IPCC 第 4 次報告書 (2007) をもとに作成。数値は、炭素重量、囲み内は貯蔵炭素量、矢印は交換量を表す。黒字は自然の循環、赤字は人間活動による循環を示す。自然の交換収支は 0 になる。

SCIENCE KEY WORDS

タイトル **carbon dioxide**: 二酸化炭素、CO₂

1904 年には 6 億 2400 万トンだった地球の総 CO₂ 排出量は、2004 年には 79 億 1000 万トンに増加した。

リード **global warming**: 地球温暖化

原因は、CO₂をはじめ、メタンや代替フロンなどの温室効果ガスの大気中濃度が高くなることである。

2. **microbes**: 微生物2. **organic matter**: 有機物

有機化合物のこと。炭素化合物をさすが、CO₂ や CO、金属の炭酸塩・シアン酸塩など、少数の簡単な化合物は含まれない。

3. **terrestrial**: 地球の、陸生の3. **soil respiration**: 土壌呼吸

土壌表面から大気中へ CO₂ が放出される現象。植物の根の呼吸や、微生物の有機物分解による。

3. **flux**: フラックス

ここでは、単位時間内に単位面積を通過する物質やエネルギーなどの量のこと。

3. **atmosphere**: 大気、気圏

地球の大気の大部分は、窒素 (78%) と酸素 (21%) が占めており、残りを水 (1 ~ 2.8%)、アルゴン (0.93%)、二酸化炭素 (2007 年現在、0.038%)、以下微量の一酸化炭素、ネオン、ヘリウム、メタンなどが構成している。

5. **positive feedback**: 正のフィードバック

フィードバックとは、あるシステム内で、出力 (結果) 側の信号を入力 (原因) 側に戻すこと。この結果、出力側の信号が増幅されることを正のフィードバックといい、信号が減少ことを負のフィードバックという。気候変動の正のフィードバックとは、温暖化が原因で生じた現象がさらに温暖化を加速させることをいう。例えば、北極海の氷が解けたために海が露出して太陽熱の吸収量が増加する、永久凍土の融解により、閉じ込められていたメタンなどの炭化水素の放出や生態系の呼吸の増加が生じるなどである。

6. **photosynthesis**: 光合成

植物や光合成細菌が、光をエネルギーとして、CO₂ と水や硫化水素などからグルコースのような有機物を合成する過程。

WORDS AND PHRASES

タイトル **emit(ing)**: 「放出する」、1 行目の emission は名詞形。

リード **exacerbate** ~ : 「~を悪化させる」

2. **net**: 「純~」

2. **debris**: 「残骸」、「破片」、「がれき」

3. **stitch(ing) together** ~ : 「~をまとめる」、「~をつなぎ合わせる」

3. **gauge** ~ : 「~を測定する」

4. **span**: 「期間」、「時期」

5. **plausible**: 「なるほどと思わせる」、「信頼のおけそうな」

7. **prompt** [名詞] to [動詞] : 「[名詞] に [動詞] させる」

7. **break down**: 「分解する」。“decompose” と同義。

7. **lock(ed) away**: 「貯蔵する」、「しまい込む」

9. **undertaking**: 「研究事業」

9. **let alone** ~ : 「~はなおさらだ」

10. **motivate** ~ : 「~を活発化させる」

10. **work on** ~ : 「~に関する研究」

11. **~ hold(s) up**: 「~が正しいということがわかる」

参考訳

土壌からの二酸化炭素放出量が増えている

この傾向は、地球温暖化を悪化させる可能性がある。

ジャネット・ファング



この50年間、土壌から放出される二酸化炭素の量が増えているが、その原因は不明である。

ISTOCKPHOTO

- 439件の研究を分析した結果、過去数十年の間に、全世界の土壌から放出される二酸化炭素の量が増えたことが判明した。
 - 本日発行の *Nature* に掲載されたこの知見¹は、気温が上昇すると微生物による植物残渣やその他の有機物の摂取が加速し、土壌からの二酸化炭素の純放出量が増加するという予測と一致している。
 - メリーランド大学地球環境変化合同研究所（米国カレッジパーク）で陸域炭素を研究する Ben Bond-Lamberty と Allison Thomson は、世界各地の439件の研究による約50年分の土壌二酸化炭素放出量データ（データ点は1434）をまとめることで今回の研究を行った。測定値の比較に当たり、彼らは各研究が行われたときの年平均気温や二酸化炭素濃度の測定技術などの差異を考慮に入れた。そして、それぞれの年のデータを合計し、土壌呼吸（地表から大気中への二酸化炭素フラックス）の全球的推定値を作成した。
 - その結果、土壌測定技術が標準化された1989年から2008年の間に、土壌呼吸が毎年約0.1%ずつ増加していたことがわかった。2008年には、土壌呼吸の全球総計が約980億トンに達した。この量は、人間が1年間に大気中に放出している二酸化炭素量の約10倍に相当する。土壌呼吸の変化は「緩やかな増加といえます。けれども、数字そのものが非常に大きいので、増加率が小さくても増加量は非常に大きくなります」と Bond-Lamberty は話す。
 - ウッズホール研究センター（米国マサチューセッツ州ファルマス）で生物地球化学を研究する Eric Davidson は「この傾向に関しては、なるほどと思わせる説明がいくつかあります。その中で最も魅力的で、おそらく最も正しいのは、気温の上昇によって土壌有機物の分解が速まり、二酸化炭素流量が増加した、という説明です。この説明が正しいなら、今回の知見は重要な意味をもっています。土壌中で、気候変動に対する正のフィードバックが検出可能なレベルで起きていることになるからです」と話す。
- 原因はしほり切れず**
- 土壌からの二酸化炭素放出量が増えた原因としては、微生物と植物の2つが考えられる。植物の根から放出される二酸化炭素量が増えているのなら、二酸化炭素フラックスの増加は光合成の促進によって相殺され、大気中の二酸化炭素濃度には純増加が生じない可能性がある。
 - 一方、土壌の温度が上昇すると、長い間貯蔵されていた古い炭素源が微生物によって分解されるようになる可能性がある。そうなれば、大気中に貯蔵される二酸化炭素量が純増するかもしれない。
 - 今回の研究では、土壌呼吸が増加していることは示されたが、この2つのいずれが原因なのかを特定することはできなかった。
 - 土壌炭素の研究者らは、この困難な研究がなしとげられたことに感銘を受けたと話している。ワイオミング大学（米国ララミー）の Dustin Bronson は次のように語る。「異なる実験による土壌呼吸の測定値を比較することは極めて難しいのです。世界の異なる地域での測定値を比較するととなおさらです」。
 - ケアリー生態系研究所（米国ニューヨーク州ミルブルック）の William Schlesinger 所長は、今回の研究がきっかけとなり、地球温暖化に対する炭素循環の応答についての研究が進むはずだ、と話す。
 - Thomson と Bond-Lamberty の研究が始まったばかりであることは、本人たちも認めている。彼らは、全球土壌呼吸のオンラインデータベース²を始動させた。このデータベースには、新たに得られた研究結果を投稿できるようになっている。「この関係（地球温暖化に対する炭素循環の応答）が正しいかどうかは、そのうち明らかになるでしょう」と Thomson は話している。
- （翻訳：菊川要）

12+2 「Nature ダイジェスト」 定期購読キャンペーン!

書店販売を記念して、「Nature ダイジェスト」定期購読をお申し込みの方に、

+2 か月分お得!!

特典 1年分の定期購読料で14か月分*1お届け!

定期購読にはこんなメリットも!

- ① 毎月お手元にお届け (送料込み)
- ② Nature ダイジェスト・オンライン (nature.com) への無料アクセス (最新号からバックナンバーまで閲覧可能です)
- ③ 通常1冊680円のところ、定期購読なら **570円***2

「Nature ダイジェスト」定期購読価格
1年購読 7,980円 (税込)

お申し込みは、下記専用ウェブサイトからお願いします。
www.naturejpn.com/nd14

*1 2010年12月31日までお申し込みの方に、1年購読価格で14号ご提供いたします。

*2 1年購読7,980円を14号で割り、端数切り捨て。

NPG ネイチャー アジア・パシフィック
ウェブサイトにてぜひ、ご登録ください。

無料!

ご登録されますと、無料で、日本語翻訳記事へのアクセスや目次メールマガジンをご購読いただけます。

日本語翻訳記事

- ▶ Nature ダイジェスト 特別公開記事 (毎月1本)
- ▶ Nature ハイライト記事 (毎週更新)
- ▶ Nature 姉妹誌ハイライト記事 (毎週更新)

メールマガジン

- ▶ Nature ダイジェスト
 - ▶ Nature
 - ▶ その他、Nature 姉妹誌
 - ▶ 求人情報
- など、役立つ情報をお届けします。

▼ご登録はこちら▼

www.naturejpn.com/register

EDITOR'S NOTE

藤田誠先生らによる「化学反応中間体」のお仕事 (22 ページ) は、実にエクセレント。世界初ではないかと思えます。そこで改めて考えたのが「発見・創造」と「発見」の違いです。科学は発見を求め、工学や技術は発明を求めるとされますが、では今回はどっち? 絶対神を信じる人なら「発見」かもしれませんが、普通の日本人なら「発明プラス発見」でしょう。人間が考えて創造しない限り、こんな餅網構造分子など生まれえなかつたはず。創造をめざす研究の場合、事前にその内容を説明するのは簡単ではありません。なぜなら、目標が自然界に存在していないからです。その点では、存在する目標の発見をめざす科学ほうが楽だと言えます。(YM)

*翻訳記事は、原則として原文に沿っております。一部、Nature ダイジェスト編集部でよりわかりやすいように編集しております。

npg nature asia-pacific

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 (代表)
Fax. 03-3267-8754
www.naturejpn.com

© 2010 年 NPG Nature Asia-Pacific
掲載記事の無断転載を禁じます。

広告のお問い合わせ
Tel. 03-3267-8765 (広告部)
Email: advertising@natureasia.com

編集発行人: David Swinbanks
副発行人: 中村康一
編集: 田中明美、中野美香、宇津木光代
デザイン/制作: 村上武、中村創
広告/マーケティング: 米山ケイト、池田恵子
藤原由紀
編集協力: 白日社



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

宛先: naturedigest@natureasia.com
(「Nature ダイジェスト」ご意見係)

掲載内容についてのご意見・ご感想は、
掲載号や記事のタイトルを明記してください。今後の編集に活用させていただきます。
皆様のメールをお待ちしております。



BRITISH AIRWAYS 自分だけの時間

受賞歴のあるビジネスクラス「クラブワールド」では、自分だけの時間をお楽しみいただけます。静かなラウンジ、そして機内では自分だけの快適な空間。お客様のスペース、プライバシーを大切にしたキャビンでは、お好きな時間に、お仕事、ご就寝、おくつろぎいただくことができます。

今すぐ、ba.comでご予約ください。



平成22年5月25日発行 第7巻 第6月号
編集発行人：David Swinbanks

発行所：ネイチャー・ダイジェスト株式会社
東京都新宿区市谷田町2-37千代田ビル

発売所：日本出版貿易株式会社
ISSN：1880-0556

定価 680 円

本体 648 円
Printed in Japan

雑誌 07271-06



4910072710607
00648