

日本語で読む世界の最新科学ニュース

nature ダイジェスト

07
2010

水素自動車普及へ新しい動き

火山灰と航空機の安全性

太陽電池の新製造技術

築地市場移転問題

死海再生プロジェクト

ネアンデルタールの血を受け継ぐ私たち

多発性硬化症の双子のゲノム解析

南極氷下4000mの幻の湖へ



ショウジョウバエの名前が変わる!?

遺伝子特許に異議あり!

エリート主義に走る日本の助成金

「意思伝達マシン」を開発

定価 680円

最新の材料科学研究をその手に!

NPG Asia Materials は、NPG ネイチャーアジア・パシフィックと、東京工業大学グローバル COE プログラム「材料イノベーションのための教育研究拠点」が、共同で発行しているジャーナルです。

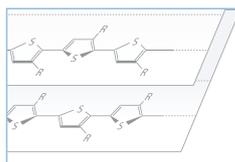
アジア太平洋地域における最新の優れた材料科学研究を取り上げ、また、世界の第一線で活躍するアジアの研究者による総説(査読済み)も掲載しております。

New Review Articles (22nd Apr 2010)

Molecular assembly and properties of polythiophenes

T. Yamamoto

NPG Asia Mater. **2**(2) 54-60 (2010)

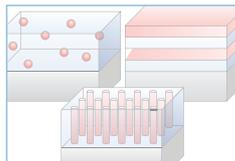


The extensive electron delocalization along the backbone of π -conjugated polymers such as polythiophenes has proved useful for a wide variety of industrial applications, including organic light-emitting diodes and solar cells.

Multiferroic magnetolectric composite nanostructures

Y. Wang, J. Hu, Y. Lin, C.-W. Nan

NPG Asia Mater. **2**(2) 61-68 (2010)

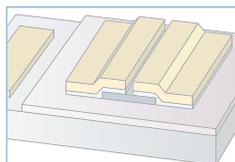


The coexistence and coupling of ferroelectric and magnetic orders in magnetic multiferroic composites makes these materials promising for a variety of technological applications.

Organic heterostructures in organic field-effect transistors

H. B. Wang, D. H. Yan

NPG Asia Mater. **2**(2) 69-78 (2010)



The discovery of high conductivity in all-organic transistors built from layers of thin p-type and n-type films has shown that organic heterojunctions can provide improved performance.

すべてのコンテンツは無料で閲覧できます。

さらにEメールアラートに登録すると、PDF版の無料ダウンロードのほか、最新コンテンツのお知らせやニュースを定期的に受け取ることができます。



PDF ダウンロード フリー



ISTOCKPHOTO

死海再生プロジェクト

10

COVER IMAGE: HUGH SITTON/GETTY IMAGES

近年湖面の低下が著しい死海は、紅海から水路を引いて、再生させる計画が持ち上がっている。

NATURE NEWS

- 04 小惑星表面に氷と有機物を発見！
- 05 築地市場移転問題を考える
- 06 アイスランド噴火と航空機の安全性
- 18 南極氷床下 4000m の淡水湖を掘削
- 19 天文学の主役に踊り出る光学干渉計
- 21 ショウジョウバエの名前が変わる!?
- 21 金星に向けて航行中

NEWS FEATURE

- 14 水素自動車の未来

NEWS & VIEWS

- 24 ホウ素アニオンの新しい合成法
- 26 筋肉を模倣する

EDITORIAL

- 28 遺伝子特許を見直すときが来た
- 29 論文オープンアクセスへの模索

JAPANESE AUTHOR

- 22 脳波を検出して言葉に変換する「意思伝達マシン」を開発！
—— 長谷川 良平

HIGHLIGHTS

- 30 2010年5/6～5/27号

英語で Nature

- 34 マウスも痛みを顔に出す

02 ネアンデルタール人は現生人類と交雑

ゲノムの比較から、ネアンデルタール人と現生人類がアフリカを出た後に交雑していたことが明らかに。



NEWSCOM

09 多発性硬化症の双子のゲノム解析

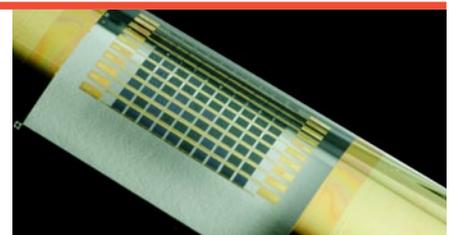
1人だけ多発性硬化症を発症している双子のゲノム解析では、遺伝的にもエピジェネティックレベルにも差異はなかった。



© DECO IMAGES II / ALAMY

03 高効率の太陽電池を作る

ピール・アンド・スタンプ技術により、ガリウムヒ素半導体の生産コストが大きく下がるかもしれない。



JOHN A. ROGERS

07 日本がエリート研究者へ高額助成金

日本の新しい科学研究費助成金 FIRST は、世界の第一線で活躍する研究者にしほって、高額の資金を提供する。



D. CYRANOSKI

ネアンデルタール人は現生人類と交雑

European and Asian genomes have traces of Neanderthal

REX DALTON 2010年5月6日 オンライン掲載

www.nature.com/news/2010/100506/full/news.2010.225.html

ヨーロッパ人とアジア人のゲノムには、
ネアンデルタール人との混血の痕跡が残っている。



ネアンデルタール人は、現代人のゲノムの中に生き続けている。

約3万年前に絶滅したネアンデルタール人と現生人類が交雑していた可能性が、マックス・プランク進化人類学研究所（ドイツ・ライプヒヒ）の遺伝学者Pääboをはじめとする研究チームにより、*Science*に発表された¹。それによれば、多くの現代人のゲノムの1～4パーセントがネアンデルタール人に由来しているという。これについて、ロンドン大学ユニバーシティカレッジ（英国）で遺伝性の神経変性疾患を研究している神経科学者のJohn Hardyは、「今回の成果は、人類の見方を変えるでしょう」と話す。

ネアンデルタール人の全ゲノム解読は5年ほど前に始まった。研究チームは、クロアチアのビンディヤ洞穴で発見された3点のネアンデルタール人の骨（4万4400～3万8300年前）から、合計300ミリグラムのサンプルを採取した。

研究チームはまず、DNA断片を骨から抽出し、約20億塩基対（全ゲノムの約60パーセント）のネアンデルタール人の概要ゲノムをコンピューターで構築した。配列を正しく並べるための基準としては、現代人とチンパンジーのゲノムを利用した。

品質管理

Pääboらは、ネアンデルタール人のDNA100万塩基対の分析結果を2006年に発表した²が、その後、その配列には現代人のDNAが混入していることがわかった。その経験を教訓に、多数の古代人の塩基配列の鎖に標識を付ける方法を開発し、今回の研究では混入率を0.6

パーセントまで下げることができた。

しかし、今回の概要ゲノムのシーケンス回数は平均1.3回で、塩基配列の信頼性に疑問が生じている。分解やシーケンス過程で配列が変化してしまう可能性があるのだ。それを排除するため、例えば、グリーンランドで発見された4000年前の古代人のゲノムは、20回も読まれている³。これに対し、論文著者の1人Richard Green（米国カリフォルニア大学サンタクルーズ校）は、平均10～20回読むまで研究を続けると語る。

アフリカを離れてから…

今回の研究では、フランス、アフリカ、中国、パプアニューギニアの現代人5人のゲノムを調べ、それらをネアンデルタール人と比較することによって、8万～4万5000年ほど前に、ネアンデルタール人と現生人類がどこで交雑したのかを推測した。

結果、祖先がヨーロッパやアジアを経由した、フランス人、中国人、パプアニューギニア人のゲノムにはネアンデルタール人由来の領域が認められたが、アフリカ南部のサン族と西部のヨルバ族の2人には存在しなかった。つまり、現在のヨーロッパ人とアジア人は、サハラ以南のアフリカ人よりも遺伝学的にネアンデルタール人に近いことになる。

このことは、ネアンデルタール人が、約10万年前にアフリカを出た現生人類と、アフリカ以外の土地で交雑したことを示唆している。研究チームは、人類移動の化石記録に基づき、交雑は地中海東

部で起こったと考えている。

これは、4月に米国自然人類学者協会の年会で発表された別の研究成果と一致する。その研究では現代人2000人のゲノムが調べられ、ネアンデルタール人との交雑は、およそ6万年前の地中海東部と、およそ4万5000年前の東アジアで起こったとされる。この研究に参加したニューメキシコ大学（米国アルバカーキ）の遺伝人類学者Jeffrey Longは、「Pääboらの発見は我々の研究成果とまさに一致しています。それは『分子層序学』とでもよぶべきでしょうか」と語る。

選択圧のもとで

Pääboらはさらに、ネアンデルタール人のゲノムを利用して、現代人に多くみられる遺伝子を発見し、こうした遺伝子が進化上、正の選択を受けたとしている。この中には、代謝、認知、骨格の発達を左右する遺伝子や、変異がダウン症、自閉症、統合失調症と関連付けられている3つの遺伝子が含まれている¹。

ネアンデルタール人の概要ゲノムは「人類進化の歴史を紐解く強力な手段」になる、とGreenは語る。そしてそれは、「人を人たらしめている」重要なゲノム領域と遺伝子が何であるのか、いずれ明らかにしてくれるであろう。

（翻訳：小林盛方）

1. Green, R. E. et al. *Science* **328**, 710-722 (2010).
2. Green, R. E. et al. *Nature* **444**, 330-336 (2006).
3. Rasmussen, M. et al. *Nature* **463**, 757-762 (2010).

高効率の太陽電池を作る

Solar cells sliced and diced

GEOFF BRUMFIEL 2010年5月19日 オンライン掲載
www.nature.com/news/2010/100519/full/news.2010.249.html

はがしてはるーピール・アンド・スタンプ技術が
ガリウムヒ素半導体の商業生産に道を開く。

光によく反応するガリウムヒ素半導体のマイクロチップを製造する新しい技術が、イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校（米国）の材料科学者 John Rogers らによって開発された¹。これは、ガリウムヒ素半導体の薄層をはがしてガラスやプラスチック上に印刷する転写法という技術であり、費用効率の向上が期待できる。これにより、長年の課題だったガリウムヒ素製造の高コスト問題が解決され、太陽電池業界が一変するかもしれない。

現代の半導体業界における主力材料はシリコンであり、太陽電池からデジタルカメラに至るまであらゆる製品に用いられている。しかし、研究者の間では、シリコンよりも光をよく吸収し、太陽電池や赤外線検出装置の性能を向上できる半導体の存在が、数十年前から知られていた。

その1つがガリウムヒ素で、最もよく研究されているシリコン代替材料だ。ガリウムヒ素は、理論的には入射太陽光の約40パーセントを電気に変換するので、効率がシリコンの2倍である。このため、ガリウムヒ素は、宇宙船用の太陽電池に最適な材料となっている。しかし、ガリウムヒ素はとてつもなく高価なのだ。Rogersによると、ガリウムヒ素の高品質ウェハは慎重に管理された成長室で成長させなければならないことが、その理由の1つだという。また、一般的に、成長させた厚いウェハは薄く切断されるが、使用されるのは表面だけである。Rogersは、「この

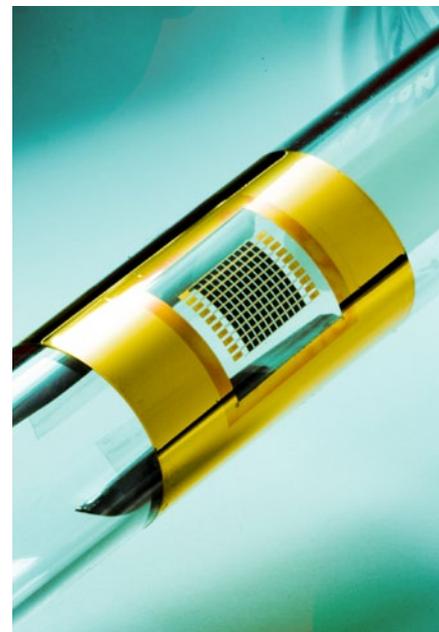
高価な材料のほとんどが実質的にむだになるのです」と話す。

半導体のホットケーキ

Rogersらは今回、ガリウムヒ素の単一層を成長させるのではなく、ガリウムヒ素層とアルミニウムヒ素層が「ホットケーキ」のように交互に積み重なった積層膜を成長させた。そして、一連の慎重な化学処理によって個々のガリウムヒ素層をはがしやすくし、シリコンゴム系スタンプではがし取った。その薄片状ガリウムヒ素ウェハをガラスやプラスチックなどの表面にはり付け、既存の技術でエッチングして回路を形成した。

研究チームは、幅約500マイクロメートルの超小型太陽電池、赤外線撮像装置、携帯電話用部品を大量生産した。Rogersは、この技術を利用したガリウムヒ素電子機器の安価な製造を目的としている新興企業、Semprius社の取締役の一員であり、ほか数人の論文共著者もこの会社にかかわっている。「我々は、この種の方法がコストベースでほかの方法と競争可能であると考えています」とRogersはいう。

ラドバウド大学（オランダ・ナイメーヘン）の材料科学者 Gerard Bauhuisは、「彼らの成果はとてつもないものです」という。しかし、「Rogersらの技術では大きさ数百マイクロメートル以上の回路を作製できません。これは、一般的な太陽電池向けとしては小さすぎるのです。今後、数センチメートル角の



JOHNA. ROGERS

ピール・アンド・スタンプ技術で、ガリウムヒ素太陽電池を作製できる。

シートがピール・アンド・スタンプ（はがしてはる）システムで作製できるかどうかを調べる必要があるでしょう」とも語っている。

Bauhuisの研究室もまた、高効率太陽電池の製造を目的とする tf2 devices 社という新興企業を所有している。Bauhuisは、「ガリウムヒ素エレクトロニクスは競争力をつけてきています。今後2～5年のうちに、この方法の実用化が可能かどうかの判断が下されるでしょう」と話している。

Rogersは、ガリウムヒ素が大きな可能性をもっていると信じている。Rogersの研究室では、現在、1ワット当たり約1ドル（約90円）という、商業的に魅力的な効率で発電できる太陽電池の開発に取り組んでいる。「我々は、この目標を達成できると考えています。でも、実際にやってみなくては、はっきりわからないでしょうけどね」と彼はいう。 ■

（翻訳：藤野正美）

1. Yoon, J. et al. *Nature* **465**, 329-333 (2010).

小惑星表面に氷と有機物を発見!

Asteroid ice hints at rocky start to life on Earth

ZEEYA MERALI 2010年4月28日 オンライン掲載
www.nature.com/news/2010/100428/full/news.2010.207.html

地球に海と生命をもたらしたのは小惑星なのだろうか?

小惑星の表面に、水が凍った氷と有機物が初めて見つかった。小惑星は岩でできた小天体で、主に火星と木星の間に帯状に分布している（メインベルト）が、この位置では太陽に近すぎて表面に水を保持できないと長年考えられてきた。

ところが、2006年、メインベルトの中に彗星に似た尾をもつ小天体が発見された。彗星は、海王星よりも太陽から遠い場所のできた、主に氷からなる小天体で、太陽に近づくと気化したガスと塵^{ちり}でできた特徴的な尾を引く。ジョンズホプキンス大学応用物理学研究所（米国メリーランド州ローレル）の天文学者 Andrew Rivkin は、このような「メインベルト彗星」の発見により、小惑星と彗星の区別は曖昧になっていると指摘する。

Rivkin はテネシー大学（米国ノックスビル）の Joshua Emery とともに、「メインベルト彗星」の組成を調べるため、ハワイのマウナケア山にある米国航空宇宙局（NASA）の赤外線望遠鏡施設（IRTF）で小惑星 24 番「テミス」を観測した。2006 年に見つかったメインベルト彗星のうち 2 つは、テミスの一部が砕けてできたものだったからだ。Emery と Rivkin は 6 年間で 7 回にわたってテミスを観測した。それぞれの観測では、テミスの公転により、毎回違った表面を観察することができた。その結果、テミスの表面から反射する光のスペクトルの中に常に、氷で覆われた粒子の存在を示す吸収バンドと、有機物にみられる炭素-水素の化学結合に固有な吸収バンドが見つかった。「小惑星表面に氷と有機物の存在を確認できたのは、今回が初めてです」と Rivkin は話す。

この結果は、セントラルフロリダ大学（米国フロリダ州オーランド）の Humberto Campins らによっても独立に確かめられた。彼らは、テミスを一晩、7 時間にわたって観測した。テミスは 7 時間でほぼ完全に 1 回転自転する。「Rivkin らの結果と合わせると、テミスのほぼ全表面が観察されたことになりま

す」と Campins は話す。この 2 つの研究成果は、*Nature* 2010 年 4 月 29 日号に発表された^{1,2}。

の約 3 倍) しか離れていないのに、表面の水がすべて気化していない理由について、どちらの研究チームも、もっと多くの水が小惑星の地下に蓄えられていて太陽光から守られており、時々起こる小惑星帯内の天体衝突により、惑星内部がゆっくりと攪拌^{かくはん}されて表面に氷が供給されるのではないかと推測している。

今回の発見で、小惑星や彗星が地球に水と有機物をもたらした、という仮説が真実味を帯びてきた。Campins は、「初期の地球は高熱の時期があり、あらゆる有機分子は解離してしまった可能性があります。もしそうなら、後から新しい有機物が地球にもたらされたに違いありません。今回の発見は地球上の生命の起源に関係しているのです」と話す。

「この仮説の正当性を評価するには、テミスの組成が小惑星に典型的なものなのかを調べ、もしそうなら、さらに正確に調べなければなりません」と NASA ジェット推進研究所（米国カリフォルニア州パサデナ）の Julie Castillo-Rogez は指摘する。「もし、水素と重水素（水素の同位体）の比率が地球と同じ氷が見つければ、強力な証拠になるでしょう。

一方 Rivkin は、「テミスは典型的なメインベルトの小惑星ではなく、彗星と同じように海王星よりも遠くで生まれ、後に太陽系の内側へ放り込まれた侵入者なのかもしれません」と話す。この考えは、太陽系の進化に関する「ニースモデル」と合致する。これは、原始地球では、木星、土星、天王星、海王星は形成された後、重力の相互作用で現在の位置に移動し、そのうち太陽系外縁部に飛ばされた海王星のために外縁部の小天体が内部に移動したという説であるが、異論も多い。

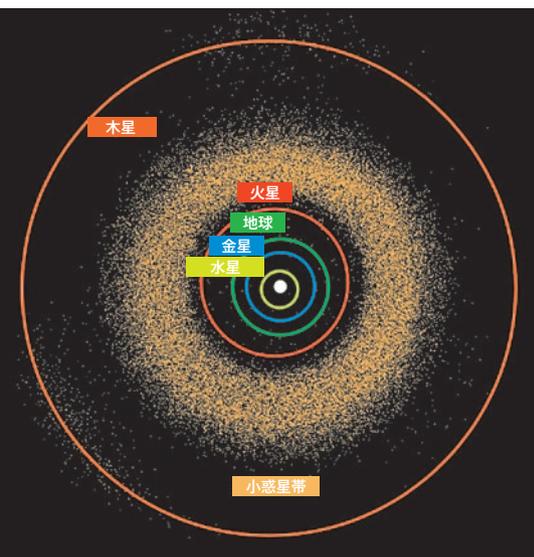
「いずれにせよ、小惑星と彗星は全く別物という考え方は時代遅れであり、支持されなくなってきました」と Rivkin は話している。

(翻訳: 新庄直樹)

典型か異端児か

テミスは太陽から約 4 億 7900 万キロメートル（地球から太陽までの平均距離

1. Rivkin, A.S. & Emery, J.P. *Nature* **464**, 1322-1323 (2010).
2. Campins, H. et al. *Nature* **464**, 1320-1321 (2010).



小惑星で氷が検出されたことは、地球上で生命が生まれたきっかけは小惑星だったという考えを支持している。

築地市場移転問題を考える

Missing data spark fears over land clean-up

DAVID CYRANOSKI 2010年4月26日 オンライン掲載
www.nature.com/news/2010/100426/full/news.2010.199.html

データの不備が汚染土壌の浄化に対して疑惑を生んでいる。

毎日2000トン以上の水産物を扱う築地市場は、築75年。23ヘクタールの敷地は手狭になり、駐車場不足や輸送問題に悩まされている。加えて、大きな地震があれば壊滅的被害を受けるおそれもある。そこで、豊洲の40ヘクタールの敷地へ移転する計画が持ち上がり、10年以上前に承認された。ところが、かつて東京ガスの工場があった移転予定地では、土壌中にヒ素やベンゼン、シアン化合物など7種類の有毒物質が高レベルで見つかった。2008年の調査によれば、ある区域のベンゼン濃度は環境基準の4万3000倍だった。

汚染浄化

しかし、石原慎太郎東京都知事は移転推進を断言しており、都は今年に入ってからさまざまな汚染浄化処理法を試し始めた。その中には、熱や微生物を使って化学物質を分解する方法や、攪拌装置で土壌を掘り起こして洗浄する方法、汚染された地下水を汲み上げて処理施設に送る方法などがある。都は、586億円の浄化予算を組んでいる。

これらの浄化法は効果があるものの、常に効果がみられるわけではないし、あらゆる場所で同じように効果があるとも限らないと、和歌山大学の理事で地下水汚染に詳しい平田健正教授は話す。土壌浄化速度は、降雨量や土壌粒子サイズなどの諸因子の影響を受けると考えられている。「土壌というものは場所によって異なるのです」。彼は、2008年の新市場予定地土壌調査を実施した専門家会議

の座長を務めた。

浄化試験は1～6月末まで行われる予定で、3月10日には、試験区域では加熱処理法と洗浄処理法によって有毒物質濃度が推奨安全レベル内まで下がったとする中間報告が出された。特に加熱処理法は、ベンゼン濃度を1リットル当たり430ミリグラムから0.003ミリグラムまで低減できた。

しかし、日本共産党の吉田信夫都議会議員は、この中間報告データには「穴」があるという。今回の浄化実験の比較対照となった2008年の調査結果は、異なる採取方法で行ったものであり、実験の直前と直後で、正確に同じ場所で同じ手法で測定したデータを比較して結論付ける必要があるというのだ。

同一条件下で検証

3月12日、吉田らは情報開示請求を提出し、同26日に最高濃度のベンゼンが見つかった区域を含む7か所の実験データを受け取った。しかし、7か所すべての試験開始時点の濃度数値は黒く塗りつぶされていた。「試験の前後の測定結果がわからなければ、浄化法の有効性を判断することはできません」と吉田はいう。

日本共産党は4月15日、石原都知事と中央卸売市場の岡田^{いたる}市場長に書状を送り、加熱処理法と洗浄処理法を行う前の調査データの速やかな開示、ほかの試験結果が未公表になっている理由の説明、外部の専門家に全データを預けて独立に評価を受けることを要求した。しかし、岡田市場長からの回答は、6月にす



築地市場の移転予定地の土壌汚染対策には厳しい目が向けられている。

べての試験が完了して自分たちの手で検証するまで、試験前の調査結果は外に出さないとのことだった。

新市場建設調整担当課長山形^{はるひろ}治宏は、試験前の調査データを塗りつぶしたのは、2008年のデータと一致していないからであり、この違いで市民に混乱を起さないようにするためだったと話す。「我々は、市民が理解しやすいように諸事情を説明する義務があります」。

山形は、現在東京都は、データの相違を説明する最良のやり方を決めるために、専門家とともに検証中であるといながらも、専門家の名前を出すのを拒んだ。彼はNatureからの質問に対し、試験前の測定値の欄に、過去のデータと一致していないという脚注があったかもしれないと認めた。

「もし2010年1月の測定値が2008年よりもずっと低いなら、都はその理由を説明すべきです。そして、それでもなお試験結果が有効かどうか説明すべきです。我々は、有毒化学物質の濃度が最も高い区域で、本当に都が浄化実験を行っているのかを知る必要があるのです」と吉田はいう。

(翻訳：船田晶子、要約：編集部)

アイスランド噴火と航空機の安全性

Questions fly over ash-cloud models

KATHARINE SANDERSON 2010年4月29日 Vol. 464 (1253)
www.nature.com/news/2010/100427/full/4641253a.html

火山灰の広がりを予測するモデルは正確だったようだが……。

2010年4月14日、アイスランドのエイヤフィヤトラヨークトル火山が噴火し、火山灰は上空1万数千メートルに達した。安全を優先させて10万便を超える航空機が運行中止となり、欧州の航空路は6日間にわたってほとんど麻痺状態となった。混乱は過去数十年間で最大規模になった。

そんな中で、火山灰の拡散予測モデルの精度に疑問の声が上がった。エイヤフィヤトラヨークトル火山の火山灰の広がりを予測する任務に当たったのは、英国気象庁ロンドン火山灰予報センター。同センターが使った予測モデルの妥当性を疑問視する声が、すぐに上がり始めたのだ。

予測モデルは火山灰の広がりを過大評価し、危険性が実際よりもずっと大きい印象を与えた、という批判も現れた。国際的な航空業界団体である国際航空運送

協会 (IATA) の会長兼最高経営責任者 (CEO) である Giovanni Bisignani は4月19日、「運航の可否は理論モデルではなく、空の実際の状況に基づいて決定すべきです」と語った。

しかし、研究者たちは、モデルは火山灰雲の広がりを正しく予測できたと主張する。英国気象庁気候部門の責任者である Derrick Ryall は、「予測モデルは正確だったと私は考えています」と話す。

非難を浴びている大気拡散モデルは、1986年のチェルノブイリ原子力発電所事故を契機に、放射性降下物を追跡するために開発された。このモデルは「核事故影響予測モデル」(NAME) とよばれ、風速、風向、火山灰粒子の濃度、組成、大きさのデータに基づいて、粒子が大気中でどのように（どれだけ遠くへ、どれだけ速く、どれだけ高く）広がるかを予測する。

アイスランドでの噴火後、多数の観測が行われ、火山灰の雲はこのモデルの予測どおりに広がったことがわかった。地上のレーザー測距装置は火山灰の濃度が高い場所をとらえ、人工衛星画像は火山灰雲の全体を追跡し、観測用航空機は火山灰のサンプルを直接採取した。

マンチェスター大学 (英国) の大気科学者であり、英国ベッドフォードに近いクランフィールドにある英国気象庁大気航空測定施設 (FAAM) の航空機運用の責任者である Hugh Coe は、「予測モデルが期待された役割を果たさなかったとは私は思いません」と話す。NAME の開発にかかわった Ryall も、「これまでの観測結果は、予測された火山灰雲の動きと合っています」と、Coe に同意する。

どうやら予測モデルはうまく機能したようだ。しかし、ジェットエンジンがどの程度の火山灰に耐えられるのかは、まだよくわかっていない。オスロに近いノルウェー大気研究所気候・大気研究部門の上級研究員である Fred Prata は、「問題の1つは、航空機にとってどれほどの濃度の火山灰なら危険なのか、まだわかっていないことです」と指摘する。Prata は20年以上火山灰の研究を続けてきた。

航空会社とエンジンメーカーはこれまで、航空機への火山灰の影響を調べる研究に消極的だった、と残念がる。彼は1991年、赤外線放射計を使った火山灰監視装置を航空機に搭載すれば、パイロットが火山灰の危険性に事前に気づいて回避できるはずだと提案した (A. J. Prata *et al. Nature* 354, 25; 1991)。しかし、この装置が開発されることはなかった。4月、航空路が最も混乱していた時期の *Nature* の取材に対し、彼は「こうした装置が航空機に搭載されていたなら、今回の混乱はなく、航空機は平常どおり飛んでいたでしょう」と語った。

ミュンヘン近郊にあるドイツ航空宇宙センター (DLR) 大気物理学研究所は4月19日、ドイツとオランダの上空で火山灰のサンプルを飛行採取した。同研究



アイスランドのエイヤフィヤトラヨークトル火山は、オーロラの不気味な光のもとでいまだに火山灰を噴出している。

所の Ulrich Schumann 所長はこのサンプルの分析結果を踏まえ、「航空機の運航を中止したのは正しい判断でした」と話す。国際航空指針は、火山灰を含んだ大気中の航空機の飛行は中止すべきと勧告している。

この「火山灰許容濃度はゼロ」という方針がとられるようになったのは、1980年代にジェット旅客機のエンジンが空気中の火山灰によって停止する事故が2件あったからだ。しかし、国連の専門機関である国際民間航空機関（ICAO；カナダ・ケベック州モントリオール）のスポークスマン Denis Chagnon は、「この方針は単なる『勧告』であり、国際的な規制ではありません」という。

英国政府の民間航空局（CAA）は、

航空機業界が行った試験飛行結果に基づいて、「火山灰濃度が $2000\mu\text{g}/\text{m}^3$ よりも低ければ安全」と宣言し、欧州の航空便は4月20日から順次再開された。「実際に $2000\mu\text{g}/\text{m}^3$ あると濃度はかなり高く、べとつくような火山灰の中を飛ぶことになるでしょう」と Coe はいう。DLR の航空機による観測では、火山灰濃度は $60\mu\text{g}/\text{m}^3$ にすぎなかった。また、FAAM の2機の航空機による最新の観測では、火山灰雲の主成分は直径わずか $0.1\mu\text{m}$ の比較的微小な粒子であることがわかった。ただし、質量の大部分を担うのは直径 $3\mu\text{m}$ の粒子だった。

こうした微粒子の測定は、火山灰雲の到達距離を予測するのに役立つ可能性がある。小さな火山灰粒子は大きな粒子よ

りもずっと速く届くからだ。どのような粒子が火山灰雲を構成しているかわかれば、実際にどれだけの量の火山灰がジェットエンジンに入るのか、見積もる助けとなるはずだ。しかし、そうした研究はこれまでほとんどなかった。

ICAO は今後、緊急に学際的な検討チームを立ち上げ、将来、同じような状況が起こったときにどう対処するかを検討し、また、火山灰の中でも安全に航空機が運航できる基準値を決めたい考えだ。

「世界中の航空業界が今回の混乱を教訓とし、どの程度であれば安全なのか、さらに研究を進めるべきでしょう」と Ryall は語っている。

（翻訳：新庄直樹）

日本がエリート研究者へ高額助成金

Japan rolls out elite science funds

DAVID CYRANOSKI 2010年4月15日 Vol. 464 (966-967)
www.nature.com/news/2010/100413/full/464966a.html

日本の新しい科学研究費助成金 FIRST は、
世界の第一線で活躍する研究者にしぼって、高額の資金を提供する。

日立製作所フェローで同社基礎研究所（埼玉県比企郡鳩山町）で物理の研究を進める外村彰は、長年の夢を実現するため、資金集めに7年間奔走してきた。めざすのは、世界最高の分解能で、原子の三次元配列を撮像できる顕微鏡の開発だ。しかし資金援助の望みはほとんどなく、2009年7月には日立を退職する覚悟を決めていた。

その外村に、2010年3月、国から50億円の研究助成が決まった。これは、1つの研究プロジェクトに対する助成金としては史上最高額だ。外村は既に、試料から散乱する電子の「位相」を測定する「超高圧ホログラフィー電子顕微鏡」の開発に取りかかっている。従来の電子

顕微鏡は、散乱電子の「強度」を測定してきた。しかし、原子オーダーの「位相」測定が実現すれば、これまでよりずっと高い分解能の画像が得られるのだ。

外村は、総額1000億円のFIRST（最先端研究開発支援プログラム）による研究助成金を受け取る30人の科学者の1人。資金の交付は3月9日に発表されたが、それまでの激動の6か月間で、FIRSTは大幅に縮小され、日本の科学研究助成の状況も大きく塗り替えられた。

FIRSTでは、1つのプロジェクトにつき18億～50億円の資金が交付される。その多くは、これまで日本国内で最も権威があり、また最も高額の資金を提供してきた科学技術振興機構（JST）による



長年の夢だった顕微鏡の開発に50億円の資金を得た外村彰。

助成金最高額と比べても、2倍以上ある。しかも FIRST 助成金は、従来の制度とは異なる自由度が与えられていて、4年間の期間中であれば、いつ資金を使ってもよい。なお、FIRST の資金は形式上は支援機関に対して交付されるが、研究事業は中心研究者の意向に沿って実施される。

研究助成のあり方の変化

FIRST に採択された 30 の研究課題は、顕微鏡、幹細胞研究、電子工学のように日本が既に世界的リーダーとなっている分野に集中している。1960 年代に電子線ホログラフィー研究を開拓した外村は、最高額の 50 億を受け取った 2 人の科学者の 1 人だ。もう 1 人は京都大学教授の山中伸弥で、彼の研究グループは、2006 年に iPS 細胞株（人工多能性幹細胞株）の樹立に成功して、幹細胞研究の世界をあっといわせた。

今回の助成金は、日本の科学研究予算全体において、競争的資金が占める比率を高める取り組みの最新局面といえる（右上図「競争の強化」参照）。その意図は、1 件当たりの金額を高額化し、交付先も少数の科学者にしぼり込む、ということらしい。「こうした変化が科学界に与える影響は、まだ明らかになっていません」と科学技術政策が専門の政策研究大学院大学（東京都）准教授の角南篤は話す。しかし、日本の多くの科学者は、内輪では、特定研究者に対する助成金の過度の集中に批判的で、むしろ、より小規模でテーマをしぼった研究を助成したほうが、資金の有効活用になると考えている。

資金を集中させる方向に舵を切らせた動機は、諸外国では競争的資金の比率を高めて成果を上げている、という認識だった。既に日本は、科学研究予算を大型の競争的資金に優先的に配分しており、2002 年から始まった 21 世紀 COE プログラム（*Nature* 2002 年 10 月 10 日号 547 ページ参照）や 2007 年に創設された世界トップレベル研究拠点（WPI）プログラムがある（*Nature* 2007 年 5 月 24 日号 362～363 ページ参照）。

一方で、2004 年の組織改革により、国立の大学と研究機関の基本的な運営予算が年 1%削減されることになった。例えば東京大学では、こうした運営予算が 2004 年には総収入の 46%を占めていたが、2009 年には 40%に縮減された。ただし、運営予算の減少分は、競争的資金の伸びによってまかなわれ、同大学の総収入に占める競争的資金の割合は 30%から 35%に増えた。この割合は今後も増える見込みで、FIRST でも同大学の 5 つの研究課題が採択され、合計 176 億円が交付される。

FIRST 関係の科学者の動きは早い。東京大学教授の十倉好紀は、まだ FIRST から実際に資金を受け取っていないが、3月30日に、約 31 億円の助成が決まっている強相関量子科学の中核メンバーを集めて勉強会を開いた。十倉の研究グループは、電荷やスピンといった特性をもとにして、電子間の相互作用を制御することにより、エネルギー効率のよいエレクトロニクス機器、高温超伝導体や新しいタイプの電池にとって有用な材料の開発に役立てたいと考えている。

一方、大阪大学教授の審良静男教授は、FIRST の助成金 25 億円を既に使い始めており、免疫学の最前線で新たなシーズを探し出す「博打を打つような研究」への余裕ができたと話す。審良は、学術データ提供会社 Thomson Scientific（当時）の調査で 2005～06 年と 2006～07 年における論文引用数が世界で最も多かった科学者だ。彼の自然免疫に関する研究は有名だが、病原体やがん細胞などに対処する免疫機構を包括的に描き出し、こうした機構の制御を試みたいと考えている。審良は、既にポスドク研究員とラボテクニシャンを採用し、二光子顕微鏡、電子顕微鏡、質量分析機器、DNA 塩基配列決定装置を発注している。

規模縮小で失われた大胆さ

FIRST の交付決定で熱気が生まれたのは確かだが、そもそも FIRST は、もっと高額で、より大胆な研究課題が採択さ

競争の強化

日本政府は、過去数年間の科学技術予算が横ばいで推移しているにもかかわらず、競争的資金の提供を増やしている。



れるはずだった。2009 年 6 月に与党だった自由民主党の下で、総合科学技術会議は、FIRST による総額 2700 億円の研究資金の交付を発表した。そして 30 人の科学者も既に選ばれていたが、その後、民主党への政権交代が起こった。

鳩山政権は、大規模な歳出計画をすべて再評価することを約束し（*Nature* 2009 年 10 月 15 日号 854～855 ページ参照）、最終的には FIRST に対する予算を削減、助成額の上限を 1 プロジェクト当たり 50 億円とした。一部の科学者は、これよりかなり多額の資金を期待していた。例えば山中は、当初 150 億円を申請していた。

予算削減の結果、交付が決まっていた研究者全員が、研究課題の規模を縮小して、申請を出し直した。「すべての戦略的な研究計画の規模は縮小され、大胆な研究事業はすべて中止されました」と十倉はいう。例えば山中は、糖尿病やその他の疾患に関する iPS 細胞の前臨床試験を行う計画を断念した。一方、外村は、FIRST からの助成金があっても、プロジェクトに要する資金が 20 億円不足しており、日立を説得してその分の資金を得たいと考えている。

ただ、今回の研究資金で、外村がすぐに引退することはなくなった。「歴史的な機器を作り出したいです」と彼は語っている。

（翻訳：菊川要）

多発性硬化症の双子のゲノム解析

Twin study surveys genome for cause of multiple sclerosis

ALLA KATSNELSON 2010年4月29日号 Vol. 464 (1259)

www.nature.com/news/2010/100428/full/4641259a.html

一方のみが多発性硬化症を発症している一卵性双生児のゲノム解析の結果、発症の違いを説明できる、遺伝的レベル、エピジェネティックレベル、発現レベルでの差異は見つからなかった。

このほど、一方のみが多発性硬化症 (MS) を発症している女性一卵性双生児のゲノムを詳細に比較解析するという、画期的な研究が行われた。しかし、その結果わかったのは、たとえ徹底的に遺伝的解析を行っても明確な答えが得られるとは限らない、ということだった。

MS は、神経細胞の軸索を包んで絶縁体の役目をする髄鞘が、炎症により破壊される疾患である。MS には遺伝的要因があり、患者の血縁者の発症リスクは高く、一卵性双生児の一方が患者なら、もう一方の発症リスクは 25 パーセント以上になる。ところが、カリフォルニア大学サンフランシスコ校 (米国) の Sergio Baranzini と米国立ゲノムリソースセンター (ニューメキシコ州サンタフェ) の Stephen Kingsmore らが、一方だけが MS を発症している女性の一卵性双生児 1 組の全ゲノムの塩基配列を比較したところ、原因となりそうな遺伝的差異を発見できなかった。

そこで研究チームは、この一卵性双生児の免疫細胞と、同じく一方のみ発症している別の 2 組の一卵性双生児の免疫細胞で、エピジェネティクス (遺伝子発現に影響する後天的な DNA の化学的修飾) の差異を探した。ところが、いずれも重要な遺伝子の発現レベルに相違はみられなかった。この研究結果は、*Nature* 2010 年 4 月 29 日号に掲載された¹。

研究チームは、1 組しかゲノムの塩基配列を解析しなかったが、残り 2 組については、発症者と無発症者の塩基配

列で 100 万か所の特異的な一塩基多型 (SNP) を比較し、双子間のゲノムに差異がないことを確認している。

今回の研究は、徹底的にゲノムを調べており、「結果は極めて重要な否定的材料になります」と、エール大学 (米国コネチカット州ニューヘイヴン) の神経学者 David Hafler は話す。つまり、一卵性双生児の一方が MS を発症し他方が発症しない理由を、遺伝学的には明確に説明できないということである。

疾患の遺伝学研究では、疾患と関連する SNP を見つけ出すために大規模な患者集団を調べる場合が多い。しかし、一方のみが疾患を発症している一卵性双生児の塩基配列を解読すれば、ゲノムをより詳しく比較解析でき、見過ごされていた差異を明らかにできる。一卵性双生児のゲノムは受精時点では同じものだが、発症初期に一方に変異が起り、もう一方には起らない場合があると考えられる。

既に過去の研究で MS の発症リスクと関連する SNP がいくつか見つかっており、今回の被験者でも全員いくつかの SNP がみられ、ゲノム解析した 1 組の一卵性双生児では同じ MS 発症リスクを受け継いでいた、と Kingsmore は説明する。しかし、遺伝的要因だけでは十分でなかったようだ。Baranzini によれば、一方だけが発症した要因の 1 つとして、「1 人だけが発症に必要な環境要因にさらされた」ことが考えられるという。

血縁者の全ゲノムを比較解析して疾患



MS 発症の詳しいメカニズムは不明だが、自己免疫異常が考えられている。

原因の遺伝的変異を見つけることは、新たな研究領域だと、カリフォルニア大学ロサンゼルス校 (米国) の神経遺伝学者 Daniel Geschwind は話す。これまでも、さまざまな疾患の原因と考えられる遺伝的変異が見つかった。ただし、今回の研究は、全ゲノム塩基配列解読と、エピジェネティクス解析および遺伝子発現の研究とを初めて統合したという点で、他とは一線を画している。

しかし、この研究成果から、MS の解明に直結する手がかりはあまり得られそうにない。Geschwind はその理由を、エピジェネティクスや遺伝子発現について 3 組の一卵性双生児で調べたのに、完全なゲノム塩基配列は 1 組しか調べなかったからだ、としている。Kingsmore は、「さらに 10 組以上の双子の塩基配列を調べれば、もっとはっきりした結果を出せるでしょうけど」と話し、「免疫細胞だけでなく、脳組織の DNA 解析にも重点を置くべきでしょう。脳は、一卵性双生児の発症者と無発症者の間で遺伝的な差異を示すもう 1 つの部位だと思われるからです」と付け加えた。

(翻訳: 船田晶子)

1. Baranzini, S. E. et al. *Nature* **464**, 1351-1356 (2010).



死海再生プロジェクト

New life for the Dead Sea?

JOSIE GLAUSIUSZ 2010年4月22日号 Vol. 464 (1118-1120)

イスラエルとヨルダンに接する死海は、近年湖面の低下が著しい。そこで紅海から水路を引いて、縮小する死海を蘇らせる計画が持ち上がっている。この巨大土木プロジェクトは、周辺地域の水不足も軽減できるが、計り知れない影響を多方面に及ぼす可能性がある。

Itay Reznik は死海の岩だらけの湖岸に立ち、両腕を高く上げた。いっばいに伸ばした指先からさらに1メートル半上空に、かつての船着き場がぶら下がっている(13ページの写真参照)。Reznikは、ネゲブ・ベン-グリオン大学(イスラエル・ベールシェバ)で地質学を専攻する大学院生。「私が博士課程の研究にかかった2007年には、この船着き場から船に乗ることができたのですよ」と話す。現在の湖面は、宙ぶらりんの船着き場から3メートル以上も下にある。

死海はイスラエルとヨルダンに接する湖で、塩分濃度が非常に高く、地球の表面で最も低い場所として知られている。年々低くなっている湖面は、50年間で30メートル近くも低下し、表面積はこの100年間に3分の1近くも縮小した。近年、そのペースが加速していて、1年で平均1.2メートルずつ低下している。Reznikや彼の指導教官で同大学の地質学者Jiwchar Ganorとともにこの地域をドライブしていると、その縮小ぶりがよくわかる。死海の北西岸にあるエ

ン・フェシュカという自然保護区の淡水泉には、1968年と1984年の湖岸線を示す小さな看板が立っている。今では、1968年の看板は湖岸から2キロメートルも離れたところにあり、1984年の看板は、崩れかけた「海への階段」の横にわびしく立っている。現在、階段の先に海はない。

死海から流れ出る川はないが砂漠に位置するため、流入する水の量よりも蒸発する水の量のほうが多い。かつて、毎年13億立方メートルもあったヨルダ

ン川からの流入淡水量は、現在は1億立方メートル未満まで減少している。というのも、イスラエル、シリア、ヨルダンが、飲料水や農業用水として使用しているからだ。そして、死海へ流入する水の大半は、農業流去水や下水である。さらに死海の南端では、イスラエルのDead Sea Works社とヨルダンのArab Potash Company社が、湖水を蒸発させてカリウムとマグネシウムを取り出す事業を行っており、問題を悪化させている。

このままでは、死海はどんどん縮小していくだろう。そこで、紅海から全長180キロメートルの水路を建設して水を引き、死海を蘇らせるプロジェクトが提案され、世界銀行による評価を受けている。この水路は、運河かパイプライン、あるいは両方を組み合わせたものが考えられており、水力発電のエネルギーで淡水化プラントを稼働させ、周辺地域に毎年8億5000万立方メートルの飲料水を供給できるという(下図「死海を救う」参照)。これは、イスラエルで消費されている飲料水の半分弱の量である。

紅海と死海を結ぶ運河計画が提案されたのはこれが初めてではない。1664年、イエズス会のドイツ人学者Athanasius Kircherが、各地を結ぶ輸

送用運河のネットワークの一部として構想したのが最初といわれている。その後も、同様の計画が何度も持ち上がっては立ち消えになった。1973年のオイルショック後にも、イスラエルが地中海と死海を結ぶ運河に水力発電所を建設することを考えていた。

けれども近年、ヨルダンの飲料水不足が深刻化してきたことや、共同で「平和の水路」を建設したいというイスラエル、ヨルダン、パレスチナ自治政府の願いから、紅海-死海水路計画が現実味を帯びてきた。3か国の政府はこのプロジェクトのために共通の目標を立て、2005年には共同で世界銀行に働きかけて、プロジェクト実現の可能性と、環境に及ぼす影響の調査を依頼した。世界銀行の水資源管理と公衆衛生の専門家チームのリーダーで、プロジェクトの調査プログラムを監督しているAlex McPhailは、「ここは、世界で唯一、イスラエル、ヨルダン、パレスチナ自治政府が共同で公的なプロジェクトに取り組んでいる場所なのです」という。

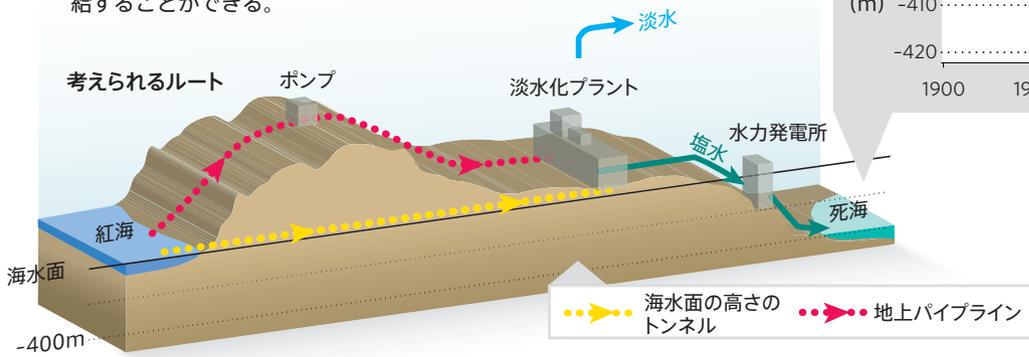
しかし、環境保護主義者はこのプロジェクトに懐疑的だ。イスラエル、ヨルダン、パレスチナの環境保護団体で、テルアビブ、アンマン、ベツレヘムに支部を置くFriends of the Earth Middle

East (FoEME)は、建設費数十億ドルといわれるこの水路が環境に及ぼす影響を懸念している。水路は、紅海のアカバ湾から最大で年間20億立方メートルの水を取り込むことになるが、アカバ湾に生息する約1000種の魚類と110種の造礁サンゴへの影響については不明である。また、計画では水路はアラバ渓谷を通るが、ここには希少動物ガゼルやハイラックス、野ウサギが生息している。そのうえアラバ渓谷には活断層も走っていて、地震で水道システムが破壊される可能性もある。環境保護主義者たちは、とにかく、莫大な費用がかかり、潜在的に有害なこのプロジェクトは必要ないと主張する。彼らは、イスラエルとヨルダンが自国の水資源の保全にもっと力を入れれば、元どおりとはいわないまでも、少しはヨルダン川の状態を回復できるはずだという。

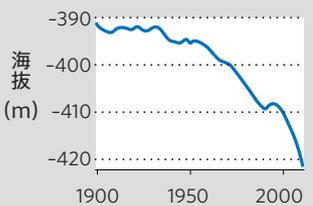
一方、Reznikら研究者たちは、さまざまな問題を解決しようと奔走している。彼らの調査結果は世界銀行が2011年に提出する最終報告書に盛り込まれる。この報告書は、イスラエル、ヨルダン、パレスチナ自治政府がプロジェクトを進めるべきかどうか、そして、建設・運営資金を調達できるかどうかの判断に役立つだろう。

死海を救う

縮小の一途をたどる死海を救うため、紅海と死海を結ぶ水路の建設が計画されている。さまざまなルートが検討されているが、死海の高さは低く、どのルートでも水は下に向かって流れることになるので、水力発電が可能だ。その電力を利用して淡水化プラントを稼働させ、周辺地域に淡水を供給することができる。



死海の湖面の高さの推移



期待と懸念

死海が縮小すると湖底が露出してくる。こうした土地は塩分濃度が高く、ほとんどの植物は成長することができない。かつては死海の湖岸に沿って淡水泉があり、ヤシの木などが生い茂るオアシスを作っていたが、現在の湧出口は低い土地に移動して、湖岸の泥の中にある。環境保護主義者たちは、オアシスの衰退が渡り鳥に悪影響を及ぼすことを心配している。渡り鳥は、サハラ砂漠を渡る前に、この地域のオアシスに立ち寄って体を太らせていくからだ。また、干上がった土地に淡水が浸潤したため堆積物中の塩の層が溶け、陥没穴が約3000個もできている。

死海の縮小は、人間にも損害を与えている。死海周辺は観光地になっているだけでなく、複数の農業共同体が形成されている。死海の縮小が進んだため、ホテルの建設や娯楽施設・公共施設の整備が中断し、陥没穴で道路や橋が壊され、農業にも悪影響を及ぼしているのだ。

おそらく、死海が完全に消滅することはないだろう。表面積が小さくなるにつれ、塩分濃度が高くなり、蒸発が遅くなるからだ。イスラエル地質調査所（エルサレム）のIttai Gavrieli 所長代行は、提案されている水路が環境に及ぼす影響を調べるモデル化研究チームを率いているが、「死海は死なないでしょう」という。しかし、この状況が続くなら、現時点で海拔マイナス423メートルの死海の湖面は、さらに100～150メートル低くなるだろうという。

ヨルダン渓谷庁（アンマン）のMousa Jama'ani 事務総長によると、紅海－死海水路は、環境へのさらなる打撃を阻止するだけでなく、ヨルダンの水不足を救うこともできるという。ヨルダン周辺の湾岸諸国はヨルダンよりも淡水資源は少ないが、石油を使って発電し、海水を淡水化するプラントを稼働させている。「ここヨルダンには、石油も水もないのです」とJama'ani いう。

紅海－死海水路の淡水化プラントは、

ヨルダンが切望する飲料水の供給源となるだろう。「人口は増加の一途をたどっており、需要は高まるばかりなのに、水資源は限られているのです」とJama'ani いう。「我々にできることは何でしょう？ 政府は国民に対して責任を負っているのです」。

パレスチナ水資源庁（ラマラ）のShaddad Attili 長官は、淡水化プラントはパレスチナにも水を供給することになるという。パレスチナの水源は、ヨルダン川西岸地区の山岳帯水層と、ガザ地区に水を供給する沿岸帯水層しかない。そのうえ沿岸帯水層は、海水が侵入し下水で汚染されている。

「1967年以來、パレスチナ人はヨルダン川流域に近づくことができません」とAttili いう。死海の北西岸を開発することも許されていない。Attili は、紅海－死海プロジェクトで、イスラエルとの協力が合意できたのは大きな前進だと考えている。イスラエル水資源庁のスポークスマンであるUri Shor も同意見だ。イスラエルは、飲料水の約3分の1をガリラヤ湖から、残りのほとんどを地下帯水層から得ている。また、1年に約1億6500万立方メートルの海水や塩分濃度がやや高い水を淡水化している。これは、18億立方メートルという国内水消費量の約9パーセントに相当する量だ。「このようなプロジェクトは国際協力の足場となるため、我々にとっても有益です」とShor いう。

2008年には、米国、フランス、スウェーデンなど8か国から1670万ドル（約15億円）の援助を受けて、世界銀行が、紅海－死海水路建設の可能性と社会や環境に及ぼす影響を調査するプログラムに着手した。以後18か月間、水路の最適な経路（おそらくヨルダン領を通ることになる）、その形状（運河、トンネル、パイプライン、あるいはそれらの組み合わせ）、取水口の種類、ポンプ場や淡水化プラント、水力発電所の建設場所、淡水化した水の割り当てなどについて検討し、一連の中間報告書^{1,2}を提出してきた。

世界銀行は最近、水路が紅海と死海に及ぼす影響について2つの調査を始めた。2009年10月にはFoEMEからの圧力を受けて「代替案の調査」を開始し、英国、ヨルダン、イスラエルの専門家が、トルコから水を引くパイプラインや、ヨルダン川の流量の回復など、紅海－死海水路以外の選択肢を検討している。

水路建設に当たり、考慮すべき重要な要素の1つに地震のリスクがある。アラバ渓谷に沿って走る死海断層は活発な地震帯で、2つのプレートの境界線になっている。世界銀行からの委託で行われた予備的な調査¹によると、水路の運用中に大地震が起きてポンプ場や淡水化プラントが危険にさらされる可能性は大きいという。しかしGavrieli は、断層の位置を特定し、水路や関連施設を巧妙に設計すれば、そのような損害は未然に防げるだろうという。「断層線の場合がわかっているなら、地震に備えればいいのです。耐震構造や免震構造にすることもできるでしょう」と彼はいう。

世界銀行の報告書では、そのほかのリスクについても検討されている。例えば、アカバ湾からポンプで水を吸い上げると潮の流れが変わり、サンゴや海草を傷めてしまう可能性がある。また、水路から海水が漏れて、地下水を汚染してしまう可能性もある。アラバ渓谷では、生息する野生動物への影響のほか、渓谷に点在する古代の住居、水道、貯水池、銅の製錬所、墓地などの遺跡も損傷を受けるおそれがある。

さらに、イスラエルの不動産王Yitzhak Tshuva は、この水路に沿って公園、湖、滝、ホテル、植物園などが立ち並ぶラスベガス式の「平和の谷」を建設しようと計画しており、アラバ渓谷の生態系にとって大きな脅威になることが懸念されている。

死海に棲む生物

紅海－死海水路は、死海そのものも変えてしまう可能性があり、長期的な影響は不明である。「死海」という名に反して

この湖には、塩耐性の単細胞緑藻ドナリエラ *Dunaliella* や赤い色をしたハロバクテリウム科の古細菌など、さまざまな微生物が生息している。雨が多く、死海の湖面が2メートルも上昇した1992年のような年には、塩分濃度がわずかに低くなり、ドナリエラが繁茂する。このため、新しい水路もドナリエラの繁茂を引き起こす可能性がある。死海の塩分濃度は、紅海の海水よりも、淡水化プラントの排水よりも、はるかに高いからだ。

Gavrieli とヘブライ大学（イスラエル・エルサレム）の微生物学者 Aharon Oren が Dead Sea Works 社で行った実験からは、塩分濃度が比較的低い水の流入により藻が大発生することが示された。その影響は、ヨルダン川に流れ込んだリン肥料が、さらに死海に流入することで増強されるだろう³。Gavrieli は、大発生したドナリエラが古細菌の餌になり、死海を赤く変色させるだろうという。これを問題視するかどうかは、人によって違って来る。「死海の水位が下がると、色が赤くなることと、どちらが大きな問題でしょうか？」と Gavrieli は問いかける。

あるいは、化学成分の変化により、死海表面の水が白く変色するかもしれない。現在、死海は石膏（硫酸カルシウムの水和物）が過飽和状態になっているが、反応速度が非常に遅いのでどうにか沈殿せずにすんでいる⁴。しかし、紅海の水は死海の10倍の硫酸塩を含んでいるため、淡水化プラントから排出される塩水が死海に流入すると、石膏は白い結晶になって沈殿するだろう。Reznik と Ganor、そして Gavrieli は、死海の水と、紅海の水を淡水化したときに出る排水を Dead Sea Works 社の10立方メートルのタンクの中で等量ずつ混ぜ、小さな白い石膏の結晶が表面に現れてくるのを確認した。Gavrieli によると、こうした変化が、もっと大きい規模で、より長い期間にどのような影響を及ぼすかは不明であるという。石膏は湖底に沈むかもしれないし、結晶化して上層の水中に懸濁し、



この船着き場は、2007年には死海の湖面と同じ高さだった。

湖を乳白色に変えるかもしれない。死海の表面に結晶の膜ができれば、太陽光の反射率が高くなり、蒸発速度はゆっくりになるかもしれない。しかし、石膏が湖面に凝集し続けるなら、水中で光が散乱し、水温が上がって、蒸発が盛んになるかもしれない。

Dead Sea Works 社 と Arab Potash Company 社は、死海の運命のカギを握っている。死海の水位低下の約30～40パーセントは、この2社の蒸発池により説明できるからである。これに対し Dead Sea Works 社は、同社の蒸発池は、1977年に干上がった死海の南端を保全することにより、地域住民を助けていると主張する。同社はまた約1000人の雇用を生み出し、エン・ボケックでは大規模なホテル群を経営している。

しかし、FoEMEのイスラエル支部長である Gidon Bromberg は、こうした貢献を全く評価していない。彼によると、カリウム製造会社は、死海の水を蒸発させてミネラルを得る方式から、高圧をかけて濾過膜に通す方式に切り替えることができるはずだという。後者のほうが、より多くの費用とエネルギーを必要とす

るが、蒸発する水の量を大幅に減らすことができる。

また、最近 FoEME の一連の研究から、周辺の国々がコンポストトイレや真空式トイレを導入したり、シャワーの水をトイレに再利用したりすれば、海水の淡水化よりも少ない費用でヨルダン川の水を毎年4億～6億立方メートルも回復できることが示された。FoEME はまた、持続可能な農業をより広く実践することで水を保全できると主張する。

苦渋の選択

最終的には、切迫した真水の需要により水路建設が推進されるだろう。Attili は、イスラエル、ヨルダン、パレスチナ自治政府の間にある、厳しい政治的緊張を乗り越えて協力し合わなければならない、という。「ほかに選択肢はないのです」。次世代の国民のために、新しい水源が必要なのだ。

現時点では、未来ははっきり見えない。長く埃っぽい1日の終わりに、Ganor と Reznik は車で死海の湖岸を上った。そこには、赤い線が薄く残った岩が1つあった。1900～1913年、英国人測量士が死海の水位を測定したときに引いた線だ。現在の死海の湖面は、この線から35メートルも低いところにある。

このまま何もしなければ、状況はますます悪くなるだろう。しかし、紅海—死海水路は、現実の危険をもたらすだろう。死海の縮小を食い止めるべきかどうかは、「2つの好ましくない選択肢のうち、ましなほうを選ぶことなのです」と Gavrieli はいう。「ただ問題は、どちらがましなのかということです」。

（翻訳：三枝小夜子）

Josie Glausiusz はニューヨーク市在住のフリーランスのジャーナリスト。

1. Red Sea-Dead Sea Water Conveyance Study Program Feasibility Study. Options Screening and Evaluation Report. Executive Summary (Coyne et Bellier, 2009).
2. Red Sea-Dead Sea Water Conveyance Study, Environmental and Social Assessment. Preliminary Scoping Report. December 2008 (ERM/BRL/Eco Consult, 2008).
3. Oren, a. et al. *J. Mar. Syst.* **46**, 121-131 (2004).
4. Reznik, I. J., Gavrieli, I. & Ganor, J. *Geochim. Cosmochim. Acta* **73**, 6218-6230 (2009).



水素自動車の未来

Fuel of the future?

JEFF TOLLEFSON 2010年4月29日号 Vol. 464 (1262-1264)

バイオ燃料や電気自動車に押され、忘れられかけていた水素燃料電池自動車が、ここにきて再び注目され始めた。

2003年、ブッシュ前米国大統領は、水素燃料イニシアチブに12億ドルの資金を提供して2020年までの水素燃料電池自動車の市販をめざすと発表し、「今日生まれた子どもが初めて運転する自動車は、水素を燃料とする無公害車になるかもしれません」と語った。

この提案は魅力的だった。水素燃料電池自動車ができれば、外国の油田と縁を切ることができるし、排気管からは水蒸気しか出てこないからだ。議会は

滞りなく予算を承認し、米国エネルギー省 (DOE) やその他の研究機関も動き始めた。ところがその後、バイオ燃料が脚光を浴び、続いて二次電池自動車 (電気自動車) が注目されるようになると、こうした取り組みのすべてが忘れられてしまった。

Steven Chu が2009年にDOE長官に就任したとき、水素燃料電池自動車で期待する余地は既になくみえた。彼は水素燃料イニシアチブが抱えている

4つの主要な問題を明らかにした。自動車メーカーはまだ、頑丈で長持ちする安価な燃料電池も、長距離走行ができる量の水素をタンクに貯蔵する方法も開発できていなかった。新しい水素供給インフラも必要だし、それができても、天然ガス以外の低炭素エネルギー源を使って水素を作る費用対効果の高い方法を開発できないかぎり、地球温暖化ガスを削減する効果はないに等しい。

就任から4か月後の2009年5月、

Chu は燃料電池自動車の研究のための DOE の当初予算を削減する方針を打ち出した。バイオ燃料や二次電池自動車のほうが「資金を投入するにはるかに広い分野」であると判断したからだ。Chu の決断の背景には、水素自動車の開発に多額の資金を投入することに対する多くの人々からの批判があった。環境主義者の中にさえ、水素燃料イニシアチブに反対する人々がいた。「実現不可能な技術を目指して掲げることで、ガソリンに依存する現状を永続させようとする策略」と見なしたからだ。

しかし、予算カットの提案は水素自動車の支持者を奮奮させ、数か月後には、議論が決着していなかったことが明確になった。バイオ燃料や二次電池自動車に莫大な投資をしている自動車メーカー自身も、長期的には、水素燃料電池には無視できない可能性があることを感じていた。水素自動車の支持者は効果的なロビー活動を展開し、議会はやがて投票により Chu の決定を覆し、予算を復活させた。

2009年9月9日、ドイツのシュツットガルトで、ダイムラー、フォード、GM (ゼネラルモーターズ)、ホンダ、現代 (ヒュンダイ)、起亜 (キア)、ルノー、日産、トヨタの主要自動車メーカー9社が、2015年までに燃料電池自動車を商品化するという共同声明に署名した。翌日、これに連携してベルリンでも発表があった。シェルやスウェーデンのバッテンフォールを含むエネルギー会社のグループが、ダイムラーとともに、ドイツ国内に燃料電池自動車のための水素供給インフラの整備に着手することで合意したのだ。

水素自動車の支持者は自信を深めている。ドイツの国立水素燃料電池技術機構 (NOW) を率いる Klaus Bonhoff は、「この覚書は、前進への産業界の決意表明です」という。NOW は、ドイツの水素燃料電池開発プログラムをリードする機関として同国政府が2008年に創設したもので、ベルリンを本拠地としている。

Nature は今回、水素燃料電池自動車

が直面する4つの主要な問題を検討し、どちらの言い分にも妥当な点があることを明らかにする。問題の中には近いうちに解決しそうなものもあるが、そう簡単ではないものもある。

燃料電池

燃料電池は、少なくとも概念的には、空気中から取り込んだ酸素と燃料タンクから取り込んだ水素を反応させて、水蒸気と電力を作り出すだけの装置だ。燃料電池自動車では、その電力を通常の電動機に供給してタイヤを回すことになる。

しかし実際には、燃料電池は決して単純な装置ではない。反応を制御しながら電流を取り出すためには、ノズル、膜、触媒などを巧妙に組み合わせなければならないからだ。難しいのはそこである。これだけの複雑な部品をつめ込んで、軽量で、安価で、頑丈で、長持ちする装置を作らなければならないうえに、速やかに加速できるだけでなく、ライトやエアコンやラジオなどへの電力も供給しなければならない。

10年前には、この目標ははるか遠くにあると思われた。自動車メーカーは、実験用の燃料電池自動車を低温にさらさないように気を付けていた。発電を停止したときに、残った水蒸気が凍結して、内部のデリケートな機構を損傷することを心配したからである。燃料自動車を輸送するときには、暖房したトレーラーに積み込んでいたほどだった。

しかし、この10年間で燃料電池技術は大きく進歩した。2009年1月まで GM の燃料電池プログラムのリーダーを務めていた Byron McCormick は、「ある朝、誰かに名案が浮かんで大きな問題が解決できたわけではありません。すべては小さな積み重ねでした」という。

例えば、GM の燃料電池自動車は、車が停止した後に1~2分間燃料電池の排気システムを動かし続け、電池の残留熱を使ってシステムから水を追い出すことにより、低温下での問題を軽減した。トヨタによると、実験的に燃料電池を搭載

したクルーガー (日本国外での販売名はハイランダー) という SUV は、マイナス37度でエンジンを始動できるという。

高価な触媒の使用量を減らす技術開発も進んでいる。GM の燃料電池の場合、現在は約80グラム (約43万円) の白金を使用する。しかし薄膜化で使用量は30グラム未満となった。10年以内には10グラム未満にできるだろうと予想する。

こうした進歩は燃料電池の価格低下につながる。大量生産のコスト予測に基づく DOE の推定によれば、2002~2008年までの間に、燃料電池による1キロワット当たりの発電コストは75パーセント近く低下した。トヨタの研究開発拠点であるトヨタテクニカルセンター USA (カリフォルニア州トーランス) の Craig Scott マネジャーは、2010年代半ばまでに発売される予定の燃料電池自動車は「競争力のある価格」になり、「確実に多くの人々にお届けできるでしょう」という。

水素燃料タンク

2009年6月、トヨタの技術者と米国政府のモニターが2台の燃料電池クルーガーに乗ってトーランスの米国トヨタ本社を出発し、途中で水素燃料を補給することなく、533キロメートルの公道を走って戻ってきた。この試験走行データに基づいて計算すると、水素燃料電池自動車は、1個の水素燃料タンクで693キロメートルも走行できることになる。これは、現在のガソリン自動車と比べても遜色ない数字だ。

水素燃料を補給することなくこんなに長距離を走行することも、10年前には到底不可能と思われていた。水素ガスをそのままタンクに貯蔵するのは簡単だ。しかし、十分な量の水素ガスを自動車に搭載しようとする、途方もなく大きいタンクが必要になり、人や荷物を入れるスペースがなくなってしまう。水素ガスを数百気圧に圧縮して貯蔵する手はあるが、安全に貯蔵するには、非常に頑丈なタンクが必要だ。液体水素を使う方法も

あるが、マイナス253度の断熱タンクが必要で、自動車の重量、複雑さ、経費が増大してしまう。

3つの方法を検討すると、圧縮水素の形で貯蔵するのが比較的単純であることがわかる。ほとんどの企業は、最新の炭素繊維を使った高圧タンクを採用している。こうしたタンクは最大680気圧の水素を貯蔵できるが、比較的軽量だ。燃料電池自動車の走行距離をさらに伸ばすために、多くの企業がガソリンと電気を併用するハイブリッドカーや電気自動車と同じ「回生ブレーキ」技術も使っている。これは、ブレーキをかけるときにエネルギーを取り出して補助バッテリーに貯蔵し、後で加速するときにそれを再利用するシステムである。

実際、水素燃料電池自動車と二次電池自動車は共に電動機を使っているため、多くの技術を共有している。本当に違っているのは、電源が燃料電池か二次電池かという点だけだ。Scottによると、リチウムイオン電池を利用する電気自動車が1回の充電で150～250キロメートル以上走行できる可能性はないという。都市部を走行するならこれで十分かもしれないが、消費者は田舎の長距離ドライ

ブにも使える車を期待している。だから、長期的にみれば、水素自動車の走行距離の長さは有利に働くかもしれない。

水素供給インフラ

1回の燃料補給で長距離走行できる自動車でも、必ず燃料は補給しなければならない。ここで、「ニワトリが先か、卵が先か」の問題が生じる。水素燃料を供給する水素ステーションのネットワークが整備されるまで、燃料電池自動車の売り上げが大きく伸びることはないだろう。しかし、水素燃料を必要とする燃料電池自動車がかんりの台数にならないかぎり、そうしたネットワークを整備するのに必要な資本を投下しようとする者は現れないはずだ。

既存のガソリンスタンドに水素ポンプを追加することはできるし、実際、そのような施設もある。水素ポンプは、外見上は従来のポンプとさして変わらない。ただ、圧縮水素ガスを燃料タンクに入れるには、ガソリンのようにタンクの補給口にノズルを差し込み、あとは重力に任せておけばよいというわけにはいかない。ノズルと自動車の間はしっかり密閉しなければならないし、希望の圧力

に達するまで高圧ポンプで水素を送り込まなければならない。今の水素ポンプは、普通の消費者が使える程度に簡単に操作でき、安全なものになっている。しかし、最大圧力まで燃料を補給しようとするなら、完璧に動作するものでなければならない。

自動車メーカーにとっては、水素供給スタンドのネットワークがどのくらい速やかに広がるかという問題のほうが重要だ。例えば、米国では水素ポンプは現時点で数十か所にしか設置されておらず、この現状を変える取り組みがなされているようにはみえない。つい最近まで、ほかの国々も同じような状況だった。

水素自動車の支持者が2009年にドイツで成立した合意を重視し、「ニワトリと卵」の行き詰まりが打開されると期待するのは、それゆえなのだ。自動車メーカーは水素自動車の開発を約束し、NOWはドイツ全土に数年以内に数百か所、2010年代末までに1000か所の水素ポンプのネットワークを整備することを約束した。これだけあれば、都市部は広くカバーされ、それ以外の地域でも高速道路に沿って定期的に燃料を補給できるようになる。Bonhoffによると、コン

水素自動車への挑戦

水素燃料電池自動車の未来は、水素源、水素供給インフラ、車載燃料タンク、車載燃料電池という4つの主要要素の進歩にかかっている。

水素供給インフラ：製造した水素は、特殊なパイプラインやタンカーを使って、水素供給ステーションの大規模ネットワークに分配される。しかし、水素供給ステーションが存在していないなら、誰が水素自動車を買うだろうか？ そして、水素自動車が存在していないなら、誰が水素供給ステーションに投資するだろうか？

水素源：水素燃料電池自動車が気候変動問題を軽減するためには、その燃料となる水素は、無炭素の再生可能な水素源から製造したものでなければならない。その方法として、風力発電、太陽電池、原子力発電などで発電した電気を使って水を分解することなどが考えられている。

燃料電池：燃料電池は水素を電力に変換する装置である。課題は、エンジンやライト、エアコンを動かせるだけの出力があり、軽量で安価、頑丈で長持ちする装置を開発することにある。

燃料タンク：燃料電池自動車のタンクには、次の水素供給ステーションまでの数百kmを走行できるだけの水素を貯蔵できなければならない。液体水素の形で貯蔵するにはマイナス253度の断熱タンクが必要になるため、ほとんどの企業は、水素ガスを圧縮し、高強度の炭素繊維を使ったタンクに貯蔵する方式を採用している。

ソーシアムが想定している費用は、エネルギー会社が同じ期間にガソリン燃料インフラの維持、改良、拡大にかかる費用と同程度であるという。

GMの燃料電池プログラムのリーダーである Charlie Freese は、ドイツよりはるかに広い米国などの国々でも、水素供給インフラの整備コストはそう法外なものにはならないとみる。水素自動車の市販が始まる初期段階には、ロサンゼルス盆地に約2億ドル（約180億円）の費用で50か所の水素ステーションを設置できるだろう。さらに、米国全土にネットワークを張り巡らせるためには約1万1000か所の水素ステーションが必要になるかもしれない。「その費用は、提案されているアラスカパイプラインプロジェクトとだいたい同じくらいです」と Freese はいう。アラスカのノーススロープから北米の市場まで天然ガスを輸送するパイプラインの建設は、およそ350億ドル（約3兆2000億円）のプロジェクトになるといわれている。

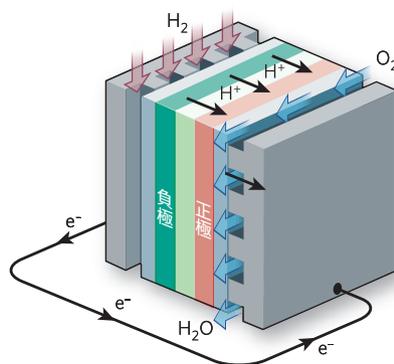
水素の製造

気候変動の観点からいえば、問題は、そもそもどこから水素ガスを手に入れるのか、という点にある。現時点で最も安価に水素を製造できるのは、水蒸気と天然ガスの化学反応を利用する方法である。しかし、反応過程で二酸化炭素も発生するため、この方法で製造した水素を使って燃料電池自動車を走らせても、地球温暖化ガスの総排出量は従来のガソリン自動車とあまり変わらないことになってしまう。そのため、燃料電池自動車が使う水素は、無炭素の再生可能な水素源から製造したものであることが重要になる。

バッテンフォールはこれを機会ととらえ、風力発電による余剰電力を使って水分子を分解し、20台の燃料電池バスの燃料となる水素を製造する施設をハンブルクに建設している。風は常に同じように吹いているわけではないため、電力会社は風力タービンを余分に建設して、い

燃料電池の仕組み

燃料電池はタンクからの水素 (H_2) と空気からの酸素 (O_2) を結合させて水蒸気 (H_2O) と電気 (e^-) を作る。



ろいろな場所に分散させていることが多い。しかし、多くの場所で一斉に風が吹くと、送電網が扱いきれない量の電気ができてしまう。今のところ、そのような場合には風力タービンを停止させるしかない。けれども、バッテンフォールがハンブルクに建設している施設が完成すれば、余剰電力が生じた場合には電解ユニットを作動させて水素を製造し、送電網を安定に保つことができる。

「実際のところ、水素供給インフラを整備できるかどうかという問題ではないのです」と Freese はいう。「問題は、再生可能エネルギーを利用するとき、水素インフラを整備せずに本当にすませられるのか、という点なのです」。

どちらをとるか

こうした議論にすべての人が納得しているわけではない。自動車メーカーが計画どおり2015年までに燃料電池自動車を発売することができたとしても、顧客基盤を確立し、生産量を増やし、コストを下げるには何年もかかるだろう。ほとんどの自動車メーカーは、2020年まで、ひょっとすると2025年まで、この種の自動車で利益を上げられる可能性はないと予想している。一方で、自動車メーカーとエネルギー会社はバイオ燃料や二次電池自動車の研究開発も進めているが、いずれも独自の燃料（エネルギー）

供給システムを必要とする。これらのインフラを同時に整備することは不可能かもしれない。

こうした不安は自動車業界も感じている。例えばフォードは燃料電池については長期的な研究しか進めておらず、現時点では水素自動車の市販は計画していない。BMWは両賭けをして、ガソリンでも水素でも走行できる内燃機関を備えた自動車の研究を行うことで負けを防ごうとしている。

水素自動車の支持者の一部は、棲み分けが進むだろうと予想している。すなわち、二次電池自動車は都市部の走行、燃料電池自動車は長距離走行に利用されるようになり、高速道路に沿って多数の水素ポンプが建設されるだろうというのである。けれども、マサチューセッツ工科大学（米国ケンブリッジ）のスローン自動車研究所の John Heywood 所長は、このゲームに参戦している人々の中に、自分が何をしているかを本当にわかっている者がいると考えてはならない、と釘を刺す。

Heywood は、最初に市販される燃料電池自動車は、完成品というよりはむしろ、企業がその性能を評価し、消費者の反応をみるための「量産試作品」になるだろうという。トヨタは、1997年に発売したハイブリッド自動車「プリウス」で、このアプローチをとった。水素自動車や二次電池自動車がハイブリッド自動車よりも短期間で完成されると考える理由はない。Heywood は、いずれにせよ、世界の自動車を変革するには30年以上かかる可能性があり、今日の自動車メーカーも、そのくらいの時間枠で物事を考えていると指摘する。

「電気と水素、道は2つあります。どちらかが格段によいことがはっきりするまでは、両方に投資することになるでしょう」と彼はいう。「どちらの道を進むべきか、現時点では不明です」。

（翻訳：三枝小夜子）

Jeff Tollefson はワシントン D.C. 在住の Nature 通信員。

南極氷床下 4000m の淡水湖を掘削

Teams set for first taste of Antarctic lakes

QUIRIN SCHIERMEIER 2010年3月25日号 Vol. 464 (472-473)

www.nature.com/news/2010/100323/full/464472b.html

南極大陸の厚い氷の下に、隠された暗黒の湖が存在する。2011年、とうとうその秘密のベールがはがされる。2010年3月に開かれたある会合で、ロシア、英国、米国の科学者たちが、それぞれ違った性質をもつ3つの氷床下湖まで掘削を進め、地球上で最後に残された「地図のない生態系」を調査する計画を発表した。

この40年間のレーダー探査から、南極の巨大な氷床の下に淡水湖があることがわかってきた。その大きさや形成時期はさまざまで、現在確認されている数は150個にもなる。なかには数百万年にわたって外界から隔離されている湖もあり、固有の生物が生息している可能性がある。こうした湖の暗くて栄養分に貧しい環境は、凍った表面の下に広大な海があると考えられる木星の衛星エウロパの環境と似ているのかもしれない。

科学者は以前から、氷床下湖のサンプルを採取したいと願っていたが、技術面

と環境面の両方で問題があり、なかなか実現しなかった。今回、ロシアのチームは、2011年2月までにポストーク湖まで掘り抜く計画を立てている。米国と英国のチームは、ロシアから数年遅れて、ポストーク湖とは水文学的にも地質学的にも異なる性質をもった別の湖を掘削する（下図参照）。

「この数年間で、人類は、まだ一度もサンプルを採取したことのない、大陸規模の生態系を調査することになるのです」と、コロンビア大学ラモント・ドハティー地球観測所（米国ニューヨーク州パリセーズ）の首席研究員 Robin Bell いう。「おそろしく刺激的な企てです」。

ポストーク湖は、最も有名で、最も大きい氷床下湖だ。実に、北米のオンタリオ湖に匹敵する大きさがある。この湖は東南極大陸の4000メートル近い厚さの氷の下にあり、形成時期は3500万年前と推定されているため、古代の微生物が生息している可能性がある。

ロシアの掘削チームは当初、2008～09年の野外活動シーズン中にポストーク湖に到達しようと計画していたが、湖面まであと80メートルの所でドリルが停止してしまったのだ。ロシアの南極プログラムを指揮する Valery Lukin は、メリーランド州ボルティモアで開催された米国地球物理学連合 (AGU) の会合で、「今季の野外活動シーズンの中に、すべての技術的問題は解決できました」と報告した。

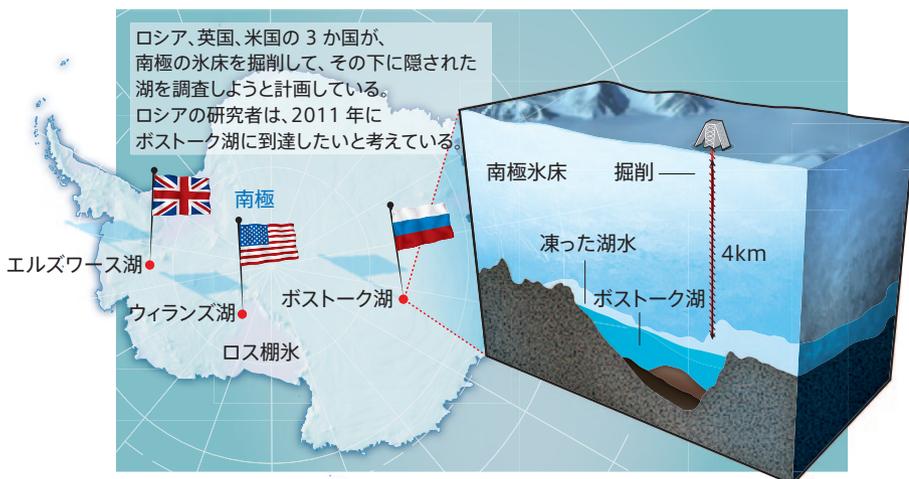
一部の研究者は、ロシアの成功と引き換えに、「太古の湖水が生物学的・化学的に汚染されてしまうのではないかと心配している。米国航空宇宙局 (NASA) ゴダード宇宙飛行センター（メリーランド州グリーンベルト）の氷河学者 Robert Bindschadler は、「彼らが湖を台無しにしないことを祈るばかりです」という。

しかし Lukin は、ロシアチームの掘削計画はポストーク湖の環境保全に配慮したものになっている、という。掘削チームはまず、毒性のないシリコン油を潤滑流体とし、加熱したドリルを用いて、氷の中を掘り進んでいく。また、湖自体の調査は段階的に行う。最初は、サンプル水を1回だけ吸い上げ、あとは掘削孔の下部を自然に再凍結させて、ふさいでしまう。なお、分析装置を水中に入れて湖底の堆積物を調べる計画は、湖水環境に及ぼす影響をより綿密に評価し終えるまで延期する。

南極条約による環境保護委員会は、2010年10月にロシアの計画を承認すると予想されている。ただし、採掘に先立って委員会の承認を得ることは、何も公式に要請されているわけではない。「ロシアは適切な手順で探査を進めようと一生懸命なのです。これは非常に大事なことです」と Bell いう。

会合では、米国と英国の研究者も、南極を挟んでポストーク湖の反対側にある氷床下湖について、長期的な探査計画を発表した。英国南極調査所の研究者がめざすのは、エルズワース湖という、西南極大陸にある比較的小さい湖だ。一方、

氷の下の湖



北イリノイ大学（米国ディカルブ）の地質学者 Ross Powell によれば、米国の研究者は、まず、氷の表面からレーダー探査を実施する。そして、ウィランズ氷流氷底接近研究掘削（WISSARD）プロジェクトで、2012～13年の野外活動シーズンに湖を掘削する計画だ。

ウィランズ湖は水面下で棚氷の下の海洋とつながっているため、ポストーク湖

などの孤立した湖よりもダイナミックである。「この湖面は上昇と下降を繰り返していることがわかっています。私たちは、時には湖から完全に水がなくなり、新たに水が入ってくることもあると考えています」と Powell。

ウィランズ湖にみられるような干満は、湖の上を覆う氷床の動きに影響を及ぼすと考えられる。WISSARD チームは、

この動きに影響を及ぼす、氷と水の界面で起きている過程を研究しようとしているわけだ。

3か国の掘削プロジェクトを Bell はこうたとえる。「エバークレーズ、ロッキー山脈、北カナダに魚釣りに行くようなものです。それぞれ、全く違う獲物がかかり、多くのことを教えてくれるでしょう」。

（翻訳：三枝小夜子）

天文学の主役に踊り出る光学干渉計

Telescope arrays give fine view of stars

ERIC HAND 2010年4月8日号 Vol. 464 (820-821)
www.nature.com/news/2010/100407/full/464820a.html

複数の光学望遠鏡を結合して、大口径の光学干渉計を実現する技術が成熟した。
星の表面の詳しいようすも観測できるようになった。

米国・ロサンゼルス街を見下ろすウィルソン山の山頂、松林の中に6つの小さなドームがY字型に並んでいる。このドームにはそれぞれ、直径1メートルの望遠鏡が1基おさまられている。1基ずつの能力は、最大の地上望遠鏡や宇宙望遠鏡に遠く及ばない。しかし、6つの望遠鏡を合わせることで、天文学において最も鮮明なレベルの画像を作り出せるのだ。

この望遠鏡アレイ、つまり複数の望遠鏡を並べて結合したシステムは、CHARA（Center for High Angular Resolution Astronomy = 高角分解能天文学センター）とよばれている。個々の望遠鏡でとらえた光は、真空チューブを通じて中央の建物に送られ、そこで干渉法という方法で結合される。こうして作られた CHARA の画像は、直径330メートルの望遠鏡に相当する分解能、わかりやすくいえば「鮮明さ」をもつ。これは

ハッブル宇宙望遠鏡の分解能より50倍以上も高く、ほかの望遠鏡ではぼやけた光のしみにしか見えない、星の表面の詳しいようすも見る事ができる。

電波天文学の分野では、半世紀以上も前から干渉法が使われてきたが、可視光や赤外線では、その採用は立ち遅れていた。しかし、今や光学干渉技術は成熟しつつある。CHARA の望遠鏡アレイを使った成果が *Nature* 2010年4月8日号 870 ページで報告されているのをはじめ¹、いくつかの天文台が重要な研究結果を出し始めた。

Nature に報告した研究チームは2009年末、巨大な古い星の前を太陽系ほどの大きさの塵の円盤がゆっくりと移動し、その光を覆い隠す情景を撮影した。この主星は食が起るため連星系と考えられていたが、伴星が見つかっていなかった。天文学者たちは1世紀以上にわたつ

てこの食連星の正体を突き止めようとしてきたのだ。食連星が食の状態にある様子を直接画像でとらえたのはこれが初めてだ。デンバー大学（米国コロラド州）の天文学者で、この論文の共著者である Robert Stencel は、「電波天文学者たちは数十年間にわたって干渉法の恩恵にあずかってきました。光学干渉計は、可視光や赤外線でも観測する私たち天文学者たちを、ようやく同じ世界に連れて行ってくれようとしています」と話す。

電波天文学者たちは昔から、可視光で観測する天文学者より有利な立場にあった。電波より波長が短い可視光による像は、地球大気によってぼやけてしまうが、電波による像は可視光ほどにはぼやけない。さらに、別々のパラボラアンテナで集めた電波信号をデジタル化し、電氣的に伝送し、再結合して干渉縞を作ることでもできる。干渉縞は高分解能画像のもとになるものだ。このように、電波信号は取り扱いが容易なため、電波天文学者たちは、世界中のパラボラアンテナからのデータを一緒にして、地球の直径に匹敵する長さの基線をもった望遠鏡アレイを作ることができた。

しかし、可視光で観測する天文学者たちが干渉法を採用しようとする、光をナノメートルレベルの精度でトンネルを通して送り、しかも、かすかな光のビームをリアルタイムで組み合わせなければならない。適応光学という複雑な技術を



チリの超大型望遠鏡干渉計 (VLTI) では、各望遠鏡で集めた光のビームを、地下トンネルを通して送り、結合する。

使って、大気のぼやけの効果を減殺することも必要だ。また、多くの光学望遠鏡アレイは比較的小さな望遠鏡を使うので、地球近くにある明るい星を除き、十分な光を集めるのに苦勞する。

急増する論文

こうした制約にもかかわらず、光学干渉法は次々と新しい知見をもたらしている。連星系はどのようにして質量を交換するのか、星は自転するときどのように膨らむのか、といったこともわかってきた。天文学者たちは今、3つ以上の望遠鏡の光を結合する技術開発に取り組んでいる。複数のビームを使うと、より多くの光子を捕まえて利用できるので、効率的なデータの集積だけでなく、データのクロスチェックも可能になって、干渉縞から画像を作ることが容易になる。CHARA は、2007 年に 4 本のビームの結合を初めて実現し²、来年には最多となる 6 ビームの結合を計画している。

かつては難しかった観測が日常的な観測になった。チリにある欧州南天天文台 (ESO) の超大型望遠鏡干渉計 (VLTI) の干渉計グループの責任者 Françoise Delplancke は、「私たちの望遠鏡を使う研究者にも、干渉計の専門家ではない人が増えています」と話す。光学干渉計を使った科学論文の数も、1999 年の 9 本から 2009 年は 56 本へと急増した。欧

州の研究資金が集中する VLTI は、その約半数を生み出す舞台となっている。

一方、米国の研究施設への資金援助は、欧州と比べると分散気味だ。CHARA は、大学が運営し、米国科学財団 (NSF; バージニア州アーリントン) が資金提供しているプロジェクトだが、そのライバルとなりうるはずのニューメキシコ州のマグダレナリッジ天文台は、資金の問題で遅れている。米国航空宇宙局 (NASA) が資金を提供する光学干渉計は、ハワイ・マウナケア山頂の 2 基のケック望遠鏡 (口径 10 メートル) を使い、4 基から 6 基の小望遠鏡を少し離れた位置に追加して、VLTI 並みの能力を達成する計画だった。しかし、この山頂への追加建設計画は、2006 年、環境面と文化面の懸念から頓挫してしまっ

ただし、巨大望遠鏡が地球上で最も集中しているマウナケア山頂に、全員が見切りをつけたわけではない。パリ天文台の天文学者で OHANA (Optical Hawaiian Array for Nano-radian Astronomy = ナノラジアン天文学のためのハワイの光学干渉計) 計画の代表研究者である Guy Perrin は、マウナケア山頂の 7 基の巨大望遠鏡を結びつけ、800 メートルの基線をもつ光学干渉計とする計画を進めている。これがうまくいくことを実証するため、Perrin は既に 2 基のケック望遠鏡の光をありふれた光ファイ

バーで結合している。光ファイバーを使えば、望遠鏡をトンネルで接続する必要がなくなる³。

マウナケア山頂にいる Perrin に電話で連絡を取ったところ、彼は 3 月末から 4 月初めにかけて、計画の第二段階、つまり、ジェミニ北望遠鏡とカナダ・フランス・ハワイ望遠鏡とを光ファイバーでつなぐ作業で忙しかったという。Perrin は、チリの VLTI では光集積回路の開発に協力している。光集積回路を使えば、複雑な装置をおさめた大きな部屋を使わずに、小さなシリコンチップ上で効率的にビームを結合させることができる。

OHANA 計画が越えるべき技術的なハードルはまだ高いが、Perrin は「もっと大きな問題は、マウナケア山頂のすべての天文台に、望遠鏡を使える時間を同時に提供してくれるよう説得することかもしれない」という。研究者にとって望遠鏡を使える時間は貴重であり、そう簡単には譲れないものだからだ。彼は、「もし、干渉法が今日の天文学において極めて重要な技術であることを私たちが事前に示すことができれば、各望遠鏡を運営している科学者たちへの説得交渉は、ずっと簡単になるはずですよ」と話している。■

(翻訳: 新庄直樹)

1. Kloppenborg, B. et al. *Nature* **464**, 870-872 (2010).
2. Monnier, J. D. et al. *Science* **317**, 342-345 (2007).
3. Perrin, G. et al. *Science* **311**, 194 (2006).

ショウジョウバエの名前が変わる!?

What's in a name? Fly world is abuzz

REX DALTON 2010年4月8日号 Vol. 464 (825)
www.nature.com/news/2010/100407/full/464825a.html

ショウジョウバエ属の再編成が提案され、
キイロショウジョウバエがショウジョウバエ属でなくなるかもしれない。

遺伝学研究のスター、キイロショウジョウバエ (*Drosophila melanogaster*) の学名が変わってしまうかもしれない。

2010年4月1日、全動物種の学名の命名を監督する動物命名法国際審議会 (ICZN; 英国ロンドン) は、ある裁定を下した。2年以上も議論が続いた、ショウジョウバエ (*Drosophila*) 属の分割再編成でキイロショウジョウバエの学名が消えないようにする提案を却下し、キイロショウジョウバエと近縁種の数百種を適切な学名に改名する準備に入ったのである。これは、ショウジョウバエ種を使って研究をしている生物学者にとって、エイプリルフールの冗談ではない。

ショウジョウバエの学名議論は、フロリダ州立大学 (米国タラハシー) の生態学者 Kim van der Linde が、キイロショウジョウバエをショウジョウバエ属の基準種にする提議を ICZN に出したのが発端だった。ショウジョウバエ属は1450種以上を含む大規模な属であり、一部はショウジョウバエ属よりも他の属のハエに近いことが遺伝学的に示されている。そのため、いつ行くかは別にして、属を分割するなど、分類を見直さねばならないのはほぼ確実視されてきた。

現在の基準種はスジショウジョウバエ (*Drosophila funebris*) だ。規約によれば、属を分割した場合、基準種を含むほうに元の属名が引き継がれることになっている。そこで van der Linde は、ほかの研究と同様、ショウジョウバエ属が分割されてもキイロショウジョウバエの学名

が変わらないようにしたいと考え、いわば先回りの提案をしたのだった。

しかし今回、23対4で van der Linde の提案は否決され、基準種はスジショウジョウバエのままいくことになった。ICZN の委員たちは意見書の中で、時期尚早だと評し、その理由をショウジョウバエ属の編成に関する科学がまだ定まらないからだとしている。

一方で、ショウジョウバエ属の分割に伴う命名の混乱を最小限にしたいという意見も強い。キイロショウジョウバエは、約350種が含まれるシマショウジョウバエ (*Sophophora*) 亜属に入る。そこ



Drosophila は属の再編成を迫られている。

でこれを独立させて新しい属とすれば、再命名しなければならない種は、キイロショウジョウバエを基準種にする場合の1100種よりも少なくすむわけだ。

現在のデータに基づきショウジョウバエ属の改訂版を出したなら、キイロショウジョウバエの学名はおそらく *Sophophora melanogaster* となるだろう。しかし ICZN の事務総長 Ellinor Michel は、この超有名なハエは、たとえ新しい学名が付けられても、元の学名でよければ続けるだろうと語っている。

(翻訳: 船田晶子)

NEWS BRIEFING

金星に向けて航行中

EN ROUTE TO VENUS

2010年5月27日号 Vol. 465 (402)
www.nature.com/news/2010/100526/full/465402a.html

5月21日、日本の金星探査機「あかつき」を搭載した国産ロケットが打ち上げられた。探査機は12月に金星周回軌道に入り、金星の大気を調べることになる。金星の自転速度は時速6.5kmだが、大気はそれを上回る時速400kmという猛スピードで回転している。探査機は、この「スー

パーローテーション」現象の解明をめざすほか、金星表面の火山活動の調査も行う予定である。

今回、「あかつき」と相乗りする形で、IKAROS というソーラーセイル (太陽帆) の実証機も打ち上げられた。その目標は、太陽の光圧が宇宙船の推進力になりうることを世界で初めて実証す



ることにある。IKAROS は今後数週間かけて 14m² のポリイミド樹脂製の帆を開いていくが、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の技術者たちは、その複雑な工程に神経をとがらせている。

(翻訳: 三枝小夜子)

脳波を検出して言葉に変換する 「意思伝達マシン」を開発!

テレパシーが使えたら……。相手に自分の意思を伝えるのが難しい重度の神経疾患患者やその家族にとって、それはSFの話ではなく、切実で現実的な願いだ。これに近い技術が、長谷川良平博士らによって開発された。患者の脳波の変化を検出することで、「水を飲みたい」といった意思を、人工の音声で伝えることができるという。



はせがわりょうへい
長谷川 良平

—— Nature ダイジェスト：ブレイン-マシンインターフェイス (BMI) とは、どのようなものなのですか。

長谷川：「脳と機械をつなぐ手段となる技術」を指す総称です。コンピューターを介することが多いので、「ブレイン-コンピューター インターフェイス (BCI)」とよばれることもあります。BMI には、脳内に電極を埋める侵襲的 BMI と、頭皮を通して脳波などを測定する非侵襲的 BMI があります。

侵襲的 BMI の古い例としては、1960 年代に行われたラットを使った自己報酬刺激の実験システムなどがあります。こ

れは、ラットの快楽中枢に電極を埋め込み、ラットがレバーを押すと、そこに電流が流れて快楽が得られるようにしたものです。その後、サルや人の脳活動を記録してロボットアームを制御する技術の開発が盛んになりました。

ヒトを対象としたものでは、脳に電極を埋めてパーキンソン病を治療する「脳深部刺激治療」なども侵襲的 BMI の一種といえます。このように、BMI は、事故や疾病によって低下した脳や身体の機能を補償することで、患者さんたちの「生活の質 (QOL)」を向上させる新技術となると期待されています。

脳の基礎研究から応用へ

—— BMI に興味をもたれたきっかけは？

産業技術総合研究所に赴任するまでは、ヒトの高次脳機能の仕組みを明らかにするために、霊長類を対象とした神経生理学的な実験を続けていました。例えば、サルが「脳トレゲーム」のような行動課題を行っているときの脳活動を調べ、特定の運動をしようと思決定する際のみ活動するようなニューロンがないか、探したりしていました。

ちょうど私が留学した 1998 年ごろから、米国で BMI 研究が活発になりました。その雰囲気の間近で感じ、それまで自分が進めてきた「脳を理解するための研究」の成果が、BMI 開発に応用できるのではないかと考え、自分なりに実用的な BMI を作る研究を始めることにしました。

まず、動物が「二者択一の意味決定」を行っている最中の脳活動を記録し、それを単一の試行単位で解読する手法を模索し始めました。単一試行での解析はオフラインで行いましたが、BMI で重要なリアルタイムでの解析にも応用可能だと考えました。

このような研究を進めて国内外で成果を発表していくうちに、脳科学だけでなく、さまざまな研究分野の方々や新聞・雑誌などのメディアにも興味をもっていただけるようになりました。それとともに、疾患などによって自らの意思の表出が困難になった方々の現状を耳にする機会も増え、単に脳内意思を解読するだけでなく、解読した意思に基づいて

③効率的な意思伝達アプリケーション

「階層的メッセージ生成システム」



①モバイル脳波計 「8チャンネル超小型無線脳波計」



②高速・高精度脳内意志解読アルゴリズム 「仮想意志決定関数」

図1 ニューロコミュニケーターの概念図。

患者さんの意思伝達マシンは、3つの要素を結ぶネットワークで構成されている。視覚刺激を与えるのが「③階層的メッセージ生成システム」。これを見て決定された患者さんの意思は、脳波の変化となり、ヘッドキャップに取り付けた8つのセンサー「①8チャンネル超小型無線脳波計」で捕らえられる。この信号は、無線で解読のためのコンピューターに送られ、「②仮想意志決定関数」で判断される。するとその結果が人工の音声に変換され、患者さんが意志を伝えたい相手に送られる。

外部機器を実際に動かしてみることの必要性を痛感するようになりました。そのような中で、研究室にこもってばかりではユーザーのニーズとかけ離れた技術開発になってしまうとも考え、現在では、基礎的研究から実用化に至るまで、さまざまな段階の研究開発に同時に取り組んでいます。

——ニューロコミュニケーター（意思伝達マシン）は、どのようにして脳内の意思を読み取るのでしょうか？

今回開発したニューロコミュニケーター（図1）は、携帯電話の半分以下の大きさの「超小型無線脳波計」、患者さんの脳波をとらえる「ヘッドキャップ」、「コンピューターの端末」などが連動して機能します。ヘッドキャップに取り付けられた8か所のセンサーで、頭頂部を中心とした脳波を検出・増幅し、それを無線によって近くの制御用パソコンに送信します。利用に当たっては、患者さんにコンピューターの画面を通して視覚的な刺激を与え、個々の刺激に対する患者さんの脳波の変化を読み取ることで、「患者さんの意思」としていち早く検出します。

例えば、端末の画面に「りんご」、「みかん」、「いちご」の3種類の果物を示した図形が選択肢として提示されていて、そのうちの1つを脳波によって選んでもらう実験を想定してみましょう。被験者には、事前にどの果物を選びたいのかを頭の中で決めておいてもらいます。実験が開始すると、各図形が順次フラッシュします。被験者が選びたい図形に視線を合わせるだけで、ターゲットがフラッシュした瞬間に増強される脳波の成分（P300）が検出されます。

ただし、P300の出やすさや、よく出る電極位置、出るタイミングなどには個人差があるので、15分ほどかけて予備実験を行い、各個人に合わせたP300の出現パターンをコンピューターに学習させておきます。実験では、統計的手法を用いて、それぞれの果物に対するP300

の反応の有無を判別し、選んだ図柄を計算で導出します。

よく「候補の数だけ脳波のパターンが違うのですか」という質問を受けますが、実際には、各候補それぞれに「ターゲットであるかないか」の二者択一の解析を行っているのです、そのようなことはありません。被験者の慣れや電極の状態にも左右されますが、1時間ほど調整すれば、多くの被験者で90パーセント以上の成績を発揮できます。

意思疎通の支援ツール

——どのような患者さんに使えるのでしょうか？

ある程度の視力があり、かつ脳波が記録可能であれば使えます。眼球運動やまばたきを思うようにできない患者さん、耳が聞こえない患者さんなどでも大丈夫です。開発に当たって想定したのは、ALS（筋萎縮性側索硬化症）、脊髄小脳変性症、パーキンソン病などの神経系の難病が進み、家族との意思疎通が難しくなった患者さんですが、このような病気のご家族だけでなく、自閉症や脳性麻痺のお子さんをおもちの方からもたくさんのお問い合わせをいただいています。

試作機では、8つの選択肢からなる画面を階層的に3画面用意し、最大512種類（8の3乗）の組み合わせメッセージの作成を可能にしました。ユーザーの生活や嗜好に合わせてカスタマイズしていただければ、日常生活には足りるのではないかと考えています。

また、この階層的メッセージ生成メニューは、タッチパネルや頭部動作、筋電などさまざまな入力方式によって操作することができます。ニューロコミュニケーターを「意思疎通のための支援ツール」と広くとらえると、事故や疾病によって脳・身体機能に何らかの制限のある数十万人規模の方々が、潜在的なユーザーになるのではないかと考えています。

——実現のめどは？

既に、ALSの患者さんにご協力いただき、実用化に向けたモニター実験を始めています。まずは性能や使い勝手をさらに向上させる必要があります。その作業が終わって大量生産をするためには、研究所内にベンチャーを作るか、私たちの技術を民間に技術委譲するかはならず、そのための議論も近々に始めたかと考えています。

目標は、2～3年後の実用化にこぎつけることと、最終的な価格を10万円以下にすることです。意思疎通の支援を必要としている人が、携帯電話のように気軽に使えるとなるとよいと考えて、がんばっているところです。

——ありがとうございました。 ■

聞き手は、西村尚子（サイエンスライター）。

プレス発表「脳波計測による意思伝達装置『ニューロコミュニケーター』を開発」
http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2010/pr20100329/pr20100329.html

AUTHOR PROFILE

長谷川 良平

(独)産業技術総合研究所 ヒューマンライフテクノロジー研究部門 ニューロテクノロジー研究グループ長。1997年、京都大学大学院理学研究科修了（理学博士）。前頭連合野における意思決定の脳内機構を研究した。1998年、日本学術振興会海外特別研究員として米国立衛生研究所に留学。2002年、ノースウェスタン大学に赴任し、サルの上丘ニューロン活動を利用した侵襲的BMI開発の研究を開始した。2004年、産総研脳神経情報研究部門（現ヒューマンライフテクノロジー研究部門）に着任。研究員、主任研究員を経て現在、ニューロテクノロジー研究グループ長。サルやラットを対象に、高次脳機能の解明とそのBMI応用に関する研究を進めてきたが、最近、ヒトを対象にした脳波および直感的インターフェースの開発にも取り組んでいる。

化学

ホウ素アニオンの新しい合成法

Not just any old anion

野崎京子 2010年4月22日号 Vol. 464 (1136-1137)

ホウ素は「周期表の孤児」とよばれ、さまざまな特色ある化合物を作り出す。

例えば、周期表で右側の近隣元素と違って、ほとんどアニオン（負イオン）を形成しない。

今回、ホウ素アニオン（ボリルアニオン）を作る新しい手法が確立され、これによって、

今後、極めて珍しい錯体の合成が可能になるはずだ。

ホウ素とホウ素化合物の歴史は、長く、輝かしい。なかでも、ホウ素原子に有機基が結合した有機ホウ素化合物は、ほぼ間違いなく大きな注目を集めてきた。これらの化合物は、有機合成、特に炭素-炭素結合形成反応¹における試薬として、多くの重要な役割を担う。

珍しい有機ホウ素化合物群として、比較的不安定な原子リングをもつボロールがある（図 1a）。ボロールは、有機発光ダイオード用の新材料候補である。しかし、ボロールの合成方法は、かなり限られている^{2,3}。このたび、Braunschweig ら⁴は、ボロールアニオン（負イオン）の合成について *Angewandte Chemie* に報告した。ボロールアニオンは、意外な化学反応に関与するため、ほかのボロール化合物を合成する新しい道を開くかもしれない。

ホウ素は、周期表の2列目に属している。しかし、ホウ素アニオンの化学的性質は、その列のほかの *p* ブロック元素（フッ素、酸素、窒素、炭素）と異なっている。これらの原子は、例えば、フッ化リチウム中の F^- 、水酸化リチウム中の OH^- 、リチウムアミド中の NH_2^- 、メチルリチウム中の CH_3^- というようにアルカリ金属塩中でアニオンを形成する。しかし、類似のホウ素アニオン R_2B^- （ボリルアニオンとして知られる。R は水素または有機基）を含むアル

カリ金属塩が直接観察されたことは、長い間なかった。

このアニオンを形成しにくいという変わった性質は、ホウ素が主族元素（周期表中の遷移金属以外の元素）の「オクテット則」を満たさないことに起因する。オクテット則は、最外（原子価）殻に8個の電子をもつ主族原子が特に安定だ、という法則である。したがって、これらの元素は、8個の価電子をもつ化合物またはアニオンを形成する傾向にある。フッ化物、水酸化物、アミド、メチルアニオンはそのよい例である。

しかし、ボリルアニオンのホウ素原子は、価電子を6個しかもたない。ボリルアニオンは、隣接原子から2個の電子を受け入れることによって、あるいはほかの化合物と錯体を形成することによって、この価電子不足という問題をうまく回避できる。証拠は間接的なものであるが、そのような錯体はいくつか報告されてきた⁵⁻⁷。単離・特性評価された最初のボリルアニオンは、4年前に報告されている^{8,9}。この場合、アニオン性ホウ素原子は、隣接窒素原子からの電子供与によって安定化されていた。

Braunschweig らのボリルアニオン⁴は、全く異なる種類のものであり、 π ボリルアニオンと表現されている。注目すべきことは、それがボロール環をもつことだ（図 1b）。なぜボロールが非荷電

分子ではなくアニオンとして安定化しうるのかを理解するためには、別の化学則、すなわち芳香族性に関する「ヒュッケル則」について検討する必要がある。この法則は、環状平面分子が芳香族になるためにもつべき π 電子の数に関する式を規定している。 π 電子とは、 π 結合（不飽和炭化水素の二重結合など）を形成する電子のことである。その式は $4n + 2$ であり、 n はゼロまたは正の整数である。したがって、芳香族分子は、2個、6個、10個…の π 電子をもちうる。芳香族分子における π 電子の非局在化によって、これらの分子の熱力学的安定性が向上する。これは、芳香族安定化効果として知られる現象である。逆に、 $4n$ 個（4個、8個、12個…）の π 電子をもつ環状平面分子は、不安定であり、反芳香族と表現される。

ボロールは、環のそれぞれの炭素から電子を1個ずつもらうため、4個の π 電子をもっている。したがって、反芳香族と考えられる。しかし、ボロールは、ホウ素原子上に空の電子軌道をもっている。その軌道が新たに2個の電子を獲得すれば、その結果できたボロールジアニオンは6個の π 電子をもつことになり、芳香族になる。そのようなボロールジアニオンは既知であり、金属原子をもつ錯体に組み入れられることが多かった¹⁰⁻¹²。

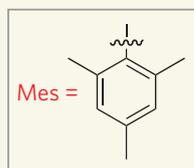
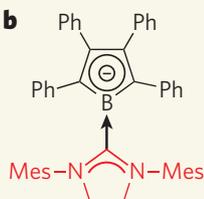
しかし、Braunschweig らのボロ

a



ボロール

b



c

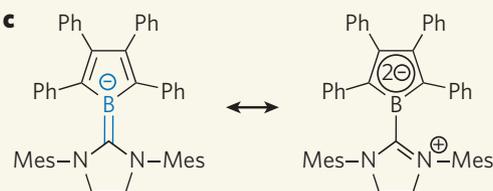


図 1. 安定なボロールアニオン。

a. ボロールは、炭素原子 4 個とホウ素原子 1 個と 2 つの C-C 二重結合を含む不飽和環系である。ボロール自体は本質的に不安定であり、単離されたことがない。B はホウ素。

b. Braunschweig ら⁴は、アニオン性ボロール含有錯体を単離して特性評価した。その錯体は、ボロールに孤立電子対を供与する (矢印) *N*-ヘテロ環カルベン (赤) の存在によって安定化されている。Ph はフェニル基。

c. そのアニオン性錯体中の電子は非局在化しているが、これらの「共鳴構造」は原子間で電子がどのように局在化しているかを示している。両矢印は、錯体の実構造が共鳴構造の混成体であることを示している。左側の構造は、ポラタアルケン基 (青) を含む。右側の構造では、2 つの負電荷がボロール環上に存在する。このことは、この共鳴構造では、ボロールが 6 個の π 電子をもつため芳香族となることを意味している。芳香族共鳴構造の存在は、錯体を安定化させるのに役立っている可能性がある。

ル⁴は、こうした慣例に逆らうものだ。なぜならそれは、モノアニオン、つまり新種のポリルアニオンだからである。このモノアニオンは π 電子を 5 個しかもっておらず、このため芳香族ボロールジアニオンほど安定ではない。しかし、この安定性の欠如を、*N*-ヘテロ環カルベンという化合物と錯体を形成することによって埋め合わせている (図 1b)。そのようなカルベンが、ほかのホウ素含有分子に 2 個の電子を供与することは既知である¹³が、カルベンがボロール種の安定化に使用されたのは初めてのことである。

Braunschweig らのボロール⁴の構造は、いくつかの異なる様式で描くことができ (共鳴構造として知られる; 図 1c)、分子中の電子分布の説明に役立つ。これらの構造の 1 つは、ポラタアルケン基 (負電荷をもつ炭素-ホウ素二重結合) を含んでいる。ポラタアルケン基と求電子剤 (正電荷部分を含む分子) は、通常、ポラタアルケン基の炭素原子と求

電子剤が結合するように反応する。しかし、Braunschweig らは、彼らの化合物がホウ素原子のところでしか求電子剤と反応しないことを見いだした。したがって、そのボロールモノアニオンは、通常、の極性が逆転したポラタアルケンの初例である。

ボロールモノアニオンのもう 1 つの共鳴構造は、このポラタアルケンの反応性の逆転を説明するのに役立つかもしれない。この共鳴構造では、ボロール環が 2 つの負電荷を擁しているため (図 1c)、芳香族になる。化合物全体の電子構造は、起こりうる共鳴構造すべての混成体と考えられるので、Braunschweig らのボロールでは、ジアニオンを含む共鳴構造がその化合物の異常な安定性の一因となっている可能性がある。

Braunschweig らの化合物の化学的性質を探究するために、今後、多くの研究が必要であることは疑いない。おそらく、最も興味深いのは、ボロールモノアニオン

が、合成困難なほかのボロール誘導体の合成に向けて、新たな道を開くかもしれないことである。もしそうなれば、おそらく最終的には、この魅力的な有機ホウ素化合物群の化学的性質を十分に理解できることになる。

(翻訳: 藤野正美)

野崎京子、東京大学大学院工学系研究科。

- de Meijere, A. & Diederich, F. (eds) *Metal-Catalyzed Cross-Coupling Reactions* 2nd edn (Wiley, 2004).
- Eisch, J. J., Galle, J. E. & Kozima, S. *J. Am. Chem. Soc.* **108**, 379-385 (1986).
- Wakamiya, A., Mishima, K., Ekawa, K. & Yamaguchi, S. *Chem. Commun.* 579-581 (2008).
- Braunschweig, H., Chiu, C.-W., Radacki, K. & Kupfer, T. *Angew. Chem. Int. Edn* **49**, 2041-2044 (2010).
- Parsons, T. D., Self, J. M. & Schaad, L. H. *J. Am. Chem. Soc.* **89**, 3446-3448 (1967).
- Blumenthal, A., Bissinger, P. & Schmidbaur, H. *J. Organomet. Chem.* **462**, 107-110 (1993).
- Imamoto, T. & Hikosaka, T. *J. Org. Chem.* **59**, 6753-6759 (1994).
- Segawa, Y., Yamashita, M. & Nozaki, K. *Science* **314**, 113-115 (2006).
- Segawa, Y., Suzuki, Y., Yamashita, M. & Nozaki, K. *J. Am. Chem. Soc.* **130**, 16069-16079 (2008).
- Loginov, D. A., Muratov, D. V. & Kudinov, A. R. *Russ. Chem. Bull.* **57**, 1-7 (2008).
- So, C.-W., Watanabe, D., Wakamiya, A. & Yamaguchi, S. *Organometallics* **27**, 3496-3501 (2008).
- Herberich, G. E., Wagner, T. & Marx, H.-W. *J. Organomet. Chem.* **502**, 67-74 (1995).
- Walton, J. C. *et al.* *J. Am. Chem. Soc.* **132**, 2350-2358 (2010).

材料科学

筋肉を模倣する

Muscle mimic

ELLIOT L. CHAIKOF 2010年5月6日号 Vol. 465 (44-45)

筋肉に含まれるタンパク質「タイチン」の分子構造を模倣した弾性ポリマーが作り出された。その材料は丈夫で伸縮性があり、エネルギーを分散させ、まるで筋肉そのものようである。

1953年にノーベル化学賞を受賞したHermann Staudingerは、1920年代、「十分に大きな分子が集合して生命は発生する」と提唱した。その後さまざまな実験が行われ、Staudingerの巨大生体分子の存在が確認され、そうした分子では、大きさと構造により、ナノスケール（分子レベル）でもマクロスケール（集合体全体）でも機能が決定されていることが明らかになった。そして今回、Lvら¹は、こうした生体高分子研究を大きく進展させ、*Nature* 2010年5月6日号にその成果を発表した。研究チームは、筋肉内のある生体分子に似た三次元的構造をもつタンパク質系材料を作製し、分子構造だけでなく全体としても筋肉に似た受動的、機械的な特性をもつことを明らかにした。この研究により、自然界の生体高分子の工学的に有用な特徴をまねて応用する人工生体ポリマーが作製可能であることが示された。

多くの構造タンパク質には弾性がある。つまり、可逆的に変形するのだ。しかし、タンパク質によってさまざまなやり方で、変形に伴うエネルギーの貯蔵や分散を行っている。繰り返し荷重を受けたときの構造疲労と破壊に耐えるタンパク質、コラーゲンやエラスチン、レジリンなどは、弾力性に富み、エネルギーの損失を最小限にとどめる。一方、そのほかのタンパク質、クモの糸やムラサキイガの足糸の繊維に含まれるものなどは弾力性に乏しい。弾力性により、繊維中の変形エネルギーが分散され、繊維

を含む系の構造的破壊につながりかねない、荷重によるあらゆる振動がやわらげられる。このように、構造タンパク質の弾性とエネルギー回復特性は、生体内での役割に合わせて微調整されており、心臓血管系や筋骨格系を含むさまざまな組織の正常な生理反応の重要な決定因子となっている。

これまで多くの研究者たちが、エネルギーを動作に変換することによって人工筋肉のように動く素材の発見をめざしてきた。その用途には、生物医学的な応用だけでなく、微小バルブや微小アクチュエーターといった非医学的な応用も挙げられる。このような人工的な非タンパク質性のゴム状弾性材料（エラストマー）は非常に有用だが、移植素材としては制約が大きい。例えば、組織の修復や再構築、再生を促進することはできず、組織と素材の境界面で、拒絶反応など生体の不適合反応を引き起こすことが多い。

そのため、人工ゴム状弾性材料の代替物として、天然のゴム状弾性タンパク質



タンパク質系の人工筋肉が開発されれば、車椅子の人も歩けるようになるかもしれない。

の特徴を模倣したタンパク質系材料が作製されてきている。そんな中、Urryらは、エラスチンを模倣したさまざまなタンパク質ポリマーを設計・作製するという、画期的な研究成果を発表した^{2,3}。これらのポリマーは、当初は合成化学的手法により作製されていたが、後に遺伝子組み換え生物にタンパク質を発現させる方法が用いられるようになった。また別の研究チームは、クモの糸^{4,5}やレジリン⁶の特徴を模倣した材料を作製した。この元となった天然のタンパク質には反復的なオリゴペプチド領域が含まれており、そこにはプロリン-グリシンモチーフが存在する。この1対のアミノ酸は、タンパク質の柔軟な折り返しや大きなランダムコイル構造に寄与している。天然材料の弾性は、こうした構造によるものだと考えられている⁷。

今回Lvら¹は、別のゴム状弾性タンパク質「タイチン（コネクチン）」の特性を模倣したタンパク質系材料を作製しようと考えた。タイチンは、筋肉の収縮系を構成するミオシンおよびアクチンという繊維の相対的な位置関係を弾力的に安定化させている。このような特性は、タイチンのI帯とよばれる部分によってもたらされている。I帯は複雑な分子のばねで、免疫グロブリン（Ig）スーパーファミリーのタンパク質に特徴的な折りたたみ領域の連続と、PEVK領域とN2B領域とよばれる2つの非構造領域によって構成されており、独特の機械的反応を示す。筋肉が伸びると

き、加えられた応力により、まずI帯が最初のコイル状の構造から引き伸ばされ、続いてPEVK領域とN2B領域が伸ばされる(図1)。非構造領域が伸びきると、いくらかのIg領域もほどかれることになる。この作用によってエネルギーが分散され、伸ばしすぎによるタンパク質の損傷が最小限に抑えられる。筋肉が収縮するときは、タイチンは元のもつれた構造に戻る。

タイチンの可逆的な変形能力により、筋収縮系の受動的弾性と、伸縮する際の可逆的復元力が生み出される。少しだけ伸ばした場合には、PEVK領域とN2B領域の機械的応答によりタイチンは弾性を示すが、大きく伸ばした場合には、タイチンは固くなって力を分散する。タイチンのもつ、弾力性のある状態と力を減衰させる状態とを即座に切り替える能力は、心筋や骨格筋にとって極めて重要な要素となっている。

Lvら¹は、独創的な方法により、まず、タイチンを模倣した人工的なゴム状弾性タンパク質を作製した。それは、タイチンのIg領域を模倣した球状タンパク質領域(GB1タンパク質)と、非構造領域N2Bを模倣したレジリン由来の反復的なアミノ酸配列からなる。連鎖球菌属細菌に由来する小さなGB1タンパク質は極めて効果的な分子ばねであり、可逆的、迅速、かつかなり正確に折りたたみ直されるうえ、伸長と緩和のサイクルを繰り返しても機械的疲労が少ない⁸。研究チームは、遺伝子組み換え大腸菌を作製してこのGB1レジリンタンパク質を発現させ、その分子を光化学的に架橋させてゲル状の素材を作り出した。こうして、連続的な分子ばねとして、機械的耐性がある折りたたまれた球状領域をもつ最初の材料、GB1レジリンポリタンパク質が生まれた。

GB1レジリンポリタンパク質は、タイチンと同様、少しだけ伸ばしたときにはレジリン配列による高い弾性が認められ、さらに伸ばしていくと、弾性が低下して力を減衰させる反応がみられた。重

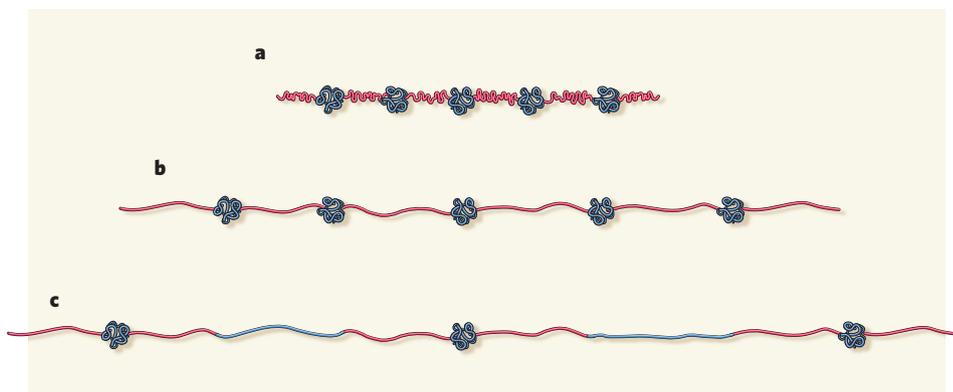


図1 タイチンをほどく。a. タイチンタンパク質は筋細胞の収縮系の一部を形成し、折りたたまれた領域(青)と、その間にある非構造領域(赤)で構成されている。b. タイチンを伸ばすと、まず非構造領域が伸びる。c. さらに引っ張ると、折りたたまれた領域の一部がほどける。Lvら¹は、折りたたまれた領域と非構造領域をもつ人工タンパク質を作り、筋肉の受動的弾性を模倣することを発見した。

要なのは、力を加えるのをやめると材料の弾性が速やかに回復したことだ。これは、伸びたGB1領域が元の折りたたまれた構造に戻るときの、GB1領域の非共有結合の再形成速度を反映している。これまで、非生物性のポリマーを使ってタンパク質の複雑な三次元構造を模倣しようという研究が進められているものの、非タンパク質系分子ばねの集合体からなる人工ゴム状弾性材料では、伸長の度合いによって弾性が変わるものは、いまだ生み出されていない。

Lvらが作製した人工弾性材料¹は確かにすばらしいものだが、本当に筋肉を模倣できているのだろうか。筋肉は複雑な分子システムをもち、さまざまな構成要素が秩序だった構造に組み立てられていて、刺激を動作に変換できるようになっている。タイチンは筋肉の主要な構成要素だが、伸長強度や、力を生み出したり感知したりする能力など、筋肉のすべての特性が模倣タイチンだけで再現されるわけではない。また、タンパク質系材料は自己再生機能がないため、移植後の生分解プロセスにもとより弱く、「異質な」タンパク質の断片が生体内に放出される可能性がある。そのため、生物医学的応用に際しては慎重に評価し、いかなる断片も有害な免疫反応を起こさないことを確認する必要がある。今後の研究

では、間違いなくこのような問題への取り組みがなされるだろう。そして、人工弾性材料の構成要素の組み立てに画期的な設計や製作技術が生み出され、移植後に、中枢神経からの命令に応答し、それを実行できる機能が繰り返して再現される人工筋肉が作製されるだろう。

Staudingerが推測したように、「生命はさまざまな生体高分子が集合してできた寿命のあるらせん」と考えられる。Lvらのほかにもさまざまな研究チームにより、タンパク質の糸を独特の構造に紡ぎ上げる新しい方法が提示されており、全体として機能特性をもつ分子機械やナノスケールの装置、分子レベルで作製された人工組織という未知なる分野への扉が開かれつつある。

(翻訳: 小林盛方)

Elliot L. Chaikof, エモリー大学医学系大学院(米国) およびジョージア工科大学大学院化学生体分子工学研究科(米国)。(同分野で競合特許を申請中)

1. Lv, S. et al. *Nature* **465**, 69–73 (2010).
2. Urry, D. W., Haynes, B., Zhang, H., Harris, R. D. & Prasad, K. U. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **85**, 3407–3411 (1988).
3. Urry, D. W. et al. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* **357**, 169–184 (2002).
4. Cappello, J. et al. *Biotechnol. Prog.* **6**, 198–202 (1990).
5. Rabotyagova, O. S., Cebe, P. & Kaplan, D. L. *Biomacromolecules* **10**, 229–236 (2009).
6. Elvin, C. M. et al. *Nature* **437**, 999–1002 (2005).
7. Kim, W. & Conticello, V. P. *J. Macromol. Sci. C* **47**, 93–119 (2007).
8. Cao, Y. & Li, H. *Nature Mater.* **6**, 109–114 (2007).

遺伝子特許を見直すときが来た

Testing time for gene patents

2010年4月15日号 Vol. 464 (957)

米国の裁判所が遺伝子特許に予想外の判決を下した。

これを契機に、患者が遺伝学研究的恩恵をきちんと得られるよう、現在の遺伝子特許のあり方を刷新する必要がある。

1990年代以降、特定の遺伝子配列に特許を与えることを巡って、論争が絶えない。しかし米国の裁判所は、一貫して遺伝子特許を支持してきた。特に激しい論争のあるヨーロッパでさえ、遺伝子特許は1998年に法制化された。こうして、好むと好まざるとにかかわらず、遺伝子特許は知的財産制度の一角に定着する運命にあると考えられてきた。

しかしそれは3月29日までのこと。米国ニューヨーク南部地区連邦地方裁判所が、乳がんと卵巣がんのリスクを評価するために用いられるBRCA1、BRCA2両遺伝子の変異型に対する特許を無効とする判決を下し、バイオテクノロジー関係者を震撼させたのだ。

これらの特許はMyriad Genetics（米国ユタ州ソルトレークシティ）が独占的ライセンスを保有し、権利の保護を積極的に進めてきた。これに対し、患者、研究者、臨床医からなるグループが2009年に同社を提訴、そこには「この特許によって医学研究が妨げられている」という主張が入っていた。そして今回、Robert Sweet連邦地方裁判所判事は、原告の主張におおむね沿った判決を下したのだ。

大々的な報道はさておき、業界の観測筋と法律の専門家は、今回の判決が遺伝子特許に対して現実の脅威となる可能性はほとんどない、としている。他の裁判所では、Sweet判決に迫随する動きはみられず、Myriad Genetics社も控訴した。控訴審はワシントンD.C.にある連邦巡回控訴裁判所で行われる予定で、最終的には特許権者に有利な判決が出るだろう

と予想されている。

しかし、Sweet判決が反映しているのは、遺伝子特許が遺伝子検査に悪影響を与えるという懸念の高まりだ。待望久しい個別化医療が実現に近づくにつれて、臨床現場において、遺伝子検査の存在感が高まっている。この現実に対応するには、遺伝子特許に対して、現在のような一元的な基準でなく、もっと精緻で洗練された考え方が必要になる。

遺伝子検査自体にも革命が起きている。BRCA1、BRCA2検査法のような古典的な「1～2個の遺伝子の変異型に基づく検査法」が、「多くの遺伝的特徴が関係した複雑な解析法」に取って代わられつつある。例えばQT延長症候群という遺伝性心臓疾患の検査では、十数種類もの遺伝子が検査対象になる。さらに、この解析法もいずれ「全ゲノム配列解読による検査」に置き換わっていくはずだ。

こうした状況下で、もし、1遺伝子を単位とした特許制度を厳格に実施すれば、遺伝子検査は「特許のやぶ」の中で身動きがとれなくなってしまう。ある遺伝子検査をしようとする、事前に、複雑にからみ合った特許交渉を済ませておく必要があるからだ。

当然のことに、患者や研究者による利用が制限される懸念もある。ただこれは、すべてにいえるわけではない。例えば嚢胞性線維症に関連した遺伝子変異検査については、特許が与えられているが、特許権者は数多くの企業とライセンス契約を結んでおり、その結果、独占状態は生まれていないからだ。

それでも、米国保健社会福祉省の諮問委員会は、社会の懸念を考慮して、遺伝子特許が遺伝子検査に与える影響を分析し、2010年2月に報告書をまとめた。ここで注目されるのは、特許の効力が及ぶ分野を明確に2つに分類したことだ。

1つが遺伝子検査分野で、ここには、検査担当者が単に遺伝子配列を観察することも含まれる。もう1つがバイオ医薬品開発の分野で、特許権者は発明の基盤として遺伝情報の権利を行使する。この2つをきちんと分けて考えようというのである。

そのうえで、諮問委員会は、臨床現場で遺伝子検査の利用機会を確保する点を重要視し、「特許の侵害があっても、それが研究や遺伝子検査の過程で起こったものであれば、特許権の行使を認めるべきではない」と勧告した。

この勧告には、今後詰めていかねばならない細かな論点が残っているし、前途も不透明だ。Kathleen Sebelius保健社会福祉長官は、変更点を議会に勧告するかどうか決めておらず、法案も提出されていない。また、萌芽期の遺伝子検査業界にとって痛手となることを恐れるバイオテクノロジー関連のロビイストや一部議員から、既に厳しい抗議の声が上がっている。それでも、諮問委員会は前進のために一石を投じたといえよう。

どんな道を選ぶにせよ、Sebelius長官、議会、そしてバイオテクノロジー業界は、迅速に行動し、「患者も研究者も、同じように貴重な遺伝情報を利用できる」という基本原則を確立すべきである。 ■

(翻訳：菊川要)

論文オープンアクセスへの模索

Open sesame

2010年4月8日号 Vol. 464 (813)

科学論文の無料公開を拡大しようとする政府の力が強まっている。

これに応じて、科学出版は多様化しつつある。

インターネットの普及は、一次科学文献の出版事業を根底から覆す過激なアイデアを生んだ。それは「論文誌が、読者や図書館から定期購読料を徴収する代わりに、著者から掲載料を徴収すれば、世界中の誰もが、査読論文を無料で読めるようになる」というものだ。

このアイデアは感情的な論争を巻き起こし、オープンアクセスを支持する人と、出版社・図書館・研究助成機関との間で、さまざまな対立が生じた。しかし現在では、「変化を避けることはできないが、建設的な変化を生み出すためには時間と発想と実験が必要だ」という共通認識ができつつある。

オープンアクセスの先駆者は非営利団体 Public Library of Science (PLoS) と営利会社 BioMed Central で、著者負担モデルでも収益を上げられることを実証した。ただ、成功した反面、厳しい現実も味わっている。

2003年のPLoS発足時の目標は、1論文当たりの著者負担1500ドル（約14万円）で、インパクトの高い論文誌を黒字化することだった。ところが現実には2900ドル（約26万円）にもなってしまう、全体の財務状態は、電子版論文誌 *PLoS ONE* に掲載される大量の論文に大きく依存することになっている。こちらの低コスト論文誌は、著者負担は1論文当たり1350ドル（約12万円）だが、論文の価値について編集上の判断が下されることはなく、査読を実施して、専門的根拠に基づいた論文であることを単に認定するだけとなっている。

課題は明確だ。*Science* や *Nature* など

では、高い選択性、総説論文など付加価値のある編集コンテンツ、またウェブサイトの付加拡張機能などにかかる経費を、定期購読料で賄っている。それが *PLoS ONE* の著者負担の数倍になるということだ。したがって、著者負担モデルは、低コスト論文誌なら実行可能かもしれないが、高レベルの論文誌まで拡大されるかどうかはわからない。研究機関がどの程度の掲載料予算を認めるかにかかっていると思われる。

一方で、貴重な中間モデルとして確立しているのが、ハイブリッド方式だ。「著者が一定の料金を支払えば、その論文を直ちに無料公開する」というオプションのついた論文誌である。私たちは、*Nature* の姉妹誌として初めて、このタイプの *Nature Communications* を創刊した。科学出版業を調査した経済学者が指摘するように、この業界は、最終的には、単一方式ではなく、オープンアクセス、定期購読誌、ハイブリッド誌が共存する状態へと進化するのかもしれない。

現在、特に生物医学のような一般市民の関心の高い分野において、文献利用の機会拡大を求める声が大きくなっている。立法府の議員や研究助成機関からも。こうした要求は、少なくとも近い将来、別の形のオープンアクセスモデルによって満たされる可能性が高い。2007年に制定された米国の法律では、国立衛生研究所 (NIH) の研究者は、論文を発表から12か月以内に PubMed Central のリポジトリで公開することが義務づけられた。オバマ大統領が、これをすべての連邦研究機関に拡大する大統領

令を発するという観測もある (*Nature* 2010年4月8日号 822 ページ参照)。同じ趣旨の法案が米国上院に提出されており、まもなく下院にも提出される可能性がある。

Nature は、これまで一貫して、公開への動きを支持・支援してきた。ただし、論文誌への掲載からアーカイブへの論文寄託までの期間については、柔軟性をもたせるべきだと考える。NIH は当初、公開制限期間を6か月とするよう主張したが、一部出版社から抗議を受け12か月に延長した。政府は、一律の公開制限期間を課してはならない。

現在、多くの大学図書館が大幅な経費削減に直面している。PubMed Central のようなアーカイブで、最新のコンテンツ以外のすべてが無料利用できれば、論文誌の定期購読を打ち切りたい誘惑にかられるだろう。こうした事態は、社会科学のような分野の論文誌を狙い撃ちする危険性が高い。分子生物学など動きの速い分野と比べて、社会科学の研究者は、古い文献を利用する頻度が高らかに多いからだ。

出版社は、市民のアクセスを向上させるという義務を果たしつつ、事業を危険にさらさないよう努力し続けなければならない。それゆえ、公開制限期間には交渉の余地を残しておく必要がある。その一方で、出版社は、科学と市民との間に結ばれた社会契約が、間違いなく、公開性を高める方向に進化していることをしっかりと認識すべきである。 ■

(翻訳：菊川要)



Volume 465
Number 7294
2010年5月6日号

スプライシングコードの謎を解く：RNA塩基配列から予測される選択的スプライシングのパターン

CRACKING THE SPLICING CODE: Alternative splicing patterns predicted from RNA sequences

単独の遺伝子から2つ以上の異なるタンパク質が生成できるようになる選択的スプライシングは、脊椎動物ゲノムのコーディング容量を大幅に増やしている。選択的スプライシングは、1つの遺伝子がどのように細胞過程を制御するのかを決定付け、また多くのヒト疾患にみられる変異はスプライシングに影響を及ぼしている。選択的スプライシングを受けた異なるメッセンジャーRNAの発現を、ゲノム塩基配列データから予測できるようにすることは、遺伝子発現の分野で長らく追求されてきた目標である。トロント大学のFreyたちとBlencoweたちは、数千のエキソンについて、数百のRNA特性が協働して組織依存的な選択的スプライシングを調節する仕組みを正確に予測する「スプライシングコード」を解読した。これを用いて、発生過程と神経学的過程で選択的スプライシングがどのように重要な役割を果たしているかが予測され、スプライシング調節機構に関する手がかりが得られた。また、このコードを組み込んだウェブツールを作り、機能が未知のエキソンとイントロン塩基配列を探索して、組織特異的なスプライシング・パターンを予測できるようにした。

格や基質として組織工学での使用に適している可能性がある。

構造生物学：暗所で緑化を起こす物質

Dark greening materials

一部の光合成生物（例えばマツの実生などの裸子植物）は暗所で緑化することが可能で、これはエンドウのような被子植物の芽生えの緑化に光が絶対に必要なのと対照的である。この暗所での緑化に働く酵素が、暗所作動型プロトクロロフィリド (Pchl_{id}) 酸化還元酵素 (DPOR) で、クロロフィル *a* の直接の前駆体であるクロロフィリド *a* を形成するために必要な Pchl_{id} の C17=C18 二重結合の立体特異的な還元を触媒する。今回、紅色光栄養細菌である *Rhodobacter capsulatus* 由来の DPOR の成分である NBタンパク質の結晶構造が決定された。この構造から、Pchl_{id} の C17=C18 二重結合の還元機序と考えられる化学反応機構が示唆された。また、DPOR はよく知られた窒素固定酵素であるニトロゲナーゼと似ており、窒素固定と暗所でのクロロフィル形成の分子機構の関係が進化的に近いことが考えられる。

生理：水の味の分子基盤

A taste of water

動物が生きていくには環境の中で水を見つけなければならないが、それをどのようにして行っているのかはまだわかっていない。今回、デジェネリン / 上皮性ナトリウムチャンネルファミリーのメンバーである PPK28 が、キイロショウジョウバエ (*Drosophila melanogaster*) の水の味覚受容器であることが突き止められた。このファミリーのほかのタンパク質は、機械刺激および塩分刺激の検出にかかわっていると考えられている。



医学：C型肝炎の新しい治療薬

New drugs for hepatitis C

C型肝炎ウイルス (HCV) に直接的に作用して、慢性感染を治療するための抗ウイルス薬の開発は、臨床必要性が高く、ウイルスのプロテアーゼである NS3、および HCV 複製に不可欠な RNA 依存性 RNA ポリメラーゼである NS5B という2つの酵素の阻害剤に研究がおおむね集中して行われてきた。BMS-790052 は、化学遺伝学によって強力な HCV 特異的阻害剤であることが突き止められた化合物で、非構造タンパク質 5A (NS5A) という、酵素活性がわかっていない第三のウイルス分子の低分子阻害剤である。今回、ブリストル・マイヤーズスクイブ社の研究チームは、BMS-790052 の発見とウイルス学的な特徴を報告し、また、健常者と HCV 感染患者で行われたこの化合物を用いた臨床試験の結果を公表している。これらの結果は、HCV の NS5A の阻害が臨床的に適切な機序

であるということの概念実証に当たる。*in vitro* のデータからは、既知の HCV 阻害剤との相乗的な相互作用が示されており、抗ウイルス薬のカクテルが実行可能な治療法となると考えられる。

材料科学：筋肉を模倣する

Muscle mimicry

S Lv たちは、性質がよくわかっていてゴム状弾性をもつ人工タンパク質 GB1 を、昆虫がもつタンパク質レジリンと組み合わせ、筋肉の受動的弾性の大部分を支配しているタンパク質であるタイチンの分子構造を模倣する人工タンパク質を作製した。この新しいタンパク質は、構造化されたドメインと構造化されていないドメインが組み合わされており、架橋させて固体にできる。そうして作られる生体材料は、ひずみが小さい場合には弾力性があり、ひずみが大きい場合には伸展性がある粘り強く、筋肉の受動的特性を模倣しており、人工筋肉の骨



Volume 465
Number 7295
2010年5月13日号

ずっと残った痕跡：オルドビス紀のバージェス頁岩型動物相 LASTING IMPRESSIONS: A Burgess Shale-type fauna from the Ordovician

カナダのプリティッシュ・コロンビア州にあるバージェス頁岩は、約5億1000万年前の中期カンブリア紀の極めて多様な軟体性生物の化石を含むことで有名であり、海中に生息した大昔の動物をうかがわせてくれる。現在、類似の動物相は、遠く離れた中国とグリーンランドでも発見されているが、そうした動物相は中期カンブリア紀末には消滅してしまったと考えられ始めていた。だが、「バージェス頁岩型」の動物相が、約4億8000万～4億7200万年前の前期オルドビス紀に当たる、下部および上部 Fezouata 累層（モロッコ）で発見された。この種の生物は、カンブリア紀以降にも、明らかに生き延びていたのである。これには、絶滅や存続の問題だけでなく、こうした軟体性動物の化石が偶然保存されたことも大きくかかわっている。この Fezouata 動物相は、バージェス頁岩の群集とオルドビス紀の大々的に起こった生物多様化の初期段階とをつなぐものである。オルドビス紀の爆発的生物多様化は、かつては貝殻の化石だけしか得られていなかった海生生物の歴史の中で、最もめざましい出来事の1つである。

細胞：iPS細胞のカギとなる遺伝子クラスター

Key gene cluster in iPS cells

人工多能性幹（iPS）細胞が胚性幹（ES）細胞とどの程度同等であるかは、いまだに結論の出していない問題である。ES細胞と比べると、iPS細胞には何百もの遺伝子の異常な発現がみられるとする報告もいくつかある。しかしiPS細胞は、発生能に関する最も厳密なテストの1つである、完全にiPS細胞に由来するマウスを四倍体胚補完法により作出できるかという問題では、合格点に達する能力をもっている。Stadtfeldたちは今回、複雑な要素を最小限に抑えて、この問題に取り組むために、遺伝的に同一なマウスES細胞とiPS細胞での遺伝子発現を比較した。mRNAおよびマイクロRNAの全体的な発現パターンは、染色体12qF1上のインプリント遺伝子クラスターにコードされる少数の転写産物と20種類未満のマイクロRNAを除いて、区別がつかないことがわかった。つまり、iPS細胞の発生能は、この部位

で遺伝子が抑制されるか、あるいは活性化されるかに依存している。

細胞：神経活動応答性エンハンサーの新しい機能

Activity-regulated enhancers

遺伝子の調節タンパク質は、プロモーターのmRNA転写開始部位付近の非コードDNAか、ゲノム上で遠く離れた位置にあるエンハンサーの非コードDNAのどちらかに結合する。エンハンサーは、プロモーターにRNAポリメラーゼを引き寄せるのを助ける働きをする。今回、ゲノム規模の塩基配列解析により、神経細胞の電気的活動に応答する1万個以上のエンハンサーを調べ、この調節過程でエンハンサー自体のところへもポリメラーゼが誘導され、そこで非コードRNAを転写することが明らかになった。この「エンハンサーRNA」（eRNA）合成が起こるのは、プロモーターからのmRNA合成を活発に促進しているエンハンサーに限られている。この結果は、少なくとも脳内では、エンハンサーが遺伝子発

現の調節でこれまで考えられていた以上に、積極的な「プロモーターに似た」役割を果たしていることを示唆している。

進化：生物はすべて1つの大家族

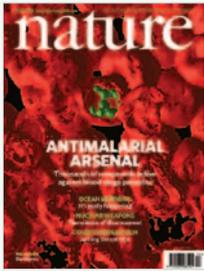
One big family

ダーウィンが述べたような、「温かい小さな池」で全生物の共通祖先（universal common ancestry；UCA）が生じ、地球上のあらゆる生物は遺伝学的に血縁関係にあるという考え方は、現在の進化理論の中心となっている。UCAに関する古典的な意味での証拠は多数あるものの、概して定性的であり、理論に対して型どおりの定量的な検証が行われたことはほとんどない。また、多くの生物で大規模な遺伝子水平伝播が認められることにより、UCAという考え方には疑問が投げかけられてきた。今回D Theobaldは、UCAという考え方を形式的仮説の1つと見なし、広く保存されているタンパク質のアミノ酸配列のベイズ統計解析を用いて、遺伝的類似性が系統的近縁性を反映すると仮定せずに、別の複数のモデルと結果を対比させる検証を行った。軍配はUCA説に上がり、生物の単系統性は、競合するあらゆる仮説に対して圧倒的に優勢であった。

医学：ALSにみられるオプチニューリン異常

Optineurin defects in ALS

運動ニューロン疾患である筋萎縮性側索硬化症（ALS）の患者の約10%は家族性だが、これまでに見つかっている少数の変異では、こうした症例の20～30%しか説明できない。今回、家族性ALSの家系内の個人を対象とした新たな研究により、オプチニューリンをコードするOPTN遺伝子で、これまで知られていなかった3つの変異が見つかった。OPTNはまれな疾患である家族性緑内障の原因遺伝子であることが、既に報告されている。オプチニューリンは、調節タンパク質であるNF-κBの活性化を阻害するが、変異体ではこの機能が失われていることから、NF-κBの阻害剤はALSの治療に役に立つかもしれない。



Volume 465
Number 7296
2010年5月20日号

マラリアと戦うための武器庫：血液段階のマラリア原虫に効果のある数千の化合物

ANTIMALARIAL ARSENAL: Thousands of compounds active against blood-stage parasites

マラリア感染は、現在でも毎年ほぼ2億5000万例が報告されている。80万人以上が死亡し、その大半は5歳未満の小児である。熱帯熱マラリア原虫は、薬剤耐性を獲得しやすいことで悪名高く、新たな薬剤が緊急に必要とされている。今回、アルテミシニンに替わる薬剤の開発に期待をもたせる2つの研究が発表された。これらの研究によって、赤血球中で熱帯熱マラリア原虫の無性世代の成長を阻害する数千種の化合物が同定された。その多くは、現在使用されている薬剤とは構造および作用機序が異なっている。Guiguemdeたちは、30万種類以上の化合物を対象として化学遺伝学の手法によるスクリーニングを行い、1300の「ヒット」化合物中には、非常に有望で治療濃度域が広い561種が含まれていることを明らかにしている。Gamoたちは、グラクソ・スミスクライン社の化学物質ライブラリーにある約200万種類の化合物をスクリーニングし、1万3500を超えるヒット化合物を見いだして、その多くは多剤耐性をもつマラリア原虫株に対して効果があることを報告している。これらの研究は有望なリード化合物の豊かな供給源を提供しており、新規抗マラリア薬を探索する研究者は結果を無料で入手できる。

を高分解能で初めてとらえたものであり、酵母という単純な生物のゲノムでさえ非常に複雑な構造であることがはっきり示された。

医学：細菌をもって細菌を制す

Bacterial rivals at odds

黄色ブドウ球菌は健康な人の鼻腔にしばしば存在し、病原性感染がこの無害な初期定着菌群に由来することも多い。また、常在細菌である表皮ブドウ球菌も鼻腔内に定着する。今回、岩瀬忠行（東京慈恵会医科大学）たちは、一部の表皮ブドウ球菌が分泌するセリンプロテアーゼ Esp が、黄色ブドウ球菌のバイオフィルム形成を阻害し、またその鼻腔内定着を減少させることを示した。このことは、多剤耐性菌株による感染も含めた、黄色ブドウ球菌感染の予防や治療に対する新しい方策を示唆している。

植物：マイクロRNAと細胞運命

MicroRNAs and cell fate

古典的植物モデルのシロイヌナズナ (*Arabidopsis*) を用いた植物の根の発生に関する研究で、miRNA165/6というマイクロRNAが細胞間のコミュニケーションにかかわっていて、根細胞の運命決定因子として働いていることが明らかになった。根から葉や茎へ水や溶質を輸送する木部の管構造のパターン形成が、今まで知られていなかった二方向性のシグナル伝達経路、つまり、ある方向への転写因子の細胞間移動とそれとは逆方向へのマイクロRNAの細胞間移動に依存していることがわかったのである。中心柱で生成する転写因子 SHORT ROOT は内皮に移動し、そこで転写因子 SCARECROW と協同して、MIR165a および MIR166b というマイクロRNAを活性化化する。次いで、それが維管束の細胞で、III型ホメオドメイン-ロイシンジッパー転写因子をコードするメッセンジャーRNAを標的として分解する。この調節経路に、進化的に保存された転写因子およびマイクロRNAのカスケードが関与していることは、この経路が陸上での成長への進化的適応である可能性を示唆している。

宇宙：従来と違う型の超新星

SN2005E: untrue to type

暗い超新星SN2005Eの新規な特徴は、今までに確立された超新星の分類に容易には当てはまらない。Ib型、Ic型、II型、重力崩壊型超新星は、大質量星がその生涯の終わりに爆発するときを生じ、Ia型は質量降着している白色矮星の熱核爆発で生じると考えられている。Peretsたちは分光データから、SN2005EがIb型のようにヘリウム過剰で、Ia型に特有の水素、シリコン、硫黄のスペクトル線を欠くと結論している。しかし、SN2005Eが「古い」星の環境に存在し放出物の量が少ないことから、重力崩壊型起源ではなく、低質量で古い前駆星、おそらく連星系でヘリウムが降着している白色矮星であろうとしている。一方、川端弘治（広島大学）たちは、SN2005EはSN2005czに似ており、楕円銀河の中で見つかることは異例といえ

るIb型超新星であるとしている。彼らは、SN2005EとSN2005czは共に、爆発を起こす質量の低質量側（太陽質量の6～12倍）の大質量星の重力崩壊型爆発の結果生まれたとすると、最もうまく説明できると考えている。

細胞：3Dで見るゲノム

A genome in 3D

出芽酵母の染色体内や染色体間での相互作用を示す地図が、ハイスループットな染色体コンホメーション捕捉法を用いてキロ塩基の分解能で作製された。その結果、核内にある染色体の三次元構造が明らかになった。ゲノム全体の形はスイレンの花に似ており、核の極の1つにセントロメアが集まり、この土台から染色体の腕32本が突き出している。この三次元地図は、染色体が動的存在であることは度外視したスナップ写真に相当するが、真核生物のゲノムの構造



Volume 465
Number 7297
2010年5月27日号

エネルギーの基盤：呼吸鎖複合体 I の構造

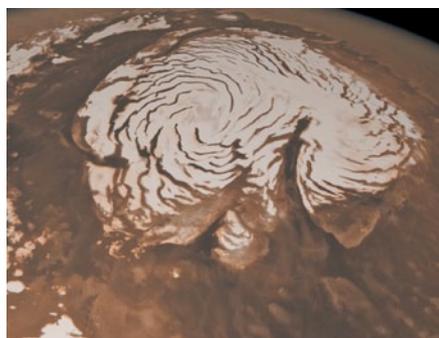
POWER BASE: Architecture of respiratory complex I

呼吸鎖複合体 I は呼吸鎖の 1 番目の酵素であり、NADH とキノン間の電子伝達をプロトン転位に共役させることにより、ミトコンドリアでの細胞のエネルギー産生に中心的役割を果たす。この巨大複合体は、機構と完全な構造がわかっていない最後の呼吸鎖構成要素であった。今回、大腸菌 *Escherichia coli* の複合体 I の膜ドメインと、高度好熱菌 *Thermus thermophilus* の複合体 I の全体構造が決定された。構造は共役機構についての強力な手がかりを与える。2 つの主要ドメインの界面における立体構造変化が長い α ヘリックスにピストン様運動を引き起こし、近傍の膜貫通ヘリックスを傾けて、その結果プロトンの転位が起こるらしい。

宇宙：レーダーで見た火星

Mars on the radar

火星の北極冠は、この惑星全体を深さ数メートルの水で覆うのに十分な量の水を含んでおり、非常に目立つ 2 つの大きな地形的特徴を備えている。それらは、巨大なボレアレ峡谷と渦巻き状の一連の地溝で、形成された過程はまだはっきりしていない。今回、これら 2 つの地形の詳細な歴史について、マーズ・リコネサンス・オービターのレーダー測深機から得られたデータに基づいて検討した 2 つの論文が発表された。J Holt たちは、ボレアレ峡谷は破壊的な事象ではなく、堆積過程によって形成されたことを示している。もう 1 つの論文で I Smith と J Holt は、中心の地溝の形成原因は極氷の浸食による切り込みではなく、こちらもおおむね堆積過程によって形成され、過去 200 万年間に極域方向に移動し上昇したと結論している。



火星の北極冠。渦巻きの右側に峡谷がある。

進化：ヨーロッパにもいた角竜類恐竜

Horned dinosaurs in Europe

角竜類恐竜は、白亜紀後期の東アジアおよび北米西部の動物相に特徴的な構成群であり、通常はこの 2 つの地域に固有のものだと考えられている。角竜類がこれらの地域以外に生息していた可能性を示す手がかりはこれまでもあったが、確かなものではなかった。現在のハンガリーで角竜類の新種が発見されたことは、白亜紀後期の生物地理学にまだ予想外の発見がありうることを示している。当時のヨーロッパの大部分は、アフリカ大陸とユーラシア大陸の間に存在した群島であった。現在のところ知られている化石は少ないが、ヨーロッパから恐竜の生物地理学に関する手がかりが今後も得られる可能性がある。

遺伝：肺がんの変異

Lung cancer mutations

ゲノム塩基配列完全解読によって、肺がんを含め、多くのがんの変異スペクトルについて知見が得られている。最新のシーケンシング技術を使えば、変異の差異をゲノム全域にわたってとらえることも可能になっており、今回、肺がんて実現した。煙草を 15 年間にわたって 1 日平均 25 本吸ってきたと報告されている男性の原発性肺がん（腺がん）と、それに隣接する正常組織の完全ゲノム塩基配列の比較が行われ、5 万個を超

える点突然変異が明らかになったのである。そのうち 530 個について詳しい検証が行われ、392 個はコード領域にあり、KRAS がん原遺伝子の変異と増幅のような既知の変異も含まれていた。これらのデータは、遺伝的に複雑な腫瘍には部分的に重複する変異が多数含まれている可能性を示唆しており、がんの原因となる頻発性のドライバー変異の同定には、もっと数多くの試料の塩基配列解読が必要だろうと考えられる。

進化：イカに似たネクトカリス

Squid-like Nectocaris

バージェス頁岩は、化石の保存状態が極めてよいこと、またアノマロカリスやハルキゲニアなど、その化石の多くが極めて奇妙なものであることで有名である。化石については長年分類が進まず、またスティーブン・ジェイ・グールドの『ワンダフル・ライフ』のもととなった。その後、多くの化石は、現生の無脊椎動物門に沿って分類された。グールドのいう「奇妙な生物 (weird wonders)」には、ネクトカリス (Nectocaris) も含まれていた。研究に収集された少数のネクトカリスの化石は、節足動物と融合した脊索動物のようにみえた。今回 M Smith と J-B Caron は、ロイヤル・オンタリオ博物館が収集した新標本 90 点を調べて、ネクトカリスにも分類上のしかるべき位置付けが可能であると提案している。その体の構造は、タコやイカ、絶滅アンモナイト類を含む軟体動物頭足類と近縁なことを示唆している。



一対のカメラ型の眼、柔軟な触腕、およびジェット推進用の「ノズル」を備えている。イカに似ているが、触腕の数は 2 本である。

皆さんは、「痛い」と感じたとき思わず顔をしかめてしまうでしょう。実は、マウスも人間と同じように痛みを感じて「痛い顔」をし、痛み止めを投与するとしなくなることがわかりました。これは、痛みの有無を測るスケールとなりそうです。ほかの哺乳類でも同じかどうかはまだわかりません。でも、イヌやネコもそんな表情をするように感じるのは、私の個人的な思い入れでしょうか。

nature news

語数：512 words 分野：認知科学・脳科学・痛み学

Published online 9 May 2010 | Nature | doi:10.1038/news.2010.228

<http://www.nature.com/news/2010/100509/full/news.2010.228.html>



ISTOCKPHOTO

Mice pull pained expressions

Animal and human faces display similar responses to suffering.

Janelle Weaver

1. Humans are not the only ones to **grimace** when they **are in pain**, scientists have found. Mice show their discomfort in the same way.
2. Decoding animals' facial expressions may allow researchers and **veterinarians** to monitor **spontaneous pain** over long timescales. This may also aid the discovery of **painkillers**, because this type of pain is similar to that experienced by humans.
3. Researchers typically detect pain in mice by **eliciting** specific reactions. **Poking** the hind paw, for example, causes a mouse to **reflexively withdraw** the paw; heating the tail makes it **flick**. But scientists are not agreed on how to measure **unprovoked pain**.

Grading grimaces

4. To analyse facial expressions in mice, geneticist Jeffrey Mogil at McGill University in Montreal, Canada, and his colleagues have adapted a coding system used to measure pain in infants. The work is published today in *Nature Methods*¹.
5. Mogil **teamed up with** Kenneth Craig, a psychologist who studies human pain at the University of British Columbia in Vancouver. Expert expression-spotters from Craig's lab compared video frames of mice filmed for up to 30 minutes before and after receiving a painful injection of **acetic acid**.
6. The researchers detected five signs indicative of pain in mice. Three are similar to human responses: the eyes close and the area around them tightens, and the nose and cheeks **bulge**. Mice also pull back their ears and move their whiskers.
7. "This is the first study that has examined facial expressions of pain in non-human animals," says Craig.
8. The mouse grimace scale (MGS) was able to detect pain in experiments typically used by scientists. Grimaces

were most **pronounced** for pain that lasted for a matter of minutes or hours, and for discomfort in joints and internal organs. **Superficial** harm such as **immersing** the tail in hot water **evoked** fewer grimaces. Mice and humans show similar variability in pain response, Mogil says.

9. Pained expressions differed from those associated with stress and illness, the team found. In addition, more harmful stimuli drew more pronounced grimaces, and **pain relievers diminished** them.
10. Mice with a mutation that has been linked to **migraines** in humans showed pained expressions that **subsided** when they were given an **anti-migraine drug**. "I'm very confident that we're measuring pain here," Mogil says.

Universal language?

11. Lars Arendt-Nielsen, a pain expert at Aalborg University in Denmark, is not convinced that the team has **ruled out** other emotions, such as fear, but he recognizes the benefits of the approach. "You can probably look into new pain conditions which we have not been capable of looking into with previous methods," he says.
12. Arendt-Nielsen also questions whether the scale will **apply to** other animals, because pain reactions differ between species. But Mogil thinks it will. "I'd be incredibly surprised if a version of this scale doesn't work in every mammal," he says.
13. Next, Mogil would like to compare his method with others used to evaluate painkillers, and test different doses used to treat **postoperative discomfort** in animals. Currently, it's not known whether **prescribed doses** really work. "We think **in a sense** that we can rewrite the veterinarian rule book," he says.

Reference

1. Langford, D. J. et al. *Nature Methods* 7, 447-449 (2010).

TOPICS

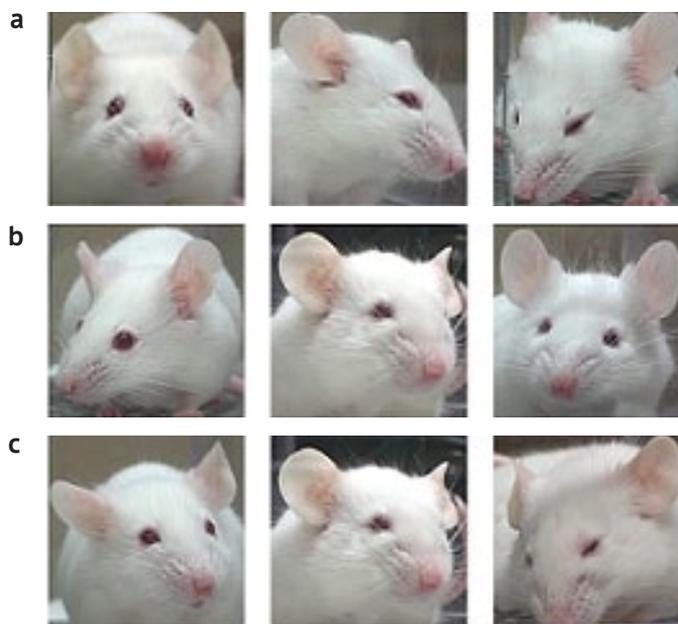
痛み（疼痛）について

痛みは、外因性あるいは内因性の何らかの刺激で、痛覚受容器が興奮し、そのシグナルが中枢に伝わって認識される。一時的なものを急性痛、長期間続くものを慢性痛という。

急性痛は、けがや炎症など、組織が傷害されたことで生じる痛みで、体のどこかに不都合があることを知らせる生体の警告システムの1つである。消炎鎮痛剤やモルヒネなどの医療用麻薬（オピオイド化合物）が有効である。

一方、慢性痛は、急性痛が長期間続く場合と、病巣や障害は治癒しているのに痛みが続く場合がある。持続的な強い痛みやニューロパシー（神経の障害）などによって、神経系に可塑的な変化が起こっていると考えられ、痛み自体が疾患となっている。消炎鎮痛剤やオピオイド化合物が効かないことが多く、抗うつ剤投与などの精神的な治療も重要になってくる。

近年、痛みを取り除くことは、患者のクオリティ・オブ・ライフにつながるとして、ペインクリニックが設置されてきている。ペインクリニックでは、薬物療法、神経ブロックなどで痛みの原因と伝わりを治療する以外に、理学療法や心理療法を行うこともある。



痛みが増すにつれ、その表情は変化していく（左から右）。a. 目の周りがかわばり、目をキュッと閉じる。b. 鼻を膨らませる。c. 頬を膨らませる。

JEFFREYS. MOGIL

SCIENCE KEY WORDS

2. **spontaneous pain:** 自発痛

何も外的刺激を加えていないのに感じる痛み。炎症に伴う痛みなど。

2. **painkiller:** 鎮痛剤、痛み止め

痛みの伝達物質の生合成を阻害したり、伝達そのものを阻害したりして、中枢神経系、末梢神経系に作用する。代表的なもの、非ステロイド系抗炎症剤（アセチルサリチル酸、ジクロフェナク、ロキソプロフェンなど）、アセトアミノフェン、オピオイド化合物（モルヒネなど）がある。

3. **unprovoked pain:** 自発痛5. **acetic acid:** 酢酸、 CH_3COOH 9. **pain reliever:** 鎮痛剤10. **migraine:** 片（偏）頭痛

頭の血管が拡張して神経が刺激されて起こる頭痛。女性に多くみられる。以下のような特徴がある。

・1か月に1～2回、多いときには週2～3回発作（反復性）。

・数時間～3日続く痛み。

・頭の片側、ときには両側が、ズキンズキン、脈打つように痛む。

・吐き気・嘔吐。

・光刺激や音刺激に過敏。

・姿勢を変えただけで激しい痛み。

・目がチカチカする、視野の中心部が見えにくくなる、脱力感などの前兆がみられることが多い。

ストレスやホルモンバランスの変化、家族性など、原因がいろいろ考えられるが、発生のメカニズムについては不明な点が多い。

10. **anti-migraine drug:** 抗片頭痛薬13. **postoperative discomfort:** 手術後の不快感

手術後に感じる、痛み、吐き気、不眠などを含めた不快感。

13. **prescribed dose:** 処方用量

医師が治療に必要として処方した薬剤の投与量。

WORDS AND PHRASES

1. **grimace:** 「顔をしかめる」

1. **be in pain:** 「痛みを感じる」

2. **veterinarian:** 「獣医」

3. **elicit:** 「～を誘発する」、「～を引き起こす」

3. **poke:** 「つつく」

3. **reflexively:** 「反射的に」

3. **withdraw:** 「引っ込める」

3. **flick:** 「ピシッと振れる」

3. **unprovoked:** 「いわれのない」、「挑発されていない」

5. **team up with:** 「～と連携する」、「～と共同研究を行う」

6. **bulge:** 「膨らむ」

8. **pronounced:** 「顕著にみられる」

8. **superficial:** 「表面的な」

8. **immerse:** 「漬ける」

8. **evoke:** 「引き起こす」

9. **diminish:** 「減らす」、「少なくする」

10. **subside:** 「おさまる」、「消失する」

11. **rule out:** 「除外する」

12. **apply to:** 「適用する」

13. **in a sense:** 「ある意味では」

参考訳

マウスも痛みを顔に出す

動物とヒトの顔には、痛みに対して似た反応が表れる。

ジェイネル・ウィーバー



痛みに対するマウスの表情を利用して、鎮痛剤の評価や投与量を決めることができるようになるかもしれない。

1. 痛みを感じているときに顔をしかめるのはヒトだけではないことが研究によって判明した。マウスも同じように不快感を表すのだ。
2. 動物の顔の表情を解釈できれば、研究者や獣医は、長時間にわたる自発痛をモニタリングできるようになるかもしれない。このことは、鎮痛剤の開発にも役立つ可能性がある。この種の痛みは、ヒトが経験する痛みに似ているからだ。
3. 研究者は、通常、マウスに刺激を与えて特異的な反応を誘発することで、マウスが痛みを感じたことを知る。例えばマウスは、後足をつつかれると反射的にその足を引っ込め、尾を熱せられるとピシッと尾を振る。しかし、外部からの刺激によらない自発痛の測定法については、科学者の間で意見の一致をみしていない。

しかめ面の段階評価

4. マギル大学（カナダ・モントリオール）の遺伝学者 Jeffrey Mogil らは、マウスの顔の表情を解析するため、乳幼児の痛みの測定に用いられているコード化システムを応用した。この研究論文は、本日発行の *Nature Methods* に掲載される¹。
5. Mogil はこの研究を、ブリティッシュ・コロンビア大学（カナダ・バンクーバー）でヒトの痛みを研究している心理学者の Kenneth Craig と共同で行った。Craig の研究室には顔の表情を見分ける専門家がいて、痛みを伴う酢酸注射の前後 30 分間のマウスのような動画を撮影したビデオフレームを比較した。
6. その結果、マウスが痛みを感じていることを示す 5 つの徴候が判明した。そのうちの 3 つ、すなわち、目を閉じて眼縁部をこわばらせる、鼻を膨らませる、頬を膨らませるといった徴候は、ヒトの反応と類似している。残りの 2 つは、耳を後ろに倒すこととひげを動かすことだった。
7. 「これは、ヒト以外の動物で、痛みによる顔の表情を調べた初めての研究です」と Craig は話す。
8. 科学者がよく行う実験で、この「マウスしかめ面スケール (MGS)」を使ったところ、痛みを検出することができた。しか

め面が最も顕著にみられたのは、数分間または数時間にわたって痛みが持続した時と、関節や内臓に不快感があったときだった。尾を熱湯に漬けるというように表面的な危害を加えた場合には、しかめ面は少なかった。痛みに対する反応の変化は、マウスとヒトで似ている、と Mogil は話す。

9. Mogil の研究グループは、痛みによる顔の表情が、ストレスや病気に関連した顔の表情とは異なることも見いだした。また、大きな危害を加えるほど、しかめ面は顕著にみられ、鎮痛剤を投与すると、しかめ面は少なくなることもわかった。
10. ヒトの片頭痛に関連することがわかっている遺伝子変異を有するマウスでは、抗片頭痛薬の投与により、痛みの表情が消失した。「今回の研究で痛みを測定できた強く確信しています」と Mogil は話す。

痛みの表情は普遍的か？

11. オールボー大学（デンマーク）に所属する痛みの専門家 Lars Arendt-Nielsen は、Mogil の研究グループが恐怖など痛み以外の感情を除外したことには納得していないが、この方法のメリットを認めており、「おそらく、従来の方法では調べられなかった新しい痛みの状態を調べられるようになるでしょう」という。
12. Arendt-Nielsen は、このスケールをマウス以外の動物に適用できるかどうかについても疑問に感じている。痛みに対する反応は生物種によって異なるからだ。これに対して、Mogil は適用できると考えており、「あらゆる哺乳類につき、MGS の別バージョンを使って痛みを測定することができないとしたら、その方が極めて意外なことだと思います」という。
13. Mogil は、次の研究課題として、この測定法と鎮痛剤の評価に用いられているほかの測定法との比較や、手術後の動物の不快感を治療するために投与される鎮痛剤の量の検証を挙げる。現在のところ、処方用量で本当に効くのかどうかはわかっていないからである。「ある意味、獣医の規則集を書き替えることができるのではないかと考えています」と Mogil 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

リニューアル3号目となりました。毎号、記事選択は悩ましいものですが、楽しんでいただいていますか。今号の表紙は死海です。“世界最低”の湖、死海の水位は年々低下し、“最低記録”を更新中です。そこで、紅海から水路を引いて水を補おうという「死海補完計画」が進行しています。驚くべきは、イスラエル、ヨルダン、パレスチナの世界で唯一の共同プロジェクトだということ。まさに、奇跡のプロジェクト。政治的・宗教的に相いれず、武力衝突が絶えないこんな地域でも、心持ちひとつで、こうしてわかり合えるし、協力もできるんですね…。それはさておき、死海といえば、塩、泥パックを連想する有数のリゾート。夏はもう目の前。こんなリゾートに逃避したい…。(ふる)

*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。

6月号に一部誤りがありました。お詫びして訂正いたします。

6月号21ページ左段14行目 語:「815ポンド(1700億円)」 → 正:「8億1500万ポンド(1100億円)」

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6月25日発行 第7巻 第7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 07271-07



4910072710706
00648