

日本語で読む世界の最新科学ニュース

# nature ダイジェスト

01  
2011

## クリックの手紙を発見

太ったパパの娘は糖尿病？

ニューロンを意志で制御

月には、水も水素もあった！

パリ近郊に、フランス版「つくば」

次世代宇宙望遠鏡  
JWSTへの期待

130億光年を超える  
「最も遠い天体」

バイオハッカーが  
生命科学を変える

スター・ウォーズの  
ホログラムの実現？

「切り札」さえ効かない  
多剤耐性菌

終戦直後のショッキングな  
人体実験

定価 680円

# 研究助成『山中 - バルザン基金』 若手研究者募集！

平成 22 年 12 月 1 日  
京都大学 iPS 細胞研究所 (CiRA)  
所長：山中伸弥



平成 22 年 9 月、国際バルザン・プライズ財団 (本部：イタリア、スイス) は、iPS 細胞の作製方法を開発したことを評し、山中伸弥教授 (京都大学 iPS 細胞研究所 所長) にバルザン賞を贈ると発表しました。この度 CiRA では、核初期化研究の発展や iPS 細胞の応用に貢献する優れた若手研究者を雇用し、同財団より贈られた賞金を基金として研究支援を行います。研究員の任期は 5 年間で、毎年度 800 万円程度 (100,000 スイスフラン) の研究費が支給されます。山中教授のもと、独立したポジションとして研究を進めて頂きます。詳細は下記ホームページをご覧ください。

<http://www.cira.kyoto-u.ac.jp/j/employment.html>

## 募集要項

**募集人数：** 研究員 (学術奨励研究) 1 名  
\* 経歴に応じて特任教員の称号を付与することがあります。

**勤務地：** 京都大学 iPS 細胞研究所  
(京都市左京区聖護院川原町 53)

**対象となる研究内容：** (1) 転写因子等による核初期化機構解明に関する研究  
(2) 核初期化技術を応用した細胞状態制御に関する研究  
(3) 疾患特異的 iPS 細胞樹立とその医療応用技術の開発  
(4) その他、iPS 細胞を利用した研究開発

**応募資格：** 平成 22 年 10 月現在、  
博士号取得 10 年未満の方、国籍不問  
iPS 細胞研究を積極的に推進しようとする意欲のある方

**採用予定時期：** 平成 23 年 4 月 1 日

**待遇：** [期間] 研究開始時期より 5 カ年度  
[給与] 本学の規定に基づき支給、年俸制  
[研究費] 毎年度 800 万円程度 (100,000 スイスフラン)  
\* 研究費とは別に、必要に応じて技術員等の人件費も付与します。

**応募方法：** **提出書類**  
(1) 履歴書 (Form1)  
(2) 研究業績リスト (Form2)  
(論文、研究発表、獲得資金、特許など)  
(3) 科学的実績の要約 (Form3, 2~3 ページ)  
(4) 研究計画書 (Form4, 2~5 ページ)  
\* 研究方針・目標を 5 年間のプランとして記述すること。  
(5) 現所属の所属長からの推薦状  
(1)~(4) はウェブサイトよりフォームをダウンロードしてご記入ください。記載は日本語で構いません。  
なお、応募書類作成にあたってはバルザン財団のホームページ：  
<http://www.balzan.org/en/home.html> もご参照ください。

### 応募方法

上記必要書類を下記書類提出先にお送りください。なお、原則として Eメールでの応募は受け付けておりません。  
\*必ず封筒に「バルザン基金募集の件」と明記してください。

**応募締め切り：** 平成 23 年 1 月 13 日 (木)

**選考方法：** 書類選考および面接選考。  
選考結果は決定し次第、書類にて通知します。

**連絡先・書類提出先：** 京都大学 iPS 細胞研究所 研究戦略本部 研究統括室  
室長 石井哲也  
〒606 - 8507 京都市左京区聖護院川原町 53  
E-mail : [collaboration@cira.kyoto-u.ac.jp](mailto:collaboration@cira.kyoto-u.ac.jp)

## 「イノベティブマリンテクノロジー研究者育成」 テニュア・トラック教員の国際公募



(ケミカルバイオロジー及び合成化学分野の再公募) について

高知大学では、文部科学省科学技術振興調整費の支援を受け、「イノベティブマリンテクノロジー研究者育成」事業をスタートしました。海洋科学・海洋生命科学の分野で活躍できる若手研究者を募集し、テニュア・トラック教員 (特任講師または特任助教) として採用します。採用後 5 年目終了時 (平成 26 年度末) の最終評価で優秀と判断された場合は、テニュア (任期なし・定年制) へ就くことができます。研究分野のうち、ケミカルバイオロジー及び合成化学分野については、当該公募を 10 月 29 日に締切り、審査を行いました。該当者を得るには至らなかったため再公募を行います。

- 1. 研究分野と募集人員 (特任講師または特任助教：各分野 1 名)**  
(1) ケミカルバイオロジー  
(2) 合成化学
- 2. 応募資格**  
自然科学に関する博士の学位を有する者、又は 2011 年 3 月末までに取得見込みの者が海洋科学・海洋生命科学分野の研究を遂行するための知識・経験等を有し、学生教育や研究者養成に対する情熱と素養を備え、地域・社会貢献、国際交流等の活動に積極的で、英語でのコミュニケーション能力を有する者。
- 3. 任用期間**  
平成 23 年 3 月 1 日以降のできるだけ早い日から平成 27 年 3 月 31 日まで。
- 4. 研究費及び研究支援体制**  
研究費 (スタートアップ研究費他)、各人への研究支援員の配置、その他
- 5. 応募受付期間**  
平成 23 年 1 月 31 日 (月) 17 時 (日本時間) まで  
\* 応募受付期間中に研究業績や資質等が優秀であると判断された方には個別日程で審査を行い、応募締切を待たずに採用を決定する場合があります。この場合、採用者を決定した時点で当該分野の公募を終了いたします。
- 6. 審査スケジュール等**  
(1) 一次審査 (書類選考)  
(2) 二次審査 (面接等)
- 7. 応募提出先及び照会先**  
高知大学 若手研究者評価支援機構 研究推進特別支援室  
E-mail : [kk41@kochi-u.ac.jp](mailto:kk41@kochi-u.ac.jp)  
当事業のホームページ  
[www.kochi-u.ac.jp/imt/](http://www.kochi-u.ac.jp/imt/) で事業概要及び公募の詳細をご確認ください。

Announcing  
for 2011

# nature climate change

SCIENCE

POLITICS

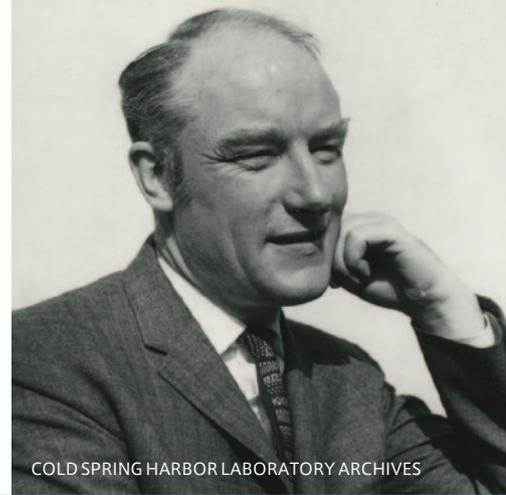
SOCIETY

ECONOMICS

2011 年 4 月に創刊される  
*Nature Climate Change* は、  
地球の気候変化に関する研究を  
広く伝える月刊誌です。

[www.naturejpn.com/nclimate](http://www.naturejpn.com/nclimate)

nature asia-pacific



COLD SPRING HARBOR LABORATORY ARCHIVES

## フランシス・クリックの手紙(上) 14

COVER IMAGE: A. BARRINGTON BROWN/SPL/PPS

ワトソンとともに DNA の二重らせんモデルを構築したクリック。彼の失われた書簡が見つかり、当時のようすが鮮明に。

### NATURE NEWS

- 03 意志でニューロンをコントロール
- 04 スター・ウォーズの  
ホログラムの実現：新たな希望？
- 24 キログラム原器の引退勧告へ、  
さらに前進
- 25 明るみに出た  
ショッキングな人体実験
- 26 パリ郊外にスーパーサイエンス・  
キャンパスを建設

### NEWS FEATURE

- 18 理想の科学都市はつくれるか

### NEWS & VIEWS

- 28 130 億光年を超える  
「最も遠い天体」を発見
- 30 転移性の膵臓がんにみられる  
ゲノム変化

### EDITORIAL

- 32 EU の新イノベーション創出戦略
- 33 楽観論と不安が入り混じる  
リン鉱石資源

### JAPANESE AUTHOR

- 22 「抗菌薬の切り札」が効かない  
多剤耐性菌が増えている  
— 荒川 宜親

### HIGHLIGHTS

- 34 2010年11/4～11/25号

### 英語で Nature

- 38 皮膚細胞から血液細胞を作る

## 10 バイオハッカーが 世界を変える？

多くのアマチュア研究家が自宅に実験室を作り、分子生物学実験を行っているが、生命科学に新風を吹き込むのだろうか。



## 02 父親の食生活が 娘の健康に影響する？

高脂肪の餌を食べていた雄ラットの娘は、糖尿病に似た疾患を発症しやすい。



ISTOCKPHOTO

## 06 次世代宇宙望遠鏡 JWSTへの期待と現実

ハッブルの後継機、ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡。現在、NASAで製作中だが、膨らむ費用が足かせにはならない。



EADSASTRIUM

## 05 月には、水も、 水素も、水銀もあった！

月には水のほか、さまざまな物質があることが判明。原始太陽系のだけでなく、将来の月基地建設に役立つかもしれない。



NASA/AMES RESEARCH CENTER

# 父親の食生活が娘の健康に影響する？

## Fat fathers affect daughters' health

Geoff Marsh 2010年10月20日 オンライン掲載  
www.nature.com/news/2010/101020/full/news.2010.553.html

高脂肪の餌を食べていた雄ラットの娘は、糖尿病に似た疾患を発症しやすい。



ISTOCKPHOTO

脂肪分の多い食事をとっている父親は、健康上の問題を娘にまで伝えてしまうかもしれない。そんな可能性がラットの研究で示された<sup>1</sup>。この場合、DNA塩基配列そのものは変化せずに父親の肥満が受け継がれるようである。つまり、遺伝子にエピジェネティックな化学的変化が起こり、子どもでの遺伝子の発現状態が変化するのである。

「これは、父親の栄養学的な影響が子どもに受け継がれることが、哺乳類で示された初めての知見だと思います」と、論文の代表著者で、ニューサウスウェールズ大学（オーストラリア・シドニー）で肥満と糖尿病を研究しているMargaret Morrisは話す。

世界的に、肥満の割合はあらゆる年齢層で増加傾向にあり、また肥満は、2型糖尿病の増加や早期発病と関連付けられている<sup>2</sup>。これまでの研究から、母親が肥満で食生活に問題がある場合、子どもの代謝が損なわれて肥満のリスクが高まる可能性があることは、既に明らかになっている<sup>3</sup>。「しかし、父親の影響についてはほとんど研究されていません。ですから今回の研究はとても重要なのです」と、ロンドン大学ロイヤル獣医カレッジ（英国）の基礎科学科長Neil Sticklandは話す。彼は、今回の研究にはかかわっていない。

### ありがたくない贈り物

研究チームは、まず、1つのラット群には高脂肪食を与え、対照ラット群には通常の餌を与えた。当然ながら、高脂肪食

のラットは肥満になり、グルコース代謝異常とインスリン抵抗性（インスリンの血糖値降下作用が効きにくくなる状態）という、2型糖尿病に顕著な2つの特徴を示した。

続いて、肥満雄ラットの娘たちを調べたところ、実に意外な結果が得られた。娘たちにもインスリンやグルコースの調節に異常がみられたのである。一方、対照群の娘は、父親同様、肥満にならなかった。ただし、息子でも同様の異常が現れるかどうかは明らかになっていない。

体内のグルコースは、膵臓のβ細胞によって産生されるインスリンによって調節される。このβ細胞は集まって「膵島」とよばれる細胞塊を形成しているのだが、肥満の父親をもつ娘では、対照群に比べて膵島が小さくなっていた。

そこで次に、何がこうした変化を引き起こしているのかを探った。すると、父親が肥満ラットの娘の膵島では、600個を超える遺伝子の発現が変化していることがわかった。しかしながら、DNA塩基配列自体は変化しておらず、こうした発現の変化はエピジェネティックなものだと考えられた。なかでも、発現量の差が最も大きいのは*Il13ra2*という遺伝子だった。エピジェネティックな遺伝子発現の調節機構の1つにDNAのメチル化があるが、メチル化によって遺伝子の発現が効果的に抑制される。肥満ラットを父親にもつ娘では、*Il13ra2*遺伝子のメチル化の割合が、対照群の娘ラットの約25%しかなかった。

### ヒトにも当てはまる？

しかし、誰もが今回の成果に納得しているわけではない。ケンブリッジ大学（英国）の臨床生化学者Stephen O'Rahillyは、「対照群とのグルコース耐性（グルコース代謝と正常な血糖値を維持する機能）の違いは非常にわずかであり、確実な手がかりを得るには、今回のラットの数では少なすぎます」と話す。

さらに、こうした変化が一生にわたる脂肪食によって引き起こされるのか、また、父親の思春期に精子が高脂肪食に影響を受ける重要な時期があるのか、といったことも不明だ。「この研究では、父親ラットを思春期と成人期で区別していません」と話すのは、ペンシルベニア大学（米国フィラデルフィア）の神経科学者で、疾患のエピジェネティクスも研究しているTracy Baleだ。「ですから、今回の知見から、男性がある晩夕食にチーズバーガーを食べ、翌日、妻とベッドをともにしても、β細胞が機能不全の子どもが生まれるとはいえないのです」。

この研究がヒトに直接当てはまるかどうかは、現時点では定かでない。O'Rahillyは、今回の知見は興味深く刺激的ではあるが、ヒトに当てはめるのは「完全に時期尚早」であり「危険」だと警告している。ただ、ほかの研究室でもわりと容易に再現できるはずだと彼はいう。「もし本当なら、ほかの研究チームも同じ結果を得るはずですよ」。

（翻訳：船田晶子）

1. Ng, S.-F. et al. *Nature* **467**, 963-966 (2010).  
2. Wang, Y. & Lobstein, T. *Int. J. Pediatr. Obes.* **1**, 11-25 (2006).  
3. Morris, M. J. *Expert Rev. Endocrinol. Metab.* **4**, 625-637 (2009).

# 意志でニューロンをコントロール

## 'Marilyn Monroe' neuron aids mind control

ALISON ABBOTT 2010年10月27日 オンライン掲載  
www.nature.com/news/2010/101027/full/news.2010.568.html

脳-マシン・インターフェースを使った実験により、  
ヒトは自分の思考を制御することで好みの画像を選択的に認知できることがわかった。

思考の制御によってコンピューター画面  
上の画像を変化させられることが、カリ  
フォルニア工科大学（米国パサデナ）の  
研究チームにより発表された<sup>1</sup>。Moran  
Cerfらは、被験者の脳とコンピューター  
を接続し、有名な人物や物の画像を2枚  
重ね合わせて見せると、被験者が脳細胞  
1個の発火率（活動の程度）を意識的に  
変化させて、一方の画像だけをはっきり  
と表示できることを示した。この成果か  
ら、映像や音、匂いなどの情報を次々と  
受け取っている我々の脳が、意識的な思  
考を介して、注意を向けるべき刺激と無  
視すべき刺激とを選別していることが明  
らかになった。

今回の研究の被験者12人は、難治性  
の重度てんかん患者であり、UCLA ロナ  
ルド・レーガン医療センター（米国ロサ  
ンゼルス）で、発作開始にかかわる脳組  
織部分を切除する手術を受けるために待  
機中だった。論文著者の1人で同セン  
ターの神経外科医 Itzhak Fried は、発  
作の原因となる正確な脳領域を特定す  
るために、内側側頭葉（MTL）という脳領  
域の周辺に64本の微小電極を埋め込み、  
自発性発作が起こるまで継続して記録を  
取る予定でいた。MTLは海馬を含む脳  
領域で、記憶と関連付けられており、て  
んかん発作の発生源となることが多い。

神経科学者たちは何年も前から Fried  
と協力しており、発作を待つ時間を利用  
し、埋め込んだ電極から記録を取って、  
ヒトの心がどのように働くかを探る実験  
を行ってきた。解析法の改良により、今

では、ノイズの多い電氣的背景から単一  
ニューロンの発火を検出できる。Fried  
らはこの6年間で、ヒトが特定の人物1  
人もしくは物体1個を認識したときに、  
1個のニューロンが発火することや、対  
象物を想起するだけでも発火が起こるこ  
とを明らかにしてきた。

### 機械を介した読心術

今回の実験では、12人の患者に対し、  
コンピューター画面上に、マリリン・モ  
ンローやマイケル・ジャクソンの写真な  
ど、有名な画像110枚を見せ、1つの  
画像に対して特異的かつ確実に反応する  
単一ニューロンを特定した。それらの結  
果から、それぞれの被験者で、MTLの  
異なる部分にあるニューロンと、それに  
反応する画像4枚を選び出した。

次に、被験者に、4枚のうち2枚をそ



ニューロンを意志で制御して、モンロー  
の画像を浮かび上がらせることができる。

れぞれ50%の透明度で重ね合わせた画  
像を見せた。そして被験者に、一方の画  
像を考えて、その画像を浮かび上がらせ  
るよう頼んだ。被験者には10秒の時間  
が与えられ、その間、研究チームは、そ  
れぞれの画像に対応するニューロンの発  
火信号をデコーダーにかけた。デコー  
ダーで解読された情報はコンピューター  
画面上の重ね合わせ画像へ反映され、  
ニューロンの発火率が下がっているほう  
の画像は薄れ、上がっているほうの画像  
は浮かび上がるようになっている。

被験者は、このようにオンラインで画  
面上にフィードバックされた画像を見な  
がら、目的の画像を強く浮かび上がらせ、  
他方の画像を弱めて消すことができた。  
試験の成功率は3分の2以上で、被験  
者は短時間でこの作業を習得できた。

その後の被験者たちの話から、目当て  
の画像を強めようとした被験者もいれ  
ば、いらない画像を弱めようとした被験  
者もいたことがわかった。どちらの場合  
もうまくいっていた。ただし、コンピュー  
ター画面上へのフィードバックがかなり  
重要で、「脳-マシン・インターフェース」  
がないと、実験の成功率は大きく下がっ  
て3分の1を下回った。

この実験は、視覚刺激として競合して  
いる複数の画像の認知状態を、ヒトが思  
考を用いてどうやって変えられるのかを  
示していると Cerf は話す。「外界環境か  
ら、ある程度、現実性はもたらされます  
が、脳自身が内部で検討して対象物を形  
作ったり無視したりできるのです」。

将来的には、意識はあるが麻痺のため  
に意思の伝達ができない閉じ込め症候群  
患者で、この種の脳-マシン・インター  
フェースを利用して、「水」や「母」など  
の概念に反応するニューロンの発火をモ  
ニターすれば、思考の一部を読み取る  
ようになるかもしれないと Cerf はいう。  
ただし、現段階ではまだSFの領域を出  
ていない、と彼は釘を刺している。 ■

（翻訳：船田晶子）

1. Cerf, M. et al *Nature* **467**, 1104-1108 (2010)  
※参考ビデオ <http://nature.asia/gJlOH1>

# スター・ウォーズのホログラムの実現： 新たな希望？

## Star Wars-style holograms: a new hope?

ZEEYA MERALI 2010年11月3日 オンライン掲載  
www.nature.com/news/2010/101103/full/news.2010.579.html

新しいプラスチック材料によって  
リアルタイム 3D ホログラム投影が可能になるかもしれない。

「助けて、オビ=ワン・ケノービ。あなたがたった1つの希望です」— R2-D2が映し出したレイア姫の3D画像が「スター・ウォーズ (1977)」の冒険の始まりだ。これこそ、リアルタイムで動くホログラムであり、長年、研究されてきたものである。このほど、アリゾナ大学 (米国トゥーソン) の光学科学者 Nasser Peyghambarian らにより、変化するホログラムデータを記憶できる材料が開発され (※ビデオ参照)、SF ファンタジーの実現へ一歩近づいた<sup>1</sup>。

「最初から、レイア姫のホログラムのことを考えていました。SFの世界から持ち出せないだろうか」と。Peyghambarian はこう語る。課題は、連続ホログラム画像の符号化データを記憶できる書き換え可能な材料を見つけることだった。

今回のシステムでは、物体を複数の角度から16台のカメラ (それぞれ物体の画像を每秒撮影する) で撮影する。そし

て、コンピューターで16方向の画像を処理してホログラフィックピクセルデータにし、信号を2つのパルスレーザービームに送り、データを記録材料に書き込む。書き込み処理中、2つのビームを組み合わせるによって記録材料に明暗の干渉パターンを作り、別の光をパターンに照射して3D画像を再構成する。

### 電子ドリフト

静止ホログラムでは、干渉パターンによって物理的特性が永久的に変わってしまうため、画像をリフレッシュできない。研究チームは、PATPD/CAAN というプラスチックポリマーの組み合わせを用いて、書き換え可能な記録材料を開発した。この共重合体ポリマーにレーザービームを照射すると、ポリマー中の電子などの電荷キャリアがドリフトし、干渉パターンの明暗に相当する場所に集まり、一時的な記録が可能となる。その記憶された画像の上に、次の画像データが上書きされる。こうして、2秒ごとにリフレッシュする3D画像を記録・表示することに成功した。

2008年、研究チームは同様の材料を使って4インチディスプレイを作製しているが、上書きに約4分かかっていた<sup>2</sup>。今回、ポリマー混合物を改良し、100倍以上速くリフレッシュする17インチディスプレイを開発し、ほぼ「リアルタイム」で変化する画像を作り出した、

と Peyghambarian は語っている。

3D テレビは既に市場に出ているが、2つの視点からしか撮影されない。したがって、奥行き感が出るが、「人物の映像の周りをぐるりと歩いてその人の後頭部を見ることはできません」と Peyghambarian はいう。彼は、この技術によって、エンターテインメントに革命がもたらされるばかりでなく、外科医が手術の3Dライブ映像を見て離れた場所からアドバイスできるようになればと考えている。また、産業応用により、リアルタイムで技術者が3Dモデルを可視化して修正できるようになるかもしれない。

### 映画が現実には？

しかし、サウサンプトン大学 (英国) の光物理学者 Rob Eason は、「彼らのホログラフィック映像は、まだ比較的遅く小さいです。また、この技術によって、3Dディスプレイのほかの技術が大幅に進歩するか疑問です」と指摘する。

これに対して、Peyghambarian はこう反論する。「ホログラフィックシステムを大型化すれば、すばらしい解像度が得られるでしょう。我々は、既に、高精度テレビを上回る400 $\mu$ mのホログラフィックピクセルを作製できます」。また、ホログラム映画の記録は原理的にはやさしいはずであり、後で再生することができる、とも付け加えている。研究チームは、現在、リフレッシュ速度を速くして、映画に必要な毎秒30フレームに適合させるよう、また画像の読み書きに必要な電力を減らすよう、研究を進めている。

Peyghambarian は、7～10年以内に、家庭で利用できるようになると考えている。「我々は、レイア姫のホログラムと同程度の大きさで解像度で動くものの作製が現実的であることを示したのです」。あとは、再生用のR2-D2を作るだけである。

(翻訳：藤野正美)

著作権等の理由により画像を掲載することができません。

1. Blanche, P.-A. et al. *Nature* **468**, 80-83 (2010).  
2. Tay, S. et al. *Nature* **451**, 694-698 (2008).  
※参考ビデオ <http://nature.asia/3d-holograms>

# 月には、水も、水素も、水銀もあった!

## Astronomers comb through Moon smash haul

RICHARD LOVETT 2010年10月21日 オンライン掲載  
www.nature.com/news/2010/101021/full/news.2010.556.html

NASAのLCROSSプロジェクトにより、月のタイムカプセルが開いた。

昨年10月、米国航空宇宙局(NASA)は、月探査機LCROSSのロケットを月の南極付近に衝突させた。今回、その飛散物の分析結果をまとめた論文が5本発表され、相当量の氷のほか、水素、水銀、銀、炭化水素などの揮発性の物質を含んでいたことが明らかになった。

今回の衝突で直径25~30mのクレーターができ、数tの塵や蒸気が月面から約1kmの高さまで飛散した。飛散物は、LCROSS本体やNASAの月探査機ルナー・リコネサンス・オービター(LRO)によって分析された。

LCROSSプロジェクトを率いた、NASAエイムズ研究センター(米国カリフォルニア州モフエツフィールド)のAnthony Colapreteの研究チームは既に、昨年11月、月に水が存在することを発表した。今回、飛散物の約5.6%が水だったと報告した<sup>1</sup>。「これは十分に大量です。サハラ砂漠の約2倍の量です」とColapreteは説明する。計算上、衝突場所から10km以内の月面では、深さ1mまでの土に、数百万tもの水が蓄えられていることになる。彼らによると、水は比較的きれいな氷の粒として存在し、将来の月面基地では、かなり容易に水を手に入れられるだろうという。

### 軟らかな標的

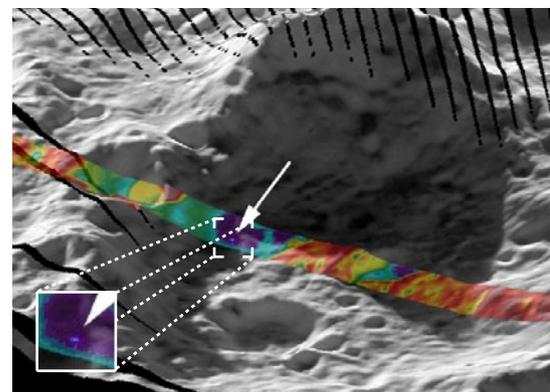
2本目の論文では、カリフォルニア大学ロサンゼルス校(UCLA; 米国)のPaul Hayneらが、LROの「ディバイナー」という赤外線温度センサーを使って分析している<sup>2</sup>。LROが衝突2時間後

にこの地域を通過したとき、クレーターは約-173℃とまだ比較的温かかった。Hayneは、「衝突で月表面は700℃以上になり、水は直ちに蒸発したでしょう。実際、LCROSS本体が、ロケットに続いて月に衝突するまでの4分間、クレーターからの水蒸気の噴出を観測していました」と話す。さらに、「辺りがしばらく熱をもっていたということは、ロケットは固い地面の上に広がった層状の水ではなく、氷と表土の混合物に衝突したに違いありません」と加えた。3本目の論文の主著者、ブラウン大学(米国ロードアイランド州プロビデンス)のPeter Schultzも、「爆発はロケットの衝突から0.4秒後に起きました。これはとても軟らかい標的の特徴です」と指摘する<sup>3</sup>。

### コールドトラップ

UCLAのDavid Paigeは、「衝突地域の温度は非常に低く(約-230℃)、冥王星と同じくらいでした」と話す。温度が低いと氷は永久に氷のままです。Paigeらは、衝突場所近くのほかの地域も、時折太陽光が当たるものの、非常に低温であることを見つけた<sup>4</sup>。「コールドトラップ(月の極の低温地域)は、我々が考えていたよりもずっと広がったのです」とPaigeは話す。

これほど温度が低いと、水以外の多くの物質も保持できる。サウスウエスト研究所(米国テキサス州サンアントニオ)のRandy Gladstoneらは、LROの「LAMP」という紫外線分光写真器を使って、水素、カルシウム、マグネシウム、



色がついている帯状の地域の中心にある輝く点は、衝突で700℃を超える温度に達したことを示している。データはルナー・リコネサンス・オービターが測定した。

一酸化炭素、水銀などの微量の気体を発見した<sup>5</sup>。Schultzによると、少量の炭化水素、硫黄を含んだ化合物、二酸化炭素、銀も検出されたという。水素の発見は、将来の月面基地の建設にとっては好都合だ。「つまり、土を加熱すれば水素が出てくるのです。ロケット燃料を作るのに水を分解する必要はありません」とGladstoneは話す。

水銀や銀は気体でも重すぎて宇宙空間へ容易に放散しない。彗星や小惑星の衝突によってほかの場所から放出された後、極のコールドトラップへ移動したと考えられる。今回のプロジェクトに参加していないセントラルフロリダ大学(米国オーランド)のHumberto Campinsも、「コールドトラップは、大昔の小惑星などの頻繁な衝突によって内部太陽系へ持ち込まれた物質を保存しているのかもしれない」と話す。

地球の極で採取された氷床コアは、最も深いものでも数十万年前のものだ。一方、月の極に眠る物質は数十億年にわたって凍ったままの可能性もある。「我々は、月研究の新しいページを開こうとしているのです」とSchultzは話す。 ■

(翻訳: 新庄直樹、要約: 編集部)

1. Colaprete, A. *et al. Science* **330**, 463-468 (2010).
2. Hayne, P. O. *et al. Science* **330**, 477-479 (2010).
3. Schultz, P. H. *et al. Science* **330**, 468-472 (2010).
4. Paige, D. A. *et al. Science* **330**, 479-482 (2010).
5. Gladstone, G. R. *et al. Science* **330**, 472-476 (2010).



極低温試験を実施するため、ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡の主鏡を構成する 18 枚のセグメントのうち 6 枚を準備する NASA の技術者。

## 次世代宇宙望遠鏡 JWST への期待と現実

### The telescope that ate astronomy

LEE BILLINGS 2010 年 10 月 28 日号 Vol. 467 (1028-1030)

ハッブル宇宙望遠鏡の後継機となる NASA のジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡は、宇宙への新しい窓を開くことを約束する。しかし、増え続ける費用が、市民や政治家の懸念を増大させている。

#### 失敗はありえない

この計画は成功させなければならぬ。天文学者にとって、代替計画はない。ハッブル宇宙望遠鏡の後継機として 2014 年の打ち上げが予定されている NASA のジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST) は、天文学者が今後数十年のうちに答えを出したいと願っている大問題のほとんどに対して、その解決のカギを握っている望遠鏡だからだ。

JWST は、宇宙空間をはるか彼方まで見通し、時間をさかのぼって、この宇宙

で最初に形成された銀河を見せてくれるはず。このプロジェクトが、米国の天文学コミュニティが立案した「天文学・天体物理学 10 年研究計画」の 2001 年版で最優先事項となったのは、まさにそのためである。それから 10 年、JWST への期待はさらに高くなっている。2010 年 8 月に発表された同研究計画の「2010 年版」に掲げられた科学的目標の大半は、JWST なしには達成することはできないだろう。

シカゴ大学 (米国イリノイ州) の宇

宙論学者で、過去 2 回の 10 年研究計画委員会のメンバーを務めた Michael Turner は、「我々は、JWST が無事に打ち上げられ、大成功をおさめることを既定の事実として考えています」という。「すべては JWST の存在を前提として計画されているのです」。

実はそこに天文学者たちの懸念もある。リスクもまた天文学的だからだ。JWST の 6.5m の主鏡は、ハッブル宇宙望遠鏡の直径の 3 倍近くあり、宇宙空間に打ち上げる物体の中ではこれまで

で最大となる。この望遠鏡は、光を検出するための高感度の装置から、巨大な宇宙船を50K（ケルビン）以下という極低温に保つ冷却システムまで、人類がまだ挑戦したことのない多くの技術に頼ることになる。そのうえ、地球から150万kmも離れたところで最初に試行するときに、完璧に稼働しなければならない。そこは月までの距離の4倍も遠い場所なので、宇宙飛行士が修理しに行くことは不可能だ。アポロ計画を成功に導いたNASAの長官にちなんだ名をもつこの望遠鏡が失敗したら、天文学の進展は1世代は遅れることになるだろう。

このように、天文学者にとってJWSTは非常に重要な望遠鏡なのだが、彼らの思いは複雑だ。現時点で約50億ドル（4000億円強）というJWSTの建造費をまかなうために、ほかの大きなプロジェクトの予算は削られ、この大仕事が終わるまでは本格的に着手することができない状況にある。宇宙のダークエネルギーに関する調査を行う広域赤外線サーベイ望遠鏡（WFIRST）は、10年研究計画2010年版では宇宙・天文学プロジェクトの最優先事項とされたが、その建造に着手するのはJWSTの打ち上げが終わってからだ。NASAの天体物理学部門長であるJon Morseは、「それまでは、新しいミッションに多額の投資をするわけにはいかないのです」という。しかし、NASAと欧州宇宙機関（ESA）が現在運用している宇宙望遠鏡はすべて、今後数年のうちに設計寿命を迎えてしまう。

さらに悪いことに、JWSTの建造費は増加の一途をたどっている。NASAは2009年に、望遠鏡の費用超過をカバーするために予算に9500万ドル（約79億円）を上乗せすることを要求した。2010年には、さらに2000万ドル（約17億円）を必要とした。2011年については、もう6000万ドル（約50億円）の上乗せを要求したが、もっと多くの資金を投入しなければならないだろうという噂が渦巻いている（右図参照）。

NASAからの要求を受けて、その予算を監督する政府小委員会の委員長であるメリーランド州選出のBarbara Mikulski民主党上院議員は、2010年6月、独立の調査委員会を設けて、JWSTプロジェクトのスパイラル的な費用増大と遅延の原因を調査し、その解決策を提案するよう要請した。「JWSTの建造は、偉大な技術的チャレンジです」とMikulskiはいう。「けれども、費用超過があってよいということにはなりません」。

独立調査委員会の委員長であり、かつてNASAのボイジャー、ガリレオ、カッシーニのミッションのプロジェクトマネージャーを務めたJohn Casaniは、委員会が行うのは提案であり、決定ではないと強調する。調査結果はNASAに伝えられ、2011年2月のオバマ大統領による概算要求の際に、同委員会の提案を織り込んだ予算計画が発表されることになっている。けれどもCasaniは、JWSTが陥っている苦境の打開策を探る際には「すべてが再検討の対象になり」、装置の開発を中止したり、プログラムを縮小したりする可能性もあるという。

### 野心的な計画、かさむ費用

ハッブル宇宙望遠鏡の後継機に関する最初のコンセプトが提案されたのは、1989年のことだった。これはハッブル宇宙望遠鏡の打ち上げの1年前だが、天文学者たちは既に、ハッブル宇宙望遠鏡では、ビッグバンから5億年が経過して最初の恒星や銀河が形成されてきた「宇宙の夜明け」までさかのぼって見ることができないことを知っていた。だから、次世代の宇宙望遠鏡に、このギャップを埋める性能をもたせることは、次のステップとして合理的だと思われた。

1993年に、NASAはカーネギー天文台（米国カリフォルニア州パサディナ）のAlan Dresslerを議長とする天文学者からなる委員会に、次世代宇宙望遠鏡はどのようなものでなければならないかを定義させた。まずは、新しい望遠鏡の鏡は、最初の銀河が発するかすかな光を集

められるだけの大きさがなければならない。委員会は、主鏡の直径を4m以上にすることを勧告した。

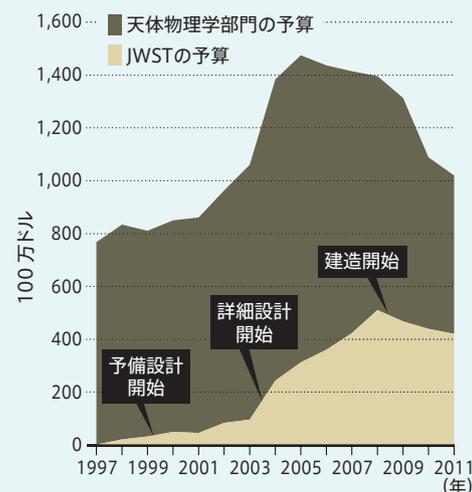
次に、その望遠鏡は極低温でなければならない。温度が50K以上になると、望遠鏡自体からの赤外線の熱放射が、天文学者がとらえようとしているかすかな光子を圧倒してしまうからである。「全体の計画を推進したのは科学でした」とDresslerはいう。

最後に、その望遠鏡は地球からはるか離れたところで稼働するものでなければならない。赤外線波長では、地球は電球のように輝いている。そのため、委員会は、地球の軌道から外側に150万km離れたところにある第2ラグランジュ点（L<sub>2</sub>）に望遠鏡を投入するよう勧告した。太陽と地球の重力の作用で、ここにある望遠鏡は静止し続けることができるからだ。また、L<sub>2</sub>にある望遠鏡は常に地球が投げかける影の中に入っているため、低温に保つのが容易になるという利点もある（8ページ図参照）。

1995年12月、DresslerはNASAの当時の長官であるDaniel Goldinに勧告の要旨を説明した。Goldinは、この勧告に大いに興味をそそられた。彼は当時、「より速く、より良く、より安く」とい

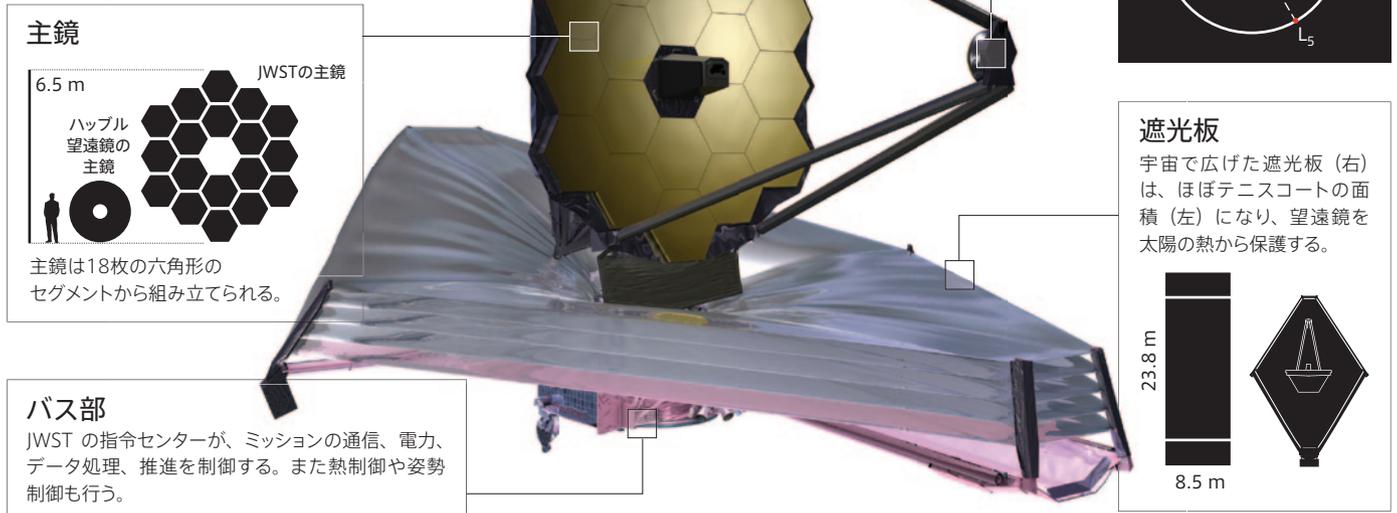
### 建造費の推移

NASAの天体物理学部門の予算に対してジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡（JWST）の予算が占める割合は、年々増加している。



# ジェイムズ・ウェッブ 宇宙望遠鏡

ハッブル宇宙望遠鏡の後継機である JWST (ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡) は、宇宙で最初に誕生した銀河からの赤外線をとらえることができる。そのままでは大きすぎてロケットのフェアリングに入らないので、折りたたんだ状態で打ち上げて、軌道上で広げ、極低温まで冷却する。



う戦略を掲げて、多くの成果をもたらす刺激的なミッションを低コストで実現しようと、NASA の科学プログラムを揺さぶっていた。彼は、シリコン・バレーや航空宇宙産業界の「スカンク・ワーク」プロジェクト (大きな組織の中にある高度な自主性を認められた小規模なベンチャー部門が、革新的な研究開発を行うこと) からヒントを得て、かさばる電子機器を小型化し、部品に既成品を多く使い、組織の諸経費を縮小し、ミッションの技術的境界を連続的に拡大していくことを強く主張した。Dressler の提案は、このアプローチを試す絶好の機会のように思われた。

Goldin は問いかけた。望遠鏡の主鏡の直径を、4m ではなく、6~8m にしないか? 必要な技術の一部は、既に存在していた。NASA が当時開発していたスピッツァー宇宙望遠鏡は、バリリウムという金属でできた 0.85m の鏡を備

え、極低温で赤外線観測を行うものだった。バリリウムは触れると皮膚障害を引き起こすので特別な取り扱いを要するが、軽量で、極端な温度変化にさらされても変形しない。これらの革新的な技術を用いれば、JWST に巨大な鏡をもたせつつ、コストを下げることはできるはずだ。Goldin のスピーチの言葉を借りれば、「ガラスを捨てよう。ガラスは地上で使うものだ」ということになる。

一部の天文学者は、この野心的なミッションの費用が、当初、5 億ドル (約 420 億円) から 10 億ドル (約 830 億円) という幅をもって見積もられていたことに疑問を感じていた。それでも、最初のうちは、Goldin の方法はうまくいきそうにみえた。このアプローチを用いた初期のミッションのいくつかは大成功をおさめた。その例としては、1997 年の画期的な火星探査計画マーズ・パスファインダー・ミッションと、このミッション

の探査車「ソジャーナ」、および、月面に氷が存在する証拠を発見した 1998 年のルナ・プロスペクター・ミッションなどがある。

しかしその後、1999 年には広域赤外線観測衛星 (WIRE) の望遠鏡と、2 つの火星探査ミッション (マーズ・クライミット・オービターとマーズ・ポーラー・ランダー) の大失敗が続いた。これにより NASA の威信は失墜し、人々は、「より速く、より良く、より安く」という戦略をとることは、より大きいリスクをとることでもあることを痛感した。2001 年に Goldin の任期が終わるころには、NASA は既に伝統的なアプローチに回帰しつつあった。すなわち、リスクをとることを避け、徹底的に試験を行い、隅々まで管理する、はるかに費用がかかるアプローチである。

この変化で JWST のコストは急激に膨れ上がり、ついに 10 億ドルを超えて

しまった。コストを下げるために、主鏡の直径は8mから6.5mに変更された。NASAは多くの工学的トレードオフ研究を進めた。しかし、科学作業部会が望遠鏡の設計を固めるよう要請されると、これまで隠れていた要素が表面化してきた。科学者たちが、望遠鏡をどんどん複雑なものにしていったのだ。

### 増やされた機能とそのため的高新技术

JWSTの科学的目標は、発表されるたびに膨らんでいった。その中心となる装置には、主として宇宙初期の恒星や銀河を調べるための広視野近赤外線カメラ(NIRCam)と近赤外線多天体分光器(NIRSpec)、銀河系内の塵に包まれた天体を観測するための多目的中赤外線カメラと分光器のほか、この3つの装置を補助する精密誘導センサー(FGS)と波長可変フィルターイメージャー(FFI)が含まれるようになった。

こうした機能を追加するには、高額で、ほとんど証明されていない技術を利用しなければならない。装置には、非常に大きく、極めて安定な赤外線検出器が必要だ。5層の膜からなる遮光板は、望遠鏡に巻きつけた形で打ち上げた後、宇宙空間で広げて、望遠鏡を極低温まで冷却できるようにしなければならない。大きさはテニスコートほどにもなる。

大きい主鏡は既存のロケットのフェアリング(保護カバー)には入らないので、調節可能な18枚の六角形のセグメントに分けて折りたたむようにし、遮光板と同様、軌道上で広げようにする必要がある。各セグメントは粉末冶金プロセス(粉末状ベリリウムを加熱・加圧する)で入念に成形し、金で被覆し、磨き上げる。

NIRSpecは、明るい星の隣にある薄暗い天体も含めて、100個までの天体のスペクトルを同時に観測できるようにしなければならない。それを可能にするのが、マイクロシャッターアレイとよばれる電気機械素子だ。NIRSpecのマイクロシャッターアレイは髪の毛の本分の幅

のマイクロシャッターを6万2000個以上並べたもので、これら1つ1つの開閉を制御することができる。

さらに、望遠鏡に用いられる技術のすべてが、打ち上げの際の激しい振動や、宇宙の厳しい真空や、時間をかけて極低温まで冷却する工程に耐えられなければならない。特に、望遠鏡の光学面はナノメートルの精度で調整されており、こうした条件に耐えて精度を保つ必要がある。そして、最低でも、ミッションが基準とする5年間は、すべてがほぼ完璧に稼働するようにしなければならない。

このように見ると、NASAがJWSTの初期の技術開発だけに20億ドル(約1700億円)近くを費やしてしまったのも不思議ではない。NASAは、性能をほどほどに抑えてコスト増に歯止めをかけることはせずに、欧州宇宙機関(ESA)とカナダ宇宙庁(CSA)というパートナーを探し出し、多額の出資を受ける道を選んだ。

JWSTプロジェクトの全体は、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)が管理し、航空宇宙産業界の巨大企業であるノースロップ・グラマン社(カリフォルニア州ロサンゼルス)が元請業者になった。JWSTの予備設計のレビューが終わり、NASAがその建造に公式に着手した2008年の春には、複数の機関、国家、大陸にわたる、数十億ドル規模の多機能ミッションへと変貌していたのだ。

### 試験はどこまで行うべきか

ゴダード宇宙飛行センター29号棟のクリーンルームには、約1年前から、JWSTのさまざまな部品のエンジニアリングモデルがぼつぼつと運び込まれるようになった。2011年の春から夏には、実際に打ち上げられるハードウェア部品が届きはじめる予定だ。JWSTの技術の中で特にリスクの高いものは、既にそのすべてが最重要段階まで到達しており、2014年の打ち上げに向けてスケジュールどおりに動いている。

残された最大の難関は、望遠鏡が全体として機能することを確認するために、フライトコンポーネントを組み立てて、試験を行うことだ。もちろん、そのすべては残りの予算内で実施しなければならない。問題は、望遠鏡を完全に組み立ててしまうと、大きすぎて既存の熱真空槽に入らなくなってしまうことである。JWSTの科学的目標が新しい技術を必要としたのと同じように、ミッション担当者は、それを試験するための全く新しいプロトコルを考案しなければならなかった。

「試験には、本当に欠かすことのできないものと、できればやっておきたいというものがあります」とDresslerはいう。「これだけのプロジェクトになると、どうしても、二重、三重にチェックをしますが、それをする資金的余裕はないかもしれません」。ところが一方で、それをしない余裕もないだろうと彼はいう。コスト削減のために試験を控えたハッブル宇宙望遠鏡は、軌道に打ち上げてから主鏡に不具合があることが明らかになり、ミッション全体に深刻な影響を及ぼしてしまったからだ。

JWSTを擁護する人々は、さらなる予算超過があったとしても、JWSTは大型宇宙望遠鏡の歴史的なコストパターンを打ち破るはずだと主張する。「ハッブル宇宙望遠鏡の場合、建造と打ち上げだけで、現在の貨幣価値にして最大50億ドル(約4200億円)かかりました」とDresslerはいう。「これに対して我々は、地球から150万kmの彼方で、極低温で稼働する、ハッブル宇宙望遠鏡の7倍近い大きさの望遠鏡を、ハッブル宇宙望遠鏡よりも少ないとはいえないまでも同程度の費用で建造しているのです。これはすばらしい望遠鏡であり、おそらく、我が国が今後建造する宇宙望遠鏡の中で、最も大きなスケールのものになるでしょう」。

(翻訳:三枝小夜子、要約:編集部)

Lee Billingsは、ニューヨークに拠点を置くフリーランスのライター。

# バイオハッカーが世界を変える？

Life hackers

HEIDI LEDFORD 2010年10月7日号 Vol. 467 (650-652)

最近、多くのアマチュア研究家が、自宅ガレージやキッチンなどに実験室を作り、個人的に分子生物学実験を行っている。彼らは、一昔前のコンピューターハッカーのように創造性にあふれ、たとえ自作の安価な装置でも研究できることを示そうとしている。こうした動きは、ライフサイエンス研究に革新をもたらすだろうか。

Rob Carlsonは、1996年のある日、列車で1人の男性と隣り合わせた。当時、プリンストン大学（米国ニュージャージー州）博士課程で物理学を研究していた彼は、大学にないジャーナルの論文を手に入れるため、ニューヨークに向かっていた。その男性は非常に好奇心が強く、Carlsonは、物理的な力が血球に与える影響という自分の研究テーマについてまでも説明するはめになった。別れ際、男性はいった。「ぜひ一緒に研究しましょう。私はシドニー・ブレナーといいます。研究者です」。Carlsonはその名前に聞き覚えがなく、「はあ、いいですけど、シドニー・ブレナー博士」といって別れた。この偶然の出会いが、Carlsonが「バイオハッカー」へ進むきっかけとなった。

大学に戻ったCarlsonは、友人に尋ねて初めて、「シドニー・ブレナー博士」が生物学に大変革をもたらすような高名な研究者であることを知った。Carlsonは誘いに応じることにし、1年と経たないうちに、ブレナーが設立した分子科学研究所(MSI;米国カリフォルニア州バークレー)で、生物学者、物理学者、技術者が集まった混成研究チームに加わった。MSIは創造性にあふれ、ほんの25年前にパソコン革命を巻き起こした薄汚いハッカー精神を思わせる雰囲気だった。やがてCarlsonは、バイオテクノロジーでも同じことが起こるかもしれな

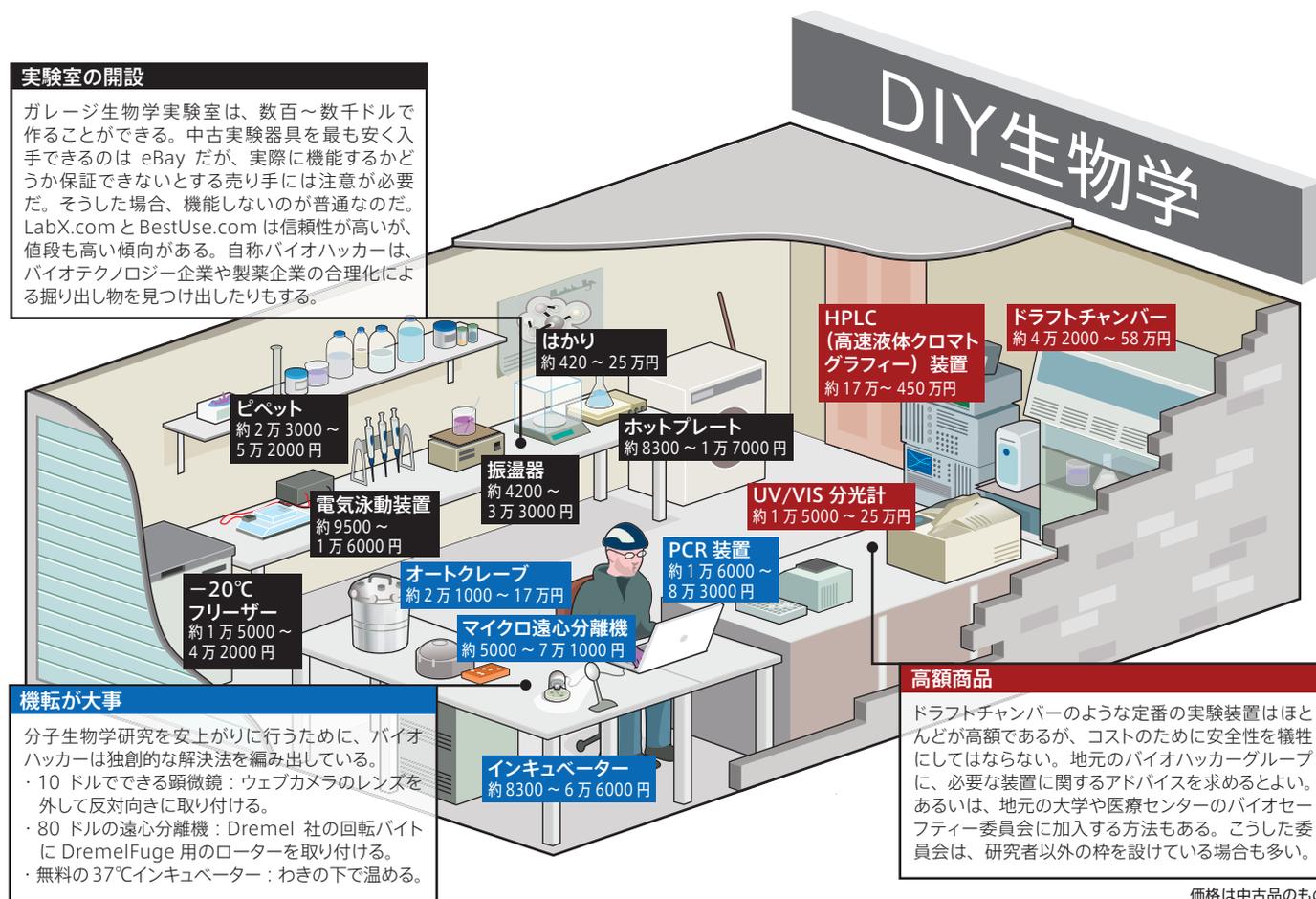
いと考えるようになった。誰もがたやすく手に入れられるハイテクツールを誰でも使えるようにすることで、新しい産業はおろか、新しい文化までもが生まれ出されたらどうなるだろう。既に、多くの実験装置がeBayなどのウェブサイトで売られていた。

Carlsonは、自分の思いを鼓舞するようにエッセイや記事を執筆した。2005年の技術系雑誌*Wired*の記事では、「ガレージ生物学の時代がやって来た。君もやってみないか」と書いた。科学の大衆化により、新しい才能が流入し、新しい実験装置が製作されたり改良されたりするかもしれないし、さらにはバイオテクノロジーの新たな産業応用が見いだされるかもしれない、とCarlsonは考えた。2005年、Carlsonはついに、自分が思い描いたガレージ実験室を立ち上げることにした。「自分が予言したのだから、自分で実験してみなければと思ったのです」という。

Carlsonだけではない。今世界中で、自称「バイオハッカー」が、自宅のガレージやクローゼット、キッチンに実験室を作っている。それは、科学者の副業的なものから、それまでピペットを使ったこともない人によるものまで、多岐にわたっている。バイオハッカーたちは、インターネットで中古の実験器具を買い、ウェブカメラを利用した10ドルの顕微鏡を作り、わきの下で遺伝子組み換え大

腸菌の試験管を温めて培養する(37°Cのインキュベーターは100ドル以上もする)。オープンなフォーラムで実験法や発想を共有する人もいる一方、ガレージの実験装置を当局に見られたらバイオテロリストというレッテルを張られるのではないかと恐れ、実験室を隠してこっそり実験をする人もいる。

今のところ、「自作=DIY(Do It Yourself)」生物学者のコミュニティに参加している多くの人は単なる愛好家であり、安い器具をそろえて、(必ずしも分子生物学の裾野を押し広げるわけではないが)創造性豊かなハッカー魂を示そうとしている。米国カリフォルニア州サンフランシスコ在住のコンピューター・プログラマーMeredith Pattersonは、「DIYバイオの第一人者」とよばれているが、自宅で、細菌をいじって蛍光タンパク質を生成できるようにし、暗闇で光るヨーグルトを作り出した。自分自身についてもっと知りたがっている人々もいる。DIYゲノミクスというグループは、合同で自分たちのゲノムを解析し、小規模な臨床試験を実施したり、それに加わったりしている。世界を変えたいと思うちょっと野心的な人には、バイオ燃料開発の改善が人气的だ。また、DNA断片を増幅するPCR装置のような定番装置を、実験室という枠組みの外で使えるよう、安く簡単に製作することに没頭しているグループもある。こ



んな風にして、やがて DIY バイオはもっと身近なものになるだろう。

旧来の研究者には慎重な姿勢を崩さない人が多い。カリフォルニア大学ロサンゼルス校（米国）の人類学者 Christopher Kelty は、「バイオハッカーについては、多分に誇張、過熱気味に書かれていると思います。何もかもまだ始まったばかりです」と語る。DIY 生物学を批判する人は、ガレージ分子生物学に大きな市場があるかどうかにも疑問をもっている。自宅に PCR 装置が必要な人なんていないし、価格が下落し続けたとしても、生物学研究の装備にはカネがかかるのだ（上図参照）。一方、「かつてパソコンについても同じことがいわれました」と話すのは、ハーバード大学医学系大学院（米国マサチューセッツ州ボストン）の遺伝学者 George Church だ。Church は高校生のとき、初めて自分の

コンピューターを手に入れ、「恋に落ちてしまったのだという。「周りからは『一体どうしてそんなものを欲しがるのか』という目で見られていました」。

当初 Carlson は、趣味的にガレージ実験室をスタートさせた。もちろん、所属するワシントン大学（米国シアトル）の研究室から実験用品をかすめ取ることは禁物だった。分子生物学研究の必需品であるマイクロピペットや遠心分離機などは、改造品や中古品を eBay で買った。そして 2007 年、助成金申請にうんざりしていた Carlson は、ガレージ実験室での研究時間を増やしたいと考え、とうとう大学での研究に終止符を打った。MSI での研究を続けることにしたのだ。

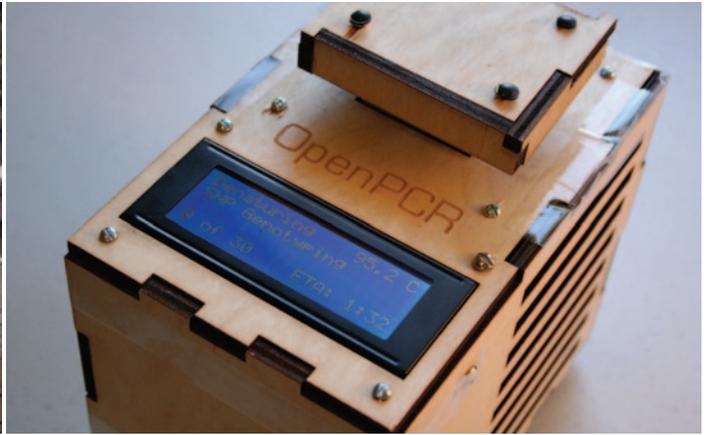
MSI では、タンパク質の「頭」が DNA の「しっぽ」に付いた「オタマジャクシ」を使って、1 個の細胞内にある微量なタンパク質の量を測定する方法を

開発するチームに加わっていた。「オタマジャクシ」の頭は標的タンパク質と結合するように作られていて、しっぽの DNA を PCR で増幅して定量することで、細胞内のタンパク質の数が計算できる仕組みだ（*Nature Meth.* 2, 31-37; 2005）。この「オタマジャクシ」には商業的な可能性がある。現在、タンパク質の定量に標準的に利用されている蛍光標識抗体では、せいぜい大雑把に推定することしかできないが、「オタマジャクシ」ではより正確な定量が可能なのだ。しかし、Carlson によれば、最初の方法はコストがかかりすぎて実用化できるものではなかったという。「もしこのタンパク質をガレージで簡単に使ってきちんと機能することを示せたら、ローテク環境や屋外、小さな診療所で使える製品になるかもしれません」と Carlson は話す。

Carlson の例のように、ガレージ・バ



Rob Carlson。2005年、肌寒いガレージ生物学実験室にて。



OpenPCR が手製 PCR 装置のプランとキットをもたらすかもしれない。

S. KELLER (LEFT); J. PERFETTO (RIGHT)

イオハッキングという着想は現実のものとなり始めていた。ハーバード大学医学系大学院（米国マサチューセッツ州ケンブリッジ）の個人ゲノムプロジェクトで地域への働き掛けを取り仕切る Jason Bobe と、地元のウェブ開発者である Mackenzie Cowell は、2008年5月、マサチューセッツ工科大学にほど近いアイリッシュ・パブで、DIY バイオの最初の会合を開催した。当時の出席者は25人ほど。2年後の今、DIY バイオのEメールリストには、2000人を超える会員が登録されている。

その2000人のうち何人が真剣に活動しているのかはわからない。30パーセントはいたずらで、残りの70パーセントはDIY コミュニティーを監視している当局の人だろう、と Bobe は冗談をいう。しかし最近、多くのDIY コミュニティーが連合しつつある。それはケンブリッジに限らず、ニューヨーク、サンフランシスコ、ロンドン、パリ、オランダでも進んでいる。なかには、共同で実験室を開設し、月額年会費制でユーザーに提供しようとするものもある。また、電子機器マニアに同様のサービスを提供している地元の「ハッカー活動拠点」と、既に提携しているところもある。例えば、ニューヨーク DIY バイオのグループは、「NYC レジスター」というハッカー集団の作業場所で毎週会合を開いている。今やそこには、PCR 装置など、分子生物

学の基本的な機器がわずかながら置かれている。

**D**IY バイオの源流となった「オープンサイエンス」という動きは、実験材料やデータ、成果発表のオープンなやり取りを促進するもので、1990年代のオープンソース・ソフトウェアの隆盛に起源が求められる、と Kelty は説明する。バイオハッカーの多くは、新しい遺伝子回路を組み立てて細胞を作り出すようなプロジェクト、いわゆる「合成生物学」への取り組みにも熱心だ。合成生物学の発展により、DIY バイオは推進されているが、一方では不名誉な烙印も押されてしまっている。社会の課題を解決するものだとまつり上げられることもあれば、バイオテロリストの温床と非難されたりもする。ついには、何百人ものバイオハッカーが監視のないガレージ生物学実験室で病原体を作り出しているのではないかという懸念から警戒され、米連邦捜査局 (FBI) は、2009年、DIY バイオの会議に大量破壊兵器担当の理事会から代表者を送り込むようになった。

バイオハッカーは用心深い。そうならざるを得ないのだ。Bobe は、芸術家 Steve Kurtz の身に降りかかったことを思い返す。2004年、防護服を着た連邦捜査官が、拳銃を構えて Kurtz の自宅を急襲した。ピッツバーグの遺伝学者から

送ってもらった細菌を使っていた Kurtz は、郵便詐欺罪で逮捕され、身の潔白の証明に4年もかかった。Bobe は FBI と接触してこの細菌を使ってもバイオテロは行えないと話したが、FBI と市民がバイオセキュリティーに関して根拠のない恐怖を抱いていることがわかったという。「現在のアマチュアの実験活動は、中学1年か2年のレベルです。我々は確かに、10ドルの顕微鏡を作り、仲間内でもつぱら炭疽菌兵器について議論しています。一般の人と同様に我々もそうした兵器を気にかけているのです。しかし、議論といっても、『炭疽菌兵器なんて人道に反する恐ろしい兵器だよ。そんなことはしちゃだめだよ』というだけです」と Bobe は語る。

FBI は彼の言葉を受け入れたようで、いわゆる「近隣警戒活動」のスタンスを取ることにした。FBI のバイオテロリズム部隊で特別捜査官を務める Edward You は、この方式は、バイオハッカーが自身の共同体を監視して、危ないと思った行動を報告することが基軸になっている、と説明する。

**C**arlson のプロジェクトは、DIY バイオの平均的な愛好家よりも先進的だ。このため、自宅宛てに実験用の物品を配達するよう企業に頼むのに苦労することもあるという。Carlson は、自分たちのガレージハッ

カー精神がやがて災いになると考えるようになり、ガレージを元のポート格納庫に戻すことにした。

2009年、Carlsonは、仕事仲間の技術者 Rik Wehbring とともに、実験室をガレージからこぢんまりした商業用スペースに移した。2人は、Biodesic社という小さなコンサルティング会社から、場所と実験に使う資金の提供を受ける代わりに、同社を通じ、バイオセキュリティから脳波利用型のゲームコントローラーのデザインまでさまざまな技術的問題に取り組む企業に助言を与えている。

プロジェクトの資金調達に関しては、こうした提携以外にも、独創的な方法が生まれている。その1つが「Kickstarter」というウェブサイトである。このサイトでは、バイオハッカーが自分のプロジェクトと資金調達目標額を提示し、それを見た人が自分の気に入ったプロジェクトに寄付を行う。通常は少額だが、うまくいけば、わずかな寄付がたくさん集まって大きな額になる。Tito Jankowski、Josh Perfetto というカリフォルニア州在住のガレージバイオハッカーは、Kickstarter を使って、OpenPCR という小型の安い PCR 装置の開発資金を調達した。6000ドル（約50万円）を集めるという目標は10日で達成し、20日後に登録が締め切られるまでに金額は2倍になった。別のバイオハッカーグループは、Kickstarter を使って BioCurious (米国カリフォルニア州シリコンバレー) というハッカーの活動拠点のための資金を募り、3万5000ドル（約290万円）以上集めた。

しかしいずれも、実際に会社を立ち上げるコストと比べればわずかなものだ。米国カリフォルニア州マウンテンビュー在住の自称「プロの企業家/活動家」Joseph Jackson と、ベネズエラのコンピューター生物学者 Guido Nunez-Mujica は、ほかのハッカーたちと組み、LavaAmp というポータブル PCR 装置を開発した。これはコンピューターの

USB ポートから電源を取って動かすことができる。Jackson によれば、チームは今回のプロジェクトに数万ドルを投入したが、愛好家、理科教師、さらには開発途上国の研究者が使えるリーズナブルな PCR 装置を作るといった目標の達成には、10万ドル（約830万円）近い資金が必要だという。

ボストン大学の合成生物学者 Jim Collins は、分子生物学研究を行うためのコストを見れば、アマチュア生物学者とパソコン革命をよからぬものにしたハッカーとの違いがわかる、と語る。ハッカーと違い、アマチュア生物学者と本来の研究室が使える人との間には、大きな隔りがある。Collins によれば、大学の教職員は通常、分子生物学の実験室の立ち上げに際して数十万ドル（数千万円）を大学に求めるといふ。頭脳明晰なアマチュア生物学者は革新的な将来をもたらすかもしれないが、その道のりは苦難に満ちているのだ。「由緒正しいといふことが必要だといっているのではありません。適切な装備が必要なのです」と Collins はいう。

しかし Carlson は、生物学研究のコストが下落していると話す。「生物学は高コストで困難なもの、と一般に考えられてきました。確かにいまだ困難には違いありませんが、コストはそれほどでもなくなっています」。2003年、Carlson は、DNA とタンパク質の配列解読および合成に必要なコストの下落を見通し、タンパク質構造の解明などの分野では研究が加速する、と予測した (R. Carlson *Biosecur. Bioterror.* 1, 1-12; 2003)。この予測はコンピューターに関するムーアの法則をなぞっており、「Carlson の曲線」と命名した人もいる。

しかし、実際の曲線は、Carlson の期待ほど急激なものにはなっていない。Carlson は、「オタマジャクシ」のタンパク質の頭を設計し直し、早い段階で、コストがかかって骨の折れるタンパク質の製造を自分でするのではなく、業者に対価を支払って作ってもらうことに決め

た。この場合、ほかのタンパク質が混ざった安いタンパク質を3000ドル（約25万円）程度で買う道と、5万ドル（420万円）出して純度の高いタンパク質を買う道があった。「その中間はありませんでした」と Carlson は話す。結局安いほうを選んだが、バッチは純度が低く、成果の公表にも実用化オタマジャクシの発売にも堪えるものではなかった。プロジェクトは行き詰まった。しかし数か月前、Carlson は、新たな企業がこの領域に参入してきたことを知った。その中には、ほどよい価格を示すものもあり、Carlson は1バッチ注文した。ところが、1か月以上前に納品されるはずだったのにいまだに届けられていない。「こんな問題は、銀行に100万ドルあったらとっくに解決しています。それに、経験豊富な生化学者が分子生物学者を1年か2年雇えたら、同じコストでもっと早くできたでしょうね」とこぼす。

それでも、科学をガレージに持ち込んで5年経った今、Carlson は、バイオハッキングが技術革命を起こす可能性を確信しているという。「何らかの形で、市場に出回るさまざまな製品につながるものが、ガレージレベルからたくさん出てくるでしょう」。

Carlson は、「オタマジャクシ」が完全なものになった暁には、さらに投資家たちから注目が集まるだろうと期待している。また、遅れや個人的な犠牲は発生したが、自分のガレージを拠点とした新しい実験は、これまでのところ成功だったと感じている。「ガレージ実験の目的の1つは、一本立ちできるかどうかを見極めることでした。辛抱強く、時には夕飯の食卓におかずがなくても平気なら、どうやろうまくいきそうです」と Carlson は語っている。

(翻訳：小林盛方)

※ Nature 10月7日号 634 ページの EDITORIAL も参照されたい。

Heidi Ledford は、米国マサチューセッツ州ケンブリッジを拠点に活動する Nature の記者。

# フランシス・クリックの手紙（上）



## The lost correspondence of Francis Crick

ALEXANDER GANN, JAN WITKOWSKI  
2010年9月30日号 Vol. 467 (519-524)

DNAの二重らせんモデルで名高い、フランシス・クリック。彼がワトソンと共に、このモデルを構築するまでの経緯については、既に多くの書籍が出版されている。このほど、そうした経緯を新たに彩るクリックの書簡が発見された。そこからは、『二重らせんの物語』に秘められた登場人物たちの個性と緊迫した微妙な人間関係が、鮮明に浮かび上がってくる。Nature ダイジェストでは、今回初公開となるこれらの書簡について、3号にわたって掲載する。

1975年の夏、ジェームス・ワトソンはフランシス・クリックに、「RNA タイクラブ」についての本を出版しようともちかけた。RNA タイクラブは、RNA と遺伝暗号の謎に挑む 24 人のメンバーからなる非公式なグループだった。これに対してクリックは、7月16日付で「残念ながら、私の昔の書簡のほとんどすべてが、“有能すぎる”秘書の手で、知らないうちに捨てられてしまったのです」と答えた。2001年にクリックから研究に関する書類の大半を譲り受けたロンドンのウェルカム図書館も、この一文を引用して、「初期の書簡の一部が失われている点にご注意ください」と警告している。

ところが、この「失われた書簡」は実際には捨てられてはいなかった。シドニー・ブレナーの書類に紛れ込んでしまっていたのだ。ブレナーとクリックは、1956年から1977年までケンブリッジ大学で1つのオフィスを共有し、また何度もオフィスの引っ越しをしている。2人は、キャヴェンディッシュ研究所から、彼らのいうところの「小屋」を経て、英国医学研究会議（MRC）の新しい分子生物学研究所（LMB）に移っていたし、LMBの中でも移動していた。だから、クリックの書簡の一部がブレナーの書類に紛れ込んでいても、なんら不思議

なことではなかった。実際、クリックが1961年に著名なファージ遺伝学者ヴァツワフ・シバルスキに送った手紙には、こんな一節がある。「12月15日付のお手紙への返信が遅れたことをお詫びします。実はお手紙はクリスマスシーズンに到着したため、シドニー・ブレナーの書類に紛れ込んでしまっていたのです」。

2010年初頭、我々は、ブレナーがコールド・スプリング・ハーバー研究所図書館の資料室に寄贈した書類の中から、クリックの書類を発見した。書類は、写真、論文のプレプリントやプリント、学会のプログラム、メモ、新聞の切り抜きなど、さまざまなものがあり、9箱に及んだ。その中に、「失われた書簡」が含まれていたのだ。日付は1950年から1976年にわたっており、多くは1950年代中ごろから60年代中ごろに書かれていた（ブレナー・コレクションについては [go.nature.com/6mYBhP](http://go.nature.com/6mYBhP) 参照）。

最も興味深いのは、クリックとモーリス・ウィルキンスがそれぞれDNAの構造を模索していた時期に交わされた書簡だ。これらの書簡には、ライバル関係にある研究グループの間でのやりとりが詳細に記され、かかわった人々の性格がまざまざと映し出されている。ほかにも、分子生物学の発展に多大な貢献をしたさ

まざまな研究者とのやりとりから、今回初めて明らかになった事実がある。冒頭のワトソンの提案と最も関係が深いのは、RNA タイクラブの創設者ジョージ・ガモフと交わされた30通の書簡だ。このほか、アレクサンダー・リッチ、レオ・シラード、ガンサー・ステント、ソル・スピーゲルマン、シーモア・ベンザー、チャールズ・ヤノフスキー、ポール・バード、マリアン・グルンベルグ＝マナゴ、マーロン・ホーランドなどとも交流があった。

コレクションの中には、一般的な話題に関する書簡も含まれていた。1963年から始まるC. P. スノウとのやりとりでは、『二重らせんの物語』を一般の人々に知ってもらうために本にするべきだ、とスノウが提案している。ワトソンが『Double Helix（邦題：二重らせん）』<sup>1</sup>を出版する5年も前の話である。J. ロバート・オッペンハイマーとの書簡には、プリンストン高等研究所（米国ニュージャージー州）への分子生物学者の招聘<sup>しょうへい</sup>について書かれている。Natureも1973年に、ジョン・マドックス編集長の1回目の辞職の際に、後任について助言を求めている。また、オックスフォード英語辞典の編集長R. W. バーチフィールドは、1964年の手紙で

「codon (コドン)」という単語について訊いている。こうしたまじめな手紙以外にも、友人からのふざけた個人的な葉書や、クリックが「狂人」というタイトルでファイルするよう印をつけた手紙、回想録『Spycatcher (邦題：スパイキャッチャー)』で有名な英国情報部の元スパイ、ピーター・ライトが、1962年10月にある「極秘事項」について話し合うための会見を求める手紙(クリックはこれに応じている)もあった。

なかでも、クリックが1967年9月22日に英国学士院の事務局長D. C. マーティンに書いた手紙は、彼のウィットに富んだ人柄を表している。

#### 親愛なるマーティン

「こんな人には英国学士院を訪問してほしくない」というテーマでパロディーを制作しなければならなかったら、「間違いの研究をしている人」、「興味をもっていないテーマについて講演をしたいと申し出る人」、「英語を話せない人」が適任でしょう。残念ながら、P×××教授は、すべてを満たしています。もう、おわかりですね。彼が訪問しても、ほとんど無意味だと我々は感じています。 敬具  
F.H.C. クリック

#### ウィルキンズとの書簡

今回新たに、1951～64年にクリックとウィルキンズの間で交わされた手紙34通と葉書3枚が発見された。うち手紙11通は、とロザリンド・フランクリンがロンドン大学キングスカレッジで、ワトソンとクリックがケンブリッジ大学のキャヴェンディッシュ研究所でDNAの構造を研究していた1951～53年に書かれている。そのうち1通だけが、これまでに引用されたり印刷物の中で言及されたりしており、ウィルキンズ著『The Third Man of the Double Helix (邦題：二重らせん 第三の男)』<sup>2</sup>の中でも、ごく短く引用されている。

この時期の手紙の大半は手書きで、お

そらく写しは存在しない。今回我々は、『二重らせんの物語』と関係の深い部分だけを選び出して引用した。その際、本人が挿入した文字は文中に入れたが、削除された文章を再現することは控えた。また、原文で下線が引かれた箇所には同様に下線を引き、つづりも原文のままとした。例えば、フランクリンは「Rosy」とも「Rosie」とも表記されている。

新たな書簡により、科学史上最も有名な『二重らせんの物語』の主要登場人物の人間模様が鮮やかによみがえり、現代の我々に語りかけてくるようだ。かつてブレンダ・マドックスが著書『Rosalind Franklin (邦題：ダークレディと呼ばれて)』<sup>3</sup>の中で、「歴史のあやとは見事なものだ。ウィルキンズは生々しい手紙をもう1通したためていたのだ」と記しているが、今回の発見はまさにぴったり当てはまる。

DNAの構造の発見から発表に至る『二重らせんの物語』。新発見の書簡は、その第一幕から第四幕までのいずれかに関係している。さあ、物語を始めよう。

#### 1951年12月：最初のモデルの大失敗

1951年11月21日、フランクリンはキングスカレッジの討論会で、最新の実験結果を発表した。ワトソンはこれを見に行っていたが、DNAの構造中の水分含有量を間違えて記憶してしまい、パディントン駅で落ち合ったクリックにその数字を伝えてしまった。2人はそれからオックスフォードに向かった。クリックが、ドロシー・ホジキンとらせん分子の回折理論について話し合いたがったからである。

ワトソンが伝えた水分含有量は、実際の値よりも1桁小さかった。そのためクリックは、DNAがとりうる構造の種類は非常に少ないと考え、分子模型を組み立てるだけで正解に到達できるかもしれないと考えた。1週間後、彼らは見たところ制約を満たしていると思われる分子模型を組み立て、キングスカレッジの人々を招いて、自分たちの「巧みな作品」

を見せた。それは、塩基が外側に突き出ている三重らせんで、3本の鎖はナトリウムイオンとリン酸基の間の静電相互作用によって束ねられていた。フランクリンは、分子模型を見た瞬間、それが間違っていることに気付いた。

大失敗をしたワトソンとクリックは、DNAの研究を一時中断した。そもそも彼らは、自分たちの手で実験をしていなかった。一般に、キングスカレッジのMRCユニットを率いるジョン・ランドールと、キャヴェンディッシュ研究所のウィリアム・ローレンス・ブラッグ所長が内密に話し合った結果、研究の中断を決定したといわれている<sup>3-5</sup>。しかし、今回発見された書簡から、ランドールとブラッグによる直接の話し合いと並行して(あるいはそれに取り代わって)、ウィルキンズとクリックの間でやりとりがあったことが明らかになった。ここに、ウィルキンズがクリックに宛てて書いた1951年12月11日付の手紙(一部)を記載する。この手紙は、手書きではなくタイプされており、書き出しこそ、「親愛なるフランシス」と親しげだが、内容は形式張った堅苦しいものである。

非常に申し上げにくく、誠に遺憾なのですが、我々の意見を統括しますと、ケンブリッジで核酸の研究を続けるというあなたのご提案には反対させていただきますこととなります。我々が申し上げたいのは、あなたのアイデアは先日の討論会での議論から直接導かれたものであり、あなたがご自分の意見を確信しておられるのと同じくらい、私にはあなたのアプローチが唐突なものに思われるということです。

……我々の研究室のメンバー全員が、過去においてそうであったように、未来においても、自分たちの研究についてあなたがたと安心して議論しアイデアを交換できるように、折り合いをつけることが非常に大切だと、私は考えます。我々は、MRCの2つの研究室であり2つの物理学部門であり、多

くの接点があります。個人的には、自分の研究についてあなたと議論することは非常に有益だと感じています。ただ、土曜日のあなたの態度を拝見すると、一抹の不安を感じます。

ウィルキンズは、ワトソンとクリックがキングスカレッジから遠く離れて研究しているなら事情は異なるのだがといい、もしキャヴェンディッシュ研究所の人々がキングスカレッジのこうしたやり方をフェアでないと感じるのなら知らせたいと告げた。さらにウィルキンズは、この手紙をマックス・ペルツに見せることを提案し（そうすれば、おそらくブラッグも見ることになるだろう）、また、ランドールの要請により手紙の写しを保管しているとも説明した。ウィルキンズは、自分はランドールとキャヴェンディッシュ研究所の仲裁をしているのだと信じていた。このことは、同じ日に投函された、もっと私的な手書きの手紙、明らかにランドールの監視を受けていない手紙からもうかがえる。



### 親愛なるフランシス

あなたにこの手紙を書くのは、私が今回の騒ぎにどんなにうんざりしているか、どれほど不快に感じているか、それでもあなたに対してどんなに深い友情を抱いているかをわかってほしいからです（そのようには見えないかもしれませんが）。我々は今、強大な軍勢のはざまにいます。へたに動けば粉碎されてしまうでしょう……。私は、ランドールがブラッグにあなたがたの行為に対する抗議の手紙を書かないように説得しなければなりません。もちろん、彼は思いとどまってくれましたが、あなたが今後もブラッグの下で研究を続けていくのなら、他人の厚意を踏み台にした一流のアイデアで手柄を立てようとせずに、黙々と着実に仕事をしてアイデアを積み重ね、「騒動」を起こさないほうが、はるかに重要だと思いますね。実際、あなたがたがあらゆる重要事項に興味をもちすぎると、私は、いささか混乱してしまうのですよ。「混乱し

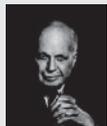
てしまう」というのは言葉どおりの意味で、今の私は、ポリヌクレオチド鎖などに関して、ほとんど論理的に考えることができないのです。それから、ジム、残念な人ですね。私は涙が出そうですよ。

ウィルキンズの手紙は友人のジョン・ケンドリューによろしくという言葉で終わっている。そして後から思いついたように、手紙のいちばん上に、「（これをジョンに見せるとよいかもしれない）」と書き添えてある。ウィルキンズは、キャヴェンディッシュ研究所の上級研究員であるケンドリューのことを、思いやりがあり、取りなしが上手な人物だと考えていた<sup>2</sup>。ウィルキンズは、ケンドリューが事態の収拾に手を貸してくれることを期待していたのかもしれない。あるいは単に、友人には自分の本当の気持ちと、この騒動における自分の立場をわかって欲しいと期待しただけかもしれない。

クリックとワトソンからの返信の手書

## 『二重らせんの物語』の主要登場人物

### キャヴェンディッシュ研究所 (ケンブリッジ)



ウィリアム・ローレンス・ブラッグ (1890-1971) :

X線回折法の開発により、1915年に25歳の若さで父ウィリアム・ヘンリー・ブラッグとともにノーベル賞を受賞。彼が打ち立てたノーベル賞受賞の最年少記録は今日も破られていない。1951年にワトソンがケンブリッジ大学にやって来たときには、キャヴェンディッシュ研究所の所長として、ペルツ、ケンドリュー、クリックを統括していた。1954年に英国王立科学研究所に移動。1968年にはワトソンの『The Double Helix』の序文を書いた。この序文がなかったら、本は出版されなかったかもしれない。



マックス・ペルツ (1914-2002) :

1936年にキャヴェンディッシュ研究所に来てから、25年の歳月をかけてヘモグロビンの構造を決定し、1962年にケンドリューとノーベル化学賞を共同受賞。クリックの博士論文指導教官として、しばしばクリックとブラッグの間をとりもった。1962年にMRCの分子生物学研究所(LMB)が設立されると、1979年に引退するまで、その所長を務めた。



ジョン・ケンドリュー (1917-1997) :

1945年にキャヴェンディッシュ研究所に入所後、ミオグロビンの構造を決定し、

1962年にペルツとノーベル化学賞を共同受賞。後に、分子生物学の主要な擁護者となった。欧州分子生物学機構(EMBO)の設立者の1人であり、欧州分子生物学研究所(EMBL)の初代所長。



フランシス・クリック (1916-2004) :

1949年に33歳でキャヴェンディッシュ研究所に来たときには、まだ博士号を取得していなかった。その後理論家としてめきめきと頭角を現し、DNAの二重らせん構造を発見した後は、遺伝暗号の解明において中心的な役割を果たした。1977年にソーック研究所(米国カリフォルニア州サンディエゴ)に移り、意識の研究に取り組んだ。



ジェームス D. ワトソン (1928-) :  
ウィルキンズが得ていたDNAの回折パターンを見て、結晶学こそは遺伝子に至る道であると確信し、

1951年にキャヴェンディッシュ研究所に来ると、すぐにクリックと緊密な協力関係を築いた。1968年に出版してベストセラーとなった『The Double Helix』は、この時期の出来事を描いている。ハーバード大学で学部を築き上げた後、コールド・スプリング・ハーバー研究所の所長となり、ヒトゲノムプロジェクトの初代ディレクターに就任した。

きの草稿は、その2日後の1951年12月13日付になっていて、何度も修正を重ねた跡がある。手紙は次のように始まっている。



### 親愛なるモーリス

お手紙、どうもありがとうございました。短いながら励ましの手紙を書きます。この事態を収拾する最善策は、あなたに手紙を書いて、我々の考えを穏便に説明することだと思っています。そのために、1、2日、時間をいただきたいのです。遅れて申し訳ありません。ただ、ご心配にはおよびません。我々も、平和協定を結ぶ必要があることに全く異論はありませんので。

そしてクリックらは、ウィルキンズの研究室が近いうちに「生体分子の構造に関する重要問題」の1つを解決する可能性は「非常に高く」、まさに「幸運な位置」にいと指摘した。その後にはこんな一文があったが、削除されていた。「そうすることで、あなたが生物学の真

に重要な問題の多くの扉を開くのです。しかしながら、こんな褒めそやした結びの代わりに、手紙は次のような言葉で終わっている。



……だから、元気を出して、我々を信じてください。そして、たとえ我々があなたにひどい仕打ちをしたとしても、友情に免じて許してくださいね。今回の我々の泥棒行為がきっかけとなって、あなたがたの研究グループに統一戦線が形成されることを願っています！  
敬具  
フランシス  
ジム

慌ただしく発送されたこの3通の書簡では、2つの陣営の雰囲気とスタイルの違いが際立っている。ウィルキンズの手紙からは苦悩がにじみ出ている一方、ケンブリッジのチームにとっては最悪の時期であるはずなのに、ワトソンとクリックの返信は無頓着とも高慢ともいえるものだ。クリックらが指摘しているよ

うに、キングスカレッジのグループは、既に分裂し、機能不全に陥っていたのだ。

(次号へ続く) ■

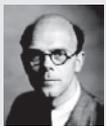
(翻訳：三枝小夜子)

Alexander Gann は、コールドスプリングハーバー研究所出版会の編集ディレクター。

Jan Witkowski は、コールドスプリングハーバー研究所パンプリー・センター理事。

1. Watson, J. D. *The Double Helix: A Personal Account of the Discovery of the Structure of DNA* (Norton Critical Editions, ed. Stent, G. S.) (Norton, 1980).  
『二重らせん』 ジェームス・D・ワトソン著 江上不二夫/中村桂子訳 講談社
2. Wilkins, M. *The Third Man of the Double Helix: The Autobiography of Maurice Wilkins* (Oxford University Press, 2003).  
『二重らせん 第三の男』 モーリス・ウィルキンズ著 長野敬/丸山敬訳 岩波書店
3. Maddox, B. *Rosalind Franklin: The Dark Lady of DNA* (HarperCollins, 2002).  
『ダークレディと呼ばれて 二重らせん発見とロザリンド・フランクリンの真実』 プレムダ・マドックス著 福岡伸一監訳 鹿田昌美訳 化学同人
4. Olby, R. *The Path to the Double Helix: The Discovery of DNA* (Univ. Washington Press, 1974).  
『二重らせんへの道 分子生物学の成立』 ロバート・オルビー著 長野敬/石館三枝子/木原弘二/道家達将訳 紀伊國屋書店
5. Judson, H. F. *The Eighth Day of Creation: Makers of the Revolution in Biology, 25th Anniversary Edition* (Cold Spring Harbor Lab. Press, 1996).  
『分子生物学の夜明け 生命の秘密に挑んだ人たち』 H・F・ジャドソン著 野田春彦訳 東京化学同人
6. Olby, R. *Francis Crick, Hunter of Life's Secrets* (Cold Spring Harbor Lab. press, 2009).

### ロンドン大学キングスカレッジ



ジョン・ランドール (1905–1984) : 1941年から70年まで物理学教授。MRC生物物理学研究ユニットを設立して所長となり、そこにウィルキンズ、フランクリン、ゴズリングらが在籍していた。彼は、パリにいたフランクリンに手紙を書き、キングスカレッジに来たら、単独のリーダーとしてDNA研究に当たってほしいと説明していた。一方、ウィルキンズにはフランクリンと共同でDNA研究に取り組むと思わせてしまい、この行き違いから大きな亀裂が生じてしまった。



モーリス・ウィルキンズ (1916–2004) : ランドールに従って1941年にキングスカレッジに

やって来た。1950年にDNAの研究を始め、大学院生ゴズリングとともに、当時としては最高のDNAのX線回折画像を得た。1946年にクリックと出会い、後に親友となった。1962年にワトソンとクリックとともにノーベル医学生理学賞を受賞。



ロザリンド・フランクリン (1920–1958) :

1951年にキングスカレッジにやって来た。当初はタンパク質の研究のために雇用されたが、ランドールの指示によりDNA研究に転向することになった。ウィルキンズは彼女が自分のグループに加わると信じていたため、この誤解が彼らの関係を損なった。フランクリンは、ゴズリングとともに、DNAがA型とB型の間で構造を変えること

を発見し、有名な51番写真を撮影した。1953年からロンドン大学バークベックカレッジに移り、タバコモザイクウイルスの構造に関して、めざましい業績を残した。1958年にがんて死去したため、1962年のノーベル賞の選考対象にはならなかった。



レイモンド・ゴズリング (1926–) :

1949年から大学院生としてウィルキンズの指導を受け、1951年からはフランクリンの指導を受けた。

### カリフォルニア工科大学



ライナス・ポーリング (1901–1994) : ノーベル化学賞 (1954年) とノーベル平和賞

(1962年)を受賞した。著書『The Nature of the Chemical Bond (邦題：化学結合論)』は、この分野の古典とされており、クリックは1951年のクリスマスにワトソンにこの本をプレゼントしている。分子模型の組み立てにより高分子の構造を解くアプローチの主要な擁護者で、1951年にはタンパク質の基本的な構造モチーフであるαヘリックスとβシートを見事に導き出した。この成功はブラッグをいたく傷つけた。キャヴェンディッシュ研究所のグループは、半年前に誤った構造を発表したばかりだったからである。DNA構造の探究が行われていた間、息子ピーター・ポーリングはキャヴェンディッシュ研究所で博士課程研究をしていた。

# 理想の科学都市はつくれるか

## Building the best cities for science

RICHARD VAN NOORDEN 2010年10月21日号 Vol. 467 (906-908)

最高の研究成果を挙げているのはどの都市圏か？ その成功を真似することはできるのか？

コペンハーゲン（デンマーク）とマルメ（スウェーデン）を結ぶオーレンス橋が2000年に開通したとき、どちらの都市にも大きな利益をもたらされることは明白だった。スウェーデンはヨーロッパ本土と地続きになり、コペンハーゲンの住人は街の近くに安価な住宅をもてるようになり、経済協力も増えるからだ。一方で、コペンハーゲン大学の地理学者 Christian Matthiessen は、別の観点からメリットを予想していた。それは、急激に発展しつつある2つの科学都市の融合だ。「誰もが、商品輸送やビジネス上の結びつきについて話していましたが、私たちは、研究者どうしの結びつきという、もう1つの利点を議論していたのです」。

10年後の現在、両者の結びつきは強固になったように見える。オーレンス橋は、9つの大学と、16万5000人の学生と、1万2000人の研究者が緩やかに連合した「オーレンス地域」の成立を促した。コペンハーゲンの研究者とスウェーデンの最南端地域の研究者による共著論文の本数は倍増した。こうした共同研究はEUの複数の国々からの資金を引き寄せ、2013年には、スウェーデンのルンドで、14億ユーロ（約1500億円）を投じた欧州核破砕中性子源（ESS）の建設が始まる予定である。

オーレンス地域は北欧の研究ハブとなりつつある。橋の完成が、この変化を後押しした。そして Matthiessen によれば、ユニークな研究プロジェクトが始まるきっかけにもなったという。例えばそれが、科学的生産性の高い地理的クラス

ターを全世界から拾い上げ、それらの成長と連携について調べる研究だ。

世界の研究活動のほとんどは、主要大都市圏に集中している。Matthiessen が数えたところによると、2006年から2008年には、上位75位までの科学クラスターが、全科学論文の57%（390万本）を発表していた。こうした地域を詳細に分析すれば、科学クラスターを成功に導く因子を特定できるかもしれないと考える人は多い。都市計画や政策立案に従事する人々は、優れた例を手本として、地元にも利益をもたらすような研究センターを建設できるだろう。

ユトレヒト大学（オランダ）の Koen Frenken らは、2009年の論文で、こうした物理的空間内の科学クラスターを定量的にマッピングする研究を、「空間科学計量学」として一般化するよう提案した（K. Frenken, S. Hardeman and J. Hoekman *J. Informetrics* 3, 222-232; 2009）。

従来の成功例と失敗例の分析は、大半が個々の事例研究に頼っていた。これに対して Matthiessen は、データを利用して世界中の都市を比較評価し、勝者と敗者を特定したいと考えた。ただしそれは容易な作業ではない。研究費、研究の質、科学者の人数など、国単位の分析であれば、各国政府機関や経済協力開発機構（OECD）などが行っているが、都市単位でまとめたデータはないからだ。

大都市圏の境界を定義する方法についてさえ、地理学者の間で意見は割れている。また、「科学都市」や「イノベーションクラスター」などの概念についても定義が決着していないため、しばしば分析者どうしの話にすれ違いが生じている。さらに、Matthiessen が基礎研究の強さを見ようとしているのに対して、経済学者や地域の都市計画に従事する人々のほとんどは、技術的イノベーション、すなわち、特許とそれに関連した富に興味をもっている。

### 発表論文数の多い都市圏

コペンハーゲン大学の Christian Matthiessen らは、都市圏の範囲を広くとり、発表論文数に着目して分析を行った。棒グラフの数字は、2006年から2008年までに発表された論文の本数。



世界経済が長らく活気を失っている今こそ、そのようなデータをまとめることが重要になる。アリゾナ州立大学（米国テンピ）で地域とイノベーションについて研究している統計学者で経済学者の José Lobo は、「人類学者、考古学者、歴史学者、地理学者は、以前から、都市こそがイノベーションの原動力であると主張してきました」という。「ここで難しいのは、歴史的な成功例の事例研究を、データと結びつけて、政策立案者が利用できる道具をつくり出すことです」。

## 研究の量と質

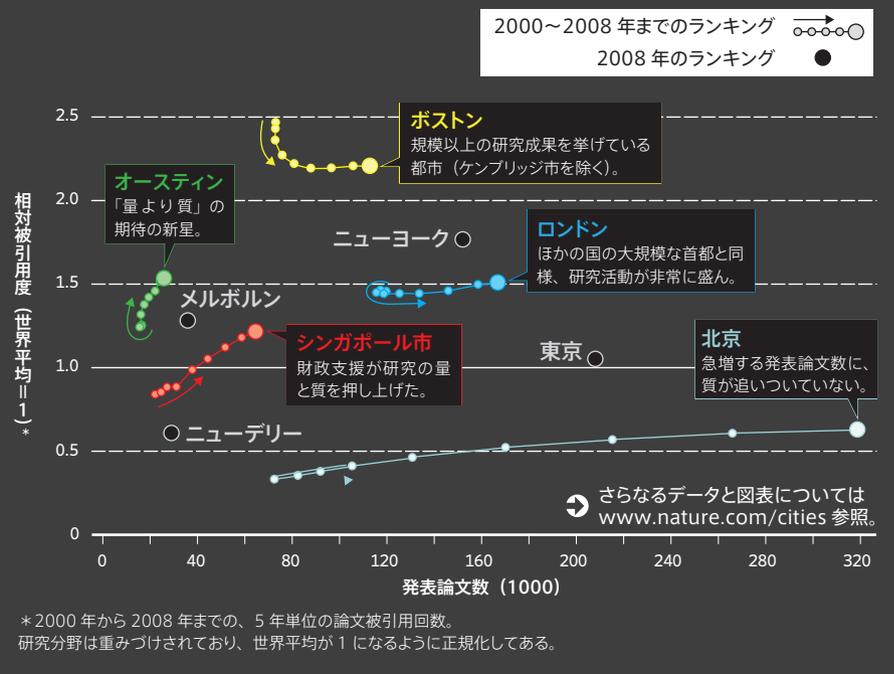
Matthiessen とそのチームは、各都市の中心部から 40 分で行ける距離を基準として、地球をいくつもの都市圏に分割した。このルールでは、英国のオックスフォードとレディングは 1 つの都市圏になり、オランダのアムステルダム、ハーグ、ロッテルダム、ユトレヒトも 1 つということになる。彼らは、論文の著者が所属する研究機関の所在地をそれぞれの大都市圏に割り当てることにより、各都市圏の発表論文数のランキング表を作成した (C. W. Matthiessen, A. W. Schwarz, and S. Find *Urban Stud.* 47, 1879-1897; 2010)。

Matthiessen のリストの上位にくるのは、東京、ロンドン、北京、サンフランシスコ湾岸地域、パリ、ニューヨークである (左ページ図参照)。一方、アムステルダムに本社がある Elsevier は、*Nature* のために同様のランキングを作成した。Elsevier は Scopus という学術誌のデータベースをもっているが、こちらは、論文著者が申告する所在地に基づいて都市を割り当てる単純な方法をとっている。

どちらの分析でも、発表論文数が増えてきた都市が目立った。なかでも北京は、1996 年には全世界の発表論文数の 0.76% しか占めていなかったが、2008 年には 31 万 9000 本、割合にして 2.74% を占めるようになってきている。ほかの急成長地域としては、テヘラン (イラン)、イスタンブール (トルコ)、ソウル (韓国)、

## 論文の被引用回数が多い都市

Elsevier が Scopus のデータを利用して行った分析は、2000 年から 2008 年までの期間に、各都市から発表された論文の絶対数と相対被引用度\*がどのように変化してきたかを示している。



シンガポール市、サンパウロ (ブラジル) がある。これらの結果は、アジアと中東の経済発展と、英語以外の言語の学術誌が増えてきたことを反映している。

しかし、この方法では、発表論文の質まではわからない。そこで Elsevier は、各都市から発表された論文の平均被引用回数に基づいて発表論文の質を判定した (上図参照)。結果は、大きく異なるものになった。トップに立ったのは米国マサチューセッツ州のボストンとケンブリッジで、ここから発表された論文の被引用回数は世界平均の 2 倍以上だった。

このランキングでトップ 10 に入った都市は、英国のケンブリッジ以外はすべて米国の都市だった。過去 10 年間で相対的な質が最も上がった都市は、オースティン (米国テキサス州) とシンガポール市だった。特にシンガポール市は、平均よりも 15% 低かったのが、平均よりも 22% 高くなった。北京は、論文の質の点では平均以下であり、2008 年までの 5 年間の論文の被引用回数は、世界平均の 63% にしかなかった。

## ボストンに学ぶ

ボストンは、科学の質に関する複数の分析において第 1 位を占めているが (20 ページ図参照)、その理由を説明することは、ある意味で容易である。「世界でトップクラスの大学を 3 つか 4 つ、海港のある都市にもってれば、できあがりです」と Lobo はいう。しかし、ボストンの形を模倣することは、質の高い科学都市を作ることとは、全くの別問題だ。何世紀もかけて築き上げられてきた、米国の研究資金の大半を集めている都市を、別の都市が真似することなどできるだろうか？

巨額の予算を与えられたトップクラスの研究大学がある都市には、活気ある科学コミュニティが生まれるだろう。しかし、本当に難しいのは、トップクラスの科学者を長期にわたってその地にとどまらせることだ。

カリフォルニア大学サンディエゴ校 (米国) の社会学者 Mary Walshok は、事例研究に基づき、科学者を引きつけて離さない都市の条件を 3 つ特定した。

## 学術誌ごとの発表論文数の多い都市

ロスアラモス国立研究所（米国ニューメキシコ州）の Luis Bettencourt は、インパクトファクターの高い *Nature*、*Science*、*Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)* に掲載された論文の著者の所在地とされている都市を分析した。このランキングは、研究の質をはかる 1 つの尺度となる。ボストンは 1989 年からずっと第 1 位を占めている。

さらなるデータと図表については [www.nature.com/cities](http://www.nature.com/cities) 参照。

### Nature 2009年

ボストン	314
ニューヨーク	166
東京	148
サンフランシスコ	125
ロサンゼルス	110
ワシントンDC	94
サンノゼ	71
チャペルヒル-ダーラム-ローリー	63
サンディエゴ	58
パリ	57

### Science 2009年

ボストン	247
サンフランシスコ	133
ワシントンDC	131
東京	119
サンノゼ	106
ニューヨーク	104
パリ	99
ロサンゼルス	91
サンディエゴ	87
シカゴ	63

### PNAS 2009年

ボストン	857
ニューヨーク	454
ワシントンDC	378
サンフランシスコ	375
サンディエゴ	362
ロサンゼルス	330
東京	265
ボルティモア	238
パリ	237
サンノゼ	225

第一に、自分自身の考えに基づいて研究を行う自由を科学者に約束すること。第二に、そのための道具とインフラを科学者に与えること。この 2 つを実現するには公的な資金援助がカギとなるが、地元の民間企業や慈善家による建物の寄付や研究寄付金も重要だ。「オースティンとシアトルでは、それが進められています」と Walshok はいう。

第三の条件は、魅力的なライフスタイルだ。マーティン・プロスペリティー研究所（カナダ・トロント）の社会学者にして経済学者である Richard Florida は、科学者を「創造階級の人々」に分類する。そして、融通が利き、才能があり、創造的な考え方をするこれらの人々を都市に呼び込むためには、アメニティーと賢い都市計画が必要だと主張している。

とはいえ、科学者にとってどんな都市が魅力的であるかは、必ずしも明らかでない。同じ研究所の統計学者 Kevin Stolarick は、バイオ企業育成機関と大学または病院は、「コーヒーが冷めない距離」になければならないと主張している。しかし、高度な文化と熱いコーヒーだけでは、科学都市を成功に導くには不十分だ。都市の求人市場に勢いがなければ、創造的な人々を呼び込むことはできない。さらに、ロンドン大学ユニバーシティカレッジ（英国）の Peter Hall によると、一般に、各種調査で最も「住みやすい」とされる都市（バンクーバーをはじめとするカナダの諸都市やオーストラリアの都

市）は、傑出した創造性と結びつかないことが多いという。

科学者を引きつけ、とどまらせるために必要とされる条件（自由、資金、魅力的なライフスタイル）をそろえても、その研究から経済的な富が生まれる保証はない。Lobo は、ロスアラモス国立研究所とサンディア国立研究所がある米国ニューメキシコ州は、おそらく人口 1 人当たりの物理学論文数が米国内でいちばん多いが、そこで行われている研究は商業化には適さないため、経済の原動力にはなっていないと指摘する。これに対して、ボストンには基礎科学の土台が確立しており、それが企業や研究所を引き寄せて富を生み出し、トップクラスの科学者の人数をさらに増やしている。

この強力なサイクルを回しているのは、ボストンの多様な労働力がもたらす経済的な弾力性だ。ボストンは、植民地時代初期には米国最大の都市として、また 19 世紀には世界の海運業の中心地として、経済的に何度も生まれ変わってきた。バイオテクノロジーのハブとしての現在の姿は、その最新の顔にすぎないのだ。同様のサクセスストーリーは、魅力的な気候、冒険的な投資の文化と、創造的な労働者に有利な法律を備えたサンフランシスコ湾岸地域にもいえる。例えばカリフォルニア州では、人材とアイデアが自由に行き来できるように、ライバル会社に転職しようとする従業員に待機期間を課すことは違法とされている。

## 経済の原動力としての科学

科学と技術から富を生み出すには、都市はいくつかの条件を満たしている必要があるようだが、それだけでは不十分だ。基本的には、都市の規模は大きいほうがよい。ロスアラモス国立研究所の Luis Bettencourt とノースカロライナ大学シャーロット校（米国）の Deborah Strumsky によると、大都市では、その規模から単純に予想されるより多くの新しい特許が生まれているという。この意味で、ロンドン、東京、ニューヨークのような経済の中心地は、その経済力が科学以外のもの（例えば金融市場）に由来している場合であっても、一種の科学拠点になる。

多くの人々が、少なくとも応用研究については、研究所を大都市に置くことには意義があると考えている。Bettencourt も、大都市が応用研究の舞台になるのは自然なことだと主張する。とはいえ、大都市が優秀な科学者を育てることもできるかどうかについては、議論がある。

小都市にも望みがないわけではない。Lobo によると、一般に、新しい産業は大都市で生まれるが、いちど標準化されてしまえば、地代と人件費が安い地域に移転していけるからだ。科学による町おこしをもくろむ小都市は、民間の大規模な研究開発機関が根を下ろし、巨大な利益をもたらすことを期待している。Matthiessen は、実例としてオランダのアイントホーフェンを挙げる。人口 20 万のこの小都市には、エレクトロニクス

メーカーのフィリップスの本社があり、地元の大学の基礎研究者との共同研究を進めている。

しかし、1つの企業や産業に過度に依存することは危険かもしれない。オレゴン州コーヴァリス（米国）は人口8万の小都市だが、郊外にヒューレット・パッカートの研究所があるため、人口1000人当たりの特許取得件数が8件と高く、米国屈指の水準にある。けれども将来、ヒューレット・パッカートが衰退したり、特許が切れたりしたら、コーヴァリスの街も衰退することになるだろうとLoboはいう。

Strumsky は、この不確実性を考えると、「科学によるイノベーションや技術こそが、都市の経済を活性化させる近道だ」などと思いついてはいけないう。 「多くの都市が、雇用を創出する方法を必死になって模索しており、『バイオ研究に投資しよう』と言いつけています。しかし、その投資が大金をもたらす可能性もありますが、ドブに捨てる危険性もあるのです」と彼女はいう。

地元バイオ関連の伝統や専門知識がないと、発明の才のある創造的な研究者をほかから引き抜き、縁もゆかりもない土地に来てもらうために2倍の給料を支払い、そのうえで、彼らの発明を地元の製造業と結びつけなければならない。その製造業もまた、ゼロからつくり上げなければならないのだ。Strumsky らによると、ニューヨーク州バッファロー（米国）は、バイオテクノロジー研究開発機関への投資に失敗した都市の典型だという（*Nature* 2010年10月21日号 p.912 参照）。この都市は、熟練した労働力を提供できないのに、なおも研究投資を続けている。

### 決め手は国家政策

とはいえ、都市計画や地域政策ではコントロールできない因子も多い。空間科学計量学の手法で、科学者が地理的に集まる理由と場所を詳細に調べることは、こうした因子の影響を解明するのに役立つ

だろう。しかし、オーレスンのような大都市圏の発展を決定付けたのは、明らかに、国家政策や国際政策、経済学だった。実際、この数十年間のフランス、スペイン、ポルトガル、南アフリカ、ロシアにおける科学都市の発展は、資金を投入し、科学者の分布を広げるといふ国家政策によってなされた部分が大きい。

フランスのトゥールーズ大学の社会学者 Michel Grossetti は、相対的にみると、これらの国々の首都の発表論文数が、ほかの都市に奪われていることを見いだした。Elsevier の研究者 Henk Moed は、ある未発表の分析において、1996年から2010年にかけて、スペインの5つの主要都市（バレンシア、バルセロナ、ビルバオ、セビーリャ、サラゴサ）から発表される論文の増加が、首都マドリードから発表される論文の増加に比べて急激であることを明らかにした。この変化は、スペインの政治が、地方により大きな自治権を認める方向に進んでいったのと並行して起きた。

Grossetti とそのチームは、1978年から2008年までの間に、世界各国の都市において、科学資源がどのように集中ないしは拡散したかを検証する研究に着手している。彼は、単に発表論文の本数を数えるだけでなく、人口、国内総生産（GDP）、組織の移転も考慮して、科学都市の盛衰の理由や、経済的・政治的要因が発展を決定する仕組みの核心をつかみたいと考えている。

空間科学計量学者たちが明らかにし始めたことは、大雑把な傾向にすぎない。彼らは、科学研究が特定の都市に集中しつつあるかどうかについてさえ、意見の一致をみていない。Matthiessen は集中しつつあるとみているが、Grossetti は、北京のような大規模な新興都市がパターンを歪めている可能性があるという。

こうした研究が政策の立案や都市計画に最終的にどのように役に立つのかは、現時点では不明だ。多くの発展は、偶然に起きている。オーレスン大学の元学長である Bengt Streiffert によると、オー

世界の10人に1人が、人口1000万人以上の巨大都市に住んでいる。

### 今日の巨大都市トップ10

1.	東京	36.67*
2.	デリー	22.16
3.	サンパウロ	20.26
4.	ムンバイ	20.04
5.	メキシコシティ	19.46
6.	ニューヨーク・ ニューアーク	19.43
7.	上海	16.58
8.	コルカタ	15.55
9.	ダッカ	14.65
10.	カラチ	13.13

### 2025年に出現する巨大都市（推定）

1.	キンシャサ	15.04
2.	深圳	11.15
3.	重慶	11.07
4.	広州	10.96
5.	ジャカルタ	10.85
6.	ポゴタ	10.54
7.	リマ	10.53
8.	ラホール	10.31

\*数字の単位は百万人

レスン地域では、国境を越えた統合を巡る一般的な議論が行われていた当時は、大学が果たすべき役割について議論されることはなかったという。しかし後になって、地域を成長させる主要な触媒になっていることがわかったのだ。

科学とイノベーションに最適な都市をめざして計画を練り上げて、経済的、社会的、政治的要因がその実現を困難にする状況は、今後も変わらないだろう。Hall は、包括的なデータの分析が、堅実な事例研究に取って代わることは決してないだろうという。「データからは、大学とは無関係な形で発展した例が見つかるかもしれません。しかし、なぜそうだったのか、数字だけではその理由を明らかにすることはできないのです」。

（翻訳：三枝小夜子）

Richard Van Noorden は、*Nature* のアシスタントニュースエディター。

特集『SCIENCE AND THE CITY』の全コンテンツと詳細な図表については、[www.nature.com/cities](http://www.nature.com/cities) 参照。

※ 本誌 26 ページに関連記事

# 「抗菌薬の切り札」が効かない 多剤耐性菌が増えている

かつて「魔法の弾丸」と称された抗菌薬。結核をはじめ、細菌による感染症の多くが治るようになり、「もはや感染症は脅威ではない」とまでいわれるようになった。ところが、今ごろになって、細菌が再び牙をむき始めている。抗菌薬の使いすぎによって、主要な3系統の抗菌薬に耐性をもつ多剤耐性菌が出現し、各国で感染や死亡例が相次ぐ事態に陥っているのだ。

—— Nature ダイジェスト：多剤耐性菌とは、どんな細菌なのですか。

荒川：「多剤」の定義は、細菌の種類によります。現在問題になっている緑膿菌、アシネトバクター、大腸菌、肺炎桿菌などのグラム陰性菌では、これらの細菌による感染症に用いられることが多い3系統の抗菌薬のすべてに対して耐性を獲得した場合に、「多剤耐性緑膿菌」などとよばれています。その3系統とは、カルバペネムを含む広域β-ラクタム系、フルオロキノロン系、アミノグリコシド系の抗菌薬のことです。

—— 多剤耐性菌を巡って、何が問題視されているのでしょうか。

問題は大きく分けて3つあります。1つ目は、約10年前から、病院内において

多剤耐性の緑膿菌やアシネトバクターに感染する入院患者が増え、この3月に、これまで日本で確認されなかった「特に、アミノ配糖体に極めて高い耐性を示す多剤耐性アシネトバクター」の感染も海外帰国患者で発見されたことです。緑膿菌もアシネトバクターも健常者にとってはほとんど問題になりませんが、抵抗力の落ちた患者には、手術部位の感染や肺炎などを引き起こします。国内のサーベイランスでは、アシネトバクターに感染した患者のうち、多剤耐性菌によるものだった例は1パーセント以下で、緑膿菌についても3パーセント程度と低い値にとどまっていますが、米国では、多剤耐性アシネトバクターが30パーセント程度に達する病院や地域も出ています。

2つ目は、NDM-1（ニューデリー・メタロ-β-ラクタマーゼ1）という酵素を作り出す遺伝子を獲得した大腸菌や肺炎桿菌などの細菌が、世界的な広がりをみせ始めている点です。これらの菌も、3系統の抗菌薬のすべてに耐性を示します。2008年末に、インドを訪れたスウェーデン在住のインド系患者からNDM-1産生の大腸菌と肺炎桿菌が検出されたと報告され<sup>1</sup>、その後、米国本土でインドを訪問した人などからも検出されて、CDC（米国疾病予防管理センター）が警告を発していました。さらに今年の8月、医学雑誌『Lancet Infectious Diseases 電子版』において、インドやパキスタンを旅行し、現地の医療機関を訪れた英国人などの一般市民か

ら、NDM-1産生菌が散発的に見つかリ、一部で発症例や死亡例も出ていることが報告されました。日本国内では、昨年、入院中の男性患者からはじめて分離されており、この10月には、90代の女性患者からも見つかりました。今のところ、病院内で感染が広がる事態にはなっていませんが、日本においても一部の医療機関でNDM-1産生株が広がっている可能性があるといます。

3つ目は、内外で新たな抗菌薬の開発が全く進んでいないことです。細菌感染症の多くは短期間で治癒することが多いので、抗菌薬の利用も量が限られます。また、新たな耐性菌を出さないために、病院内では抗生物質の使用を極力抑える方向にあります。つまり、製薬企業にとって抗菌薬は、開発コストに見合う収益を見込めないものになっており、オーファンドラッグ（希少疾病用医薬品）と同じ扱いになってしまっているのです。

—— 抗菌薬の使用と多剤耐性獲得には、どのような関係があるのでしょうか。

抗菌薬は、放線菌や真菌から得られた抗生物質と、人工的に合成した化学療法薬とを合わせた呼称です。これらは、細菌の細胞壁・タンパク質・核酸の合成を阻害したり、増殖に必要な代謝経路を阻害することで薬効を発揮します。治療で抗菌薬を用いると大半の細菌は死滅しますが、耐性を獲得したものは生き残ります。つまり、抗菌薬を使うことで、結果として耐性菌だけを選択的に生き延びさせる



あらかわ よしちか  
荒川 宜親

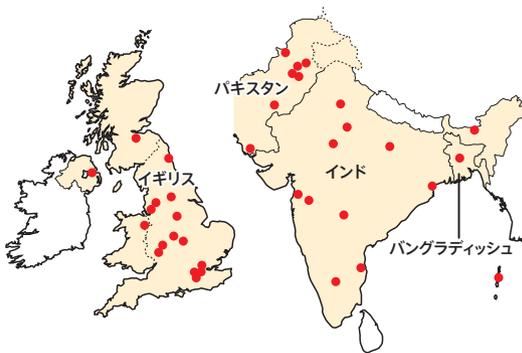


図1 インド、パキスタン、英国におけるNDM1産生菌の感染実態（出典：The Lancet Infectious Diseases 電子版）。報告によると、インドのチェンナイで44人、ハリハナで26人、インドおよびパキスタンのその他の地域で73人、英国で37人の感染者が見つかったとされる。

ことになり、「その細菌種内での耐性菌の割合」を高めていくことになります。

現在は多剤耐性菌に対して、国内で未承認の抗生物質を医師が個人輸入して使う、毒性などが強くて当初は実用化が見送られた抗生物質を新薬として使う、といったことが行われていますが、さらなる耐性菌が登場することは目に見えています。

——多剤耐性の獲得メカニズムはわかっているのでしょうか。

半世紀以上も前に、日本において、木村貞夫、秋場朝一郎、落合国太郎という3名の研究者や医師により「赤痢菌などで薬剤耐性が、ほかの細菌種にうつる」という現象が見つかり、内外で盛んに研究されました。薬剤耐性の伝播にかかわる遺伝子は「R因子」などとされ、やがてプラスミドがR因子の伝播を媒介していること、薬剤耐性遺伝子はセットで動くことが多いことなどが突き止められました。さらに、薬剤耐性遺伝子の機能は、「抗菌薬の分解酵素や修飾不活化酵素として働くもの」、「抗菌薬の標的になっている細菌のタンパク質などの分子の立体構造を変えることで薬効を失わせるもの」、「抗菌薬を菌体の外に排出するもの」など、実に多様であることもわかってきました。

ただし、薬剤耐性菌に関する研究は、現在はすっかり下火になってしまっています。現在の日本では、この分野の研究への研究予算がほとんどありません。私は、前職（名古屋大学医学部細菌学講座）時代に、多剤耐性の緑膿菌とセラチア・マルセッセンスから、IMP-1型メタロβ-ラクタマーゼという酵素の遺伝子を世界で最初に発見し<sup>2</sup>、現在も未知の耐性メカニズムの同定や新しいタイプの抗結核薬の研究などを進めています。感染研だけでやることには限りがあります。

——NDM-1遺伝子は、どのようにして大腸菌や肺炎桿菌に入り込んだのでしょうか？

細菌は、細胞質内にあるプラスミドとい

耐性菌の分類	耐性株数 (%)
アミノグリコシド系耐性菌	410 株 (3.7%)
カルバペネム系耐性菌	265 株 (2.4%)
フルオロキノロン系耐性菌	1304 株 (11.7%)

う環状のDNAを介することで、同種・異種を問わず、常に互いのDNAをやり取りしています。おそらく、NDM-1の遺伝子は、もともと環境中の何らかの細菌が、自らの生存のためにもっていたものだったのでしょう。それが偶発的に大腸菌や肺炎桿菌に取り込まれてプラスミドに組み込まれ、一部が安定した株として増殖したのだと思われます。

Lancet誌によると、NDM-1産生菌が、英国やインドの健常人の腸内からも検出されたとのことですが<sup>3</sup>、健常人の腸内などにおいて、毒性の強い赤痢菌やサルモネラ菌にNDM-1遺伝子が伝播してしまうことが危惧されます。そうすると、一般市民も多剤耐性菌による感染症にかかる可能性が高まり、大きな社会問題に発展しかねません。

——今、どのような対策が必要でしょうか。

病院内においては、多剤耐性菌が存在しているかどうかを早期に検出する体制を整えるべきでしょう。どのような抗菌薬に対する耐性をもつかは、通常の薬剤感受性試験で簡単に調べられます。多剤耐性菌が確認された場合には、同室や同病棟の入院患者に感染を広げないよう、患者を個別管理することが重要です。ただし、薬剤感受性試験でカルバペネム耐性が示されても、それがNDM-1によるものか、ほかの耐性機構によるものかまで

表1 厚生労働省の院内感染対策サーベイランス (JANIS) 事業による日本国内 388 病院、1 万 1133 株の感受性試験の集計結果。(出典:2010年、厚生労働省 希少感染症研修会において、細菌第二部から発表されたデータ)

はわかりません。この9月に、厚生労働省結核感染症課が「多剤耐性大腸菌などの腸内細菌が見つかった場合、国立感染症研究所でNDM-1産生菌かどうかを調べる」との通達を出しました。12月末までの支援ですが、現時点で、全国から1日数件の検体を送られてきています。また、厚生労働省では2000年より、院内感染対策サーベイランス (JANIS) 事業を進めており、全国の約600の医療機関における細菌検査結果をデータベース化しています。

市民の方々には、素人判断で抗菌薬を使うことがとても危険であることを強く認識していただきたいですね。病院等で投与されて飲み残した抗菌薬を、海外旅行で安易に服用する人がいますが、その抗菌薬で効くかどうかわかりません。また、先のランセット誌の報告のように、NDM-1産生菌を増殖させたり、NDM-1を産生する多剤耐性サルモネラ属菌を出現させたりする恐れもあります。

問題は山積みですが、できるところから対策を講じていくしかないと思います。

——ありがとうございました。

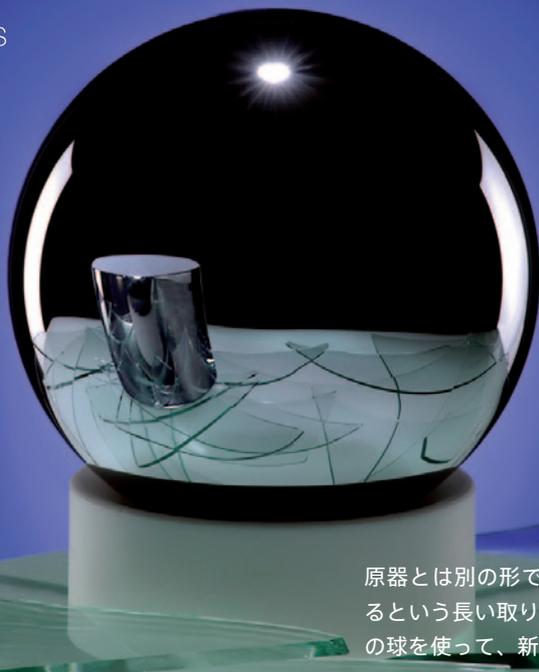
聞き手は西村尚子 (サイエンスライター)

1. Yong D. et al., *Antimicrob Agents Chemother.* **53**, 5046-54 (2009).
2. Kumarasamy K.K. et al., *Lancet Infect Dis.* **10**, 597-602 (2010).
3. Osano E. et al., *Antimicrob Agents Chemother.* **38**, 71-78 (1994).

AUTHOR PROFILE

荒川 宜親

国立感染症研究所 細菌第2部 部長。1983年名古屋大学医学部卒業。89年名古屋大学大学院医学研究科博士課程修了、名古屋大学医学部細菌学助手。94年名古屋大学医学部細菌学助教授。96年国立予備衛生研究所（現・国立感染症研究所）細菌・血液製剤部 部長。2002年国立感染症研究所細菌第2部 部長。病原細菌の病原性や薬剤耐性獲得機構に関する研究、薬剤耐性菌の分子疫学的調査や解析、サーベイランスなどを推進している。



原器とは別の形で1キログラムを定義するという長い取り組みの中で、ケイ素28の球を使って、新たなデータが得られた。

## キログラム原器の引退勧告へ、さらに前進

### Elemental shift for kilo

GEOFF BRUMFIEL 2010年10月21日号 Vol. 467 (892)  
www.nature.com/news/2010/101019/full/467892a.html

物質中の原子の数を正確に数えて1キログラムを定義する方法がある。その新たな測定結果が得られ、長い間望まれてきたキログラム原器の引退勧告が見えてきた。

1キログラムの定義は科学者にとって大きな悩みの種だ。1キログラムは、公式に、パリの国際度量衡局 (BIPM) に保管されている「国際キログラム原器の質量」と定められている。国際キログラム原器は白金とイリジウムの合金の円柱形で、約120年前から質量の基準として使われてきた。しかし、原器の質量は年月の経過とともに変化している。そのため、科学者は、代わりとなるより確かな基準をいろいろと探してきた。めざしているのは、1キログラムの定義を、従来のような原器による方法ではなく、普遍的な物理定数をもとにした形に変えることだ。

ブラウンシュバイクにあるドイツ物理工学研究所 (PTB) の Peter Becker が率いる研究チームは、2010年10月、質

量の再定義に関する最新の研究結果をプレプリント (予稿) サーバー「arXiv」に投稿した (P. Andreas *et al.* <http://arxiv.org/abs/1010.2317>; 2010)。この研究によって、原器で定義する方式の終わりがこれまでになく近づいたといえる。

Becker らの研究チームはケイ素28の球に含まれる原子の数を測定し、アボガドロ数を有効数字9桁まで求めた。その結果は  $6.02214084(18) \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  だった。アボガドロ数は、その元素の相対原子質量 (原子量) に等しい質量 (単位はグラム) の試料に含まれる原子数に相当する。この関係があるため、アボガドロ数を正確に求めたうえで固定すれば、それを基礎に逆に質量を定義することができる。

問題はケイ素の球を作ることだった。通常のケイ素の試料では、原子の92%はケイ素28で、残りはケイ素29とケイ素30だ。Becker らは、こうした重い同位体や混入したほかの原子を取り除くため、ロシアのサンクトペテルブルグにある機械製造中央設計局 (CDBMB) の助けを借りた。ここでは原子力発電所のためにウランの濃縮を行っている。Becker らは同局のガス遠心分離器でケイ素28を99.99%の純度まで精製した。そのケイ素28を5キログラムの結晶に成長させ、それを2つのほぼ完全に近い球にした。

研究チームは、レーザー干渉計を使って2つの球の表面を測定し、体積を求めた。さらにX線回折で結晶構造の画像を得た。彼らはケイ素の各原子が占めている体積を計算し、球全体にどれだけの数の原子が含まれているかをはじき出し、アボガドロ数を  $3.0 \times 10^{-8}$  という相対不確かさで導くことに成功した。ただし、国際度量衡局質量部門の責任者である Richard Davis によると、国際度量衡委員会 (CIPM) が1キログラムの再定義を検討するには、相対不確かさを  $2.0 \times 10^{-8}$  未満にする必要があるという。

測定結果は、質量を再定義するほかの取り組みの結果と、食い違っていない必要がある。主たるライバルはワット天秤を使う方法だ。この方法では、試料円柱の質量を磁場中に置かれた電流に加わる力でつり下げて測定する。この結果から、プランク定数をもとに1キログラムを定義することができる (プランク定数は、粒子の波動関数の周波数とその粒子のエネルギーの関係を定める定数)。

しかし、ワット天秤で得られたプランク定数をアボガドロ数に換算して比較すると、2つの方法で得られた結果はわずかに食い違っている。Becker は「球を使った測定方法を改良すれば、不確かさを減らすことができると考えています。それには2年かかるとみっていますが、トンネルの出口は見えています」と語っている ■

(翻訳: 新庄直樹)



## 明るみに出たショッキングな人体実験

### A shocking discovery

SUSAN REVERBY INTERVIEWED BY IVAN SEMENIUK 2010年10月7日号 Vol. 467 (645)  
[www.nature.com/news/2010/101004/full/467645a.html](http://www.nature.com/news/2010/101004/full/467645a.html)

歴史学者 Susan Reverby は、米国ウェルズリー・カレッジの女性学およびジェンダー研究の教授で、梅毒にかかったアフリカ系米国人男性 600 人以上に対して治療が行われなかった、悪名高い「タスキギー実験」の専門家でもある。彼女は最近、米国公衆衛生局が 1946 ~ 48 年に、未公開の研究プロジェクトで数百人のグアテマラ人を梅毒に曝露させた事実を発見した。これを受けて米国政府は、2010年10月初旬、グアテマラ政府に対し公式に謝罪し、全容解明に向けて調査を行うことを約束した。

**Q:** 米国政府はなぜこんな研究を実施したのでしょうか？

**A:** 梅毒がペニシリンで治ることは 1946 年までにわかっていました。この研究の第一の目的は、ペニシリンが梅毒の予防薬としても使えるかどうかをみることでした。また、ペニシリンで梅毒が一度治った人間が再び感染するかどうかにも関心がありました。米国政府当局は、第二次大戦時の兵士に水銀軟膏の入った「性病予防キット」を配給しましたが、あまり順守されなかったからです。

実験を手配したのはグアテマラ人医師 Juan Funes です。彼は米国公

衆衛生局 (PHS) で研修を受け、その後グアテマラ公衆衛生局の性病対策部門の責任者になっていました。実質的には Funes と PHS 研究員 John Cutler (後にタスキギー実験に関与) の 2 人が組んでこの実験を進めました。

**Q:** 研究はどのように行われたのですか？

**A:** 当時のグアテマラでは売春が合法で、中央刑務所にも売春婦が入っていました。そこで Funes たちは、梅毒に感染している売春婦を送り込んだのです。感染例が少ない場合、梅毒菌の接種もしました。後期の実験

では、囚人の体 (前腕や頬やペニス) に擦り傷を作り、菌を付けた綿やガーゼ片を 1.5 ~ 2 時間当てたままにしました。しかし、この方法では梅毒を感染させることがなかなかできず、最終的には関心が薄れ、実験は 1948 年までに中止されました。[その後、米国疾病対策センター (CDC) は、696 人の被験者のうち 427 人が感染したと判定されていたことを知った。うち 369 人は後にペニシリンで「適切な治療」を受けた。]

**Q:** これらの実験は、許可を受けてなされたのですか？

**A:** グアテマラ中央刑務所は事前の約束なしに訪れることはできず、責任者の承諾を得ずにこうした実験を始めることもできません。これは、後年に研究が行われたグアテマラ国立精神衛生病院の場合も同じです。この病院でのケースでは、Cutler と Funes は、同病院にプロジェクターなどの備品を提供する見返りとして、研究を進めることができたのです。抗てんかん薬のダイランチン (フェニトイン) も提供しました。というのも、この病院にいた大勢の患者は実際にてんかん患者でしたが、発作を抑える薬剤がいつさいなかったからです。つまり、病院管理者たちとの取り引きに基づいて、実験は遂行されたのです。

**Q:** これまで、この事実が一部でも公表されたことはありましたか？

**A:** いいえ。1950 年代初めに Cutler はニューヨーク州シンシン刑務所 (米国) で行われた梅毒接種計画に関与していました。その研究は公表され、関係者は囚人たちの同意を得たと述べています。しかし彼らはグアテマラの実験には言及していません。私は、グアテマラ実験が倫理的に危ういものだったことを彼らが認識していたと思います。PHS 内部にも自分たちがやっていることについて疑問

の声がありました。しかし当時、保健行政当局は梅毒と戦っていました。私は、保健当局者が被験者たちを梅毒との戦争で使う兵士に見立てていたのだと思います。

**Q: 全容をどのようにして知ったのですか？**

**A:** 2年前にピッツバーグ大学（米国）で研究していたとき、かつてそこで教鞭をとっていたCutlerが文書を残していたことを知りました。タスキギーに関して未知の記述があるかもしれないので、文書の閲覧を頼みました。そして見つけたのが、今回のグアテマラ事件の資料だったのです。ショックでした。論文が梅毒接種について書いていたからです。私は20年前からタスキギー実験について研究しており、タスキギーでは梅毒菌接種はなされなかったことを、多大

な時間をかけて説明してきました。ですから、この資料を読んだとき、本当に信じられませんでした。

**Q: その後どうなりましたか？**

**A:** 『Examining Tuskegee (タスキギーの検証)』を書き上げた後、私は2009年6月にピッツバーグ大学へ戻り、自分の解釈が正しいことを確認するために、グアテマラ実験の研究に再び取りかかりました。論文は2011年1月に *Journal of Policy History* で発表される予定です。そのコピーを、1972年にタスキギー実験が曝露されたときのCDC所長で、私がずっと連絡を取ってきたDavid Sencerに進呈しました。彼を通じて内容を読んだCDC関係者が非常にショックを受け、元のデータを見るために梅毒の専門家を1名派遣してきました。彼は私

が見つけた資料を確認し、この話がCDC上層部へと伝わったのです。

**Q: 現在の研究者はここから何を学べるでしょうか？**

**A:** 米国の薬剤臨床試験の大半は、現在、各国の協力の下に行われています。我々は米国内のことは管理できますが、外国では何が行われているのでしょうか。また、もしグアテマラの実験が民間の製薬会社によって行われたものであったなら、私が実験の真相について知ることは決まらなかったでしょう。この事件から得られる教訓は、研究機関における審査委員会の設置と、国際的な臨床試験におけるインフォームドコンセントの確実な理解・適用の確認が重要だ、ということです。 ■

(翻訳：船田晶子、要約：編集部)

## パリ郊外にスーパーサイエンス・キャンパスを建設

### Paris plans science in the suburbs

DECLAN BUTLER 2010年10月21日号 Vol. 467 (897)  
www.nature.com/news/2010/101020/full/467897a.html

フランスでは、パリの南西30kmのサクレー地域にさまざまな研究機関と研究者を集め、世界トップレベルのサイエンスパークを形成しようと、巨額投資が始まっている。

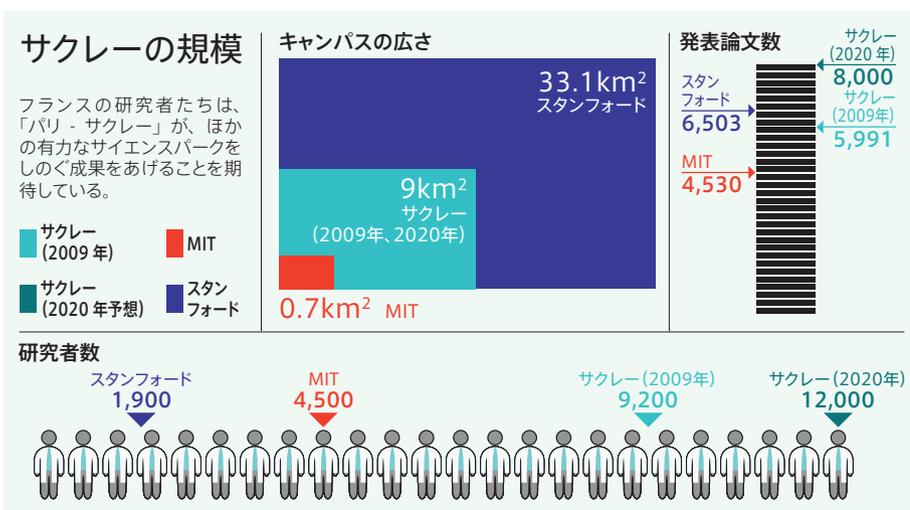
2010年9月24日、ニコラ・サルコジ仏大統領は、パリ郊外サクレーの光学研究所大学院でのスピーチで、スーパーサイエンス・キャンパス「パリ-サクレー」建設計画の着手を正式に宣言した。目標は、2020年までに「パリ-サクレー」を世界トップレベルの大学やサイエンスパークの仲間入りをさせることにある。いわば、フランス版のマサチューセツ

工科大学 (MIT) といったところだ。

サルコジ大統領は、パリにあるいくつかのグランゼコール（フランスのエリート高等教育機関）と、フランス最大の大学であるパリ第11大学（パリ南大学）のオルセー・キャンパスの一部が、サクレー台地に移転することになると発表した。「パリ-サクレー」の23のパートナーには、研究機関、大学、グランゼコール

が含まれており、10月末にこれらが投票を行って、プロジェクトの最終的な管理執行体制を決定した。今後は、この組織が先頭に立って、ナノテクノロジーや低炭素エネルギーをはじめ、12の研究テーマを核とするキャンパスの科学戦略を実施していくことになる。フランス政府は、異なる研究機関に所属する多数の研究者を1か所に集め、集中的に投資を行って、主要部門の研究を「臨界」にもっていこうとしている。また、「パリ-サクレー」にトップレベルの大学と企業の研究所が集まることで、イノベーションが促進されることも期待している。

サクレー台地は、既にヨーロッパでも研究機関が集中している地域の1つになっている。フランスの主要な研究機関の研究所や、名門エコール・ポリテクニクのほか、SOLEILシンクロトロンなどのビッグサイエンスのインフラがあり、研究者数と発表論文数ではMIT（米国マサチューセッツ州ケンブリッジ）やスタンフォード大学（米国カリフォルニア



ア州スタンフォード)と肩を並べている(上図参照)。また、タレス社、ダノン社、アレヴァ社などの大企業もここに研究所を置いている。

しかし、フランス政府は、現在サクレー台地に点在している研究機関は、その潜在能力を十分には発揮していないと考えている。サルコジ大統領はスピーチの中で、現在のキャンパスは「研究機関のモザイクにすぎません。個別には一流ですが、互いに協調しておらず、人為的な組織の壁に隔てられています」と評した。そして、そのような壁は「科学競争がグローバル化している今、完全に時代遅れとなっているのです」と指摘し、包括的なキャンパス戦略の必要性を唱えた。

サクレー・プロジェクトに参加する研究センターのトップたちは熱心だが、一般の研究者の中には、自分たちには情報がほとんど下りて来ないことを心配する者もいる。とはいえ、サクレーに研究を集中させ、再編成することは、基本的にはよい考えだと認めている。フランス国立農業研究所 (INRA) の Marion Guillou 所長は、ほとんどの研究所が移転し、キャンパスが形成されるのは2015～2020年のことであり、協議の時間は十分にあるという。

フランス政府は、公共交通機関の整備や、新しい学際研究機関・研究所の建設をはじめとする合同キャンパスの形成に、数十億ユーロ(数千億円)を投入し

ようとしている。こうした動きに、研究者たちも変わっていきようとしている。新しい研究センターでは、異なる研究機関や大学のグループが連携して、神経科学から太陽光発電まで、多様な分野の問題に取り組むことになる。2020年の「パリ・サクレー」の居住者は、現時点よりも2万5000人増えて7万人になる見込みである。そのうちの1万2000人が研究者で、敷地の3分の1を民間部門の研究所が占めることになっている。

サクレー・キャンパスは、新しい建物の建設費だけでも約40億ユーロ(約4400億円)を必要とする。2009年2月には、フランス科学省が50億ユーロ(約5500億円)を投じた「オペレーション・キャンパス」プロジェクト(10の選抜されたキャンパスを改装・改築するプロジェクト)の一環として、8億5000万ユーロ(約940億円)を獲得した。さらに、研究機関、大学、およびその他の省庁も、10億ユーロ(約1100億円)を寄付することが決まっている。その一部は、パリにある研究所がサクレーに移転するときに、価値の高い不動産を売却することによって賄われる。

サルコジ大統領はサクレーでのスピーチの中で、移転の第一波を支援するため、さらに10億ユーロ(約1100億円)を拠出すると発表した。また、キャンパス内の学生用住宅建設費として、9億ユーロ(約990億円)が別に確保されている。

さらに、2009年12月に発表された、いわゆる「ビッグ・ローン」によるフランスの景気刺激策でも、同キャンパスには10億ユーロ(約1100億円)が配分されたほか、景気刺激策のうち研究部門に割り当てられる220億ユーロ(約2兆4000億円)の中からも、インフラや補助金の形で、さらなる支援が期待される。

しかし、サクレーと関係のある研究者たちは、パリに拠点を置くフランス国立研究機関が定めた「ビッグ・ローン」に基づく補助金申請の提出期限が早すぎることを心配している。2010年の夏から秋にかけて、総額約86億ユーロ(約9500億円)に上る初回の補助金が出されたが、申請書の提出期限まで、わずか3～6か月しか与えられなかった。あるシニア研究者が匿名を条件に答えたところによると、研究グループの多くは、自分たちがどうやってサクレーでほかの研究者と連携しようかという思案に時間がとられ、提出期限までにきちんとした申請書をまとめようと「悪戦苦闘」しているという。別のシニア研究者は、サクレーのパートナーが誰も明確な戦略をもっていないなら、「期待されているような科学的・教育的な付加価値をもたらさない、その場しのぎのプロジェクトの寄せ集めで終わってしまうかもしれません」という。

また、パリ南大学を本拠地とする別の研究者は、このプロジェクトは「科学にとって何が最善であるかを深く考えることもなく、トップダウン式に決定されたもの」であるという。しかし、プロジェクトを率いる Hervé Le Riche は、キャンパス戦略の推進には、科学ディレクターや研究所の所長たちが2009年から深く関与しており、計画は順調に進んでいると話す。

最後に Le Riche はこう付け加えた。「フランス文化において、変化は必須なものではありません。改革というものは常に、少しばかりの不安を伴うものなのです」。

(翻訳：三枝小夜子)

※ 本誌 18 ページに関連記事

## 天文学

## 130 億光年を超える「最も遠い天体」を発見

## Galaxy sets distance mark

MICHELE TRENTI 2010年10月21日号 Vol. 467 (924-925)

これまでに観測された中で最も遠い天体の記録を、UDFy-38135539 銀河が塗り替えた。

この銀河は、宇宙の再電離時代に水素原子から電子を取り去ったものが何だったのかという問題に対して、大きな手がかりとなるはずだ。

パリ天文台の Matthew Lehnert らは、空のハッブルウルトラディープフィールドとよばれる領域にある1つの銀河について分光観測を行い、これまでに知られている最も遠い天体であることを発見した。彼らはこの結果を *Nature* 2010年10月21日号940ページに報告した<sup>1</sup>。この銀河は地球から40億パーセクを超えた距離にあり、赤方偏移量  $z$  は8.56に達する。この赤方偏移量は、これまでガンマ線バーストがもっていた  $z=8.2$  という記録を破った（ガンマ線バーストは宇宙空間で起こる1回限りの強烈な爆発現象で、光度のピークから数時間以内に減光する）<sup>2,3</sup>。今回の銀河はおそらく、約10億個の星からなり<sup>4</sup>、ビッグバンから6億年以内にできたもので、今後数千万年にわたって現在私たちに見えている明るさで輝き続けるだろう。

この銀河は UDFy-38135539 と名付けられている。ハッブル宇宙望遠鏡のワイドフィールドカメラ3を使って可視光と近赤外線波長で行われた撮像観測によって、8よりも大きな赤方偏移をもつ銀河の候補とされていたものの1つだ（図1）<sup>5,6</sup>。ここで、赤方偏移量  $z$  の銀河の場合、赤方偏移した水素ライマン  $\alpha$  輝線の波長は  $0.1216(1+z)$  マイクロメートルであり、それよりも波長の短いスペクトルは、光源と観測者の間にある銀河間物質中の中性水素原子による光子吸収のために観測されない。

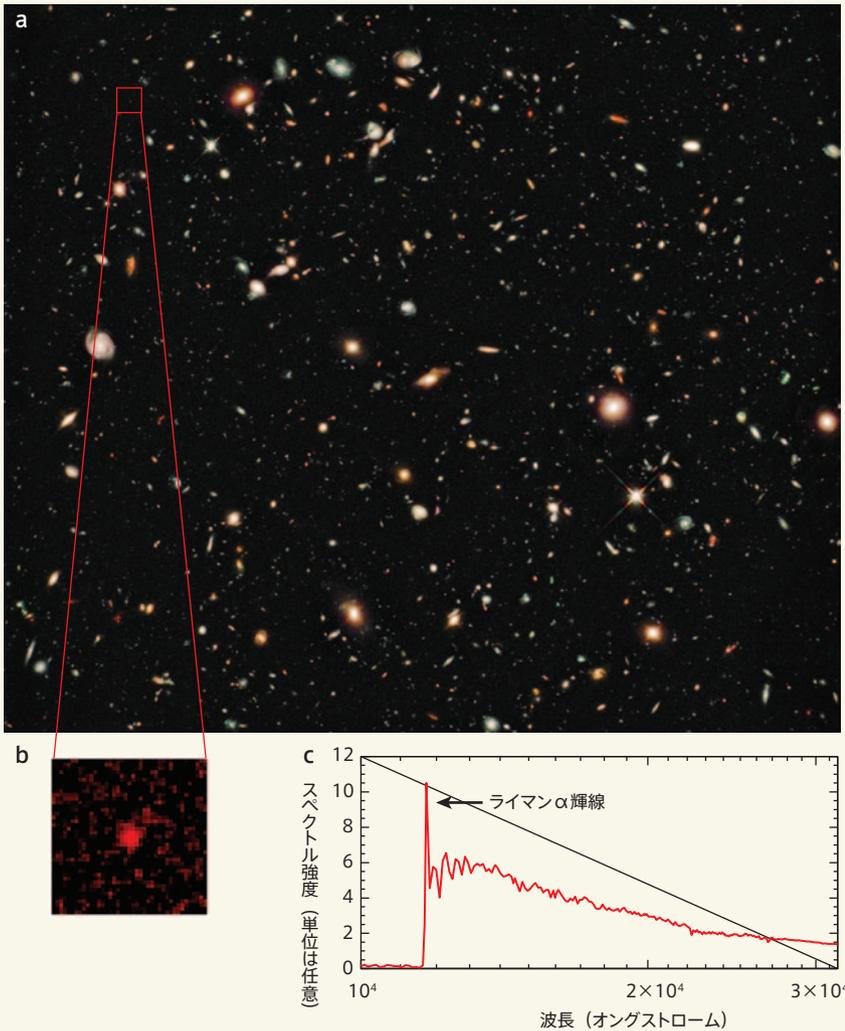
ライマン  $\alpha$  輝線の検出によって赤方偏移の大きい銀河の候補を見つけるには、通常はスペクトルの複数の周波数帯で画像撮影を行う。しかし、一般的に使用されるフィルターは広い周波数通過帯域をもつので、ライマン  $\alpha$  輝線の場所ははっきりせず、赤方偏移の見積もりは近似的なものだ（一般的には赤方偏移の見積もりの誤差は約0.5である）。さらに、高赤方偏移天体からの光の周波数は広い範囲にわたるのが特徴だが、褐色矮星や異常な性質をもった低赤方偏移銀河なども同じような特徴をもち、こうしたほかの天体である可能性もある。だから、画像撮影から得られた赤方偏移の推定値を確かめるためには分光観測が必要だ。

Lehnert らは、チリの超大型望遠鏡 VLT の近赤外線インテグラルフィールド分光写真装置「SINFONI」を使って、UDFy-38135539 を計16時間にわたって観測した<sup>1</sup>。彼らは得られたスペクトルから、高い統計的信頼性 ( $6\sigma$ ) で  $1.1616\mu\text{m}$  の輝線を検出し、この輝線はこの銀河の水素ライマン  $\alpha$  輝線だと結論した。輝線の波長から、銀河の赤方偏移は  $z=8.56$  とわかった。輝線のスペクトル強度は SINFONI の検出限界に近いので、輝線が宇宙由来であることを証明するため、彼らはいくつかの統計的テストを行った。それでも、この輝線が水素のライマン  $\alpha$  輝線ではない可能性は

ごくわずかながら残っている。Lehnert らは、この輝線が  $0.3727\mu\text{m}$  の分離できていない酸素 II 二重項であるという可能性を99.9%の信頼性でしか除外できていない。もし酸素 II 二重項であれば、この銀河の赤方偏移は  $z=2.12$  ということになる。

Lehnert らの結果<sup>1</sup>は、観測的宇宙論において重要かつ大きな進展だ。UDFy-38135539 は今まで見つかった中で最も高い赤方偏移をもつ銀河であり天体だが、それだけではない。ビッグバンから6億年以内に起こった宇宙の再電離時代に確かに存在していることがわかった、初めての銀河なのだ。この時代に、宇宙に初めて生まれた天体からの放射が、ビッグバンで作られた水素原子から電子を取り去って電離させたと考えられている。Lehnert らは、UDFy-38135539 の周囲に少なくとも1Mpc（メガパーセク）の半径をもつ電離した水素ガスの泡が存在していると推測している。そのような泡があれば、ライマン  $\alpha$  輝線の光子は中性の銀河間物質に達するまでに赤方偏移して吸収周波数から逃れることができる。

泡の半径は、銀河が自身の放射によって作り出すことができるとみられる半径よりも大きい。これは、再電離時代の電離を起こす源は、第一には、UDFy-38135539 のような大きな銀河の周りに群れをなして集まっているとみられる小



**図 1. 最も遠い銀河。** a. 近赤外線撮影されたハッブルウルトラディープフィールドの画像。今までに撮影された中で最も遠い宇宙の画像である。b. 銀河 UDFy-38135539 の合成近赤外線ハッブル画像<sup>5</sup>。この銀河は、Lehnert らの分光観測により、これまでに観測された中で最も遠い天体とわかった<sup>1</sup>。c. 銀河 UDFy-38135539 からの光のスペクトルのシミュレーション。銀河の星の年齢は 1 億年と仮定している。Lehnert らは、観測されたスペクトルにおける水素ライマン  $\alpha$  輝線の正確な位置から、この銀河の赤方偏移量を 8.56 と結論した。

質量銀河だという説を間接的に裏付けるものだ<sup>8,9</sup>。しかし、電離を起こす源に関するこの推論は間接的な証拠に基づいたものであり、電離を起こす源も 1 つしか考慮していない。これとは別に、視線方向に引き延ばされた球形ではない形の泡が存在しているのだとする説もある。ライマン  $\alpha$  放射が中性銀河間物質から逃れる仕組みには、最大で  $500 \text{ km s}^{-1}$  に達する大規模銀河ガス流出の存在も寄与しているのかもしれない。こうした流出

があれば、放出時のライマン  $\alpha$  光子の周波数は変化する<sup>10,11</sup>。

Lehnert らの研究<sup>1</sup>の成功は、高赤方偏移天体の分光が可能であることを示したものであり、まさに刺激的だ。UDFy-38135539 はこの時代ではかなり典型的な銀河であり、ハッブルウルトラディープフィールドの小領域の中で 8 よりも大きな赤方偏移量をもつ可能性のある 5 つの天体の中で 3 番目に明るかったにすぎない<sup>5</sup>。もっと明るく、分

光観測をしやすい、8 程度の赤方偏移量をもつ天体はおそらく、ハッブル宇宙望遠鏡を使って始まったばかりの深宇宙観測計画「CANDELS」で見つかるだろう<sup>12</sup>。しかし、今後の観測は必ずしも簡単ではないはずだ。第一に、UDFy-38135539 と同じくらい明るく、約 8 の赤方偏移量をもつすべての銀河が、同じくらい強いライマン  $\alpha$  放射をもつわけではないからだ。第二に、Lehnert らは、地上からの観測では、UDFy-38135539 と似たライマン  $\alpha$  輝線を見つける可能性は 50% しかない、と見積もっている。観測時の雑音レベルは、大気中の原子や分子の輝線のために波長によって大きく異なるからだ。

2010 年代の後半に、30 メートルクラスの次世代地上望遠鏡とジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡が登場し、こうした観測上の問題の多くを克服するだろう。例えば、ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡の近赤外線分光写真器「NIRSpec」は、地球大気による雑音に影響されず、SINFONI よりも高い信号対雑音比で観測でき、1 万秒以下の観測時間で  $z=8 \sim 9$  の銀河からのライマン  $\alpha$  放射を検出できるだろう。しかし、宇宙の再電離を引き起こした源のトポロジーとその正体を突き止めるためには、新しい望遠鏡の完成を待たなければならないということはないはずだ。Lehnert らが示したように、現在の地上の観測機器で高い赤方偏移量をもつ天体の分光観測を行うことは、とても意味のあることだ。 ■

(翻訳：新庄直樹)

Michele Trenti, コロラド大学宇宙物理学・宇宙天文学センター (米国)。

1. Lehnert, M. D. *et al. Nature* **467**, 940–942 (2010).
2. Tanvir, N. R. *et al. Nature* **461**, 1254–1257 (2009).
3. Salvaterra, R. *et al. Nature* **461**, 1258–1260 (2009).
4. Stark, D. P. *et al. Astrophys. J.* **697**, 1493–1511 (2009).
5. Bouwens, R. J. *et al. Astrophys. J.* **709**, L133–L137 (2010).
6. McLure, R. J. *et al. Mon. Not. R. Astron. Soc.* **403**, 960–983 (2010).
7. Iye, M. *et al. Nature* **443**, 186–188 (2006).
8. Zahn, O. *et al. Astrophys. J.* **654**, 12–26 (2007).
9. Trenti, M. *et al. Astrophys. J.* **714**, L202–L207 (2010).
10. Steidel, C. C. *Astrophys. J.* **717**, 289–322 (2010).
11. Dijkstra, M. & Wyithe, J. S. B. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* doi:10.1111/j.1365-2966.2010.17112.x (2010).
12. www.stsci.edu/cgi-bin/get-proposal-info?12060

がん

## 転移性の膵臓がんにもみられるゲノム変化

### Genomic evolution of metastasis

E. GEORG LUEBECK 2010年10月28日号 Vol. 467 (1053-1055)

膵臓がん患者の予後はよくないが、それは診断の遅れが原因となっていることが多い。

今回、正常細胞から腫瘍細胞への変化の開始（発がんイニシエーション）から転移性を獲得した悪性化まで、少なくとも15年かかるという推定値が出された。

この研究成果から、膵臓がんの早期発見や予防に希望がみえてきた。

ヒトの進化に関しては、放射性炭素年代測定法や、骨格の比較解剖学からさまざまな情報が得られてきた。それと同様、がんの進化についても、その核心に迫るため、現在では、腫瘍細胞のDNA塩基配列解読に加え、染色体異常についても分子レベルでの「解剖」が始まっている。Nature 2010年10月28日号に掲載された2つの論文では、転移性（ステージIV）の膵臓がん患者のゲノムから、遺伝子2万個以上のタンパク質コード領域（エキソン）の塩基配列を解読して得られた知見が報告されている<sup>1,2</sup>。これらの知見は、膵臓腫瘍とそこから発生した転移性腫瘍の変異分布状況を、非生殖細胞系列として初めて高い解像

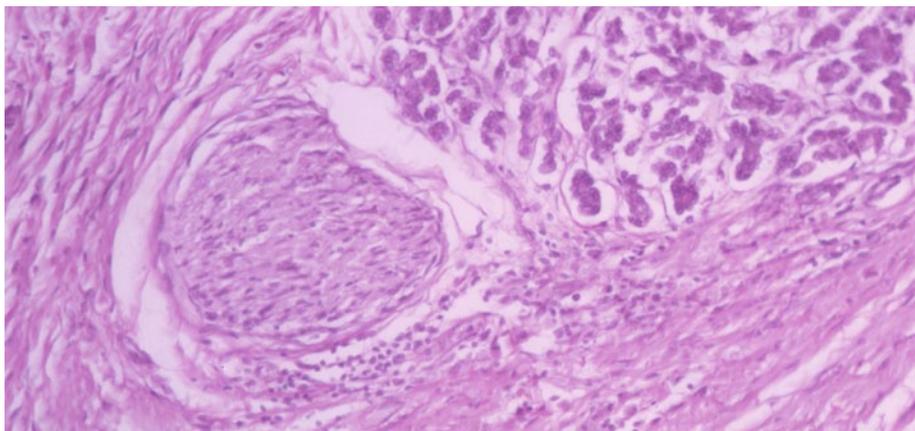
度（塩基対1個のレベル）で示したものである。

ゲノムの不安定性<sup>※</sup>（ゲノムに安定に維持されていた染色体構造や塩基配列が変化してしまう現象）は、がんの特徴の1つだと長い間考えられてきた。しかし、この「ゲノム不安定性」は、がんの進行においてどんな重要性をもち、どういった影響を与えているのか、長らく議論的であった。ウェルカムトラスト・サンガー研究所（英国ケンブリッジ）のCampbellらは、この問題に取り組むため、DNA塩基配列に基づいて染色体再編成を調べた（Nature 2010年10月28日号1109ページ）<sup>1</sup>。その結果、患者1人の転移巣のほぼすべてで、「折り返し

型（fold-back）逆位」と彼らが名付けた、特異的な染色体再編成が起こっていることがわかった。そのうえ、この染色体再編成は、原発腫瘍と転移巣の両方に見つかったのだ。これは、ほかの種類の染色体再編成が原発腫瘍か転移巣のどちらかにみられるのとは異なっている。そのためCampbellたちは、この折り返し型逆位は腫瘍形成の初期に起こっており、膵臓がん進行の重要な促進要因になっている可能性が高いと考えている。

折り返し型逆位の起源、つまり、いつどこで起こるかは、正確にはわかっていない。しかし、プロセスとしては、おそらくテロメラーゼ（テロメア伸長酵素）の活性は抑制されるか機能不全になっているので、DNA複製に伴ってテロメアの短縮が進み、これがBFB（切断-融合-架橋）サイクルの反復を引き起すのかもしれない<sup>3,4</sup>。BFBサイクルが繰り返されることで、遺伝物質を徐々に獲得もしくは喪失し、ゲノム不安定性を招いていると考えられる。なお、興味深いことに、浸潤性腫瘍ではテロメラーゼが再活性化しているようである。テロメラーゼ活性は、多量のBFBサイクル誘導型再編成を安定化する作用をもっている可能性があるが、ほかの種類の再編成に対してはそうした作用はもたないと考えられる。

それはさておき、Campbellたちの研



膵臓がんは、発見が難しいうえ進行が速いため、極めて予後が悪い。早期発見の方法開発が待たれる。

究成果は、膵臓がんの発生においてゲノム不安定性が存在することを明確に確認したものだ。しかし、患者間で染色体再編成の数や型、位置に大きな違いがあり、また、患者1人の同一臓器内の複数ある転移性沈着の間でさえもそうした違いがあるため、ゲノム不安定性の機能的な影響はまだよくわかっていない。もっと多数の患者を対象に次世代シーケンシング技術を用いて調べれば、パズルの欠けている部分を埋められ、がん全般について腫瘍進行や転移性播種の促進要因を突き止められるようになるだろう。

一方、ジョーンズホプキンス大学医学系大学院（米国メリーランド州ボルティモア）の谷内田 真一らは、腫瘍進行の時間区分という、臨床に関連する問題にも取り組んでいる（*Nature* 2010年10月28日号1114ページ）<sup>2</sup>。谷内田はCampbellらの研究にも携わっているが、彼らも7人の膵臓がん患者の転移巣についてゲノム塩基配列解読を行い、各々について、あらかじめ配列解読しておいた原発腫瘍と系統発生的な類似性を調べた。その結果、3つの時間区分の推定値が導かれた（図1）。つまり、正常細胞が変化する発がんイニシエーションから非転移性の親クローンになる細胞の発生までの時間、親クローンの出現から転移能獲得までの潜在時間、そして、転移性播種（転移がんの発生）から患者死亡までの時間である。

谷内田たちが、発がんイニシエーションから転移性播種までの時間は少なくとも15年あると見積もったことは注目すべきだ。なぜならこの結論は、膵臓がんが離れた臓器へ広がる前に、医療介入を行えるだけの時間的余裕があることを物語っているからである。この知見は、以前に報告された、一般集団における膵臓がんの年齢別発生率の定量解析から導かれた推定値<sup>5</sup>と矛盾しない。この集団解析<sup>5</sup>は、膵臓がんには変異蓄積とクローン拡大の両方にランダムな性質があることを示す、総合的な数学的記述に基づいている。それによると、発がんイニシエー

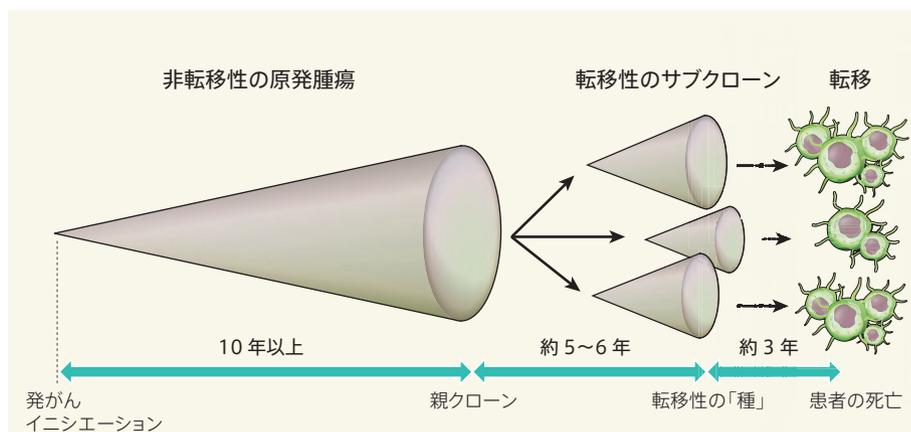


図1. 膵臓がん進行の時間区分。2つの共同研究チームが、腫瘍-DNA塩基配列データの数理解析<sup>1,2</sup>を行った。その結果、正常細胞での変異の発生（発がんイニシエーション）から親クローンが誕生して膵臓がんになるまで、10年以上かかる可能性が高いことが示唆された。しかし、この親クローンに転移能はなく、ほかの組織に広がる能力をもつサブクローンは、さらに5～6年かけて発生する。転移には、その後およそ3年かかり、患者は転移からさほど経たずに死亡する。

ションとなる変異からがんの臨床診断までの平均潜在時間が50～60年にもなる可能性があることを見積もられていた。

一見すると、一般集団の解析で得られた「最初の原発腫瘍に偶然なるまでの推定時間」は、谷内田らが見積もったものよりも随分と長い。しかし、塩基配列に基づく谷内田らの推定値<sup>2</sup>には一般性がないことに留意すべきだろう。彼らは、がん化や転移の可能性のある全ての膵臓内病巣の平均をいつているわけではない。組織内の1つの病巣がそうなるまでの時間を示したのである。つまり、谷内田らの推定値は、膵臓上皮内腫瘍のような浸潤性や転移性のがんを生じうる膵臓病巣における平均潜在時間を見積もったのであり、低いほうの限界値を示したものだと思えるべきだろう。臨床的見地からすると、肝心なのは将来の疾患リスクであり、複数の病巣はそれぞれが、がんに進行する可能性をもっていると考えられる。したがって、短めに見積もられた谷内田らの推定時間は、臨床的に意味のあるものといえる。

これら2つの研究<sup>1,2</sup>は先駆け的なもので、個々人の腫瘍について塩基配列

データの生物学的、臨床的な意味を探った最初の研究といえる。塩基配列解読の技術は猛烈な速さで進んでいるので、腫瘍進行の進化的過程に関するさらに詳細な情報が次々と発掘されることだろう。そうした情報は、がんの発生・進行過程の理解を深めるだけでなく、がんの早期発見や予後の改善、そして最終的には、予防のための新しい手法にもつながるものと期待される。

（翻訳：船田晶子）

※ゲノム不安定性：ゲノムの恒常性維持機構が破綻した結果、正常な体細胞よりもゲノムの構造異常が起こりやすい状態。その結果、染色体の構造やコピー数の変化、またはDNAレベルで塩基配列の変化が生じる。こうした変化はがん細胞に高率にみられるため、がん細胞の生物学的挙動の異常の一因と考えられてきた。

E. Georg Luebeck、フレッド・ハッチンソンがん研究センター（米国）。

1. Campbell, P. J. et al. *Nature* **467**, 1109–1113 (2010).
2. Yachida, S. et al. *Nature* **467**, 1114–1117 (2010).
3. McClintock, B. *Genetics* **26**, 234–282 (1941).
4. Lo, A. W. I. et al. *Neoplasia* **4**, 531–538 (2002).
5. Meza, R., Jeon, J., Moolgavkar, S. H. & Luebeck, E. G. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **105**, 16284–16289 (2008).

# EUの新イノベーション創出戦略

## The innovation game

2010年10月28日号 Vol. 467 (1005)

欧州連合内のイノベーションを強化する最良の方法は、  
各国の文化的、歴史的、制度的な障壁を超えて、統合された研究圏を構築することだ。

政治の世界で1週間は長い。これは英国のハロルド・ウィルソン元首相の有名な言葉だ。しかし欧州連合（EU）の政治では、10年でさえ非常に短く感じられることがある。その一例は、EU加盟国の首脳が2000年にリスボン（ポルトガル）で調印した、経済成長と福祉増進のための10か年戦略計画（リスボン戦略）だ。ここで中心的な役割を担ったのが「研究」だった。

ヨーロッパは、それぞれの言語と習慣をもった27の個別国家の集合体だ。EUの3機関（EU理事会、欧州議会、欧州委員会）は、ヨーロッパの科学者は1つの領域として機能することが必要だという認識に立って、「欧州研究圏」の創設に合意した。年金や各国で交付される研究助成金の国外への移動に対する障壁を取り除き、科学者の移動の自由化を図るのが目標だ。また、EU全域で有効な単一の特許という構想を支持し、2010年までに国内総生産の3%を研究開発に支出するという目標にも合意した。

ところが10年という歳月は、目標の達成にとって十分ではなかった。各国政府が、目標達成に必要な主権の委譲に抵抗したからだ。例えば、欧州特許制度は、使用言語の数を限定する条約に基づいて、特許取得費用を相応なレベルに抑えている。しかし、今でも、数か国が、すべての文書を自国の言語に翻訳するよう制度化を強く求めている。また、国内の特許事務所の収入源を守ろうとしている国々もある。欧州研究圏の創設に必要な年金などの分野については、法制度の改

正がほとんど進んでいない。しかも、ほとんどの国々が、公的研究支出の相当な増額を達成しておらず、民間部門での研究投資奨励策も実施されていない。

それでも幸いなことに、欧州委員会が10月6日に採択した今後10年間の研究関連戦略では、上述した基本的目標の1つ1つを堅持する姿勢が示された。この新戦略は「イノベーション連合」とよばれ、リスボン戦略に代わる経済成長戦略として去る3月に提案された「欧州2020」に示された構想（イニシアチブ）の1つだ（*Nature* 2010年3月11日号142ページ参照）。12月16日に開催される加盟国の首脳会議では、これに関した討議がなされることになっている。

欧州委員会が、リスボン戦略に示された研究関連の諸目標を堅持したことは正しい。これらの目標が達成されるまで、ヨーロッパは競争力をもちえないからだ。また、国境を越えたリスク・キャピタルの提供（リスクの高い案件に対する投資）という、大いに必要だが、ヨーロッパにほとんど存在しない業務を行う欧州投資銀行の役割を重視する点も正しい。

その一方で、あまり説得力のないのが、「イノベーション・パートナーシップ」という新提案だ。これは、イノベーションの連鎖に関与する人々、つまり研究者、メーカー、消費者代表に至るまで、関係者全員の協力関係を作り出して、大きな社会問題に取り組むことを目的とした構想であり、一見緻密な構想のように見える。高齢化社会、気候変動、食料安全保障といった「大きな挑戦課題」に焦

点をしぼることになっており、欧州委員会は、最初の課題を「健康な老い（加齢）」に決めた。

この手法に見覚えがあるとすれば、似たような多数のプロジェクトが既に実施されているからだろう。例えば、「ジョイント・プログラミング」では、各国の公的資金による研究活動が欧州委員会とは無関係に調整されることになっている。また、官民の研究連携の構築をめざす「ジョイント・テクノロジー・イニシアチブ」には、欧州委員会も資金を提供している。そして欧州工科大学院では、「知識・イノベーションコミュニティ」という別の姿で、官民連携プログラムが実施されている。ところがこうした取り組みは、いずれも成功の域に達したとはいえない。

「健康な老い」をテーマとした新構想は、EUの市民が健康に生きられる平均年齢を2020年までに2年延ばすという極めて野心的な目標を掲げている。称賛に値する単純明快な目標だが、果たして、全体的な戦略はこれで正しいのだろうか。欧州研究圏の創設こそが、真に重要な目標課題である。それまでは新しい制度を増やさずに、既存のイニシアチブの効果を高める努力を払うのが、最良の方策ではないのだろうか。法制度の問題が解決され、リスク・キャピタルの提供メカニズムが導入されれば、イノベーションは、無理に作り出そうとしなくても、自然に生まれてくるはずだ。 ■

（翻訳：菊川要）

# 楽観論と不安が入り混じるリン鉱石資源

## Not quite assured

2010年10月28日号 Vol. 467 (1005-1006)

リン鉱石の埋蔵量に関する楽観的な予測が発表されたが、いくつかの問題点は未解決のまま残されている。

リン酸塩の形態で存在するリンは、RNA、DNA や細胞代謝に重要なかわりをもっており、あらゆる種類の生物がリンに依存している。リンは、窒素やカリウムと共に植物の健全な成長に必須で、肥料によるリンの補給は、現代農業の1つの柱となっている。

肥料の原料となるリン鉱石は、埋蔵量が有限なため、資源枯渇の懸念が指摘されてきた。例えば米国地質調査所のデータでは、リン鉱石の供給量が早ければ25年後にピークを打つことが予想され、それを巡って議論が続いてきた (*Nature* 2009年10月8日号716~718ページ、本誌2010年4・5月合併号参照)。農業では、リン酸塩の代替品がないため、このような予測は、緊急で重大な問題に発展する可能性がある。

しかし、今年になって国際的非営利団体のIFDC (土壤肥料農業開発国際センター；米国アラバマ州マッスルショールズ) が行った「世界のリン鉱石の埋蔵量と資源」研究における暫定的な解析結果では、リン鉱石の埋蔵量は300~400年分あるとされた。ただし、リン鉱石埋蔵量に関して正確な情報を得ることは難しく、IFDCも、より正確な予測を行うためには、さらなる研究の進展が必要なことを認めている。鉱業界、政府や関心を持つ研究者は、IFDCの予測研究に対する協力要請に応えるべきであろう。

リン鉱石の問題の1つは、将来にわたって、世界の需要を満たせるだけの供給量を確保できる保証があるかどうかだ。そして、もう1つ重大な懸念がある。

リン酸塩やその他の肥料は、一部の地域ではほとんど浪費されているとあってよい状況にあるにもかかわらず、別の地域では、手ごろな価格で肥料を入手できない農家がいるという現実だ。

米国、欧州やその他の地域では、農家は数十年間にわたって肥料を浪費してきたが、今ようやく高度な評価法を用いることで、肥料を使用する時期、量、配合比を把握できるようになった。その結果、食料生産量の増加傾向が続く中でも、世界のリン酸肥料に対する需要を抑えることができたのである。

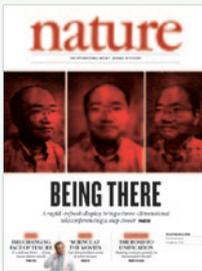
しかし、その他の諸国、特にアジアでは、肥料の過剰な散布が続いている (*Nature* doi: 10.1038/news.2010.498; 2010年9月29日オンライン掲載参照)。また、アフリカの一部諸国などの最貧国では、高額な輸送費や現地の市況のため、肥料の入手コストが農家の手の届かないところまで高騰している。

さらには、現在の肥料製造法では、リン鉱石を肥料に変換する効率を最大限に高めることができていない。リン鉱石の供給国は、中国とモロッコの2か国に集中しており、その他の国々は、この両国の誠意を頼りにリン鉱石を輸入している。ところが、その誠意が、近年の極端な価格変動によって揺らいでいる。そうした不安要素を含みながらも、食料生産は肥料に大きく依存しているため、供給の不公平、肥料の再利用を含む肥料の持続可能な利用の必要性といった論点が、持続可能な開発に関する議論からほとんど抜け落ちているのだ。

例えば、こうした論点は、2009年11月にイタリアのローマで開かれた国連食糧農業機関 (FAO) 主催の世界食料安全保障サミットで、付随的に言及されるにとどまった。しかし、水文学者、土壌研究者や食品科学者は、リン鉱石を巡る問題に対して認識を高め始めている。11月1~3日にロンドンで開催される「クロップ・ワールド2010」の会議では、この論点に的をしばった議論が行われる。会議には、数多くの研究者に加えて、産官の代表者も参加し、英国政府からは主席科学顧問のJohn Beddingtonが参加する。彼は、政治の世界で食料安全保障問題に対する意識を高めるために尽力してきた人だ。

FAOのような国際機関が肥料の持続可能な利用を本気で支持すれば、問題解決への取り組みに弾みが付くはずだ。既にFAOは、肥料の需給状況を追跡調査しており、リン酸肥料の利用状況に関する報告書も公表している。持続可能な肥料供給について、具体的なプログラムは進められていないが、FAOの農業および天然資源を担当する部門が、この分野で、ある程度の研究を進めており、これが活動を進めるうえでの基礎となるだろう。今、FAOがしなければならないのは、この問題を舞台の隅から中央へと押し出して、未来の農業と持続可能な開発を形作るための政策策定プロセスに組み込むことである。

(翻訳：菊川要)



Volume 468  
Number 7320  
2010年11月4日号



## そこに居る：迅速なリフレッシュが可能なディスプレイによって、三次元会議開催の実現が一步近づいた

**BEING THERE: A rapid-refresh display brings three-dimensional teleconferencing a step closer**

特殊なメガネの着用を必要としない、真の三次元画像を作り出す実用的な方法があれば、遠隔治療、地図作製や娯楽など、多様な分野での応用が考えられる。真の3Dホログラフィック・ディスプレイは、これまで、動きを伝えられるほどの速度で画像を更新できなかった。しかし、今回、記録媒体として新規な光屈折性ポリマー材料を用いて新たに開発されたシステムにより、2秒ごとにリフレッシュ可能なホログラフィック・ディスプレイを作製できることが示された。多色全方向視差ディスプレイが作製可能であり、ホログラフィック画像を表すデータのある場所から別の場所に伝送する3D「テレプレゼンス」が行える。

## 生理：ビデオに撮られた歩くミオシン V

### Walking myosin V caught on video

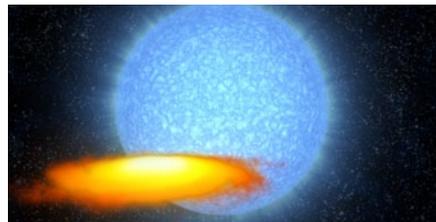
ミオシンファミリーのモータータンパク質は、真核細胞で多くの重要な役割を果たしており、アクチンを使う運動の中心となる。ミオシンの作用機構の解明は、生体分子の構造と動態を同時に観察できる技術がなかったことが障害となっていたが、古寺哲幸（金沢大学）たちは今回、高速原子間力顕微鏡（HS-AFM）を用いて、アクチンフィラメント上を動くミオシン V を前例のない高い時間分解能で直接観察した。これにより、ミオシン運動のレバーアーム首振りモデルを裏付ける物的証拠となる高分解能動画が得られた。HS-AFM によって可能となった高分解能画像化は、構造生物学と1分子生物学の分野で広く応用できる技術となるだろう。

## 宇宙：解明された強力な X 線源

### A powerful X-ray source explained

近傍銀河 M33 にある連星系 X 線源 X-7 は、その進化の歴史を理論的に説明するのが難しいことがわかっている。系を構成する星が大質量であることや、水素に富む大きな伴星のサイズに比べて系の軌道が狭いことが、説明できなかった（伴星の周りを高速自転するブラックホールが周回している）。

Valsecchi たちは、進化の道筋のシミュレーションを行い、もし M33 X-7 が、85 ~ 99M $\odot$ の主星と、2.8 ~ 3.1 日で周回する 28 ~ 32M $\odot$ の伴星としてスタートしたとすれば、観測されたその特徴が矛盾なく説明できることを報告している。M33 X-7 が進化の間に経てきたと思われる過去のさまざまな段階が別の連星でも観測されていることは、この新しいモデルの裏付けとなる。



## 医学：プロゲステンと乳がん

### Progestins and breast cancer

避妊薬やホルモン補充療法に使用されるプロゲステンは乳がんと関連付けられている。今回2つの研究チームが、この関連性の基盤となる機序をそれぞれ別に明らかにしている。Schramek たちはマウスモデルを用いて、合成プロゲステンが破骨細胞分化因子 RANKL を誘導して乳腺腫瘍形成を促進できることを明らかにした。RANKL は、その受容体である RANK を介して乳腺上皮細胞に作用する。また Gonzalez-Suarez た

ちは、ホルモン誘導型およびほかの型のマウス乳腺腫瘍モデルで RANKL を阻害すると、腫瘍形成が抑制されることを見だし、これが新規の治療法になる可能性を示唆している。RANKL 阻害剤の1つであるデノスマブは、閉経後の骨粗鬆症での骨密度低下や転移性骨疾患での骨関節症状に対する治療薬として、臨床試験が進行中である。

## 生理：ビタミン K 代謝の重要な酵素

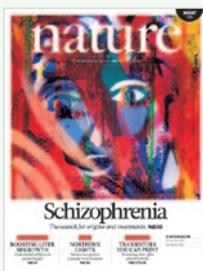
### Key enzyme in vitamin K metabolism

血液凝固や骨代謝の重要な因子であるビタミン K は、食品中に主に植物由来のフィロキノン（PK）の形で含まれている。別の型のビタミン K であるメナキノン-4 つまり MK-4 は、ヒトやラットの脳、腎臓および膵臓という非常に特異的な組織分布を示すことから、フィロキノンから局所的に合成されると考えられている。今回、中川公恵（神戸薬科大学）たちは、この合成を触媒する酵素として UBIAD1 を同定した。UBIAD1 は大腸菌酵素のヒトホモログである。UBIAD1 の遺伝子はシュナイダー結晶状角膜炎トローフィーの原因遺伝子の候補に挙がっていたが、その機能はこれまでわかっていなかった。活性型ビタミン K である MK-4 を生合成できるヒト酵素の発見は、ヒトのビタミン K 必要性と骨の健康についての研究にかかわってくる。

## 細菌の免疫：守備範囲の広い CRISPR/Cas

### Bacterial immunity: versatile CRISPR/Cas

CRISPR/Cas は細菌の免疫系で、細菌をウイルス感染から守ることが知られている。今回、テルモフィルス菌の CRISPR/Cas 系がプラスミドの保持運搬とファージ感染の両方を防ぐことが明らかになった。この系は、侵入してきた二本鎖 DNA を、それがウイルス由来であってもプラスミド由来であっても、切断する。CRISPR/Cas 系は、この目的に合うように実によく適応しているようだ。この系は、抗生物質耐性遺伝子の獲得と拡大に抵抗性を示す、より安全でロバストな細菌株を、自然に存在する方法によって作り出すのに使えるかもしれない。



Volume 468  
Number 7321  
2010年11月11日号



### 特集：統合失調症 — その原因と治療法を探る

#### SCHIZOPHRENIA: The search for origins and treatments

本号の特集では、統合失調症についての現在の知識や、今後数十年間の制御に有用と考えられる研究指針を論じた記事を掲載している。3編の Perspectives では、統合失調症に関して現在我々がもつ知識の異なる側面について概説している。国立精神衛生研究所（米国）の所長である T Insel は、統合失調症の治療法に将来つながるかもしれない新たな取り組みについて概説し、統合失調症が神経発達障害の1つであり、その精神症状は疾患後期のおそらくは予防可能なものであることを強調すべきだと論じている。マンハイム精神衛生中央研究所（ドイツ）の所長 A Meyer-Lindenberg は、ニューロイメージング（神経画像処理）などの技術が今後の治療の発展にどのように役立つかを解説している。そして J van Os たちは、統合失調症のリスクに影響を与える環境要因について現在わかっていることと、こうした要因の研究でぶつかるであろう主要な問題について概説している。

### 神経：脳卒中回復を促進するための標的

#### A target for boosting stroke recovery

脳卒中は能力障害の主要な原因だが、それは脳の回復力が限られているからである。実際に起こる機能回復の一部は、梗塞部位の辺縁にある組織への脳機能の移譲によっている。今回、マウスモデルでの研究により、脳卒中が GABA の輸送を障害し、これが抑制性神経伝達物質の蓄積につながって、梗塞部位付近の神経興奮が低下することが示された。シナプス外 GABA<sub>A</sub> 受容体を遺伝学的あるいは薬理的に遮断すると、行動機能の回復が促進される。重要なのは、脳卒中発作から治療開始までに時間がかかった場合でも、この方法が有効であるという点である。この研究は、脳卒中後の神経回復のための新たな薬物治療標的を突き止めたもので、これは脳卒中以外の脳損傷についてもおそらく適用可能と考えられる。

### 神経：恐怖の神経回路

#### The neural circuitry of fear

扁桃体中心核は、主として GABA 作動性抑制性ニューロンで構成されており、パブロフ型の条件付けされた恐怖の処理を行う脳領域である。条件付けされ

た恐怖反応の基盤になる機能的構造について、今回2つのグループが、大きく異なるが相補的な実験手法によって、同じような結論に到達している。この反応にかかわっているのは2つの微小回路で、一方は恐怖の習得に必要であり、もう一方は条件付けされた恐怖反応に必要なことがわかった。Haubensak たちは、遺伝学手法を使った機能操作により、習得した恐怖の出力制御に重要な役割を果たす GABA 作動性ニューロン群を同定した。また Cioocchi たちは、行動中のマウスに *in vivo* で電気生理学的、光遺伝学的、薬理学的手法を組み合わせることで、高度に組織化された局所的脱抑制ネットワークに組み込まれた、機能の異なる3種類のニューロンを同定している。

### 工学：転写法による高性能ナノスケール・トランジスタ

#### High-performance nanoscale transistors by transfer printing

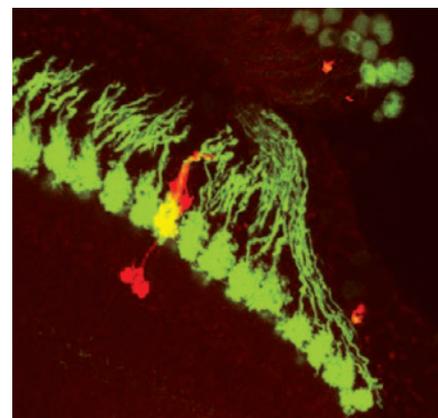
ガリウムヒ素やインジウムヒ素などの化合物半導体は、極めて優れた電子特性をもつが、加工コストが高いため、低コスト製造となるとそれ自体ではシリコンに太刀打ちできない。しかし、長く続

いたシリコンエレクトロニクスの微細化は限界に近づきつつあり、別の手段でデバイス性能を向上させること、つまり化合物半導体をシリコン内に集積することに関心が集まっている。A Javey たちは今回、極めて薄い単結晶インジウムヒ素層を、エピタキシャル転写法（大面積光電子デバイスの分野から取り入れた手法）でシリコン系基板上に貼り付けるという、新しい有望な方法を示している。この方法により、エラストマースタンプを用いてインジウムヒ素ナノワイヤをリフトオフしシリコン系基板に転写することで、デバイス性能の優れた薄膜トランジスタが作製された。

### 視覚：脊椎動物と昆虫の目の類似性

#### Vertebrates and insects see eye-to-eye

19世紀末、神経科学の創始者とよばれているラモン・イ・カハールは、脊椎動物の網膜と昆虫の目が似ていることを見いだした。彼のこの結論は、解剖学的知見のみに基づくものだった。A Borst たちは今回、遺伝学と電気生理学の最先端の手法を使って、脊椎動物と昆虫の網膜回路の相似性を、機能のレベルで再確認した。ショウジョウバエに、光強度の急上昇に応答する動き感受性ニューロン（オン型ニューロン）と、減光に特異的に応答するニューロン（オフ型ニューロン）が別々に存在することがわかったのである。進化系統上は離れた動物種に同じような回路が生じたのが、光強度の変化に応じて動きを効率よく検出することに対する選択圧によるものであることは明らかである。





Volume 468  
Number 7322  
2010年11月18日号



## 火山の下で：欧州空域を閉鎖に追い込んだ噴火に先立って起こった火山活動の兆候

**UNDER THE VOLCANO: Signs of volcanic unrest before the eruption that closed Europe's air space**

今年4月にヨーロッパの航空交通を混乱に陥れた火山灰噴煙は、ほぼ18年にわたって間欠的に活動してきたアイスランドの火山から放出されたものであった。このエイヤフィヤトラヨークトル火山を、噴火の前段階から火山灰を噴出した爆発的山頂噴火まで、詳細な宇宙測地学的観測と地震観測を組み合わせることで監視した。その結果、異例な変形パターンが明らかになった。ここから、今回の火山活動は、断裂帯から離れた場所で、地下構造が比較的低温で、浅部のマグマ量が少ないところで起こったと考えられる。2010年の1回目の噴火直前の短い前兆は微細で検出するのが困難だったが、噴火前の数週間から数か月、あるいは数年にわたってみられた火山活動の明瞭な兆候は、その後の壊滅的な噴火を予測するに当たって、よりよい手がかりとなるかもしれない。

## 進化：気候に決定される性

### Sex determined by climate

脊椎動物の性は、遺伝的に決定される場合と、胚が接する外界温度によって決定される場合があるが、こうした違いの進化的要因はまだほとんど明らかにされていない。今回 Pen たちは、ある種の胎生トカゲでは、生息場所の気候が著しく異なる場合には性決定機構も異なっており、低地では温度、高地では遺伝子型を性決定に用いていることを明らかにしている。性決定に対する自然選択の標高による分岐は、トカゲの生活史に対する気候の影響および気温の年々変動の規模の変化に起因している。この結果によって、性決定機構の種内分岐に関する適応的説明の1つが確立された。

## 遺伝：ニューロンにおけるレトロ転位

### Retrotransposition in neurons

L1 レトロトランスポゾンとは動的な調節を受けている活性なゲノム因子で、脳の発生期間を通じて、遺伝子発現やニューロンの機能に影響を及ぼしている。今回、げっ歯類モデルを使った A Muotri たちの新たな研究によって、いくつかの神経発達障害にかかわると考えられている DNA メチル化調節因子 MeCP2 が

ないと、L1 のレトロトランスポゾンとしての活性が上昇することが明らかになった。L1 のレトロ転位が起こりやすくなるこのような傾向は、レット症候群患者から作製された iPS 細胞でも再現された。これらのデータは、疾患にかかわる遺伝的変異が L1 のレトロトランスポゾンの活動に影響している可能性を示しており、分子神経疾患の理解がさらに一歩進んだといえる。

## 植物：植物ホルモンであるジャスモン酸の三者受容体

### Three-part receptor for jasmonate plant hormones

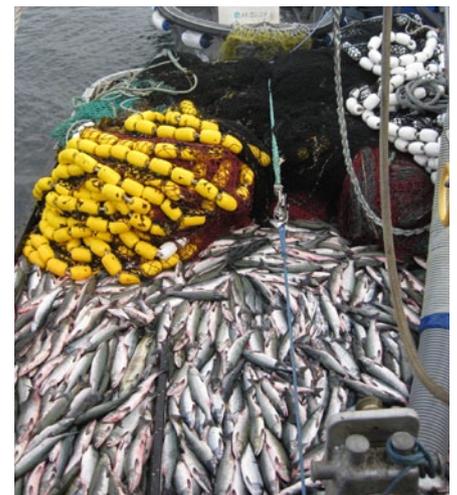
オーキシンやジベレリン、アブシシン酸など、数個の重要な植物ホルモンの受容体が最近同定され、構造機能研究により、それらの作用機構が明らかになっている。今回、成長調節や発生、防御反応に中心的な役割を果たす植物ホルモンであるジャスモン酸を、植物細胞が認識する機構が報告された。ジャスモン酸受容体は、F ボックスタンパク質 COI1 と JAZ 転写リプレッサー、イノシトールペンタキスリン酸の3種類の分子からなる複合体である。これら3つの成分すべてが、高い親和性でホルモ

ンが結合するのに必要とされる。ジャスモン酸認識のためのこの系は、ホルモンを媒介としたタンパク質相互作用に完全に依存しているが、今まで調べられたほかの植物ホルモンのとは異なる認識機構がかかわっている。

## 海洋：漁獲物に基づく漁業データでは予測を誤りかねない

### Catch-based fisheries data can mislead

商業漁業は、被食者（カキやマイワシなどのプランクトン採食種）を狙わずに、まず最高位の捕食者（マグロなど）を大きく減少させる「海洋食物網の上から下へ向かう漁獲」であると一般にいられている。しかし今回、新しい全球的データから、海洋生態系の栄養段階を貫く形で下方へ向かうこのような順序立った減少パターンを示す証拠はあまりみられないことが明らかになった。むしろ、海洋指標として広く採用されている、漁獲物から導かれる平均栄養段階 (MTL) のモデル予測と、実際の生態系から得られる MTL との比較による結果のほうが、海洋食物網のすべての段階にわたって漁獲が増大してきたことを示している。この傾向は、漁獲物に基づくデータを使うと隠れてしまう可能性があるため、もし今後の漁業の崩壊（と回復）を正確に監視しようとするなら、漁獲物に基づいた指標から、科学的な調査やモデルを用いた真の存在量傾向の追跡へと重点を移行させることが必要かもしれない。





Volume 468  
Number 7323  
2010年11月25日号



### 接着点：細胞骨格と細胞外マトリックスを連結する接着斑の構造

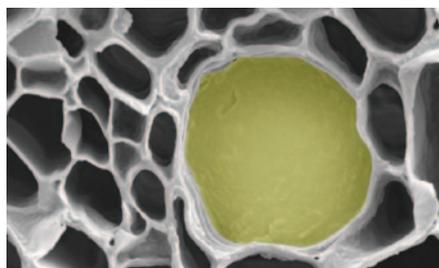
**STICKING POINT: The architecture of focal adhesions — the link between the cytoskeleton and the extracellular matrix**

細胞外マトリックスとアクチン細胞骨格の間の物理的連結は、インテグリン受容体を介して機能する「接着斑」とよばれる細胞小器官によっている。接着斑は、細胞接着や機械感受性にかかわり、細胞の増殖と分化を制御するシグナルを仲介するので、ヒトにとって生理学的に非常に重要である。今回、この接着斑の分子構造が三次元超解像蛍光顕微鏡法を用いて決定され、タンパク質の構成と配置がナノスケールで明らかになった。それにより、接着斑は組織だった超微細構造で、インテグリンとアクチンは40ナノメートル超のコア領域によって隔てられ、このコアは部分的に重複するタンパク質を含むタンパク質特異的な複数の層からなり、これらの層をタリンがつなぎ止めていることがわかった。薄層が重なったこの構造は3つ、あるいはそれ以上の区画に分かれていて、相互に依存しながら接着斑としての機能を果たしている。

### 生理：新発見の糖輸送体は植物病原体に盗用されている

**Novel sugar transporters aid plant pathogens**

糖輸送体のこれまで知られていなかったファミリーが、今回まず植物で見つかった。そのホモログは、どうやら動物にも広く存在しているらしい。植物では、SWEETと命名されたこれらの輸送体が、花蜜や種子、花粉発生のためのグルコースを供給する、長年探索されてきた担体に相当する。このような輸送体の一部は、病原体が盗用して糖を繁殖に使っている。後生動物のSWEETホモログもグルコース輸送を媒介しており、腸管や肝臓、精巣上体、乳腺細胞からの糖放出に関与している可能性がある。



### 宇宙：検証に合格した暗黒エネルギー

**Dark energy passes the test**

1979年10月にAlcockとPaczynskiは、*Nature* に発表した論文で、モデルによらず純粋に幾何学的方法を使って宇宙の曲率を測定する問題を解決するための戦略を提案した。このアイデアは、重力に逆らうように作用すると考えられる暗黒エネルギー成分を評価するものだが、これまで実行されたことはなかった。今回、テスト天体として複数の遠方銀河対を使ってAlcock-Paczynskiテストの実行に成功したことが報告された。アーカイブデータから得られた遠方銀河対の対称性の解析から、宇宙は平坦であることが決定でき、空間の幾何学的性質と暗黒エネルギーの状態方程式パラメーターを交互に固定することによって、暗黒エネルギーの存在量と状態の新たな尺度が確立された。

### 材料：グラフェンを作るレシピ

**A recipe for success**

この数年で、新しい電子物性をもつ炭素単原子層であるグラフェンへの関心

は急激に増大した。簡便なグラフェン作製方法が開発されれば、単層（または数層）の大きなグラフェンシートを作製する取り組みが大きく後押しされるかもしれない。今回、金属触媒基板上に堆積させたいろいろな固体炭素源を比較的低温度の800℃で焼くだけで、純粋なグラフェンやドーピンググラフェンをワンステップで作製できることがわかった。適した出発物質としては、ポリマー膜やささまざまな小分子がある。

### がん：p53修復の抗腫瘍効果にみられる限界

**Limits to antitumour effect of p53 restoration**

p53腫瘍抑制経路の不活性化はヒトがんによくみられる特徴で、定着腫瘍でp53の機能を回復させれば有効な治療法になるかもしれないと考えられがちだ。しかし今回、p53を対象とするがん治療には実用上の限界があることが、2つの論文により明らかにされた。Krasによる肺腫瘍のモデルで、p53を介する腫瘍抑制はがん進行の後期にのみ働いていることが示された。この時期には、Krasがん遺伝子のシグナルがARF-p53経路を活性化するのに十分な閾値に到達する。つまり、p53の再発現はより悪性度の高いがんの退縮を引き起こすが、がん発生の初期段階の抑制はできないということになる。

### ||||||| ネイチャーからのご案内 |||

nature video

Web: [www.youtube.com/NatureVideoChannel](http://www.youtube.com/NatureVideoChannel)

モバイル:



携帯電話でNature Videoチャンネルの科学関連動画を見ることができます。(一部の機種を除く)

nature podcast

Web: [www.nature.com/nature/podcast](http://www.nature.com/nature/podcast)

モバイル:



Natureに掲載された研究成果をポッドキャストでチェックできます。(英語; iPhone™のみ対応)

移植を待たずに命が尽きてしまう重度の心臓病、交通事故で脊髄を損傷し四肢が麻痺してしまった患者……。現状の最新医学を駆使しても、救えない患者が数多くいます。こうした疾患に対し、ES 細胞や iPS 細胞を利用した治療は、切り札です。しかし一方で、倫理的問題やがん化の問題など、多くの課題を抱えている実情があります。今回、幹細胞を使わずにヒトの体細胞から血液細胞が作製されたことは、再生医療研究にとって朗報となるでしょうか。



## nature news

語数：400 words 分野：再生医学・細胞生物学・幹細胞研究

Published online 10 November 2010 | Nature 468, 149 (2010) | doi:10.1038/468149a

<http://www.nature.com/news/2010/101110/full/468149a.html>

# There will be blood

Direct conversion of cell types could offer safer, simpler treatments than stem cells.

Ewen Callaway

1. In a feat of cellular alchemy, human skin cells have been transformed into blood cells without first being sent through a primordial, stem-cell-like state. For the developers of patient-specific cell therapies, the result could be safer and simpler than induced pluripotent stem (iPS) cells — reprogrammed adult cells that can differentiate into many cell types.
2. Published in *Nature*<sup>1</sup>, the study follows work earlier this year showing that fibroblast cells from mouse skin can be transformed into neurons<sup>2</sup> and heart muscle<sup>3</sup>. However, it is the first study to accomplish direct reprogramming with human cells, and the first to create progenitor cells — in this case for blood. "It takes us a step along the line to believing that you can produce anything from almost anything," says Ian Wilmut, director of the Medical Research Council Centre for Regenerative Medicine in Edinburgh, UK, who was not involved in the study.
3. Mickie Bhatia, a stem-cell researcher at McMaster University in Hamilton, Canada, and his colleagues infected skin cells with a virus that inserted the OCT4 gene, then they grew the cells in a soup of immune-system stimulating proteins called cytokines. The gene's product, the OCT4 protein, is one of a handful of factors used to transform fibroblasts into iPS cells, but Bhatia's team found no evidence that the blood progenitor cells they made went through an embryonic state. For instance, the cells did not cause mice to develop teratomas — tumours that are characteristic of pluripotent cells, making iPS cells less attractive as a therapeutic option. The progenitors did, however, produce all three classes of blood cells — white, red and platelets — all of which were functional. The red blood cells also produced the adult form of haemoglobin, whereas iPS-cell-derived blood cells make the fetal form. "This is the most encouraging result we've seen for using blood cells for cell-replacement therapy," says Bhatia.
4. Converted cells aren't without their drawbacks, though. Unlike iPS and embryonic stem cells, they cannot easily multiply in the lab, so producing the large quantities needed for screening drugs, for example, could be difficult, says Wilmut. It is also too early to tell whether they will be as good as the real thing when inside a person, says George Daley, a stem-cell biologist at Children's Hospital Boston in Massachusetts. Transplanting the cells into humans is still years away, says Bhatia. "The clinical side is going to be a lot of work."

#### Reference

1. Szabo, E. et al. *Nature* **468**, 521-526 (2010).
2. Vierbuchen, T. et al. *Nature* **463**, 1035-1041 (2010).
3. Ieda, M. et al. *Cell* **142**, 375-386 (2010).

## SCIENCE KEY WORDS

リード **stem cell: 幹細胞**

さまざまな組織の細胞へと分化できる分化万能性と、細胞分裂を繰り返してもその能力を維持できる自己複製能力をもつ細胞。胚に由来する胚性幹細胞 (ES 細胞)、組織や器官に存在する成体幹細胞 (組織幹細胞、体性幹細胞) のほか、人工多能性幹細胞 (iPS 細胞) がある。

1. **transform into: ~へ (形質) 転換する**

形質転換 (transformation) とは、細胞が外部からの遺伝子の挿入やがん化により、その性質や形態を変換すること。

1. **induced pluripotent stem (iPS) cell: 人工多能性幹細胞**

既に分化している細胞に外部から遺伝子を導入して初期化し、分化万能性と自己複製能をもたせた細胞。京大の山中伸弥教授らにより初めて樹立された。ただ、導入遺伝子にがん遺伝子があることやレトロウイルスベクターを使用するため、がん化が懸念される。現在、がん遺伝子やウイルスベクターを使用しないで iPS 細胞を作製する方法が考案されているが、効率が低いことが課題である。

1. **reprogram: 再プログラム化する**

一度分化してしまった細胞を、外部から特定の遺伝子を導入するなどして、遺伝子の情報を初期化し、分化前の状態に戻すこと。

2. **fibroblast (cell): 繊維芽細胞 (線維芽細胞とも)**

結合組織 (さまざまな組織や器官の間に存在し、それらをつないで支持する) の固有細胞で、中胚葉からできている。形態は扁平で、楕円形の核をもつ。コラーゲンやエラスチンなどの繊維状タンパク質、ヒアルロン酸などを産生する。組織や器官が傷つくと、分裂増殖して修復する。

2. **neuron: ニューロン** → 2010 年 4・5 月合併号参照。2. **heart muscle: 心筋**

心臓を形成する筋肉。単核の横紋筋。外部からの刺激がなくても自発的に拍動できる。

2. **progenitor cell: 前駆細胞**

ある細胞に分化・成熟する前の段階の細胞。多能性をもつ未分化の細胞と違い、分化する細胞は決まっている。例えば、本文中の血液前駆細胞は、赤血球や白血球などの血液細胞にしか分化できない。

3. **OCT4 gene: OCT4 遺伝子**

遺伝子産物 OCT4 は転写因子であり、胎生期の胚盤胞内部細胞塊や生殖細胞に発現している。細胞の未分化状態の維持に関与しており、分化が進むと発現量は低下する。

3. **immune-system: 免疫系** → 2010 年 7 月号参照。3. **cytokine: サイトカイン**

種々の細胞から分泌され、免疫応答、炎症反応、抗腫瘍作用、細胞増殖、分化などの生体反応を制御するタンパク質因子。それぞれのサイトカインには特異的な受容体が存在する。インターロイキン、インターフェロン、細胞増殖因子などが含まれる。

3. **embryonic: 胚の** → 胚 (embryo) については 2010 年 7 月号参照。3. **teratoma: 奇形腫 (テラトーマ)**

外胚葉、中胚葉、内胚葉由来の組織が混在した腫瘍で、生殖腺や後腹膜に発生することが多い。成熟型と未成熟型 (胎児型) がある。成熟型は一般に良性で、軟骨や脂肪組織、上皮や神経、気管支や腸管などがよくみられる。未成熟型は悪性傾向があり、分化しきっていない胎児組織に似た組織胚葉体を含み、間葉組織や神経外胚葉管などがみられる。

3. **white blood cell: 白血球**

核をもつ血液細胞。正常なヒトでは、血中に 4000 ~ 9000 個 /mm<sup>3</sup> 存在。殺菌作用のある顆粒をもち白血球の 70% 弱を占める好中球・好酸球 (ともに貪食作用あり)・好塩基球と、リンパ球、単球に分けられる。単球は貪食作用があり、組織に入り込みマクロファージとなる。リンパ球は抗体産生などの獲得免疫にかかわる。

3. **red blood cell: 赤血球**

ヘモグロビンを含み、酸素運搬機能をもつ血液細胞。脊椎動物の血中に存在するが、哺乳類の成熟赤血球では、核をはじめ、ミトコンドリアなどの細胞内器も失われており、酸素運搬に最大限機能している。正常なヒトでは、血中に 400 万 ~ 500 万個 /mm<sup>3</sup> 存在。寿命は 100 ~ 120 日と、白血球 (種類によって異なり、血中では数時間 ~ 数日、組織中では少し長くなる) に比べ、長い。

3. **platelet: 血小板**

直径 2 ~ 4 μm の核をもたない血液細胞。正常なヒトでは、血中に 15 万 ~ 35 万個 /mm<sup>3</sup> 存在。骨髄中の巨核球とよばれる細胞の細胞質がちぎれて産生される。けがなどで血管が傷つくと、凝集して傷口をふさぎ、止血する。また血小板内部には、血液凝固に機能する物質が含まれている。

3. **haemoglobin: ヘモグロビン**

ほとんすべての脊椎動物と一部の無脊椎動物に存在する、酸素分子と結合するタンパク質。一般にグロビン分子 1 つとヘム分子 1 つが結合したもので、赤色素タンパク質であるヘムのために赤色をしている。さまざまなサブユニットが存在し、ヒト成人の場合、α、β サブユニットが 2 つずつ結合した四量体 (α<sub>2</sub>β<sub>2</sub>) であるが、胎児期ではより酸素親和性の高い α<sub>2</sub>γ<sub>2</sub> である。

3. **fetal: 胎児の**3. **cell-replacement therapy: 細胞移植療法、細胞補充療法**

病気やけがなどで機能を失った組織や器官に対し、その機能をもつ細胞を外部から移植する治療法。白血病患者への骨髄移植や 1 型糖尿病患者への膵島細胞移植などがある。

4. **embryonic stem cell: 胚性幹細胞 (ES 細胞)**

哺乳類の胚盤胞期 (受精卵の発生段階で、一層の細胞で細胞塊が包まれる時期) から、内部細胞塊を取り出して作製したものの。どんな細胞種にも分化可能である。

4. **screening: スクリーニング**

ある目的の物質・生物・遺伝子・医薬品などを特定の選択方法で探索すること。

4. **transplant: 移植する**

## WORDS AND PHRASES

リード **treatment: 「治療」、「治療法」**1. **in a feat of -: 「~という妙技 / 偉業 (feat) において」**1. **alchemy: 「錬金術」、「秘術」**1. **primordial: 「始原的」**2. **accomplish -: 「~を達成する」、「~を実現する」**2. **take <A> a step along the line to <B>: 「<A> を <B> の方向に向かって一歩前進させる」**3. **characteristic of -: 「~に特有の」**3. **encouraging: 「有望な」、「心強い」**4. **drawback: 「欠点」**

## TOPICS

## 再生医療 (Regenerative Medicine)

再生医療（再生医学）とは、外傷や遺伝的要因、病気などで失われた組織や器官の再生と機能回復を目的とした医療。一昔前までは、義肢や人工関節など人工材料による補助的療法、臓器移植がその対象であったが、現在では、幹細胞を用いた治療法の研究に注目が集まっている。幹細胞は分化万能性をもっているため、そこから目的の機能をもった組織を作製し、移植するのだ。脊髄損傷や重度の心臓病、1型糖尿病、パーキンソン病など、一度失われた機能が回復しない疾患をもつ患者にとって、再生医療は希望となっている。ただ、幹細胞の使用に際しては種々の問題がある。例えば、ES細胞の場合、受精卵から作製するので倫理的な問題があり、iPS細胞では、がん化の問題やエピジェネティックな問題がある。一方、組織幹細胞を使った研究も行われているが、ES細胞やiPS細胞のような分化万能性はないため、用途は限られる。今回、ヒトで初めて、体細胞からiPS細胞を経ずに血液前駆細胞が作り出された。この方法が、広く使用できるならば、上記のような問題はクリアできる。



再生医療研究が進めば、脊髄損傷で車いす生活になった人も、再び歩けるようになるかもしれない。

ISTOCKPHOTO

## 参考訳

## 皮膚細胞から血液細胞を作る

細胞種の直接転換により、幹細胞よりも安全で簡易な治療法が実現するかもしれない。

イーウェン・キャラウェイ

1. 細胞の錬金術ともいえる妙技により、ヒトの皮膚細胞が、始原的な幹細胞類似状態を経ることなく、血液細胞へと転換した。個々の患者に合わせた細胞療法の開発をめざす者にとって、今回の結果は、人工多能性幹細胞（iPS細胞）よりも安全で簡易な方法を示唆している可能性がある。iPS細胞とは、成体細胞を再プログラム化して、数多くの細胞種に分化できるようにしたものだ。
2. *Nature* に発表されたこの研究<sup>1</sup>の前にも、今年に入って、マウスの皮膚の繊維芽細胞をニューロン<sup>2</sup>と心筋<sup>3</sup>に転換できることが明らかにされている。しかし、ヒトの細胞を直接再プログラム化したのも、前駆細胞（今回は血液前駆細胞）を作り出したのも、今回の研究が初めてである。医学研究会議（MRC）再生医療センター（英国エディンバラ）のIan Wilmut 所長は、今回の研究には関与していないが、「これにより、『ほとんどの細胞から、どんな細胞でも作り出せる』と信じる方向に一歩進んだといえます」と話す。
3. 今回、マックマスター大学（カナダ・ハミルトン）の幹細胞研究者 Mickie Bhatia らは、OCT4 遺伝子を挿入したウイルスを皮膚細胞に感染させ、免疫系を刺激するサイトカインというタンパク質の溶液中で、この細胞を培養した。OCT4 遺伝子の産物である OCT4 タンパク質は、繊維芽細胞を iPS 細胞に転換す

る際に用いる因子の1つであるが、今回の研究で作出された前駆細胞には、胚期の状態を経てきた形跡がなかった。例えば、この前駆細胞は、マウスに奇形腫（iPS細胞に特徴的な腫瘍で、治療選択肢としてのiPS細胞の魅力を損なう原因になっている）を引き起こすことなく、白血球、赤血球、血小板という3種類の血液細胞のすべてを、正常に機能する形で生じさせていた。また、iPS細胞に由来する血液細胞からは胎児型ヘモグロビンが生じるのに対して、今回の赤血球からは成体型ヘモグロビンが生じていた。「今回得られた結果は、血液細胞を用いた細胞補充療法の実験としては、これまでで最も心強いものになりました」と Bhatia は話す。

4. とはいえ、転換された細胞にも欠点がないわけではない。今回得られた前駆細胞は、iPS細胞や胚性幹細胞とは違って実験室で容易に増殖することができないため、例えば薬物スクリーニングに使えるほど大量に作り出すことは難しいかもしれないと Wilmut はいう。また、ボストン小児病院（米国マサチューセッツ州）の幹細胞生物学者 George Daley は、ヒトの体内に入れた時に本物の血液前駆細胞のように機能するかどうかを判断するには時期尚早だと指摘する。Bhatia も、ヒトに血液前駆細胞を移植するのは、まだ何年も先の話だという。「その前に、多くの臨床研究を行わなければなりません」。

（翻訳：菊川要）

定期購読を  
始めたいな!



**Fujisan.co.jp**  
雑誌のオンライン書店

当社サイト、Fujisanなら  
バックナンバーの購入、  
定期購読も可能です。

帰りに  
買いたい!



全国の書店・生協

全国の書店、生協で  
扱っています\*。

いつも  
利用している  
Amazonで!



**amazon.co.jp**

Amazon.com, Inc.のウェブサイト  
最新号の予約販売中

\*詳しくは、www.naturejpn.com/bookstores をご覧ください。 AmazonおよびAmazonのロゴは、Amazon.com, Inc. またはその関連会社の商標です。

弊社のサイトからのお申し込みはこちらから

[www.naturejpn.com/nd-sub](http://www.naturejpn.com/nd-sub)

npg nature asia-pacific

EDITOR'S NOTE

膵臓がんは、予後が悪いことが知られていますが、正常細胞のがん化開始から親細胞クローンが転移性を獲得するまで15年かかるという報告が、Nature 10/28号に掲載されました。特徴的な染色体再編成がみられたという報告とあわせて掲載され、今後のがんの初期診断マーカーの開発に期待が膨らみます。2011年もまた、今まで知ることのできなかつたことが、新しい技術によって明らかになりますようにと、初詣でお願いしようと思います。そして簡単に効果的なダイエット方法が発案されますようにと・・・それでは皆さま、どうぞよいお年をお迎えください。(う)

\*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](mailto: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](http://ba.com)でご予約ください。



平成22年12月25日発行 第8巻 第1号  
編集発行人：David Swinbanks

発行所：ネイチャー・ジャパン株式会社  
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 07271-01



4910072710119  
00648