

日本語で読む世界の最新科学ニュース

数独の数学

# nature ダイジェスト

地球ダイナモを再現

ES 細胞から下垂体形成

Ia 型超新星爆発の正体

03  
2012

## 変異H5N1型研究の問題

幽体離脱は体感できる

欧州のES細胞研究の未来は？

カリフォルニア大学の憂い

科学者よ、恣意的報道に  
声を上げよ

実験中の事故で研究者を告訴

FROM 日経サイエンス

水と油をとことん滑らかに

食欲抑制チューインガム

定価 680 円



nature  
COMMUNICATIONS

## 論文募集

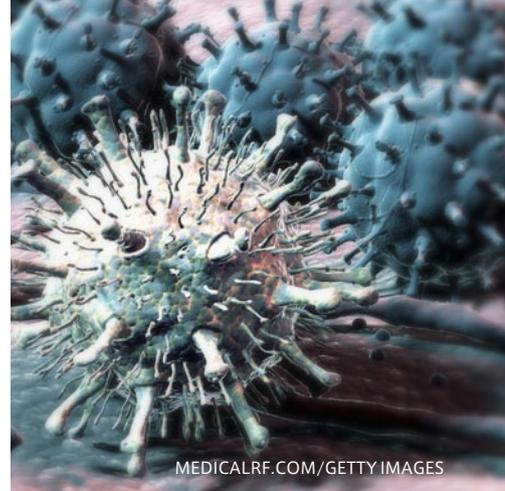
*Nature Communications* は、  
オンライン限定の、新しい学際的なジャーナルです。  
生物化学、化学、物理科学など多岐における質の高い  
研究論文を掲載しています。  
各分野の専門家の研究にとって有意義で重要な進歩  
を示す論文の投稿を常時募集しています。

査読やレビューなどを経て論文掲載が決定した際には、  
重要な論文を世界中の研究者と広く共有することが  
可能なオープンアクセスもお選び頂けます。

*Nature Communications* に掲載された記事や論文  
投稿の詳細については下記をご覧ください。

[www.natureasia.com/japan/ncomms](http://www.natureasia.com/japan/ncomms)

 nature asia-pacific



MEDICALRF.COM/GETTY IMAGES

## 変異H5N1型ウイルス研究の問題 08

表紙画像：MEDICALRF.COM/GETTY IMAGES

空気感染する変異H5N1型ウイルスが作製された。この研究は、予想されるパンデミック対策のために重要であるが、同時にテロへの悪用が懸念される。

### NATURE NEWS

- 02 大学での実験事故を刑事告発
- 03 ハイヒールを履いたゾウ
- 05 超新星爆発の正体を初めて観測
- 07 研究に商業価値を

### NEWS FEATURE

- 18 欧州でのヒトES細胞研究にブレーキ

### NEWS SCAN

- 06 水と油をとことん滑らかに
- 06 食欲抑制チューインガム

### NEWS & VIEWS

- 24 シャーレの中の造形芸術
- 26 不可解な「クリスマスガンマ線バースト」

### JAPANESE AUTHOR

- 22 糖鎖に応答する新たなエピゲノム制御を発見 — 加藤 茂明

### EDITORIAL

- 28 針のむしろのジャーナリズムと、科学者の使命
- 29 デンマーク技術委員会を継続せよ

### HIGHLIGHTS

- 30 2012年1/5～1/26号

### 英語で Nature

- 34 脳電極にはうつ病に対する長期的治療効果がある

## 04 数独の重要問題が解けた

解を1つしか持たない数独の問題は、最低17個のヒントが必要だ。



ISTOCKPHOTO

## 10 身体の錯覚を自由に操る科学者

視覚と触覚を操作して、身体を錯覚に陥らせる。超常現象としてではなく、科学的に「幽体離脱」を体感できるのだ。



ISTOCKPHOTO

## 14 悩み深まるカリフォルニア大学の経営

財政難から、学費値上げ、講座削減などを敢行しているが、人材流出など、その地位を揺るがすような事態が生じている。



TERRY SCHMITT/UPI/NEWSCOM

## 15 地球型ダイナモがいよいよ始動

内部を液体ナトリウムで満たした巨大二重構造球体で、地球型ダイナモのシミュレーションを試みる。



S. TRIANA

# 大学での実験事故を刑事告発

## Chemist faces criminal charges after researcher's death

RICHARD VAN NOORDEN 2011年12月28日 オンライン掲載 (doi:10.1038/nature.2011.9726)

3年前、UCLAの研究者が実験中に死亡した事故について、  
研究室の責任者である化学者と大学が刑事告発された。

米国で、大学での実験中の事故が刑事告発に発展した初めてのケースであろう。

2008年12月、米国カリフォルニア大学ロサンゼルス校 (UCLA) で、23歳の化学研究者 Sheharbano Sangji が実験中の事故でやけどを負い、死亡した。その後 UCLA は、カリフォルニア州の労働安全衛生局から約7万ドル (約540万円) の罰金を科せられ、その安全指針も厳格化している。だが、事故から3年が過ぎた2011年12月27日、彼女の指導教官だった有機化学者 Patrick Harran とカリフォルニア大学が告訴された。ロサンゼルス地方検察局が、「労働安全衛生基準の意図的な違反により被用者を死亡せしめた」として、Harran とカリフォルニア大学理事を、それぞれ3つの訴因につき刑事告発したのだ。

Harran には逮捕状が出ている。Harran の弁護士が LA タイムズ紙に語ったところによると、彼は当局に出頭するつもりだという。一方、検察局のスポークスマンは、同紙に、有罪となれば、Harran は最長で懲役4年6か月、UCLA はそれぞれの訴因につき最高150万ドル (約1億2000万円) の罰金が科せられるだろうと語った。これに対して UCLA は声明文を発表し、「著しく正義に反する告発に対して、断固対決する所存である」と反論した。

2008年12月29日、Sangji は、*t*-ブチルリチウムという反応性の高い液体を注射器で瓶から吸い出そうとしていた。このとき、注射器が壊れて液体が自然発火し、彼女の着衣に燃え移ってしまった。白衣を着用していなかった彼女は第



3度熱傷 (皮膚全層の壊死) を負い、病院に搬送されたが18日後に死亡した。

この事故をきっかけに、全米の大学で実験室の安全基準の改善を求める声が上がった。しかし、Sangji の死で、UCLA 以外の大学の研究室リーダーや実験を行っている研究者の行動が変化しやすくなるかはあまりみられない。この点については、2011年4月にエール大学 (米国コネティカット州) で起こった学生の死亡事故後に、*Nature* が実験室の安全に関する記事で述べたとおりである (本誌2011年7月号21ページ参照)。

今回、ロサンゼルス地方検察局が刑事告発に踏み切ったことで、各大学の姿勢が改まるかもしれない。「この告発で流れが変わると思います。刑務所行きになる可能性があることが認識され、研究室での事故の責任についての考え方に大きく影響することでしょう」と、実験室安全研究所 (米国マサチューセッツ州ナティック) の Jim Kaufman 所長は言う。

実際、英国では、刑事告発への懸念が

変化を強く後押しした。約25年前にサセックス大学 (ブライトン) で、化学実験室での爆発により学生の腹部に金属片が刺さるという事故があり、大学が過失について刑事告発されたのだ (学生は後に回復した)。インペリアル・カレッジ・ロンドンの化学者 Tom Welton は *Nature* に、この事故が英国の実験室の安全基準に及ぼした影響は非常に大きいと語った。

UCLA が発表した声明文によると、労働安全衛生局が同大学に罰金を科した際の調査では、「大学側に意図的な違反はみられない」とされていたという。同大学は、「恐ろしい犯罪行為の主張の根本となるような事実は皆無」であり、刑事告発という地方検察局の決定は「全くもって理解しがたい」と主張している。UCLA は、この声明文以外のコメントを出すことを拒否している。

米国化学会の前安全部門長であり、現在は National Registry of Certified Chemist (米国公認化学者登録所) の常任理事である Russ Phifer によれば、米国の大学の研究室で起きた事故について刑事告発にまで発展したのは、これが初めてだという。「私は、カリフォルニア大学や Harran が裁判を受けても、なんの利益もないと思います」と Phifer は言う。この訴訟は、Harran がほかの研究室のリーダーに、この事件や化学実験の安全性について語るなど、相当量の地域奉仕活動に同意するといった方法で、裁判が開かれる前に解決できるだろうというのが彼の意見だ。

Phifer は、Sangji の死が警告となって人々はすでに目を覚ましており、今回の刑事告発は実験室の安全確保に向けた一連の動きの1つにすぎないと考えている。しかし、カリフォルニア工科大学の化学者 Paul Bracher は、ChemBark のブログで、「この刑事告発がきっかけとなって、これまで実験室の安全について真摯に考えてこなかった大学が重い腰を上げるのは怪しいものだ」と言っている。 ■

(翻訳: 三枝小夜子)

# ハイヒールを履いたゾウ

## How the elephant got its sixth toe

Ed Yong 2011年12月22日 オンライン掲載 (doi:10.1038/nature.2011.9712)

「パンダの親指」として知られる骨が、ゾウでは巨体を支えるハイヒールのかかとの役目をしている。

ゾウの足は、厚底の靴のようなつくりをしている。ゾウの足は太くて硬い柱のように見えるが、実際にはウマやイヌと同じようにつま先立ちの状態である。かかとの下に厚い脂肪のクッションがあるため、底が平らに見えるのだ。このクッションの中に、6本目の指が後ろにつっかい棒をしたような形で隠れていることを、英国ロンドン大学王立獣医カレッジのJohn Hutchinsonらが明らかにした<sup>1</sup>。この指は、種子骨と呼ばれる、動物のくるぶしの腱が付着する小さい骨の一群の1つから進化したものである。

長さ5～10cmのこの指は、長い間、軟骨片としてなおざりにされていた。しかし、最初の報告<sup>2</sup>から約300年経った今、ゾウの足底の後方部分が体重で押しつぶされないよう支えている骨であることが明らかになった。しかも、後ろ足の6本目の指には関節までであるという。

一部のモグラやカエルにも同じように余分な指があり、ジャイアントパンダはゾウと同じ種子骨を、竹を握るための「親指」へと適応させた。「ゾウの6本目の指は、骨の連結など、基本的にはパンダの親指とすべて同じです」とHutchinsonは話す。「これは、進化史の中で何度も繰り返されるテーマの1つです。新しい骨を1つ進化させる代わりに、種子骨の1つを転用して機能的な指に変化させたのです」。

この指が無視されてきた理由の1つは、生きていたゾウを調べることが非常に難しいためである。ゾウは麻酔が効きにくく、通常のX線や超音波では足を



ゾウの足底は見かけほど平たい構造ではない。

うまく造影できない。現実的な唯一の有効な選択肢は、死んだゾウを解剖することだ。「幸いにも私には、ゾウの冷凍した足のコレクターとしておそらく世界一という、怪しげな肩書きがあります」とHutchinsonは話す。彼はいくつかの動物園と長年にわたって交流を続けており、動物園から死亡したゾウの足が送られてくるのだ。彼は現在、いくつもの冷凍庫にゾウの足を60本以上保管している。

さらに、この指は脂肪のクッション内に深く埋もれているため、研究者たちも見逃していたのだと、Hutchinsonは考えている。「クッション内には、繊維や仕切り、そして縫うように入り組んだ筋肉や腱があり、そうした複雑な構造の真ん中に6本目の指があるのです」とHutchinsonは説明する。「かなり慎重に解剖して構造をよく考えないと、この指は奇妙な軟骨片としか思えないでしょう」。この余分な指が博物館の標本に見当たらない理由はそこにある。博物館の学芸員が捨ててしまうのだ。

Hutchinsonらは、CTスキャンや電子顕微鏡を使い、解剖学的・組織学的研究を行って、6本目の指を3年かけて調べた。その結果、その余分な指は、最初は棒状の軟骨として発生し、ゆっくりと骨に変わっていくが、残りの足の骨はそれより何年も前に骨化してしまっていることがわかった。CTスキャンからは、ゾウの足に重量負荷をかけると、6本目の指が足底の脂肪クッションの後方を補強するつつかい棒の役目をするとも明らかになった。足底のクッションが重い体重でつぶれてしまわないよう助けているのだ。だから、ゾウは年を取って体重が重くなると、この指の強度が増していくのだろう。

ゾウの最古の祖先は足底が平たく、6本目の指はなく、くるぶしは地面に着いていた。進化して巨大化するにつれて、つま先立ちになり、足をまっすぐ伸ばして体重をよりうまく支える姿勢をとるようになった。こうした変化の中で、種子骨の1つが、体重負荷を分担するつつかい棒として転用されたのである。

しかし、ウィーン獣医大学（オーストリア）のGerald Weissengruberは、今回の論文には「根本的な欠陥」があると話す。パンダの親指やヒトの種子骨のように、骨にははっきりと筋肉が付着しておらず、この6本目の指が種子骨かどうかかわからないというのだ。さらに、Hutchinsonが調べたような飼育されていたゾウには足や骨に疾患があると指摘している。疾患によって軟骨が骨に変化してしまう場合があり、また、後ろ足の「関節」は骨折にすぎない可能性もある。同じことがウマのひづめの軟骨でもよく見られるのだ。Hutchinsonもこうした問題を認めており、「軟骨の骨化のどこまでが正常で、どこまでが病的なものなのか、我々にはわかりません。それを知るために野生のゾウを調べることができればありがたいですけどね」と話している。■

(翻訳：船田晶子、要約：編集部)

1. Hutchinson, J. R. et al. *Science* **334**, 1699-1703 (2011).  
2. Blair, P. *Phil. Trans.* **27**, 53-116 (1710-12).

# 数独の重要問題が解けた

## Mathematician claims breakthrough in Sudoku puzzle

EUGENIE SAMUEL REICH 2012年1月8日 オンライン掲載 (doi:10.1038/nature.2012.9751)

解を1つしか持たない数独問題の作成には、  
少なくとも17個のヒントが必要であることが証明された。

アイルランドの数学者が、複雑なアルゴリズムとスーパーコンピューターを用いて数百万時間に及ぶ演算を行い、数独に関する重要な問題を解決した。数独は日本から広まったパズルで、与えられている数字をヒントにして、9×9のマスに1から9までの数字を入れて解盤面を完成させる。このとき、縦、横、および太い線で区切られた3×3のブロック内のすべてで、1から9までの数字を1回ずつ使うようにしなければならない。新聞紙上の数独の大半は25個前後のヒントが与えられているが、ヒントの数が増えるほど、難度は低くなる。

2012年1月1日、ユニバーシティカレッジ・ダブリン（アイルランド）のGary McGuireは、数独の問題が成立するには最少で17個のヒントの数字が必要であるという論文をオンラインで発表した<sup>1</sup>。16個以下のヒントでは解が1つに定まらず、有効な問題にならない。

この発表に対し、1月7日に米国マサチューセッツ州ボストンで開かれたある学会に参加していた数学者たちの間では、McGuireの証明はおおかた理にかなっているし、数独の数学という新興分野に重要な進展をもたらしたという意見が多数を占めた。

ジェームズ・マジソン大学（米国バージニア州ハリソンバーグ）の数学者Jason Rosenhouseは、「彼のアプローチは合理的で、信頼できそうです。慎重な楽観論として受け止められたと思います」と言う。Rosenhouseは、同じ大学の数学者Laura Taalmanとともに、

『Taking Sudoku Seriously: The Math Behind the World's Most Popular Pencil Puzzle（数独をまじめに考える：世界で最も人気のあるペンシルパズルの背後にある数学）』という本を昨年12月末に出版している。

数独愛好家たちは、以前から、ヒントが17個の数独はあるが、16個の有効な数独は見当たらないことに気付いており、16個のヒントで解が1つに決まるようなものは存在しないのではないかと推測が広がっていた。これを証明する方法の1つは、考えられるすべての解盤面につき、その盤面を解とするヒントが16個の有効な数独問題があるかどうかを検証することだが、演算に時間がかりすぎる。

そこでMcGuireは、「ヒッティング・セット・アルゴリズム」を設計して、この問題を単純化した。ポイントは、ある解盤面に並んだ数字のうち、互いに入れ替えることで別の解盤面が得られるような部分（これを「不可避集合」と呼ぶ）を探すことにある。不可避集合を含む盤面が数独問題の唯一の解になるには、ヒントと不可避集合との間に重なり（これを「ヒット」と言う）がなければならない。だとすれば、すべての解盤面につき不可避集合を見つけて、それらとヒットするヒント数16の有効な数独問題がないことを示せばよいことになる。

McGuireらは、2年かけてこのアルゴリズムのテストを行い、その後、アイルランド・ハイエンド・コンピューティング・センター（ダブリン）のコンピュー

						5		
				4				
	1		5		9	4		
5		2						
						1		
						9		
4		7		1	5			
	6			8				
					3			

解を1つだけ持つ有効な数独問題を作成するには、少なくとも17個のヒントが必要である。

ターにより、考えられるすべての解盤面につき、ヒッティング・セット・アルゴリズムを用いて検証した。この作業には700万CPU時間を要した。

ウェスタン・オーストラリア大学（パース）の数学者Gordon Royleは、McGuireらとは別のアルゴリズムを用いて、ヒントが17個の数独問題を数え尽くそうとしており、「コンピューティングと数学の技術を極限まで高めなければならない難問です。エベレストに登るようなものです」と語る。

McGuireは、今回の方法は、ほかの分野でも成果を挙げる可能性があると言う。ヒッティング・セットの概念は、遺伝子の塩基配列の決定や細胞ネットワークに関する論文でも用いられており、彼は、自分のアルゴリズムがほかの研究にも利用されればと期待している。「今回の成果で、もっとさまざまな人が興味を持ってくれることを願っています」。

皮肉なことに、McGuireは、この問題に取り組むようになってから、楽しく数独をすることが少なくなったと言う。「確かに数独は気分転換になりますが、正直なところ、最近はクロスワードのほうが好きなのです」。

（翻訳：三枝小夜子、要約：編集部）

編集部注：数独は株式会社ニコリの登録商標です。  
1. McGuire, G. et al. arXiv preprint  
<http://arxiv.org/abs/1201.0749> (2011).

# 超新星爆発の正体を初めて観測

## Early observations identify star at heart of nearby supernova

RON COWEN 2011年12月14日 オンライン掲載 (doi:10.1038/nature.2011.9646)

昨年観測された Ia 型超新星爆発の解析から、  
これまでの理論が証明され、伴星の種類も絞り込まれた。

2011年8月、地球からわずか640万パーセク(2100万光年)の回転花火銀河(M101)で超新星爆発が起こった。SN 2011feと名付けられたその超新星は、この25年で最も太陽に近く、爆発の光が地球に到達してからわずか11時間で発見された。これにより、Ia型超新星爆発に関する理論の正当性が証明された。それは、Ia型超新星爆発では、はくしよくわいせい白色矮星(太陽ほどの質量を持ちながら地球程度の大きさしかない、核反応を終えた星)が伴星から物質を吸い上げ、徐々に質量が増加してついに熱核爆発を引き起こし、バラバラになるという理論だ。

今回、2つの研究チームがSN 2011feの観測結果を分析し、爆発した星の種類と同定とその伴星の種類の限定について発表した<sup>1,2</sup>。

### 容疑者は小さかった

ローレンス・バークレー国立研究所(米国カリフォルニア州)のPeter Nugentら<sup>1</sup>は、衝撃波のエネルギーを計算し、爆発した星の直径は太陽の直径の10分

の1よりも小さいと報告した(Nugentはもう1つの論文の共著者でもある)。つまり、爆発した星は、高密度で小さな白色矮星だったことが強く示唆される。

また、白色矮星の組成もわかった。爆発初期段階での、全く燃えていない部分や星の低密度の最外層に含まれる物質のスペクトルを調べた結果、炭素の存在や、初めて高速で運動する酸素を示すデータが得られ、爆発した星は主に炭素と酸素でできた白色矮星だったと結論付けられた。

さらに研究チームは、白色矮星の伴星は赤色巨星ではなく、中心核でまだ水素を燃やしている星だったとも結論した。爆発した星から広がる衝撃波が赤色巨星に衝突したのなら、爆発は観測されたよりもずっと明るくなっていたはずだからだ。

### 伴星の正体は？

米国カリフォルニア大学バークレー校のWeidong Liらも、別の解析から、伴星は赤色巨星ではないと結論した<sup>2</sup>。Liらは、超新星爆発が起こる前にハッブル宇宙望遠鏡が撮影した回転花火銀河

の高解像度画像を分析した。その画像には、超新星が現れた位置に星はなかった。もし伴星が赤色巨星だったら、明るく、膨張しているため、容易に見えたはずである。

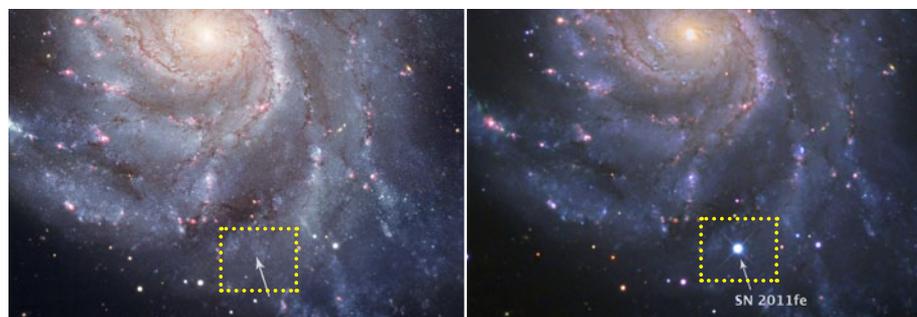
カリフォルニア大学サンタクルーズ校のStan Woosleyは、「今回の観測から伴星の正体まではつかめませんでした。Ia型超新星の標準的な理論モデルは立証されました。爆発の中心にある白色矮星の種類に至るまで解明できたのです。一方、その伴星は、白色矮星へ非常に多くの質量を与えたはずであり、とても小さい星や暗い星ではなかったでしょう」と話す。

Ia型超新星の観測は、宇宙の膨張を調べるための「標準光源」として広く使われている。Nugentは、「今回の2つの論文により、どのようにして爆発が起こるのかが詳細に解明され、Ia型超新星は標準光源としてさらに有用なものになるでしょう」と話す。

Woosleyは、「SN 2011feの観測結果は、詳細で信頼性のあるIa型超新星理論モデルの作成に際し、強い制限条件となるでしょう。さらに、ほかのIa型超新星の観測を行ってその多様性を解明すれば、超新星観測で可能なかぎり正確に宇宙の膨張を測定できるでしょう」と指摘する。

このためには、より多くの超新星をより精密に観測する必要がある。SN 2011feは、パロマ・トランジェント・ファクトリー(米国カリフォルニア州)の自動望遠鏡によって発見された。このシステムは一晩中夜空を観測し、天体の明るさが変化したら天文学者たちに通報する。さらに、2020年までには、口径8.4mの自動望遠鏡、大型シノプティックサーベイ望遠鏡が稼働し始める予定だ。この望遠鏡は観測できるすべての空を週に1回ずつ探索する。Ia型超新星の伴星の種類や組成の解明に重要なツールとなるだろう。

(翻訳：新庄直樹、要約：編集部)



左は超新星爆発の前の回転花火銀河(M101)。右は最大に明るくなった超新星が見える回転花火銀河。

1. Nugent, P. E. et al. *Nature* **480**, 344–347 (2011).  
2. Li, W. et al. *Nature* **480**, 348–350 (2011).

## 水と油をとことん滑らかに

完璧なドレッシングを作るには…

滑らかな口当たりという点では、水中に懸濁した微細な油滴に勝るものはない（油中に懸濁した水滴も）。科学的にはエマルジョン（乳濁液）と呼ばれるもので、クリーム、バター、チョコレート飲料、グレイビーソース（肉汁ソース）、サラダ用ドレッシングなど、みんなその例だ。しかしエマルジョンが分離すると、ひどいことになる。グレイビーソースの表面に透明な脂肪の層が浮かび、サラダドレッシングのびんは油と酢に完全に分かれ、ナチョスは脂でベトベトになる。

水と油の反発は、基本的には電気的な力による。水分子は電気的にアンバランスで、分極電荷が生じている。その結果、水分子は互いに引き合う力が強く、大きな表面張力が生まれて、葉の上の水滴などができる。一方、油の分子には極性がなく、互いに引き合う力は弱い。極性液体（水）と無極性液体（油）のエマルジョンは、界面活性剤（石鹸など）を使えば簡単に作れる。しかし、界面活性剤を使わないで両者を混ぜ合わせようとする、驚くほど強い力が必要になるのだ。

混合作業がミキサーではうまくいかないこともしばしばだ。人間の舌は直径わずか7～10μmの粒子や液滴を検知できるが、ミキサーでは一般に10～12μmまでしか細かくできない。ある実験厨房で「卵抜きマヨネーズ」が考案されたときは、ミキサーでなく、ローター・ステーター・ホモジナイザーが使われた。この卓上型装置は、細いスリットの付いた金属製の覆い（ステーター）の中で、小さな刃（ローター）が最大毎分2万回転で高速回転する。とてつもない剪断力によって、液滴はわずか2～3μmの大きさまで切り刻まれたわけだ。

「乳製品を全く含まない子牛肉クリーム」という難しいレシピでは、さらに大きな超高压ホモジナイザーが使われた。これは大型シンクほどの大きさで、混合物に最大1700気圧の圧力をかけた後、金属壁に叩きつけて1μm以下の破片に粉砕した。とてもおいしいクリームができた。

最も細かいエマルジョンの場合、粒子の直径はわずか数nmだ。あまりに微細なため、エマルジョンは透明になる。炭酸飲料のマウンテンデューはナノエマルジョンの一例だ。

冷製チキンスープ用に、タイムとローリエからエッセンシャルオイルの透明なナノエマルジョンを作る際には、液体の量がごくわずかなので、超音波ホモジナイザーという手持ち式の装置が使われた。数百ワットの電力で超音波を発生し、液体中にきわめて小さな泡を作り出す。そして、これらの気泡がつぶれるときに、液滴も粉々に小さくなったのだ。 ■

（翻訳協力：鐘田和彦）

## 食欲抑制チューインガム

無理なくダイエットが可能に？

ダイエットの目的は、水着シーズンに備えたり細身のジーンズを着たりすることだけではない。肥満に苦しむ人にとって減量は深刻な課題であり、病気と闘って健康を取り戻すために不可欠の行動なのだ。しかし、いくら減量する必要があるとわかっていても、食欲を支配している脳の中核は、空腹感を回避してくれはしない。そこで、シラキウス大学の研究チームはユニークな解決策を研究・検討している。それが食欲を抑えるチューインガムだ。

食欲抑制薬としては、すでに多くの製品が売り出されており、その多くはアンフェタミンに似た薬をもとにしていて、高血圧と心不全のリスクを伴っている。これに対して、シラキウス大学の化学者 Robert P. Doyle は、ヒトペプチド YY (hPYY) というホルモンに注目した。これは、食事や運動をすると腸の内壁細胞から放出されるホルモンだ。カロリー摂取量が多いほど、多くの hPYY が腸の細胞から血流中に放出され、最終的には、脳の視床下部に達する。アーモンドほどの大きさの視床下部は、進化的には古くからある脳領域であり、空腹やどの渴き、体温、睡眠サイクルなどの制御に携わっている。

過去の研究から、ネズミやサルやヒトに PYY や hPYY を注射すると、食欲が抑制されることが示されていた。ある研究では、肥満の人もやせた人も、hPYY の投与からわずか2時間で、ビュッフェ形式の昼食で摂取するカロリーが、通常より約30%も少なくなった。

では、これだけの効果があるのに、なぜ、これまで利用されなかったのか。それがペプチドの血中への輸送の問題だ。アミノ酸が鎖状につながったペプチドは、比較的小さくて化学的に壊れやすい分子なので胃腸で分解されるが、自力で血中に出るには大きすぎるのだ。Doyle はこの問題を解決するため、hPYY にビタミン B<sub>12</sub> を化学結合させた。人体はビタミン B<sub>12</sub> を腸から血流中に輸送しているからだ。

さらに、最近の研究から舌に PYY 受容体があるらしいことが示され、hPYY チューインガムというアイデアが登場したわけだ。このガムは短時間で満腹感をもたらす可能性がある。

ただし、この薬が臨床試験をパスすると、不自然なまでに細身でいたいと思っている人たちに、乱用される恐れもある。「ちょっとやせたいと思っている人は多く、そうした人向けの市場が巨大であることは理解できます。でも、あくまでも私の目的は、医学的に減量が必要な患者を助けることにあるのです」と Doyle は言っている。 ■

（翻訳協力：粟木瑞穂）

# 研究に商業価値を

## Scientists, meet capitalists

EUGENIE SAMUEL REICH 2011年12月1日号 Vol. 480 (15)

米国では、政府機関と学会が研究者に起業を指南して、新しい雇用を生み出そうとしている。

Satish Kandlikar にとって、そんなプレゼンテーションは生まれて初めてだった。昨年12月14日、スタンフォード大学（米国カリフォルニア州）で米国国立科学財団（NSF）のイノベーション・コープス（I-Corps）による、全く新しい講演があった。それは、発光ダイオード（LED）を冷却して寿命を延ばす技術について、ベンチャービジネス投資家に発表するというものだ。だが、資金調達が目的ではない。21名の研究者が、ビジネス界から集まったインストラクターの前で起業家の役を演じ、指南を受けるというのだ。

この講演は、昨年7月に発足したI-Corpsにとっても初めてのものだった。I-Corpsは、NSFが資金を提供する研究を軸としたビジネスプランの開発を目的として、この21名の主任研究員に、1人当たり5万ドル（約390万円）を提供している。ロチェスター工科大学（米国ニューヨーク州）で機械工学を研究しているKandlikarもその1人だ。会議では、助成金を受ける側が、自分のアイデアに対して意見を求めることになっていた。Kandlikarは、研究から製品を生み出すという仕事は、自分たちにはあまり経験がない、と語る。「研究者ですから、製品を市場に出す方法なんて知りません。こうしたプログラムが推進力になってくれるのです」。

米国の科学機関は、助成金を受ける研究者に、産業界とのコネクションの形成を促し続けてきた。1982年に発足した中小企業技術革新研究プログラム

では、NSFや米国エネルギー省などの機関が毎年抛出する助成金の2.5%をベンチャービジネスに配分している。米国の大学の多くも、教官たちが研究成果を特許化・実用化することを支援している。

失業率が高く、連邦予算の削減が迫っている今、科学機関は、コストのかかるお荷物ではなく、自ら経済政策に参画したいと考えている。政府内では、諸機関が、自らの活動を雇用創出に結びつける方法を模索している。学術研究機関が起業家として自己改革し、あわよくば企業を設立することを推進するこうしたNSFの動きにより、研究の商業化が新たなレベルへと引き上げられるだろう。

I-Corpsはその動きを加速させており、今回のプログラムはより拡張されている。米国では化学の研究職ポストが減少傾向にあるため、米国化学会（ACS：ワシントンD.C.）は、起業訓練プログラムをスタートさせ、化学者に自分のチャンスを生み出させようというのだ。その初回の応募が1月15日に締め切られた。

ハーバード大学の著名な化学者、George Whitesidesは、「学生が『外に出て世界の役に立つことがしたい』と言ったら、まずは、自分の会社を立ち上げなさい、と教えるでしょう」と語る。Whitesidesは、昨年11月2日に開催された大統領科学技術諮問委員会（米国ワシントンD.C.）の会議に出席し、また、技術革新と化学と職を考える最近のACSパネルでも進行役を務めた。

しかし、研究者のキャリア選択を研究してきたジョージア工科大学（米国アトランタ）の経済学者、Henry Sauermannによれば、多くの研究者は起業に消極的だという。「安全性や安定性がないことに不安を感じているのです」とSauermannは説明する。

一方、学術研究機関の起業を研究してきたメリーランド大学（米国カレッジパーク）の社会学者、Waverly Dingは、研究者としての地位を確立している者にはI-Corpsのようなプログラムが機能する可能性がある、と言う。しかし、若手研究者は資金集めにことさら苦勞しており、そのために研究時間が奪われてしまうのはためにならないだろう、とも言う。

起業プログラムでは、起業という選択によりどんなメリット・デメリットがあるかを研究者に重点的に教えるべきだ、とSauermannは考えている。I-Corpsを取り仕切るNSFプログラム担当者3人組の1人であるErrol Arkilicは、今回のプログラムの目的はまさにそれなのだと打ち明ける。だからこそ、スタンフォード大学での会議では、ビジネスプランを評価するベンチャービジネス投資家は、潜在的な投資家ではなくインストラクターになっていたのだ。

だがその一方でArkilicは、「このプログラムは、研究者に自分の研究の商業的な値打ちを理解してもらうために発足した」のであって、起業して雇用創出させることが目的ではないと説明し、結果としてそこだけが取り上げられるのならば、NSFとしては不本意だ、と漏らす。

Kandlikarは、自分の研究が経済的利益を生み出せばよいとは思っているが、すでにその活動には大きな代償を支払っている。研究チームは、ビジネスプランに1週間当たり100時間も費やしているのだ。

科学界だけでなく、産業界にも献身が求められているのである。

（翻訳：小林盛方）

# 変異 H5N1 型ウイルス研究の問題

## Fears grow over lab-bred flu

DECLAN BUTLER 2011年12月22/29日号 Vol. 480 (421)

鳥インフルエンザの危険な変異ウイルスに対する安全管理の厳格化を。

致死作用のある人為的な H5N1 型の鳥インフルエンザ変異ウイルスが、誤って実験室から流失し、大流行を引き起こす——こんな悪夢のようなシナリオが現実味を帯びている。昨年9月以降、2組の研究チームが、フェレット間で空気感染する H5N1 型の変異ウイルスを作製したというのだ。空気感染するということは、その変異ウイルスが人間の間でもたやすく広がることを意味している。

この変異ウイルスは、感染スピードこそ通常の季節性インフルエンザと同程度であるが、致死率は野生型 H5N1 型ウイルスと変わらない。それは、1918 年に大流行したインフルエンザの致死率、約 2.5% より 1 桁も大きい。

2組の研究のうち1つは、エラスムス医療センター（オランダ・ロッテルダム）の Ron Fouchier らが *Science* に、もう1つは、東京大学（東京都文京区）とウィスコンシン大学マディソン校（米国）に所属する河岡義裕<sup>かわおかよしひろ</sup>の研究チームが *Nature* に、それぞれ投稿したものだという（筆者を含め、*Nature* のニュース記事担当者には、投稿論文やその審査を知る権限はない）。Fouchier はすでに、昨年9月にマルタで開かれた欧州インフルエンザ研究作業部会（ESWI）の年次会議でその結果を発表している。

この論文については、多少編集したとしても、発表するにはセキュリティ上でのリスクが大きすぎるという議論を巻き起こし、米国バイオセキュリティに関する国家科学諮問委員会（NSABB）で検討が行われている。（編集部注：結局、NSABB は双方に対し、感染性など

の詳細なデータは制限し、関係者以外極秘にして必要な人だけに公表すべきだと勧告を出した。それを受け米国政府は、*Science*、*Nature* 両誌に対し、研究のおおまかな成果だけを公開し、変異ウイルス研究が管理されずに、流出事故や犯罪に悪用される可能性のある勝手な研究につながるようなデータの詳細は伏せるようにと要望した。こうした動きに対して、河岡や Fouchier をはじめとする 39 人のインフルエンザ研究者は、1月20日付の *Science* と *Nature* のオンライン版に、H5N1 の研究を 60 日間自主停止するとの声明を発表し、ワクチン開発などの対策にはこうした研究が必要であり、この間に研究者と政府当局が問題を話し合い、最良の解決策を模索してほしいと求めた。声明文の全文は、<http://nature.asia/avian-flu1> を、関連記事は、<http://nature.asia/avian-flu2> を参照。）

しかし、多くの研究者からは、NSABB の審議は遅すぎたという声が上がっている。研究者らは、変異ウイルスの研究を進めるうえで、はるかに重要で必要不可欠なのは、ウイルス株を保有する実験室と今後共同研究に加わろうとする研究者に、ウイルスを流出させない生物学的封じ込めを徹底させる防護態勢が整っているかどうかののだと主張する。

ラトガーズ大学（米国ニュージャージー州ピスカタウェイ）の分子生物学者でありバイオセキュリティに詳しい Richard Ebright は、「事態は動き出したのです。この期に及んで研究の発表を制限することを議論するなど、全く無益なことです」と語る。さらに Ebright は、

論文の審査員を含め、多くのインフルエンザ研究者がすでに実験結果を目にしており、研究者の間ではニュートリノよりも速く噂が広がっているはずだ、と指摘する。

研究者たちが変異ウイルスを作ったのは、せきやくしゃみで人から人へと簡単に広がる能力を持つような変異が起こる可能性を見極めようとしたからだ。ウイルス学者の中には、伝染性が高くなるような遺伝的变化が起きれば、毒性は弱まるだろう、と考える者もいた。だが今回の研究は、そうした楽観的な見方を否定している。こうした研究は、変異が野生のウイルスでも起きているかどうかの調査研究に弾みをつけ、診断薬や治療薬、ワクチンの開発に役立つはずだ。

2つの研究は共に、「高度バイオセーフティーレベル3（BSL-3）」の実験室で行われた（右ページ表参照）。BSL-3 実験室では、退室時にシャワーを浴び着替えをしなければならない。また、実験室内は陰圧で、高効率粒子エアフィルターによる排気処理などの安全対策も講じられている。ウイルス流出事故に対する対策はこれで十分だろう、と話すウイルス学者もいる。マウント・サイナイ医科大学（米国ニューヨーク）でウイルス学を研究する Peter Palese は、「現在のバイオセーフティー規制は、H5N1 型などのインフルエンザウイルスによる感染実験を安全に行うには十分です」と語る。

国立感染症研究所（東京都新宿区）のウイルス学者、田代真人<sup>たしろまさと</sup>によれば、さらに要件が厳しい BSL-4 の施設が必要とされれば、H5N1 型の大流行への対策手段を開発するのに必要な研究が進まなくなるおそれがあるという。それは、従事できる研究者が限られてしまうためだ。田代は、高度 BSL-3 の施設で研究を行うべきだと考えている。

### 高いセキュリティ

その一方で、ウイルスを取り扱う研究者ばかりでなく社会全体を守るためには、この新しい H5N1 型変異ウイルスを

BSL-4 実験室に封じ込めておかなければならない、という主張もある。BSL-4 実験室は、作業者は陽圧式防護服を着用してさらに徹底的な除染を行うことが求められるなど、安全性と危機管理に関してははるかに厳しい措置がとられている。なかには、ビデオ監視や防弾措置といった追加対策を講じている場合もある。しかし、BSL-4 施設は全世界に数十施設しかない。したがって、この変異ウイルスの研究を BSL-4 施設に限定することは、実験室内でのウイルスの増殖の制限を意味する、と Ebright は話す。実際、ある規制当局者は、「バイオセーフティーの考え方や能力が十分でない国の BSL-3 実験室で、H5N1 型変異ウイルスが取り扱われることが、非常に懸念されます」と語る。

オーストラリア動物衛生研究所（ジエロング）の高度封じ込め施設で H5N1 型ウイルスを研究している Deborah Middleton によれば、新しい変異ウイルスの特徴は「BSL-4 条件を満たし」ており、同研究所なら同等の取り扱いになるはずだという。確かに、今回の実験も BSL-4 施設で行うべきだった、と INSERM ジャン・メリュール BSL-4 実験室（フランス・リヨン）の室長である Hervé Raoul は主張する。

これまでの事故からも、明らかに、新しい変異型の H5N1 型ウイルスが実験室から抜け出す危険性は無視できるものではない。ここ 10 年では、中国本土、台湾、およびシンガポールの 4 か所の BSL-3 施設、BSL-4 施設で、偶発的に重症急性呼吸器症候群（SARS）の感染者が発生している。昨年 9 月に公表された米国学術研究会議の報告書によれば、米国では、2003 年から 2009 年までに特定の病原体を取り扱う研究でのバイオセーフティー規則違反が 395 件あった（うち 7 件は、実験室で感染者が発生）。

さらに、流出したインフルエンザウイルスは急速に広がるため、ほかの致死的な病原体以上に危機的状況になるだろう。ミネソタ大学感染症研究政策センター（米国ミネアポリス）の所長

## 安全性レベル

病原体の取り扱いに必要とされる予防措置は、その脅威によって決定される。

バイオセーフティーレベル (BSL)	代表的な予防措置	例
BSL-1: 健康な成人で必ず病気を引き起こすものではない微生物	白衣、手袋	枯草菌
BSL-2: 軽度で治療可能なヒトの病気を引き起こす病原体	安全キャビネット、実験室内の立ち入り制限	狂犬病ウイルス、ポリオウイルス、季節性インフルエンザウイルス
BSL-3: 治療できうるが重篤なヒトの病気を引き起こす病原体。個人的リスクは高いが社会的リスクは低い。	廃棄物や作業服の除染	結核菌、炭疽菌、SARS ウイルス
高度 BSL-3: BSL-3 と BSL-4 との間。	隔離区域内での設置、専用の電力系と空気系	再現された 1918 年インフルエンザのウイルス
BSL-4: 治療法のない重篤なヒトの病気を引き起こすと考えられる病原体。個人的、社会的リスクが高い。	全身空気供給陽圧式防護服	エボラ出血熱ウイルス、ニパウイルス

で NSABB のメンバーである Michael Osterholm は、こう語る。「SARS やほかの BSL-4 取り扱い病原体が流出しても、世界規模で広がる可能性はあまり高くありません。しかしインフルエンザウイルスが流出したなら、またたく間に世界中に広がってしまい、重大な問題になります」。

Fouchier は、こうしたバイオセーフティーの問題についてのコメントを拒否し、「H5N1 型のウイルスは、抗ウイルス薬やワクチンがあるためクラス 3 の病原体である」としているオランダと米国の規制当局が自分たちの実験を監査した、とだけ語った。河岡はインタビューに応じていない。（編集部注：河岡は、1 月 26 日、*Nature* のオンライン版にコメントを寄せている。その翻訳は、<http://nature.asia/avian-flu3> 参照。）

Fouchier や河岡は、世界保健機関（WHO：スイス・ジュネーブ）がこのバイオセーフティーの議論で早期にリーダーシップをとることを期待しているのだ、と話す研究者もいる。しかし、WHO のスポークスマンである Gregory Hartl は、まだ論文の形になっていない以上、コメントすることができない、と話すとどまる。一方で、NSABB は、意見を明らかにする時期を明言していない。

*Nature* に対して、米国農務省は、保健社会福祉省と共同で、この新しい H5N1 型変異ウイルスに関する何らかの適切な技術的調査を行うことを明らかにした。

Ebright は、安全・危機管理上の重要な問題がほとんど個々の研究者の裁量にゆだねられてしまっている、と嘆く。「米国では、安全性に関しては自主的な管理しかなく、特定の病原体の規則という例外はあるものの、危機管理に関しては全くなされていないのです」と Ebright は説明する。Middleton によれば、インフルエンザ研究者は、選択可能ならば、BSL のレベルが高い施設では実験したくない場合が多いという。それは単に、BSL-3 実験室ですら研究を行うのに不便さを感じているのに、BSL-4 実験室でやるとなったら作業は必然的にさらに難しくなるからだ。

こうした状況は、被験者のリスクが高い臨床試験研究が数々の法律で規制されているのとは対照的だ、と Ebright は指摘する。「注目すべき点は、変異 H5N1 型ウイルスの研究では、1 人ではなく、何百、何千、何百万人もの人が危険にさらされる可能性があるというのに、全く管理されていない、ということなのです」と Ebright は力説する。 ■

（翻訳：小林盛方）



## 身体の錯覚を自由に操る科学者

### Master of illusion

Ed YONG 2011年12月8日号 Vol. 480 (168-170)

体外離脱、つまり自分の身体を離れて外から見ているような錯覚を、  
 科学的方法論としてきちんと生み出すことが可能になった。  
 これを実現したのがスウェーデンの神経科学者 Henrik Ehrsson だ。  
 彼の研究から今、人間についてこれまで想像もつかなかった謎解きが始まりつつある。

あなたは自分の身体の外に出て、その胸をナイフで刺される。こんな経験は、めったにできるものではない。

しかし、カロリンスカ研究所(スウェーデン・ストックホルム)の神経科学者 Henrik Ehrsson の研究室では、そんなことが日常茶飯事のように起こっている。Ehrsson は、錯覚を利用して、人々の自己意識を探り、拡張し、移動させ

る。今日は、ビデオカメラとゴーグルと2本の棒だけを使って、私が自分の身体の後方2~3mのところに浮いているよう感じさせてくれた。仮想の胸にナイフが向かってくるのを見て、私はそれをよけようとした。私の指に取りつけた2つの電極は、反射的に皮膚からどっと出た汗を記録した。近くのノートパソコンは、私が瞬間的に恐怖を感じたことを示

す鋭い波形をグラフにプロットした。

Ehrsson が作り出す錯覚は、体外離脱だけではない。彼はこれまでに、ほかの人との身体の交換<sup>1</sup>、3本目の腕の獲得<sup>2</sup>、人形サイズへの縮小や巨大化<sup>3</sup>といった錯覚を誘発することに成功している。彼の研究室の倉庫には、大小さまざまなマネキン、人形の頭部、作り物の手、カメラ、ナイフ、ハンマーが詰め込まれてい

て、まるで映画に登場する連続殺人鬼の地下室みたいだ。Ehrsson 自身も、「ほかの神経科学者は、我々のことを、かなり怪しいと思っています」と笑う。

Ehrsson の型破りな道具は、もちろん、安っぽいトリックとは一線を画するものである。彼の目標は、人間が自分の身体の中にいると感じる自己意識の仕組みを、科学的に解明することにある。これらの道具は、そのためのれっきとした実験装置なのだ。自分の身体を所有しているという感覚は、我々に深く根づいており、この感覚を改めて考え直そうなどという人はめったにいない。科学者や哲学者も、それは疑う余地のない当然のものだとしてきた。

Ehrsson が作り出す錯覚は、視覚と触覚をものの 10 秒ほど欺くだけで、確信を、いとも簡単につき崩してしまう。この驚くべき順応性は、脳が感覚器官からの情報を用いて、間断なく身体所有感覚を組み立てていることを示唆する。Ehrsson は、この発見にかかわる論文を *Science* をはじめとするトップクラスの学術誌に次々と発表し、多くの神経科学者の注目を集めている。

「自己意識というのは、我々に元から組み込まれていて、変化したりしないものだと思われてきました。ところが、全く違っていたのです。自己意識は、あっという間に変化します。そこが非常に興味深いところなのです」と、デューク大学医療センター（米国ノースカロライナ州ダーラム）の神経生物学者 Miguel Nicolelis は言う。

Ehrsson の研究は、「自己」というとらえどころのない形而上学的な構成物を、科学者が詳細に分析できるものへと変えた。この点でも、神経科学者や哲学者の注目を集めている。ペイラー医科大学（米国テキサス州ヒューストン）で知覚の研究をしている David Eagleman は、「今や、信号をこんなふうに揺さぶれば、意識体験はこんなふうに揺さぶられる、といえるのです。こんな研究手段は、これまでありませんでした」と言う。

ヨハネス・グーテンベルク大学マインツ（ドイツ）の理論哲学グループを率いる Thomas Metzinger は言う。「自己に関する問題は、これまで、ハードサイエンスでは扱うことができないと思われてきました。ところが、こうした問題が、明らかに、扱いやすいものになったのです。Henrik の貢献は、その点でも価値が高いと思います」。

### 夢想から身体錯覚の研究へ

Ehrsson は、1972 年にストックホルム郊外で生まれた。化学者である父親と歯科医師である祖父の影響で科学と人体に興味を持ち、カロリンスカ研究所（医科大学）で医学を勉強することになった。しかし、解剖学の長い講義にはしばしば退屈した。「講義の間、もしも自分の目がその辺にふわふわと浮いていて、自分の身体を見ることができたら、自分の意識はどこにあるのだろうか、なんて考えていました」。そして、ひと呼吸おいて言った。「私は優等生ではありませんでした」。

大学を卒業した Ehrsson は、医師になるのはやめて、カロリンスカ研究所で博士号研究を始めた。それは、脳走査装置を用いて、人が物体をつかむ仕組みを調べるとい研究だった。彼はその頃、身体錯覚に強い興味を持ち始めた。身体錯覚のいくつかは、よく知られている。例えばアリストテレスは、人差し指と中指を交差させて鼻に触れると、人によっては、鼻が 2 つあるような感覚を生じることが発見している。

Ehrsson はまた、「ラバーハンド錯覚」という身体錯覚があることを知った。これは、1960 年代後半に米国の研究者によって考案された錯覚で、被験者の手をテーブルの下に隠し、ゴム製の手を目の前に置いて、両方を同じようになでていると、被験者はゴム製の手が自分の手であるような気がしてくるといものだ<sup>4</sup>。「自分でやってみると、本当にそうになりました。奇妙でシュールな経験でした」と Ehrsson は言う。

Ehrsson は、博士号研究のかたわら、錯覚の研究も進めるようになった。そして、ロンドン大学ユニバーシティ・カレッジでポスドク研究を終えてカロリンスカ研究所に戻り、自分の研究室を持ったとき、錯覚が彼の主要な研究テーマとなっていた。多くの科学者は、視覚的な錯覚（錯視）を利用して、知覚の基本的な知識を得ようとする。しかし、身体錯覚の研究は心理学の主要テーマではなく、研究の種類も多くなかった。それでも Ehrsson が研究しなかったのは、ラバーハンド錯覚をはじめとする身体錯覚だった。彼は、身体の所有感覚がどのくらい容易に歪められるのか、検証したいと考えた。

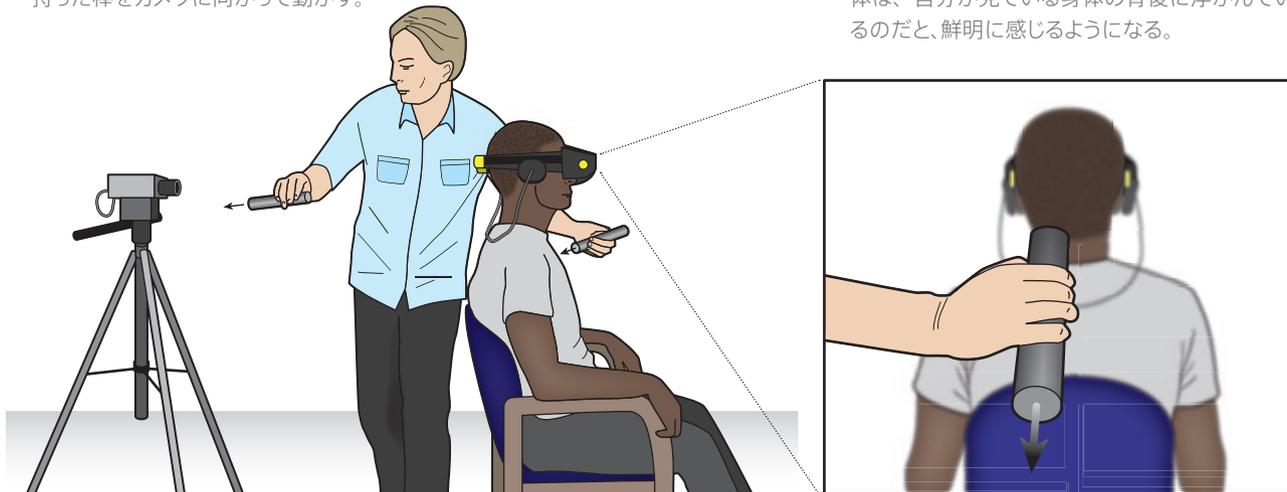
Ehrsson は、ラバーハンド錯覚と同じ原理に基づいて、新しい錯覚の考案に取りかかった。彼は、ヘッドフォンやカメラや作り物の身体の一部を利用して、被験者の視覚を欺き、また、被験者の身体と作り物の身体を同じようになり突いたりして触覚的な刺激を与え、錯覚を生じさせようとした。2007 年、Ehrsson は、この方法で、被験者に自分の身体から離脱したと信じさせることに成功した<sup>5</sup>。彼の驚くべき実験は、世界中でニュースになった。

当時、一部の科学者や一般市民は、そんな錯覚が本当に生じるのかどうか疑問視していた。しかし、私は 2011 年 9 月に Ehrsson の研究室を訪れ、自らこの錯覚を体験して納得した。これは本当だ。私はまずゴーグルを装着した。ゴーグルには、私の背後に置かれたカメラからの眺めが映し出されていた（次ページ図参照）。Ehrsson はプラスチック製の棒で私の胸元を軽く突き、もう 1 本の棒を同じタイミングで動かしてカメラを突くようにした。私は、自分の胸元に迫ってくる棒を見て、棒が胸に当たるのを感じながら、自分自身の姿を背後から眺めていた。10 秒もしないうちに、私は自分の身体から離れて、その数 m 後ろに浮かんでいるように感じ始めた。

被験者に自分の身体から離脱する錯

## 体外離脱を体験する

1. 被験者はゴーグルを装着する。ゴーグルには、被験者の背後に置かれたカメラからの眺めが映し出されている。実験者は、片手に持った棒で被験者の胸元を軽く突き、それと同じタイミングで、もう片方の手に持った棒をカメラに向かって動かす。



2. 被験者は、カメラに迫ってくる棒を見て、棒が自分の胸に当たるのを感じる。彼はまた、自分の身体を背後から見ている。やがて、自分の本物の身体は、自分が見ている身体の背後に浮かんでいるのだと、鮮明に感じるようになる。

覚を生じさせるのに成功して1年後、Ehrsson は、被験者に別の身体に入ったような錯覚を起こさせる方法を考案した。今度は、被験者のゴーグルには、マネキンの頭部に取り付けられたカメラからの眺めが映し出されている。マネキンはうつむいているので、被験者は、マネキンの胴体を見せられることになる。実験者がマネキンと被験者の腕または腹を同時に数回つつくだけで、被験者に、マネキンの身体が自分の身体であると信じさせることができた。彼らはさらに、被験者に新しい身体から元の身体を見つめさせ、元の自分と握手させることもできた。その間ずっと、錯覚は消えなかった<sup>1</sup>。自らこの錯覚を体験した米国立衛生研究所（メリーランド州ベセスダ）の神経学者 Mark Hallett は、「この錯覚は非常に強烈で、信じられないほど速やかに生じます」と言う。

2011年5月に発表された最新のトリックでは<sup>3</sup>、小さなバービー人形の中に入り込んだと被験者を信じさせることに成功した。Ehrsson が人形の脚をつつくと、被験者は自分が巨大な物体につつかれて

いるように感じた。彼は、自分でもこの錯覚を試している。錯覚が生じているときに同僚に頬を触られると、顔を上げて、「子ども時代の自分に戻り、母親を見上げているように感じた」という。

こうした錯覚は、すべての人が体験できるわけではない。ダンサーや音楽家など、視覚に頼らずに自分の四肢の位置を正確に把握できる人々は、普段の実験で被験者になってくれる学生たちよりは錯覚を経験しにくいのではないかと Ehrsson は考えている。けれども、彼が作り出す錯覚は、おおむね5人中4人に対しては有効だ。被験者が錯覚を生じているかどうかは、どんな感じがするか直接尋ねたり、「新しい身体」をナイフで脅したりすることで確認する。自分の身体から離れたり、小さくなったり、マネキンになったりする錯覚を生じている被験者は、新しい身体にナイフを向けられると、（私が経験したように）反射的な神経性発汗を生じるのだ。注目すべきは、ナイフで脅されても錯覚が消えないことである。Ehrsson の言葉を借りるなら、この錯覚は「認知的に堅固」なのだ。

2011年の初め、Ehrsson はラバーハンド錯覚に改良を加えて、被験者に第三の手を持っていると思わせることに成功した<sup>2</sup>。ラバーハンド錯覚の考案者の1人であるプリンストン大学（米国ニュージャージー州）の神経学者 Matthew Botvinick は、「彼は、こうした基本的なアイデアを、どこまで拡張できるか研究しているのです」と言う。「彼は、身体表象がどんなに極端であり、どんなに順応性があるかを示しました」。

### 欺かれる自己

Ehrsson の次なる挑戦は、こうした錯覚が脳について何を教えているかを明らかにすることだ。教科書によれば、人間は、身体の各部位の相対的な位置を示す皮膚や筋肉や関節からの信号（固有感覚）を利用して、自分の身体を知覚しているという。しかし、Ehrsson が誘発する錯覚は、視覚と触覚からの情報も身体の知覚において重要な部分を占めていること、そして、脳は休むことなくこれら感覚器官から情報を収集して自己意識を組み立てていることを示唆している。被

験者の固有感覚が脳に「自分の身体は椅子に座っている」と告げているときにも、Ehrsson が与える正確に同期した視覚・触覚信号は、それが全く別のところにあると脳に確信させることができるのだ。

Ehrsson は、そのような錯覚は「多感覚」ニューロンの働きによって生じると考えている。多感覚ニューロンは、主としてサルについて研究されており、サルはこのニューロンの働きにより視覚情報と触覚情報を結びつけて、物体とうまくかかわり合うことがわかっている。「これらの回路は、外部の物体を表象するだけでなく、自分自身の身体と、身体と外界との境界を表象する点でも重要であると考えています」と Ehrsson は言う。彼は、多感覚ニューロンがさまざまな感覚器官からの情報を統合して、一貫性のある身体を表象を作り出すと考えている。彼が被験者に錯覚を起こさせるとき、このニューロンに流れ込むデータを変化させることで、その表象を操作しているのだ。

今のところ、これは作業仮説にすぎない。「多感覚の統合についての詳細は、よくわかっていません。それは、私にとってのミッシングリンクです」と Botvinick は言う。Ehrsson らは現在、fMRI（機能的 MRI）で被験者の脳血流量を測定しながら錯覚を誘発するという方法で、多感覚ニューロンがヒトの脳のどの部位にあるかを特定しようとしている。しかし、実験結果にはばらつきがある。

Ehrsson は、身体を完全に交換したという錯覚を体験している被験者の腹側運動前野（運動の視覚的ガイドに関与することが知られている部位）が特に活性化していることを見いだした<sup>6</sup>。これに対して、この分野の数少ないほかの研究者の 1 人であるローザンヌ大学（スイス）の Olaf Blanke は、被験者が体外離脱の錯覚を経験しているときに、その近くの側頭頭頂接合部が活性化することを示した<sup>7</sup>。彼は、脳のこの領域に負った損傷や腫瘍は体外離脱の感覚を生じさせると指摘する。「どちらが正しいかを判断す

るのは困難です。現時点では、神経科学的データの量が多すぎても少ないからです」と Blanke は言う。

### 魂を探して

Ehrsson は時々、体外離脱体験をしたことがあるという人々から、怒りの手紙を受け取るという。「彼らは、自分の魂が肉体から離れたのだと信じているので、似たような経験が実験室で誘発できると聞くと、自分自身が脅かされたように感じるのです」と Ehrsson は言う。彼はそうした抗議に対しては、「自分には彼らの主張を反証することができない」という、そつのない答えを用意している。しかし Metzinger は、もっと率直だ。「Henrik の研究は、魂だとか脳から独立した自己だとかいったものは、要するに存在しないと証言しているわけです」。

Ehrsson は今、この錯覚を実用的な面で役立てることに取り組んでいる。それは、より優れた義肢の開発だ。腕を失った人々の多くは、幻肢とって、なお自分の腕が存在すると感じている。そして、義手のことを、自分とは異質の存在であると感じている。「もしも義肢に対して自己所有感覚の錯覚を生じさせることができれば、より使いやすい義肢となったり、また、より良いボディイメージを持ったりすることができると思うのです」と Ehrsson は言う。

この目標を達成するため、彼はラバーハンド錯覚を応用した。腕を失った人々は、切断端上の特定の点を刺激されると、ないはずの指があるような錯覚（幻指）を生じることが知られている。Ehrsson らは、被験者の切断端上のこれらの点と、ロボットの「サイバーハンド」の対応部位を同時になでることにより、金属製の義手に対する自己所有感覚を生じさせることに成功した<sup>8</sup>。

しかし、この感覚は、なでるのをやめると約 10～15 秒で消失してしまうため、錯覚を持続させるには、刺激し続ける必要がある。Ehrsson は現在、これに取り組んでいる。「我々が考えているの

は、指先のセンサーと、切断端を刺激する装置を組み込んだ、高度な義手です」と彼は言う。ほかのグループも装着者の感覚を利用する同様の装置を開発しているが、Ehrsson は、自分の装置は、人工の指からの感覚と、切断端の対応部位の刺激を完全に一致させて、自己所有感覚の錯覚を生じさせる点で異なるという。

Ehrsson には、さらに大きな野心がある。自己所有感覚の錯覚は、人々が全く異なる身体（それは、仮想的な身体でも、ロボットでもよい）を制御することを容易にする。この錯覚を利用すれば、今日、ロボットやアバターの操縦に用いられているジョイスティックなどのコントローラーよりも、緻密な操縦が可能になるはずだ。例えば、ロボットを操縦する人々は、ゴーグルを用いてロボットの視点からものを見て、モーション・キャプチャー・スーツを利用してこれを動かし、ロボットの手に組み込まれたセンサーとつながったグローブから触覚的フィードバックを受けることができる。

Ehrsson は、人間と機械の間で 100 ミリ秒以内に信号をやりとりすることができれば、「完全な身体錯覚が生じるだろう」と予測している。その際、新しい身体のサイズは重要でない。外科医は、患者の体内で極小のロボットを制御することができるだろう。その逆に、巨大なロボットに、壊れた石油掘削装置を修理させたり、原子力発電所を解体させたりすることもできるはずだ。こうした可能性を考えると、Ehrsson の顔には自然と笑みが浮かぶ。

（翻訳：三枝小夜子、要約：編集部）

Ed Yong は、ロンドン在住のフリーライター。ブログ Not Exactly Rocket Science（そんなに難しくない科学）を開設している。

1. Petkova, V. I. & Ehrsson, H. H. *PLoS ONE* **3**, e3832 (2008).
2. Guterstam, A., Petkova, V. I. & Ehrsson, H. H. *PLoS ONE* **6**, e17208 (2011).
3. van der Hoort, B., Guterstam, A. & Ehrsson, H. H. *PLoS ONE* **6**, e20195 (2011).
4. Botvinick, M. & Cohen, J. *Nature* **391**, 756 (1998).
5. Ehrsson, H. H. *Science* **317**, 1048 (2007).
6. Petkova, V. I. et al. *Curr. Biol.* **21**, 1118-1122 (2011).
7. Ionta, S. et al. *Neuron* **70**, 363-374 (2011).
8. Rosen, B. et al. *Scand. J. Plast. Reconstr.* <http://dx.doi.org/10.1080/02844310903113107> (2009).



学生の抗議行動で、2011年11月のカリフォルニア大学の理事会は中断した。

AP/アフロ

## 悩み深まるカリフォルニア大学の経営

### State cuts fuel California protests

ERIKA CHECK HAYDEN 2011年12月8日号 Vol. 480 (164)

有数の公立大学に対して、長期的なダメージを危惧する声が増えつつ高まっている。

教育サービスの低下、各種プログラムの縮小、授業料の値上げ。米国を代表する公立大学、カリフォルニア大学の予算状況がこれまでにない深刻な状態になっている。同大学が、長年にわたる州政府の助成金削減に苦しんできたのは、すでによく知られている。

2011年11月28日。州全土に10のキャンパスを擁するカリフォルニア大学では、大学システム全体の政策と予算を決める理事会を、テレビ会議で開催していた。ところが、4つのキャンパスでの学生の抗議行動によって、テレビ会議が中断し、会議室に不安感が広がった。抗議行動の一因は、カリフォルニア大学デービス校で警官が抗議行動中の学生

に唐辛子スプレーを浴びせたという11月18日の事件だった。しかし、抗議の理由はそれだけではない。相次ぐ値上げによって学部学生の授業料は2008年から71%も増え、その一方で、2011年の大学全体の予算削減額は7億5000万ドル（約600億円）にも達する可能性があるのだ。

世界有数の公立大学の1つであるカリフォルニア大学システムは、世界金融危機の影響、数十年間にわたる教育に対する公的支援の縮小、そして、州政府の予算危機のためにあえいでいる。カリフォルニア大学バークレー校で高等教育を研究するJohn Douglassはこう指摘し、「無数の細かな予算削減をされた後で、

大不況が起こって大きな打撃を受け、それに加えて、財源モデルも変化してきているのです」と続けた。

カリフォルニア大学システムは、授業料収入への依存を高めている、とDouglassは言う。2011年になって、カリフォルニア大学の収入において、授業料を含む民間資金の額が、州政府からの資金を初めて上回った（右ページグラフ参照）。カリフォルニア大学の225億ドル（約1兆8000億円）の予算において、カリフォルニア州からの資金が占める割合は、1980年代には30%だったが、今はわずか11%にすぎないのだ。

授業料の値上げ、講座数の減少、1クラスの定員増といった影響をまともに受けているのが学部学生だ。一方、科学研究者は、連邦政府の助成制度や民間基金から相当程度の資金を得ているため、直接的な影響は少ない。ただそれでも、大学院生は資源や時間の面で制約を受けているし、キャンパスでの各種サービスや保守管理が縮小されており、緊縮予算の影響を肌身に感じている。

カリフォルニア大学バークレー校で環境科学と政策マネジメントを専攻する大学院生Philippe Marchandは、値上がりした授業料をまかなうために大学院生講師の仕事を増やす必要がある。しかし、同大学システム全体の教育予算が縮小され、それに伴って講師の求人数も減っており、Marchandは、次の学期に同じ仕事ができるかどうか、確信を持っていない。それに、仮に講師の仕事が得られたとしても、彼の問題がすべて解決するわけではない。「いくつかの難しい選択をする必要があります。毎学期、講師の仕事をしなければならないのであれば、私の研究を中止せざるを得ないかもしれません」と彼は言う。Marchandの所属学科では、大学院生の数が2006年比で30%も減っているのだ。

同じバークレー校で化学を専攻する大学院生Jessica Smithは、研究室の天井に水漏れが発生してしまい、1か所はゴム管で排水して直したものの、実験装

置と機械がダメになってしまったと話す。「私の研究にとって、緊縮予算がもたらした最大の障害は、崩れかけた研究施設です」。

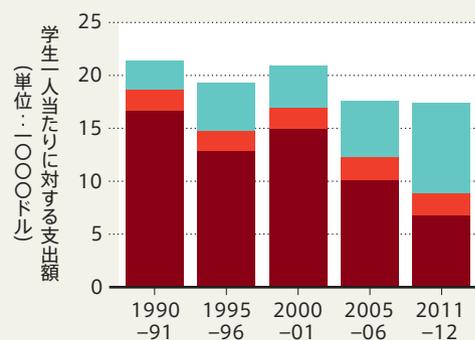
予算の削減で、教官のつなぎとめも難しくなっている、とカリフォルニア大学サンフランシスコ校 (UCSF) の執行副学長 Jeffrey Bluestone は話す。同校は、州政府の拠出金で教官の給与と諸手当をまかなっているため、一部の民間機関の給与条件に対抗できない。例えば、遺伝学者の Didier Stainier は、マックス・プランク心臓研究所 (ドイツ・バートナウハイム) に移り、合成生物学者の Christopher Voigt は、2011 年にマサチューセッツ工科大学 (米国ケンブリッジ) に移った。もっとも Voigt については、「雲の上の世界でもなければ、彼は引き留められなかったと思いますけど」と Bluestone は付言した。

広い観点から見ると、最も懸念すべきは、現在進行している予算削減によって、カリフォルニア大学システムが、この州の技術分野を育成する能力を失ってしま

### 授業料は上昇、教育内容は低下

相次ぐ授業料値上げにもかかわらず、カリフォルニア大学 (UC) での学生一人当たりに対する支出額は、州政府の予算削減のために、1990 年のレベルの約 80% まで減少している。

■ 学生の授業料  
■ カリフォルニア大学の一般資金  
■ 州政府の一般資金



うことだ、と Douglass は言う。カリフォルニア州の技術分野はこれまで、同大学出身の才能ある人材に大きく依存してきたのだ。

カリフォルニア大学の将来に関する報告書が 2010 年 11 月に公表されたが、これにより、同大学の各キャンパスでは、大学授業料の高いほかの州からの入学者数を増やした。もう 1 つの資金調達法は、バークレー校やロサンゼルス校といったカリフォルニア大学で最も名高いキャンパスの授業料をほかのキャンパスより引き上げることだが、これは採用されてい

ない。来たる 2012 年の州議会選挙では、有権者は、高等教育などの予算をまかなうための増税の是非という論点を突きつけられる公算が大きい。

こうした対策が実施されても、州予算の大規模な削減傾向が逆転する可能性は低い、と Douglass は話す。カリフォルニア大学は、授業料の高い米国の私立大学に代わる一流大学という評判を得ているが、この評判が取り返しつかない事態になる前に、深刻な状況を解決する努力が求められている。

(翻訳: 菊川 要)

## 地球型ダイナモがいよいよ始動

### Dynamo maker ready to roll

SUSAN YOUNG 2011 年 12 月 8 日号 Vol. 480 (162-163)

独立に回転する大小 2 つの同心球体と、その間に満たされた 13t の液体ナトリウムからなる実験装置は、地球内部のダイナモ作用を再現すると期待されている。

メリーランド大学 (米国メリーランド州カレッジパーク) の洞窟のような倉庫に、直径 3m の球体が置かれている。表面にひだのある巨大な球体が、鋼鉄製の頑丈な箱に入れられて、ものものしくライトアップされている。それはまるで、別の惑星からの「訪問者」のようだ。こ

の球体は、地球の核を模倣するものとして作られた。

製作に 10 年の時間と 200 万ドル (約 1 億 5000 万円) の資金を要したこのプロジェクトは、最初の運転に向けた準備をほぼ終えた。2012 年の早い時期に、この球体には、約 105°C まで加熱した

13t の液体ナトリウムが注入され、回転を始める予定である。研究者らは、導電性の流体をかき混ぜて自続的な電磁場を発生させ、それをさまざまな方法で調べることで、地球のダイナモ作用に関する手がかりを得たいと考えている。地球のダイナモ作用は、外核の溶融した鉄の運動によって生じる。この実験が成功すれば、地球の内部構造を反映した実験装置として初めて、地球のダイナモ (発電機) 作用を再現したことになる。

プロジェクトリーダーの実験地球物理学者 Daniel Lathrop は言う。「自然界では、ダイナモ作用は簡単に始まりますが、実験室ではそうはいきません」。もし実験室で地球ダイナモのシミュレーションができれば、地中 3000km の深さで起きているプロセスを理解するため

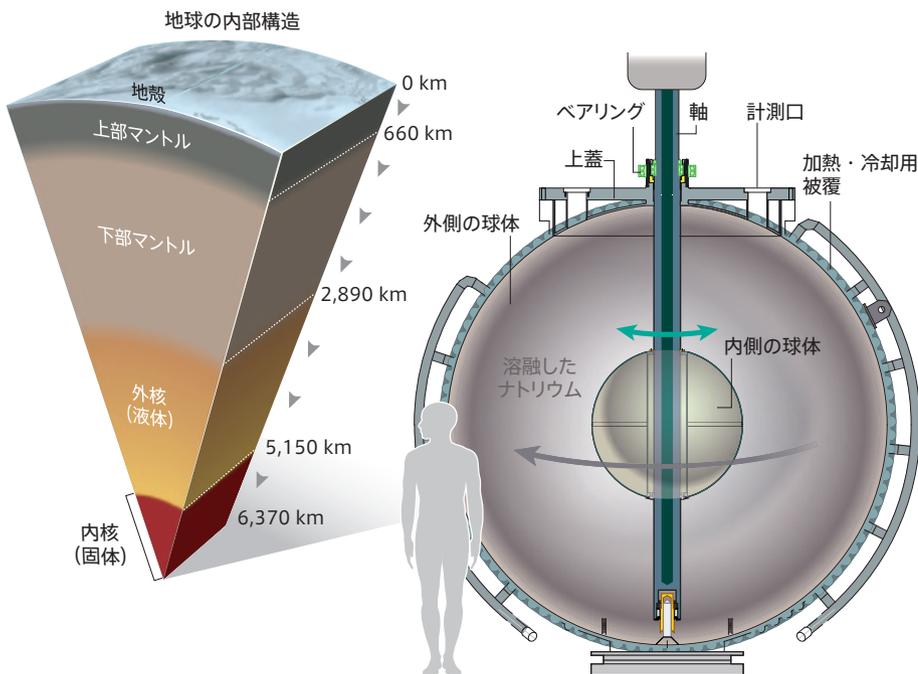


Daniel Zimmerman が所属する研究チームは、10 年前から地磁気のシミュレーションに取り組んでいる。

S. TRIANA

## 実験室で地球の核を再現する

地球の核にじかに触れることはできない。しかし、メリーランド大学の実験装置は、その隠された性質の一部を明らかにする可能性がある。実験装置は、内側と外側の球体のすき間に液体ナトリウムを満たしたものである。2つの球体が互いに独立に回転している間、研究者は、回転蓋の計測口から、液体の温度や流れなどをモニターすることができる。



の指針が得られる。これだけの深さになると、地球深部を通ってきた地震波を分析するなど、間接的な方法で調べるしかない。「核の付近にあるものを直接測定する手段はありません。それは、いちばん深い井戸の100倍も深いのです」とLathropは言う。

メリーランド大学の装置は、地球の核の構造を模倣する2つの同心球体からなる。内側の直径1mの球体は固体の内核に対応し、外側の直径3mの球体はマントルの底に対応している。2つの球体に挟まれた空間は、液体の外核を模倣して液体ナトリウムを満たす。それぞれの球体は、他方の球体とは無関係に回転できるように、別々のモーターによって駆動する。Lathropらのチームは、2つの球体の回転速度を合わせたりずらしたりすることで（外側の球体は1秒間に4回転まで、内側の球体は12回転までの速さで回転できる）、熱と回転が地球の核にある溶融した鉄の運動にどのような影響を及ぼすかを調べるつもりだ。

最大の課題は、かき混ぜたナトリウムが地球のダイナモ作用を模倣し、永続可能な磁場を生じさせるかどうかである。この実験では、自然界の地磁気を「種磁場」として利用する。この磁場が、回転する導電性の流体によって引きずられ、引き伸ばされると、電流が発生する。その電流がさらなる磁場を作り出し、これが十分に合わされると、自分自身を増幅して、一連のプロセスを進めることができる。ただ、このフィードバックがうまく働くかどうかはわからない、とLathropは言う。なぜなら、「これらのパラメーターについては、理論も実験もないからです」。

Lathropの実験への期待は、チームの外まで広がっている。「このコミュニティ全員が、固唾をのんで見守っています」と、スイス連邦工科大学チューリッヒ校の地球物理学者 Andrew Jackson は言う。「彼は、我々が答えを知らない問いを発しているのです」。

## 地球に近づける

メリーランド大学の実験装置は、フランスのエコール・ノルマル・シュペリウール（高等師範学校）パリ校・リヨン校とフランス原子力庁（サクレー）が共同で建造した実験装置などを拡張したものである。フランスのカダラッシュに建造されたその実験装置は、鉄製の円盤を回転させて、円筒状の容器に満たした液体ナトリウムに流れを生じさせるものだった。2007年、研究チームは、運動と種磁場の組み合わせにより地球のダイナモ作用に似た効果が生じたと報告した（M. Berhanu *et al. Europhys. Lett.* 77, 59001; 2007）。フランスの実験はまだ行われているが、その研究者の Jean-François Pinton は、次のステップは、より現実に近い実験装置で研究することだと言う。

「我々の実験は、物理学者の実験です」と Pinton は言う。「目標はダイナモ作用を生じさせることであり、実験装置が現実に近いかどうかは考えていません。しかし Daniel は、地球の内部で実際に起きているプロセスを再現しようとしているのです」。

惑星に近い形の装置で液体ナトリウムの実験をしているグループはほかにもあるが、いずれも自続的なダイナモを生成させるには至っていない。ウィスコンシン大学マディソン校のグループは、直径 1m の球体を使った実験をしている。この球体は回転せず、その代わりに、内部にあるプロペラを使って流れを生じさせている。グルノーブル（フランス）のグループは、直径 40cm の回転する装置を作った。この装置は、ナトリウムを満たした外側の球体と、固体でできた内側の球体からなる。どちらの実験も、導電性の液体の流体力学について興味深い性質を明らかにしたが、ダイナモ作用を生じさせることはできなかった。

Lathrop の最新の実験装置は、彼のグループが製作したナトリウム回転装置としては 4 個目で、最も大きい。これまでの実験装置ではダイナモ作用は生じな

かったが、新しい球体は大きいので、ダイナモ作用が生じる可能性が高い。

Lathrop らは、この研究が、地球の核の回転が導電性の流体を動かし、北極と南極を持つ磁場を生み出す仕組みを明らかにすることを期待している。それはまた、北極と南極の逆転などの地磁気の変化が起こる原因の解明にも役立つ可能性がある。地磁気の逆転は、平均して数十万年ごとに起こるが、数万年で逆転することも、数百万年も逆転しないこともある。最後の逆転が起きたのは約 78 万年前のことだった。この 150 年で地磁気は約 10% 弱くなったので、再び北極と南極が逆転するのではないかと考える研究者もいる。

地磁気の逆転が大きな混乱を起こすおそれはないが、地磁気が弱まることは「控えめに言っても、少々心配です」と Lathrop は話す。なぜなら地磁気は、送電線を破壊することもある太陽からの荷電粒子から、我々を保護してくれているからだ（*Nature* 441,402-404; 2006 参照）。「地球の磁気シールドは、この惑星を住みやすい場所に行っている条件の 1 つなのです」と Lathrop は言う。

球体にはすでに液体ナトリウムが 4 分の 3 近く入っていて、2012 年 1 月にも残りの固体ヘリウムが到着する予定である。最後の液体ナトリウムが注入されれば、チームは実験装置の形を変えて、いよいよ回転させ始めることになる。

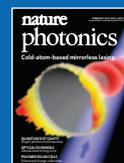
メリーランド大学のポスドクで、このプロジェクトに最初から参加している Daniel Zimmerman は、「ダイナモ作用が始まるために必要と思われることは、すべてやってきました。けれども、これでうまくいくかどうか、詳細に予測することはできません」と言う。

しかし、Lathrop は心配していない。これだけ大量の導電性の流体を回転させれば、何らかの驚くべき現象が起こるのは確実だと言う。「ダイナモ作用が生じるにせよ、生じないにせよ、興味深い実験になるでしょう」。

（翻訳：三枝小夜子）

未来は明るい  
光を学ぼう！

nature  
photonics



Nature Photonics は、光の生成、操作、検出に関する全領域について、トップクラスの査読研究成果を収録しています。

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

npg nature asia-pacific

# 欧州でのヒト ES 細胞研究にブレーキ

## The cell division

ALISON ABBOTT 2011年12月15日号 Vol. 480 (310-312)

ドイツ人研究者 Oliver Brüstle は、  
10年以上もヒト ES 細胞関連の特許について闘ってきた。  
しかし、欧州司法裁判所が下したのは、思いも寄らぬ厳しい判決だった。



2011年10月18日、ルクセンブルクの欧州司法裁判所で、ある重大な判決が下された。ドイツ人神経科学者 Oliver Brüstle のヒト胚性幹細胞 (ES 細胞: あらゆる種類の成熟細胞に分化できる能力を備えた細胞) に関する特許権に対して、環境保護団体グリーンピースが無効とする訴訟を起こしていたのだ。

この日のルクセンブルクは曇り空で、季節外れの蒸し暑さだった。だが、法廷で裁判官を待ち受ける Brüstle には、汗など見られない。やがて、ゆったりとした深紅色の法服を着た 13 人の裁判官が入廷し、判決を言い渡した。みると Brüstle の額には汗がにじみ、心拍数は上がり、息があがった。裁判所の外では、にわかになくなった空から雨が激しく降り出した。

裁判長が 4 ページの判決文を読み上げるのには 2 分ほどしかかからなかった。判決内容はグリーンピースの言い分を支持するものだった。判決文には、たとえ間接的であってもヒト ES 細胞株を用いた特許はすべて、道徳上の理由により欧州連合 (EU) の全加盟国において違法であると言明されていた。予想外だったのは、ヒト ES 細胞株を用いた研究もすべて同様に道徳に反すると付記されていたことだ。この判決に対する上訴はできない。

Brüstle は大きなショックを受けた。「個人的にいちばんこたえたのは、ヒト ES 細胞株を用いて研究している研究者は、とにかく道徳に反しているという非難の論調でした」と Brüstle は話す。彼は、この裁判で勝ると信じて疑わなかった。「でも今は、これですべてが終わったのだと感じています」。

Brüstle がここに至るまでには、長い紆余曲折があった。彼はヨーロッパの著名な幹細胞研究者の 1 人であり、ドイツのボン大学を研究拠点にしている。ドイツは科学研究の盛んな国だが、どんな種類のものであれ、新しい遺伝学技術の受け入れはいつも慎重で遅れがちである。Brüstle は、今回の特許をめぐる闘いの

はるか前にも、ヒト ES 細胞を使った研究をするために闘ったが、ドイツ政府はその合法性の承認に二の足を踏んだ。

ES 細胞をめぐる最近の論争は、ヒト胚を使って得られた発見の特許権に伴う倫理に集中している。特許はきわめて重要だと Brüstle は言う。彼は、ヒト胚を使って命を救える治療法を開発できると考えているが、特許が絡まないと、産業界はそうした研究に関心を持たないだろうと思われるからだ。一部では、特許が実際には研究の妨げになることもあったと非難する人々もいるが、Brüstle は、学術機関が取得した特許は通常、ほかの研究者も無料で利用できることを主張する。

彼の闘いは孤独であり、自分とはうまく、家族にも多大な負担を強いていることもわかっている。一時は、警察による警備が家族に付いたこともあった。しかし彼は、引き下がろうと考えたことは一度もないと言う。「政府ではなく、環境保護団体が研究の理念を規定するなんて、正当とは到底思えません」と彼は話す。

Brüstle の頑としたこだわりは、攻撃的な人柄からきているわけではない。彼はもの静かで、傲慢なところなどない人物だ。「彼の闘いの原動力は、科学に対する強い信念にほかならないと思います」と、ミラノ大学（イタリア）の幹細胞生物学者 Elena Cattaneo は言う。彼女は、欧州委員会が運営する科学ネットワークの一環で Brüstle とともに研究を行ったことがある。また、リーバー脳発達研究所（米国メリーランド州ボルティモア）の幹細胞研究者で、Brüstle のかつての指導教官 Ronald McKay は、「Oliver は倫理問題の議論で重要な人物の 1 人であり、大きな称賛を受けてしるべきです」と話す。

そうした信念によってドイツでのヒト ES 細胞研究は多少進展したが、現実的には、ほんの一握りの研究グループしか、ヒト ES 細胞株を使って研究しようとしなかった。しかも、Brüstle の特許をめぐる闘いは裏目に出てしまったかもしれない。というのも、今回の新しい判決に

よって、ヨーロッパでのヒト ES 細胞研究が遅れてしまう可能性が出てきたからだ。多くの研究者たちは、今回の判決が幹細胞研究は道徳に反するものだと明言したことで、研究助成機関が資金提供を中止する方向に動くのではないかと恐れている。これは、ヒト ES 細胞の使用を含む特許権は、外国のものでも国内のものでもヨーロッパでは認められず、保護されないことを確実に意味する。生物系特許に反対して孤軍奮闘している活動家で、グリーンピースのキャンペーンを陣頭指揮したこともある Christoph Then でさえ、今回の法廷が下したヒト ES 細胞研究に関する広範囲に及ぶ「有罪判決」には驚きを隠せなかった。「道徳的にみて、いかなる生命の形態であっても、それを使って特許を得る権利は誰にもないと思います。ですから、この判決は我々にとって快挙と言え勝利です。しかし、我々の本意は、この分野の基礎研究を止めることではありません」と Then は話す。

「今振り返って、これまでの特許をめぐる私の闘いが正しかったのかどうかを問うことは簡単です。ほかの国々の幹細胞研究者たちを巻き添えにしてダメージを与えてしまったことは、申し訳なく思っています」と現在の Brüstle は語っている。しかし、また同じ状況になれば、自分は全く同じことをするつもりだとも言う。「ドイツにもっと進歩的な規範を、という目的で始めたものが、結果的にヨーロッパを厳しく制限することにつながってしまうとは、誰が予想できたでしょうか」。

Brüstle は、ドイツ南部にあるウルム大学の医学生時代に、「脳」に魅了された。彼は神経外科医になろうとキャリアを積み、エアランゲン大学にレジデントとして勤務した。だがまもなく、基礎研究に強い思いを抱くようになった。1993 年、レジデントを中断すると、米国の国立神経疾患・脳卒中研究所（メリーランド州ベセスダ）の McKay の研究室に入った。McKay 研では、ヒト胎児の脳細胞を胚期のラットの脳に移植するとどうなるか

を調べた<sup>1</sup>。「研究室ではこんなジョークが交わされていたんですよ。移植細胞が新しい環境に対して、外向的な米国人のように適応するのか、それとも保守的なヨーロッパ人のように適応しないのか、知りたいものだったね」と彼は振り返る。（結果は、無事に適応して生着した。）1990 年代半ばになると、いくつかの研究グループが、成長因子を使ってマウス ES 細胞から心臓細胞を作り出す手法を開発した。Brüstle は、この手法を使って神経細胞を作製した<sup>2</sup>。「あっという間に、幹細胞生物学は生体再建療法に手が届きそうなところまで進展したのです」と彼は話す。

やがて Brüstle は、ドイツに戻って研究者として独立することを考え始めた。当時ドイツでは、大学や政府が、基礎研究がいかなる利潤を生むか、あるいは公共の利益にどう結びつくかを考えるよう、研究者に強く奨励していた。なかでも特に奨励されていたのが特許の取得だ。Brüstle は思い返す。「新聞には、『ドイツの研究者はなんと愚かだ。特許も取れないのだ。それに比べて米国の研究者は自国の経済を助けているではないか』と書かれていました」。

1997 年 9 月、Brüstle はボンに戻り、すぐに、ES 細胞から神経前駆細胞を作製するための手法に関する（後に彼の運命を左右することになる）特許をドイツ特許庁に出願した。これはマウスの研究に基づくものだったが、ヒトも含めた霊長類をはじめ、ほとんどの動物種を対象範囲としていた。神経前駆細胞を際限なく供給できる手法があれば、必ずや医療に役立つだろうと彼は考えていた。「商業利用については具体的に考えていませんでした。いつか、どこかの企業がこの特許使用権を欲しがり、医療への応用につながるのではないかと考えていたくらいでした」と彼は話す。この特許は 1999 年に認められた。

その前年、当時ウィスコンシン大学マディソン校にいた James Thomson が、世界で初めて、ヒト胚からの幹細胞株の

樹立に成功していた<sup>3</sup>。多くの研究者と同様に、Brüstle もその細胞株を入手して、自身の動物研究の成果を応用したいと強く思った。彼は、Thomson のもとに共同研究の申し出が殺到していることを知り、とりあえずマディソンへの飛行機を予約した。「私は Jamie に、直接会って共同研究について話し合う時間を彼が持てるまでホテルに滞在する、と伝えたのです」。彼らは会って、Thomson の新しい細胞株から神経前駆細胞を作り出す方法を共同研究するという計画を立てた。

この決断は、ドイツでのヒト ES 細胞研究の容認をめぐる Brüstle の闘いの始まりでもあった。2000 年 8 月、Brüstle は、Thomson とともに考案した神経前駆細胞の作製法の研究に関して、ドイツの主要な大学研究助成機関であるドイツ研究振興協会 (DFG) に交付申請書を提出した。「この申請はすんなり通らないのではないかという直感がありました。DFG にそうした研究への資金提供が許されているのかどうか、わからなかったからです」と Brüstle は振り返る。1990 年に成立したドイツの胚保護法は、ヒト胚を使った研究を禁止しているが、樹立された ES 細胞株を使った研究には言及していない。条文が書かれた当時、ES 細胞株はまだ存在していなかったのだ。1999 年になって DFG は、この問題に関しては「社会的議論」が必要であり、当面は成人幹細胞を使った研究のみに資金提供していくという見解を出した。Brüstle の申請は DFG のこの姿勢に真っ向から挑戦したものだ。

Brüstle は善良なカトリック教徒であり、自身の道徳的立場を真剣に考えてきた。彼は、研究のためだけにヒト胚を作り出すことには反対している。しかし、ほとんどすべてのヒト ES 細胞株は、不妊治療で余った胚に由来するものだ。余った胚は廃棄処分となる。それらを捨てずに生物医学研究のために使うことが道徳的な責務だ、と Brüstle は主張している。

当時の DFG 会長だった生物学者の

Ernst-Ludwig Winnacker は、Brüstle の申請を査読審査すべきだと判断し、その結果、高い評価が得られた。2001 年 5 月、DFG は、輸入細胞株を使ったヒト ES 細胞研究は合法で、道徳に反するものではなく、科学的にも必要だとする見解を出した。Brüstle への助成金交付の準備は整った。そしてこれが闘いの引き金の 1 つとなった。

数日のうちにドイツ政府が介入し、社会的議論をもっと重ねるために、Brüstle への助成金交付を保留するよう DFG に働きかけた。やがて、地方や国の公開討論会、新聞記事および議会での審議へと発展し、徐々に加熱していった。マスコミや教会など、一部の組織は、Brüstle を糾弾した。それに対して、Brüstle は新聞やテレビ番組で持論を展開した。一方、彼の 4 人の子どもたちは学校で辛い思いをする羽目になった。「強いストレスを感じた時期でした」と彼は話す。

ほかの国でも同じように議論は二極化し、その国なりの解決策を打ち出した。アイルランドなど一部の保守的な政府はヒト ES 細胞研究を厳しく制限したが、さほど保守的でない政府は寛容な姿勢をとった。例えば英国政府は、新しいヒト ES 細胞株を生殖補助医療用の余剰胚から作り出すことを許可する決定を下し、場合によっては、研究目的にヒト胚を作製することも許可した。だが、ドイツ政府は最終的に決定をごまかしてしまった。2002 年 1 月 30 日に議会を通過した法案は、新たにヒト胚から得た細胞株を使う研究プロジェクトは禁止するが、ある特定の期日以前から存在する細胞株を用いた研究は許可するというものだったのだ。この年、Brüstle はようやく助成金を手にした。

### 道徳に反するもの

だがこの小さな勝利では、ヒト ES 細胞使用に関する議論を止めることはできなかった。一部の団体は、いかなるヒト ES 細胞株の使用もあってはならないと激しく主張した。Brüstle は、猛烈な批判の



矢面に立ち、彼の講演会では警護のために聴衆に覆面警官が潜入していたほどだった。だから、2005 年にグリーンピースが Brüstle の特許権に対して異議を申し立てたときも、彼は特に驚かなかった。グリーンピースは、「バイオテクノロジー発明の法的保護に関する EU の指令 (バイオ指令)」の「社会的秩序」の条項を引き合いに出した。EU 加盟国すべての特許法は、この指令に従わなければならない。バイオ指令では、その商業利用が道徳に反する可能性がある発明は特許権が認められないと述べており、一例としてヒト胚の製品化を挙げている。

それから 1 年後、Brüstle は、ミュンヘンのドイツ連邦特許裁判所に、防弾装甲仕様のリムジンで 3 人の護衛警官を伴って現れた。裁判はグリーンピースの勝訴で、ヒト ES 細胞株の彼の特許権は除外されるとの判決だった。Brüstle は控訴した。

その後、裁判の妨害や遅延が次々と起こった。結局、Brüstle の主張はドイツ連邦特許裁判所の控訴審でも認められず、ドイツ最高裁判所に上訴した。2009 年 11 月には公聴会が開かれ、最高裁は Brüstle の主張を受け入れるように見えたが、最終判決を下す前に、この案



件を欧州司法裁判所にゆだねた。ヒト胚とそれに由来する幹細胞の定義および商業利用の可能性に関して、特許法のあいまいな点を明確にする、という名目だった。この時点では、グリーンピースの Christoph Then でさえも、「我々の負けでしょう」と報道関係者に話していた。

ところがそうはならなかった。2011年3月、この訴訟を担当した Yves Bot 裁判官は、裁判について自分の予備的見解を述べた。それは、胚の破壊を伴う発明は道徳に反するというものだった。

Brüstle は、それでもまだ、13人の裁判官全員が出席する大法廷では、これまでとは別の裁定が下されるだろうと信じていた。彼は、欧州委員会と EU 加盟国の多くが出した声明文をすでに読んでいた。そこには、ヒト ES 細胞株に基づく特許権を違法とするよう求めたものは1つもなかったからだ。

だが、2011年10月に大法廷が下した判決には、楽観的な見解の余地はなかった。さらに予備裁定では、胚の破壊を間接的に伴う発見であっても道徳に反し、特許は得られないとの判断が下された。法廷から出た Brüstle は、報道陣に取り囲まれ、5時間もかけて今回の判決は間違っていると思う理由を説明した。

「国の政府が許可し、国の機関が助成している研究を、どうして欧州司法裁判所が道徳に反すると判断できませんか」。

EU 各国のこの判決への反応は鈍いものだった。ドイツの科学機関は沈黙していたが、12月7日、ようやく判決を非難する合同声明を発表した。「私は、この判決後に誰も声を上げなかったことに大きなショックを受けました」と、Winnacker は話す。ほかの国では、少数の特許専門弁護士や企業、研究者が、「いずれにしても特許権はさほど重要ではない」あるいは「問題が明確になることで有利になる」と発言するにとどまった。「企業も、たとえその裁定が厳しいものでも、線引きが明確になってほしいと考えていたのです」と、Cellartis 社（スウェーデン・イエテボリ）の最高責任者 Johan Hyllner は話す。同社は薬剤開発用にヒト ES 細胞株由来の細胞株を提供している。「今や我々は事業の進め方をわきまえて、特許を取らずに企業秘密を守るほうを選択することもできるのです」。

しかし、こうした意見は今回の判決によるダメージを軽視するものだと、Brüstle をはじめ一部の幹細胞研究者、そして法律専門家は考えている。「関係者の多くは、投資家や研究助成機関がこの領域から手を引いてしまうことを恐れています」。こう話すのは、ライデン大学医療センター（オランダ）の幹細胞研究者 Christine Mummery だ。

判決が下されて以降、ヨーロッパ各地の研究者や研究助成機関は、その影響を分析してきた。今後、学術研究機関所属のヒト ES 細胞を使っている研究者が、新規にバイオテクノロジー企業を立ち上げたいと思っても、難しいだろう。そのことは Hyllner も認めており、「ベンチャー投資家は強い特許ポートフォリオ（企業が所有する特許群のプロファイル）を希望しますが、これがヨーロッパでは不可能になるのです」と話す。すでに、助成機関が資金提供に及び腰になっている兆候も見られる。2011年11月23日、欧州中央銀行の生物倫理に関する超党派

の行政作業部会は、EU が構想している数百億ユーロ規模の研究プログラム「ホライズン 2020」では、ヒト ES 細胞研究に対して資金提供しないようにと強く求めた。なぜなら、現状では、研究が法に触れる可能性があるからだ。しかし、その1週間後に、欧州委員会の研究・イノベーション・科学担当委員 Maire Geoghegan-Quinn は、ヒト ES 細胞研究への資金提供を続けたいと述べた。

研究者たちは今後も闘いが続くことを期待している。Brüstle によれば、訴訟の間ずっと、ヒト ES 細胞の研究者たちに支えられてきたという。彼の申し立てに遺憾の意を表明した ES 細胞研究者はこれまで皆無である。

だが現在、Brüstle は闘いを中断している。成人細胞を再プログラム化し、さまざまな細胞種へ分化する能力を持つ幹細胞を作り出す手法に、活路を見いだそうとしており、その研究を重点的に進めているのだ。2011年11月には、マシャド・ジョセフ病患者から採取した皮膚細胞を再プログラム化して、人工多能性幹細胞（iPS 細胞）を樹立したことを報告した<sup>4</sup>。これは、この稀少疾患で神経細胞が攻撃を受ける仕組みの解明に役立つ。「しかし、こうした iPS 細胞が十分機能するかどうかはまだわかりません。研究には、ヒト ES 細胞はまだ必要なのです」と Brüstle は話す。

彼がどうしても理解できないのは、ヒト ES 細胞を使った研究および特許権に関する今回の厳しい判決が、ほかの多くの国のように、立法や行政関係者による妥当な議論によって下されたものではなかったことだ。「今回、1人の研究者と1つの環境保護団体の争いだったのに、大きな司法判断が下されました。それで本当によかったのでしょうか」。

（翻訳：船田晶子）

Alison Abbott は Nature のヨーロッパシニア特派員。

1. Brüstle, O. et al. *Nature Biotechnol.* **16**, 1040-1044 (1998).
2. Brüstle, O. et al. *Science* **285**, 754-756 (1999).
3. Thomson, J. A. et al. *Science* **282**, 1145-1147 (1998).
4. Koch, P. et al. *Nature* <http://dx.doi.org/10.1038/nature10671> (2011).

# 糖鎖に応答する 新たなエピゲノム制御を発見

ヒトの遺伝子は2万個ほどしかないが、それらを効率よく使うシステムとしてさまざまな仕組みが知られている。最近このようなシステムの1つとして、後天的にDNAや染色体の開き具合を調節するエピゲノムが注目されるようになってきた。このエピゲノム制御のカギを握るのは、DNAやヒストンの一部に施される化学修飾だ。東京大学分子細胞生物学研究所の加藤茂明教授は、ある酵素に「小さな糖」が付加されることで、化学修飾のスイッチが制御されていることを突き止めた。



加藤 茂明

## 核内受容体からエピゲノムへ

——Nature ダイジェスト：エピゲノム研究を始められたきっかけは？

加藤：実は、5年ほど前までは、自分の研究がエピゲノムの領域にあるという認識すらありませんでした。私は一貫して、ステロイドホルモンやビタミンAやDなどの「脂溶性の低分子生理活性物質」の研究を続けてきました。このような生理活性物質は、核内の受容体（核内受容体）を介して機能を発揮します。核内受容体は48種が知られているのですが、私はそれらのリガンドとなる新規の生理活性物質の探索や機能解析をしてきました。

例えば、男性に女性ホルモンを投与すると体が女性化しますが、これは女性ホルモンに「女性特異的な遺伝子」を活性

化する作用があるためです。こうした現象は40年以上前から知られ、私たちの研究仲間の間では、「ステロイドホルモンには、染色体レベルの変化を引き起こし、特定の遺伝子を活性化させる働きがあるにちがいない」と考えられてきました。まさにこれがエピゲノムだったわけですが、当時はエピゲノムの概念すらなく「クロマチンメモリー」などと呼ばれていました。

その後、1995年頃から、「核内受容体には、特定の遺伝子を活性化させる転写因子としての機能がある」との報告がなされるようになりました。要約すると「核内受容体は、ホルモンと結合しない状態では転写抑制共役因子と結合しており、転写因子として働かない。ところがホルモンと結合すると、転写抑制共役因子が外れ、今度は転写活性共役因子と結合して染色体を開き、活性化し始める」とするモデルです。

——2004年から「加藤核内複合体プロジェクト」を始められました。

はい、科学技術振興機構（JST）のERATOプロジェクトとして採択されたもので、2009年に終了しました。それ以前に、核内受容体に結合するのは単独のホルモンではなく、複数の因子からなる複合体であることがわかり、そのような複合体を取り出す生化学的な手法を開発していました。動物細胞を大量に培養したうえで核抽出液を採取し、複合

体だけを取り出す職人技的な手法です。ERATOでは、この手法を使って核内受容体に結合する複合体を探し、詳細な解析を始めました。取れてきた複合体の中には、DNAを束ねるヒストンタンパク質にメチル基を付加するメチル化酵素や、逆の作用をする脱メチル化酵素などが含まれていました。

ほぼ同じ頃、これらの酵素がエピゲノムのカギとなることが明らかにされ、私は「自分の研究がエピゲノム領域にある」との認識を持つようになりました。つまり、私たちが転写共役因子としていたものは、ヒストンを修飾する酵素の複合体だったのです。現在までに、メチル化、脱メチル化、ユビキチン化、脱ユビキチン化、リン酸化、脱リン酸化などの機能を持つ、9種ものヒストン修飾酵素が知られています。

## 糖鎖1つの有無でスイッチ

——具体的に、どのような研究をされたのでしょうか？

レチノイド（ビタミンA）の核内受容体と結合することで複合体を構成する因子を探索してみたところ、「ヒストンタンパク質のアミノ酸配列の4番目のリジン」をメチル化する酵素（MLL5）が取れてきました<sup>1</sup>。この酵素は、染色体を開いて活性化させるエピゲノムマーカーとして知られるもののファミリーでした。私たちが同定したMLL5を含む複合体には大きさの異なる2種があった



図1 GlcNAcが付加されたヒストンを抗体で染めたショウジョウバエの染色体。GlcNAcが付加された部位の染色体がほどけて活性化されていることがわかる。

のですが、それぞれで染色体活性の有無を調べてみたところ、大きい複合体のほうにしか活性がありませんでした。

そこで、大きい複合体をさらに詳細に解析し、そこにアミノ糖 (N-アセチルグルコサミン: GlcNAc) が付加されているか否かが、活性化スイッチのオンオフの役目を果たしていることを突き止めました。MLL5 が酵素として機能するには、複合体に糖転移酵素 (OGT) が結合し、この OGT によってアミノ糖が付加されないとだめだということがわかったのです<sup>1</sup>。OGT は細胞内外に多く存在しますが、核内にまで入って重要な機能を担うことは知られておらず、大きなインパクトとなりました。

——糖鎖が関与する制御であることがわかってきたのですね。

はい、ここまできて、糖にตอบสนองしたエピゲノムの仕組みがあるにちがいないと確信し始めました。さっそく、動物細胞由来の核抽出液からアミノ糖が付加されているタンパク質だけを取り出し、質量分析してみたところ、四量体のヒストンタンパク質のバンドが現れました。次に、遺伝子工学の手法でヒストンタンパク質を作り、アミノ糖を付加させてみたところ、二量体の状態のときにだけアミノ糖が付加されることがわかりました。さらに解析を進め、付加される位置が「112番目のセリン」であることも突き止めました<sup>2</sup>。

一方で、このアミノ糖の付加が、ヒストンタンパク質の特定部位をモノユビキチン化し、この変化が4番目のリジンのメチル化を可能な状態にするということも明らかにしました<sup>2</sup>。これまでどのようなメカニズムによってモノユビキチン化されるのかが謎でしたので、その答えも導けたこととなります。

エピゲノムが糖尿病にも関与？

——今回の成果は糖尿病などとも関連するのでしょうか。

はい、そのとおりです。今回、私たちは、OGT が働くには細胞外が一定の糖濃度

レベルに維持されていることが必要であることも明らかにしました。糖があるときにのみ、一連のパスウェイが活性化され、アミノ糖が核内にまで入ってくると考えられます。糖は ATP を作る原料などにもなる基本的な栄養素です。おそらく、染色体の再構成というきわめて重要で基本的な制御にも使いやすかったのでしょう。この仕組みは、多細胞生物に広く共通していると思われます。

糖尿病は、細胞外の糖濃度が異常になる疾患ですので、当然、糖応答性のエピゲノムの異常を引き起こすと考えられます。データベースを用いた計算では、今回の糖応答性の転写制御を受ける遺伝子が全遺伝子の5%に上ることがわかっています。この割合は細胞の種類によって上下すると思いますが、糖尿病患者では全身のさまざまな遺伝子で発現がおかしくなると推測できます。特に末期には、どのような治療にも反応しなくなってしましますが、その一因が、エピゲノムによる不可逆的な遺伝子発現の異常にあるのは間違いないでしょう。

——成果は医療や創薬にも役立ちそうですね。

私はこれまでも研究成果をアウトプットし、医学部や製薬会社との共同研究を続けてきました。すでに、骨粗鬆症や糖尿病の治療薬として上市されているものもあり、今回のプロジェクトにも共同研究者の中に製薬会社が入っています。現在は、得られた成果を糖尿病の診断マーカーの開発に応用できるかどうかといったことを調べ始めており、その後で糖尿病の新たな薬の開発が可能かどうかを考えたいと思っています。

——最後に、今後の目標についてお話しください。

次の課題としては、糖以外の栄養素にตอบสนองするエピゲノムの仕組みがあるかどうかの検討に入ったところです。農学部出身なので研究の応用にも興味がありますが、私自身は基礎研究に軸を置き、成果

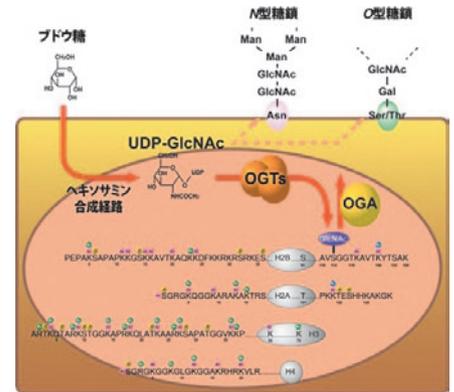


図2 ヒストンへのGlcNAc付加による遺伝子発現制御の概念図。細胞外グルコースは、細胞質内でUDP-GlcNAcと結合する。そして、糖転移酵素 (OGT) によって、標的 (基質) タンパク質にGlcNAcが付加される。GlcNAcは単糖で、核内タンパク質にも付加される。今回は、ヒストンコードの1つが、ヒストンGlcNAcであることを証明するものであり、栄養状態を反映するエピゲノム制御の分子経路の1つを解明したと言える。

の応用は共同研究者に託していきたいと考えています。研究を続ける中で、脂溶性の生理活性物質の新たな分子機構やパスウェイなどを見つけれられたら幸せだと思いますね。

——ありがとうございます。

聞き手は西村尚子 (サイエンスライター)。

1 Fujiki R, Chikanishi T, Hashiba W, Ito H, Takada I, Roeder RG, Kitagawa H, and Kato S. GlcNAcylation of a histone methyltransferase in retinoic-acid-induced granulopoiesis. *Nature* **459**: 455-459, 2009.  
 2 Fujiki R, Hashiba W, Sekine H, Yokoyama A, Chikanishi T, Ito S, Imai Y, Kim J, He HH, Igarashi K, Kanno J, Ohtake F, Kitagawa H, Roeder RG, Brown M, and Kato S. GlcNAcylation of histone H2B facilitates its monoubiquitination. *Nature* **480**: 557-560, 2011.

AUTHOR PROFILE

加藤茂明 (かとう・しげあき)

東京大学分子細胞生物学研究所核内情報分野教授。1983年、東京大学農学部農芸化学科卒業。1988年3月、農学博士。1988年4月から1996年2月まで東京農業大学農学部農芸化学科助手。1996年2月から東京大学分子細胞生物学研究所助教授。1998年12月から同教授。2010年4月から同エピゲノム疾患研究センターのセンター長を兼務。

## 再生医学

## シャーレの中の造形芸術

## Organ recital in a dish

KARINE RIZZOTI &amp; ROBIN LOVELL-BADGE 2011年12月1日号 Vol. 480 (44-46)

*in vitro* で臓器の発生を再現することは難しい。特に、組織間の相互作用が不可欠である場合にはきわめて困難である。にもかかわらず、*in vitro* で下垂体の発生を再現させることができた。

*in vitro* においてマウス胚性幹細胞 (ES 細胞) から機能的な胎児臓器を作製することに、理化学研究所発生・再生科学総合研究センター (兵庫県神戸市) の須賀英隆らが成功し、*Nature* 2011年12月1日号57ページに発表した<sup>1</sup>。須賀らは、下垂体の前駆構造であるラトケ嚢の形成を誘導し、さらにそのラトケ嚢からホルモン分泌細胞を分化させることに成功した。今回の成果は、下垂体の発生についての研究や、再生医学を利用した下垂体機能低下症の適切な治療管理について著しい進歩をもたらすだろう。また、組織間の相互作用により誘導される臓器形成の過程が、制御を受けたほぼ自発的な様式で開始されることが実証され、さらに複雑な臓器でさえも研究室で発生させることができる可能性が示唆された。これは、たいへん有望な成果である。

脊椎動物では、下垂体は、脳の視床下部の制御下にあり、成長、思春期の発達、生殖器の成熟など、不可欠な生理学的過程を調節する。ヒトの下垂体機能不全は先天的なものと後天的なものがあるが、新生児3000~4000人に1人の割合で罹患が見られる。治療としてはホルモン補充療法が有効とされるが、この療法では正常なホルモン分泌パターンを再現できず<sup>2</sup>、さまざまな不都合が生じている。

初期胚では、視床下部は最も前方 (吻側) の神経上皮、ラトケ嚢は口腔外胚葉細胞層から形成される。つまり、視床下部とラトケ嚢を形成する予定の組織は隣

接している (図1)。これらは密接な接触を維持したまま後方に移動し、予定視床下部は口腔外胚葉に作用してラトケ嚢の形成を誘導する。また出生後は、視床下部は下垂体ホルモンの産生を調節する機能を持つ<sup>3</sup>。

研究チームは、これまでの研究ですでに、ES細胞凝集塊から視床下部の吻側が分化できることを報告している<sup>4</sup>。今回の実験の成功の理由について、研究チームは、ES細胞凝集塊でさらに頭部前方の特徴が誘導できたことによって、同時に、神経上皮に沿った口腔外胚葉の発生 (下垂体の発生に必須) が可能になったのかもしれないと考えている<sup>1</sup>。今回、須賀らは、口腔様外胚葉細胞が外層を、視床下部様神経上皮細胞がその内層を形成する浮遊細胞凝集塊を得た。さらに、この細胞凝集塊をソニック・ヘッジホッグ (マウスでのラトケ嚢の適切な発生に必要なシグナル伝達分子)<sup>5</sup>の活性化剤で処理すると、形や位置だけでなく、発現する分子マーカーも *in vivo* のラトケ嚢に非常に類似した、陥入して内腔のある小嚢が見事に形成された。

*in vivo* でラトケ嚢の形成に必要なソニック・ヘッジホッグや骨形成タンパク質、繊維芽細胞増殖因子などが、*in vitro* の小嚢形成にも必要であることは、意外なことではない。しかし、このような単純な細胞培養系で、「組織化」と言える程度まで構築できるとは思いも寄らなかった。*in vivo* では、形態形成

運動 (頭褶の発生と神経管閉鎖) がラトケ嚢の最終的な位置に影響を与える。しかし、須賀らの実験系においては、少なくともこの小嚢では、同様の形態形成運動が「頭」という概念にそぐわない形で再現された。さらに注目すべきは、*in vivo* での状況とは対照的に、これらの細胞凝集塊には、中胚葉組織あるいは神経堤組織が含まれていなかった。これまでのデータからは、ラトケ嚢の発生には少なくとも中胚葉が必要であることが示唆されているにもかかわらず、だ<sup>6</sup>。

研究チーム<sup>1</sup>は、Notchシグナル伝達経路 (細胞運命決定に関与し、多くの系で分化に対して前駆細胞の維持に関与する) の阻害が、副腎皮質刺激ホルモン分泌細胞の分化誘導に十分であることも見いだしている。副腎皮質刺激ホルモン分泌細胞は、下垂体前葉の内分泌細胞で、副腎皮質刺激ホルモンを分泌する。このことは、Notch変異マウスで得られたこれまでの *in vivo* データ<sup>7,8</sup>を實に見事に再現している。また、ラトケ嚢を採取して細胞を培養すると、*ex vivo* でも副腎皮質刺激ホルモン分泌細胞が自発的に形成される<sup>9,10</sup>。すべての内分泌細胞種が同じ発生時期に分化を開始することから<sup>11</sup>、副腎皮質刺激ホルモン分泌細胞の分化は、*ex vivo* でも *in vitro* でも、おそらく、副腎皮質刺激ホルモン分泌細胞に特異的な誘導事象が起こったというよりも、副腎皮質刺激ホルモン分泌細胞という特別な細胞種への分化が可能、発生

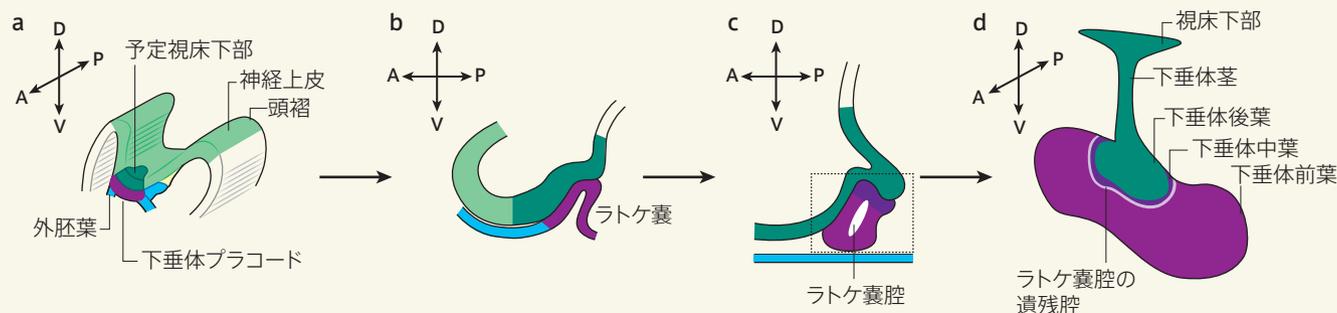


図1 下垂体と視床下部の発生

外胚葉は、胚の最外層であり、皮膚の表皮層と、耳や目などの感覚器の一部を生じる。A、前方。P、後方。D、背側。V、腹側。

a 脊椎動物の初期胚発生過程では、下垂体プラコードと呼ばれる局所の肥厚が、口腔外胚葉（青）の正中中に形成される。この下垂体プラコードは中枢神経系の一部である予定視床下部に隣接している。下垂体プラコードは、頭褶が生じると形成されるが、正中領域よりも、頭褶が急速に成長するため、初期の吻側領域は後方に移動する。b 発生の進行に伴い、下垂体プラコードは予定視床下部に密接したままであるが、上方に引き上げられるので、神経上皮を覆うように形が変化し、ラトケ嚢を形成し始める。c 妊娠中期までに、この簡単な上皮陥入は、下層の外胚葉から分離し、最終的なラトケ嚢を形成する。d その後の細胞増殖と分化によって、成熟下垂体前葉が形成される。これには、下垂体の内分泌細胞種のほとんどが含まれる。ほかの下垂体構成要素には、下垂体中葉（ラトケ嚢腔の残遺腔によって下垂体前葉から分離）、下垂体後葉、下垂体茎（視床下部と下垂体をつなぐ）がある。

初期段階での分化の許容範囲を反映しているのだろう。実際に、須賀らは、効率は低い、下垂体前葉のほかのすべての内分泌細胞種の分化を報告している。この結果は、*in vitro* で成体の下垂体の幹細胞や前駆細胞由来する細胞球から、すべての内分泌細胞種が分化するという結果に一致している<sup>2</sup>。

さらに、*in vitro* で作製された副腎皮質刺激ホルモン分泌細胞を含むこの細胞凝集塊を下垂体除去マウスに移植したところ、血中の副腎皮質刺激ホルモンや副腎皮質ホルモンの濃度が上昇し、マウス生体内で機能していることが明確に示された。これまでの研究<sup>12</sup>でも、成体の下垂体由来する前駆細胞は、血管を含むマイクロチャンバーで、*in vivo* の分化ができることが示されている。しかし、この方法では細胞の取率や分化効率が低く、再生医療での利用が制限されていた。今回、須賀らの研究では、*in vitro* で内分泌細胞を提供できる、制限条件のない細胞供給源を可能にした。このことは、理論的には、患者由来の人工多能性幹細胞（iPS細胞）から内分泌細胞が得られる可能性を示唆しており、下垂体機能低下症の治療管理を向上させるかもしれない。

*in vivo* と *in vitro* でのラトケ嚢の発生にはどのような類似性があり、またどのような違いがあるのかを理解し、内分泌細胞の分化効率を向上させるためには、さらに研究を重ねなければならない。おそらく、研究チームが示唆しているように、この系に、分化を支持する組織や血管構造などが必要だろう<sup>1</sup>。さらに、今回の胚様下垂体細胞が、完全に成熟しているかどうか調べるべきである。

成熟下垂体前葉内では、さまざまな細胞種が複雑なネットワークで互いに結びついている。このネットワークが、視床下部あるいは末梢からの指示にตอบสนองして、ホルモン放出を協調させることに役立っていると考えられている<sup>13</sup>。この応答の一部として、細胞の移動性とこのようなネットワークの構成が変化することがある<sup>14</sup>。*in vitro* で誘導された研究チームの下垂体では、この現象が模倣されているのだろうか？ また、下垂体には可塑性があり、そのために思春期の発達や妊娠・授乳などにตอบสนองして、異なるホルモン分泌細胞種の相対的な比率を変化させることができる。こうした可塑性の一部は、下垂体内の幹細胞や前駆細胞の集団に依存しているのかもしれない<sup>2</sup>。

下垂体の異常はさまざまな変異によって引き起こされる。しかし、これらの異常が、下垂体の特定の細胞種に固有のものであるのか、下垂体発生の特定の局面に固有のものであるのか、あるいは、どこか別の部位での下垂体への誘導的相互作用を損なう異常によって引き起こされる二次的な制限のためであるのかは、必ずしも明確ではない。だが、須賀らの方法から、さまざまな下垂体異常がどのように生じるのかを解明する道が見つかるかもしれない。例えば、この方法と生体組織イメージングの強力な技術とを組み合わせることも可能かもしれない。

近年、組織工学の分野は、大きな進展を遂げている。特に、さまざまな臓器を作り出す目的で、組織特異的幹細胞を培養できる天然および人工のマトリックスの利用が進歩した<sup>15,16</sup>。しかし、おそらく、今回の論文<sup>1</sup>が示すように、初期胚の組織はすでに何をすべきかがわかっているのだ。実際、多能性幹細胞由来する奇形腫は、無秩序ではあるが、歯、皮膚、消化器などの組織の複雑な混合物を含む場合があることが、長い間知られていた。須賀らは、こうした多能性を利用して、しっかりした分化の秩序と方向性のある

系を得ることに成功した。肺、肝臓、膵臓など、より複雑な臓器の作製においても、下垂体と同様の自発的な組織化誘導過程が機能するのだろうか<sup>17</sup>？

(翻訳：三谷祐貴子)

Karine Rizzoti および Robin Lovell-Badge は、MRC 国立医学研究所（英国）に所属。

1. Suga, H. *et al. Nature* **480**, 57–62 (2011).
2. Castinetti, F., Davis, S. W., Brue, T. & Camper, S. A. *Endocr. Rev.* **32**, 453–471 (2011).
3. Kelberman, D., Rizzoti, K., Lovell-Badge, R., Robinson, I. C. A. F. & Dattani, M. T. *Endocr. Rev.* **30**, 790–829 (2009).
4. Wataya, T. *et al. Proc. Natl Acad. Sci. USA* **105**, 11796–11801 (2008).
5. Treier, M. *et al. Development* **128**, 377–386 (2001).
6. Gleiberman, A. S., Fedtsova, N. G. & Rosenfeld, M. G. *Dev. Biol.* **213**, 340–353 (1999).
7. Zhu, X. *et al. Genes Dev.* **20**, 2739–2753 (2006).
8. Kita, A. *et al. Mol. Endocrinol.* **21**, 1458–1466 (2007).
9. Ericson, J., Norlin, S., Jessell, T. M. & Edlund, T. *Development* **125**, 1005–1015 (1998).
10. Treier, M. *et al. Genes Dev.* **12**, 1691–1704 (1998).
11. Davis, S. W., Mortensen, A. H. & Camper, S. A. *Dev. Biol.* **352**, 215–227 (2011).
12. Lepore, D. A. *et al. Stem Cells* **25**, 1730–1736 (2007).
13. Lafont, C. *et al. Proc. Natl Acad. Sci. USA* **107**, 4465–4470 (2010).
14. Schaeffer, M. *et al. Endocrinology* <http://dx.doi.org/10.1210/en.2011-1430> (2011).
15. Griffith, L. G. & Swartz, M. A. *Nature Rev. Mol. Cell Biol.* **7**, 211–224 (2006).
16. Orlando, G. *et al. Transpl. Int.* **24**, 223–232 (2011).
17. Green, M. D. *et al. Nature Biotechnol.* **29**, 267–272 (2011).

## 宇宙物理学

# 不可解な「クリスマスガンマ線バースト」

## A puzzling $\gamma$ -ray burst

ENRICO COSTA 2011年12月1日号 Vol. 480 (47–48)

ガンマ線バーストは、宇宙のある狭い領域から大量のガンマ線が短時間に放出される現象だ。

しかし、その中には、広く認められた理論モデルと矛盾する謎の現象もある。

そんな1つが「クリスマスガンマ線バースト」だ。今回2つの研究チームが、このバースト現象を説明する全く異なるモデルをそれぞれ報告した。

ガンマ線バーストの放射は、1日に約2回、宇宙のランダムな方向から地球に届く。1997年、短時間のガンマ線バースト放出後に「残光」が発見されたことがきっかけになり、ガンマ線バーストを起こす天体は、私たちの銀河系（天の川銀河）の外の、遠い銀河にあることが明らかになった<sup>1</sup>。ガンマ線バーストとその残光を説明するためにこれまでに提案されたメカニズムは、どれも複雑で、内容も異なっている。しかし、ガンマ線バーストの起源を説明する理論は、個々のガンマ線バーストの共通点だけでなく、相違点についても説明できるものでなければならない。

クリスマスガンマ線バーストは、2010年12月25日に起こったためにこう呼ばれている。このバーストは特に異常な現象である。イタリア国立宇宙物理学研究

所 (INAF) プレラ天文台（イタリア・ミラノ）の Sergio Campana らとアンダルシア宇宙物理学研究所（スペイン・グラナダ）の Christina Thöne らは、それぞれ、この現象を説明する異なるモデルを *Nature* 2011年12月1日号に報告した<sup>2,3</sup>。

ガンマ線バーストは1つ1つ、どこかしら異なっているが、ガンマ線放出の持続時間によって、「長いもの」と「短いもの」の2つのグループに分けられている。持続時間の長いガンマ線バーストは、2秒から数分にわたって持続し、大規模な超新星爆発である極超新星が原因と考えられている。このグループは太陽の100倍重い大質量星の崩壊によって生じるもので、超新星爆発を起こすだけでなく、反対方向を向いた2つの高速粒子のジェットが生まれ、ブラックホールが残る。ジェットの1つがたまたま地球

の方向を向いているとき、明るい放射（短時間のガンマ線放出）が観測されると考えられている。

ガンマ線バーストの残光は、最初のバーストの後、数分間続き、数週間から数か月かけて衰えていく。残光はジェットが周囲の星間物質に衝突して起こり、さまざまな波長を含む。ガンマ線バーストが衰えると、崩壊した星を擁していた暗い銀河を検出できるようになる。その銀河のスペクトルから、地球からガンマ線バーストまでの距離を求めることができる。

一方、持続時間の短いガンマ線バーストは、バースト時間が2秒未満のものが多い。この現象は、強く束縛し合った連星系をなす2つの中性子星によって生じる、という説明のほうが当てはまる。2つの中性子星は重力波を出し、やがて合体してブラックホールができ、合体の

過程でガンマ線バーストに伴うジェットと残光が生まれる。

ガンマ線バーストを説明する理論モデルは、常に、観測結果と合っているかどうかチェックされてきた。1個の観測結果が、あるモデルを消し去ることもありうる。逆に、観測結果の中に、ガンマ線バーストと似て非なる現象が含まれていて、それが研究者を困惑させてきた可能性もある。そんなものの1つがクリスマスガンマ線バーストかもしれない。これは正式には GRB 101225A と呼ばれ、ガンマ線バースト観測衛星「スウィフト」によって発見された。

クリスマスガンマ線バーストのガンマ線放出は非常に長く、少なくとも 30 分間続いた。ところが X 線残光は、通常よりもずっと速く衰えた。これらの事実は、広く受け入れられているガンマ線バーストの理論モデルと矛盾する。さらに、残光のエネルギースペクトルはプランク分布を示しており、これは、プラズマが平衡状態に達して、電子が特定の温度を持つといえる状態になっていることを示している。ところが典型的なガンマ線バーストの場合、バーストおよび残光のエネルギースペクトルは、べき乗則に従うのだ。これは、爆発が周囲に広がるように、物質どうしが高速で衝突するときに見られるエネルギー分布である。

クリスマスガンマ線バーストが、もしも持続時間の長いガンマ線バーストのように遠くの極超新星が原因であるなら、なぜこれほど風変わりなのだろうか。見かけがガンマ線バーストに似ているだけの、全く異なる現象だという可能性はないのだろうか。今のところ、ガンマ線バーストを起こした天体が含まれる銀河は、観測でははっきりしていない。ガンマ線バーストの位置によると、銀河系のペルセウス腕に属している可能性があるが、アンドロメダ銀河の伴銀河に属している可能性もある。Campana ら<sup>2</sup>と Thöne ら<sup>3</sup>は、こうした問題に取り組み、このガンマ線バーストの原因を説明しようと試みた。

まず Thöne ら<sup>3</sup>は、クリスマスガンマ線バーストの残光が減衰する勾配と色の変化を、バーストの 10 日後、残光がほとんど消えた頃に現れた別の超新星のためだと解釈した。彼らはこの系を、よく似た超新星とガンマ線バーストの組み合わせと比較し、今回の系は 1.6 ギガパーセク (約 52 億光年) の距離にあり、エネルギーは約  $1.4 \times 10^{51}$  エルグと結論した。これは典型的なガンマ線バーストと矛盾しない。

さらに Thöne らは、今回のガンマ線バーストそのものは、中性子星とヘリウム超巨星が強く結合した連星系が起こしたものだと考えた。ヘリウム星から中性子星に質量が移動し、ヘリウム星の外層の広がりからできた共通のガス外層に連星系が取り囲まれた段階へと進化する。そして、中性子星とヘリウム星中心核とが合体し、ブラックホールかマグネターと呼ばれる強く磁化した中性子星が形成され<sup>4</sup>、やがて共通の外層からガンマ線バーストに似たジェットが現れる。Thöne らは、このモデルが今回のガンマ線バーストの熱放射スペクトルの観測データと一致することを見いだした。

ただし、後に現れた超新星について言えば、それは異常に暗く、このモデルの説得力は弱い。このため、ガンマ線バーストの地球からの推定距離も不確かだ。さらに、ガンマ線バーストを起こした天体を含む銀河が存在するかどうかは、はっきりしない。ガンマ線バーストが起こった位置に近い、光で見える唯一の天体は、点状で極端に暗い。もしそれが銀河だったら、ガンマ線バーストを起こした天体を含む銀河としては、これまでで最も暗いものになる。

一方、Campana ら<sup>2</sup>は、ガンマ線バーストが最初に発見された直後の 1973 年に提案されたモデル<sup>5</sup>を復活させた。このモデルでは、彗星或小惑星などの小天体が中性子星から 5000km 以下の近距離を通過し、潮汐力によって破壊されて破片に分裂し、複数のピークを持つガンマ線バーストを作る。Campana ら<sup>2</sup>は、

潮汐力による破壊を記述する最近の理論モデルを使い<sup>6</sup>、小天体の破片は星の周りに一時的に円盤を作ると考えた。彼らは、このモデルをクリスマスガンマ線バーストのデータと比較し、 $5 \times 10^{20}$  グラムの小天体が私たちの銀河系内にある中性子星に落下するモデルが、時間的振る舞いと空間的振る舞いの両方において、データとよく一致することを見いだした。

2つの研究グループによる仮説<sup>2,3</sup>は、いずれも、多数の複雑なデータをうまく説明できる。しかし、少なくとも1つは間違っているはずだ。決定的な証拠になるのはガンマ線バーストの地球からの距離だが、それはわかっていない。

Thöne らの研究は、新たな問いを投げかけている。どれだけ多くの連星系が、共通の外層を持つ段階を経てガンマ線バーストに似た爆発を起こすのだろうか。すべてのジェットが外層から現れるのか、それとも限られた場合だけなのか。ジェットはどれほど平行にそろっているのか。

同時に、Campana らの研究からも新たな疑問が生じている。中性子星の近くを通過する小天体は、どのくらい多くあるのか。また、推定した小天体の質量は妥当な値なのか。ちなみに、提案された質量は太陽系の天体としては比較的大きく、太陽系ではまれにしか存在しないが、実際にはもっと大きな天体が中性子星を回っている例が見つかっている。

クリスマスガンマ線バーストは、ガンマ線バーストと似てはいるが、別の現象らしい。それ以外、ここで述べた以上のことはわかっていない。ただ、キリスト降誕祭の日に起きた彗星の死という可能性には、捨てがたい魅力がある。 ■

(翻訳：新庄直樹)

Enrico Costa は、イタリア・ローマのイタリア国立宇宙物理学研究所 (INAF) ローマ宇宙物理学研究所 (IASF-Roma) に所属。

- Costa, E. *et al. Nature* **387**, 783-785 (1997).
- Campana, S. *et al. Nature* **480**, 69-71 (2011).
- Thöne, C. C. *et al. Nature* **480**, 72-74 (2011).
- Barkov, M. V. & Komissarov, S. S. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **415**, 944-958 (2011).
- Harwit, M. & Salpeter, E. E. *Astrophys. J.* **186**, L37-L39 (1973).
- Lodato, G. & Rossi, E. M. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **410**, 359-367 (2011).

# 針のむしろのジャーナリズムと、科学者の使命

## The press under pressure

2011年12月8日号 Vol. 480 (151)

英国では今、レバソン委員会によって、ジャーナリズムに関する綿密な調査が進められている。

科学者はこの機会を生かし、意図的報道 (agenda-driven journalism, 多くは悪意に基づく報道) に対して反撃すべきだ。

マスコミは科学に対して無知である。実際の1つくらい誰だって挙げることができる。特に英国はひどい。ばかげた記事(風力発電所が宇宙人の攻撃を受けたといった話)から、無責任な記事(小児へ予防接種すると自閉症になるといった話)まで、まるでウソの博覧会のような話だ。

もちろん他の国々にも似たような話はある。特に米国では、右翼系のラジオ局やケーブルテレビ局が、地球温暖化から創造説まで、ありとあらゆる問題について反科学的な見解を日常的に垂れ流している。また、ドイツの幹細胞科学者とフランスの遺伝子組み換え作物研究者は、科学的証拠を検討したと言いつつも実際には全く理解していないジャーナリズムから、ひどく責め立てられた。それでも、タブロイド紙が中心となって、不快きわまりない取材を展開している英国よりはましだ。だから今、これまでになく厳しい精査が英国で進められているのだ。

ブライアン・レバソン控訴院判事を委員長とする独立調査委員会は、報道の基準と倫理について調査を進めており、多くの人が注目している。きっかけとなったのは、すでに廃刊となった「ニュース・オブ・ザ・ワールド」紙による違法な電話盗聴事件だ。司法調査の対象は、かなり広範囲に及んでおり、調査委員会の顧問である Robert Jay 王室顧問弁護士は、この調査の冒頭での挨拶で、一部のマスコミが証拠に基づかない解説をしたり、また科学的方法を用いない報道をし

たりしたために、実質的な被害が生じている証拠を科学コミュニティからも提供してほしいと希望した。しかし、ロンドンに本部を置く科学支援組織 Science Media Centre が行った調査では、提出計画はたったの1件しかなく、この団体も独自に証拠を提出することを決めたほどだ。せつかくの機会がむだになろうとしている。

英国政府の元広報戦略局長 Alastair Campbell は、レバソン委員会で「事実の有無を問わない意図的な報道」について証言し、問題をうまく整理した。Campbell は、メディアが、自閉症と予防接種が関係すると決めてかかって報道していたことを明らかにした。そして、気候変動については「危険」から「人類は絶滅する」までの幅があったこと、アイスランドの火山灰の際の航空機飛行は「危険でない」という立場に立っていたこと、鳥インフルエンザについては「人類は絶滅する」という立場であったことを示した。

意図的な報道は、かなり根深いところにある。Total Politics 誌が発表した「2011年英国政治ジャーナリストベスト100」で14位にランクされたのが、サンデーテレグラフ紙のコラムニスト Christopher Booker だ。しかし、Total Politics 誌は、Booker が「地球温暖化の懐疑論者」であることに不満なのでそのことをあからさまにせず、受動喫煙とアスベストの発がん性を立証する証拠は「存在しない」という彼の主張をランキ

ング選定理由にした。

このように、物事の正確さよりも主張のほうに重きを置くジャーナリズムは、科学者が考える以上に蔓延している。さらに有害なのは、ニュース編集者が、科学的見解とは無関係に、受け狙いの文章を陰で記者に要求していることだ。

レバソン委員長に提出された証拠によれば、こうした扱いを受けているのは科学だけではない。留守番電話の盗聴という屈辱を味わった人々もいれば、行方不明の子どもや殺害された子どもの親は、露骨で悲惨な虚偽報道を受けているのだ。

こうした被害者と科学が異なるのは、科学には対応手段があるところだ。怪しい科学的主張や疑わしい知見が発表されると、瞬時に批判が生まれる。それらが、インターネット、ブログ、ツイッターを通じてすぐに伝わる時代になった。主流マスコミも、この並列的なジャーナリズムへの認知度を高めており、実際のマスコミ報道において、ブログが端緒となった記事も増えている。

オンライン解説も無力ではない。誤り、矛盾、混同を指摘し、抗議すれば、たとえマスコミでも答えざるをえない。事実よりも意図を優先させるマスコミと消耗戦をやっても、彼らの基盤を奪うことはできない。しかし、彼らがそれよりもっと大事にしているもの、すなわち、その存在意義とそこから生じる有害な影響力は、確実に、突き崩すことができる。■

(翻訳: 菊川 要)

# デンマーク技術委員会を継続せよ

## False economy

2011年12月1日号 Vol. 480 (5-6)

デンマーク新政権は、緊縮財政ゆえに、市民参加型のテクノロジーアセスメントを廃止しようとしているが、それは大きな間違いである。

20世紀は、民主主義と科学技術の両方が強い国家や社会が、経済的、文化的優位性を手に入れた時代だった。21世紀に入っても、この方程式が輝きを失う兆しは見られない。アラブ世界や開発途上国でも、民主主義と科学は確実な地歩を築いている。しかし、科学の進歩が倫理的問題や環境問題を引き起こしている点もまた、否定できない。

デンマークは小国ながら技術先進国であり、2012年1月からは欧州連合の輪番制議長を務めている。この国はまた、新規技術のリスクと社会への影響を評価する参加型制度の先駆者である。その科学と技術に関する一般市民の考え方や期待度の調査を主導してきたのが、デンマーク技術委員会 (DBT) だ。ところが、デンマークの新政権は、愚かにも、このDBTを解散しようとしている。DBT解散計画は、ヨーロッパの科学政策システムの非常に重要な要素を破壊してしまう危険性をはらんでいる。

DBTは、1986年にデンマーク議会の諮問機関として設立されたが、その活動はデンマーク国内に限定されていない。例えば、2009年には、世界38か国、約4000人の住民を対象として、気候変動に対する考え方に対して、コミュニケーション活動がいかに影響を与えるか、広範囲にわたる研究を実施した。この「地球温暖化に関する世界市民会議」プロジェクトでは、単なる意識調査を超えて、気候変動の科学と経済性に

する広範な情報が参加者に提供された (www.wviews.org 参照)。当初多かった気候変動についての懐疑的な見方や疑問は、会議が重ねられるうちに少なくなり、気候変動が現実の問題であって、速やかな対応が必要だというコンセンサスへと導かれた。

現在、DBTは、デンマークの交通システムの持続可能性、合成生物学に関連する危険性、新しい情報通信技術を使って政府サービスを実施する際のセキュリティ問題などに取り組んでいる。また、国際的には、2012年にインドで開催される生物多様性に関するリオ+20サミットのために、政策報告書「World Wide Views on Biodiversity」を作成することになっている。

DBTが解散すると、こうしたプロジェクトや現在実施中の評価活動の大部分が立ち消えになってしまう。2011年9月の議会選挙後に樹立されたデンマークの現政権は、3つの中道左派政党による連立政権である。2012年度予算の厳しい削減圧力から研究・教育予算を守ることを決意し、皮肉にも、年間約1000万デンマーク・クローネ (約1億4000万円) のDBT予算をこれに充当するという方針を決めた。金融危機で仕方ない面はあるが、このことで、デンマークの社会と政府は、国民のテクノロジーアセスメントや科学への参加手段を失うこととなり、その損失は、目先の削減金額をはるかに上回ることを知るべきである。

高齢化社会、気候、エネルギー、生物多様性などの諸問題への取り組み方について、多くの国々が、デンマークからヒントを受けている。また、DBTは欧州連合の資金による総額540万ユーロ (約5億4000万円) のPACITAプロジェクトを主導しており、市民参加によるテクノロジーアセスメントを拡大しようとしている (www.pacitaproject.eu 参照)。アジアでもDBTへの信奉者は増えており、例えば中国と韓国の政策立案者は、デンマークが世界に先駆けて採用した参加型テクノロジーアセスメントを取り入れる姿勢を強めている。

DBTを残すべきなのは明白だ。DBTの今後の方向性としては、その分析サービスを広げて、国際的な評価活動、例えば、現在進行中の生物多様性への取り組みなどに適用することがある。国内的には、議会だけでなく、市町村から国レベルまでの政策決定者のためにも貢献すべきだ。また、予算の削減は避けがたいので、外部資金によるプロジェクトに重点的に取り組むべきであろう。

民主的な制度であるDBTは、その小さな規模と地味な名称から連想される以上に、科学のために役立ってきた。デンマーク内外の科学者と科学関係学会は、この制度に対する支持を表明すべきだ。そして、デンマークの国会議員や現政権の若い科学大臣 Morten Ostergaard は、そのことを心にとどめおくべきだ。 ■

(翻訳: 菊川 要)



Volume 481  
Number 7379  
2012年1月5日号

## 重力に縛られて：天の川銀河のブラックホールに向かう巨大ガス雲

**FEELING THE FORCE: The giant gas cloud heading for the Milky Way's black hole**

いて座にある電波源 Sgr A\* は、天の川銀河の中心にある超大質量ブラックホールの位置にあたると思われる。今回、恒星軌道の研究から、Sgr A\* に向かって秒速 1700km で移動する天体が見つかった。この天体は、その低い温度とスペクトル特性から、塵に富んだイオンガスの雲で地球の 3 倍の質量を持ち、ブラックホールへ落下していく過程にあることが示唆された。モデルからは、雲がブラックホールに近づくにつれて X 線放射がさらに明るくなり、雲が分裂してブラックホールにガスを供給すれば、数年のうちに巨大な放射フレアが放出されることが予測されている。表紙は、2025 年現在の流体力学による未来シミュレーションで、潮汐破壊されたガス雲が高温の降着流と相互作用している。背景は、軌道が決定されている S-stars（銀河系中心の若い星集団の 1 つ）。

## 宇宙：赤色巨星のコアの回転速度

**The core values of red giant stars**

恒星のコア（中心核）の回転速度は、その進化状態を示す主要な指標だが、直接観測して測定することはできない。しかし今回、進化した恒星内におけるコアの回転速度を計算する方法が提示された。ケプラー探査機データから得られた 4 つの恒星の輝度変化のフーリエスペクトルを使って、赤色巨星内の回転によって生じる「混合モード」の周波数分離を測定したのだ。その結果は、赤色巨星のコアが表面より少なくとも 10 倍速く回転していることを示していた。

## 物理：時間の中に消え失せる

**Lost in time: enter the 'time cloak'**

天然構造体では不可能なやり方で電磁波を操作できる材料の開発が大幅に進み、ついに物体を「空間の穴」の中に隠してしまうようなものも設計されるようになった。しかし今のところ、その機能は限られている。このアイデアの延長線上にあるのが、「時間の穴」の中に隠してしまう仕組みだ。これは、プローブ光ビームの前半部を加速し後半部を減速することによって、時間的な穴を人工

的に作ろうというものだ。M. Fridman たちは今回、光ファイバーを用いた系で、そのような「時間クロッキング」を実証した。この系では、プローブビームに明確な乱れをもたらす事象が、時間クロッキングを発動させると、全く起こっていないように見える。この効果は、光を遅い（赤色）成分と速い（青色）成分とに分割して時間ギャップを発生させる「時間分割レンズ」を使って達成された。今回の時間クロッキングはピコ秒（1 秒の 1 兆分の 1）の時間スケールで実現された。

## 地球：北極海の新しい見方

**A fresh look at the Arctic Ocean**

北極海の淡水分布の変化は、全球熱交換への影響を通して、気候に大きな影響を及ぼしている。しかし、この変化を測定して理解することはこれまで困難だった。最近の人工衛星観測と *in situ* 観測の進歩によって、北極海の淡水量の変化を監視し、最近の塩分変化制御の基盤となる機構を分析することが可能になっている。これまでの研究では、ポーフォート循環の加速が淡水化を制御していることが示唆されていた。今回

J. Morison たちは、北極海全域の淡水変化の分布図を提示し、ロシアの流出水の経路が 2005 ~ 08 年に変化していることを示している。カナダ海盆は大きく淡水化され、ユーラシア海盆は塩分濃度が高くなり、正味の淡水化全体は流出水の 40% に等しいことがわかった。これは、北極振動の強化によって生じたユーラシア海盆の低気圧性循環が原因であり、その結果、北半球の偏西風が強化されている。

## 脳：コカインの影響は可逆的

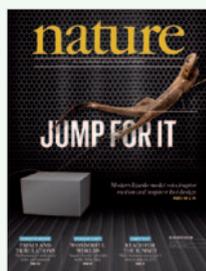
**Cocaine effects reversible**

薬物依存ではシナプス可塑性が生じることがわかっているが、この可塑性と、薬物依存に陥った動物で見られる行動適応とを結びつける証拠は、ほとんど得られていない。今回 V. Pascoli たちは、1 型ドーパミン受容体 (D1R) を発現しているドーパミン作動性ニューロンの特異的増強が、コカインを与えた動物で見られることが多い運動過敏の原因であると報告している。この経路の増強を、光遺伝学手法を用いて選択的に解除すると、正常なシナプス伝達が回復し、運動過敏の表現型も消えた。これらのデータは、D1R 発現ニューロンのシナプス増強を薬物誘発性の行動と結びつけるもので、コカインで誘導された適応的シナプス変化を治療で元に戻せば、行動を正常化できる可能性を示唆している。

## 医学：抗 HIV ワクチン

**Anti-HIV vaccination**

多様なヒト免疫不全ウイルス (HIV) を中和する抗体が見つかり、同じような抗体を誘導できるワクチン免疫原の探索が活発化している。今回、同じ感染症に対して、免疫を強化する別の方法が報告された。D. Baltimore たちは、HIV に対するヒトの抗体を発現するアデノ随伴ウイルスベクターを設計した。ヒト化マウスにこのベクターを 1 回注射すると、HIV 中和抗体の発現が一生涯を通じて誘導され、この抗体によって、多量の HIV を投与されても感染を免れることが明らかになった。



Volume 481  
Number 7380  
2012年1月12日号

### 跳べ!：現代のトカゲはペロキラプトルの動きのモデルとなり、ロボット設計にヒントを与える

**JUMP FOR IT: Modern lizards model velociraptor motion and inspire robot design**

ペロキラプトルの最初の化石が発掘されて数年後の1969年、J. Ostromは、獣脚類恐竜が活発あるいは不規則な動作をするとき、尾を力学的な安定装置として使っていたのではないかと想像した。今回、コンピューターによるモデル作製、トカゲの仲間レイボーアガマ (*Agama agama*) の跳躍する様子のビデオ観察、トカゲのような尾を持つロボットの製作を組み合わせた研究が行われ、Ostromの仮説が裏付けられた。能動的に動く尾は、感覚フィードバックを使って角運動量を体から尾へと移動させ、空中姿勢を安定化させているのだ (Supplementary Information のビデオを参照)。霊長類などの動物でも、外肢 (付属肢) を振ったときに生じる慣性が、体を安定化させると考えられ、今回の知見は、外肢の進化全体に関係すると思われる。また、尻尾の付いた搜索救助ロボットを設計するヒントも得られるかもしれない。表紙は摩擦の小さい踏み台から垂直面に向かって跳躍するレイボーアガマ。

### 宇宙：天の川銀河には惑星がたくさんある Planets common in the Milky Way

今まで知られている太陽系外惑星のほとんどは、主星の比較的近くにある惑星を検出する方法を使って発見されており、太陽に似た恒星の17～30%程度で惑星が見つかった。しかし、2002年から2007年の間に重力マイクロレンズ法によって収集されたデータの分析から、かなり異なる描像が浮かび上がってきた。この方法では、主星からかなり遠い所にある惑星を調べることができる。データから、1つ以上の惑星を持つ恒星は天の川銀河ではむしろ普通

であることがわかった。最も多いタイプの惑星がスーパーアースで、恒星のほぼ62%に存在する。次いでクールネプチューンに似た惑星が52%の恒星で見られ、木星型惑星が17%に存在する。

### 細胞：アンゲルマン症候群の変異を修復する

**Angelman syndrome mutation reversed**  
ゲノムインプリンティング疾患は、一方の親由来の、インプリンティングを受けずに発現される対立遺伝子の機能喪失によって生じる。アンゲルマン症候群は、*Ube3a* 遺伝子の母系対立遺伝子の機能異常が原因で起こる神経発達障害で、父系対立遺伝子は完全だがエピジェネティックなサイレンシングを受けている。B. Philpot たちは、蛍光標識を付けた *Ube3a* を発現するマウス皮質ニューロンで、薬剤の不偏スクリーニングを行い、父系 *Ube3a* を活性化できるトポイソメラーゼ阻害剤を複数見つけ出した。その中には米国食品医薬品局の認可を受けた抗がん剤トポテカンも含まれている。これを *in vivo* で投与すると、父系

*Ube3a* が脳の複数の領域で活性化され、その作用は投与中止後数週間にわたって持続した。この研究は、インプリンティングを受けた遺伝子の休止状態にある対立遺伝子を再活性化するという方法の可能性を実証しており、アンゲルマン症候群などの治療につながるかもしれない。

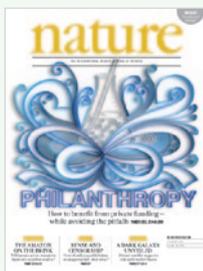
### 地球：マントルの極限的条件のモデル化 Modelling the extremes of the mantle

極限的条件下の地球マントルの物性を再現するのは難しい。また時間スケールが長いので、鉱物変形の様子を探る室内実験もあまり進んでいない。P. Cordier たちは、歪み、圧力、温度の計算に基づく数値モデルを用いて、酸化マグネシウム (MgO) のレオロジー (流れ) を評価した。その結果、きわめて遅い歪み速度が圧力の影響を相殺してしまい、マントル中では MgO は非常に弱い相となることがわかった。最下部マントルにおいてのみ、圧力の影響が支配的となり、粘性が比較的高くなる可能性がある。この研究は、室内実験で得られたレオロジーデータの外挿に使われ、より信頼性の高い結果に結びつくはずだ。

### 細胞：インテグリンシグナル伝達を助ける塩基性残基

**Basic properties aid integrin signalling**  
インテグリンファミリーの細胞接着受容体は、 $\alpha$  鎖、 $\beta$  鎖の1回膜貫通ドメイン (TMD) から構成されていて、 $\alpha$  TMD と  $\beta$  TMD の相互作用は双方向性のシグナル伝達に重要な役割を果たしている。インテグリン  $\beta$  サブユニットのほとんどで、TMDの正電荷を持つ Lys あるいは Arg 残基は細胞膜の内側の境界の近くに存在している。これらの塩基性残基を標的として変異を導入する方法により、構造と機能の解析が行われ、このような残基が TMD のトポグラフィー維持や、 $\alpha\beta$  ヘテロ二量体の結合維持に重要な役割を担っており、これによって膜を介するシグナル伝達の精密な調節が可能になっていることがわかった。





Volume 481  
Number 7381  
2012年1月19日号



## 研究への寄付：民間からの資金提供で落とし穴を避けつつ恩恵を得るための方法

### PHILANTHROPY: How to benefit from private funding—while avoiding the pitfalls

寄付による研究資金の提供は最近ますます重要さを増しているが、その多くは経費を必要とする。寄付をする側が研究の全費用を負担することはめったになく、また、特定の目的を追求するための資金提供は研究の優先順位を歪めてしまいかねない。Commentで P. Aebischer が、大学は研究施設やその維持管理、研究スタッフなどにかかる付加的な経費をカバーするために、寄付をする団体と交渉して「すべての経済的費用」を賦課すべきだと提言している。



## 環境：アマゾンには負担に耐えられるか

### Can the Amazon take the strain?

アマゾン盆地の巨大な森林河川系は急速に変化しつつある。人類は数千年にわたってそこに居住してきたが、この地域の人口は、いまや約 2500 万人に達している。今回、E. Davidson たちは、気候変動、森林減少、火災などの擾乱がアマゾン盆地の機能に与える影響について、近年の研究成果（主として「アマゾン川流域大規模生物圏・大気圏実験計画」が行ったもの）をまとめている。アマゾンの森林には個々の擾乱に対する復元力があり、おそらくブラジルは森林を破壊することなく経済の発展を持続できるであろうが、地域的な水文とエネルギー収支は、すでに変化している。また、アマゾンが正味の炭素シンクから炭素放出源へと移行しつつある兆候も見られる。

## 医学：SYK は網膜芽細胞腫の治療標的となる

### SYK is a target in retinoblastoma

網膜芽細胞腫は、まれだが悪性度の高い小児がんで、RB1 遺伝子の欠損によって網膜に発生する。今回、網膜芽細胞腫の 4 検体の全ゲノム塩基配列が解読され、網膜芽細胞腫のゲノムは比較的安定で、変異率は報告されたヒトのがんの中で最低の部類に入り、ほかの腫瘍抑制因子 / 発がん経路の変異は意外

なほど少ないことが明らかになった。しかし、RB1 の欠損には、いくつかの発がん経路のエピジェネティックな脱調節を伴っている。重要なのは、網膜芽細胞腫ではがん原遺伝子 SYK の発現が増加していることで、SYK は腫瘍細胞の生存に必要である。そして、SYK の低分子阻害剤は、*in vitro* および *in vivo* で網膜芽細胞腫の腫瘍細胞死を誘導した。

## 宇宙：暗黒物質からなる遠方の銀河の性質が明らかになった

### A distant dark galaxy unveiled

銀河形成のシミュレーションは、宇宙の大部分は観測できない冷たい暗黒物質で構成されているという仮定に基づいている。こうしたモデルでは、矮小銀河は天の川銀河が所属する銀河群（局部銀河群）に見られるよりずっと多く存在すると予測されているが、局部銀河群が特殊である可能性もある。矮小銀河は、その恒星の光が暗すぎて遠方では見えないのが普通だが、Vegetti たちは今回、重力レンズ効果を用いて、赤方偏移 0.881 という宇宙論的遠方にある銀河に矮小伴銀河が存在することを見つけた。この暗黒物質からなる伴銀河は、天の川銀河周辺のいて座矮小銀河とよく似ており、冷たい暗黒物質に基づくシミュレーションからの予想と、95% の信頼水準で質量関数が一致すると推定された。

## 化学：界面張力のキラル制御で自己集合を操る

### Self assembly with an edge

界面張力は複雑な多成分材料の重要な特性である。最もよく知られている界面張力調節法は、界面活性剤を添加することである。この例として、通常の洗剤や、哺乳類の肺に見られるタンパク質 / 脂質からなる肺胞表面活性物質が挙げられる。今回、Z. Dogic たちは、分子キラリティーを介して二次元コロイド膜の界面張力を操作する新しい方法について報告している。キラリティーを示す棒状ウイルスのわずかなねじれは、二次元液晶膜に取り込まれると維持されず、膜の端に追いやられる。ウイルスのキラリティーは温度で調節できるので、膜の端の線張力を操作でき、最終的には多形転移させることができる。光ピンセットでこの系を操作すれば、再構成可能な構造体が作れるので、複雑なトポロジーを持つ新しい汎用材料のナノ成形も可能になるかもしれない。

## 進化：段階的に複雑度を高める方法

### Step-by-step route to complexity

祖先タンパク質の復元は、『ジュラシック・パーク』の現実版として、現在のタンパク質をコードする遺伝子から推定した塩基配列を持つ合成 DNA を使って行われている。Finnigan たちはこの考え方をさらに一歩進め、多タンパク質複合体の例として、プロトンポンプである V 型 ATP アーゼの膜貫通部の環状構造を選び、数百万年にわたる進化を模倣する手順で再構築した。このタンパク質複合体の「祖先型」にあたる、2 成分からなるタンパク質から出発し、遺伝子重複と単純な退行性の変異を起こすだけで、V 型 ATP アーゼの複雑度を高くするのに十分なことがわかった。このような漸進的な過程を経ることで、菌類で見られる 3 成分からなる環状複合体やほかの生物に見られるもっと複雑な環状複合体の進化は可能であり、複数の変異が組み合わさるといって低確率の現象によって新たな機能が生じる必要はないことが明らかになった。



Volume 481  
Number 7382  
2012年1月26日号



### 仲間の絆:狩猟採集民「ハツァ族」の文化から明らかになった現代の社会的ネットワークのルーツ

**TIES THAT BIND: Roots of modern social networks unearthed in Hadza hunter-gatherer culture**

表紙は、ハツァ族の女性 Chausiki と Sislem (赤ん坊を背負っているほう) が *ngwilabee* という果実を摘んでいる光景。タンザニア北部のハツァ族は、現代文明社会からほぼ完全に隔絶されており、初期狩猟採集民の社会を調べるうえで、有用な人類学モデルと言える。ハツァ族の社会的ネットワークに関する新しい研究で、個人間の結束や協力の傾向が定量的に調査された。それによると、集団が推移したり似た者どうしが集まったりするような、現代社会でも見られる主な特徴が、ハツァ族でも認められた。さらに、社会的な結束は個人間のほうが強いことがわかった。ハツァ族の集団では、協力の程度の差異は、グループ間で大きく、グループ内では小さかった。今回の結果をまとめると、ヒトのネットワークに見られる重要な特徴は共通の起源を持ち、人類史の早い時点で登場した可能性があるようだ。



### 細胞：幹細胞の住環境の詳細な解析

#### The anatomy of a stem-cell niche

造血幹細胞 (HSC) を維持および調節する微小環境を造血ニッチと言う。S. Morrison たちは、条件遺伝子欠失という遺伝学的手法を系統的に用いて、ニッチでの造血幹細胞の維持に必要な主要サイトカインの1つである幹細胞因子 (SCF) を供給する細胞を突き止めた。SCF は、内皮細胞とレプチン受容体を発現する血管周囲間質細胞で発現しているが、骨芽細胞などの、これまでに報告されているニッチ細胞では発現していないことがわかった。これらの知見は、造血幹細胞が血管周囲のニッチに存在しており、そこでは複数の細胞種が HSC 維持促進因子を発現していることを示している。

### 構造生物学：神経伝達物質チャネルの内向きと外向きの構造

#### Ins and outs of neurotransmitter channels

中枢神経系における化学神経伝達は、シナプスから放出された神経伝達物質が周囲の神経細胞やグリア細胞に再び取り込まれて終結する。化学伝達物質

は、神経伝達物質ナトリウム共輸送体 (NSS) によってシナプス間隙から取り除かれる。今回、NSS ファミリーの細菌ホモログの1つである LeuT の外へ向かって開いた状態と内へ向かって開いた状態の X 線結晶構造が決定された。外に開いた状態の構造は、基質の結合が細胞外ゲートの閉鎖を引き起こす仕組みを示している。内へ向かって開いた状態へ切り替わるには、膜タンパク質である LeuT が大規模なコンホメーション変化を起こす必要がある。新たにわかったこれらの構造から、NSS の作動機構や、治療薬や違法薬物によるその変調について、説明する枠組みが得られる。

### 宇宙：「2 個の太陽」は天の川銀河ではありふれている

#### Dual 'Suns' a common phenomenon

ケプラー探査機が新しく発見した太陽系外惑星の数は増え続けている。天の川銀河内の太陽類似恒星のほとんどは、重力により束縛されている対、すなわち連星の状態で見つっている。太陽系外惑星 Kepler-16 b の発見によって、連星を回る軌道にも惑星が存在しうることが示されたが、今回さらに 2 つの

「周連星惑星」として Kepler-34 b と Kepler-35 b が新たに発見された。これらはそれぞれ、その親星の軌道面とほぼ一致する軌道上を周回している低密度の巨大ガス惑星である。Kepler-34 b は 2 つの太陽類似恒星の周りを 289 日で、Kepler-35 b は太陽よりも小さい一対の恒星の周りを 131 日で回っている。観測された周連星惑星の割合からは、近接連星の 1% に、ほぼ同一平面軌道を周回する巨大惑星が存在していると推定される。これは、天の川銀河内には少なくとも数百万のそうした天体があることに相当する。

### 物理：高エネルギー原子 X 線レーザー

#### A high-energy atomic X-ray laser

レーザー発振の波長をより短くしていくのはずっと以前からの目標である。今回、1 価イオン化ネオンの内殻遷移で作動する X 線レーザーが実証された。これは 1 keV 領域における初めての原子レーザーである。このレーザーは、カリフォルニア州メンロパークにある SLAC 国立加速器研究所の線形加速器コヒーレント光源からの X 線自由電子レーザー (XFEL) パルスにより励起され、これから放出される高強度フェムト秒 X 線パルスは XFEL 放射に比べて波長安定性、単色性、時間コヒーレンスが著しく改善されている。原子 X 線レーザーは、高分解能 X 線分光法や非線形 X 線の研究に応用できる可能性がある。

### ||||||| 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)

ストレスの多い現代社会。うつ病になる人が増えています。これを治すには、現在、カウンセリングや薬物療法などが用いられています。今回、脳に直接電極を入れて刺激する深部脳刺激療法に効果があることがわかりました。うつ病の原因はいろいろ複合的な要素があるようですが、少なくともストレス性のもは、原因となっているストレスを取り除くことが何よりですよね。でも、これがいちばん難しいのかもしれない……。



選択的セロトニン再取り込み阻害剤。代表的な抗うつ剤。

## nature news

語数：480 words 分野：神経科学・精神医学

Published online 03 January 2012 | Nature | doi:10.1038/nature.2012.9727

# Brain electrodes fix depression long term

First placebo-controlled trial of implanted electrodes is positive.

Alison Abbott

- Deep depression that fails to respond to any other form of therapy can be moderated or reversed by stimulation of areas deep inside the brain. Now the first placebo-controlled study of this procedure shows that these responses can be maintained in the long term<sup>1</sup>.
- Neurologist Helen Mayberg at Emory University in Atlanta, Georgia, followed ten patients with major depressive disorder and seven with bipolar disorder, or manic depression, after an electrode device was implanted in the subcallosal cingulate white matter of their brains and the area continuously stimulated.
- All but one of twelve patients who reached the two-year point in the study had completely shed their depression or had only mild symptoms.
- For psychiatrists accustomed to seeing severely depressed patients fail to respond — or fail to maintain a response — to antidepressant or cognitive therapy, these results seem near miraculous.
- “It’s almost spooky,” says Thomas Schlaepfer, a psychiatrist at the University of Bonn, Germany, who says he has seen similar long-term results in five treatment-resistant depressed patients following deep-brain stimulation (DBS) in the nucleus accumbens brain area.
- DBS is hardly a quick fix for depression though. Not only does it involve invasive brain surgery, but recovery is usually slow. “In our study we found that many patients didn’t get well at all in the first months — but then they started to respond after a year or more of stimulation,” says Mayberg. It’s also not a cure, she notes, as patients quickly reverted to full-blown depression if stimulation of their electrodes was discontinued.
- “We were particularly happy to see that bipolar patients responded as well as unipolar patients because bipolar disorder is notoriously hard to treat,” she says. Nearly all studies of DBS in depression so far have involved patients with major depressive disorder.
- It’s hard to design proper placebo-controlled clinical studies for DBS, because sham surgery is not ethically acceptable. But in Mayberg’s study, the patients were told that immediately after surgery they would be randomly assigned to two treatment groups, one receiving immediate stimulation, and the other receiving stimulation only after four weeks. In fact none of them was stimulated during this period. The patients showed no significant placebo effect.
- Placebo-controlled phase-3 clinical trials involving hundreds of patients are being carried out at multiple centres in North America and Europe by two electrode manufacturers, but those results won’t come out for several years.
- In the meantime, academic studies such as Mayberg’s will establish the necessary fine-tuning of procedures. “One of the huge breakthroughs of the past decade has been the understanding that depression is a disease of brain networks,” says Schlaepfer. DBS involves stimulating an underperforming network running between different brain areas, he says, and both the subcallosal cingulate and the nucleus accumbens are part of the same network. “But we are still searching for the optimal target in the network, one that may help make recovery faster.”

Reference

1. Holtzheimer, P. E. et al. Arch. Gen. Psychiatry (2012).

## TOPICS

## うつ病 (depression)

うつ病とは、抑うつ気分、思考障害や意欲低下などの精神活動の低下などを特徴とする、いくつかのうつ病性障害をさす。こうした障害のために、摂食障害や睡眠障害、月経異常など、ほかの身体機能にも影響を及ぼす。正確な原因は不明であるが、心理社会的ストレス（環境変化、仕事、離別など）、薬物、遺伝的要因によるもののほか、脳腫瘍や甲状腺障害などのさまざまな身体疾患に起因するもの、季節性（秋から冬にかけて発症）のものもある。治療は障害の程度によって異なる。軽度のうつ病の場合には、カウンセリングなどの支援や、認知行動療法などの精神療法が効果的なことが多い。認知行動療法とは、原因となっている偏

た思考パターンを修正する療法で、例えば、自分は何をやってもダメだと思い込んでいる患者に、そんなことはないと思わせるようにするという治療である。中度～重度のうつ病では、精神療法、投薬などを併用して行うことが多く、自殺の危険性がある場合や薬物が効かない場合には、電気痙攣療法（頭皮に電極を当てて電流を流す療法）が用いられる。また季節性うつ病には、光線療法が有効である。今回報告されたのは、直接脳に電極を差し込んで電気刺激を与える方法に、一定の効果が見られたというものである。ただし、この方法は、外科的手術を伴い、治療期間も長期に及ぶ。



ムンクの「メランコリー、ラウラ」。うつ病を患っていたムンクの実妹の肖像。

## SCIENCE KEY WORDS

タイトル **brain electrode: 脳電極**

脳の活動の調査や治療のために、脳に埋め込む電極。

リード **placebo-controlled trial: プラセボ対照試験**

臨床試験において、治療群に被験薬を与えたり被験療法を行ったりする一方で、対照群には被験薬や被験療法と見た目には区別がつかない治療を施す比較試験のこと。薬の場合、外観は全く同じで中身は薬効成分のないものを投与する。通常は、治療群と対照群をランダムに選び、被験者や医師も、誰がどちらに属すかわからないようにして実施することが多い（二重盲験試験）。わかってしまうと、結果にバイアスがかかる可能性があるからである。

リード **implanted electrodes: 埋め込み電極**

ここでは脳に埋め込まれた電極のこと。

2. **major depressive disorder: 大うつ病性障害**

米国の精神医学会が発行している『精神疾患の診断・統計マニュアル第4版 (DSM-IV)』により、悲しみが非常に強く持続的（抑うつ気分）であること、あらゆる活動に興味や喜びを喪失していることが診断基準となっているうつ病障害。

2. **bipolar disorder: 双極性障害**

躁うつ病のこと。躁病あるいは軽躁病とうつ病の症状が交互に現れる気分障害。躁病は、自尊心の増大、誇大妄想、睡眠欲求の減少、多弁、注意散漫、観念奔逸（次から次へと考えが浮かぶこと）、目標志向行動の増加、快楽活動への熱中といった症状のうち3つ以上が見られ、気分が高揚したあるいはイラ

イラした状態が1週間以上続き、社会生活に支障をきたす疾患。

2. **manic depression: 躁うつ病**

現在では、双極性障害という表現が使われることが多い。

2. **subcallosal: 脳梁下 (の)**

脳梁とは、左右の大脳半球をつないでいる太い神経繊維の束（交連線維）のこと。

2. **cingulate: 帯状回**

脳梁の背側を取り囲んで前後方向に広がる大脳皮質領域。

2. **white matter: 白質**

中枢神経系白色にみえる部分。主に、有髄神経繊維からなる。

3. **symptom: 症状**4. **antidepressant: 抗うつ剤**

選択的セロトニン再取り込み阻害剤、セロトニン-ノルエピネフリン再取り込み阻害剤などが代表的なもの。

5. **nucleus accumbens: 側坐核**

脳の真ん中付近の左右の脳半球に1つずつある神経細胞の集団。報酬、快楽、嗜好、恐怖に関連していると考えられている。

6. **invasive surgery: 侵襲的手術**

生体を傷つける手術、つまりは外科的手術のこと。

7. **unipolar: 単極性の**

ここでは単極性障害（うつ病）のこと

8. **sham surgery: 偽手術**

プラセボ対照試験の1つ。外科的手術の手順は同じだが、偽薬を投入したりして対照群とする。

## WORDS AND PHRASES

1. **moderate:** 「緩和する」、「軽減する」

3. **all but ~:** 「~人を除く全員」

3. **shed:** 「捨て去る」、「取り除く」

4. **accustomed to:** 「~に慣れる」

4. **miraculous:** 「奇跡的な」

5. **spooky:** 「不気味な」

6. **revert to:** 「逆戻りする」

6. **full-blown:** 「本格的な」、「全面的な」

7. **notoriously:** 「~ことで悪名が高い」、「~ことがよく知られている」

8. **proper:** 「正しい」、「適切な」

8. **assign to:** 「~に配属する」

9. **come out:** 「明らかになる」、「発表される」

10. **in the meantime:** 「それまでの間」、「その間」

10. **fine-tuning:** 「微調整」

10. **underperforming:** 「性能が低い」

10. **optimal:** 「最適な」

## 参考訳

## 脳電極にはうつ病に対する 長期的治療効果がある

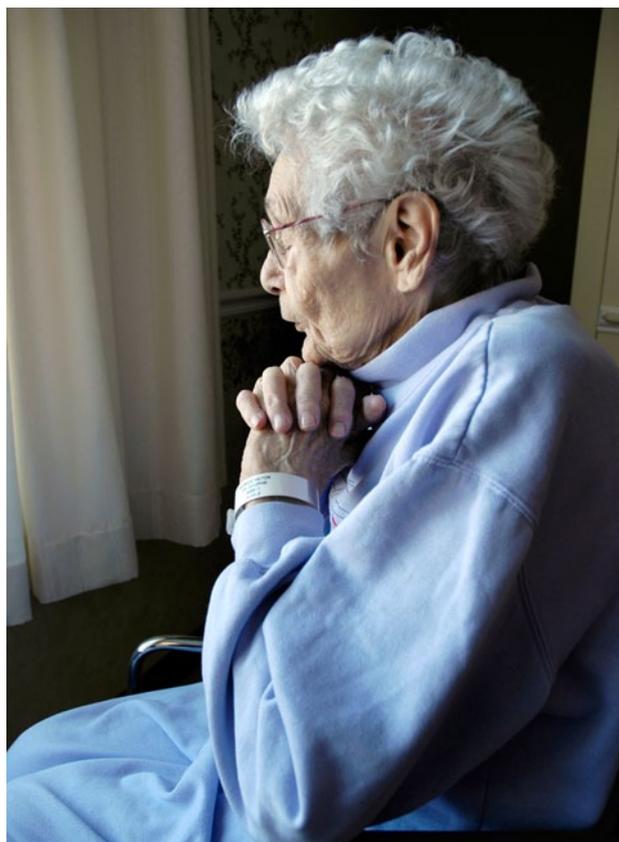
うつ病患者の脳に電極を埋め込んで刺激を加える方法についての  
プラセボ対照試験が初めて行われ、良好な結果が得られた。

アリソン・アボット

1. ほかのどの治療法にも反応しない重症のうつ病が、脳の深部領域を刺激する治療法により、緩和あるいは改善することがある。今回、この治療法のプラセボ対照試験が初めて行われ、こうした反応を長期的に維持できることが明らかになった<sup>1</sup>。
2. エモリー大学（米国ジョージア州アトランタ）の神経科医 Helen Mayberg は、脳梁下帯状回の白質に電極装置を埋め込んでこの領域を継続的に刺激するという治療を受けた 10 人の大うつ病性障害患者と 7 人の双極性障害（躁うつ病）患者について、追跡研究を行った。
3. この研究の被験者となってから 2 年経過した 12 人の患者のうち、11 人は、うつ症状が完全になくなるか、軽くなった。
4. 抗うつ剤や認知療法に反応しない、あるいは反応が持続しない重症のうつ病患者を見慣れた精神科医は、今回の研究結果を奇跡に近いものと感じている。

### 適切な比較対照試験をデザインする

5. 「不気味にすら思えます」。こう話すのは、ボン大学（ドイツ）の精神科医 Thomas Schlaepfer だ。彼は、5 人の治療抵抗性うつ病患者に対して、脳の側坐核という領域で深部脳刺激（DBS）を行ったところ、同様の長期的効果が見られたと話す。
6. ただし、DBS は、どうみてもうつ病の手っ取り早い治療法とは言えない。侵襲的な脳手術が必要であるだけでなく、回復が遅いのが通例だからだ。「私たちの研究では、多くの患者が、最初の数か月間、全く快方に向かいませんでした。刺激を 1 年以上続けたところで、ようやく反応し始めたのです」と Mayberg は言う。さらに、治癒したのでもないという。電極による刺激を中止すると、患者は、すぐに完全なうつ状態に逆戻りしてしまったからである。
7. 「特にうれしかったのは、単極性障害の患者だけでなく、治療が難しいことで悪名高い双極性障害の患者も、この治療に反応したことでした」と Mayberg は話す。これまでに行われたうつ病患者の DBS 研究のほとんどすべては、大うつ病性障害の患者に関するものだった。



DENNIS MACDONALD/ALAMY

8. 偽手術は倫理的に容認されていないため、DBS の適切なプラセボ対照臨床試験を計画することは難しい。しかし、今回の Mayberg の研究では、患者は手術の直後に 2 つの治療群のいずれかに無作為に割り付けられると告げられた。1 つは、手術直後から脳刺激を始めるグループで、もう 1 つは、4 週間後に脳刺激を始めるグループである。実際には、どちらのグループの患者にも最初の 4 週間は脳刺激を与えなかった。その結果、患者に有意なプラセボ効果は見られなかった。
9. 現在、2 つの電極メーカーにより、北米とヨーロッパの複数の拠点で、数百人の患者が参加するプラセボ対照第 III 相臨床試験が実施されているが、その結果の発表までには数年かかる。
10. それまでの間は、Mayberg の研究のような学問的研究によって、こうした治療法について必要な微調整が確立されていくことになる。「過去 10 年間の大きなブレイクスルーの 1 つは、うつ病が脳内のネットワークの疾患であることが解明されたことでした」と Schlaepfer は言う。脳内のさまざまな領域をつなぐネットワークがうまく働かなくなっているときに、そのネットワークを刺激するのが DBS で、脳梁下帯状回と側坐核は、同じネットワークの構成要素だ、と彼は説明する。「このネットワークのどの構成要素が最適な標的なのかは、まだわかりません。私たちは今、より速やかな回復を可能にする標的を探しているところです」。

（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で最新号の予約購読も  
可能です。

\*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

28 ページ (社説) で取り上げているテーマは、日本でも広まりつつある深刻な問題  
と思われま。意図的報道というのは「agenda driven journalism」のことで、  
これは、事実ではなく、特定の意見や希望や意図を第一義として、そこから導かれ  
る論理を無批判に報道していくものです。日本でも「アジェンダ・セッティング」  
という言葉が登場しているそうです。誰がそれを設定するかは別にしても、アジェ  
ンダが巧妙に構成されていると、批判がやりにくくなるという罠がしかけてあるの  
です。例えば「日本は世界一の借金国で人口が減少するから、消費税を上げ、年金  
を減額しなければ破産する」という空想概念も、その一例です。(YM)

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



npg nature asia-pacific

NPG ネイチャー アジア・パシフィック  
〒162-0843  
東京都新宿区市谷田町 2-37 千代田ビル  
Tel. 03-3267-8751 (代表)  
Fax. 03-3267-8754  
www.naturejpn.com

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific.  
All rights reserved. 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  
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、藤原由紀  
池田三知世

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。

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

今すぐ、ba.comでご予約ください。



平成24年2月25日発行 第9巻 第3号  
編集発行人：David Swinbanks

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

発売所：日本出版貿易株式会社  
ISSN：1880-0556

