

日本語で読む世界の最新科学ニュース

nature ダイジェスト

03
2011

個体識別バンドの欠点

女性の涙は逆効果

未来のお肉？

新しい乳がん治療薬

系外地球型惑星の発見

まだ間に合う
北極の海氷と生態系の保全

新・細菌論
—— 超個体としての微生物叢

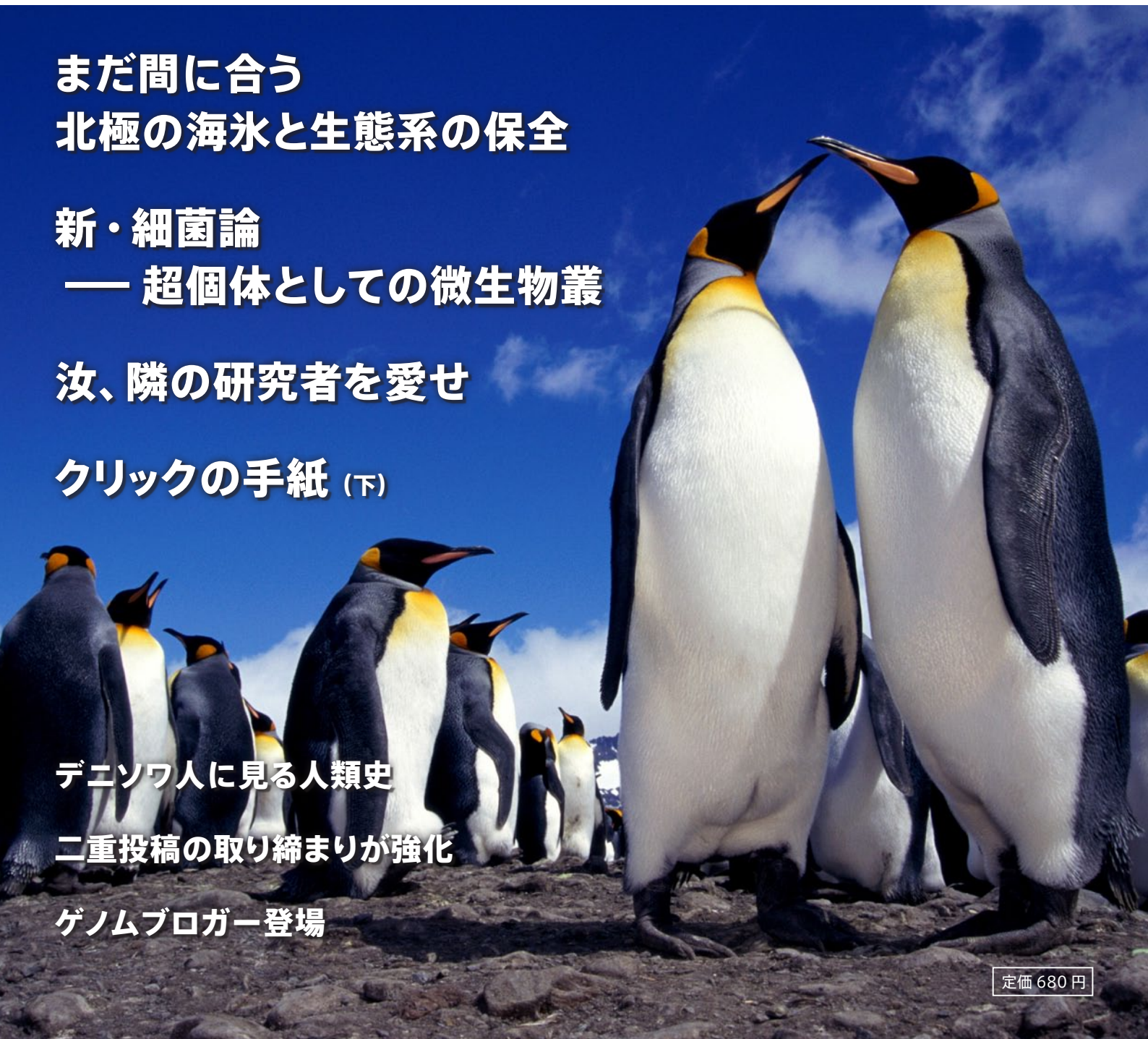
汝、隣の研究者を愛せ

クリックの手紙 (下)

デニソワ人に見る人類史

二重投稿の取り締まりが強化

ゲノムブロガー登場



定価 680 円

製薬業界に焦点をあてた新たなバイオ専門展が誕生!

ヨーロッパ、中国、インド、南アメリカで開催の国際トレードショーがいよいよ独立展として日本上陸!
世界的規模で開発が進行するバイオ医薬品の研究・開発・製造をサポート!

相次ぐ大型新薬の特許失効、化学合成による新薬の不足を背景に、世界が注目するバイオ医薬品開発。この業界トレンドを背景に高まる「製薬業界に特化したバイオ展の誕生」へのリクエストに応え、日本での初開催となる「BioPh Japan / バイオフィーマージャパン」は、バイオ医薬品の研究開発、製造を支援するための最新情報を提供します。バイオフィーマージャパンは、併催展となるCPhI、ICSE、そしてP-MEC Japanと連動し、医薬品市場における国際競争力の強化、品質保証・安全管理の確保のための新たなパートナーシップの形成、そして効率的な既存パートナーとの商談の場として、業界関係者必見の国際ネットワーキングイベントです。



NEW
初開催

BioPh

bio-solutions for pharma

www.biophjapan.com

BioPh Japan 2011

第1回 バイオフィーマージャパン

業界関係者必聴! 120を超える業界セミナーを併催!

2011年4月18日(月)・19日(火)・20日(水) 東京ビッグサイト 東2・3ホール

主催



UBMジャパン株式会社

UBM Live



化学工業日報

ホームページにて
来場登録受付中!

製薬業界に特化した4つの展示会を同時開催 過去最大! 世界29の国と地域から450社以上が出展!

 **CPhI Japan**
where intelligence gathers

×  **iCSE**
bringing outsourcing to CPhI Japan

×  **P-MEC**
PHARMACEUTICAL
MACHINERY & EQUIPMENT
CONVENTION
JAPAN

×  **BioPh**
bio-solutions for pharma

原料

受託サービス

機器・装置

バイオ

無料来場登録はホームページへ

www.cphijapan.com

または

[cphi-japan](http://cphi-japan.com)

検索

お申し込み・お問い合わせは

CPhI Japan 運営事務局 UBMジャパン株式会社

〒101-0044 東京都千代田区鍛冶町1-8-3 神田91ビル TEL:03-5296-1020 FAX:03-5296-1018 E-mail: info@cphijapan.com



BENOÎT GINESTE

翼の折れたペンギンたち

02

COVER IMAGE: TAXI/GETTY IMAGES

ペンギンの翼に付ける個体識別バンドは、死亡率を増加させ、繁殖の成功率を下けている可能性がある。

NATURE NEWS

- 03 ホッキョクグマ — 生き残りのために
- 05 ケプラー、系外地球型惑星を発見
- 14 ハジラミのカムフラージュ
- 15 ゲノムブロガーの登場
- 21 物議をかもす臨床試験
- 23 二重投稿に対する規制の厳格化
- 24 ドイツ発、肝臓プロジェクト

COMMENT

- 12 フランシス・クリックの手紙 (下)

NEWS FEATURE

- 16 新・細菌論

NEWS & VIEWS

- 28 デニソワ人が語る
人類祖先のクロニクル
- 30 奇妙な三角関係にある天の川銀河

EDITORIAL

- 32 曲がり角に立つシンガポールの科学
- 33 ヨーロッパの電力系統整備

JAPANESE AUTHOR

- 26 線虫の「匂いの好み」に
フェロモンが関与していた
—— 飯野 雄一

HIGHLIGHTS

- 34 2011年1/6 ~ 1/27号

英語で Nature

- 38 ナノワイヤー中でキュービットを実現

04 女の涙はセックス アピールにはならない

女性の涙は武器にはならないようだ。男性を惹きつけるどころか、性的興奮を減退させる成分が含まれているというのだ。



©OLEKSIY MAKSYMENKO/ALAMY

06 カイメン由来の 乳がん治療薬が承認へ

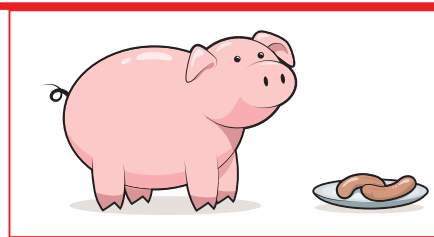
海綿動物由来の抗がん剤ハリコンドリンB。実用化が困難だったが、ようやく、構造類似薬がFDAから承認された。



YASUNORI SAITO

09 未来のお肉？

人工食肉の作製に取り組んでいる科学者がいる。果たして、人工肉が当たり前のように食べられる日は近いのだろうか。



ILLUSTRATIONS: NIK SPENCER

08 汝の隣人を愛せ

共同研究者どうしが近くにいるほうが、引用回数の多い論文になることが多いという調査結果が発表された。



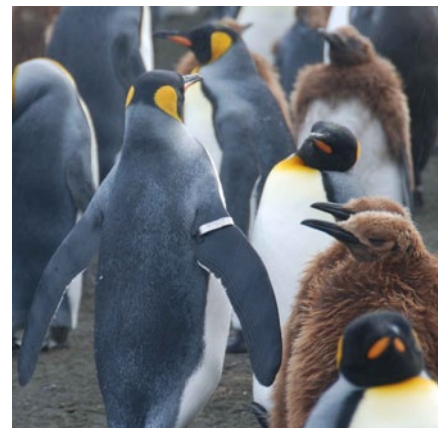
K. LEE ET AL. PLOS ONE 5, E14279; 2010

翼の折れたペンギンたち

Band of bothers

DANIEL CRESSEY 2010年1月12日 オンライン掲載
www.nature.com/news/2011/110112/full/news.2011.15.html

ペンギンの研究調査のために翼に装着した「翼帯」は、生存率を著しく低下させ、研究結果をも歪めてしまうおそれがある。



BENOÎT GINESTE

ペンギンの研究では、翼に個体識別用の「翼帯」と呼ばれる標識を装着することが多い。しかし、翼帯の装着によってペンギンの死亡率が上昇し、繁殖の成功率が下がる可能性が、*Nature* に報告された¹。この発表により、30年以上前に始まった翼帯の是非をめぐる議論が再燃し、そのうえ、新たな懸念も浮かび上がってきた。翼帯は、ペンギンの生存を妨げるだけではない。ペンギンを指標にした調査から導かれたこれまでの結論を、根底から揺るがしてしまうかもしれないのだ。

翼帯よさらば！

生物学者の間ではかなり以前から、個体識別や追跡用のタグ、バンド、送信機などが、動物によからぬ影響を及ぼすのではないかという危惧はあった。すでに1970年代には、動物園の飼育係たちは、翼帯のせいで特に換羽の時期にペンギンが傷を負いやすいことに気付いていた。その後、スウォンジー大学（英国）のRory Wilsonらにより、翼帯が水中でのペンギンの流体力学にかなった姿勢や動きをじゃまして、遊泳時に余分にエネルギーを消費させてしまうおそれがあることが明らかになった²。

今回、ストラスブル大学（フランス）のYvon Le Mahoらは、南インド洋のポゼッション島に棲むキングペンギンの個体群を使って調査した。個体群には、すでに小型電子タグが皮下に埋め込まれており、その中から50羽を選んで翼帯を付けた。翼帯を装着した個体は装着

しない個体50羽と比較すると、授かったヒナの数や40%前後も少なく、生存率も16%低かった。論文共著者で同じくストラスブル大学のClaire Sarauxは、「たとえ種によって差があるとしても、こうした標識はあらゆる鳥類にとってマイナスになるでしょう」と話す。

Le Mahoは、生態学者は「予防原則」にのっとり、翼帯の利用をやめて新たな手法を採用すべき時期に来ていると言う。だが、生態学では、皮下埋め込み型タグなどの新しい技術がそれほど普及していないのだとも話す。

論文では、もっと広角的な問題も取り上げている。ペンギンの研究調査は、気候変動が生態系に及ぼす影響の研究にも使われているのだ。Le Mahoらは以前、電子タグを付けたキングペンギンの調査で、海面水温がわずか0.26℃上昇しただけで成鳥の生存率が9%減少するおそれがあることを報告している³。もし、こうした研究で翼帯が用いられていたなら、気候との関連を調査データからうまく推定できなかったかもしれない。

「気候との関連性について結論を推定するのは非常に難しいのです。温暖化には生態系に影響を与えるような問題が確かに存在します。しかし、翼帯を使った調査研究の場合には、データの数値を再検討すべきです」と、Le Mahoは主張する。

2個はダメ

英国南極局（ケンブリッジ）とともに調査をしている海鳥研究者Norman Ratcliffe

によれば、英国南極局は、翼帯の悪影響を示す証拠が最初に出された1980年代に翼帯装着をやめ、古い翼帯は取り外したという。「翼帯がほとんどの環境で個体群構成や行動に悪影響を及ぼすことを示す証拠が次々と得られています。翼帯を使っている研究者には、実際に翼帯の影響があるのかを確かめ、それらの結果が揺るぎないことを実証する責任があります」。Ratcliffeはこう話す。

しかし、すべての研究者がこうした意見に賛同しているわけではない。米国有数のペンギン研究者であるワシントン大学（米国シアトル）のDee Boersmaも、その1人だ。彼女は、翼帯の2個装着が雌のマゼランペンギンに有害な影響を及ぼすことは見つけたが、翼帯が1個だけなら、たとえ15年間装着し続けても大きな問題は見られなかったと報告している⁴。

「すべての翼帯、すべてのペンギン種、すべての調査場所が同じわけではありません」と彼女は話す。「もし、ある種類の翼帯で結論付けられた問題を、すべての種類の翼帯やペンギン、場所にまで拡大できるなら、科学はもっと楽なものになるでしょうが、何か問題が生じたら、致命的になります」。

（翻訳：船田晶子 再構成：編集部）

1. Saraux, C. et al. *Nature* **469**, 203-206 (2011).
2. Culik, B. M. et al. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **98**, 209-214 (1993).
3. Le Bohec, C. et al. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **105**, 2493-2497 (2008).
4. Boersma, P. D. & Rebstock, G. A. *J. Field Ornithol.* **81**, 195-205 (2010).
参考動画：http://nature.asia/nd1103_penguin

ホッキョクグマ — 生き残りのために

Polar bears could survive on persisting ice

NICOLA JONES 2010年12月15日 オンライン掲載
www.nature.com/news/2010/101215/full/news.2010.675.html

ホッキョクグマは今後もおそらく存続する海氷の上で生き残れるだろう。
 ただし、温室効果ガスの削減を行い、石油流出や汚染から海氷を守る必要がある。

北極海では、来世紀でも、夏の海氷が多少なりとも消えずに存続する可能性が高く、ホッキョクグマなどにとっての「最後の砦」は残されるだろうという報告があった。しかし、依然として、海洋汚染、異なる個体群間の交雑など、多くの脅威に直面していることに変わりはない。

ラモントドハティ地球観測所（米国）のStephanie Pfirmanらは、昨年12月に開催された米国地球物理学連合の会議で、北極の海氷がカナダ北極諸島およびグリーンランドの北側に集積し続けるという気候モデルを提出した。現在この海域には最も厚い海氷が存在している。これらの一部はこの海域で形成されるが、一部は風や海流によってシベリアから運ばれて来る。Pfirmanの見積もりでは、21世紀もしばらくは、面積にして50万km²程度の海氷が一年中維持される可能性が高いという。年々、夏に解ける海氷は増えつつあるが、今でも冬には海氷が形成されている。そして、この海域が以前より開けた状態にあるために、海氷が以前よりも速い速度で北極海のカナダ側へと運ばれているのだという。

またNature 2010年12月16日号に掲載された論文¹は、北極の海氷についてさらなる希望をもたらした。この論文では米国地質調査所のSteven Amstrupらが、今後の海氷循環に関するモデルを調べ、近年の夏期の急速な海氷の減少は、アイス・アルペド・フィードバック（氷の面積が減ると太陽光の吸収が増大する）で北極の海氷が不可逆的に消失し

てしまう「温暖化の転換点」の出現ではなく、薄くなっている海氷が熱力学的に不安定化していることの表れだと報告している。だから、今、温室効果ガスの排出を削減すれば、ホッキョクグマの生息場所や北極生態系の保全に役立つだろうと述べている。

砦の危機

北極圏には、氷に覆われている期間が周囲に比べて長い場所が存在している。環境保護団体「オーデュボン・アラスカ」で活動している景観生態学者Melanie Smithは、シベリアとアラスカに挟まれたチュクチ海にある2つの浅瀬では、毎年夏の後半まで氷が解けないのだと話す。南方からやってくる暖流は浅瀬を迂回してしまうため、水温が周囲よりも1、2℃低いからだ。

実はアラスカ側の浅瀬では、石油会社Shell社（オランダ）が掘削を申請しているが、昨年4月のメキシコ湾原油流出事故を受けて米国政府が沖合での石油掘削を制限するようになり、プロジェクトは停止状態にある。掘削装置そのものによる、浅瀬の海氷上に生息する動物たちへの影響はわからないが、セイウチなど地域固有の動物にとって唯一残された生息適地で石油流出事故が起これば、壊滅的な影響が出るだろうとSmithは話す。そして、「北極にはそっとしておくべき場所が確実に存在しています。この浅瀬もその1つなのです」と語った。

Pfirman らによれば、保護措置だけで



今動けば、ホッキョクグマの絶滅を防ぐことができる。

は不十分だという。人間の工業活動のせいで、アジアからカナダへ向かう海氷の移動が妨げられたり、遠方から汚染物質が入り込んだりしないようにすることも重要なのだ。「北極海の環境を支える海氷は、ある大きい海域からやってくるのです」とNewtonはいう。研究者らは現在、この海氷を守るために国際協力すべきだと訴えている。

動物たちの「危険な関係」

たとえ北極の海氷の一部が残され、汚染されないようにしたとしても、動物たちにはもう1つの脅威がある。それは、雑種形成である。

海氷減少に伴う生息域の縮小や移動によって、ホッキョクグマが南方に迷い込んでハイイログマと接触したり、複数種のアザラシが狭い海域を共有せざるを得なくなったり、大西洋と太平洋のクジラが氷のない北極海海域で出会ったりすることが起こっているのだ。そう話すのは、米国海洋大気庁に所属しアラスカ州ジュノーに活動拠点を置く海洋生物学者Brendan Kellyである。こうした状況のせいで交雑を起しやすくなり²、そのさまざまな弊害によって、ホッキョクグマなど一部の絶滅危惧種が絶滅に向かってしまうおそれがあるのだ。 ■

（翻訳：船田晶子 編集：編集部）

1. Amstrup, S. C. et al. *Nature* **468**, 955-958 (2010).
 2. Kelly, B., Whiteley, A. & Tallmon, D. *Nature* **468**, 891 (2010).

女の涙はセックスアピールにはならない

Women's tears contain chemical cues

JANELLE WEAVER 2011年1月6日 オンライン掲載
www.nature.com/news/2011/110106/full/news.2011.2.html

女性の涙には男性の性的興奮を減退させる化学物質が含まれている。

女性の涙には、男性の性的興奮を減退させ、テストステロン濃度を低下させる化学信号が含まれているという結果が、ワイツマン科学研究所（イスラエル・レホヴォット）の認知神経科学者 Noam Sobel らにより、*Science* に発表された¹。

ライス大学（米国テキサス州ヒューストン）でヒトの嗅覚を研究している Denise Chen によると、ヒトのフェロモンの存在については論争中だが、ヒトの汗は、自己同一性、遺伝的關係、情動状態や健康状態に関する情報を伝達していることが、研究により示されているという。また、マウスの涙には性特異的フェロモンが含まれていることが明らかになっている²。しかしながら、ヒトが泣くことが一種の化学情報伝達であるとい

う科学的証拠はない。「これは、ヒトの涙にも化学信号が存在することを示す、非常に興味深い証拠です」と Chen は言う。

女性の涙の力

実験では、女性たちに1人で悲しい映画を見て涙を流してもらい、目の下に小びんをあてがって、それを採取した。その後、男性24人に、女性の涙か、女性の頬にしたたせした食塩水を入れたびんをかがせ、さらに、それぞれの液体をしみ込ませたパッドを鼻孔のすぐ下に貼りつけ、女性の顔写真を見せた。すると、涙をかいだ男性は、食塩水をかいだ男性に比べて、顔写真の女性の性的魅力を低めに感じる傾向が見られた。一方、共感を持つ程度は同じだった。

別の実験では、50人の男性に涙か食塩水をかがせた。涙をかいだ男性は、自己申告による性的興奮の程度も、唾液中のテストステロン濃度も、興奮の生理学的測定値も低下したが、食塩水をかいだ男性では変化は見られなかった。

さらに、16人の男性に涙か食塩水をかがせて、機能的磁気共鳴映像法 (fMRI) により脳の活動も測定した。その結果、涙をかいだ男性は、食塩水をかいだ男性に比べて、性的興奮にかかわる脳領域（視床下部など）の活動が低下していた。

進化の謎

ティルブルグ大学（オランダ）で情動の研究をしている Ad Vingerhoets は、「この研究が用いた手法に問題はなく、その結果は実にすばらしいと思います」と言

う。「ただし、私が知るかぎり、涙がセックスに及ぼす影響を研究するには、論理的、理論的、実験的根拠がありません」。涙は社会的なきずなを強化し、思いやり行動を誘発すると考えられているうえ、マウスでは性的な誘引物質として作用している。にもかかわらず、ヒトの涙が共感の程度を変化させず、性的興奮を減退させるという結果に、Vingerhoets は困惑している。

メリーランド大学ボルティモア校（米国）で行動の進化と神経学的基盤について研究している Robert Provine によると、今回の結果は、涙が攻撃性を減退せるとする既存の研究結果と一致しているという。彼は、テストステロンは敵意と関連している可能性があり、攻撃性が減退することは進化的に適応しているのかもしれないと説明する。

今回の研究では、感情と結びついた涙とそうでない涙の作用を比較しておらず、涙を流す女性の感情が化学信号に及ぼす影響を直接評価することはできなかった。Chen は、異なる感情に由来する涙が異なる機能を担い、異なる化学的組成を持つのかどうかを調べるには、うれし泣きの涙や、アレルギーやタマネギなどの刺激物による涙の実験も必要だと指摘する。

Chen はまた、著者らはまず、涙が女性の頬を流れないようにして、もう一度同じ実験をしなければならないとも言。皮膚は、その人の情動状態によって変化する化学信号を分泌しているため、頬を伝った涙では、こうした化学信号も一緒に入ってしまうおそれがあるからだ。このように気になる点は多少あるものの、「全体として見れば、今回の成果は最初の研究として非常におもしろく、今後多くの研究が行われるようになるきっかけとなるでしょう」と、Chen は言う。

（翻訳：三枝小夜子）



Pablo Picasso 作 "The Weeping Woman (泣く女)"
女性が泣くと、男性の性的興奮は減退する。

1. Gelstein, S., et al. *Science* **331**, 226-230 (2010).
2. Kimoto, H., Haga, S., Sato, K. & Touhara, K. *Nature* **437**, 898-901 (2005).

ケプラー、系外地球型惑星を発見

Space scope finds scorched super-Earth

ADAM MANN 2011年1月13日号 Vol. 469 (143-144)

www.nature.com/news/2011/110110/full/469143a.html

宇宙望遠鏡ケプラーの観測から、これまでで最も小さい地球型太陽系外惑星が発見され、真に地球に似た惑星の探索に弾みが。

米航空宇宙局が2009年に打ち上げた宇宙望遠鏡ケプラーは、今後数年内に、太陽系外にある岩石でできた地球型惑星を発見する可能性が最も高いと考えられている。観測チームの一員でサンノゼ州立大学（米国カリフォルニア州）のNatalie Batalhaは、1月の米国天文学会で、「岩石でできていることが確実な最小の太陽系外惑星を発見した」と発表した。

ケプラーの観測では天の川の1区画に狙いを定め、そこにある10万個を超える恒星を観測し、光度のわずかな周期的変化を探し出す。恒星の明るさが一時的に減少した場合、周りを回る惑星が恒星の前を繰り返し通過していることが多いのだ。

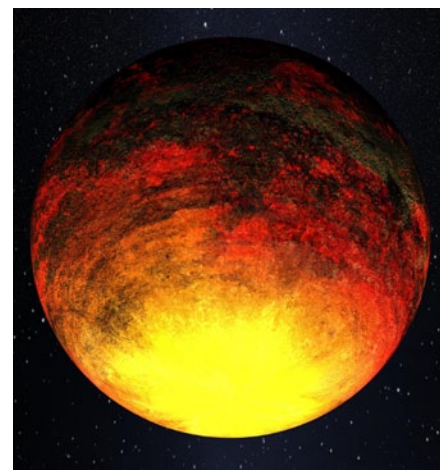
ケプラーがこれまでに報告した8個を含め、現在までに発見された数百個の太陽系外惑星のほとんどは、少なくとも海王星（直径は地球の4倍弱）程度の大きさがあり、多くが巨大ガス惑星だ。しかし天文学者たちは、ケプラーによる観測で、いつかは地球型惑星が見つかるだろうと期待している。そのうちのいくつかは、親星から適度な距離にあり、水が液体として存在し、生命が存在できるような環境を持つはずだ。

今回、観測チームは地球から173パーセク（約560光年；銀河規模の尺度ではかなり近い）離れた地点にある、太陽に似た恒星「ケプラー10」の周りを20時間で回る、「ケプラー10b」を見つけた。ケプラー10bの直径は、地球より40%大きいだけである。また、ハワイのマウ

ナケア山のケック天文台での観測から質量が求められ、その値から密度は地球の1.6倍と推定され、ケプラー10bが岩の多い組成であることが示唆された。ただし、かなり高温であるため、生命は存在していないと考えられる。というのも、親星から250万キロメートルしか離れていないのだ。この距離は地球-太陽間の2%に満たず、表面温度はケイ酸塩岩も溶ける1800℃と推定される。実際には固い大地ではなく、溶岩の海になっていることは確実だ。

ケック天文台の天文学者たちは、ケプラー10bが親星に及ぼす引力の影響を観測し、その質量を求めた。一方、親星ケプラー10はケプラーの観測範囲で最も地球に近い星の1つだったので、観測チームは恒星内部を伝わる音波のために起こる星の光度のわずかな変化を記録できた。こうした音波の振動のタイミングから、親星の大きさに関する詳細な情報が得られた。これは、弓でこすられた弦の出す音から、演奏されている楽器がバイオリンかチェロかわかるようなものだ。「惑星はあらゆる面で親星と密接に関係しており、親星の観測から惑星の重要な情報を得ることが出来ます」とBatalhaは話す。Batalhaらは、親星の正確な直径から、ケプラー10bの大きさなどを同様の精度で知ることができた。

カリフォルニア大学サンタクルーズ校（米国）の天文学者Greg Laughlin（今回の観測に加わっていない）は、「ケプ



NASA

地球型惑星ケプラー10bの想像図。

ラー10bの公転軌道は、岩石でできていると推定されている別の太陽系外惑星CoRoT-7b（2009年発見）の軌道と似ています」と指摘する。そしてこう語る。「今回の成果は、地球と似た大きさの太陽系外惑星を見つける技術が、近年めざましく進歩していることを物語っています。10年前、岩石でできた超高温のスーパーアース（巨大地球型惑星）が見つかるとは、誰も想像していなかったでしょう。ケプラーは公転周期がもっと長く、恒星から遠い軌道にある惑星も見つけることができます。今後は、観測時間が増えるとともに、もっと温度が低くて小さな惑星が発見されるでしょう」。

観測チームは今年2月に、さらに400個の惑星候補のデータを発表する。Batalhaは、「観測チームは興奮しています。ケプラーが発見した惑星の数が増え、岩石型だけでなくガス型も含めた太陽系外惑星について、初めて具体的な頻度が得られる見込みだからです。これまでも、数多くの太陽系外惑星が発見されてきましたが、今後、さらにたくさん見つかるだろうと考えています」と話している（編集部註：NASAは2月2日、ケプラーがこれまで発見した系外惑星候補1235個のうち、54個は親星から適度な距離にあるため液体の水が存在する可能性があり、そのうち5個は地球とほぼ同じサイズであると発表した）。■

（翻訳：新庄直樹 再構成：編集部）

カイメン由来の乳がん治療薬が承認へ

Complex synthesis yields breast-cancer therapy

HEIDI LEDFORD 2010年12月2日号 Vol. 468 (608-609)

www.nature.com/news/2010/101130/full/468608a.html

海綿動物から抗がん物質ハリコンドリリン B が見つかった二十余年。

その鏡像異性体の多さのゆえ実用化が困難であったが、

研究者のたゆみない努力により、ようやく新薬として承認にこぎつけた。

2010年11月15日、米国食品医薬品局（FDA）は「ハラヴェン（Halaven：エリブリンメシル酸塩）」を乳がん治療薬として承認した。どんな抗がん剤でも、新しい薬剤が承認・販売されることは、切実な患者にとって希望の光となるが、今回の場合、格別な意味を持つ。エリブリンは、海綿動物のクロイソカイメン（*Halichondria okadai*）で見つかったハリコンドリリン B という分子の構造の一部を模倣した合成化合物であり、非常に複雑な分子である。研究者らは約 25 年にわたる奮闘の末、ようやくこれを作り出したのだ。今回の承認は、「天然物の全合成」という化学分野が、苦労を重ねて勝ち取った成果である。残念ながらこの分野は、学術的には今でも人気がある

が、製薬業界ではほとんど廃れてしまっている。

ハリコンドリリン B は 1986 年に見つかり、その後すぐに、強力な抗腫瘍活性があることがわかった。しかし存在濃度が非常に低いため、単離が難しかった。さらに構造がものすごく複雑で、発見当時の化学の力では、ゼロから生成することは不可能に近かった。

しかし、数年後、ハーバード大学（米国マサチューセッツ州ケンブリッジ）の有機化学者、岸義人（きしよしと）がハリコンドリリン B の構造に着目し、試みにその合成をやってみることにした。ただ、岸によれば、彼らはハリコンドリリン B のもつ抗がん特性にはほとんど関心を持っていなかったという。単に、ある化学反応を試すた

めの材料が欲しかっただけだったのだ。それは「野崎・檜山・岸反応」と呼ばれる化学反応で、これを使うと炭素原子どうしを結合させることができる。

きっかけは何であれ、岸らはハリコンドリリン B の合成という難題に取り組んだ。天然有機物質では炭素原子がキラル中心となることが多く、互いに鏡像的な立体配置をとる鏡像異性体を生じる。「キラル中心に結合する原子を完璧に配置しなければ、立体構造の異なる分子の混合物ができてしまい、目的の分子の単離がものすごくやっかいになります」と、ケンブリッジ大学（英国）で天然物の合成研究に携わる Ian Paterson は話す。鏡像異性体どうしは、大半の化学反応に違いはないが、生物学的活性は全く異なる。

驚いたことにハリコンドリリン B には 32 か所ものキラル中心があり、計算上、 2^{32} 通り（40 億通り以上）の鏡像異性体が存在することになる。「とんでもない数ですよ」と、ケース・ウエスタン・リザーブ大学（米国オハイオ州クリーヴランド）の有機化学者 Robert Salomon は話す。彼の研究室では 1990 年代初めにハリコンドリリン B を合成しようとしたが、4 年を費やした末に不成功に終わっている。

そうした難しさにもかかわらず、岸らはハリコンドリリン B の合成に成功し、1992 年に合成法を発表した（T. D. Aicher *et al.* *J. Am. Chem. Soc.* 114, 3162-3164; 1992）。その頃までには、米国がん研究所（NCI；米国メリーランド州フレデリック）の天然物研究部門の研究チームにより、ハリコンドリリン B が細胞骨格を構成するタンパク質の合成を阻害して、がん細胞を退治することが見つけられていた。細胞骨格は、細胞内部に張り巡らされた微小な管や繊維からなる骨組み構造で、細胞の形状を保つ働きをしている。ハリコンドリリン B が阻害するタンパク質はチューブリンと呼ばれ、がん細胞が急速に増殖するために必要なもので、タキソール（パクリタキセル）など数種類のがん化学療法薬の標的にもなっている。



エリブリン（差し込みの化学構造）は、海綿動物のクロイソカイメン（*Halichondria okadai*）から単離された化合物をヒントに作り出された。

深海で作られる薬

しかし、岸らの合成法は、少量のハリコンドリン B を生成する場合に限られたため、前臨床試験や臨床試験で使うのに十分な量を合成できる見込みは低かった。そう語るのは、NCI 天然物研究部門で現在部長を務める David Newman である。彼は、ハリコンドリン B を天然試料から単離すればいいだけの話だと考え、この貴重な化合物を得るため海に向かった。

Newman の研究チームは、ニュージーランド沖の深海から、クロイソカイメンではないが、同じくハリコンドリン B を含む海綿の一種 (*Lissodendoryx*) を 1t 以上採集した。彼は、海綿をもっと増やすための研究チームも立ち上げ、水上飛行機を飛ばして、沖合に養殖場を作った。そこでブイの下 40m に定着用の装置をぶら下げて、海綿を育てた。しかし、この努力で得られたハリコンドリン B はわずか 300mg。コメ数粒分の重量しかなかった。「ハリコンドリン B のせいで白髪になってしまったよ」。Newman からは、そんな冗談すら飛び出す。

一方、エーザイ株式会社（東京都文京区；以下、エーザイ）は、すでに岸の製法の特許ライセンスを取得し、ハリコンドリン B の数百種類に上る構造類似体の合成に着手していた。Newman がニュージーランドで収穫した量は、これらの類似体の一部と比較解析するのに十分だった。そうした類似体の 1 つがエリブリンだった。エリブリンは、ハリコンドリン B よりも効き目が強いが、分子はハリコンドリン B よりも実質的に小さく、合成が容易である。とはいえ、エリブリンでもキラル中心は 19 個あり（左ページ図の化学構造を参照）、商業規模での生産はとても無理だと思われた。

エーザイによると、エリブリンの合成工程は 62 段階あるという。これは市場向け薬剤としては驚くほど長い工程だ。同社は最初、この合成プロジェクトについて不安を持っていたようだ。だが、第 I 相臨床試験からエリブリンの安全性が

示され、また、臨床での有効性を示す手がかりが得られたことで、「不安材料はすべて消えました」と岸は言う。

その後の臨床試験で、同じく天然物類似体のタキソールなど、ほかの化学療法薬では効果が得られなかった乳がん後期患者において、エリブリンによって生存期間が平均 2.5 か月延びることが示された。解析によれば、エリブリンが乳がん以外の各種がんの治療薬として承認された場合、10 億ドル（約 830 億円）規模の市場が見込まれるという。

複雑な構造の天然物の合成に、敢えて賭けた製薬会社はエーザイ以外にほとんどない。1990 年代に、多くの企業は天然物の化学合成からほとんど手を引いてしまい、合成化学物質の巨大ライブラリーから薬剤候補をスクリーニングで探すことに軸足を移してしまつたと、Michael Jirousek は話す。彼は、かつてハリコンドリン B の合成を研究していたが、バイオテクノロジー企業 Catabasis 社（米国マサチューセッツ州ケンブリッジ）を共同設立して、現在はその科学部門最高責任者となっている。「天然物のスクリーニングとその活性成分の単離は、忘れ去られた技術になりつつあります」と Jirousek。

全合成の支持派は、エリブリンこそ、化合物の全合成というやり方が、困難ではあるが成功すれば戦果は大きいことを示す証拠だと息巻く。スクリプス研究所（米国カリフォルニア州ラホヤ）の合成化学者 Phil Baran によれば、以前より多くの若い研究者が全合成研究に参入してきており、また、化学的手法の改良のおかげで、商業的に成り立つ工程でもっと複雑な分子を合成することも可能になりつつあるという。「有機化学はますます進歩し、製薬企業が求めるような、より複雑な化合物がいろいろ作れるようになると思いますよ」と Baran は語った。

（翻訳：船田晶子）

nature climate change

購読する 7 つの理由

1. 無料購読者 募集中！
2. Nature が出版する
気象変動の専門誌
3. 気候変動の影響や
社会科学も対象
4. 科学者以外の読者
（産業界・官界の関係者や
政策立案者）が研究内容の
理解を深められる
5. 学界、政界、産業界の
オピニオンリーダーによる
論説記事と分析記事を掲載
6. 気候変動に関連したリスクの
特定と評価、そして、気候変動に
よって生み出される重要な
投資機会の発見を手助けする
7. 今後の意思決定や戦略策定の際に
情報源となり、道案内となる

国内 無料購読者 募集中！

お申し込みはこちらから

www.naturejpn.com/nclimate/

npg nature asia-pacific

汝の隣人を愛せ

Love thy lab neighbour

RICHARD VAN NOORDEN 2010年12月23/30日号 Vol. 468 (1011)

www.nature.com/news/2010/101222/full/4681011a.html

共同研究者間の距離が近いほど、論文の引用回数が増えることがわかった。

共同研究プロジェクトに従事したことがある人なら誰でも、主要なメンバーどうしが近くにいるほど、良好な結果が出ると感じているのではないだろうか。このほど、共同研究者間の距離の近さと論文の影響力との関係が調べられ、その直観が裏付けられた。

ハーバード大学医学系大学院生物医学情報学センター（米国マサチューセッツ州ボストン）の共同所長である Isaac Kohane は、2005 年に同大学院管理部長の Richard Mills とセンターのレイアウトについて議論した末、この直観を検証することを決めた。彼は 10 人以上の学生の協力を得て、1999～2003 年に発表された生物医学分野の論文を検索

し、著者にハーバード大学の研究者が含まれている、3 万 5000 本の論文を特定した。そして、2 年をかけて、ひとりひとりの研究者がハーバード大学内のどこで研究を行っているかを、オフィスや研究室のレベルまで明らかにした。

PLoS ONE に発表された研究結果によると (K.Lee *et al.* PLoS ONE 5,e14279; 2010)、共著論文のファーストオーサー（筆頭著者）とラストオーサー（末尾著者）が地理的に近いほど、その論文の引用回数が増えることが明らかになった。多くの場合、ファーストオーサーは研究の中心的人物であり、ラストオーサーは組織のリーダーであるが、どちらも研究プロジェクトで重要な役割を果たしてい

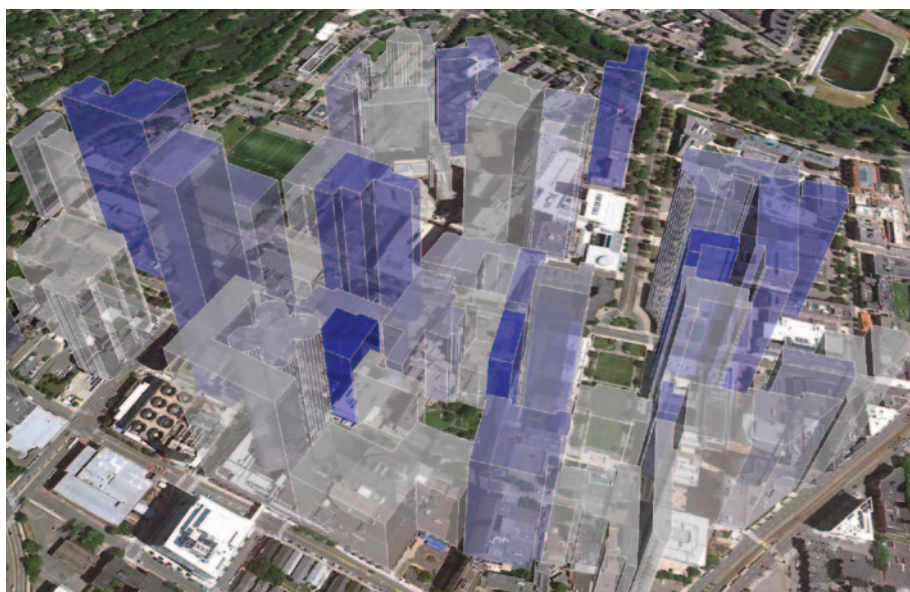
る。ミドルオーサーについてはそうした傾向は見られず、ほかの研究者と遠く離れていても、論文の引用回数に明確な差はなかった。

Kohane らはまた、ハーバード大学で生命科学研究が行われている 4 つのキャンパス内にある個々の研究棟についても調査を行った。その結果、同じ建物内での共同研究が多い研究棟から発表される論文は、ほかの場所にいる研究者との共同研究が多い研究棟から発表される論文に比べて、引用回数が多いことが明らかになった（下図参照）。すなわち、研究者は、画期的な研究をするときには、自分の研究室内か、特に関係の深い研究者と組みたがるということだ。

ライデン大学（オランダ）の Anthony van Raan は、論文の引用回数を分析して研究者の生産性とその影響力について調べる専門家である。彼は、今回の研究を、共同研究者間の距離の近さと論文の影響力との関係を実証する最初の試みであるとみている。研究者間の空間的な距離と論文の影響力との関係を調べる既存の研究のほとんどは、国内共同研究と国際共同研究を比較するもので、国際共同研究の論文は国内共同研究の論文よりも引用回数が多いという結果が何度も出ている。これはおそらく、研究の規模が大きく、範囲も広いことと関係しているのだろう。

Kohane は、国際共同研究も、ファーストオーサーとラストオーサーが非常に近いところで研究しているなら、もっとうまくいくのではないかと推測している。ただし、まだ検証はされていない。もちろん彼は、自ら持論を実践している。この論文のラストオーサーである彼は、学生による実態調査のまとめ役をしたファーストオーサーの Kyungjoon Lee と同じフロアで仕事をしている。「研究当初、私たちは別々のフロアにいました。Joon いわく、彼のフロアに移動してから私は、非常に協力的になったということです」と Kohane は語っている。■

（翻訳：三枝小夜子）



ハーバード大学医学系大学院ロングウッドキャンパスの各研究棟から発表された論文の引用回数の平均値（高さ）と、ファーストオーサーとラストオーサーが同じ研究棟内にある論文の割合（灰色から青みが増すほど大きい）を組み合わせた図。青いビルほど高くなっている。

未来のお肉？



A taste of things to come?

NICOLA JONES 2010年12月9日号 Vol. 468 (752-753)

人工食肉の作製に全力で取り組んでいる研究者たちがいる。

彼らは、人工肉を食べることが当たり前になる日が来ると確信しているようだ。

だがそのためには、培養筋細胞を鍛えて肥大させるという難問がある。

アイントホーフェン工科大学（オランダ）の Mark Post は、実験室で人工の豚肉を作っている。だが、白っぽく、だらんとした筋組織の細切れを見るにつけ、味見をしたいなんてこれっぽっちも思ったことはない。Post が知るかぎり、これを食べたことのある唯一の人間は、数か月前に取材に来たロシアのテレビ局のジャーナリストだけだ。「彼は、培養プレートの上の肉をピンセットでつまみ上げ、私が言葉をかける前に、それを口に放り込んでしまったのです。そして『噛みにくくて味がしない』とつぶやきました」。

Post は、培養プレートで動物の筋細胞を育てて「試験管ミート」を作る研究の最先端を走っている。そして究極的には、本物そっくりのステーキの開発を促進し、食肉を得るために家畜を生産するというむだの多い従来のやり方にとらわれない食肉生産を実現することを目指している。遠からず、Post は、人工豚肉を挽いて作ったおいしいソーセージと、生きたブタ（人工肉の元になった細胞を提供した）とを並べて展示したいと考えている。そのためにはまず、研究資金を獲得しなければならない。

Post は当初、ヒトの幹細胞から再建手術に利用できる筋肉を作り出すことに興味を持ち、組織工学の研究者になった。ところが数年前、研究テーマを人工食肉生産に鞍替えしてしまっ

た。20 年以上にわたって再生医療の研究に取り組んできました。でも人工食肉の開発のほうが、環境保護や健康増進に役立ち、世界的な飢餓問題の解決につながるため、はるかに大きなインパクトがあることに気付いたのです。肉食主義者のための食料を生産するのに必要な水は、肉を食べる人の食料生産に必要な水のわずか 35% であり、エネルギーも 40% で済む¹。これは主として、飼料作物を育てる効率が悪いからだ。未来の「人工肉食主義者」は、肉食主義者と同程度のレベルになるだろう。

2008 年には、米国ヴァージニア州ノーフォークを本拠地とする「動物の倫理的扱いを求める会（People for the Ethical Treatment of Animals; PETA）」が、人工食肉が普及すれば動物を食肉加工する必要がなくなるとして、2016 年までに米国の少なくとも 6 つの州の店舗で人工鶏肉を販売できるようになった最初の企業に、100 万ドル（約 8300 万円）の賞金を出すと発表した。世界の大半の人工食肉研究が行われているオランダでは、試験管ミートの開発をめざすコンソーシアムが、2005 ～ 2009 年の期間に政府から 200 万ユーロ（約 2 億 2000 万円）の研究資金を獲得した。

こうした奨励により、基本的な問題のいくつかが解決され、ヒトの組織工学技術を応用して動物の筋肉から成体幹細胞を単離・培養して増殖させ、さらに融合

させて、長さ 1cm の筋肉片を作ることが可能になった。しかし、試験管ミートの製造効率を上げて、スーパーで低価格で販売できるようにするためには、はるかに多くの資金と推進策が必要だろう。Post の見積もりでは、彼の製法でソーセージを 1 本作るには、あと 1 年の研究と、少なくとも 25 万ドル（約 2100 万円）の研究資金が必要だという。

では、具体的には、何をすればよいのだろうか？

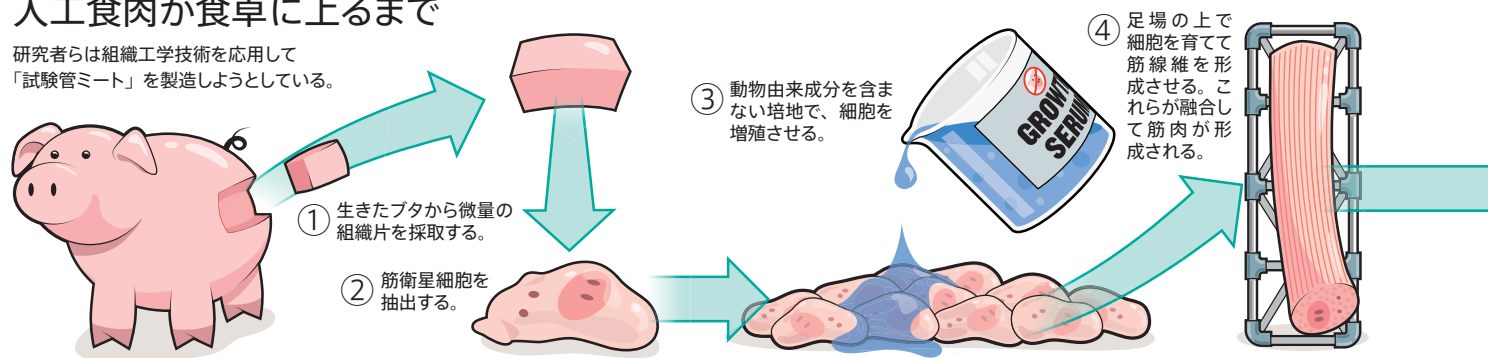
原料を選ぶ

人工食肉作製に際し、研究者が最初に考えなければならないのは、どの細胞から出発するかということだ。胚性幹細胞（ES 細胞）は、不死の（ゆえに安価な）原料として、食肉を無限に供給することができる。しかし、家畜の ES 細胞の樹立はうまくいっておらず、人工食肉研究の大半は、筋衛星細胞（筋肉の成長と修復に関与する成体幹細胞）を用いている。筋衛星細胞を得るには、生きているブタ、ウシ、ヒツジ、ニワトリ、シチメンチョウから比較的無害な方法で筋組織を採取し、酵素を用いたりピペット操作を行ったりして望みの細胞を抽出し、培養して増殖させる。

一方、トゥーロ大学ニューヨーク校（米国）の名誉教授である Morris Benjaminson は、これとは違ったアプローチを好んで用いる。採取した生体組

人工食肉が食卓に上るまで

研究者らは組織工学技術を応用して「試験管ミート」を製造しようとしている。



組織の全体を培養プレートに植えていくのだ。「私たちは、泥臭いやり方で研究しています。組織を細胞レベルまで分解して、再び組み立てるなんてやり方はしません」と Benjaminson は言う。彼の研究室は、2002 年にこの方法で金魚のフィレ肉を作り、細かく挽いた筋肉の細胞を添加することにより、1 週間で表面積を 79% も増やすことができた²。しかしながら、この製法で市販できる量の肉を生産できるかは不明である。

根本的な問題は、筋衛星細胞が数十回しか分裂しないという点にある。これはおそらく、細胞のテロメア（染色体の末端にあり、これを保護する部分）が加齢とともに短くなってしまふからだ。細胞の増殖を盛んにする方法はいくつかある。1 つは、テロメアを修復するテロメラーゼという酵素の遺伝子を加えることだ。もう 1 つは、振興企業 Mokshagundam Biotechnologies 社（米国カリフォルニア州パロアルト）が研究を進めている方法で、腫瘍の増殖を促進する遺伝子を組み込むというものだ。しかし、消費者は遺伝子組み換え人工食肉に強い抵抗を感じるはずだ。「できるものなら発売してみろ、ということですね」と Post は笑う。遺伝子組み換えがだめなら、できるだけ成長させるために、幼い動物から細胞を採取し、培地など、別の部分を完璧にするという方法もある。

Post は今のところ、普通の細胞培養用培地を使って豚肉の筋衛星細胞を育てている。ただ、培地に含まれているウシ胎児血清は死んだウシに由来しており、

人工食肉の意義が大きく損われている。また培地には、抗生物質や抗真菌薬も含まれているため、食用には適さないだろう。「知られていないアレルギーがあるかもしれませんからね」と Post は言う。彼は、筋衛星細胞を筋肉へと分化させるためにウマの血清に切り換えているが、それと同じ問題がある。

すでに、体外受精などの生物医学用として、植物や細菌の懸濁液から作った、動物由来成分を含まない培地も市販されている。しかし、動物由来成分を含む培地と同じように、それらは高価である。現時点では、人工食肉の材料費の約 90% は培地が占めている。また、培地の組成は特許権により保護されており、必要に応じて変更するのは難しい。1 つの選択肢は、細かく挽いたマイタケを利用することだ。これは、Benjaminson が金魚のフィレ肉を育てたときに、ウシ胎児血清と同じくらい有効であることを発見したものである。また、アムステルダム大学（オランダ）で試験管ミートの研究をしている研究者たちは、ラン藻から作る安価な培地に、遺伝子組み換え大腸菌を利用して生成した成長因子を添加している。しかし、安価で、動物由来成分を含まない培地を大量に生産する方法はまだ開発されていない。

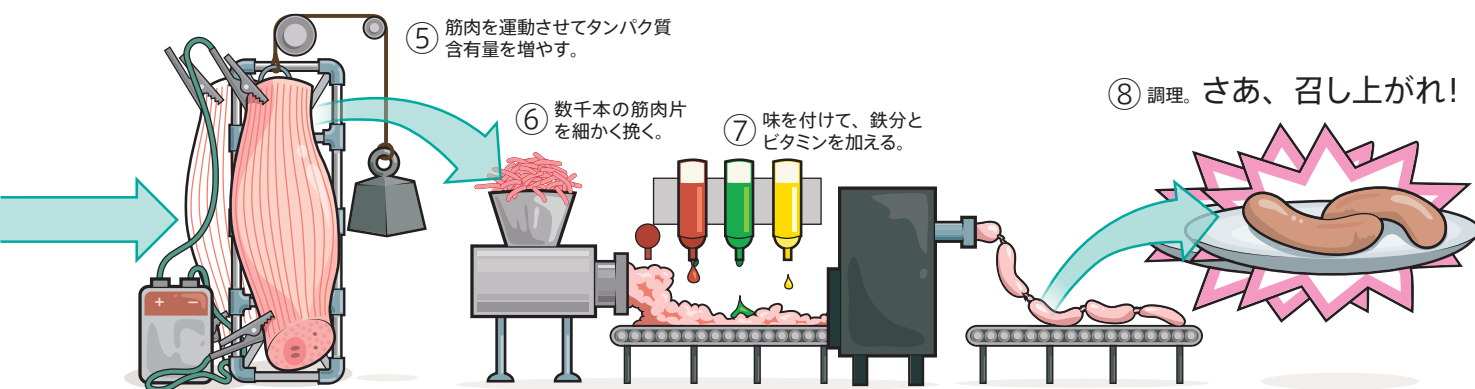
筋肉を鍛える

足場（上図④）の上で育てられた筋衛星細胞は、融合して筋線維となり、これらが束になって筋肉を作る。しかし、実験室で集合した筋肉は、弱々しく、歯ごた

えない。「6 週間はめていたギプスをはずした後のような感じです」と Post は言う。筋肉にタンパク質を付けて肥大させるには運動が必要である。有効なのは、固定点の間で筋線維を集合させることだ。こうすると自然な張力が生じ、筋肉がこれに対して収縮するからだ。Post はこのような装置を用いて、筋肉片のタンパク質含有量を数週間で 100mg から約 800mg まで高めることに成功している。さらに、毎秒 10V の電気ショックも与えることで、タンパク質含有量は約 1g まで増える。しかし、この方法をそのまま産業スケールに拡大してしまうと電気代がかかりすぎるため、彼らは、筋収縮を命じる化学信号の作用を模倣する方法を模索しようとしている。

サウスカロライナ医科大学（米国チャールストン）の Vladimir Mironov は、キトサンマイクロビーズ製の足場を使用している。キトサンはカニや菌類から得ることができる。キトサンマイクロビーズ製の足場は温度変化によって伸び縮みするため、これを足場とする筋肉にとっては自然なフィットネスジムになる。

人工筋肉の厚みが約 200 μm 以上になると、内側にある細胞は、栄養分と酸素の不足により死に始める。Post は単純に、多数の小さい筋肉片を育てて、細かく挽いてソーセージにすればよいと考えている。これに対して Mironov らは、米国航空宇宙局（NASA）が低重力下での筋肉の成長を研究するために開発したような、ミキサーサイズのバイオリアクターを使っている。こうし



た装置が作り出す条件は、細胞の凝集を防ぎ、酸素と栄養分の輸送を向上させる役に立つ。

産業スケールで人工食肉を製造するには、バイオ製薬会社が使っているような、大規模な特製バイオリアクターが必要になるだろう。Mironov は、市販用の試験管ミートを生産するには、バイオリアクターを備えた5階建てのビルと、それにかけた費用と同じくらい巨額の投資が必要になると見積もっている。それなのに、製造できるのはただの挽き肉なのだ。人工ステーキを製造するのはさらに難しい。肉の中に人工の血管系を組み込まなければならないからだ。それが可能になるのは何十年も先のことだろう。

市場に出す

人工食肉の推進派がその味について語ることはほとんどない。おそらく、まだ試食したことがないからだ。米国の研究者たちは、試験管ミートの試食を避けている。彼らは、米国食品医薬品局 (FDA) の規制に違反したり (実際のところ、それが禁じられているかどうかは不明である)、売名行為に走っていると思われたりするのを恐れているからだ。Benjaminson らは、金魚のフィレ肉を作ったとき、それをオリーブオイルに浸し、パン粉をまぶしてフライにし、「香りと見た目」を審査・判定してもらった。審査員らは、食べられそうに見えると評価したが、試食することは許されなかった。

研究者たちは基本的に、歯ごたえさえ似てくれば、味覚の問題は味付けにより

解決すると考えている。幸い、筋衛星細胞は脂肪に転換することもできるので、これにより味がよくなると期待されている。Mokshagundam Biotechnologies 社は、各種の筋肉とその他の種類の細胞を混ぜ合わせてスパムのようなものを作り、これに肉の特徴である「うまみ」を持たせることを目標にしている。ただし、血液に由来する鉄分や、腸内細菌に由来するビタミン B12 などの栄養分を添加する方法も見つけなければならないだろう。

一方コスト面では、人工食肉の製造プロセスは高くつくと考えられる。ある概算によると、第一世代の人工食肉の値段は 1t 当たり 3500 ユーロ (約 39 万円) になるという。ちなみに、助成金がない場合の鶏肉の値段は 1t 当たり 1800 ユーロ (約 20 万円) である³。Mironov は、初期の市場を確保するには、試験管ミートに健康の増進や食欲の抑制に効果がある化合物をつめ込んで、金持ちの有名人が魅力を感じる「機能的」食品にするのがいちばんよいと考えている。「そんなものを食べるのは、パリス・ヒルトンのようなハリウッドのセレブだけでしょうけど」と彼は言う。また、変わった動物や絶滅した動物 (ただし、いくつかの細胞は残っていないといけない) の肉が食べられることを「売り」にするという方法もありうるだろう。人工食肉の推進派は、長期的には、菜食主義者や、罪恶感にさいなまれることなく環境に優しい肉を食べたいと考える人々が消費の主役になるとみている。

Post などの研究者は、試験管ミートの製造・販売に必要な科学的・技術的進歩を考えれば、この研究に挑戦する価値は十分にあると信じている。最大の問題は、資金提供機関を説得することだ。Post がオランダ政府から得ていた研究資金は、2009 年に打ち切られた。彼はこの研究資金で、数百の豚肉片を作ることはできたが、ソーセージを 1 本作るのに必要な数千片には届かなかった。現在、いくつかの組織団体が人工食肉研究を支援している。1 つは New Harvest という非営利組織で、米国とヨーロッパで行われる研究に少額の資金を提供している。もう 1 つは、Pure Bioengineering 社 (米国カリフォルニア州) という営利法人で、ベンチャーキャピタルの立ち上げをめざしている。しかし、具体的な成果はまだ得られていない。

Post は、人工ソーセージを実演するための研究資金を申請し続けるつもりである。もちろん、全工程の商業化が可能な資金を要求するのは無理だということは、重々承知している。「通常、私は 1 億ユーロ (約 110 億円) 必要といいます」と Post はいう。「政府にその金額を提示したら、卒倒されましたよ」。

(翻訳: 三枝小夜子)

Nicola Jones は、カナダ・バンクーバー在住のフリースランスのジャーナリスト。

1. Marlow, H. J. et al. *Am. J. Clin. Nutr.* **89**, 1699S-1703S (2009).
 2. Benjaminson, M. A., Gilchrist, J. A. & Lorenz, M. *Acta Astronaut.* **51**, 879-889 (2002).
 3. eXmoor pharma concepts. *The in vitro Meat Consortium Preliminary Economics Study Project 29071* (2008); go. nature.com/firfka 参照。

フランシス・クリックの手紙（下）



The lost correspondence of Francis Crick

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

「クリックの手紙」と題してお伝えしてきたこのシリーズも、今回が最終回。DNAの二重らせんモデルを発表し、一躍生物学界の大スターとなったフランシス・クリック。彼にとって、二重らせんモデルはどういうものだったのだろうか。今回見つかった書簡から、皆さんは何を感じるだろうか。

1953年6月：論文発表後

論文が *Nature* に掲載される日が間近に迫った4月20日、ウィルキンズはクリックに、いかにもうれしそうな葉書を書いている。「*Nature* に祝杯を挙げる日は、もうすぐだ!」。新たに発見されたウィルキンズからクリックへの手書きの書簡は、1952年6月3日という日付が入っているが、内容から推察すると、書かれたのは1953年である。以下に全文を示す。

親愛なるフランシス

あなたのモデルの座標は、ある程度、明らかになっているものと思います。できれば、あなたがもっているデータの写しをもらえないでしょうか？

結晶データは順調にきれいになってきています。ロージー (Rosie) は、これだけの三次元データを9か月も前からもっていたにもかかわらず、らせん構造を当てはめてみようとはしなかったのです。そして私も、「このデータはらせん構造を示唆していない」という彼女の言葉を鵜呑みにしていたのです。なんてことでしょうか！

我々はマウスを使って多くの測定をやり直し、高精度の三次元データを得ました。細かい点を解明するには、さらに高い精度で測定する必要があります。

どうぞよろしくお願いします。それからオディール（訳注：クリックの妻）にもよろしくお伝えください。 敬具 M

追伸 私はフラットを買おうと思っています。

この手紙の調子からすると、二重らせんモデルの発表後に書かれたもののように思われる。また、ウィルキンズがクリックにモデルの座標を教えてほしいと頼んでいること、「結晶データ」がきれいになってきたと言っていること、マウスのDNAを使っていることなどの詳細を見ても、1953年と考えたほうがつつまが合う。ウィルキンズがDNAの構造を詳細に明らかにする最初の論文を *Nature* に発表したのは1953年10月であるし、このとき初めてマウスのDNAを使ってデータを得ているからである。また、ワトソンの『The Double Helix』には、ウィルキンズが1953年1月末に新しい住居を探していたことが書かれている。以下、そのくだりである。「しかし、シャブリを1本飲んでいながらに厳密な話を聞きたいという気持ちははだいに薄れてしまい、ソーホーを出てオックスフォード通りを横切って行くときに、モーリスが、もっと静かな地区の明

るいフラットを見つけたいという話をしただけで終わってしまった」。

1953年6月の初頭、ワトソンは、コールド・スプリング・ハーバー研究所（米国ニューヨーク州）で毎年開かれるシンポジウムで、二重らせんモデルを初めて発表した。そのシンポジウムの紀要に掲載されたワトソンとクリックの論文には、ウィルキンズが提供したA型（結晶型）DNAのX線回折パターン写真も含まれていた。今回、このシンポジウムが始まった1953年6月5日にクリックがウィルキンズに書いた手紙が発見され、このX線写真に対するクリックの本心が明らかになった。

私は、今回初めて、A型構造の写真の詳細な分析結果を見ました。これを先に見ていなくて本当によかったと言わざるを得ません。もし先に見ていたら、私はひどく悩んでしまったに違いないからです。

この回折パターンこそ、ロザリンドに、少なくとも結晶型のA型では、DNAの構造はらせんではないと確信させたX線回折パターンだった。彼女はすでに、B型DNAがらせん構造をとることを強く示唆する写真（その中には51番写真

もあった)を持っていたにもかかわらず、である。結晶型のA型DNAからは質のよい回折データが得られていたし、ロザリンドの綿密かつ定量的なアプローチはそれに適していた。そこで彼女は、1952年はもっぱらA型DNAを調べていた。そして、ゴズリングとともに、よく知られている『DNAヘリックス(結晶型)氏』の死去を告げる黒縁の死亡通知を作ったのだった。

1954～64年:「二重らせん」騒動の後
ウィルキンズとクリックの新発見の書簡の残り22通は、1954～64年の10年間に書かれたものだった。その多くは、ウィルキンズがどんどん解明していったDNAの構造に関する結晶学的詳細に関するやりとりであり、後年の手紙には、学術機関での雇用の問題やその他の事務方の問題に関する助言も見られる。なかでも、次の2つのテーマは、皆さんの興味を引くのではないだろうか。

1つ目は、1954年10月29日付のウィルキンズからクリックへの手書きのメモだ。そこには、クリックとワトソンが何の実験もせずに二重らせんモデルに到達したという事実に対する厭味も読み取れる。



あなたの手紙を読み、あなたが計画している出版物のリストを見ると、つくづく感心してしまいます。あなたが実

験を回避するために考えついた新しい計画、もとい、あなたの本に興味を持ちましたといっても、悪く思わないでください。

本とは何のことだろう？ 今回新たに発見された書簡が、この疑問に答えてくれる。ニューヨークのアカデミック・プレス社からクリックへ送られた1954年6月28日付の手紙は、『The Central Problems in Molecular Biology』という本を出版したいというクリックの提案を熱烈に歓迎している。本の概要も決まり、タイトルも、もっとインパクトのある『Genes and Proteins』に変更された。けれども残念ながら、この本が執筆されることはなかった。その後、6年間、出版社からのお願いが悲壮感を増していくのに対し、クリックの返事は逃げ口上と弁解だらけになっていく。その一連のやりとりのすべてが、今回見つかった書簡に記録されている。出版社から送付された契約書まであったが、クリックは署名していなかった。

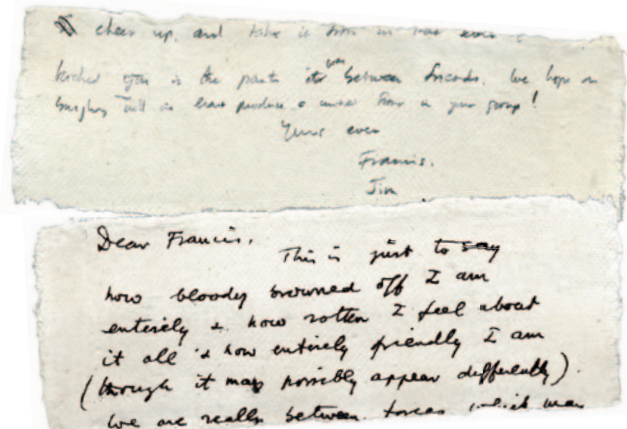
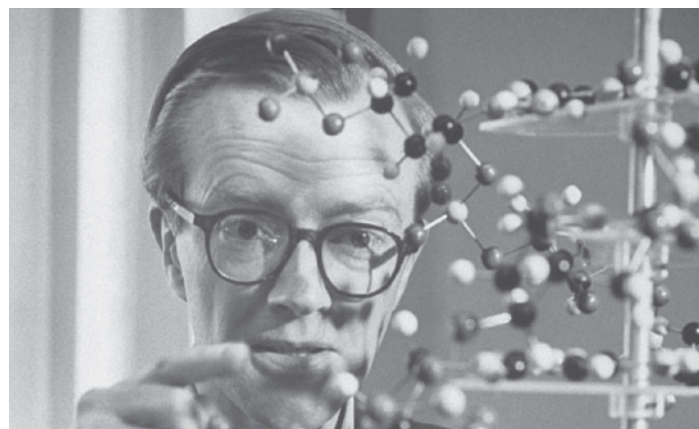
クリックがこの本を書いていたら、どうなっていたらだろうか？ おそらく、現在第6版となっている、ワトソンが1965年に執筆した『Molecular Biology of The Gene(邦題:遺伝子の分子生物学)』は出版されることはなかっただろう。今回この書簡を見たワトソン自身もそう語っている。

2つ目のテーマは、「頭脳流出」に関する新事実についてだ。これで、この記事締めくくるとしよう。「頭脳流出」という言葉は、1960年代初頭に英国人研究者が主として米国に脱出してしまうことへの懸念から生まれた造語である。まずは、ウィルキンズからクリックへの1959年5月9日付の手書きの書簡だ。クリックは当時、サバティカルでハーバード大学化学科にいた。当時結婚したばかりのウィルキンズは、クリックからの祝福の言葉に感謝し、そして「もっと重要な話」に入った。



あなたは英国に戻って来ないのではないかと皆が噂をしています。もし戻って来なかったら、MRCの研究ユニットが回復不可能な打撃を受けるのは確実で、ひょっとすると崩壊してしまうかもしれません。そうなれば、英国における分子生物学の発展は止まるでしょう……そして、もし分子生物学が衰退してしまったら、生物学全般にどのような影響を及ぼすのでしょうか？

……あなたを英国に引き留めるために我々にできることがあるなら、知らせてください。ここが、いろいろな意味で腐っていることはわかっています。けれども、まだ絶望的と言うほどではありません。我々には誇るべきものがたくさんあります。フランシス、どう



二重らせんの「第三の男」こと、モーリス・ウィルキンズ(左)。フランシス・クリックとモーリス・ウィルキンズの間で交わされた書簡には、両者の対照的な性格が表れている(右)。

か私や、ほかの人々に教えてほしい。私にも、できることがあるかもしれない。……あなたが本当に行ってしまうのなら、大いに騒ぎ、物議を醸してほ
しい。人々の目が覚めるように！

実際、多くの英国人研究者が、クリックを失うことを危惧していたようだ。新しい資料からは、ネビル・モットからの手紙も見つかっている。モットは、ブラッグが英国王立科学研究所に移った後にケンブリッジ大学キャヴェンディッシュ研究所の所長に就任した人物である。以下は、1959年3月6日付の手紙の全文だ。

親愛なるフランシス

あなたから手紙をもらえるとは、とてもうれしいことです。

あなたのMRCの研究棟を建設する計画は順調に進んでいます。ですからどうか、誘惑に負けないでください……。

ネビル・モット

人々が感じていた脅威は現実のものだった。当時、クリックの最も親しい同僚はブレナーだった。コールド・ス

プリング・ハーバーのブレナー・コレクションの中には、クリックとブレナーの間で交わされた書簡が多数含まれているが、我々はその中から当時の事情がよくわかる2通の手紙を発見した。1959年3月17日付の手紙の追伸には、「仕事のオファーが複数来ていますが、これについては6月に話し合しましょう」と書かれている。けれどもクリックはそんなに長く待てなかったとみえて、4月11日に再度ブレナーに手紙を書いている。

誘惑に関しては、新しい研究室(LMB)の計画が通るなら、そして、もしあなたがケンブリッジにとどまると言うのなら、私もケンブリッジに残ろうと決心しました。でも、どうか当面は他言しないでください。

英国の分子生物学の発展にとって幸運なことに、クリックは米国から戻って来た。彼はブレナーと共にケンブリッジに残ったのだ。だが、その後、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)に移ると、それき

り戻って来なかった。この貴重な私的書類を残して。

(終) ■

(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・ハーバー研究所バンブリー・センター理事。

謝辞：

寛大にも書類をCSHL資料室に寄贈してくださったSydney Brenner氏と、今回の寄贈に尽力してくださったMila Pollock氏(CSHL図書館および資料室理事)に感謝いたします。

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・ウィルキンス著 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』 ブレンダ・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/石館康平/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).

RESEARCH HIGHLIGHT

ハジラミのカムフラージュ

Lice in hiding

2010年8月26日号

Vol. 466 (1024)

鳥に寄生するハジラミは、羽毛の色と自分の体色が似るように進化することで、宿主に見つかる可能性を減らしているらしい。

背景に自分の姿を溶け込ませるカムフラージュは、捕食者と被食者の間についてはすでに十分な報告例があ

る。それと同じ進化の傾向が、寄生動物と宿主の間にも存在することを、ユタ大学(米国ソルトレークシティ)のSarah Bushらが明らかにした。

彼らは、体色が黒っぽい鳥と白っぽい鳥から多くのハジラミを採取して比較分析した(写真はその一例)。すると、羽衣全体に棲み着くハジラミは、体色を羽衣の色に合わせていた。ところが頭部に棲み着くハジラミは、必ずしも合わせていなかった(差し込み写真)。これは、鳥の羽づくろいが、ハジラミ



T. HAMPEL/UNIV. CHICAGO

の体色の進化を後押ししていることを示唆する。

鳥は自分の頭部については、見ることも身づくろいもできないので、頭部のハジ

ラミには、カムフラージュするような方向に選択圧がかからないと考えられる。

(翻訳：船田晶子)

ゲノムブロガーの登場

The rise of the genome bloggers

EWEN CALLAWAY 2010年12月16日号 Vol. 468 (880-881)

www.nature.com/news/2010/101215/full/468880a.html

バイオインフォマティクスの愛好家が、
ルーツ（自分の先祖の出身）さがしを深化させている。

Joseph Pickrell が自分のゲノムデータをアップロードして数時間後、匿名のブロガーは、Pickrell がアシュケナージ系ユダヤの出身だと結論付けた。シカゴ大学（米国イリノイ州）の大学院で遺伝学を研究する Pickrell は、当初はこの結論に懐疑的だった。しかし親類に聞いて、19 世紀末にポーランドから米国に移住した曾祖父がユダヤ人であることを知ったのだ。「自分の中にユダヤ人の血が流れているとは全く知りませんでした」と Pickrell は話す。

Pickrell の DNA を分析したのは、ハンドルネーム Dienekes Pontikos という人物だ。彼は、最先端のゲノム分析と Web 2.0 を融合させた野心的なプロジェクト Dodecad Ancestry Project を主宰している (<http://dodecad.blogspot.com>)。読者が提供した遺伝データを分析して、個人のルーツや人類集団の歴史を明らかにし、知見をネット上で公開しているのだ。Pontikos は、少しずつ増えてきた「ゲノムブロガー」の 1 人。この集団は正式な科学者と愛好家の混合体で、公開されている計算生物学ツールを使えば、興味本位のバイオインフォマティクス愛好者でも新発見が可能であることを証明している。

ランバム・ヘルスケア・キャンパス（イスラエル・ハイファ）で人類史を研究している集団遺伝学者 Doron Behar は、「ゲノムブロガーは断じて素人のレベルではありません。彼らの仕事には頭が下がります」と話す。

Pontikos はこれまで、2200 人以上の個人の DNA をもとに数十万もの一塩基 DNA 変異を明らかにした。そのうち 200 例以上は、遺伝子検査会社にゲノムを分析してもらった読者が提供したものだが、残りは公開データだ。データの提供者（身元は非公開）は、自分のルーツを知りたい人がほとんどだ。

ギリシャ出身の自称「人類学愛好家」である Pontikos は、個人のルーツ探しよりも、人類集団遺伝学で見過ごされがちな集団の歴史に光を当てることに、関心を持っている。例えばすでに、ユーラシア大陸北部に住む人々のゲノムを分析し、フィンランド北部の集団とシベリア中央部の集団との遺伝的つながりを明らかにしている。

一方、Eurogenes 系図プロジェクト (<http://bga101.blogspot.com>) を運営している 31 歳のオーストラリア人 David Wesolowski も、研究が不十分な集団に注目している。Wesolowski と同僚は、イランとトルコ東部に住む人々の集団の歴史を調べた。自分の DNA を分析用に送ってきた人々^{まつせい}は、自分たちを古代アッシリア人の末裔と考えているが、調べたところ、暫定的な知見として、かつてその祖先はその地方のユダヤ人集団と混血した可能性が示唆された。Wesolowski はこの結果を査読付きのジャーナルに投稿しようと考えている。

しかし、Pontikos には論文発表は必要ないようだ。E メールで「私には、自分が書くものを吟味してくれる完全無

欠の世界があるからです」と書いてきた。実際、ブログのコメントには「主成分分析の固有値を示してください」といったものがあり、査読者がいるようなものののだ。

Dodecad と Eurogenes が使っている技術やオープンソース・ソフトウェアは、遺伝学者の開発した最先端のもので、と Pickrell は指摘する。ただ、カリフォルニア大学ロサンゼルス校（米国）の集団遺伝学者 John Novembre によれば、明快な解釈が必ずしも容易ではなく、査読付き文献ではなお議論の最中だという。

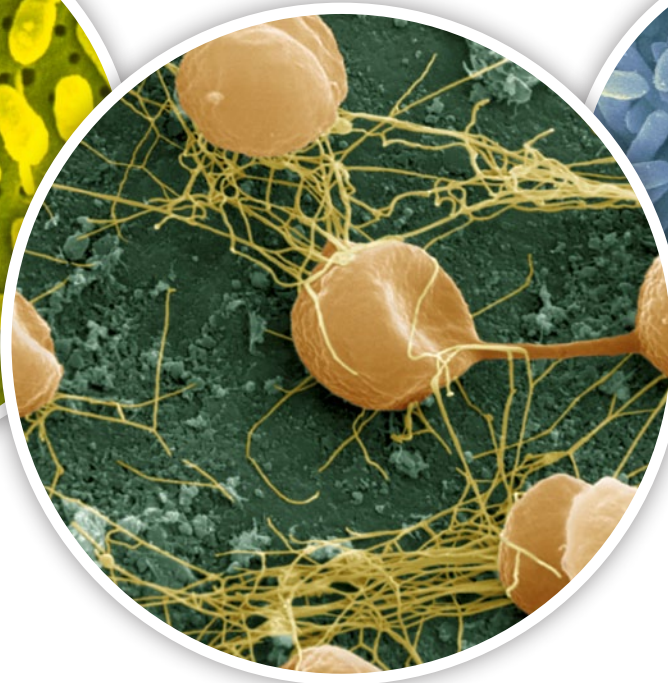
プライバシーに関する懸念については、スタンフォード大学（米国カリフォルニア州）の法学生物科学センター所長である Hank Greely は、「そんなに心配することはないと思います」と語る。両プロジェクトとも、多少改善の余地はあるかもしれないが、適切な保護対策がなされているという。

その一方で、生物医学的な応用に必要な遺伝子と形質のデータを得ることは、素人には不可能に近い。米国立衛生研究所の database of Genotypes and Phenotypes のような公的リポジトリは、厳しくアクセス制限されている。

それを変える取り組みの 1 つが、ハーバード大学医学系大学院（米国ボストン）の遺伝学者 George Church が主導する Personal Genome Project だ。10 万人の全ゲノム配列と形質を、あらゆる人に無条件で公開することをめざしている。現在、1000 人の参加者が登録され、うち 10 人分のほぼ完全なゲノムが公表されている。

質の高いデータが利用しやすくなれば、これら非公式のバイオインフォマティクスが活発化し、コンピューターの得意な人々がゲノミクスに大きく貢献できるようになる、と Church は主張している。

（翻訳：小林盛方、要約：編集部）



新・細菌論

The new germ theory

LIZZIE BUCHEN 2010年11月25日号 Vol. 468 (492-495)

1種の細菌単独ではなく、異種細菌の集団として細菌をとらえる試みが始まった。

極限環境に棲む微生物の研究者の助けを借りて、

ヒトの腸内細菌叢と病気の関係に迫る医学微生物学者も登場してきた。

Jillian Banfield の研究対象はどれも、地獄のような穴の中に棲んでいる。2010年9月、彼女は米国カリフォルニア州アイアン山にあるリッチモンド鉱山の、暗く暑くて硫黄の匂いのする坑道にいた。そこでは、青い鍾乳石から、これまで見つかった中で最も酸性度の高い pH -3.6 という水が滲み出ていた。その1年ほど前、彼女は、コロラド州ライフルにある閉鎖された核処理施設の下から、ウランやヒ素、モリブデンなどの金属が含まれた有毒な「スープ」を汲み上げていた。彼女はどちらの場所からも試料を採取して、カリフォルニア大学バークレー校（米国）の研究室へ持ち帰り、試料に含まれる DNA の塩基配列を解読して分析した。

どんな細菌や古細菌、ウイルス、菌類が、そうしたひどい極限環境を棲み家とし、どうやってそこで生き延びているのかを解明しようとしたのだ。

そして、今から1年ほど前、Banfield は4つあった調査地にさらに1か所を追加した。その新しい調査地とは、シカゴ大学（米国イリノイ州）の新生児集中治療処置室にいる体重1.5キログラム以下の未熟児のお腹の中の、鉛筆ほどの細さの腸だ。Banfield はそれまで人体内の微生物を扱ったことはなかったが、リッチモンド鉱山の微生物群集に関する研究が評判となり、2人の医学研究者が彼女に注目したのだ。

1人は、当時シカゴ大学にいた新生児

外科医で、現在ピッツバーグ大学（米国ペンシルベニア州）にいる Michael Morowitz。彼は、未熟児の内臓が傷害され死亡することもある壊死性腸炎を研究していた。もう1人はスタンフォード大学（米国カリフォルニア州）の David Relman で、現在急成長中のヒト微生物叢研究という分野の先導者の1人である。ヒト微生物叢とは、ヒトの体内や体表に常在する膨大な微生物の集合体のことである。2人はBanfieldに、人体という未開拓の場所にいる微生物群を解明するのに手を貸して欲しいと頼んだ。

Banfield はこれを受け、3人は共同研究に取りかかった。彼らは現在、Banfield の研究手法をヒトの腸に応用

して、識別しにくい微生物の種や菌株が壊死性腸炎と相関するかどうか、この腸炎を促進する可能性があるかどうかを解明するため、微生物の遺伝子の塩基配列を解読し詳細に解析しているところだ。同様の共同研究は、現在ほかでも進められており、ヒトの腸や皮膚、口腔その他の体表面にある微生物叢を調べる研究者と、Banfieldのような、土壌や海水、毒性廃棄物処理場といった極限環境の微生物の世界を研究して実績を挙げた微生物生態学者とが手を結んでいる。

ヒト微生物叢の研究者は手助けを必要としている。Relman やほかの多くの研究者がこの5年間に行った研究で、ヒト微生物叢の遺伝子カタログ（微生物の種類と場所の一覧）の作成という目標に向かって大きく前進したが、予想外の圧倒的な複雑さも明らかになった。ヒト1人の体内や体表に棲み着いている何百もの微生物種は相互作用し、共進化を遂げており、各個人の抱える微生物集団どうしでは種の重なり合いががっかりするほど少ないため、微生物と健康の関連性の解明はこれまで考えられていたよりもずっと難しそうである。

研究者らは、人体に常在する微生物が免疫機能や栄養摂取、薬剤代謝、あるいは肥満やがん、自閉症、多発性硬化症といった多様な病態に、どんな役割を果たしているかを知りたい。しかし、それを知るには、膨大な量の遺伝子塩基配列を選び分けて、叢内にどんな微生物がいるのか、1日もしくは一生の間、あるいは食事の変化後にどのように変化するのか、特定の微生物種、微生物種どうしの組み合わせ、もしくは微生物の代謝産物によって、どの機能が発揮されるのかを明らかにする必要がある（次ページコラム「超個体を探る」を参照）。

微生物生態学者らは、専門知識や生体情報学の手法をいくつか提供し、大量のデータに埋もれた情報を引き出すのを助けている。また、ヒト微生物学の分野に、コロニー形成や遷移、変化からの復元力、群集内の微生物どうしの競争や協力と

いった、生態学の基本概念も持ち込みつつある。「この分野に足を踏み入れるなら、生態学を考慮せざるを得ません」と、腸内微生物学のリーダーの1人であるワシントン大学（米国ミズーリ州セントルイス）のJeff Gordonは言う。その代わり、ヒト微生物学の専門家らは、資金提供や一般市民の関心を引き寄せるといふ、生態学者にはなかなかできない役どころを果たしている。「環境微生物学と医学微生物学との間にあった壁が、崩れつつあるのです」とGordonは話す。

圧倒的な数の微生物

赤ちゃんが生まれて最初に微生物にさらされるのは出産のときである。赤ちゃんは無菌状態の子宮から押し出されて腔内をくぐり抜け外に出るが、このとき母体の腔液や排泄物が体に塗り付けられる。それ以降、人体は常に微生物の襲来を受け続けることになる。皮膚や眼、肺、消化管など外界にさらされる器官にはすべて、新しい細菌やウイルス、菌類が定着する。しかし、10年前までは、歴史的、文化的、技術的な問題に阻まれて、これらの微生物を全部まとめて調べることはできなかった。19世紀後半にロベルト・コッホが疾患の細菌病因論（germ theory of disease）を推し進めて以来、臨床微生物学者らはサルモネラやエボラウイルス、ペスト菌など体外由来の病原体に執着し、それらを同定して単離・培養し、疾患との因果関係を明らかにしてきた。その一方で、体内や体表に常在する微生物は、ヒトの健康にはあまり重要でないものとして片付けられることが多かったのだ。

しかし、微生物生態学者らの目の付けどころは違っていた。コッホが炭疽菌や結核菌を初めて純粋培養したところ、環境微生物学ではようやく、「平板培養での細胞計測数の異常」という現象が認識され始めた。例えば池の水1滴の試料を分析したとき、それを顕微鏡で見ると微生物細胞が膨大な数あるのに、同じ試料を平らな培地で培養して増殖させると細

胞数が非常に少なくなるという、劇的な違いが観察されたのである。自然の生態系をそっくりそのまま研究することに熱心だった当時の研究者らは、これらの培養不可能な微生物の正体をすべて突き止めることに力を注いだ。

1985年、ある微生物学者チームが、試料中の細菌や古細菌の菌体数を調べるのできる方法を発表した。これは、すべての種で異なる16SリボソームRNAの塩基配列を調べることで、1つの試料内の細菌や古細菌の菌体数を調べることができる方法である¹。この種の遺伝学的解析法は、すぐに環境生物学の分野で当たり前に使われるようになった。Banfieldは、アイアン山で酸性鉱山排水の研究を始めて間もない1995年に、この解析法を使い始めた。

臨床微生物学者がこうした解析法に注目するまでには、さらに時間がかかった。1999年にRelmanは、ヒトの体内や体表にいる微生物のそうした調査として最初期の研究結果を発表し、健康な男性の歯からこすり取った歯垢の16Sリボソーム調査結果を、培養皿で増殖させたものと比較した²。その結果、培養に基づく方法では大部分の微生物種が見逃されてしまい、その多くはまだ一度も解析されていないことがわかった。

それから数年の時間と、こうした解析手法によって、ヒト微生物叢の全体像は、大量かつ広く存在していて不可欠なものという、従来よりはるかに高度で複雑な姿で描かれるようになった。食物からエネルギーや栄養素を取り入れたり、必須アミノ酸を合成したり、肌を保湿したり、免疫系の発達に不可欠な役割を果たしたりしていることがわかってきたのである。「ヒト微生物叢は、宿主のヒトが持っていない調理器具一式を台所に用意しているようなものです」とGordonは話す。この全体像を表すものとして、昨今よく言われる言葉が「超個体（superorganism）」である。これは、ヒトとそのパートナーの微生物たちが、それぞれお互いにサービスを提供して共進化してきたと考える

ものだ。(Gordon は、文化人類学者も 1 人雇っている。この学者は、ヒトが超個体の膨大な数の細胞のうち 99% が微生物であることを知ったとき、自己イメージがどう変わるかを調べている。)

「ヒトが 1 個の生物体としてどのように機能しているのかを真に理解するには、ヒト微生物叢全体を含める必要があることを実感します」と、米国立衛生研究所 (米国メリーランド州ベセスダ) でプロジェクト責任者を務める Lita Proctor は話す。同研究所は、2007 年後半に、5 か年計画で予算 1 億 1500 万ドル (約 95 億円) のヒトマイクロバイオーーム計画 (HMP) を立ち上げた。この計画は、人体に常在する微生物の総体 (マイクロバイオーーム) のかなりの部分の塩基配列を解読するために立てられた。世界中で同様の目標をめざして作られた計画の 1 つであり、国際ヒトマイクロバイオーーム・コンソーシアムの傘下に入っている。

2010 年 3 月、主要なヒトマイクロバイオーーム研究組織の 1 つである「メタ

HIT」(欧州連合と中国を含む) が、124 人の糞便から取り出した微生物ゲノムのカタログを発表したが、そのヒト集団全体を通じてよく見られる微生物が 1000 種以上、また、330 万種類の微生物遺伝子 (ヒト遺伝子の数の 150 倍) が見つかった³。その数か月後、HMP の研究チームが、人体のさまざまな部分から得た 178 の微生物ゲノムの塩基配列解読と解析を完了し、タンパク質をコードする遺伝子が 3 万種類以上見つかった⁴。「我々が今話題にしているものは、ヒトゲノムの 100 倍の大きさがあります。我々は今のところそれを理解しておらず、しかも我々の健康や生命力と密接に結びついているのです」と Proctor は話す。

異例の容疑者

Relman が Banfield の研究をよく知ることになったのは 2000 年の初めだ。そのとき彼女はすでに、酸性鉱山排水に棲む微生物群集の動的構造や代謝過程の研究者として認められていた。Banfield

のチームは、微生物の大量の DNA 塩基配列断片から、その持ち主である微生物の種や菌株を知るための手法を開発した。これに対して、16S リボソームを使った手法や、大半の自動生体情報解析法では、近縁の菌株どうしの違いを明らかにしたり、わずかな遺伝子再編を見つけたりするのが難しい。

Banfield のチームはまず、十数種の主な微生物に由来する DNA 断片から完全なゲノムを組み立て、その後、きめの細かい解析に取り組んだ。つまり、主要な種の近縁な菌株を見つけるられるほどにはきれいに並んでいない DNA 断片の箇所を、手動で調べたり、多数派の種と少数派の種の身元や代謝、機能を探り出すためのソフトウェアを開発したりした。これは、微生物群集の構成種が時間経過につれてどう機能し変化するかを細かく調べるのに役立った⁵。また、遺伝子の分布からは、微生物群集が行っていた生物地球化学的な過程も明らかになった。

Relman は、人体のマイクロバイオー

「超個体」を探る

ヒト微生物叢に関する大きな疑問



ヒト微生物叢はどのくらい安定か？

腸内に微生物個体群の集合体である微生物叢が確立されたあと、それらが年齢や食習慣の変化、活動程度、

共同居住者の有無、あるいは抗生物質の投与によってどう変化するかはよくわかっていない。抗生物質シプロフロキサシンを 2 回投与すると、健康なヒトの腸内微

生物叢が大きく損なわれ、完全に元どおりにならないことが明らかになっている⁷。

微生物叢は診断に使えるか？

患者の微生物叢やそれらの代謝産物を解析することで、疾患に直接関連する微生物やさまざまな病態のバイオマーカーが見つかる可能性がある。また、個人の微生物叢に合わせて治療法を調整できるようになるかもしれない。

微生物叢は変化することがあるか？

研究から、食習慣と微生物叢は密接に関係することがわかっているため、適宜調整した食事を取って、最も

有益な微生物群集を支援することができるかもしれない。繊維分やビタミンの豊富な特定の食品で特定の微生物増殖を促進させる「プロバイオティクス」は、現在、食品業界の熱い視線を集めている。なお、食品や経口薬の形で微生物を摂取する「プロバイオティクス」はすでに普及しているが、それらが何か有益な作用を持つことを明確に示した証拠は今のところない。

もっと急進的な方法として「便移植」がある。腸内微生物叢が大きく損なわれた患者に、この方法を最後の手段として用いて恩恵をもたらした事例がいくつか報告されている。しかし、ある人に

ムもこれと同程度に詳しく解析したいと考えた。「この手法がほんとうに重要なものかどうかを調べるのに、このテーマが合理的で素直な選択だったからです」と彼は話す。だが、Banfield のやり方は、ごく単純な群集を分析するのに使われていたものだ。極端な環境のリッチモンド鉱山で繁殖できる微生物は数種程度にすぎず、最も優勢な種が群集内の細胞の約40%を占めている。しかし、成人の腸には普通、数百もの微生物菌株もしくは種が含まれ、最も数の多い種でも全細胞の約4%しかいない。「彼女の解析システムは簡単で、この種の解析をするには十分ですが、人体は鉱山とはまるで違っているように思われました。人体の微生物群は少なくとも1桁は多かったからです」と Relman は言う。

その後、2009年1月に Morowitz が加わった。「彼はある日、突然電話をかけて」きて、壊死性腸炎について話したのだと Banfield は回想する。「彼は、この恐ろしい病気について本気で心配して

いました。私自身は彼のひたむきな姿勢に惹かれたようなもので、何かお役に立てればと思ったのです」。壊死性腸炎は、極低出生体重の未熟児の約7%がかかるが、腹部の異常な膨らみや血まみれの便といった症状が本格的に現れるまで、この疾患だと診断できず、治療も始められない場合が多い。重症の場合、腸の一部または全部を外科的に切除しなければならず、多くは死亡する。医学界では原因となる病原体を何十年にもわたって探してきたが、成果は得られていない。「私は、病因となる決定的な証拠を見つける方向に進んでいないのでは、と疑念を持ちました。そこで、この問題を調べる別の方法を探しまわっていたところだったのです」と Morowitz は言う。「私は、生物群集全体をひとまとめにして解析していた研究者に関心を向けるようになりました。そんな経緯で、Jill の論文を読むに至ったのです」。

Banfield と Morowitz、Relman は、Banfield の手法を試すには人体が完璧

な実験場になりそうだと気付いた。小さい新生児はひとりひとりがわずかに十数種の微生物種しか持たず、これは酸性鉱山排水と同程度である。また、新生児集中治療室は滅菌され、環境がしっかり調節されており、その中で研究できる。

3人の研究は、これまでのところ、健康な赤ちゃんに重点を置いたものだ。Morowitz は、赤ちゃんの出生後ほぼ毎日、便を採取し、DNA を単離して塩基配列解読の高速処理センターへ送り、得られた配列データや臨床上の情報を Banfield と Relman へ渡している。Relman は、すべての採取時点での16S リボソームの塩基配列を解析し、微生物種とその菌体数を測定する。その後 Banfield が、より詳細な塩基配列解読とゲノム解析のために少数の時点を選び、存在する微生物の種、菌株、遺伝子を特定するのである。

2010年の末に発表された、研究チームの最初の成果は、この手法がうまくいくことを示している。彼らは、妊娠28

は無害な微生物が、別の人では病気を引き起こす可能性もある。病気になったときに自分の腸に微生物叢を再定着させるためには、他人の便を移植するよりも、「自分の骨髄を保存するのと同様に、自分の便を保存しておくのが得策かもしれない」と、スタンフォード大学（米国カリフォルニア州）の David Relman はいう。「ただし、便そのものを増殖させることはできないので、凍らせておいた便を腸に戻すのです」。

微生物叢は行動に影響を与えるか？

自閉症や統合失調症など、行動に影響するいくつかの症状は、消化器の異常と結

びつけられており、症状は食習慣とつながっていることが多く報告されている。微生物はさまざまな化合物を生産し、それらが脳の活動に密かに影響を及ぼしている可能性はある。自閉症児の微生物叢の構造が、自閉症でない子どもの構造と異なっていることを示した研究もある⁸。因果関係は何も実証されていないが、一部の研究者は、微生物叢を解析することで、臨床医がそうした疾患を診断して、症状が出る前に治療し始めることが可能になるのではないかと考えている。

現代生活は微生物叢にどのような影響を及ぼしているか？

特に富裕な先進国では、ヒトが接触して体に定着させた微生物群が、抗生物質のぜいたくな使用や厳しい衛生基準、帝王切開の増加、母乳育児の減少、加工食品の多い食生活のおかげで、劇的に変化してきたと考えられる。「衛生仮説」の1つでは、ヒトが生育する環境が清潔すぎて菌が少ないと、体内の微生物叢が変化して、免疫系の正常な発達を妨げ、アレルギーや喘息、クローン病、および自閉症の発生率上昇につながるおそれがあると主張している。これを「微生物叢仮説」と呼ぶ研究者もいる。その一方で、現代の環境ならではの毒素への対処に役立つよう

に微生物を順応させることも可能になるかもしれない。

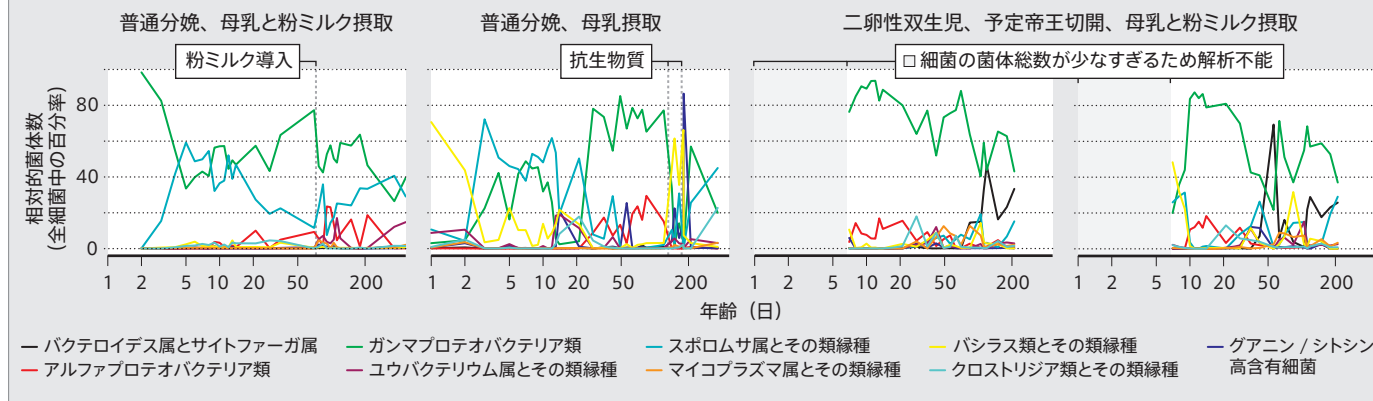
微生物叢は科学捜査でも使えるか？

犯人の体液や指紋から採集した微生物叢を解析することで、犯人について情報を得たり追跡したりすることができるかもしれない。これによって、容疑者が何を食べ、どこで暮らし、どれくらい活動的で、特定のペットを飼っているかどうか明らかにできると考えられる。ただし、時間とともに微生物叢がどの程度変化するか、あるいは、ほかの誰かが同じ箇所を触った後の場合など、注意すべき問題はたくさんある。

L.B.

赤ちゃんに最初に宿る細菌群

出生後の赤ちゃん 4 人の、腸内微生物の個体群変動。たとえ双子でも個人差が大きい。



週目で生まれた未熟児の誕生後 3 週間を調べ、微生物群集が急速に変化していくようすを菌株レベルの詳しさに追跡することができた。例えば、シトロバクター属 (*Citrobacter*) 細菌の 2 菌株の菌体数変化も区別できた。この細菌種はヒト腸内に広く見られ、新生児髄膜炎と関係付けられている。両菌株の塩基配列は 99% 以上同じである。この研究の最終目的は、特定の菌株や群集構造が壊死性腸炎と相関しているのかどうかを突き止めることだ。それができれば、壊死性腸炎を発症しそうな未熟児を見つけ出すのに役立つだろうし、この腸炎を予防する手がかりを得る助けにもなるだろう。

研究チームはさらに幅広くとらえ、生態学の原理が人体の微生物系にどの程度当てはまるかを探るのに、新生児の腸にみられる単純なモデル群集が役立つと考えるだろうと考えている。「これらの科学的な疑問は、まさに分野を超えたものです」と Banfield は話し、その一例がコロニー形成だという。つまり、最初にどんな生物が到来し、その群集がどう進化するかという問題だ(上図参照)。「これは生態学で言うところの遷移です」と Banfield は言う。「酸性鉱山排水の水たまり表面を見て、そこに最初に来た生物を考えるのと、消化管が無菌状態の新生児とそこにやってくる最初の微生物を考えるのは同じことなのです」。

抗生物質の影響

同チームのほかにも、人体の微生物生態系が、病気の最中や食習慣の変化、抗生物質投与後にどのように順応するかを調べている共同研究グループがある。「人体の微生物群集は、種々の攪乱に^{かくらん}応答して絶えず変化している可能性が高い」と、メリーランド大学医学系大学院(米国ボルティモア)の微生物学者 Claire Fraser-Liggett は話す。彼女は、カリフォルニア大学バークレー校の土壌微生物学者 Janet Jansson との共同研究で、クローン病と呼ばれる腸疾患と関連したマイクロバイオーームを、スウェーデン人の一卵性双生児で調べているところだ。「腸内の微生物群集は、抗生物質による攪乱が起こる前の状態に戻れるくらい回復力があるのでしょうか。この解答を得るために何を測定すべきでしょうか。回復期間中には何が起きているのでしょうか。これらはすべて、生態学者が数十年前からずっと取り組んできた疑問につながります」。

ヒト微生物叢にはかなりの個人差があることが多くの研究でわかっており、たとえ一卵性双生児でも、程度は少ないにしろ個人差がある。こうした個人差の説明にも生態学の概念が役立つ。生態学的には、冗長性という考え方で適切な説明ができる。この考え方によれば、どの個人の微生物叢も、重要な遺伝子や生物学的機能のコア・セットの提供源となつて

おり、それらをコードする種が何であるかには関係がない⁶。「地球上のさまざまな場所にある草原を見た場合、そこにはある共通の形態や機能があります。しかし、場所が異なれば、群集を構成する種も全く異なっているのです」と Gordon は例を挙げて話す。Gordon らは、多くの個人のマイクロバイオーームについて塩基配列解読および解析をもっと詳しく行うことで、それらの中核的機能が何であるかを明らかにできると考えている。一方 Relman は、稀少だが群集内できわめて重要な役割を果たす「キーストーン種」を見つけ出すことに関心を寄せている。彼は現在、スタンフォード大学の同僚で生物工学者の Stephen Quake と、ヒトの腸から採取した単一の微生物細胞のゲノム塩基配列解読を進めている。

しかし、ヒト微生物叢の真の密度、多様性、複雑さは、ほかの微生物群集とは一線を画している。「数十億種類の塩基配列、数万種類のタンパク質や代謝産物など、膨大なデータを得ています。解析処理がとてつ追いつきません」と Jansson はため息をつく。人体の細胞とそこに棲む微生物たちの間には絶え間ないコミュニケーションがあり、それが全体として複雑さを幾重にも増してしまっている。「複雑さは挑戦しがいのある問題ですが、我々はまだ全くその段階まで行っていない」と Relman は言う。

「ヒトマイクロバイーム計画の目標設定については、まだあまりはっきりしません。ヒトゲノム計画の目標は、1 人分のヒトゲノムの高品質な概要塩基配列を作成することでした。しかし今回の場合、ヒト微生物叢の複雑さを考えると、いずれ何か終着点が見えてくると考えるほど楽観的ではいられません」と Fraser-Liggett は話す。彼女によれば、ヒト微生物叢はあまりにも多様性が高く、「永遠に抜けられないブラックホールのように思えて、資金提供機関は尻込みしてしまう」という。

以上のことを踏まえれば、臨床応用などははるか先の話だ。たとえ研究者が特定の微生物種と疾患の間に十分納得できる関連性を見つけたとしても、何らかの選択性をもって微生物群集を操作し、1 つの種を排除したり別のを組み込んだりできる手段はない。抗生物質は、1 つの種ではなく複数の微生物種をまとめて殺

してしまうことが多く、また、大半の微生物種は培養できないので増殖や移植が不可能である（便の塊をそのまま移植するのに成功した例は少数だが存在する）。特定の微生物種の移植がたとえ可能になったとしても、移植先でその新参の種が生着できる保証はない。

ヒト微生物叢を解明するための枠組みは生態学から提供されつつあるが、一方で、これらを臨床に応用しようとしても、臨床分野では病原体に重点を置く旧来の微生物学がまだ幅を利かせている。そしてこの状態はすぐには変化しそうにない、と Morowitz は言う。「どこかの病院に行って、白衣を着た誰かに近づき、微生物学について尋ねてみましょう。彼らが知っている微生物像のほとんどは、血液検体を培養検査へ出して単離される生物についてのものでしょう」。

自身も研修を受けた臨床医である Relman は、この点は理解できると話す。

「医師たちは意識が病原体に縛られており、また、臨床現場で対処すべき実際的な問題を抱えています。彼らは微生物像の多様性をこれ以上必要としていないわけです」。しかし、それは変わるべきだとし、彼はこう語った。「1 つの疾患に 1 つの病原体という一面的な見方から脱却しなくてははいけません。微生物の『集団』こそが研究の単位であるべきなのです」。

（翻訳：船田晶子）

Lizzie Buchen は、米国サンフランシスコを活動拠点とするフリーランスのライター。

1. Lane, D. J. et al. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **82**, 6955-6959 (1985).
2. Kroes, I., Lepp, P. W. & Relman, D. A. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **96**, 14547-14552 (1999).
3. Qin, J. et al. *Nature* **464**, 59-65 (2010).
4. The Human Microbiome Jumpstart Reference Strains Consortium. *Science* **328**, 994-999 (2010).
5. Dick, G. J. et al. *Genome Biol.* **10**, r85 (2009).
6. Turnbaugh, P. J. et al. *Nature* **457**, 480-484 (2009).
7. Dethlefsen, L. & Relman, D. A. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* doi:10.1073/pnas.1000087107 (2010).
8. Parracho, H. M. R. T., Bingham, M. O., Gibson, G. R. & McCartney, A. L. *J. Med. Microbiol.* **54**, 987-991 (2005).

物議をかもし臨床試験

Trial draws fire

DECLAN BUTLER 2010 年 12 月 9 日号 Vol. 468 (743)
www.nature.com/news/2010/101208/full/468743a.html

ノーベル賞受賞者のモンタニエ博士が、
自閉症と感染症との関連を検証しようとしている。

Luc Montagnier は、自閉症の治療法に対して、主流から外れた見解を持っている。彼は今、米国カリフォルニア州サンディエゴを本拠地とする自閉症研究所 (ARI) から支援を受けて、自閉症の子どもに抗生物質を長期投与する治療法の小規模な臨床試験に着手しようとしている。専門家たちは Montagnier の研究に批判的であり、ノーベル賞受賞者のステー

タスに惑わされて、自閉症への正当的とはいえないアプローチを信用してしまう人々が出るのではないかと懸念している。

ARI から 4 万 (約 330 万円) ドルの資金提供を受けてフランスで行われる予備的臨床試験では、約 30 人の自閉症児と対照群となる約 20 人の健常児に対して、細菌感染のスクリーニングを行った後、数か月にわたって抗生物質の投与を行

い、子どもの状態が改善するかどうかを検証する計画になっている。Montagnier は、ヒト免疫不全ウイルス (HIV) を発見した業績により、2008 年にノーベル医学生理学賞を共同受賞している。彼は、感染症が自閉症を引き起こしたり、それに関与したりする可能性を示唆する確実な科学的証拠がないことを認めながらも、多くの自閉症児の両親や医師たちが、抗生物質の長期投与により「めざましい」改善が見られたと報告していると主張する。ARI の所長である Stephen Edelson は、この「最先端の、革新的な」研究に「胸を躍らせて」いるという。

ミシガン大学アナーバー校で自閉症の研究をしている臨床心理学者の Catherine Lord は、この臨床試験は「主流派の科学に基づくものではありません」という。Lord によると、食事制限、サプリメント投与、キレート療法など、自閉症の代替療法として広く実践されて

いるものの多くは、「疑似医学的な、証拠に基づかない科学であり、疑似科学に近いもの」であると言う。

けれども Edelson は、自閉症には非常に多くの病型があり、わからないことも多いため、「あらゆる角度から研究する必要があります」と言う。代替療法には科学的基礎がないとする批判については、「10 年前ならそのとおりであったかもしれませんが」というが、批判者たちは、この 10 年間にどれだけ多くの研究が行われてきたかをわかっていないと反論する。

「私はただ、この子どもたちを助けたのです」と Montagnier は言う。彼は、主流派の科学者の多くが自分の研究を疑っていることを認めながら、自分の見解を擁護する。「1983 年の時点で、私たちが単離したウイルスがエイズの原因であると信じる人間は、私を含めて 10 人ほどしかいなかったのです」。

その後、Montagnier はエイズ研究の非主流派の理論を支持するようになり、ほかの科学者たちと厳しく対立している。つい最近も、エイズとの戦いにおいては抗レトロウイルス薬を投与するだけでは不十分で、抗酸化剤とサプリメントの投与により免疫系を強化することも考えなければならず、アフリカでは特にその必要があると主張した。

コーネル大学（米国ニューヨーク州イサカ）でエイズの研究を行っているウイルス学者の John Moore によると、「HIV がエイズの原因であることを否定する人々やその他のばかげた説を主張する非主流派のグループは、Montagnier が近年、科学の主流から外れて疑似科学路線にくみするようになってきたことを歓迎し、Montagnier が自分たちの支持者になったと喧伝しています」と言う。しかし Montagnier 自身は、HIV がエイズの原因であることを否定する人々は、自分の見解を正確に伝えていない、と言っている。

自閉症の臨床試験は、新しい分野の論争になる。ライム病に対する抗生物質の長期投与療法の見直しを行った米国感染



WIN MCNAMEE/GETTY IMAGES

HIV の共同発見者である Luc Montagnier が、またもや論争を引き起こした。

症学会は、2010 年 4 月に、「抗生物質の長期投与に内在する危険性は、臨床的有用性によって正当化されなかった」という結論に達した。Montagnier は、安全性の問題があることは認めるが、抗生物質の長期投与療法への反対もドグマなのかもしれないと指摘する。そして、臨床試験は倫理規制機関の承認を受けなければならないし、実施に当たっては予防と監督を慎重に行うと言っている。「専門の医師たちはすでに、副作用を回避し、正しい治療法を選択する方法を学んでいます」と彼は言う。

臨床試験のもう 1 つの要素も不信を呼んでいる。研究者たちは、従来の DNA 増幅法により病原体のスクリーニングを行うほかに、問題の多い概念に基づく診断検査も用いようとしているからだ。それは、いちど物質を溶かし込んだ水は、極端に希釈されても、物質に関する記憶を保持しているとする概念であり、フランスの科学者・故 Jacques Benveniste が主張したものである。この説は今日に至るまで研究による裏付けを得ていないが、Montagnier は、水の中で形成される「記憶」構造は低周波数の電磁信号と共鳴すると信じており、インターネットを利用してこの信号を送信できると考えている。彼はまた、病原体の DNA を溶かし込んだ溶液を極端に希釈したものもそうした信号を発すると主張しており、これを慢性感染症の高感度の「バイオマーカー」として利用しようとしている。

Montagnier は水の記憶に関する研究論文を 2 本発表している。1 本は細菌の DNA に関するもので¹、もう 1 本は、抗レトロウイルス薬で治療され、その血液中からウイルスが消滅したように見える患者から、HIV の DNA の電磁信号が検出されたとするものだ²。彼はこれが HIV のリザーバー（貯蔵所）になっていて、抗レトロウイルス治療を中断したり中止したりしたときにウイルスが再び急増する原因になっているのかもしれない、と推測する。*Nature* は数人のエイズ研究者に Montagnier の主張をどう思うか問い合わせた。彼らはこの主張を否定したが、公的にコメントすることは拒否した。

Montagnier は、自分の知見を独立に再現することを計画しているというが、2 本の論文は、ベルリンに本社がある Springer 社が発行し、彼自身が編集委員長を務めている新しい学術誌 *Interdisciplinary Sciences: Computational Life Sciences* で発表したものである。この驚くべき研究結果をもっと権威ある学術誌で発表しようとしなかった理由を尋ねられた Montagnier は、*Nature* や *Science* に投稿していたら、専門家たちは、Benveniste や「水の記憶」への言及を目にした途端に「リボルバーの引き金を引く」と確信しているからだと説明した。 ■

（翻訳：三枝小夜子）

1. Montagnier, L. et al. *Interdiscipl. Sci.: Comput. Life Sci.* 1, 81-90 (2009).

2. Montagnier, L. et al. *Interdiscipl. Sci.: Comput. Life Sci.* 1, 245-253 (2009).

二重投稿に対する規制の厳格化

Self-plagiarism case prompts calls for agencies to tighten rules

EUGENIE SAMUEL REICH 2010年12月9日号 Vol. 468 (745)
www.nature.com/news/2010/101207/full/468745a.html

技術の進歩で二重投稿の発見は容易になったが、
不正行為に対する各国の対応は統一されていない。

他人が書いた論文を自分のものとして発表する行為は盗作だが、自分自身が過去に書いた論文と同一内容の論文を新たに発表する「二重投稿」も罪になるのだろうか？ 二重投稿は論文盗用よりは小さな不正行為に見えるかもしれないが、近年、厳しく監視・調査されるようになってきた。2010年11月下旬には、カナダのクイーンズ大学（オンタリオ州キングストン）で、数年前から二重投稿をめぐる紛争が起きていたことが明らかになった。

クイーンズ大学機械材料工学科の名誉教授 Reginald Smith の同僚によると、Smith が発表した論文のうち 20 本に、彼が過去に発表した論文と同一の内容が、その旨を明示することなく使用されていたという。大学当局がこの二重投稿について最初に知らされたのは 2005 年のことだった。彼らはその後、カナダ自然科学・工学研究会議（NSERC）による調査を受けた。NSERC は Smith の研究のいくつかに資金を提供しており、その中には、米国のスペースシャトル上で行われた実験も含まれていたからだ。

Smith は、既発表の研究内容とデータを複数の論文で繰り返し再使用したことに対して正式にけん責を受けている。しかし、これとは別に告発されていたデータの改ざんと盗作については、そのような事実はないとされた。問題の論文のうち、*Annals of the New York Academy of Sciences* 誌に掲載された 3

本¹と、*Journal of Materials Processing Technology* 誌に掲載された 1 本²が撤回された。この状況が最近になって新聞に報道されると、カナダの研究助成機関に対して、より強い権限をもって、不正行為をした研究者を懲戒するべきだという声があがるようになった。

クイーンズ大学の冶金学者 Chris Pickles は、「Smith は非常に優秀な科学者だったのですが、何かが起きて、二重投稿に手を染めてしまったのです」という。Pickles は、オンラインデータベースで論文を検索していたときに、Smith の名のもとでいくつかの二重投稿が行われていることに気づき、その不正行為を告発した。この件に関してコメントを求められた Smith は、Aird and Berlis 法律事務所（カナダ・トロント）の弁護士 Ken Clark に回答を委託し、Clark は、Smith が二重投稿した内容の多くは学会

の紀要に先に掲載されたものであり、昔は、こうした紀要は広く出版されないのが普通だったとした。彼はまた、Smith が今は退職しており、二重投稿した論文から経済的利益を受けていないことも強調した。

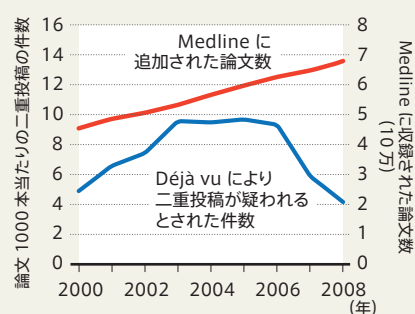
適切な引用なしに過去の論文の内容を再度発表することは、「発表される科学論文はすべてオリジナルなものでなければならない」という前提に違反すると、多くの研究者が考えている。二重投稿は、研究者の履歴書の業績欄を水増しして、生産性を高く偽ることににつながる。ヴァージニア工科大学（米国ブラックスバーク）のバイオインフォマティクス研究者である Harold Garner によると、科学コミュニティは、論文の「方法」のセクションに過去の論文と同一の記述があることは必ずしも不適切とは見なさないものの、「結果、考察、要旨については、新しい内容のものであることを期待している」という。

Garner の研究グループは、生物医学論文の中に複製された文章がないかどうかを自動ソフトウェアを使ってチェックし、要旨とタイトルに酷似した文章が含まれている論文を 7 万 9000 組以上も特定した。Garner によると、部分的に複製された論文のデータベース Déjà vu (go.nature.com/hgq2t4) を立ち上げたことで、文章の再利用を不適切と判断した学術誌の編集者により、100 本近い論文が撤回されたという。*Urologic Oncology* 掲載の Garner が行った分析によると³、生物医学論文の総数は 2000 年からコンスタントに増加しているが、二重投稿は 2003 年に増加が止まり、2006 年から 2008 年にかけて激減したという（左グラフ参照）。「実際、状況は改善しているように見えます」と Garner は言う。「かつて二重投稿をしていた人々が、それをしなくなったのです」。

Garner はその理由を、学術誌の編集者が二重投稿への警戒を強め、彼のフリーツールや市販のソフトウェアを使っ

二重投稿は減少したか？

Medline に収録された論文のうち、Déjà vu により要旨とタイトルに酷似した文章が含まれるとされるもの本数は、近年、減少している。



て、投稿された論文に過去にも使われた文章がないかチェックし、疑わしい論文は発表前に排除するようになったからだと考えている。

研究の公正に関する NSERC の方針には、盗作や二重投稿について具体的な言及がされていないため、Smith の二重投稿の問題が明るみに出ると、より厳しい規制を求める声が上がった。1999 年から 2008 年まで米国科学財団 (NSF) の監督長官を務めた Christine Boesz は、米国は盗作全般に対して強い姿勢で臨んでおり、「NSF は早くから盗作の発見に力を入れていました」という。Nature が米国情報公開法に基づいて取得した数字によると、2007 年以来、NSF は毎年 5～13 件の盗作を発見している。これに対して、米国国立衛生研究所 (NIH) の研究に関する盗作の申し立てを取り扱う米国保健福祉省 (DHHS) の研究公正局 (ORI) の報告によれば、過去 3 年間、

米国の監督当局が報告する科学者の不正行為と盗作の件数

	研究公正局 (ORI)			米国科学財団 (NSF)		
	2008	2009	2010	2008	2009	2010
改ざん / ねつ造による資格停止	2	1	3	1	2	3
盗作による資格停止	0	0	0	0	4	2
改ざん / ねつ造の発見	7	14	7	1	1	2
盗作の発見	0	0	0	5	13	10

ORI は米国国立衛生研究所 (NIH) の研究に関する盗作の申し立てを取り扱う。資金提供を受けている研究者数は、NIH が 32 万 5000 人、NSF は 9 万 8820 人である。2010 年のデータは 8 月までのもの。

文章の盗作に関する事例は 1 件もないが、データの改ざんまたはねつ造をした科学者は毎年発見されており、最も多いときは 14 人だった (上表参照)。

ORI のスポークスウーマンである Ann Bradley は、ORI が業務に用いている盗作の定義では、軽微な事例は除外されるという (go.nature.com/p15kcu)。ミシガン大学 (米国アナーバー) 研究倫理・公正プログラム長である Nick Steneck

は、世界中の監督当局が科学者の不正行為に対する統一的な方針を採用し、データの改ざんやねつ造だけでなく、二重投稿など、より小さな不正行為についても明確な基準を定めるべきだと語っている。

(翻訳：三枝小夜子)

1. Braaten, D. *Ann. NY Acad. Sci.* **1176**, 228 (2009).
2. Smith, R. W., DeMonte, A. & Mackay, W. B. F. *J. Mater. Process. Tech.* **153-154**, 589-595 (2004).
3. Garner, H. R. *Urol. Oncol.-Semin. Ori.* **29**, 95-99 (2010)

ドイツ発、肝臓プロジェクト

Germans cook up liver project

ALISON ABBOTT 2010 年 12 月 16 日号 Vol. 468 (879)
www.nature.com/news/2010/101215/full/468879a.html

生物学者と物理学者が手を組み、ヒトの肝臓の機能をあらゆるスケールで解明し、総合的に理解しようとしている。

「システム生物学」は、生体プロセスを総体的にモデル化する、分野の垣根を越えた生物学である。2010 年 12 月、ドイツ・ドレスデンで、機能的なヒト肝臓モデルの作成を目的とした「バーチャル・リバー・ネットワーク」が発足した。プロジェクトには、生物学者のみならず、理論物理学者までも参加している。肝臓は薬物などの外来性化学物質を取り込

み、体外に排出できるように代謝する。薬物代謝は薬剤の有効性と毒性に大きくかわることから、このプロジェクトは、効果の高い医薬品の開発や、肝臓病の理解に役立つと考えられる。

肝臓の細胞の分子経路モデルとしては、すでに、薬物がどうやって分解されて活性を得たり毒性化合物を生じたりするのかを予測できるものが存在してい

る。だが、肝臓の生物学的機能は、細胞や組織の全体的な相互作用システムをモデル化しなければ予測できない。同様に、肝臓病についても、肝臓全体のモデルを用いれば、分子の相互作用モデルよりもはるかに多くの情報を得ることができるであろう。

バーチャル・リバー・ネットワークでは、多様な時空間的スケールで機能するプロセスのデータを一元化できる数学的モデルの開発、という難しい課題を主眼に置いている (右図参照)。成功すれば、細胞内の分子的シグナル伝達経路のモデルと、細胞そのものがどうやって機能するのかを示すモデルとを統合し、最終的には創薬企業をはじめとする研究機関が利用可能な、肝臓全体のモデルが構築される見込みだ。

一方で、やはり難しい課題である「社会学的問題」の解決も、プロジェクトの成功のカギを握る重要な要素だ。ド

ドイツ全土の69の研究グループに属する250人の研究者を、共通の目標に向かわせなければならないのだ。モデルの構築を行っているハイデルベルク大学のUrsula Kummerは、「バーチャル・リバー・ネットワークの要求はとても厳しく、中心メンバーは皆、参加に際してそれぞれプレッシャーを感じています。しかし、さまざまなスケールを網羅したモデルの作成という課題は非常に興味深く、それこそが我々のモチベーションになっています」と語る。

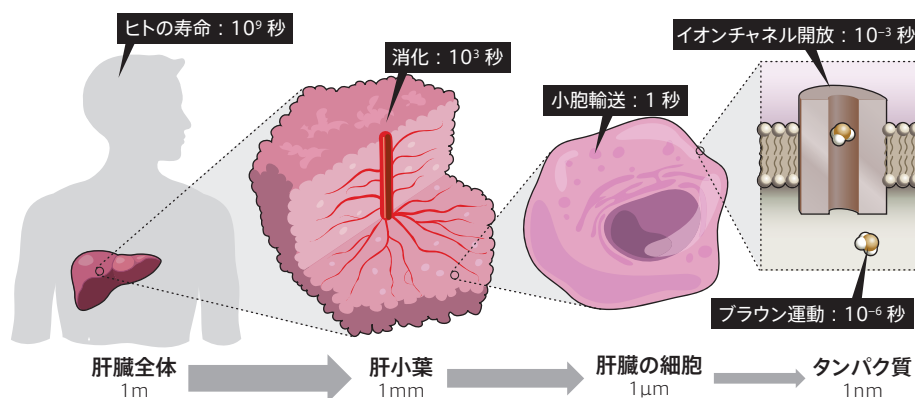
ドイツ連邦教育研究省は、バーチャル・リバー・ネットワークに5年間で4300万ユーロ（約47億円）の助成をする。この土台となったのが、肝臓で最も多い細胞である肝細胞のモデル化をめざしたHepatoSysシステム生物学プログラム（2004～2009年）である。このプログラムには政府から3600万ユーロ（約40億円）が拠出された。

当初、ドイツの研究界は、HepatoSysに反感を抱いていた。教育研究省によるトップダウン的なプログラムの編成が気に入らなかったのだ。研究者の多くも初め、使い勝手のよい手持ちの培養肝臓細胞株ではなく、新しく採取した肝細胞を使用するという同省の決定を冷笑していた。実際、新しい細胞の全バッチがすべての研究所で標準的な品質を確保できるようにするプロトコルの確立には、数年を要した。だが、結果的には、研究者たちはその利点を認めることとなった。「培養細胞株は、生体本来の肝臓細胞と同じような挙動を示さないことがわかったのです」。こう語るのは、ドイツがん研究センター（ハイデルベルク）の分子生物学者であるUrsula Klingmüllerだ。

また、マックス・プランク分子細胞生物学・遺伝学研究所（ドイツ・ドレスデン）の理事を務めるMarino Zerialは、肝細胞は、もともと外来分子を取り込むがゆえに、「優れた実験系」とであると指摘する。ほかの細胞種とは異なり、肝細胞は容易に低分子干渉RNA（siRNA；細胞内の相補的mRNAを標的として、遺伝子の

マクロからナノまで

ヒトの肝機能のモデルには、肝臓全体から分子まで、10年単位からマイクロ秒単位まで、さまざまなスケールのデータが組み込まれる。



発現抑制やサイレンシングを行う）も取り込むことができる。

HepatoSysには47人の研究者が参加し、生物学者と物理学者が強力な関係を築いた。Zerialと、同じ研究所の同僚Yannis Kalaidzidisは、お互い「切っても切れない仲」と公言する。

6年間に及ぶHepatoSysプログラムからはまだほとんど論文が出されていない。だが、資金提供者は成功だったと考えている。教育研究省の命でバーチャル・リバー・ネットワークを管理するGisela Miczkaは、「さまざまな分野の人間がお互いを理解し、共通の目標に向かって研究を行うためには、それだけの時間が必要だったのです。でも今後2年間に、たくさんのHepatoSys発の論文が発表されると思います」と語る。ZerialとKalaidzidisも、ほかの研究者と共同で、5年をかけて、栄養分やシグナル伝達分子が肝細胞内に輸送される仕組みのモデルを開発した。そして今、論文の投稿に向けて準備しているところだ。

HepatoSysの後を引き継いだバーチャル・リバー・ネットワークは、継続してデータを取り、細胞スケールで生物学的現象の時空間的モデルを開発しようとしている。それだけではない。さらに、あらゆるスケールで肝機能を分析するシステムのために、新たな理論的枠組みを構築しようと心血を注いでいる。Kalaidzidisによれば、さまざまなスケール

を網羅したモデルの作成は、微分方程式や推計統計学的方法などの標準的なツールに依存するのはもちろんだが、異なるスケール間のデータセットを結びつけるためには、さらに複雑な数学も必要なのだという。「スケールの間で『行き来する』ための一般的な方法はないのです」とKalaidzidisが言うのとおり、それぞれのスケールでの重要な機能を解明しないと、そのデータを次のレベルに応用することができないのだ。

ヒトの臓器をモデル化する試みは、これが最初ではない。世界中の生理学者が何年もかけて心臓の計算モデルについて研究しており、その研究に基づいて欧州連合（EU）は2008年、さまざまなスケールで複数の臓器をモデル化するプログラム（Virtual Physiological Human Network of Excellence）を発足させた。「しかし、まだまだ、スケール間の連携は進んでいません」。オークランド大学生物工学研究所（ニュージーランド）の所長であるPeter Hunterは、こう打ち明ける。Hunterは、このプログラムの発足で大きな役割を果たした人物だ。

今回のバーチャル・リバー・ネットワークは、その規模の大きさや、これまでで行われてきた基礎的な単発の研究を考え合わせると、「肝臓研究のブレークスルーとなる成果が期待できる」と考えられる。

（翻訳：小林盛方）

線虫の「匂いの好み」に フェロモンが関与していた

体長1ミリほどのひものような体をした線虫。古くより、発生学や神経科学、遺伝学などの研究材料とされ、その細胞系譜や神経系、全ゲノムが完全に明らかにされてきた。さらに、味物質（無機塩類）や匂い物質（揮発性有機化合物）に対する走性を利用することで、記憶や学習の研究にも用いられている。今回、東京大学の飯野雄一教授は、匂いの好みに関する走性が、線虫の各個体から分泌されるフェロモンによって制御されていることを突き止めた。

いいの ゆういち
飯野 雄一



—— Nature ダイジェスト：線虫とはどのような生き物なのでしょう？

飯野：線虫（*C. elegans*）は、土壌中で生活するありふれた動物です。細胞が全部で959個しかなく、体が透明なので、発生や分化の様子を肉眼で観察することができます。どの細胞がどのように分化していくかという細胞の系譜がすべて明らかにされており、とくに神経系は、そのつながりまでわかっています。また1998年には、全ゲノムが完全に解読されました。発生学、神経科学、遺伝学など、さまざまな分野の研究者が線虫を使って研究を進めています。

—— 一貫して走性や学習について研究されていますね。

野生の線虫は、無機塩類の濃度や有機化合物の匂い、温度、浸透圧などを手がか

りにして、餌となるバクテリアを探したり、病原性細菌などの危険物から回避したりしています。このような、手がかりに引き寄せられたり、逆に回避したりすることを「走性」といいます。走性を利用すると、ある特定の手がかりと条件とを組み合わせることで学習（連合学習）させることができます。例えば、線虫は塩化ナトリウム（以下、塩）を好む性質を持ちます。「塩があるところには餌もある」と生得的に知っているものと解釈できます。ところが、飢餓状態にして「塩はあるが餌はない状態」にすると、線虫はその経験を記憶することで、食塩に引き寄せられなくなります。

塩などの水溶性の無機塩類は味物質といえますが、今回は「ベンズアルデヒド」という匂い物質を用いた研究を行いました。ベンズアルデヒドは揮発性の低分子有機化合物で、アーモンドのような匂いがします。自然環境中では腐った果実や木の実などに含まれており、塩と同じように、線虫には生得的に「この匂いがあるところには餌がある」とプログラムされていますが、いったん餌にありつけない経験をすると、この匂いに引き寄せられなくなります。

線虫の感覚神経は体の前方の先端部にあり、そこで無機塩類や有機化合物などを受容します。ベンズアルデヒドはAWCというただ一つの神経細胞が受容していることがわかっており、行動との関係を検討しやすいと考えました。

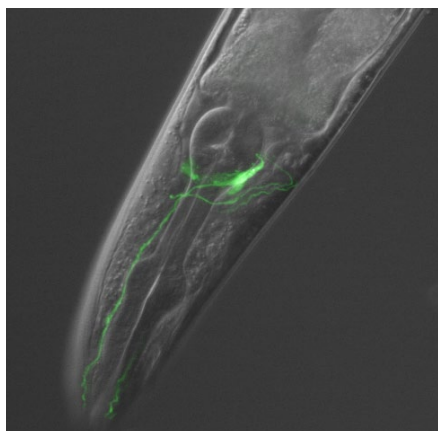
嗅覚可塑性の仕組みを追う

—— 具体的にどのような実験をされたのでしょうか？

これまで好んでいた匂いを嫌いになることを「嗅覚可塑性」といいます。今回は第一段階として、嗅覚可塑性を発揮できない変異体を使って、嗅覚可塑性の仕組みを検討しました。この変異体は餌（大腸菌）のない状態でベンズアルデヒドを受容させても、ベンズアルデヒドを嫌いになりません。この変異体解析によってまず、NEP-2（ネプリライシン-2）という遺伝子を同定し、さらにNEP-2を手がかりにしてSNET-1（スネット1）という遺伝子を同定しました¹。

前者のNEP-2は、存在は知られていたものの、まだ名前の付いていない遺伝子でした。塩基配列を元にデータベースで調べると、哺乳類に広く見られるネプリライシンに似ていることがわかりました。ヒトのネプリライシンは腎臓や神経などの細胞膜に存在し、鎮痛の情報伝達を担うエンケファリンや、痛みの情報伝達を担うサブスタンスPなどのペプチドを分解するペプチダーゼであることがわかっています。最近になって、ネプリライシンがアルツハイマー病患者の脳にたまるアミロイドβを分解することがわかり、創薬ターゲットとしても注目されています。

線虫には、すでにほかの研究者によってNEP-1と名付けられたネプリライシン様の遺伝子があったので、私たちの遺



線虫で匂い物質を受容する感覚神経（緑色部分）。

伝子には *NEP-2* と名付けました。そして、*NEP-2* もなんらかのペプチドを分解しているのだらうと予測し、「*NEP-2* 変異体では、そのペプチドを分解できず嗅覚可塑性が異常になるのだらう」と考えました。そこで次段階として、*NEP-2* により分解されるペプチドを突き止めることにしました。データベースには、情報伝達を担うペプチドが 100 個ほど記載されていたので、野生型の線虫を用いて、それらのペプチドの機能を 1 つずつ促進したり、抑制したりしてみました。ところが、嗅覚可塑性が異常になる個体は現れませんでした。

そこで、「おそらく、線虫のゲノム上には未知のペプチドがあるのだらう」と考え直し、*NEP-2* の変異体にさらに変異源を用いて、二重変異体を作ってみました。もし、*NEP-2* 変異体の嗅覚可塑性の異常が何らかのペプチドのたまり過ぎによるものだとすると、さらなる変異によってそのペプチドがたまらなくなった個体を作れば、行動は正常に戻るのだらうと考えたのです。実験の結果、みかけ上の行動が正常に見える二重変異体が得られました。解析してみると、この変異体は、*SNET-1* というホルモン様のペプチドを作り出せない個体だったのです¹。

SNET-1 とフェロモンとの関係

—— *SNET-1* の同定が、フェロモンとの関連解明につながったようですね。

はい、*SNET-1* の発現が、フェロモンの濃度に左右されていることを明らかにできました。*SNET-1* の発現部位を調べたところ、ある神経細胞に発現することがわかったのですが、その神経細胞にはフェロモンの受容体も発現していました。このことから、*SNET-1* とフェロモンとが関連していると考え、さらなる解析を進めたところ、まさにそのとおりだったのです。

フェロモンは同種の個体間でのさまざまなコミュニケーションに使われる物質で、体内でごく微量が作り出されています。線虫では主に 5 種のフェロモンが

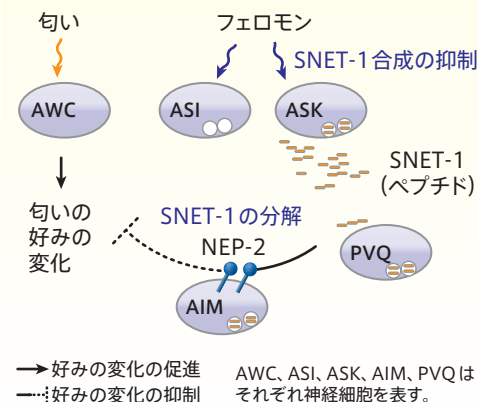
知られており、その生息環境中での個体数を把握するために使われています。個体数が多い場合（つまり、フェロモン濃度が高い場合）には、各個体が周囲に拡散したり、「耐性幼虫」という餌を食べない状態に変態したりして生き伸びようします。そのほか、雄が交尾のために雌（雌雄同体）を探すためのシグナルとしてもフェロモンが使われます。

フェロモンを作れない変異体で嗅覚可塑性を調べたところ、個体数の多少に関わらず、嗅覚可塑性を発揮できないことがわかりました。そして、この変異体に合成フェロモンを加えると嗅覚可塑性が発揮されることもわかりました。これらの結果から「フェロモン濃度が高いと *SNET-1* の発現が抑えられるのではないかと予想し、検証を試みたところ、そのとおりであることがわかりました¹。

明らかになったことを整理すると、以下ようになります。フェロモンを受容する神経細胞では、フェロモンがあると *SNET-1* の発現が抑制され、フェロモンがないと *SNET-1* の発現が促進されます。*SNET-1* が発現している場合には、一部の *SNET-1* が *NEP-2* によって分解されるのみで、*SNET-1* の適度なバランスが保たれています。*SNET-1* には「匂いを好きなままに保つ機能」がありますが、フェロモンが多いと *SNET-1* が抑制されるために、匂いの経験に依存してその匂いを好まなくなります。結果として、嗅覚可塑性が発揮されることになるわけです。

こうして、*NEP-2*、*SNET-1*、フェロモンの 3 つの要素がつながり、「匂いの好み」が、フェロモンによって制御されている」ということを世界で初めて示すことができました。実は、今回の成果を得

匂いの好みの促進と抑制の分子メカニズム



るかなり以前から、線虫の密度によって、嗅覚可塑性の実験がうまくいったりいかなかったりすることに気付いていたのですが、その理由についてきちんと納得することができました。

—— どのような点が評価されたと思いますか？

生態学では、個体数が多いときにはあちこちに散らばった方が種の生存に有利だとする「個体群密度依存拡散」という概念があります。この概念を、線虫の分子と行動を結びつけて示せた点が大きいと思います。

今後は、*SNET-1* がどのように作用しているのかなど、より詳細な解析を進め、一つの行動について、関連する分子や受容体、遺伝子ネットワークなどを、すべて明らかにできるとよいと思っています。

—— 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 Yamada, K., et al. *Science* **329**:1647-1650 (2010).

AUTHOR PROFILE

飯野 雄一

東京大学大学院理学系研究科生物化学専攻教授。1987 年、東京大学大学院理学系研究科生物化学専攻博士課程修了。理学博士。学術振興会特別研究員ののち、1988 年 10 月よりコロンビア大学博士研究員。1990 年 10 月より、東京大学理学部助手、講師を経て、1998 年 6 月より東京大学遺伝子実験施設助教授。2007 年 9 月より現職。

人類の起源

デニソワ人が語る人類祖先のクロニクル

Shadows of early migrations

CARLOS D. BUSTAMANTE & BRENNAN M. HENN
2010年12月23/30日号 Vol. 468 (1044-1045)

デニソワ洞穴（シベリア）で発見された4万年前の遺骨から
古代の核DNAが回収され、分析された。
その結果は、アフリカを離れた現生人類集団が
多方面で別のホモ属と接触を持っていたことを示唆するものだった。

分子遺伝学的手法を用いて古代のDNAを分析する「古遺伝学」という新しい学問分野から今、次々と成果がもたらされている。そうした中、Reich、Pääboらの研究チームが、シベリア南部のデニソワ洞穴で発見された人間のものと思われる指の骨について核DNAの分析を行い、*Nature* 2010年12月23/30日号の1053ページで発表した¹。この結果から、解剖学的に「現生」に属する人類（ホモ・サピエンス）が約6万～5万年前にアフリカを離れた後に、どのように移動してどこに定住したのかについて、複雑なモデルが浮かび上がってきた。

1925年のRaymond Dartの発表は、人類の起源に対するヴィクトリア朝時代の考え方をひっくり返した。彼がアフリカ南部で発掘したアウストラロピテクス（猿人）の頭蓋骨は、ヒトとサルとを結びつける最初の発見だったからだ。それ以来、ホモ・サピエンスの祖先はただ1系統の種が出現しただけで、それが世界中に広がって当時存在していたすべてのホモ属の種と入れ替わったのか（単一起源説）、それとも、さまざまな地域の他のホモ属人類集団やその亜種との混血なのか（多地域進化説）、という論争が続いている。後者については、最も極端な「枝付き燭台^{しよくだい}」モデル（ホモ・エルガステルを祖先に、地域ごとに並行的に進化

してホモ・サピエンスになった）というものがあつたが、その後の発見により、現在はほとんど顧みられなくなっている。しかし、さらに微妙なモデル、つまり、現生人類と絶滅した他のホモ属集団（ネアンデルタール人、それにおそらくデニソワ人も含まれる）の間で遺伝子が交換された可能性については、これまで評価することが困難だった。

前者の単一起源説は、全現生人類種の遺伝学的系統のすべては、さかのぼれば、「20万年ほど前にアフリカで生まれた1つ以上の中規模な集団」にたどり着く、というものだ²⁻⁵。近年まで、遺伝学的データや化石記録の解釈は、この説の「混血のない完全置換」を支持しているように思われていた。しかし、今回ReichとPääboらの研究チームが報告したデニソワ人の核ゲノム配列の分析結果¹は、彼らが以前に報告したホモ・ネアンデルターレンシス（ネアンデルタール人）の核ゲノム配列⁶とともに、ホモ・サピエンス集団がアフリカを離れた後の歴史は、従来考えられていたよりもはるかに複雑に絡み合っていることを示唆しているのである。また、一部の地域では特に複雑だったことが示されている。

そして、これらの分析結果に基づいて彼らが立てた仮説は、2つの短い経路（図1）において他のホモ属から現生人

類への限定的な遺伝子流動（異なる地域の集団間で遺伝子が交換されること）が生じたというものだ。1つは、現生人類の集団がアフリカを離れた直後の経路であり、もう1つはオセアニアのメラネシア人集団の祖先となった現生人類のみがたどった経路である。研究チームが推測する「遺伝子の混合」は、数十万年の間にさまざまな地域のホモ属種間で大規模な遺伝子流動が生じて現生人類になったという旧来の多地域進化説⁷を蒸し返すものではない。だが、彼らの提案する「置換プラス限定的な遺伝子流動」モデルを裏付けるには、まだ研究が十分とは言えないだろう。とはいえ、古代のDNA配列を解読して得られた概略は、人類のゲノムの流動に関する興味深い考察をもたらすものであり、今後さらに多様なヒトのゲノムを多く得ることができれば、仮説は検証できるものと言える。

Pääboを中心とするグループは以前、同じ指の断片から回収されたミトコンドリアゲノムDNA（mtDNA）に関して、現生人類から深く分岐した新しい系統の人類であるという研究成果⁸を*Nature*に発表しており、今回の研究成果¹はその続報である。彼らは今回、この骨の核ゲノム配列を約2倍のカバー率で解読した。それは、ゲノム上のある塩基をカバーするDNA断片が平均して2つあり、

それらから解読配列を得たということである。研究チームは、この DNA 断片について、現生人類ゲノムから得た低いカバー率（1～5 倍）のデータ 12 セット、およびネアンデルタール人ゲノム⁶から得たカバー率 1.5 倍のデータと比較した。

核 DNA は、遺伝子流動の分析に適しているが、それは遺伝情報の大多数を含むためだけではない。遺伝子組み換えが生じているので、現代と古代の遺伝的な関係を比較するための半独立的な差異を収集できるポイントが、数万か所も得られるからなのだ。洞穴で見つかった古代の骨から得られた情報は、まるで、プラトンの比喻でいう「洞窟に映し出される影」のようである。我々の前に現れた祖先の移動の概略は、「影」のように、真実と言うにはまだ不十分なものであるが、人類の起源に関する我々の理解を深めるのに役立つはずだ。

この分析結果からわかったストーリーは、非常に興味深いものだった。デニソワ人は、遺伝学的にはきわめてネアンデルタール人に近いが、かといって同一集団から採取したといえるほど近くはないらしい。ゲノム分析によると、両者が現生人類の試料と形成するクラスターよりも、両者どうしが形成するクラスターの方がわずかに多かった。これは、デニソワ人とネアンデルタール人が姉妹分類群であることを示している。またデニソワ人の試料は、現生人類の中ではアフリカのヨルバ族、ムブティ族、およびサン族よりも、現代の欧州や東アジアの人と形成するクラスターのほうがわずかに多かった（約 1～3%）。もしデニソワ人とネアンデルタール人が近縁の姉妹分類群であるならば、この結果は、ネアンデルタール人集団から現代のユーラシア人への遺伝子流動に関する報告⁶とも整合している。

しかし何より予想外だったのは、デニソワ人の試料が、欧州やアジアの人を通り越して、現代のメラネシア島民と特別な遺伝的類縁関係を持つとみられることだ。オセアニアのパプアニューギニ

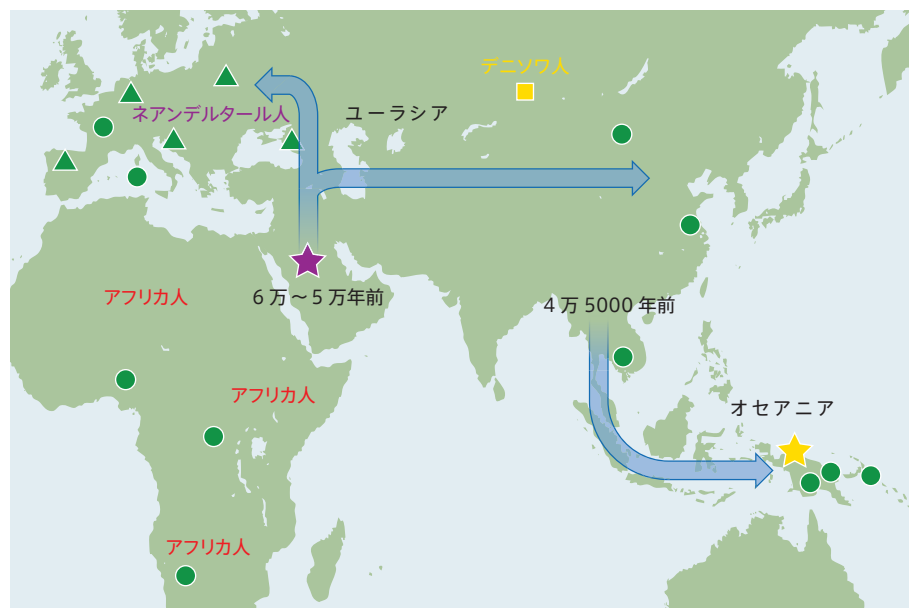


図 1. 新たな仮説が現生人類の歴史に関する定説を進化させる。▲がネアンデルタール人の遺骨発見地、●が現代人ゲノムの試料採取地^{1,6}。青色の矢印は、定説となっているホモ・サピエンスの移動経路¹¹。6 万～5 万年前、ユーラシアには主にネアンデルタール人およびホモ・エレクトスの 2 種のホモ属が存在していたが、研究チーム¹は、デニソワ人のような第三のグループの存在を示唆している。彼らの推測によると、最初の遺伝子流動は、アフリカを離れてまもない現生人類とネアンデルタール人との間で起こり、その後、デニソワ洞穴で発見された別のホモ属集団との間で起こった。後者は、4 万 5000 年ほど前にパプアニューギニアに定着した現代のメラネシア人の祖先のみに影響したと考えられる。

アに初めて現生人類が現れたのが高々 4 万 5000 年ほど前にすぎない^{9,10}ことから、デニソワ人の移動はかなり複雑なものだったと予想される。

古代の分子的多様性に関する研究には、落とし穴がつきものだ。分子から得られる情報は全体のシルエットでしかなく、目に見えないもっと複雑な事実が潜んでいることがある。Reich, Pääbo らの研究チーム¹は、データにバイアスをかけると考えられる多くの要素を排除するため、論文の補足情報として、汚染の可能性、古代の研究材料の取り扱い方、ゲノム間のカバー深度の差などについても詳細を明示している。

こうした問題の多くは確かに排除されているが、技術的な障害は残されている。シーケンシング技術と DNA の保存は、古代ゲノムのクラスター分析の統計の解釈に影響する可能性がある。例えば、ユー

ラシア人とネアンデルタール人に共通な派生対立遺伝子（対立遺伝子に変異が生じ、新しく派生したもの）のほうが、ユーラシア人とデニソワ人に共通な派生対立遺伝子よりも多いという知見は、シーケンシング技術の違いによる可能性もあるのだ。しかし、古代ゲノムと現代ゲノムの比較は同時並行で処理されている。よって、デニソワ人と現代のメラネシア人、そしてデニソワ人とネアンデルタール人が特別に共有する対立遺伝子に関する構図は揺るがないと考えられる。

こうした古代の DNA 配列を解読する技術が最も威力を発揮するのは、おそらく仮説を立てる段階だろう。例えば、デニソワ人やネアンデルタール人の DNA から得られた情報は、配列未解読の現生人類のゲノムに存在する遺伝学的変異のパターンについて、それがどういった由来なのか明確に予測するのに役立つと思

われる。具体的には、メラネシア人のゲノムと絶滅した他のホモ属集団のゲノムの間で対立遺伝子が5～7%多く共有されているならば、現在メラネシアに住む個人の配列を解読することで、メラネシア住民の一部できわめて異質なゲノム領域が発見できるかもしれない。もしそのゲノムがアフリカ人由来のものでないならば、古代の集団から受け継がれている領域の可能性がある。

ヒトゲノムの変異に関する研究の活用方法を、医学的関心の領域だけにとどめてはいけな。古代、現代を問わず、多様なヒトゲノムを扱う研究は、今回の

研究成果¹が示すように、人類共通の起源と歴史を解明する最も強力なツールとして利用できるからだ。もちろん、この研究を成功させるためには、祖先の大移動の痕跡をゲノムに有すると思われる多様な人々（隔離された人類集団も含む）に対して、共同体のレベルでも個人のレベルでも協力要請が不可欠である。古代人と現代人のDNAを古人類学的な記録と合わせて分析することで、我々人類の誕生の謎はさらに明らかになり、洞穴で見つかった「影」の真実の姿に近づくことができるだろう。 ■

(翻訳：小林盛方)

Carlos D. Bustamante と Brenna M. Henn、スタンフォード大学医学系大学院遺伝学学科(米国)。

1. Reich, D. et al. *Nature* **468**, 1053–1060 (2010).
2. Cann, R., Stoneking, M. & Wilson, A. *Nature* **325**, 31–36 (1987).
3. Ramachandran, S. et al. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **102**, 15942–15947 (2005).
4. Underhill, P. et al. *Ann. Hum. Genet.* **65**, 43–62 (2001).
5. Klein, R. *The Human Career* 3rd edn (Univ. Chicago Press, 2009).
6. Green, R. E. et al. *Science* **328**, 710–722 (2010).
7. Wolpoff, M., Hawks, J. & Caspari, R. *Am. J. Phys. Anthropol.* **112**, 129–136 (2000).
8. Krause, J. et al. *Nature* **464**, 894–897 (2010).
9. O'Connell, J. & Allen, J. J. *Archaeol. Sci.* **31**, 835–853 (2004).
10. Summerhayes, G. et al. *Science* **330**, 78–81 (2010).
11. Cavalli-Sforza, L. & Feldman, M. *Nature Genet.* **33**, 266–275 (2003).

宇宙物理学

奇妙な三角関係にある天の川銀河

A strange ménage à trois

SIDNEY VAN DEN BERGH 2010年12月16日号 Vol. 468 (901–902)

大小マゼラン雲は、私たちが住む銀河である天の川銀河（銀河系）のかなり近くにある。

この2つの銀河が天の川銀河に合流したのは、かなり最近のことなのかもしれない。

これら3つの銀河は、大小マゼラン雲の光度という点でも、また大小マゼラン雲の天の川銀河への近さという点でも、宇宙の大部分の銀河集団と著しく異なっていることがわかった。

現代の私たちは地動説を信じている。だから、天の川銀河は典型的な銀河の1つであり、周囲の天体もごくありふれたものだろうと考えている。こうした考えのうち、典型的な銀河であるという点はそのとおりだ。天の川銀河は、巻き方がかなり緩やかな渦状腕を持つ比較的普通の巨大銀河（ハッブル分類のSbc）であるか、あるいは中心に星が棒状に集まった領域を持つ渦巻状の巨大銀河（同分類のSBbc）とみられる。しかし、周囲の天体がありふれたものという予測は正し

くなかった。天の川銀河近傍の天体は変わっていて、かつて期待されていたのとはかなり異なっているのだ。

確かに、天の川銀河が所属している局部銀河群は、小集団で、周辺の銀河群の多くとよく似ている。しかし、最近の観測によって、天の川銀河の最も近い隣人は際立った性質を持っていることがわかってきた。今回、*Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* に発表された論文¹と、プレプリント（予稿）サーバー「arXiv」に投稿された論文²は、こ

うした観測結果をさらに裏付けるものだ。

アンドロメダ銀河を含む³大部分の銀河の場合、最も近くにある伴銀河（親銀河の周囲を公転する銀河）は、楕円銀河かレンズ状銀河（楕円銀河と渦巻銀河の中間のタイプ）である。一方、もっと遠くにある伴銀河は、巻き方が緩やかな渦状腕を持つ渦巻銀河か不規則な形をした銀河だ。ところが、大マゼラン雲（図1）と小マゼラン雲は、天の川銀河に最も近い2つの大きな伴銀河にもかかわらず、不規則銀河なのだ。

この事実は、大小マゼラン雲は以前から天の川銀河に近い伴銀河であったわけではなく、局部銀河群の外縁部で形成された天体であって、現在、たまたま天の川銀河の近くを通過しているだけなのかもしれないことを示している⁴。最近の計算では、「マゼラン雲が重力に引かれて天の川銀河に近づいたのは過去 10 億年以内」という確率は約 72%、また、大小マゼラン雲がほぼ同時期（10 億年以内）に天の川銀河に近づいた確率も約 50%と見積もられた⁵。

マゼラン雲の 2 つ目の特殊性は、大マゼラン雲が、マゼラン雲に似た不規則銀河としては非常に明るいことだ。宇宙の周辺領域で、大マゼラン雲に匹敵する光度を持っていて、マゼラン雲とよく似た不規則銀河はほかに 2 つしかない（NGC4214 と NGC4449）。言い換えれば、大マゼラン雲の光度は、マゼラン雲に似た不規則銀河としては、その上限に近いらしいのだ。

これは重要なことである。なぜなら、渦巻銀河とマゼラン雲に似た不規則銀河には、根本的な形の違いがあるからだ。渦巻銀河の光度には大きな幅があり、すべての渦巻銀河に中心核がある。一方、マゼラン雲に似た不規則銀河は、その大部分はかなり暗く、中心核がない。ただし、この光度に上限があるという話は、マゼラン雲に似た不規則銀河にのみ当てはまり、巨大な銀河の衝突や合体でできた可能性のある、独特で混沌とした不規則銀河には当てはまらない。この点は強調しておくべきだろう。

1969 年、スウェーデンの天文学者 Erik Holmberg は、米国のパロマー天文台の観測プロジェクト「スカイサーベイ」で撮影された写真を使って、近くの銀河の伴銀河を探した⁶。そして、意外なことにマゼラン雲に似た明るい伴銀河がかなりまれであることを発見した。この Holmberg の結論が、今回、英国のリバプール・ジョン・ムーアズ大学の Phil James と Clare Ivory の研究¹や、米国のスタンフォード大学カブリ粒子



図 1. 大マゼラン雲の画像。James と Ivory¹ や Liu ら² による計算で、天の川銀河が大マゼラン雲ほど明るく近い伴銀河を持つ確率は、きわめて低いことがわかった。

宇宙物理学・宇宙論研究所（KIPAC）の Lulu Liu らの研究²によって補強され、確かめられた。

James と Ivory は、天の川銀河に匹敵する明るさを持つ 143 個の渦巻銀河について、波長帯の狭い画像を使って、星を形成中の伴銀河を探した。彼らは、マゼラン雲と似た、星を形成中の明るい伴銀河はかなりまれであり、天の川銀河の 2 個の最も明るい伴銀河（大小マゼラン雲）は、光度においても近さにおいても異例だと結論した。

Liu らは別の方法をとった²。彼らは、米日独の国際観測プロジェクト「スローン・デジタル・スカイサーベイ」（SDSS）で得られた莫大なデータを使って、天の川銀河と似た親銀河の 150 キロパーセク以内にマゼラン雲の光度に近い伴銀河があるケースを探した。ちなみに、大マゼラン雲は天の川銀河から 50 キロパーセク、小マゼラン雲は 60 キロパーセクしか離れていない。Liu らは、天の川銀河に似た銀河 2 万 2581 個を調べ、その

結果、マゼラン雲ほど明るい伴銀河を持たない親銀河が 81% に上ること、また、そのような銀河を 1 個だけ持つ銀河は 11% であり、2 個持っているのはわずか 3.5% にすぎないことを見いだした。

米国の天文学者エドウィン・ハッブルは何十年も前に、「銀河系があるグループの一員であるのはとても幸運な偶然だ」と述べている⁷。その表現を借りれば、天の川銀河が大マゼラン雲ほど明るい不規則銀河を伴っていることは、ほとんど奇跡なのだ。

（翻訳：新庄直樹）

Sidney van den Bergh は、カナダのプリティッシュコロンビア州ヴィクトリアにあるカナダ国家研究会議ヘルツベルグ宇宙物理学研究所ドミニオン宇宙物理学天文台に所属。

1. James, P. A. & Ivory, C. F. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* (in the press); preprint at <http://arxiv.org/abs/1009.2875> (2010).
2. Liu, L. et al. Preprint at <http://arxiv.org/abs/1011.2255v2> (2010).
3. Einasto, J. et al. *Nature* **252**, 111–113 (1974).
4. van den Bergh, S. *Astron. J.* **132**, 1571–1574 (2006).
5. Busha, M. T. et al. Preprint at <http://arxiv.org/abs/1011.2203v2> (2010).
6. Holmberg, E. *Ark. Astron.* **5**, 305–343 (1969).
7. Hubble, E. *The Realm of the Nebulae* (Yale Univ. Press, 1936).

曲がり角に立つシンガポールの科学

Singapore's salad days are over

2010年12月9日号 Vol. 468 (731)

シンガポールの自信が不安に変わった。

経済不況で研究助成金に見返りが求められるようになり、著名な科学者が逃げ出し始めたのだ。

がん遺伝学者夫妻の Neal Copeland と Nancy Jenkins が、米国メリーランド州ベセスダの国立癌研究所からシンガポールの分子・細胞生物学研究所に移ったのは2006年のことだった。ここにはすでに、スター研究者が多数集まっており、シンガポールの旺盛な研究投資が成果を挙げていることを示していた。21世紀に入ってほぼ10年、多額の資金がシンガポールの科学研究に流れ込み、それを追いかけるように世界中から研究者が集まった。国際的な存在感も急速に高まり、例えばシンガポールゲノム研究所は、世界で最も重要なゲノミクスの基礎研究機関の1つであることを誇るようになった。

特に恵まれていたのは、研究投資に見返り条件が比較的少なかったことだ。研究者は好奇心に従って研究する自由を望み、最高レベルの研究者を集めるには、管理を緩める必要があることに政府は気付いていた。その結果、シンガポールにおける生物医学の研究インフラは、次なる発展段階、すなわち、有望な若手研究者や博士研究員が、定評ある科学研究と知的興奮のためにシンガポールを就職先に選ぶという段階に進み始めたように思われる。

このシンガポールの挑戦について、海外の多くの関係者は、うますぎて信じられない話ととらえてきたが、もしかすると、本当に出来過ぎた話だったのかもしれない。世界中で研究コミュニティに対する経済的圧力が増し、政策立案者

が投資に対する見返りを求めるようになり、シンガポールも例外ではなくなったのだ。

実際、1年前から科学予算縮減のうわさが広がっていたが、2010年9月、科学研究予算総額の約3分の1を「産業連携基金」という競争的資金に移行する政策が突如発表され、研究者は衝撃を受けた。この助成金を得るには、研究が工業的に応用できることを明らかにしなければならないのだ。新政策はすべての研究に適用されるが、政府高官が十分な成果を挙げていないと感じている生物医学を特に狙い撃ちにしている。

ただし、シンガポールの科学者のために声を上げる必要はないし、彼らも同情を期待していない。ぜいたくをしてきたシンガポールの科学者だが、自らの力量を証明できれば、これからも高給を維持できるだろう。それに、助成金申請書を書くことは、奴隷になり下がることではない。世界のほとんどの研究者にとって当たり前の話なのだ。問題は、政策変更自体にあるのではなく、その実施方法にある。

シンガポールの科学者は11月の告示を受けて、応用を指向する研究提案書の作成に急ぎょ取り組んだ。企業との研究契約があれば有利なのだが、世界の製薬業界が不安定な状態にある今、そのような契約を得るのは容易ではない。多くの提案書には「提携先企業は未定」という注記が付されることとなる。それに、わずか数週間から数か月で企業との契約を

決めようとすれば、不利な契約内容を強いられるおそれがあることを科学者は心配する。

もう1つ、研究者が懸念しているのは、研究助成金申請書の審査方法を政府が明らかにしていない点だ。これまでシンガポールでは、外部の審査委員会を用いて、政府関連研究機関の監査を行ってきた。しかし、個別の助成金審査を適正に行おうとすれば、こうした監査とは異なる労働集約度の高い手続きをとらねばならない。

いずれにせよ、Copeland と Jenkins は、今回の政策転換に失望し、シンガポールを離れることを決断した。ほかにも多くの科学者が新たな勤務先を探している。

シンガポール政府は、迅速に対応して、助成金申請の審査過程を明確にすべきだ。また、工業的応用という制約条件を緩和すれば、短期的に科学者を助けることになる。さらに根本的に重要なことは、研究助成金制度の改革を一度に行うのではなく、今後数年間で段階的に実施することだ。

シンガポールが急速に変化を遂げたのは、過大ともいえる高額な研究予算の支出があったからだ。今回のような科学研究の目標を経済的現実に合わせてようとする動きは理解できる。しかし、十分な計画もせずに拙速に実施すれば莫大な浪費となり、シンガポールの輝ける実験は台無しになってしまう。■

(翻訳：菊川要)

ヨーロッパの電力系統整備

An end to gridlock?

2010年12月2日号 Vol. 468 (599)

ヨーロッパ各国が、空前絶後の電力系統整備に取りかかることになった。
その真剣な姿勢を民間部門に確信させるため、各国は、今以上に行動する必要がある。

一般人にとってはスイッチを入れて明かりがつけば十分で、発電や送電方式に関心を持つ人は少ない。だから、ヨーロッパや米国でエネルギーインフラの老朽化が深刻化しているのに、注目がほとんど集まらない。ところが北海海底送電網建設計画は、歓迎すべき例外だ。2010年12月3日、フランス、ドイツ、英国などヨーロッパ10か国のエネルギー大臣が覚書に署名する。

この世界初の沖合送電網には、多くのメリットが予想される。例えばヨーロッパ北部の送電網が広域接続されて価格競争が生じ、ノルウェーの水力発電による大量の電力を利用できる国々が増え、沖合での風力、波力、潮力発電による電力を内陸部に送るためのルートが確保される。

この送電網は、欧州委員会が11月に発表したヨーロッパの最重要エネルギーインフラ整備事業のうちの1つだ。全事業に必要な投資額は今後10年間に2000億ユーロ（約22兆円）とされ、半分は民間から調達される。北海送電網の総事業費は約200億ユーロ（約2兆2000億円）とされている。

同様のインフラ課題に直面している国や地域は多い。例えば米国では、グループが主導するコンソーシアムが、総工費50億ドル（約4200億円）の沖合送電網を建設し、洋上風力発電施設から送電し、老朽化した東海岸の送電網を補強する構想を発表した。また、11月に米国物理学協会が公表した報告書によれば、

米国内のほとんどの州で、建設の決まった再生可能エネルギー施設からの送電網が整備されていないという。

北海送電網に関する覚書は、実際の建設に向けた小さな一歩にすぎない。エネルギープロジェクトには大きな経済的利害がからんでおり、真の課題が議論されないことが多く、エネルギー政策は難解な政治ゲームになっているのだ。英国のキャメロン首相、ドイツのメルケル首相、フランスのサルコジ大統領の中道右派政権にとって、程度の差こそあれ、北海送電網に関連する再生可能エネルギー源の開発より、原子力発電の維持と開発のほうが優先課題だと思われる。ただし、それを積極的に公表するとは思えない。

それでも、覚書に署名する各国政府は、電力供給源を確保し、炭素排出量目標値を達成するうえで、少なくとも市場原理だけではインフラ投資が確保できないことを認めることになる。かなり最近まで、多くの政治指導者は、適切なエネルギー源と必要なインフラは「市場が決める」という愚かな主張をしてきた。しかし現実には、エネルギー部門に対する民間投資は、政府が定めるルールと目標に大きく依存しており、愚かな主張は破たんしたのだ。

特に国際的な送電線の建設地に関する決定は、最終的には政治的な決定となる。そして、採算性をもつ発電施設の最適配置は、ほとんどの場合、送電網の容量によって決まる。もし50年前のヨー

ロッパで、送電網の計画・建設・資金をすべて民間部門に任せていたならば、送電網は全く機能しなかったはずだ。同様に、将来の送電網建設を民間資金に全面依存すれば、数十年間も公共投資の行われていない米国の送電網のように、頻発する停電を覚悟しなければならないことを知るべきだ。

送電網整備には研究開発も必要で、その多くが、ほとんど注目されていない分野にある（*Nature* 2010年12月2日号624ページ参照）。海底送電網のコスト低減と効率向上のためには、高圧直流変換機と制御システムのような技術が必要となる。ストラスクライド大学（英国グラスゴー）では、1億ポンド（約130億円）の予算で、イノベーションと再生可能エネルギーに特化した研究センターの建設を計画しており、こうした研究機関が、必要な技術を提供することになる。

新たなエネルギーインフラを整備するための資金を民間から集め、公的支出を抑制するには、各国政府が、力強いメッセージを一貫して発信する必要がある。北海送電網に関与する各国は、電力の取引を可能にするために、期限を定めて、国内法を改正するのが、まずは出発点になる。ヨーロッパが史上初の電力系統の更新に着手すれば、炭素排出量の削減、電気代の低減、停電の解消といった恩恵が期待できる。

（翻訳：菊川要）



Volume 469
Number 7328
2011年1月6日号



特集：2011 世界化学年 — 「科学の中核」の将来

CELEBRATING CHEMISTRY: The future of the central science

国際純正・応用化学連合と UNESCO は、2011 年を「世界化学年」(IYC2011)と定めた。そこで、Nature も化学についての特集で新年度をスタートすることにした。化学は、多くの点で科学における中心的な領域と言え、物理学や生物学の研究者の重要な供給源でもある。本号では G Whitesides と J Deutch が、学問としての化学は岐路に立っていると論じている。彼らは、安易な継続という選択肢はあり得ず、新しい諸問題を解決するために、研究領域を選択してそれらを系統立てることに化学はもっと果敢に取り組むべきだと考えている。また別の記事では、第一線で活躍する化学者 10 人に、自分が化学に進むきっかけとなった人物を思い出してもらい、今後 10 年の優先課題を挙げてもらった。

医学：記憶障害の一要因である EphB2

EphB2: a factor in memory loss

EphB2 受容体がアルツハイマー病にかかわることは、関連解析により以前から示されている。この受容体は、さまざまな生物学的機能を調節するチロシンキナーゼ型受容体の大きなファミリーの 1 つに属しており、アルツハイマー病でのその役割はまだ解明されていない。今回、アミロイドβオリゴマーが EphB2 と相互作用して、その分解を引き起こすことがわかった。EphB2 は NMDA 型グルタミン酸受容体を調節していて、正常マウスで EphB2 が大幅に減少すると NMDAR 電流が弱まり、長期増強が障害される。NMDAR 電流と長期増強は共に記憶形成に重要である。アルツハイマー病のマウスモデルの 1 つで EphB2 レベルを高めると記憶が改善されることから、アルツハイマー病では EphB2 の濃度あるいは機能の増強が治療に有効となるかもしれない。

構造生物学：タキソールを合成する酵素の構造

Taxol synthesizing enzyme structure

抗がん化合物タキソールなどの多くの天然 C₂₀ ジテルペンの生合成の最初の過程は、タキサジエン合成酵素により触媒されるイソプレノイドの環化である。タイヘイヨウイチイから得られるこの酵素の

X 線結晶構造が今回決定された。その C 末端触媒ドメインは、クラス I テルペノイドシクラゼで見られる様式で基質を結合し活性化しているが、N 末端ドメインと 3 番目の「挿入」ドメインは、クラス II テルペノイドシクラゼと同じ様式で折りたたまれている。これにより、この酵素はすべてのテルペノイドシクラゼの原型となる祖先であると考えられる。

脳：ドーパミンはそれ自体が報酬である

Dopamine: a reward in itself

ヒトも動物も、中立刺激が報酬に関連付けられると容易に学習できるようになる。この学習にドーパミン放出が何らかの役割を果たしていることは知られているが、その役割がどういうものかについては異論があり、したがって薬物嗜癖などの異常で何が障害されるかについてもはっきりしていない。放出の役割は実際に報酬が与えられることの予測なのか、それとも刺激自体を報酬に結びつけているのだろうか。Flagel たちは、多世代にわたって選択的交配を繰り返し、エサ報酬と関連した中立刺激を報酬刺激と見なす傾向がより強い、あるいはより弱いラットの系統を使ってこの問題を調べた。サイクリックボルタンメトリーによりさまざまな系統でドーパミン信号が測定され、またドーパミン遮断の影響が調べられた。その結果、ドーパミンは、手がかりとな

る刺激が報酬を予測していることを伝えるのではなく、動機であることを選択的に伝えているという結論が得られた。

細胞：複製フォークでのゲノムの完全性

Genome integrity at replication forks

これまでの研究から、ヘテロクロマチン、セントロメアおよびレトロトランスポゾンの長い末端反復配列 (LTR) に会合する DNA 結合タンパク質である CENP-B は、DNA 複製にかかわっていることが示されているが、その役割はまだ解明されていなかった。今回、LTR に結合する Sap1 が、CENP-B 活性がない場合にゲノム不安定性を促進することが明らかになった。CENP-B は、LTR を介して複製フォークの進行を促進することで、ゲノム再編成を防止しているのだ。

進化：擬態する被食種どうしは距離を置く

Mimic prey species keep their distance

ミューラー型擬態種は、被食者になりうるが有毒あるいは食味が悪いことを明示・警告している種群を指しており、これらの種は近縁でないにもかかわらず類似した警告色を進化させて共通の捕食者の食欲を減退させ、数の力で生き残っていこうとする。しかし、競争的排除が 1 つの擬態種に有利に働いて他種を犠牲にすると予想される場合、こうした擬態の効果が多種共存を維持するのに十分かどうかはよくわかっていない。今回 M Taylor たちは、種の豊富な熱帯産ナマズの分類群に見られるミューラー型擬態を調べた。形態計測および安定同位体による分析の結果、擬態種どうしが同一のニッチを占めることはなく、資源をめぐる種間の直接的な競争がないために多種共存が可能だと説明できることがわかった。



MARTIN TAYLOR



Volume 469
Number 7329
2011年1月13日号



標識を装着したままの一生：翼帯はペンギンの適応度を下げ、気候関連データに偏りを生じさせる



MARKED FOR LIFE: Flipper-banding reduces penguins' fitness and skews climate data

ペンギンは数十年来、気候変動の指標とされてきており、研究においては個体識別用の翼帯を装着するのが標準的なやり方となっている。だが、この方法には、標識自体がペンギンの行動を変えるかどうかについて相反する調査結果が存在し、賛否両論がある。今回、自由に行動しているキングペンギンについての10年にわたる研究の結果、「翼帯が有害であることを示す有力な証拠」が得られた。翼帯を付けられたペンギンは、生存率が著しく低く、主要な生活史形質のすべてに影響が及んでおり、翼帯を付けていないペンギンに比べて気候変動の影響を受けやすかった。この研究は、翼帯装着に基づく海洋生態系データに対して疑問を投げかけるとともに、動物へ標識を装着することの倫理にも関連してくる。



BENOÎT GINESTE

材料：複合生体材料のナノスケールトモグラフィー

Nanoscale tomography of complex biomaterials

歯や骨などの多くの生体鉱物化組織は、無機-有機ハイブリッド材料であり、その性質は複雑な内部構造によって決まる。今回、そのような生体材料や類似合成材料の内部構造と化学的複雑さを、パルスレーザー原子プローブトモグラフィー (APT) を使って解明する方法が示された。APTは、冶金や半導体を研究対象とする分野で確立された技術である。今回モデルとして使われたのは、ヒザラガイの一種である海産軟体動物の歯で、得られた高分解能3D化学マップから、歯の中の有機繊維の1本1本が明らかになっている。これらの有機繊維は組成が異なっており、そのため、有機マトリックス相と無機鉱物相の相互作用の制御における機能的役割もおそらく異なると考えられる。この分野でのAPTの使用によって、天然材料の性

質が明らかになるだけでなく、医療用や産業用の生体模倣複合材料の設計に役立つデータが得られると考えられる。

宇宙：重力レンズ効果が歪曲する暗黒時代以後の宇宙

Gravitational lensing distorts post-dark age Universe

宇宙が暗黒時代から脱し中性水素が再電離しつつあった時期に生じた星形成活動の物差しとなるのは、赤方偏移が $z \geq 7$ の高赤方偏移銀河候補の計数である。しかし、こうした遠方の天体と我々の間にある銀河によって生じる重力レンズ効果が、問題を複雑にしている。新しい理論モデル研究によると、観測機器の限界等級が銀河サンプルの典型的な等級よりも明いと予想される $z \geq 12$ の銀河で観測される特徴の大部分を、重力レンズ効果が決めているようだ。この因子は、計数を1桁変えてしまう可能性がある。そのため、今後の観測では、高赤方偏移銀河には、重力

レンズ効果による相当度の偏りがあることを考慮する必要がある。

構造生物学： β_2 アドレナリン受容体の構造

β_2 adrenergic receptor structure

いくつかのアゴニスト (作動薬) と結合したヒト β_2 アドレナリン受容体 (β_2 AR) のX線結晶構造についての報告が寄せられた。 β_2 ARは、細胞外部にある分子を検知して細胞内のシグナル伝達経路を活性化する膜貫通型のGタンパク質共役型受容体 (GPCR) ファミリーに属している。GPCRはヒトの生理に広範な役割を果たしているため、創薬における最も重要な標的の1つとなっている。今回新たに解明された一連の構造から、アゴニストの結合に伴って起きる微妙な構造変化が示され、細胞膜内外での結合によって受容体の活性化状態がどのようにして安定化されるのかが明らかになった。アンタゴニスト (拮抗薬) が結合した受容体の構造と比べると、アゴニストの結合によってカテコールアミン結合ポケットの収縮が引き起こされることが示されたのだ。また分子動力学シミュレーションからは、Gタンパク質がないと、アゴニストが結合した活性化状態が自発的に不活性様状態に緩和することが示唆されている。

遺伝：全ゲノム関連解析によるがん遺伝子の発見

GWAS identifies oncogene

交感神経系の小児がんである神経芽細胞腫に遺伝的にかかりやすいかどうかには、*LMO1* 遺伝子座内の一塩基変異が関連していることが、全ゲノム関連解析 (GWAS) によって明らかになった。*LMO1* は、がんとの関連がすでに示されている転写調節因子をコードしている。神経芽細胞腫の患者では、これと同じ遺伝子座に生じた構造変異がよく見られるため、GWASによって特定された遺伝子座は体細胞変異も起こしやすいと考えられ、したがってがんの治療標的あるいは悪性度を示すバイオマーカーとなりそうだ。



Volume 469
Number 7330
2011年1月20日号



株価大暴落のモデルを作る：生態学の理論で金融市場を救えるか？

MODELLING THE CRASH: Can ecological theory save the financial markets?

本号では、イングランド銀行金融安定担当理事の A Haldane と生態学研究者である R May が、国際銀行システムにおける最近の世界的危機を引き起こすことになったリスクの本質を検討している。彼らは、生態学で食物網や感染症伝播の分析に用いられることが多い手法を使って、今回の課題から学ぶべき教訓があり、それが将来の公共政策の意思決定を特徴付ける可能性がある^とと結論している。この総説論文のように、他分野で考案された理論を金融機関に応用することが論じることが増えているが、その実際性についての見方は分かれている。

生態：農業の始まり

First steps in farming

人類の繁栄の一因は農業を行うことにあるが、農業を行っているのは人類だけではない。菌類を栽培するアリやキクイムシなど一部の社会性昆虫は、きわめて高度な栽培法や収穫法を発達させている。海生腹足類もそれよりつつましい形の菌類栽培を行っているが、意外なことに、土壌に棲む社会性アメーバの一種のキイロタマホコリカビ (*Dictyostelium discoideum*) も原始的な形の農業を行っていることが、今回明らかになった。この種のアメーバは「粘菌」としてよく知られている。野生環境から分離されたキイロタマホコリカビのクローンの約3分の1は、自分がいる場所で得られる細菌をすべて消費してしまわずに、一部を自らの子実体に取り込む。この「収穫物」は、散布される胞子によって運



ばれ、次世代の生息場所で新たな細菌作物の「種まき」に使われる。農業によって得られる多世代にわたる利益を享受するのは、すでに確立された血縁集団であることから、ヒトや昆虫、および今回の共生微生物に見られる農業と社会性との結びつきは、単なる偶然の一致ではないと考えられる。

遺伝：白血病細胞で見られる遺伝的多様性

Genetic variation in leukaemia cells
個々の患者のがん細胞の全ゲノム解析から、がん細胞には遺伝的にかなりの不均一性があることが明らかになった。今回2つの研究グループが、急性リンパ芽球性白血病 (ALL) 患者で見られる遺伝的均一性について解析を行っている。K Anderson たちは、ETV6-RUNX1 陽性 ALL の60人に由来する多数の単一細胞の変異プロファイルを作製し、F Notta たちは、BCR-ABL1 陽性 ALL のプロファイリングを行った。両方のグループが、がんの進行過程でさまざまなサブクローンが出現する進化の経路を推論している。このがんを形成させるために移植した白血病伝播細胞 (leukaemia-propagating cell) は、本来の腫瘍に見られる遺伝的多様化をそのまま再現するので、これらの機能的な細胞亜集団の不均一性を遺伝子レベルで解明するための手がかりになる。こ

の研究は、特に白血病伝播細胞を標的とする腫瘍治療法に関係してくる。

脳：まだ見ぬ場所の感覚

A sense of the next place

海馬の場所細胞は、環境中の動物の位置を追跡している。これまでの研究では、場所細胞の発火順地図は動物が未知の場所を最初に訪れたときに作られ、その後の休息または睡眠中に固定されると考えられてきた。しかし利根川進らは、場所細胞の発火パターンは新規空間を体験する以前に、休止あるいは睡眠中の脳に生じていると報告している。彼らはこれを「予演」と呼び、発火順が以前の体験の再生順とは別ものであることから、近い将来起こる可能性のある新たな空間符号化に向けて細胞集団を準備させるためのものと考えている。

視覚：網膜が方向感覚を得る仕組み

How the retina gains a sense of direction

視覚場面上で運動を検出する能力は、視覚系における基本的な計算作業であり、これはまず網膜で行われる。運動方向の符号化を担うのは方向選択性神経節細胞で、これはある1つの方向への運動の間に活動電位の発火数を最大にし、これと反対の方向への運動の間には発火数を最小にする。これらの神経節細胞での方向選択性の決定には、抑制性細胞からの高い選択性を持つ配線がかかわっているが、こういう接続に固有の非対称的配線がどのようにして確立されるのかは不明だった。今回2つの研究グループが、薬学、電気生理学や光遺伝学などの互いに相補的な手法を用いて、方向選択性細胞の両側への抑制性入力が発生初期には均一であるが、出生後第2週の末までにヌル側の抑制性シナプスは増強され、優先的方向では一定に維持されたままとなることを報告している。このような可塑性の変化は神経活動とは無関係に起こることから、網膜で方向選択性回路を形成するために、特異的な発生プログラムが実行されると考えられる。





Volume 469

Number 7331

2011年1月27日号



Podcast



ファミリーの絆：地理的に隔離されているオランウータン 2種のゲノムの解読がもたらす種の保存への期待

**FAMILY TIES: Genomic analyses of isolated orang-utan
species offer hope for conservation**

東南アジアに生息する大型類人猿であるオランウータンのゲノム配列が解読された。今回得られたのは、スマトラオランウータン (*Pongo abelii*) の雌1個体の概要ゲノム配列と、スマトラオランウータン5個体およびボルネオオランウータン (*Pongo pygmaeus*) 5個体からの短鎖リード配列データである。解析から、ボルネオオランウータンとスマトラオランウータンでは、ゲノム全体のヌクレオチドの一致度が平均99.68%であることが示唆された。この数字は比較的大きな違いがあることを示しており、これら2つの島の個体群の進化史が異なることを表している。これらの2つの種はいずれも絶滅危惧種に指定されており、研究チームは、今回のゲノム配列解読結果および個体群間の変動に関する情報が、保全活動にとって貴重な情報源となることを期待している。

細胞：転写によらない概日リズム

Non-transcriptional circadian rhythms

概日時計は生理や行動のタイミングの重要な調節因子であり、真核生物に広く存在している。ほとんどの場合、概日時計の機構モデルは転写サイクルを基盤にしているが、植物やシアノバクテリアでは翻訳後調節が行われているという証拠が、最近見つかった。今回、ヒトの赤血球と単細胞の緑藻 *Ostreococcus tauri* では、同調可能な振動の維持にタンパク質であるペルオキシレドキシンの酸化がかかわっていることを明らかにしている。これらのデータは時計モデルで非転写的機構が働いていることを示しており、今後、転写による概日リズム装置と転写によらない装置との間の関係を探る研究に道を開くだろう。

ハッブルデータに見つかった初期銀河

Early galaxy revealed in Hubble data

ハッブル超深宇宙探査の全データセットを使った超深宇宙の研究で、赤方偏移 $z \approx 10$ の銀河が見つかった。この赤方偏移は、ビッグバンのわずか5億年後に相当する。このデータはまた、銀河の体積密度、つまりその時期の星生成

率を強く絞り込むものだ。研究チームは、 $z \approx 10$ から $z \approx 8$ までの間に星形成率が10倍に増加したと結論している。これは、再電離の真ただ中だったこの時期に、銀河が非常に急速に進化したことを意味している。

細胞：プロバイオティクス細菌の防御効果

Protective effect of probiotic bacteria

ビフィズス菌は、「プロバイオティクス」としてヨーグルトなどの食品に用いられることがあるが、ヒトの腸にも自然に常在し、感染防御を行うことが知られている。今回、理化学研究所などの研究チームは、その防御作用の少なくとも一部を担うと考えられる機構が、酢酸の産生であることを明らかにした。ビフィズス菌の一種である *Bifidobacterium longum* の株の1つをマウスに経口投与すると、致死性のある大腸菌 O157:H7 の感染から防御されることが明らかになった。これは上皮細胞での宿主防御機構の促進によるらしい。

脳：記憶力増強薬の標的になる増殖因子

Growth-factor target for memory drugs

記憶強化機構は、記憶過程に関する情

報をさらに得るためにも、臨床応用の可能性を探るためにも重要であるにもかかわらず、まだほとんど解明されていない。今回ラットの実験で、主に体組織の成長や修復に関与するとされるインスリン様増殖因子 II (IGF-II) を投与すると、記憶保持が大幅に強化され、記憶の代理指標である長期増強現象が促進されて、忘却が抑えられることが示された。IGF-II は、シナプス強化につながりうるシグナル伝達カスケードのネットワークを起動することで作用し、また、学習直後の短い時間内で最も有効である。したがって、IGF-II は認知強化を調整するための標的となる可能性がある。

発生：ホヤで見つかった新規幹細胞

Novel stem cells in the sea squirt

尾索動物は脊椎動物に最も近縁の現生動物群であるが、その一生で見られるさまざまな特性については、まだよくわかっていない。カタウレイボヤ (*Ciona intestinalis*) などのホヤ類では、オタマジャクシ型幼生の外見的には脊椎動物のものに似た中枢神経系が、新規に発生する成体神経系に置き換えられ、退縮すると考えられていた。しかし今回、筑波大学の堀江健生らがトランスジェニック動物の作製と画像化技術を用いた研究を行った結果、この見解は間違っていたことが示された。実際には、成体の神経系は、幼生に見られる幹細胞様の上皮細胞から発生するのである。

||||||| ネイチャーからのご案内 |||||

naturevideo

Web: 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)

naturepodcast

Web: 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)

現代社会では、情報量が爆発的に増加しています。身近なところでは、どんどんきれいになる画像、より難しい計算のできるアプリケーションソフトなどからもうかがい知れます。こうした状況に対処するために、さまざまな素材や方法を開発して、コンピューターの処理能力が高められてきました。しかし、このままでは、やがて限界を迎えると言われていています。そこで期待されるのが、量子コンピューター。実現すれば、SF 映画に描かれているようなハイテクも現実になるでしょう。

nature news

語数：559 words 分野：物理学・材料工学・量子情報科学

Published online 22 December 2010 | Nature | doi:10.1038/news.2010.694

<http://www.nature.com/news/2010/101222/full/news.2010.694.html>

Qubit in a nanowire

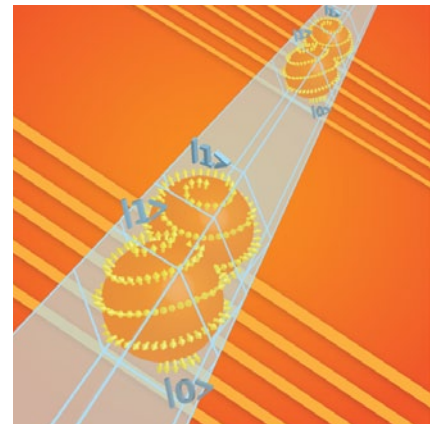
Quantum bit based on electron spin offers advantages for electronics and optical devices.

Jon Cartwright

1. A type of quantum bit that hinges on the innate link between an electron's spin and its orbit round the nucleus has been developed by physicists in the Netherlands. The system, which should easily integrate with other electronics, is a strong contender for use in future quantum computing or cryptography, according to research published today in *Nature*¹.
2. Quantum computing relies on the inherent uncertainties of quantum mechanics to process information much faster than any conventional machine. Whereas normal bits of information take only the values zero or one, quantum bits, or 'qubits', exist in a fuzzy superposition of both. This ambiguity allows several qubits to be processed in parallel, so that many calculations can be performed at once.
3. Researchers are working on different systems to physically realize qubits, from polarized light to superconducting junctions — basically, anything that can take on two distinct states. One promising system is based on electron spin, a magnetic property that can be either 'up' or 'down'.
4. Electron spins can already be controlled en masse using magnetic fields in, for example, hospital magnetic resonance imaging scans. But extending the control down to single electrons is difficult, because it is tricky to oscillate magnetic fields at the nanoscale.
5. Leo Kouwenhoven and his colleagues at the Delft University of Technology, the Netherlands, have circumvented this problem by controlling spins using electric rather than magnetic fields. Although electric fields do not directly influence spin, they can do so indirectly by affecting the orbit of an electron around its parent atom's nucleus.
6. As an electron orbits, it sees the charge of the nucleus moving, which, according to classical electrodynamics, paints a static magnetic field. So by changing the electron orbit, this magnetic field can be altered, which in turn changes the electron spin — a phenomenon known as the spin-orbit interaction.
7. In their experiment, Kouwenhoven and his group used a nanowire of indium arsenide (InAs), a semiconductor with heavy, highly-charged atomic nuclei that promote a strong spin-orbit interaction. The researchers applied voltages across five narrow gates surrounding the nanowire to isolate two electrons, which acted as two qubits. By then applying electric field pulses between gates and along the nanowire, they could alter the spin of the qubits from parallel (for example, up and up) to antiparallel (up and down).
8. Dane McCamey, an expert in semiconductor spin transport at the University of Sydney, Australia, says that the demonstration of spin-orbit qubits is an "important result", but notes that the measured lifetime of the spin-orbit link is shorter than in previous tests on electrons trapped in the semiconductor gallium arsenide (GaAs)². Still, the spin-orbit interactions in GaAs were weaker than those in the new InAs nanowires — too weak to demonstrate qubit-level control — and McCamey believes that the InAs spin-orbit lifetimes could improve with more experiments. "The effort should be worth it," he says.
9. InAs nanowires also have another advantage over electrons in GaAs. Light-emitting diodes based on nanowires have been reported recently, raising the possibility that electron states could be transferred to photons — the backbone of quantum cryptography.
10. That gives researchers much greater potential for developing "long-lived, controllable qubits that could be readily integrated with other key components such as quantum memory and long range communication via photons", says Karl Petersson, another expert in semiconductor spin transport at Princeton University in New Jersey.

Reference

1. Nadj-Perge, S., Frolov, S. M., Bakkers, E. P. A. M. & Kouwenhoven, L. P. *Nature* **468**, 1084-1087 (2010).
2. Nowack, K. C., Koppens, F. H. L., Nazarov, Yu. V. & Vandersypen, L. M. K. *Science* **318**, 1430-1433 (2007).



インジウムヒ素のナノワイヤーが、電子スピンを量子ビットとして利用するために必要な制御を可能にする。

TOPICS

量子コンピューター (Quantum Computer)

従来のコンピューターは、「0」または「1」で表される「ビット」を情報の最小単位としている。例えば、2 ビットの場合、00、01、10、11 という 4 通りで情報を表す。ただし、一度に表せる情報はそのうちの 1 つしかない。一方、量子コンピューターは、量子ビットを最小単位としている。量子ビットは、「0」と「1」が重ね合わせの状態（「0」であると同時に「1」でもある状態；従来のコンピューターではエラーになる）にあり、複数の情報を一度に表すことができる。このため、従来のコンピューターのように順番に 1 つずつ計算しなくても一気に行うことができ、演算速度が飛躍的に高まる。量子コ

ンピューターは、今後、爆発的に増加する情報処理の救世主となりうる。だが、その実現には、量子ビットの実用化が不可欠である。現在、光子、イオン、超伝導、半導体量子ドット、核スピン（NMR）を利用した方法が研究されているが、それぞれ一長一短で、総合的に制御できる量子ビットの実用化には至っていない。今回、インジウムヒ素のナノワイヤーで、電氣的に電子のスピン－軌道相互作用を迅速に制御することに成功した。ナノワイヤーは、電子の量子状態を光子に変換できる可能性があり、今後の応用が期待される。

SCIENCE KEY WORDS

タイトル **qubit**: キュービット、量子ビット

量子コンピューターの量子情報の最小単位。

タイトル **nanowire**: ナノワイヤー

ナノスケールの非常に細い糸状の物質。マクロな物質とは異なる物性を持ち、各種デバイスへの利用が期待されている。

リード **quantum bit**: 量子ビットリード **electron spin**: 電子スピン

スピンとは電子やクォークなどの素粒子が持つ内部自由度の 1 つ。実体は自転による固有の角運動量で、スピン角運動量ともいう。上向きと下向きがあり、それぞれ逆方向の磁界を持つ。

リード **optical device**: 光デバイス、光学デバイス

光学を利用した装置。照明器具やディスプレイ、太陽電池、光ファイバーや半導体レーザーなど、幅広い用途がある。

1. **orbit**: 軌道

電子は、一定の軌道上で原子核の周りを回っている。1 つの軌道には、スピンの向きの異なる 2 個の電子しか入ることができない。

1. **nucleus**: ここでは、原子核のこと1. **cryptography**: クリプトグラフィ、暗号、暗号化

特別な知識や手段がなければ読めないようにする秘密通信。所定のアルゴリズムに従って文字を変換して、暗号化する。

2. **superposition**: 重ね合わせ

状態 A と状態 B が存在するとき、A でもあり B でもある状態。たとえて言うなら、A という細かい粒子と B という細かい粒子が混ざり合って存在する状態や、回転するコイン（あるときには裏が見え、あるときには表が見える状態）、見方によって見えるものが異なるだまし絵である。

3. **polarized light**: 偏光

光波の電気（あるいは磁気）ベクトルの振動方向が、規則的なもの。

3. **superconducting junctions**: 超伝導接合

超伝導体どうし、または超伝導体と常伝導体の接合。

4. **magnetic field**: 磁場

磁石や電流が、周囲の他の磁石や電流に及ぼす力の場。

4. **magnetic resonance imaging**: (核) 磁気共鳴画像法 (MRI)
核磁気共鳴 (NMR) を利用して生体内部を画像化する技術。NMR とは、静磁場中に置かれた原子核（スピンを持つ）に、ある固有の周波数の電磁波を加えると生じる共鳴現象のこと。

6. **charge**: 電荷

物質が帯びている電気のこと。正電荷と負電荷がある。

6. **classical electrodynamics**: 古典電 (磁) 気力学

電気現象や磁気現象にかかわる学問で、ローレンツ力とマクスウェルの方程式が基盤になっている。

6. **static magnetic field**: 静磁場

静止している磁石や定常電流によって作られる、時間的に変化しない磁場。

6. **spin-orbit interaction**: スピン－軌道相互作用

電子は自転しながら原子核の周りを回っている。このため、スピン角運動量と軌道角運動量で相互作用が生じる。

7. **indium arsenide (InAs)**: インジウムヒ素、ヒ化インジウム

インジウムとヒ素からなる III-V 族化合物半導体。赤外検出素子や磁気抵抗素子などに利用される。

7. **semiconductor**: 半導体

電気を通しやすい導体と通さない絶縁体の中間的性質を持つ。

7. **voltage**: 電圧7. **electric field**: 電場

空間のある点に、単位電荷を置いたときに生じる電氣的な力が作用する空間。

8. **gallium arsenide (GaAs)**: ガリウムヒ素

ガリウムとヒ素からなる III-V 族化合物半導体。発光ダイオードや半導体レーザー、通信用高速論理回路素子などに使われる。

9. **Light-emitting diode**: 発光ダイオード、LED

ダイオードとは、電流を 1 方向にしか流さない電子素子のこと。発光ダイオードは、電圧を順方向にかけたときに発光するもの。

9. **photon**: 光子、光量子

光の粒子のこと。質量は 0。振動数 ν の光子は、 $h\nu$ のエネルギーと $h\nu/c$ の運動量を持つ (h はプランク定数、 c は光の速度)。

WORDS AND PHRASES

1. **hinge on** ~ : 「～に依存する」

1. **innate**: 「固有の」

1. **integrate with**: 「～と集積する」

1. **contender**: 「(同じ目標をめざす) 競争者」、「候補」

2. **inherent**: 「内在的」、「～に内在する」

2. **conventional**: 「従来の」

2. **fuzzy**: 「ファジーに」、「あいまいに」

2. **ambiguity**: 「あいまいさ」

3. **take on** ~ : 「～(形態、状態など)をとる」

3. **distinct**: 「(明確に)異なる」

3. **promising**: 「有望な」

4. **en masse**: 「一度に」、「一斉に」

4. **oscillate** ~ : 「振動させる」

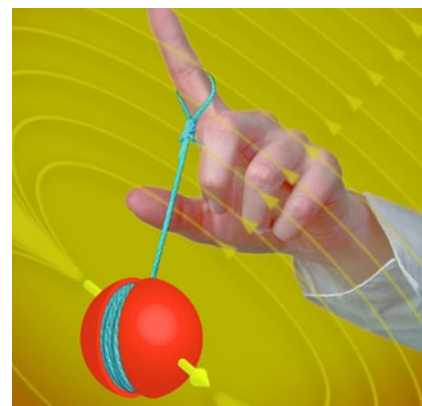
5. **circumvent**: 「回避する」

参考訳

ナノワイヤー中で キュービットを実現

電子スピンを用いた量子ビットは、電子デバイスと光デバイスに
数々の利点をもたらす。

ジョン・カートライト



スピン-軌道キュービットのたとえ。
ヨーヨーを操るときのように電子を動かすこと
で、スピンを制御する。

1. このほど、オランダの物理学者が、電子のスピンと原子核の周りの軌道との固有のつながりを利用して制御できる量子ビットを開発した。本日発行の *Nature* に掲載される論文¹ によれば、この系は、ほかの電子デバイスと容易に集積できると考えられ、未来の量子計算や量子暗号に用いる系の有力候補となるという。
2. 量子計算は、量子力学が本来持っている不確定性を利用することで、従来のいかなるコンピューターよりもはるかに高速に情報処理を行うことができる。古典的な情報のビットは「0」か「1」のいずれかの値しかとらないが、量子ビット（キュービット）は、この2つの値が重なり合ったあいまいな状態で存在している。このあいまいさが、いくつかのキュービットを並行処理することを可能にし、数多くの演算を一度に実行できるようにする。
3. 研究者たちは現在、さまざまな系を利用して、キュービットを物理的に実現する研究を進めている。基本的には、光の偏光から超伝導接合まで、明確に異なる2つの状態をとりうる系なら何でもよい。磁気特性が「上向き」または「下向き」の状態をとりうる電子スピンからなる系は、有望な系の1つである。
4. 多数の電子スピンをまとめて制御することは、すでに可能になっている。病院に設置されている磁気共鳴画像装置（MRI）は、その例だ。しかし、ナノスケールで磁場を振動させるのは非常に難しいため、個々の電子を制御するのは困難だ。
5. デルフト工科大学（オランダ）の Leo Kouwenhoven らは、電子スピンを制御するのに磁場ではなく電場を用いることにより、この問題点を回避した。電場は、電子スピんに直接作用することはないが、原子核の周りの電子の軌道に作用することで、電子スピんに間接的に影響を及ぼすことができるのだ。
6. 軌道運動する電子の側からは、原子核の電荷が動いているように見え、古典電気力学によれば、これにより静磁場を受けているように感じる。そのため、電子の軌道を変えることで、この磁場を変化させ、ひいては電子スピンの向きを変えることができる。この現象は、「スピン-軌道相互作用」として知られている。
7. Kouwenhoven の研究グループは、インジウムヒ素（InAs）のナノワイヤーを用いて実験を行った。InAs は、大きな電荷を帯びた重い原子核をもつ半導体で、このような原子核は強いスピン-軌道相互作用を生じる。研究者らはまず、ナノワイヤーを取り囲む5つの狭いゲートに電圧を印加して、2個の電子を孤立状態にした。この2個の電子が、2つのキュービットとなる。次に、ゲートの間にナノワイヤーに沿って電場パルスを印加することで、2つのキュービットのスピンを平行（例えば、上向きと上向き）から反平行（上向きと下向き）に変えることに成功した。
8. 半導体スピン輸送の専門家であるシドニー大学（オーストラリア）の Dane McCamey は、InAs のスピン-軌道キュービットの実証を「重要な成果」としつつ、今回測定されたスピン-軌道相互作用の寿命が、過去に測定されたガリウムヒ素（GaAs）半導体² に捕獲された電子の寿命よりも短いことに注意を促す。ただし、GaAs におけるスピン-軌道相互作用は、InAs ナノワイヤーにおけるものよりも弱く、キュービットレベルでの制御を実証することはできなかった。McCamey は、InAs におけるスピン-軌道相互作用の寿命は、実験を重ねることで長くできる可能性があると考えている。「取り組む価値はあると思います」と McCamey は語る。
9. InAs ナノワイヤーには、GaAs 捕獲電子よりも優れている点がある。最近、ナノワイヤーを用いた発光ダイオード（LED）が実証され、電子の量子状態を光子に転送できる可能性が見えてきた。これはまさに量子暗号の重要な要素である。
10. 同じく半導体スピン輸送の専門家であるプリンストン大学（米国ニュージャージー州）の Karl Petersson は、これによって「（量子情報通信で）ほかの重要な構成要素、例えば量子メモリーや光子を介した長距離通信などと容易に集積することができる、長寿命で制御可能なキュービット」が開発される可能性が大きくふくらんだ、と話している。

（翻訳：菊川要）



NHK スペシャル

「日本列島 奇跡の大自然」ブルーレイBOX (2枚組) プレゼント!

2011年4月15日までの期間に、下記専用サイトから

Nature ダイジェスト新規定期購読お申し込みの方の中から抽選で3名様に、
「日本列島 奇跡の大自然」ブルーレイBOX (2枚組)をプレゼントいたします!

地球が生んだ奇跡の大自然、日本列島の秘密を探る! (2011年3月25日発売)

私たちが、ふだんあたりまえに見ている、日本の自然のすばらしさと、それを生みだした壮大な地球の奇跡、そしてこの危うく多様な自然。地球規模の視点で日本の自然を見つめ直す

「NHK スペシャル 日本列島 奇跡の大自然」

(案内人: 松下奈緒 / 語り: 上川隆也 / テーマ音楽: 高見優)

定価 ¥9,400 (税込¥9,870) / 本編131分+特典45分(予定) / 発売元: NHKエンタープライズ

※ 当選者の発表は、商品の発送をもってかえさせていただきます。発送は、4月下旬の予定です。

「日本列島 奇跡の大自然」ブルーレイBOX (2枚組)に関する詳しい情報と、
Nature ダイジェスト新規定期購読お申し込みについて
[2011年4月15日まで]

www.naturejpn.com/kiseki

EDITOR'S NOTE

「未来のお肉?」を編集していて、昔、「未来少年コナン」という宮崎駿監督のアニメで、インダストリアという産業都市の住人が、廃プラスチックから作った合成パン（どうやって作るんだろう?）を食べていたのを思い出しました。確か、堅くてまずいと言っていた気がします。人口爆発、食糧不足予想される未来、人工肉や合成パンが普通で、天然物が手に入らない時代が来るのは必然なのでしょうか。私、実は、塊のお肉（ステーキとか焼き肉とか）は嫌いなのですが、それでも複雑な気分です。まあ、味や食感が天然物と遜色なければいいのでしょうけどね。（ふる）

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

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

© 2011 年 NPG Nature Asia-Pacific
掲載記事の無断転載を禁じます。

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

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



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

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

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



BRITISH AIRWAYS 自分だけの時間

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

今すぐ、ba.comでご予約ください。

