

# nature ダイジェスト

科学が深まる、世界が広がる

08  
2017

ニセ試薬のサプライチェーン

- ▶ 05 ホモ・サピエンスの歴史を書き換える化石を発見か
- ▶ 07 二次元の磁石が誕生!
- ▶ 30 がん再発を早期探知できる液体生検
- ▶ 09 FROM 日経サイエンス  
植物は聞こえている?



## NEWS FEATURE

# 偽造試薬と戦う 中国

偽造試薬の一大市場となっている中国。その製造・供給ルートには、近所の印刷店など、予想だにしない人々まで関与していた。この状況を変えようと、中国の研究者や試薬製造企業が対抗策を講じ始めているが、中国の偽造試薬問題はすでに国外にも及んでいる。

## NEWS IN FOCUS

### 03 薬の効果を左右するのは マイクロバイーム？

一部の患者で治療薬が効かなかったり副作用が出たりする理由は、腸内細菌や腸内細菌が産生する酵素によって説明できるのかもしれない。

### 05 ホモ・サピエンスの歴史を書き換える 化石を発見か

モロッコで、31万5000年前のホモ・サピエンスと見られる人骨が出土した。「ホモ・サピエンスの起源は20万年前のアフリカ東部」という通説が変わるかもしれない。

### 07 二次元の磁石が誕生！

原子1個分の厚さのシート状磁石を作れる材料が見つかった。これまでは不可能だった実験が可能になると期待される。

### 10 欧州の10億ユーロの量子技術 研究計画

欧州は総額10億ユーロの量子技術研究計画を打ち出し、徐々に具体化しているが、課題も残っている。

# nature ダイジェスト

# #08

## AUGUST 2017

[nature.com/naturedigest](http://nature.com/naturedigest)

2017年8月1日発行

© 2017 Nature Japan K.K. Part of Springer Nature.

掲載記事の無断転載を禁じます。

COVER IMAGE: ANDREW BROOKES/CORBIS/GETTY



- 12 新疆でDNA情報収集を加速させる中国  
新疆ウイグル自治区公安庁がDNAシーケンサーを多数購入した。中国政府の思惑をめぐり臆測が飛び交っている。
- 13 がん治療に役立つ細胞地図  
腫瘍の周囲に存在する免疫細胞に関する詳細な地図が、がん治療法の決定に役立つ可能性があることが報告された。
- 14 著作権侵害に対して新方針を打ち出す  
学術出版社  
学術論文の出版社は、有料論文の「公正な共有」を可能にする方法を話し合っている。
- 25 **TOOLBOX** | オンライン共同執筆ツール
- 27 **RESEARCH HIGHLIGHT** | プラスチックを消化するイモムシ

**NEWS & VIEWS**

- 30 がん再発を早期探知できる液体生検  
肺腫瘍の進化に関するゲノム情報が血液から得られることが実証され、がん再発の初期兆候の臨床モニタリングが可能なが報告された。

**NEWS SCAN**

- 09 植物は聞こえている？ / ロケット材料が熱い

**EDITORIAL**

- 33 知能に関する研究のすすめ

**HIGHLIGHTS**

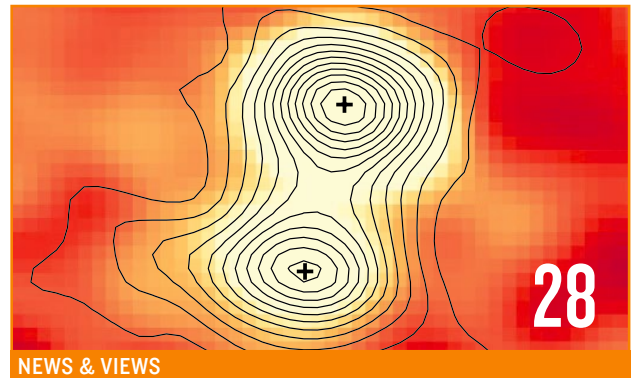
- 35 2017年6/1～6/29号



NEWS IN FOCUS

**ニホンアナグマの駆除に懸念**

ニホンアナグマは日本の固有種だが、害獣と見なされ日常的に捕獲されており、消滅の恐れがあると生態学者らが警告している。



NEWS &amp; VIEWS

**クエーサーは大質量銀河の目印**

アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計（ALMA）による観測で、初期宇宙のクエーサーの周辺には、初期宇宙で最も大質量の銀河たちの一部が存在していることが分かった。



JAPANESE AUTHOR

**食虫植物の進化がゲノム解読から明らかに**

# ニホンアナグマの駆除に懸念

日本の固有種であるニホンアナグマの個体群は、捕獲・駆除によって消滅の恐れがある。

九州地方ではニホンアナグマは害獣と見なされ、日常的に罠や狩猟により捕獲されている。生態学者らによると、こうした駆除は現状では野放し状態にあるという。鹿児島県でのアナグマ駆除数は、以前は年間数百頭程度だったが、2016年には4000頭以上に急増した。生態学者らは、この流れが個体群消滅につながる恐れがあると指摘し、日本政府に対しアナグマ駆除に介入し、持続可能な状態で駆除が行われているかどうかについて科学的助言を得るべきだと述べている。

「駆除がこのペースで続けば、ニホンアナグマが絶滅してしまう可能性もあります」と、東京農工大学の生態学者、金子弥生は話す。日本では「ジビエ料理」の流行で、ニホンアナグマの肉がレストランで供されることも増えてい

る。しかし、この現象がアナグマ駆除に拍車をかけているのか、あるいは逆に供給のしやすさから食肉利用が増えているのかは不明だ。

## 生態的危機

金子と、オックスフォード大学（英国）の生態学者Christina BueschingおよびChris Newmanは、ニホンアナグマ駆除に関する懸念を、*Nature* 2017年4月13日号のCorrespondenceで表明した<sup>1</sup>。その中で彼らは、駆除数の急増が「生態的危機」とされる状態につながる恐れがあると警告し、ニホンアナグマの駆除は「科学的助言や戦略的計画もなしに」行われているのが現状だと述べている。

ニホンアナグマ (*Meles anakuma*) は日本の固有種であり、ヨーロッパア

ナグマより小型で、顔の縞模様もそれほどはっきりしていない。紛らわしいことに、日本語の「アナグマ」という言葉は、農家が罠でよく捕獲している2種類の動物（タヌキおよび日本への侵入種であるアライグマ）に対しても使われるのだと金子は説明する。

地方自治体では、農作物の獣害を減らす取り組みとして害獣の狩猟を促進しており、ニホンアナグマの個体数はそうした駆除によってかなり影響を受けているようだと言及する金子は話す。鹿児島県の行政担当者によれば、同県ではニホンアナグマの個体群を追跡調査していないが、2016年3月までの12カ月間に4354頭が駆除されたことを確認しているという。この駆除数は前年の70%増しであり、ニホンアナグマの年間駆除数はここ数年で一挙に1桁増えている。

「この固有の個体群を追跡調査し、科学的見地から法的規制をかけるべきです」と、ロシア科学アカデミー（サンクトペテルブルク）の研究者Alexei Abramovは話す。彼は金子と共に、国際自然保護連合（IUCN）の「レッドリスト」に掲載するニホンアナグマの保全状況の評価に当たっている。ニホンアナグマは現在、IUCNのレッドリストで「絶滅危惧」に分類されていない。しかし金子は、彼女が見積もったニホンアナグマの個体群密度に基づいてこの評価がじきに改訂されるのではないかと話す。その見積もりによれば、鹿児島県のニホンアナグマの最大70%がこの数年で駆除されてしまったことになる。

## 駆除は許可制

ニホンアナグマの駆除が違法かどうかは、現状では不透明である。鹿児島県側の話では、駆除は環境省の法律に従って行われており、ニホンアナグマ



ニホンアナグマ (*Meles anakuma*)。

などの害獣は許可を得て狩猟・捕獲できるのだという。県側はさらに、アナグマ駆除の許可を得ているハンターその他の人々からの報告を基に、ニホンアナグマのデータをまとめていると述べている。しかし金子によれば、現状では駆除が行き過ぎており、その結果、環境省が定めた詳細な規定を順守できていない、つまり、違法となっている可能性があるという。

環境省の広報担当者は匿名を条件に、ニホンアナグマの駆除が容認されていることを認めたが、同省は九州の駆除実施に関する詳細な情報を把握していないと語った。

バルセロナ大学（スペイン）でヨーロッパアナグマの研究を行ったことのある生物学者 Guillem Molina-Vacas も、駆除活動に法的規制が設けられていないとすれば、ニホンアナグマの IUCN カテゴリー分類は間もなく変更されると考えている。彼は、過去に日本で起こった事例に照らし合わせ、「現状に安心はできない」と指摘する。19世紀、明治期の日本では国土の開拓が推進されており「害獣」の積極的な駆除が認められていた。ハイロオオカミの亜種であるエゾオオカミに対しては、ストリキニーネ入りの毒餌による駆除も容認されていたという。やがて、エゾオオカミは姿を消してしまった。「あのような事例を繰り返してはなりません」と Molina-Vacas は話す。

（翻訳：船田晶子）

Ecologists warn of Japanese badger cull 'crisis'

doi: 10.1038/nature.2017.22131  
2017.6.9 (Published online)

Tim Hornyak

1. Kaneko, Y., Buesching, C. D. & Newman, C. *Nature* **544**, 161 (2017).

## 薬の効果を左右するのは マイクロバイーム？

一部の患者で治療薬が効かなかったり副作用が出たりする理由は、腸内細菌や腸内細菌が産生する酵素によって説明できるのかもしれない。

個別化治療を探求する研究はこれまで、薬物に対する反応を個人のゲノムがどのように制御しているかに焦点を合わせたものがほとんどであった。しかし、薬剤がその人の病気に効果があるかどうかを決めるカギとなるのは、その人に固有のマイクロバイーム（ヒトの体内に生息する細菌などの微生物の集団）であることを示唆する証拠が増えてきている。

このたびアルバートアインシュタイン医科大学（米国ニューヨーク州）の計算生物学者 Leah Guthrie らの研究チームは、健康な人々での薬剤の代謝のされ方が、腸内細菌の構成によって異なるという証拠を得て、2017年6月4日に米国レイジアナ州ニューオリンズで開かれた米国微生物学会議で発表した。

ヒトの体内に生息する細菌は、どんな栄養物も手当たり次第に食べてしまう。宿主の食餌に含まれる栄養素だろうが、その人が服用している薬剤だろうがおかまいなしだ。細菌の食物摂取におけるこのような柔軟性によって、薬剤が代謝されて効果を示さない化合物や毒性を持つ化合物に変えられてしまうと、問題が起こる可能性がある。

今回 Guthrie が発表したデータは、イリノテカンと呼ばれるがん化学療法

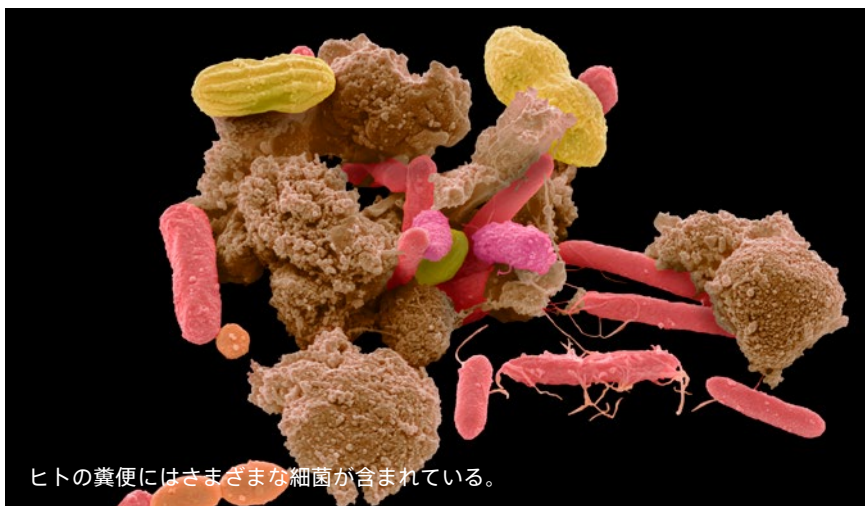
薬に関するものだ。この薬剤は、一部の患者で重篤な下痢を引き起こすことが知られている。イリノテカンなどのいくつかの薬剤の化学構造は、細菌が産生するβグルクロニダーゼという酵素によって変化することが、マウスの研究で以前に示されている<sup>1</sup>。通常、こうした治療薬は肝臓でグルクロン酸抱合と呼ばれる過程によって解毒・代謝されるが、細菌のβグルクロニダーゼはグルクロン酸抱合体を加水分解し、毒性を持つ化合物に変えてしまう。

### 腸と共に

Guthrie らは、特定のヒトのマイクロバイームが薬剤の代謝に影響するかどうかを調べるため、20人の健康な被験者から糞便試料を集め、試料にイリノテカンを添加した。試料に含まれる細菌との相互作用で生じた化合物を調べた結果、毒性を持つイリノテカン代謝物が4つの試料で高レベルに検出された。しかし、試料中に存在する細菌種に有意な違いは見られなかった。

研究者らが試料中のタンパク質を分析したところ、代謝が高い細菌を含む被験者から得た試料には、βグルクロニダーゼをより多く産生する細菌種が複数含まれていることが分かった。これらの





ヒトの糞便にはさまざまな細菌が含まれている。

被験者は、糖を細胞内に輸送するタンパク質のレベルも高いことから、毒性を持つ化合物を吸収しやすく、消化器系の問題が起こりやすいと考えられる。

この研究を主導するアルバートアインシュタイン医科大学の微生物学者 Libusha Kelly は、「我々は現在、イリノテカンによる治療を受けているがん患者から試料を集め、この仮説が正しいかどうかを調べることを計画しています」と話す。

今回の研究は、腸内細菌が産生する酵素が薬物とどのように相互作用するかを知るための良い取っ掛かりになるとノースカロライナ大学チャペルヒル校（米国）で同じくイリノテカンの研究を行っている構造生物学者 Matthew Redinbo は言う。「腸内細菌の酵素を調べ、それらをヒトの場合と同じように考えることで、最も大きな知見が得られるでしょう」。

Redinboによると、肝臓では、細菌のβグルクロニダーゼによって除去されたグルクロン酸は、他の薬物の抱合にも関わっているという。つまり、マイクロバイオームの影響は非常に広範囲に及ぶことが示唆される。彼は、マウスでの研究で、複数のβグルクロニ

ダーゼが、イブプロフェンなどの抗炎症剤を同じように変化させることを明らかにしている。ヒトでは、イブプロフェンの長期間投与によって、腸管毒性が引き起こされる場合がある<sup>2</sup>。

### やはりブラックボックス

腸内細菌によりパーキンソン病薬や抗不安薬などが変化したと考えられる例が多数報告されていると、ハーバード大学（米国マサチューセッツ州ケンブリッジ）の生化学者 Emily Balskus は述べる。彼女は、こうした「細菌による干渉」が、動物モデルでヒトでの薬剤毒性を予測できない理由を説明する助けになるとも言う。動物が持つ細菌群は、ヒトとは異なるからだ。

しかし、多くの疑問が残っている。これらの薬剤を変化させている酵素はほとんど特定されておらず、また、ヒト集団間で細菌にどれくらい差異があるかも明らかではない。

例えば、<sup>腸内</sup>腔用ゲル剤である HIV 予防薬のテノホビルは、ガルドネラ属 (*Gardnerella*) という細菌種が腔内に存在する女性では効果がないことが、2017年6月2日に *Science* に報告されている<sup>3</sup>。ガルドネラ属の細菌はテノ

ホビルを速やかに分解して不活性化化合物に変えてしまう。しかし、この過程が起こる仕組みや、この過程を阻止できるかどうかは分かっていない。

ある薬剤が効くかどうかを調べる目的で、臨床医が患者のマイクロバイオームをスクリーニングする日が来るかもしれないと、Balskus は言う。患者の腸のマイクロバイオームが問題を引き起こしそうな場合、医師たちは酵素の阻害剤を投与したり、治療薬を食物源としない細菌群をもたらす食餌療法を行ったりすることで、対処できるようになるだろう。マウスの研究で、食餌療法によって心臓病薬ジゴキシンが細菌により分解されるのをある程度防ぐことができたという結果が報告されている<sup>4</sup>。

Redinbo はこの手法をヒトで試みたいと考えている。彼が新たに設立したバイオ企業 SymbioRx 社（米国ノースカロライナ州ダーラム）は、がん患者にイリノテカンと共にβグルクロニダーゼ阻害剤を投与する臨床試験を申請しようと計画している。

だが、細菌-薬剤相互作用について十分な知識が得られ、医師たちがそうした相互作用を標的とした治療を日常的に行えるようになるまでには、長い時間がかかるだろう。「目がくらむほど複雑なのです」と、Redinbo は言う。■

（翻訳：古川奈々子）

### Gut bacteria can stop cancer drugs from working

doi: 10.1038/nature.2017.22109  
2017.6.6 (Published online)

Sara Reardon

- Wallace, B. D. *et al. Science* **330**, 831–835 (2010).
- LoGuidice, A. *et al. J. Pharmacol. Exp. Ther.* **341**, 447–454 (2012).
- Klatt, N. R. *et al. Science* **356**, 938–945 (2017).
- Haiser, H. J. *et al. Science* **341**, 295–298 (2013).

# ホモ・サピエンスの歴史を 書き換える化石を発見か

モロッコで、31万5000年前のホモ・サピエンスと見られる人骨が出土した。この発見はホモ・サピエンスの起源を10万年さかのぼらせ、我々が進化した地がアフリカ東部に限らなかったことを示唆している。

史上最古のホモ・サピエンスの骨が、信じられない場所で発見されたという報告が、*Nature*2017年6月7日号289ページ<sup>1</sup>および293ページ<sup>2</sup>に掲載された。その場所はモロッコだ。出土した頭蓋、顔面、顎の骨が約31万5000年前の初期ホモ・サピエンスのものであると判定されたことで、ホモ・サピエンスの出現が従来の想定よりも10年以上早かったことが示唆されるという。

ホモ・サピエンスは約20万年前にアフリカ東部に出現した、と考える研究者は多く、ほぼ定説となっている。これに対し今回の化石はアフリカ北西部で発掘されている。しかし今回の論文は、従来の説に対して「ホモ・サピエンスがアフリカ北部で生まれた」と言っているのではない。むしろ、最初期のホモ・サピエンスはアフリカ大陸全体で進化した可能性が示されるのだと、この論文を発表した科学者らは語る。2報の論文の共著者であり、マックス・プランク進化人類学研究所（ドイツ・ライプチヒ）の理事を務めるJean-Jacques Hublinは、「従来の共通認識では、ホモ・サピエンスはおそらくサハラ以南のアフリカのどこかにあった

『エデンの園』でかなり急速に出現したと考えられていました」と話す。今回の発見を受け、「『エデンの園』は、おそらくアフリカそのものだったのでしょ。広大な1つの園です」と付け加えた。Hublinは、モロッコの大西洋岸に近いジェベル・イルード遺跡で10年にわたって行われた発掘の中心人物の1人でもある。

## 顎と石器

Hublinがジェベル・イルード遺跡に興味を持ったのは、1980年代前半に、この遺跡で出土した不可解な小児下顎骨の化石標本を見せられたことがきっかけだった。1961年、鉱山労働者がその地でヒトのほぼ完全な頭蓋骨を発見していた。頭蓋骨はその後の発掘でも出土し、高度な石器をはじめとした、人類の存在を示す痕跡も発見されていた。

出土した骨は「外観があまりにも原始的で全く理解不能なものだったため、奇妙な仮説がいくつも生まれました」とHublinは話す。当時の研究者らはこの化石を4万年前のものとして推測し、アフリカ北部にネアンデルタール人が住んでいたという説が発表された。

さらに最近では、ジェベル・イルード遺跡の人類は「古い」種で、サハラの南から来たホモ・サピエンスに取って代わられるまでアフリカ北部で生き延びていたのではないかと、という説も出た。というのも、多くの科学者がホモ・サピエンスの起源と考えている場所はアフリカ東部であるからだ。既知のホモ・サピエンス化石で最古のものは19万6000年前、2番目は16万年前の頭蓋骨であって<sup>3,4</sup>、いずれもエチオピアで発見されており、また世界の現生人類集団のDNA研究からも、約20万年前のアフリカが人類の起源であることが示唆されている<sup>5</sup>。

## 10年間の発掘

Hublinが初めてジェベル・イルード遺跡を訪れたのは1990年代だったが、その当時遺跡は土中に埋もれていた。2004年になってようやく発掘のための時間と資金ができたとき、Hublinはマックス・プランク研究所の一員となっていた。手始めにトラクターやブルドーザーをレンタルし、行く手を阻んでいた約200m<sup>3</sup>の岩石を除去した。

当初の目標は、新しい方法で遺跡の年代を再評価することだったが、2000年代後半、研究チームは、新たな人骨を20点以上発見した。極めて完全に近い顎や頭蓋骨の断片など、少なくとも5人の個体と関連するもので、また石器も出土した。考古学者のDaniel RichterとShannon McPherron（ともにマックス・プランク進化人類学研究所）を中心とする研究チームは、遺跡および発見された全ての人骨の年代を、2種類の測定法によって35万～28万年前のものとして判定した。

再評価された年代と新たな人骨片から、Hublinは、かつてジェベル・イ

ルードに住んでいたのが初期のホモ・サピエンスだったことを確信した。「彼らの顔つきは、現代の街ですれ違っても違和感のないものでしょう」とHublinは言う。その歯は、現生人類のものよりは大きい、さまざまな形態学的特徴はネアンデルタール人やその他の旧人類のものよりも初期の現生人類のものによく一致している。そして、後代のホモ・サピエンスのものよりも長い頭蓋骨からは、ジェベル・イルードの人々の脳の構成が現生人類とは異なっていたことが示唆されるという。

上記の発見は、現代の解剖学的現生人類に至るホモ・サピエンス系統の進化に関する手掛かりを与えてくれる。解剖学的現生人類は、その特徴的な顔面を獲得してから、脳の形に変化が生じたのではないかとHublinは考えている。さらに、ジェベル・イルード遺跡の人骨やアフリカの他の場所で発見された別のホモ・サピエンス様化石に

認められるさまざまな特徴には、ホモ・サピエンスの起源の多様性が表れているとし、アフリカ東部のみを起源とする説に疑問を提起している。

「我々が考えているのは、ホモ・サピエンス（あるいは少なくともその最も原始的な集団）が30万年以上前、アフリカ全土に分布していた、ということです」とHublinは語る。当時のサハラには多くの湖沼や河川が存在し、植物の生育の証拠も確認されている。ガゼルやヌー、ライオンなど、アフリカ東部のサバンナを歩き回っていた動物がジェベル・イルード付近にも生息していた証拠も見つかっている。つまり、かつては2つの環境が繋がっていたことが示唆されるのだ。

### ゲノムの証拠

ホモ・サピエンスの起源が時代をさかのぼることは、2017年6月5日付でプレプリントサーバーbioRxivに投稿さ

れた古代DNAの研究報告<sup>6</sup>でもさらに支持されている。ウプサラ大学（スウェーデン）のMattias Jakobssonを中心とする研究チームは、約2000年前の南アフリカに暮らしていた少年のゲノム塩基配列を解読した。これは、サハラ以南のアフリカに由来する古代人ゲノムの塩基配列解読例として、ようやく2番目のものだ。研究チームは、少年のホモ・サピエンス系統上の祖先たちが、26万年以上前に他の一部の現代アフリカ人集団の祖先から分岐したことを明らかにした。

Hublinらもジェベル・イルードの人骨からのDNA採取を試みたが、できなかったという。ゲノムが解析できれば、その人骨が現生人類につながる系統上にあるかどうか、白黒がつけられたことだろう。

ピッツバーグ大学（米国ペンシルベニア州）の古生物学者Jeffrey Schwartzは、今回の新しい発見は重要だと話す。発見された化石をホモ・サピエンスのものだと考えるべきかについては確信が持てないという。あまりにも数多くの外観の異なる化石が「ホモ・サピエンス」として寄せ集められているため、新たな化石を解釈し、この種がいつ、どこで、どのように出現したかについてのシナリオを組み立てる研究が困難になっている、とSchwartzは考えている。

ロンドン大学ユニバーシティカレッジ（英国）の古人類学者María Martínon-Torresは、「ホモ・サピエンスは、とてもよく知られていますが、現在に至るまでその過去は明らかになっていません」と話し、アフリカで人類の起源につながる化石が稀少であることを指摘する。また、ジェベル・イルードの骨化石には、ホモ・サピエンスを定義する突き出た顎や額などの



モロッコで発見された初期のホモ・サピエンス個体の化石（左）は、現代の現生人類（右）と比較して頭蓋骨が長い。



特徴がないことから、彼女はホモ・サピエンスと考えるべきでない、と確信しているという。

### 進化の最前線

今回の研究論文に関連する News & Views 記事の共同執筆者であるロンドン国立自然史博物館（英国）の古人類学者 Chris Stringer は、1970年代前半に初めてジェベル・イルードの人骨を見て困惑したという。ネアンデルタール人でないことは分かったが、ホモ・サピエンスの化石にしては年代が随分新しいものに見えるのに対し、外観が原始的すぎる気がしたのだ。しかし、年

代の古さと新たに発掘された骨化石から、Stringer は、ジェベル・イルードの人骨が確かにホモ・サピエンスの系統上にあることを受け入れた。「この発見により、これまでホモ・サピエンスの進化の研究では見向きもされなかったモロッコが、重要な地点に位置付けられたのです」と Stringer は付け加える。

Hublin は、隣国アルジェリアで生まれ、独立戦争が勃発した8歳のときに国を逃れた。彼にとって、数十年にわたって思い焦がれていたアフリカ北部の地へ戻ることは、心を揺さぶる経験だった。「この遺跡との間に、個人的なつながりを感じています」と Hublin は言う。「区

切りがついたとは言えませんが、長い旅の末、こんなにも驚くべき結論に達したことに、感慨を覚えています」。

（翻訳：小林盛方）

### Oldest *Homo sapiens* fossil claim rewrites our species' history

doi: 10.1038/nature.2017.22114

2017.6.7 (Published online)

Ewen Callaway

1. Hublin, J. *et al. Nature* **546**, 289–292 (2017).
2. Richter, D. *et al. Nature* **546**, 293–296 (2017).
3. McDougall, I., Brown, F. H. & Fleagle, J. G. *Nature* **433**, 733–736 (2005).
4. White, T. D. *et al. Nature* **423**, 742–747 (2003).
5. Cann, R. L., Stoneking, M. & Wilson, A. C. *Nature* **325**, 31–36 (1987).
6. Schlebusch, C. *et al. Preprint at* <http://biorxiv.org/content/early/2017/06/05/145409> (2017).

## 二次元の磁石が誕生！

原子1個分の厚さのシート状磁石が得られたことで、これまでは不可能だった数々の実験が可能になると期待される。

2004年にグラフェンの単離が報告されて以来、半導体や絶縁体、超伝導体など、さまざまな物性を持つ新しい二次元（2D）材料が次々と開発・実現されている。ところが、こうした原子1個分の厚さのシート材料群には、ある重要なメンバーが欠けていた。それは、磁石、つまり「強磁性体」である。2D強磁性体は半世紀近く前から探求されてきたにもかかわらず、物理学者たちはこれまで、そうした2D材料が存在し得るかどうかさえ確信が持てずにいた。

そんな中、ワシントン大学（米国シアトル）のオプトエレクトロニクス研

究者 Xiaodong Xu とマサチューセッツ工科大学（米国ケンブリッジ）の物性物理学者 Pablo Jarillo-Herrero の共同研究チームは今回、三ヨウ化クロム（CrI<sub>3</sub>）の2D結晶が強磁性を示すことを見だし、*Nature* 2017年6月8日号270ページで報告した<sup>1</sup>。これは初めて発見された「真に2D」の強磁性体であり、これまで不可能だったさまざまな実験を可能にするとともに、磁性の基礎理論を検証するためのプラットフォームになると期待される。また、将来的には、新しいデータ記憶デバイスや量子コンピューター的设计

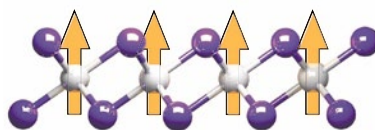
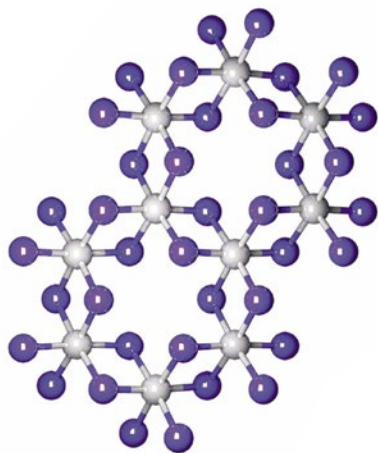
につながる可能性もある。

Xu と Jarillo-Herrero は、もともと別々に2D強磁性体を探求していたが、2016年に顔を合わせたのを機に、2人で力を合わせて研究を進めることに決めたという。「ちょうど考えが一致したのです。この重大な目的をどうしても達成したいという思いがありました」と Jarillo-Herrero は説明する。

### 磁気的な個性

Xu と Jarillo-Herrero が2D強磁性体の候補として注目したのは、三ヨウ化クロムの結晶だった。三ヨウ化クロムの三次元（3D）結晶は、シートが幾層にも積み重なった構造をしているため、グラフェンの単離さながらに、粘着テープを使ってシートを剥がす「スコッチテープ法」で2D材料を得ることができる。また、三ヨウ化クロムには、有望な磁気特性もいくつか備わっている。

三ヨウ化クロムの3D結晶は強磁性体であり、個々の電子のスピンが全て



三ヨウ化クロム ( $\text{CrI}_3$ ) の結晶構造。単層シートを上から見た図 (左) と横から見た図 (右)。灰色がCr、紫色がI、矢印がスピンの向き。

同じ向きに整列して永久磁場を作っている。さらに三ヨウ化クロム結晶には、電子スピンのシート面に対して垂直方向に優先的に配向する、という固有の磁気異方性がある。こうした基本特性から、三ヨウ化クロム結晶は単一層まで薄くしても強磁性を維持できるのではないかと、XuとJarillo-Herreroは考えた。

今回の共同研究では、まずJarillo-Herreroのグループが三ヨウ化クロム結晶を成長させて剥離し、単層や複数層のシート試料を作製。これらの試料の磁気秩序を、Xuのグループが「磁気光学カー効果顕微鏡」と呼ばれる特殊な顕微鏡を用いて観察した。

その結果、三ヨウ化クロムの単一原子層には強磁性を示す特徴が見られることが明らかになった。また、単層のキュリー温度 (それ以上では強磁性が失われる温度) は約 $-228^\circ\text{C}$ であることが分かった。3D結晶のキュリー温度が約 $-212^\circ\text{C}$ であることから、単層化による影響はそれほど大きくないことが示唆される。さらに、三ヨウ化クロムの2層結晶では強磁性が抑制されるが、3層結晶では強磁性が復活する、という注目すべき層依存性が見いださ

れた。Jarillo-Herreroによると、4層結晶では強磁性が維持されるが、別の特性も現れるといい、これについては現在調査中だという。

### 「真に2D」の強磁性体を求めて

2D強磁性体の研究を行っているのは、Jarillo-HerreroとXuだけではない。彼らの論文が掲載された同じ号の*Nature*には、別の研究グループが、クロムとゲルマニウムとテルルからなる物質の極めて薄い結晶において強磁性を観測したことを報告している<sup>2</sup>。しかし、この研究で強磁性が確認されたのは、極薄とはいえ数原子層の結晶であり、「真に2D」、つまり単一原子層での結果は得られていない。

それでも、「いずれの研究成果も意義は大きい」と語るのは、ペンシルベニア州立大学 (米国ユニバーシティーパーク) の物性物理学者Nitin Samarthだ。彼は、どちらの研究にも関わっていないが、これら2報に関する解説記事「News & Views」 (同号掲載) を執筆している。これらの発見がなされる前は、「真に2Dの強磁性材料を作製する一般的な方法はありませんでした」と彼は言う。研究者たちは、1970年代

からずっと極薄の強磁性体の作製と研究を試みてきたが、これまでに得られた単層結晶はどれも穴や突起などがある不完全なもので、「真に2D」とはいえなかった。

物理学者たちが目指すのは、室温で機能する2D強磁性体や、酸素から保護する必要のない2D強磁性体の発見である。そうした2D材料は、家庭用電子機器に使える可能性があるからだ。Jarillo-HerreroとXuは現在、三ヨウ化クロムの2D結晶についてさらなる研究を進める一方で、この化合物と同じ化学族の材料でも2D強磁性体を探索している。

Jarillo-Herreroは、2D強磁性体に2D超伝導体を重ねたらどうなるのかわかりたいと話す。強磁性体では、電子スピンの向きが全て同じ方向に整列しているが、超伝導体では、スピンの向きが逆向きを形成して並んでいる。「超伝導体が強磁性を破壊するのでしょうか、それとも強磁性体が超伝導を破壊するのでしょうか。こうした実験はこれまで不可能でした」。

物理学の観点から見て、今回の成果に根本的に新しい要素があるかどうかは、現段階ではまだ何ともいえないとSamarthは言う。しかし、2D強磁性体を使った実験が可能になった今、物理学者たちは、その答えを見つけるべく意気込んでいる。 ■

(翻訳: 藤野正美)

Physicists have finally created a 2D magnet

doi: 10.1038/nature.2017.22115  
2017.6.7 (Published online)

Katherine Bourzac

1. Huang, B. et al. *Nature* **546**, 270–273 (2017).
2. Gong, C. et al. *Nature* **546**, 265–269 (2017).

## 植物は聞こえている？

水の音や虫が葉を食べる音を検知できている可能性も

植物に音楽を聴かせるとよく育つといった、根拠の甚だ怪しいエセ科学的な主張は何十年も前からある。しかし最近の研究は、ある種の植物が、パイプの中を流れる水の音や昆虫の羽音などを感知できている可能性を示唆している。

この研究で、西オーストラリア大学の進化生物学者 Monica Gagliano らは、Y字を逆さにしたような形の植木鉢にエンドウマメの苗を植えた。それぞれの植木鉢の片方の脚は水を入れた皿か、内部を水が流れるコイル状プラスチックチューブの中に置き、他方の脚は乾いた土の中に置いた。すると根は水が流れるチューブに向かって成長した。

「チューブ内部を水が流れている音しか手掛かりはないのに、水がそこにあることをちゃんと知っている」と Gagliano は言う。だが水のチューブと湿った土のどちらかを選べる状況では、エンドウの苗は後者に根を伸ばした。Gagliano は、これらの植物は遠くの水を検知するのに音を使うのだが、近くのターゲットに根を伸ばすときには湿度勾配に従うという仮説を立てている。

2017年に *Oecologia* に報告されたこの研究は、植物が音を検知して解釈できることを示唆した最初の例ではない。2014年には、ロックレス（シロイヌナズナ属の植物）が、イモムシが葉を食べている音と風による振動を区別でき、昆虫が食事している音の録音を聞かせると毒素を作り出す量が増えることを示した。「植物の反応は見えにくいので、私たちは植物を過小評価しがちだ。だが、葉は極めて高感度の振動検出器であることが分かる」と、論文の筆頭著者でトレド大学（米国オハイオ州）の環境科学者 Heidi M. Appel は言う。

植物に音が聞こえている可能性をうかがわせるもう1つの兆候は「振動送粉」という現象だ。ある周波数のハチの羽音が、植物の葯やくからの花粉の放出を促すことが示されている。

グライフスヴァルト大学（ドイツ）の生物学者 Michael Schöner は、「音の振動は何らかの機械的受容器を通じて植物に反応を引き起こすことができるだろう。非常に細い毛のような構造の受容器で、何か鼓膜のような働きをされると考えられる」と言う。

今回の研究は、「例えば植物が昆虫の襲来を仲間に警告する必要がある際に、雑音がこの情報チャンネルを遮断する恐れがあることを示している」と、Gagliano は指摘する。 ■

（翻訳協力：栗木瑞穂）

## ロケット材料が熱い

微細な“けば”つき繊維によって強度を大幅にアップ

現在のロケットエンジンの内部は1600℃という猛烈な温度に達する場合がある。そして未来のエンジンはさらに高温になる必要がある。高温になるほど燃料効率が高まり、より大きな推力が生じ、より大きな積み荷を運べるからだ。火星行き宇宙船や高度な航空機を実現するカギとなる。

炭化ケイ素は期待の高温エンジンに予想される2000℃に耐えられることから、現在の複合材料は、炭化ケイ素繊維を織ったマットを積み重ね、その間を多孔質セラミックスで埋めて作られている。だが、これら既存の複合材料はエンジン内で発生する高圧の下でひび割れを起こす場合がある。繊維同士が滑って、セラミックスから抜けてしまうからだ。

これに対し、ライス大学（米国テキサス州ヒューストン）と米航空宇宙局（NASA）グレン研究センター（米国オハイオ州クリーブランド）のチームがブレークスルーとなり得る新材料を開発、*Applied Materials & Interfaces* に報告した。表面が微細なマジックテープのように“けば立った”炭化ケイ素繊維で、微毛が互いに絡み合うため、滑りにくく周囲のセラミックスから抜けにくいと考えられる。

この糸を作るため、研究チームはまず、炭化ケイ素の表面にねじれたカーボンナノチューブを成長させ、巻き毛のように突き出させた。次にこの繊維をケイ素の超微細粉末に浸して加熱し、カーボンナノチューブを炭化ケイ素繊維に変えた。このけば立った繊維を透明なゴム状ポリマーに埋め込んで強度を評価した結果、すべすべの糸を使った通常の複合材料と比べて4倍の強度があることが分かった。

論文を共著したNASAの技術者 Janet Hurst によると、同チームは現在、この繊維をセラミックス媒質に埋め込んでテストする準備をしている。また、窒化ホウ素繊維でも作りたいと考えている。その方が強く、損傷を及ぼす酸素への曝露ばくろから繊維を保護できるからだ。

炭化ケイ素繊維は長さ方向には強いが、横方向に高い圧力がかかるとちぎれる場合がある。だがこの新繊維の場合、柔軟な“けば”がひずみを分散して逃がす効果があるため、破損を避けられるだろうと、コネチカット大学物質科学研究所（米国ストーズ）の所長 Steven Suib（今回の研究には加わっていない）は言う。 ■

（翻訳協力：鐘田和彦）



# 欧州の10億ユーロの 量子技術研究計画

欧州は総額10億ユーロの量子技術研究計画を打ち出し、徐々に具体化しているが、課題も残っている。

中国と米国が量子技術の市場を独占する恐れがある中、欧州も独自に量子技術への研究投資を始めようとしている。欧州委員会は2016年4月、量子技術研究に10年で10億ユーロ（約1300億円）を投じる大型研究プロジェクトをスタートさせることを発表した。しかし、計画の詳細はまだ明らかになっていない。このほど英国・ロンドンで開かれた会議での、計画を推進する研究者らの発言から、計画の進め方のほか、課題や懸念も浮き彫りになった。

この研究計画は「量子技術フラッグシップ」と呼ばれる。欧州連合（EU）の行政機関である欧州委員会は、10年間で10億ユーロ規模の大型研究計画、「グラフェン・フラッグシップ」と「ヒト脳プロジェクト」を進めているが、それに続くものだ。通信、計算、計測、シミュレーションの4つの量子技術と、量子分野の基礎科学の研究に助成する。量子系が示す奇妙な振る舞いを利用し、例えば、安全性の非常に高い通信システムや、小型の超高精度センサーなどの新技術の開発を目指している。

量子技術フラッグシップは2016年4月、クラウド・コンピューティングに関する、一見関連の薄い計画の一部として、あまり目立たない形で公表された。欧州委員会の広報担当者 Nathalie

Vandystadtはこのとき、「量子技術フラッグシップが具体的にどのような形態になるかはまだ決まっていません」と話していた。

計画の運営委員会は2017年2月、この計画に関する中間報告書を発表した。計画の管理形態についてや、EU加盟国、欧州委員会、出資組織が計画にどう関わるかについての具体的な記述は最終報告（2017年9月予定）に見送られた。2017年秋に研究提案の募集が発表され、2019年1月に助成を受けた研究が始まるというスケジュールが提案されている。欧州委員会によると、10億ユーロは、欧州委員会の他、EU加盟国、参加企業などが負担する見込みだという。

## 産学の温度差

実のところ、この計画は他国を追いかけろ立場にある。グーグルやマイクロソフトなどの大企業を含め、欧州以外の地域の多くの研究機関がすでに量子技術の開発を進めている。欧州委員会上級研究フェローの Martino Travagnin は、量子技術における特許権取得を分析した。彼は「欧州は量子技術分野で優れた研究結果を出してはいますが、他の地域はより多くの特許を申請しています」と指摘する。

中国は現在、量子通信の分野で最も多くの特許を持ち、この分野で優位を占めている。量子通信の典型例は、暗号化のための共有秘密鍵を粒子の量子もつれなどの量子的性質を使って配送するものだ。中国は、すでに長さ2000kmの地上量子通信路の試験を行っていて、2017年6月には量子通信衛星から地上へもつれた光子を送ることに成功したと発表した。一方、米国は、量子計算と超高感度センサーでの特許権取得でリードしている。

2017年4月7日、英国・ロンドンのロシア科学文化センターで開かれた会議で、量子技術フラッグシップ運営委員会の委員らが、計画の進め方について説明した。運営委員会の一員で、スロバキア科学アカデミー量子情報研究センター（同国ブラチスラバ）の物理学者 Vladimir Buzek は、「欧州の産業界はあまりに長い間、動き出さないままでした。もはや、この計画に乗り遅れることはできません」と訴えた。

産業界は、運営委員会に加わる12人の委員を通じて計画の運営に参加している。しかし、運営委員会の科学者たちは、産業界が研究投資に消極的だと感じている。Buzek は「産業界は、学術研究グループがもたらす成果をただ待ち、機が熟したら成果を手に入れようとしているように思えます」と釘を刺した。この背景について、日本のある研究者は「欧州の学術界は、量子技術を実用化する戦略を示す努力をしていません。だから、産業界は、学術界主導で基礎研究寄りのこの計画を冷めた目で見ています。助成額も企業にとっては小さい」と話す。

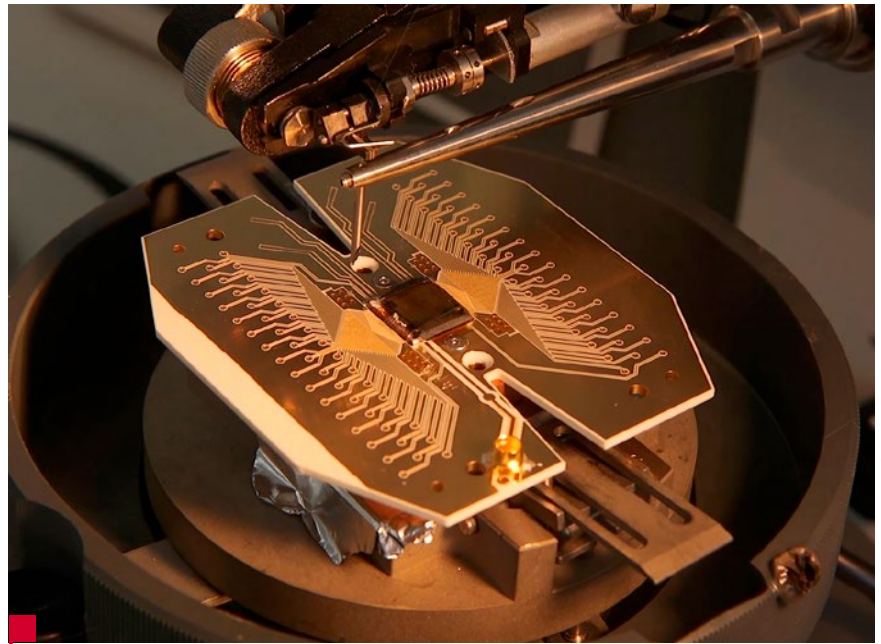
## 先行計画の轍

EUのグラフェン・フラッグシップとヒ

ト脳プロジェクトはいずれも2013年に始動したが、今のところ、成果を十分に出しているとはいえない。ヒト脳プロジェクトは、その進め方について研究者からの批判が相次いだ (go.nature.com/2pbjuuf、Nature ダイジェスト2016年7月号「ヒト脳プロジェクトが計算ツールを公開」参照)。また、どちらの計画も加盟国から補足的な出資金を集めることに苦労しているという。

ドイツのウルム大学とシュツットガルト大学に付属する統合量子科学技術センター (IQST) の物理学者で、運営委員会の一員である Tommaso Calarco は、「量子技術フラッグシップは、これらの先行計画のようなことにはならないでしょう」と話す。量子技術フラッグシップは、スタート時に選ばれた研究プロジェクトだけの閉じた共同体として進むのではなく、計画の全期間を通して、公募された研究を行うことになるという。「この進め方は、高いレベルの競争を保証し、常に最も優れた研究者に研究資金を供給する柔軟性をもたらすはずです」と Calarco は話す。そして、こうした進め方なら、加盟国がさらに研究資金を得るために、自国レベルでも量子技術研究に投資することを促すだろうと彼は期待する。

欧州の一部の国は、量子技術フラッグシップを支持する姿勢を示している。フラッグシップの発表後、ハンガリー、オーストリア、ドイツは自国の量子技術研究計画を公表した。「QUTEGA」と呼ばれるドイツの計画は現在、試験的計画段階にあるが、10年間で約3億ユーロ (約400億円) を投じるだけの価値がありそうだ。マックス・プランク光科学研究所 (ドイツ・エルランゲン) の物理学者で、QUTEGA の責任者でもある Gerd Leuchs によると、最



量子コンピューターなどの量子技術は、欧州の次の大きな研究プロジェクトだ。

初の研究プロジェクトには、微小な電流を検出し、手術時の脳の観察に使われる可能性がある小型磁気センサーや、小型で輸送可能な高精度原子時計などの研究が含まれているという。

### 英国の EU 離脱

量子技術フラッグシップが直面する問題の1つは、量子技術における欧州最強の研究者集団の1つである、英国を失う可能性があることだ。英国は、EU 離脱を決めた国民投票に従い、2019年にEUを離脱する見込みだが、フラッグシップの最初の研究プロジェクトはこの年に始まる。「英国は、国の研究予算で関連企業を量子技術研究に巻き込んでいる数少ない国の1つです」と Calarco は指摘する。英国の計画は「英国国家量子技術プログラム」といい、総額は3億5000万ポンド (約510億円) に上る。英国は、EU 非加盟国のスイスのようにEUの研究資金に拠出するか、マッチ・ファンディング (助

成金を、助成される側が自ら集めた金額に応じて決める仕組み) の形によってか、何らかの立場でEUの研究計画に参加し続けることができるだろうと Calarco は期待する。

計画のタイミングも有利に働くはずだ、と彼は指摘する。英国政府は、既存のEU計画への資金拠出に同意することを表明しており、研究計画の初期の間は英国からの出資は保証されるだろう。英国の離脱交渉の後、研究計画の次の段階が始まるまでに、英国の参加に関する問題の打開策が作られる時間は十分にあるはずだ。「そうした状況を考えれば、現在の計画のタイミングは考え得る限りでベストといえます」と Calarco は話す。

(翻訳：新庄直樹)

Billion-euro quantum project takes shape

Vol. 545 (16) | 2017.5.4

Elizabeth Gibney

# 新疆でDNA情報収集を 加速させる中国

新疆ウイグル自治区の公安庁がDNAシーケンサーを多数購入したことが分かった。中国政府の思惑をめぐり臆測が飛び交っている。

人権擁護組織がまとめた証拠や*Nature*が収集した情報からみて、中国の新疆ウイグル自治区北西部の公安庁（警察機関）は一般市民からDNA試料を収集しており、また、そうした遺伝情報に対する解析処理能力を高めようとしているようだ。

人権保護団体ヒューマン・ライツ・ウォッチ（Human Rights Watch；HRW）は2017年4月に、新疆の自治州政府が、この地域に多く住むイスラム教徒のウイグル族から血液試料を集める取り組みを急ごうとしていることを報告した。中国政府は、新疆での近年の分離・独立運動に対して厳しい措置を取っている。そのため、この地域のDNAデータベース構築の可能性が出てきたことで、当局がこれを政治利用することを危惧する見方が強まっている。

「我々が気掛かりなのは、法的な保護もなく、人々に告示することもなしに、DNAが広く収集されていることです」と、報告書の著者である香港在住のHRWの研究者Maya Wangは話す。

この報告書でHRWは、新疆の公安庁が12台のDNAシーケンサーを注文したとしている。*Nature*はこの注文があったことを確認し、また、文書や、この商取引に関与した人々への取材から、公安庁が1日当たり最大2000件の

DNA試料を処理するのに十分な台数のシーケンサーを購入したことを把握した。この購入の理由について*Nature*は公安庁に電話で問い合わせたが、電話を切られてしまった。

この解析設備の規模は、普通の科学捜査に必要な解析処理能力をはるかに超えていると、東京大学のゲノミクス研究者である菅野純夫<sup>すがの すみお</sup>は話す。中国の科学捜査研究機関の設備に詳しい人物は、匿名を条件に、「これだけの処理能力があれば、間違いなくデータベースを構築できます」と話してくれた。「何か研究所を作ろうとしているのでは」。DNA塩基配列の解読装置の注文書全体を見た後、彼はそう示唆した。

今回の設備調達に関わった企業の販売担当者によれば、新疆の公安庁は、サーモフィッシャーサイエンティフィック社（Thermo Fisher Scientific；米国マサチューセッツ州ウォルサム）が製造したシーケンサーを8台購入したという。これを使うと、個人差のある短いDNA領域について調べることができる。こうしたDNA領域は、通常の科学捜査のDNA鑑定（DNA指紋法）でも使われている。犯罪現場から採取された試料のDNAデータと、データベース内に保存された個人（あるいはその近親者）のDNAデータとを突き

合わせるのである。新疆の公安庁はさらに、4台の国産シーケンサーも同じ目的のために購入していた。

*Nature*はすでに、新疆の行政当局が「次世代」DNAシーケンサーも購入済みであることを把握している。このシーケンサーを使えば、遺伝情報を含む試料から、その人の先祖や、眼の色などの身体的特徴を突き止めることができるだろう。

HRWの今回の報告書には、2000年代初頭に稼働し始めた、4000万人に由来する4400万件のデータが登録済みの国家規模のデータベースについても、詳細な記述がある。その中の150万件は、事件現場で見つかったタバコの吸い殻などの試料に由来するものだ。中国の公安当局は、このデータベースを犯罪捜査のためのものと説明するがHRWは、「中国公安当局が一般市民から生体認証データを収集する活動を行っている」証拠があると述べている。

事件の捜査や、子どもの誘拐に付随した親子鑑定、死体の身元確認などにDNA鑑定を利用している国は多い。そのため、新疆がDNA解析の処理能力を急増させたこと自体は気にするほどのことでないとする研究者もいる。「警察・公安機関による監視の拡大は、今やどの文明国も考えていることですから」と、デューク大学（米国ノースカロライナ州ダラム）で遺伝子検査の適用について研究するSara Katsanisは話す。

それでもKatsanisらは、中国、特に新疆でのDNA収集のやり方について懸念を持っている。HRWは2016年の報告書で、新疆の市民らがパスポート取得のために血液試料の提出を求められたことを明らかにした。また、中国国営メディアは2017年3月に、1750万人（大半がウイグル人）に血液検査



などの検診を受けさせる4カ月計画の完結を詳しく報じた。これらの人々の多くは強制的に検診を受けさせられたことが、2017年5月下旬の報道で明らかになっている。

メイヨークリニック（米国ミネソタ州ロチェスター）で生物医学倫理を研究するMegan Allyseは、DNAプロファイリングは中国では特に問題をはらんでいると話す。試料の収集、移送および保管の仕方や、そうした試料の裁判での利用が可能な場合について、統制・管理する明確な枠組みがないと見

られるからだ。各国が協力し合うことで、このデータが正しく使われるようになってほしいと彼女は考えている。「国家安全保障のために収集された物に含まれるDNAデータの適正な利用について、国を超えた幅広いコンセンサスが必要なのです」と彼女は話す。 ■

(翻訳：船田晶子)

### China set to expand DNA database

Vol. 545 (395–396) | 2017.5.25

David Cyranoski

## がん治療に役立つ細胞地図

「免疫細胞ガイド」で、適切な治療法が選択可能になるかもしれない。

2017年5月4日に*Cell*に発表された2つの研究<sup>1,2</sup>で、腫瘍の周りに存在する免疫細胞に関する詳細な地図が、がんの治療法の決定に役立つ可能性があることが報告された。例えば、治療標的を明らかにしたり、特定の治療に対して良い反応が期待できそうな患者を選別するためのマーカーを突き止めたり、治療を開始する最も良い時期を予測したりできるという。

この2つの論文は、治療に対する腫瘍の応答が、腫瘍の境界に集まり、腫瘍内部に侵入する免疫細胞によって誘導されるという認識が高まっていることを反映している (*Nature* ダイジェスト 2017年5月号「細胞単位で参照できる

体の地図作りが熱い！」参照)。

「この2つの論文は本当に重要です。彼らは地面に旗を立てて、『ここに役立つような技術がありますよ。周辺には、習得すべきことが考えていた以上にありますよ』と言っています」と、ダナ・ファーマーがん研究所(米国マサチューセッツ州ボストン)の免疫学者で腫瘍学者のNick Hainingは言う。

論文の1つは、チューリッヒ大学(スイス)のシステム生物学者Bernd Bodenmillerが率いる研究チームによるもので、腎がんの1種である淡明細胞型腎細胞がんにおいて、T細胞とマクロファージという2種類の免疫細胞の地図を作製した。両細胞とも、発現するタ

ンパク質に依存的に、腫瘍に対する免疫攻撃を高めたり、抑制したりできる。

Bodenmillerらは、患者73人の腫瘍試料と健康な組織5試料を調べ、マクロファージの特徴を明らかにするために29種類のタンパク質の発現を、T細胞の特徴を明らかにするために23種類のタンパク質の発現を評価した。その結果、両細胞の特定の組み合わせが見られる患者は、がんが急速にプログレッション(悪性度の高いがんに進行)する傾向があることが分かった。

他方の論文は、マウント・サイナイ医科大学アイカーン医学系大学院(米国ニューヨーク)の腫瘍学者Miriam Meradが率いる研究チームによる報告で、初期段階の肺腺がん腫瘍と正常な肺組織、血液のそれぞれについて、免疫細胞地図を作製して比較した。その結果、初期段階の腫瘍であっても、その周辺に存在する免疫細胞を既に変化させ始めていることが分かった。「この結果は、がんの初期段階においても、免疫系を標的とする治療を行うべきであることを意味します」とMeradは言う。

どちらの研究も、これら自体ががん治療に変化をもたらすことはないだろう。だがHainingは、両研究を腫瘍のゲノム塩基配列を報告した最初の論文群になぞらえる。こうした取り組みはその後、国際的な共同研究や数千もの塩基配列の解明につながった。「このような研究が、がんの生物学的性質の理解に必要なのです」と、Hainingは言う。 ■

(翻訳：三谷祐貴子)

### Cell maps aid in cancer fight

Vol. 545 (143) | 2017.5.11

Heidi Ledford

1. Lavin, Y. et al. *Cell* **169**, 750–765 (2017).
2. Chevrier, S. et al. *Cell* **169**, 736–749 (2017).

# 著作権侵害に対して新方針を打ち出す学術出版社

学術論文の出版社は、有料論文の「公正な共有」を可能にする方法話し合っている。

ケンブリッジ大学（英国）の進化生物学者 Ross Mounce は、インターネット上で自分の論文を共有する行為が違法になる可能性があることを知っている。実際、購読料で成り立っている学術誌に掲載された論文の最終版をアップロードする行為は違法である。論文の著作権を持つ出版社は、許可なくインターネット上に公開される論文に眉をひそめている。けれども Mounce が科学者向けのソーシャルネットワークサービス（SNS）「ResearchGate」に有料論文をアップロードしたとき、出版社は彼に論文を削除するように要請してこなかった。Mounce は、「著作権を侵害しているかもしれないという認識はあり

ますが、そんなの知ったことではないという気持ちもあるのです」と言う。

著作権に無頓着な科学者は Mounce だけではない。出版業界の動向を見守るアナリストによると、著作権のある論文を無許可で共有する行為は増加しているという。この問題に直面する学術出版社は、著作権を侵害する研究者へのアプローチを変えつつあるようだ。一部の出版社は、科学者やネットワークの運営会社に論文の削除を要請する代わりに、論文を合法的に共有できるようにする「公正な共有（fair sharing）」システムの構築を目指して団結しようとしている。このシステムは、出版社側にとっても、科学者たちがインター

ネット上で有料論文を共有する範囲を把握するのに役立つことが期待される。

ケンブリッジ大学出版局（英国）の代表取締役 Mandy Hill は、論文の自由な共有は科学の本質的な部分であると指摘する。「私たち出版社がこの事実を受け入れて、コンテンツを公正に共有する道を模索しつつ、論文出版事業の持続可能性を確保していくことが重要なのです」。

けれどもオープンアクセスを強く支持する人々は、科学者たちは今日の著作権制限のあり方を嫌い（あるいはそれに気付いておらず）、自分の論文をインターネット上で自由に利用できるようにしたいと考えるようになってきており、出版社の言う「公正な共有」に満足することはないだろうと指摘する。

## 変化する対応

近年、有料論文がインターネット上にアップロードされることが急増しているのは、数百万人の科学者が論文を共有・閲覧できる ResearchGate のようなサイトの人気によるところが大きい。その動向を注視する出版社は、論文のインパクトを高めるためのサービスを提供している Kudos 社（英国ウィートリー）に調査を委託した。Kudos 社が 2017 年 4 月に、5000 人以上の科学者を対象とする調査を実施したところ、回答者の 57% が「自分の論文を研究者向け SNS にアップロードしたことがある」と答えた。また、79% が事前に著作権取扱規定を確認していたが、60% は出版社や学術誌の規定にかかわらず「自分の論文をアップロードする行為は認められるべきだ」と考えていることを明らかにした（「著作権をめぐる懸念」参照）。

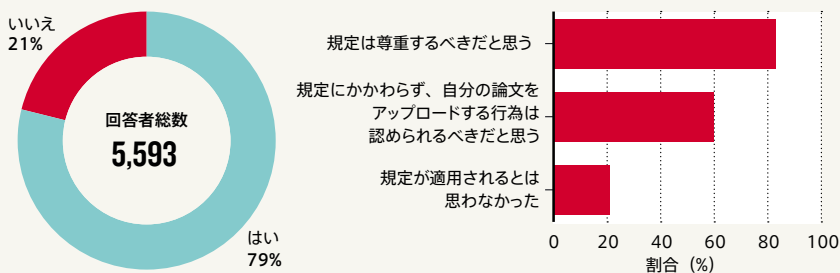
研究者たちがインターネット上で有料論文をどの程度共有しているかはこれま

## 著作権をめぐる懸念

調査の結果、研究者が SNS に論文をアップロードする際には、その多くが著作権取扱規定をチェックしていることが明らかになった。しかし 60% の研究者は、そうした規定にかかわらず自分の論文をアップロードする行為は認められるべきだと回答した。

自分の論文を研究者向け SNS にアップロードする前に著作権について確認しますか？

論文の著作権や共有に関する出版社や学術誌の規定に賛同しますか？



で不明だったが、2017年2月に発表された論文が手掛かりとなった。チャールズ・スタート大学(オーストラリア・ウォガウガ)の情報科学者Hamid Jamaliが、ResearchGateから500編の論文を無作為に選び出したところ、392編がオープンアクセス論文ではなかったのだ(H. R. Jamali *Scientometrics* <http://dx.doi.org/10.1007/s11192-017-2291-4>; 2017)。中には未編集の査読論文やプレプリントなど出版社が著者に共有を許可しているバージョンもあったが、アップロードされたバージョンの50%以上が出版社の著作権を侵害するものだったという。

ResearchGate社(ドイツ・ベルリン)の広報担当者は、同社はユーザーに対して、論文をアップロードする際には出版社の規約を遵守し、著作権を侵害することがないように明確に求めているが、ユーザーがどこまで無許可で論文をアップロードしているかをモニターする手段は持っていないと説明する。

一部の学術誌出版社は、訴訟をほめかすことによりこの問題に対応してきた。例えば2013年末には、学術出版社のエルゼビアが研究者向けSNSのAcademia.eduなどのサイトに3000通の通知を送付し、自社の著作権を侵害する論文について米国のデジタルミレニアム著作権法(Digital Millennium Copyright Act: DMCA)に基づく削除を要請した。この通知は個々のユーザーにも転送された。大規模な著作権侵害に対しては法的手段がとられていて、エルゼビア社は現在、数百万編の有料論文を共有しているSci-Hubというサイトを告訴している。

しかし、国際科学技術医学出版社協会(STM; 英国オックスフォード)の広報担当者Matt McKayによると、

SNS上での論文の共有については訴訟を避ける出版社も出てきたという。「研究者向けSNSから無許可コンテンツをなくすために法的手段に出たり削除を要請したりするのは、持続可能なやり方ではありません。私たちは、そうした直截な手段に頼る代わりに、これらのサイトと話し合い、長期的な解決策を見出したいのです」と彼は言う。

### 公正な共有

STMが2017年3月21日に主催した学術出版社の遠隔会議では、科学者が著作権を侵害することなく論文の全文を容易に共有できるようにする取り組みについての話し合いが持たれた(註: 会議には*Nature*を出版するシュプリンガー・ネイチャーも参加しているが、*Nature*のニュースチームは自社に対して編集権の独立性を保っている)。

*Nature*のニュースチームが問い合わせをした出版社のほとんどが、論文の共有に関する規定の策定について詳細に語ることを拒否したが、「公正な共有」という言葉は、典型的には、学術誌のサイトにある読み取り専用のダウンロードできない論文の最終版への無料リンクを提供することを意味する。シュプリンガー・ネイチャーやワイリーを含む一部の出版社は、著者がそうしたリンクを生成できるソフトウェアを導入している。

2015年には、論文の著作権に関する啓発運動の一環として、公正な共有をめぐる議論が始まった。STMは出版社や図書館員の意見を聞いた後に「How can I share it (どうすれば共有できる)?」というウェブサイト([www.howcanishareit.com](http://www.howcanishareit.com))を立ち上げて、購読料で成り立っている学術誌が著作権を持つ論文をインターネット上で保管・共有する方法について、詳しく説

明した(多くの出版社は査読原稿をインターネット上で共有することは許可しているが、最終版の全文の共有は許可していない)。

ウェブサイエンスと認知科学の専門家であるサウサンプトン大学(英国)のStevan Harnadは、科学者は出版社が構築する公正な共有のシステムを好まないかもしれないと言い、研究者には論文の各バージョンをインターネット上でセルフアーカイブすることを勧める。「出版社は、何が起きているのか追跡したいわけでしょう? 出版社が規制を続けねばならない理由は見当たりません」と彼は言う。

Mounceは、長期的には、科学者が自分の論文を好きなように扱えるシステムへと移行するはずだと考えている。「他の科学者と研究成果を共有することが許されないという極めて不自然な『問題』をすっきり解決できるのは、オープンアクセスだけでしょ」。

ニューヨークの独立出版コンサルタントで、学術出版社や学術団体の仕事をしているJoseph Espositoは、出版業界にとっては、著作権の侵害や著者との仲たがいなしに有料論文の共有を可能にするにはどうすればよいかという問題がますます重要になるだろうと予想する。これまでのところ、研究者向けSNSにより学術出版社の収入が大きく減ったという事実はないようだ。しかし出版社は、近い将来の「非常に大きな損失」を回避するために、今、新しい戦略を採用しなければならないと彼は言う。■

(翻訳: 三枝小夜子)

Science publishers try new tack on copyright breaches

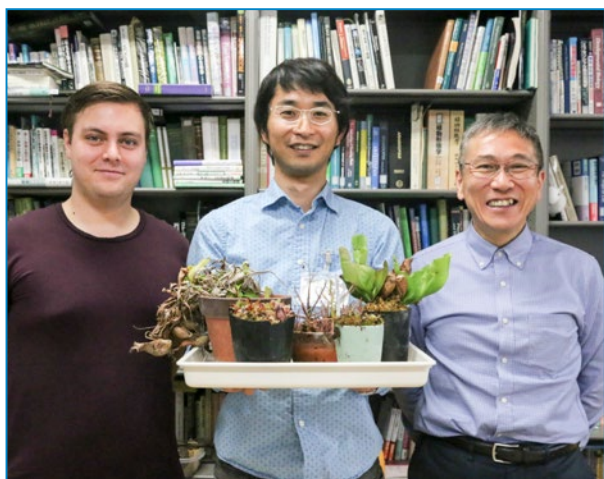
Vol. 545 (145-146) | 2017.5.11

Quirin Schiermeier



# 食虫植物の進化がゲノム解読から明らかに

植物なのに虫を捕らえて食べる「食虫植物」。この不思議な生き物は、一体どのように進化してきたのだろうか。このほど、長谷部光泰・自然科学研究機構基礎生物学研究所教授と、当時大学院生として長谷部研に所属していた福島健児さん（現 コロラド大学研究員）らは、食虫植物フクロユキノシタのゲノム配列を明らかにし、さらに捕らえた虫を分解する消化酵素の進化について解明して、*Nature Ecology & Evolution* 3月号に発表した。食虫植物の進化の謎解きに挑むお二人に聞いた。



はせべ みつやす  
長谷部 光泰 (右)

大学共同利用機関法人自然科学研究機構  
基礎生物学研究所生物進化研究部門 教授  
総合研究大学院大学 教授 (兼任)

2000年より現職。長谷部先生が目指すのは、面白い講義、面白い研究だ。「基礎科学って、すぐには役に立たない分、面白くなくちゃ。できるだけ大勢の人に面白いと思ってもらえる研究をやりたい。真理の発見は、みんなも面白いはずだもの」。

ふくしま けんじ  
福島 健児 (中央)

コロラド大学デンバー校アンシュッツ医療キャンパス (米国)  
研究員

2017年より現職。長谷部研での捕虫葉に関する研究は、Gergo Palfalvi さん (写真左) に引き継がれた。

食虫植物とは、どのような植物ですか。

**長谷部**：虫を「食べる」ことにより、窒素やリンなどの栄養素を吸収しているのが、食虫植物です。「食べる」というのは、その葉を用いて、虫などの小動物を誘引、捕獲、消化、吸収することです。通常の植物はこうした栄養素を根から吸収するのですが、食虫植物は虫などからも吸収できるので、貧栄養の土壌でも生育が可能です。

虫を捕らえるための器官は、葉なのですね。

**長谷部**：そうです。捕虫葉と呼ばれますが、普通の葉と同じように茎の先端部分に作られる葉原基から発生します。一口に捕虫葉といっても虫の捕らえ方はさまざまで、モウセンゴケの粘り付け式や、ウツボカズラの落とし穴式、ハエトリソウの挟み込み式など、いろいろあって面白いですよ (図1)。食虫植物の面白さに引かれて、趣味で育てている愛好家が世界中にたくさんいます。私たちも、もともと食虫植物が大好きです。

捕虫葉の形は実に多彩ですね。

**長谷部**：捕虫葉の独特の形状が作られる仕組みについては、今回の研究に先立って解析を進めてきました。通常の平面葉がどのように形作られるかということ、葉のへりにある表と裏の境目部分の細胞が分裂しやすくなっており、その細胞の分裂面が葉の表面に対して垂直になるように分裂することで、葉が横に広がっていくのです。

では、捕虫葉の袋は、どのようにして袋の形となったのか。従来考えられていた仮説は、葉の裏側が表側に食



図1 食虫植物の捕虫様式

ウツボカズラやヘイシソウ（別名サラセニア）は落とし穴式、モウセンゴケは毛の先端から粘液を分泌する粘り付け式、ハエトリソウは挟み込み式。ハエトリソウは、一定の時間内にトゲに物が2回触れると葉が閉じる。一度目の刺激を記憶することができる。

い込むことで丸くなり袋状になる、というものでした。しかし、そうではないことを福島君が発見したのです。  
**福島**：ムラサキヘイシソウ（ヘイシソウはサラセニアとも呼ばれる）という食虫植物を用いて調べたのですが、葉の裏側を特徴付ける遺伝子が、表側では発現していないことに気がきました。つまり、この仮説が成り立たないということです。そこで、葉の細胞の分裂面がどのような方向を向いているのか、徹底的に調べました。すると、葉の付け根に、分裂面の方向が他と異なる細胞があるのを見つけたのです。そこで、同じ基礎生物学研究所の藤田浩徳さんたちの協力（ふじのり）でその細胞分裂をコンピューターシミュレーションしたところ、平らな葉にへこみができることが分かりました。

**長谷部**：福島君は、小さな葉の断面切片を何千枚も作って観察したのですよ。論文にまとめ、2015年に *Nature Communications* に掲載することができました<sup>1</sup>。

さらに、研究を分子レベルでさらに進めていくために、食虫植物のゲノム解読を行って、遺伝子の情報などを解析に利用できるようにすることが重要だと痛感しました。

今回は、フクロユキノシタを研究されたのですね。

**福島**：はい。オーストラリアに生育するフクロユキノシタ (*Cephalotus follicularis*) を研究材料に用いて、ゲノム

配列を解読し、さらに遺伝子を調べることにより食虫性の進化について明らかにしました<sup>2</sup>。研究材料選びは慎重に行いました。すでに、オオバナイトタヌキモという食虫植物のゲノムが解読されていましたが<sup>3</sup>、我々はフクロユキノシタの方が、食虫性進化の研究により適していると考えました。フクロユキノシタは、1つの株に捕虫葉と平面葉（通常の葉）の両方がつくタイプの食虫植物であり、遺伝子の機能などを捕虫葉と平面葉で比較でき、都合がよいのです。ただ、普通の栽培条件下では捕虫葉と平面葉を作り分けることはできません。しかし今回、作り分けできる栽培方法を見だし、研究に使えるようになりました。

捕虫葉と平面葉を作り分けるとは？

**長谷部**：捕虫葉も平面葉も、茎の先端にある葉原基から発生するのですが、発生の初期段階では、顕微鏡で見ても両者を識別できません。これでは、例えば、捕虫葉の発生時に発現する遺伝子を調べたくても難しいですよ。

**福島**：葉の作り分けがうまくいかなかった頃、食虫植物愛好家に何か秘訣はないかと尋ねてみましたが、私が尋ねた限りではそのような方法はないとのこと。それならば自分で見つけようと、栄養、日照、温度など、さまざまな生育条件を設定して実験を試みましたが、そして最終的に、白色光の連続照射下で、栽培温度によりほぼ100%

作り分けられることを発見しました。15℃では平面葉のみが、25℃では捕虫葉のみができたのです（図2）。

**長谷部**：考えてみれば、進化的にもっともだと思いました。高温の環境の方が虫が多いですからね。温度が発生を切り替えるスイッチになるという仕組みは、野外の植物である程度使われているのかもしれませんが。

葉の作り分け方が分かるという保証がない中で、よく見つけられたものだと驚きましたよ。

そして、フクロユキノシタのゲノムを解読されたのですね。

**福島**：フクロユキノシタの核ゲノムは、サイズが約20億塩基対もある大きなものでした（ヒトゲノムの約3分の2）。解読は大変な作業でしたが、中国のBGI社（イルミナ社のシーケンサーを使用）、および文部科学省の新学術領域研究「複合適応形質進化の遺伝子基盤解明」の方法開発班（PacBioシーケンサーを使用）との共同研究により、達成できました。ゲノムの概要配列を作成した後、個々の遺伝子の領域もほぼ全て明らかにしました。その中から、今回は特に、消化酵素の遺伝子について詳しく解析したのです。

虫を分解する消化酵素ですか。

**福島**：はい。フクロユキノシタのような袋状の捕虫葉には、消化液がためられています。消化液には消化酵素が何種類が含まれていて、虫が中に落ちると分解されます。

今回、消化液中のタンパク質と捕虫葉で発現している遺伝子の両方を調べることで消化酵素の遺伝子を突き止め、その配列を明らかにしました。

さらに、この遺伝子の配列を詳細に見ていくと、面白いことが確認できました。普通の植物（非食虫植物）にもウイルスや細菌を殺す病害抵抗性酵素が備わっているのですが、食虫植物の消化酵素というのは、大昔に、こうした病害抵抗性酵素が変化して生じた可能性が大きいと分かったのです。これまで、一部の酵素については他の研究者からも推測されていましたが、今回、ゲノム全体を解析することで、そのほぼ全容を明らかにできました。

他の食虫植物の消化酵素ではどうなのでしょう。

**福島**：世界には数百種の食虫植物が知られていますが、それらは被子植物の5つの異なる系統群、イネ目、カタバ

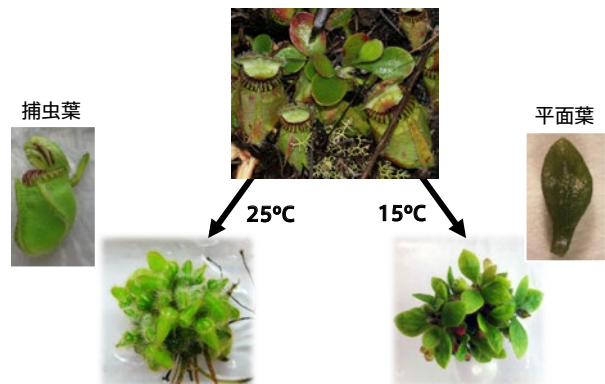


図2 フクロユキノシタの葉を、育てる温度で作り分ける。15℃だと平面葉に、25℃だと捕虫葉になる。

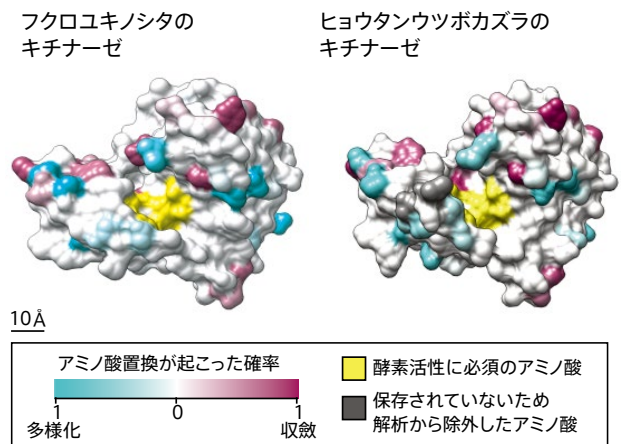


図3 消化酵素のキチナーゼを構成するアミノ酸を詳細に比較。黄色はこの酵素の活性に必須のアミノ酸で、両者とも同じ。青色は、アミノ酸置換により別のアミノ酸に変化した部位（多様化）。紫色は、アミノ酸置換が起こった部位だが、同じアミノ酸に変化した（収斂進化）。

ミ目、ナデシコ目、ツツジ目、シソ目に見られます。つまり、全く別々に進化を遂げてきた異なる系統の植物から、同じような形質が独立して進化しているわけ、このような現象を収斂進化<sup>しゅうれん</sup>といいます。

今回は、3つの異なる系統に属する4種（3目4種）の食虫植物で、消化酵素を比較してみました。フクロユキノシタ（カタバミ目フクロユキノシタ科）の他に、ヒョウタンウツボカズラ（ナデシコ目ウツボカズラ科）、アデレーモウセンゴケ（ナデシコ目モウセンゴケ科）、ムラサキヘシソウ（ツツジ目ヘシソウ科）です。これらの



食虫植物が持つ消化液中の消化酵素を精製して比較したところ、互いによく似た酵素が使われていました。

その1つ、キチン分解酵素（キチナーゼ）を例にみてみましょう（図3）。どの植物のゲノムにも、この分解酵素に相当する遺伝子が10個程度含まれています。異なる系統で、それぞれ独立して進化してきた食虫植物であるならば、約10個の遺伝子から異なるもの選ばれてもよさそうですが、実際には、フクロユキノシタとヒョウタンウツボカズラで同じ1つの遺伝子選ばれて、消化液中の酵素に用いられているのです。すなわち、系統が異なっても、食虫性を進化させていく過程で、同一の病害抵抗性に関わると推定される分解酵素を利用してきたということです。酵素の遺伝子レベル（分子レベル）でも収斂進化が起っていたことに驚きました。食虫植物に進化するには、限られた道筋しかなかったともいえるのではないのでしょうか。

#### 進化の道筋が限られていたとは、ということなのですか。

**長谷部：**消化酵素を捕虫葉の消化液中で機能させるには、さまざまな制約があります。例えば、消化液中にはタンパク質を分解する酵素も含まれているので、それにより消化酵素自体が分解されてはいけなく、また、常温で活性が保たなければなりません。そういった制約がある中で機能させるには、特定の病害抵抗性酵素が適しており、またこれを利用するしかなかったのではないかと考えています。

#### 消化酵素の他に、ゲノム解読から明らかになった食虫性形質はありますか。

**福島：**捕虫葉と平面葉が作られるときに、それぞれどのような遺伝子が発現しているかを調べた結果、消化酵素以外にも、食虫性に関わると考えられる遺伝子の候補が多数見つかりました。例えば、葉の形に関する遺伝子の候補は約130あります。

#### 今回の研究は *Nature Ecology & Evolution* に掲載されました。

**福島：**創刊は2016年から話題になっていました。発生進化学の論文も対象になるのでうれしいですね。

**長谷部：**エディターが研究の内容を非常によく理解して

いて驚きました。コミュニケーションも円滑でした。また論文掲載後は、日本以外でもニュースで取り上げていただき、海外からの問い合わせも多数来ています。

#### 今後はどのように研究を展開されるのですか。

**長谷部：**捕虫葉には、今回解析した点以外にも、虫を捕獲するための工夫がいろいろ見られます。それがどのように進化してきたのかも、明らかにしていきたいですね。例えば、フクロユキノシタの捕虫葉のふたには透明な部分があり、そこが明るく見えるので虫がおびき寄せられます。さらに、袋の口の部分は滑りやすく、おびき寄せられた虫が袋に落ちるような構造になっています。面白い仕組みがたくさんあるのですよ。

こうした食虫性に関わる仕組みはさまざまに進化してきましたが、完成形に至るまでの途中段階ではどうなっているのか。それも解明したいですね。進化の途中段階では、一時的に生存に不利な状態を経ると考えられますが、それをどう乗り越えているかはまだ解明できておらず、進化学の課題となっています。例えば、葉が袋の形になれたとしても、消化や吸収の仕組みを獲得するまでは、その葉は光合成の効率という点から生存に不利です。複雑な形質がどのように進化していったのか、食虫性の進化を解明していく過程で徐々に明らかにできればと思います。今回、フクロユキノシタのゲノムデータが得られました。この情報を利用して研究が大きく発展していくことでしょう。捕虫葉に関する福島君の研究は、その後、留学生の Gergo Palfalvi 君が引き継いでくれましたので、フクロユキノシタのゲノムデータを用いて遺伝子レベルの解析が進められます。

**福島：**私は長谷部研で学位を取得した後、コロラド大学で収斂進化の研究をさらに専門的に進めています。植物よりも動物の方が研究に利用できるゲノムデータが豊富に存在するので、今は動物を研究材料としています。収斂進化の情報学的解析技術を開発し、それをまた植物のフィールドにフィードバックできたらと考えています。

#### ありがとうございました。

聞き手は藤川良子（サイエンスライター）

1. Fukushima, K. et al. *Nature Communications* **6**, 6450 (2015).
2. Fukushima, K. et al. *Nature Ecology & Evolution* **1**, 0059 (2017).
3. Ibarra-Laclette, E. et al. *Nature* **498**, 94–98 (2013).



北京生命科学研究所の Song Huang は、科学者が偽造試薬をつかまされないようにするためにさまざまな対策を講じている。

GILLES SABRIÉ FOR NATURE

## 偽造試薬と戦う中国

中国は偽造試薬の一大市場となっている。この状況に、一部の科学者が戦いを挑んでいる。

2013年、北京北西部の印刷店に入った Song Huang (黄嵩) は、科学界で大きな問題になっている犯罪が堂々として行われている現場に出くわした。Huang は、この店から 15km ほどの所にある北京生命科学研究所で合成生物学の研究をしている。実験に必要な数百種類のラベルを印刷するための小型の卓上プリンターを探していた彼は、このモデルで耐熱紙に印刷できるだろうかと店主に尋ねた。店主は、同じプリンターを使って他の顧客のために印刷したという出力サンプルを得意げに持ってきた。

出力サンプルを見た Huang は衝撃を受けた。欧米の企業が製造する高価な抗体の容器に貼ってあるのとそっくりなラベルに、Abcam や Cell Signaling Technology などの文字が印刷されていたからだ。ラベルの文字は、人の良さそうな店主には何の意味もないものだったが、Huang にとっては、「自分たちが中国の販売業者から購入する抗体の多くは、思っているものと違うかもしれない」という、以前からの疑惑を裏付ける直接的な証拠だった。北京の代表的なテクノロジーパークである中関村にあるこ



の店は、偽造試薬や正規品を薄めた試薬を市場に流す業者がラベル作成用プリンターを購入する場所の1つだった。「私も同僚も、何かがおかしいとは思っていましたが、その疑惑が事実になったのです」とHuang。

中国の賑やかな公設市場は、海賊版DVDやレイ・ヴィトンのバッグやロレックスの時計のコピー商品が堂々と売られていることで知られる。しかし偽造試薬は、こうした雑然とした市場ではなく、洗練されたウェブサイトですら正規品に紛れて販売されている。その供給や販売には、中関村の印刷店の店主のような、事情を知らない協力者のネットワークが利用されている。基礎化学試薬、細胞培養用血清、標準的な検査キットなどの研究室用の偽造試薬を製造する「闇のプロセス」には、大学の清掃員も関与している。この違法行為が及ぼす影響の大きさを具体的な数字にするのは困難だが、中国と欧米の一部の科学者は、偽造試薬のせいで研究が間違った方向に進んでしまい、時間と材料を無駄にしてしまったと話す。

中国は現在、世界の科学をリードする存在になることを目指して国を挙げて取り組んでいるが、一部の人々は、こうした努力が偽造試薬の問題によって台無しになることを危惧している。偽造業者と戦うための選択肢は限られている。ブランドに傷をつけられた試薬メーカー（と、偽造試薬をつかまされた科学者）の当惑は大きく、規制当局が偽造試薬の売買を撲滅できるとは思えないこともあって、法的手段に出ることは消極的だ。「偽造試薬の販売を阻止することは不可能です。ぼろもうけできる商売だからです」とHuang。

科学者と試薬メーカーは今、こんな状況を変えるための戦略を考えている。主要な試薬メーカーは啓発運動を立ち上げた。科学者たちは、偽造試薬に困らされた体験談や、偽造試薬をつかまされないようにするコツを共有している。Huangは、中国政府などが所有する試薬輸入会社の設立に協力した。この会社が輸入する試薬には新たな通関・検査手続きが適用され、偽造試薬市場に打撃を与えることが期待されている。しかし、これらの対策で全ての科学者を救えるわけではない。特に、北京や上海などの主要な研究拠点の外にある大学や研究所の科学者は、大きな危険にさらされている。北京大学の生物物理学者Can Xie（謝燦）は、「輸入試薬の偽造品を購入・使用している研究室は今でもたくさんあります」と言う。「残念なことです」。

## 偽造試薬の供給ルート

偽造試薬業者にとって、中国は魅力的なターゲットだ。中国では研究への投資が急激に拡大していて、国家自然科学基金委員会（NSFC）の生物医学・科学予算は、この10年で4倍になっている。また、中国はあまりにも広大であるため、需要に供給が追いつかず、ややこしい流通システムを嫌う外国企業は、地元の販売業者に頼らざるを得ない。抗体メーカーCell Signaling Technology社（米国マサチューセッツ州ダンバーズ）のグローバル・バイスプレジデントでアジア太平洋地域ゼネラルマネージャーのJay Dongは、「中国の流通システムには問題が多く、物流の管理は困難です」と言う。

欧米企業の製品の販売を中国企業が担うことになるのが多いのは、そのためだ。中国有数の抗体販売業者であるShanghai Universal Biotech社の最高経営責任者Jack Leng（冷兆武）は、販売業者の中には製造業者から販売権限を与えられている会社もあるが、多くは販売権限を与えられておらず、科学者が両者の違いに気付くのは難しいことが多いと言う。たちの悪い商人は、中国の煩雑な税関・品質管理措置によって生じる正規品の価格の高さや長い待ち時間を不当に利用する。正規品によく似た製品を見せて、安い価格と迅速なサービスを提供するのだ。時には密輸品だと言うこともある。「中国では他の国より偽造試薬が多いことが分かっています」とDongは言う。

米国でのポストドク経験のあるXieが、自分が購入している化学試薬の一部が標準以下の品質であることに気付いたのは、2009年に中国に帰国してから数年後のことだった。販売業者は、高品質の製品を製造する外国企業の代理店だと言っていたが、実際に販売していたのは中国で製造した安価な製品だった。Xieは、自分の実験が失敗した原因が不純物が入った質の悪い試薬にあったかどうかは明確には分からないが、溶液中に「何だか分からない不溶性のもの」を見つけたときにもっと警戒するべきだったと言う。彼は今は、中国に支社がある有名企業からしか試薬を購入していない。

研究所の管理副所長であるHuangは、2012年に同僚が同じような問題を抱えているのを目にしていた。その研究者は、論文を発表してから半年間、一部の実験の結果を再現することができなかった。通常のトラブルシュー



ティングを全て行った彼は、研究所の同僚に助けを求めた。そしてついに、細胞内にDNAを導入するのに使った試薬が再現の妨げになっていたことを突き止めた。Huangは今、問題は偽造試薬にあったと考えている。「試薬に問題があるなんて、普通は考えません」と彼は言う。「試薬を疑うことがどれほどのストレスになるか。言葉にはできません」。

中でも大きな問題になっているのが偽造抗体だ。抗体は、さまざまな生物学実験に欠かせない試薬であり、広範囲な生物システムのタンパク質を標識して追跡することができる。ただ、偽造品でない抗体にも問題がないわけではない。バッチごとに特性にばらつきが出ることもあり、予期せぬタンパク質が標的となることもあるのだ(*Nature* ダイジェスト 2015年8月号「再現できない実験の裏に抗体あり」参照)。

不確実性がいくつも重なると、偽造品の特定は困難になる。アブカム社 (Abcam; 本部は英国ケンブリッジだが、上海に地域拠点がある) の抗体技術部門のシニア・バイスプレジデントである Zhu Weimin は、「否定的な結果が出たとき、その理由はいくつも考えられます。問題は深刻です」と言う。

この混乱と不確実性の影響を受けているのは中国だけではない。例えば2012年には、ロンドン (英国) とビャウストク (ポーランド) の研究者が、ELISA と呼ばれる抗体を利用した検査キットを使って慢性腎臓病の患者の血液中に含まれる特定のタンパク質を検出することに成功したと報告した<sup>1</sup>。けれどもマサチューセッツ総合病院 (米国ボストン) の腎疾患の専門家 Herbert Lin が、同じキットを購入して厳密な検証をしたところ、同じ USCN Life Science 社 (現 Cloud-Clone 社; 中国・湖北省武漢) 製であるにもかかわらず、両者のキットは全く別のタンパク質を標的にしていることが明らかになった<sup>2</sup>。オリジナルの論文の著者らも、抗体の標的が異なるタンパク質なのは明らかだと同意し<sup>2</sup>、「製造業者に分析結果について電子メールで2回問い合わせをしたにもかかわらず返事がなかった。このときに、何かがおかしいと気付くべきだった」と記している。

マウントサイナイ病院 (カナダ・トロント) のがん研究者 Ioannis Prassas も、USCN ブランドの ELISA キットについて、似たような経験をしている。彼のチームは、

問題を特定するために2年の歳月と50万ドル (約5500万円) を費やしたという<sup>3</sup>。

Cloud-Clone 社で技術開発チームを率いる Chris Sun は、同社は Prassas が購入したキットを調べたが問題は見つからなかったと言う。同社は Prassas の損害の一部を弁済したが、Sun は、意図的に質の悪い抗体を販売したわけではないと主張する。彼女は「私たちは自社で製造した数千種類の抗体を持っています。本物の抗体を持っているのに偽物を使う理由はありません」と言い、Lin が問題があるとしたキットについては苦情の記録はないと話す。

また Sun は、USCN ブランドのキットのほとんどは販売業者を通して売られていて、Cloud-Clone 社はこれまで、USCN の製品と偽る偽造品をときどき見つけていると言う。

問題の大きさを見積もるのは難しいが、いくつかの企業がそれに取り組んでいる。アブカム社は2016年末に、自社のラベルが貼られた製品の真贋しんかんに関する中国の科学者からの約1年分の問い合わせに対する回答を集計した。疑問が寄せられた数百点の製品のバーコード、ロット番号、購入時期をチェックした結果、そのうちの42%が偽造品であったと同社は結論付けた。

## 秘密の成分

偽造試薬の容器の中身はさまざまだ。アブカム社の上海支社のゼネラルマネージャーである Jade Zhang によると、どこにでもある安価な抗体の容器ラベルが貼り替えられて、希少で高価な抗体として販売されることもあるという。簡単な検査をして抗体が本物かどうか確認しようとする科学者たちに怪しまれないよう、偽造業者は本物に近い分子量の抗体を探してくる。けれども実験になれば、その抗体が標的タンパク質と結合することはない。

詰め替えよりも多く行われているのは希釈だ。Leng によると、偽造業者は中国の販売業者や海外から正規品を購入して、1瓶を5瓶に増やすという。「購入者が手にするのは正規品よりずっと弱いもので、使えることもあれば使えないこともあります」。

「偽造業者は、我が社のものと見分けがつかないほどよく似た試験管やラベルを製作して、正規品とそっくりのパッケージにしようとしています」と Dong は言う。「偽造品



研究者たちは、中国・中関村のこうした印刷店で、偽造試薬の売買の証拠を手にした。

の問題は、市場の中の小さく活動的な部分から生まれてくるようです」。

偽造に関与している人の多くは、そのことに気付いていない。中関村の印刷店の店主は、自分が違法行為に巻き込まれていることを分かっていなかった。「彼らは偽造の一端を担っていますが、悪ではないのです」とHuang。

2015年、Huangは研究室の清掃員の女性がゴミの中から試薬のボトルを選び分けているのに気付いた。不審に思った彼が女性に「この瓶の中身は飲めませんよ」と声をかけると、1瓶40元（約640円）で売ってほしいと言う人がいるのだと教えてくれた。偽造試薬をめぐる新たな事実が明らかになった瞬間だった。

そのボトルにはもともとウシ胎児血清（fetal bovine serum：FBS）が入っていた。食肉処理場で採取される血液に由来する製品で、細胞培養に広く用いられている。しかし、感染症を理由に米国、オーストラリア、ニュージーランドからのウシ由来成分の輸入が禁止されたことで、高品質のFBSの供給はひどく不足している。

禁止地域からの血清の在庫の価格は、この数年で2倍になり、現在は1瓶当たり約1万元（約16万円）だ。他の地域からの低品質のFBSは、禁止された輸入品の4分の1ほどの価格だが、正規品の代わりにはならない。世界有数の血清メーカーであるサーモフィッシャーサイエンティ

フィック社（Thermo Fisher Scientific；米国マサチューセッツ州ウォルサム）は、この問題に気が付き、模倣しにくいラベルとボトルを開発した。そこから清掃員による「リサイクル」が始まった。偽造業者は、回収した正規品のボトルに質の悪いFBSを入れ、高値で販売していたのだ。

問題がどこまで広がっているかは不明だが、Huangは大まかな見積もりをしている。主な研究室が消費して捨てるボトルの本数を考えると、FBSの偽造品の潜在的な市場規模は北京だけでも1年当たり数千万元になるだろう。

偽造業者は必ず賢く立ち回るため、捕まえるのは困難だ。ほとんどの場合、顧客がクレームを入れれば、販売業者は返金や交換に応じる。つまり、研究室が無駄にした時間や資源については、研究者が法的な請求をする余地がないことになる。しかし実際には、こちらの損失の方が深刻だ。「警察は直接的な損失にしか目を向けてくれないのですが、間接的な損失は比べ物にならないくらい大きいのです」とLengは言う。

偽造品のせいで企業は収入を失い、ブランドに傷をつけられることもあるが、彼らの助けになるものはほとんどない。アプカム社は、自社製品の偽造品と思われる商品が無許可で販売しているいくつかの業者と対決した。しかし販売業者は、自分たちは抗体がどこから来たのかわからないし、どうしてそんな問題が生じたのかもわからないと言った。弁護士は法的手段に出るべきではないと助言した。費用がかかる割に、大した成果は見込めないと予想されたからだ。「1社を叩けば、次が出てきます」とZhangは言う。Lengも同じ意見だ。彼によると、偽造業者は通常は1人が2人でやっていて、「毎年新しい会社を登記して、同じことを繰り返す」という。

一部の科学者は、偽造業者に腹を立ててはいらぬものの、事を荒立てようとはしない。そんなことをしたら、自分たちが偽造試薬を使っていたという事実の方に注目が集まってしまうからだ、とZhangは言う。そのことを認めてしまったら、自分たちのこれまでの研究成果に疑惑の目が向けられてしまう。

## 抑止計画

Huang自身は、偽造機構の歯車にすぎない清掃員や印刷店に制裁を加えたいとは思っていない。彼らにとっては、

それは生活のための手段であるからだ。「印刷店がラベルを1000枚印刷することに、どんな問題があるでしょう？ボトルを殺菌する人々だって、良心的に作業をしているのでしょうか」と彼は言う。

科学者には科学者のやり方がある。Huangは研究所で使用する一般的な試薬の注文を集中させることで、科学者たちが多くの買い物について正規品だと確信できるようにした。また、研究者がFBSの古いボトルを返却しないと新たに購入できないようなシステムにして、使用済みのボトルが確実に破砕されるようにした。

他の科学者は*Nature*に、一度痛い目にあってからは、販売権限のない業者から試薬を購入するのはやめて、高価な正規品を買うようになったと語った。深圳市計量質量検測研究院という第三者検査機関の化学者Wei Luo（羅偉）は、購入したデンプン分解酵素の匂いとパッケージに違和感を覚えたことがあるという。ラベルにはシグマアルドリッチ社（Sigma-Aldrich；米国ミズーリ州セントルイス）の製品で、ロット番号や関連情報は同社のウェブサイトにある詳細な商品説明と一致していたが、同社は、試薬が入っていた白いボトルは、この製品には使っていないものだと確認した。やはり偽造品だったのだ。

一部の試薬メーカーは偽造業者と戦うための教育プログラムも作成した。アブカム社、Cell Signaling Technology社、Universal Bio社は、セミナーやオンラインマニュアルを通じて、現在および将来の顧客に偽造試薬の見つけ方を教えている。彼らはまた、購入した製品が偽物ではないかと疑う顧客のための問い合わせ窓口も開設した。「企業には、法的手段を取るか、顧客を教育するかという2つの選択肢がありました。私たちは後者を選んだのです」とZhangは言う。

科学者たちは、偽造試薬への意識をもっと広めようと協力し合っている。オンラインチャットルームには偽造試薬をつかまされないようにするための（しばしば経験に基づく）助言が多数寄せられている。粗悪品を販売したことが明らかになった企業のブラックリストもある。

とはいえZhangによると、中国の主要な研究拠点の外にいる多くの科学者にとっては、販売業者の選択肢は限られていて、警戒を呼びかける言葉も届きにくいという。研究資金が不足していれば、どうしても価格が購入の決め手になってしまう。業者は彼らに、高品質の密輸品を安

値で販売すると言って近づいている可能性が高い。Zhangは、「ほとんどの顧客は、自分が偽造品をつかまされていることに気付いていないと思います」と言う。

Huangは、究極の解決策は事業の収益が出ないようにすることだと指摘する。彼は、2015年12月のiBio社の設立に協力した。iBio社は60%を国が所有する企業で、北京生命科学研究所のキャンパスで税関・検疫検査をまとめて行う。Huangはこの事業から利益は得ていないが、それまで入手に1カ月以上かかっていた試薬のほとんどを10日以内に入手できるようになったと言う。上海と蘇州にも同じような企業が設立されている。

手続きの迅速化により、中国の科学者は外国の科学者と同じ条件で競えるようになる。Huangは、「それぞれの実験につき、ボトルネックになる試薬が1つか2つあるものです」と説明する。外国の研究者が数日で入手できる試薬を中国の科学者が数カ月かけて入手していたら、「中国の科学が外の世界と競争することはできません」と彼は言う。

2012年に中国政府当局が規則を改定して、生物学用試薬をスムーズに輸入できるようにした背景には、このような理由があった。けれども変化が起こるには時間がかかる。

Huangは、中国の科学の競争力向上につながるこうした改善を喜んでいる。さらに好ましいのは、偽造業者に直接ダメージを与えられることだ。「関税の重荷がなくなれば、彼らの利幅をなくすことができます」とHuangは言う。彼は、犯人を追いかけるよりこの方がいいと考えている。「供給源を断つことさえできれば、犯人を追いかける必要はありません」。

（翻訳：三枝小夜子）

### The secret war against counterfeit science

Vol. 545 (148–150) | 2017.5.11

David Cyranoski

(中国・上海在住の*Nature*ライター)

1. Rumjon, A. et. al. *Am. J. Nephrol.* **35**,295–304(2012).
2. Gutiérrez, O. M., Sun, C. C., Chen, W., Babitt, J. L. & Lin, H. Y. *Am. J. Nephrol.* **36**, 332–333 (2012).
3. Prassas, I. & Diamandis, E. P. *Clin. Chem. Lab. Med.* **52**, 765–766 (2014).



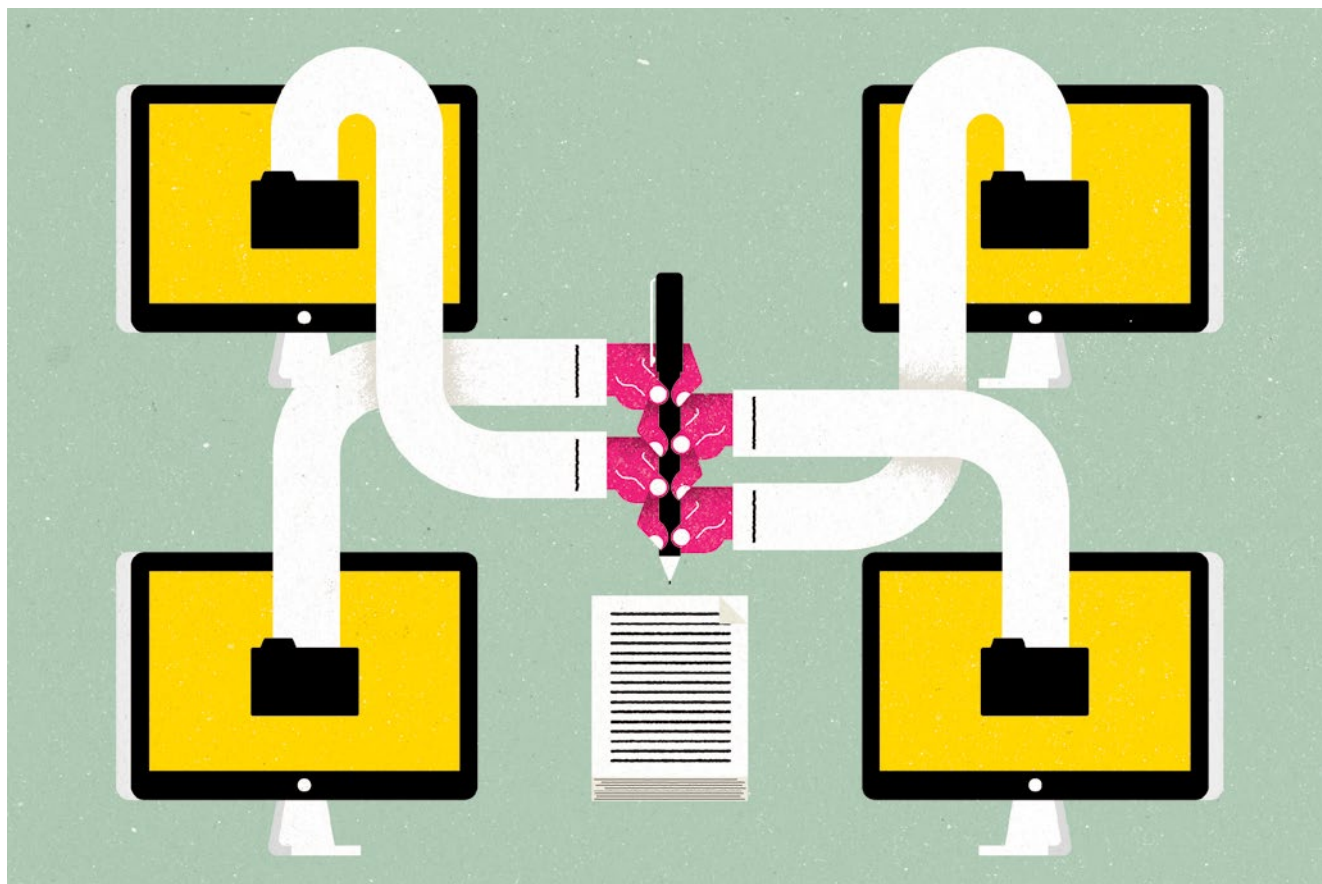


ILLUSTRATION BY THE PROJECT TWINS

## オンライン共同執筆ツール

ブラウザベースの共同執筆ツールの登場で、論文の執筆と出版の方法が大きく変わりつつある。

Fernando Cagua がジンベエザメ・ツーリズムの経済学に関する発見について論文を執筆しようとしたとき、彼が開いたのは「Microsoft Word」ではなく、ウェブブラウザだった。

アブドラ国王科学技術大学（サウジアラビア・ツワル）の生態学者である Cagua は、他の 3 人の共著者と同時に 1 編の論文を執筆できるオンライン共

同執筆環境を試してみたいと考えていた。この数年で、論文執筆に特化した共同執筆ツールがいくつか登場している。こうしたツールはそれぞれ異なる特徴を持つが、複数の著者が研究論文を執筆する際に生じる主な問題である共同執筆プロセスの管理を容易にするためにデザインされている点は同じである。一部の開発者は、科学論文の執

筆や出版の方法を根底から変えたいという大きな野心を持っている。

伝統的に、共著論文の執筆は段階的に進められていた。1 人の執筆者が草稿を執筆し、共著者に渡して全員の返事を待つか、独自に執筆を進め、修正案や疑問点の指摘が来たらそれを反映させていく。カリフォルニア大学デービス校の微生物学の博士課程学生 Russell Neches は、共著者の人数が増えるほど、このプロセスは複雑になると言う。「研究自体よりも、このプロセスを管理することの方が難しく、時間を取られ、手間が掛かることもあります」。

共同執筆ツールは、複数の執筆者がオンライン文書を同時に編集し、書式を整えることを可能にして、このプロセスを簡素化する。最も広く使われている汎

用共同執筆ツールは、Microsoft Wordの余分な機能を削ぎ落としてオンライン版にしたような「Google Docs」だろう。しかし、研究者向けにデザインされた、より専門的なツールもある。これらのツールには、文書のレイアウトを制御する機能や、科学論文にふさわしい形式で引用を付ける機能などのオプションが追加されている。例えば、Caguaが使おうとした「writeLaTeX」というツールの名前は、自然科学者や数学者が数式や図表が入った文書を作成する際に用いる組版ソフト「LaTeX」（ラテックまたはラテフと読まれる）に由来している（writeLaTeXを開発したWritelatex社は、Digital Science社の投資を受けている。2014年1月、writeLaTeXは「Overleaf」と改名された）。その他の研究者向けオンライン共同執筆ツールには、「shareLaTeX」「Fidus Writer」「Authorea」などがある。

### 広がるユーザー

共同執筆ツールを使っている研究者は少数派だが、その数は増えつつある。Writelatex社の共同設立者John Hammersleyによると、2013年にはOverleafのユーザーは10万人に到達し、このツールを使って140万編の文書が作成されたという。Authorea社の共同設立者であるAlberto Pepeは、Authoreaのユーザーは1万人（2014年10月時点）だと言う。Nechesと同じグループのポスドク研究員Jenna Morgan Langには、Authoreaを使って執筆した論文が1編あり、執筆中のものが6編あるという。「本当に気に入っています。誰かに意見を聞かれたら、ぜひとも使ってみるべきだ、と答えるでしょう」とMorgan Langは言う。

共同執筆ツールの核心は、同じ文書

のさまざまなバージョンをどのように追跡するかにある。例えばAuthoreaは、ユーザーが決定する大きさのセクションに文書を分割し、個々のセクションは一度に1人の著者しか編集することができないが、別々のセクションなら複数の著者が同時に作業を行えるようになっている。このシステムでは文書に加えられた全ての変更が履歴に記録される。「記録をさかのぼっていけば、科学論文が最初の言葉から最後の言葉までどのように発展していったかを理解することができるのです」とPepeは言う。

Authoreaのこのコンセプトは、複数のプログラマーが共同でコードライティングを行うときに変更履歴を追跡したり、データ科学者が分析ワークフローを記録したりするために使用するソフトウェア管理システム「Git」を基礎にしている。他のツールは、これとは違ったアプローチを採用している。Google DocsとFidus Writerでは、全てのユーザーがファイル全体に同時にアクセスすることができ、変更履歴機能はMicrosoft Wordのそれに似ているが、例えばFidus Writerでは、全ての編集の履歴を詳細に記録することはしていない（ユーザーがタイムスタンプによって特定のバージョンの文書を保存することはできる）。Overleafには、バージョン履歴機能と変更履歴機能の両方があるが、後者は有料ユーザーしか利用することができない。どのツールも無料アカウントを提供しているが、大きなストレージ容量やプライベートアカウントなどの高度な機能を利用するには、月額利用料を支払う必要がある。Overleafは7～12ドル（約770～1300円）、Authoreaは5～25ドル（約550～2800円）。

これらのツールは、単純に文書作成ソフトウェアとコラボレーション管理シス

テムを組み合わせただけのものではない。Authoreaでは、PubMedやCrossRefの文献を検索してインポートしたり、デジタルオブジェクト識別子（DOI）を使ったりして、参考文献リストを作成し、書式を設定することができる。Overleafでは、文献管理ツール「Zotero」や「CiteULike」から文献をインポートすることができる。Authoreaを使えば、*Nature*、*Science*、*Proceedings of the National Academy of Sciences*を含む約40誌の投稿用フォーマットで文書をエクスポートすることができる。Pepeはブログに、同じデータを異なる学術誌のフィルターで加工できるAuthoreaは「科学論文のインスタグラムのようなものと言えるかもしれない」と書いている。

Writelatex社のHammersleyには、論文の執筆と出版をもっと密接に統合したいという野心がある。Overleafでは、ユーザーがボタンをクリックすると、一部の学術誌のエディターに直接論文を送ることができる。2014年10月時点では10誌以上にこの方法で論文を投稿できるが、Hammersleyは数カ月後にもっと増やそうとしている。彼は、今はまだ学術誌との統合を進めている途中で、最終的には、論文の著者と学術誌のエディターが、ブラウザウィンドウで共同作業ができるようにしたいと話す。

### 課題は親しみやすさ

Caguaは結局、ジンベエザメの論文の大半をGoogle Docsで書いた。共著者たちがLaTeXに不慣れで、オリジナルのwriteLaTeXに「尻込みしてしまった」からだ。実際、生のLaTeXファイルは、文章と図の表示法を組版プログラムに指示するコードがテキストの中にちりばめられている。これは、ウェブブラウザ表示の背後にあるHTMLソースコー

ドを読んでいるようなもので、不慣れな人は、その見た目に当惑することがある。writeLaTeXを改良したOverleafでは、リッチテキスト編集環境がコードを隠し、専門知識がない人にも執筆しやすくなっている。Fidus WriterとAuthoreaもLaTeXをサポートしているが、生テキストの表示を制御するHTMLやMarkdownもサポートしている。

Pepeは、Authoreaの主要なミッションは「科学論文を再創造すること」だと考えている。科学研究のオープンシェアリングを促すために考案されたこのプログラムは、出版された論文を読んだ人が、その図の基礎になっているデータを探して操作できるようにする「IPython notebook」などのソフトウェアをサポートしている。「私たちが考えているのはインタラクティブでデータ駆動型の論

文です」とPepeは言う。これは、彼が「未来の論文」の試作品で探究したアイデアだ（go.nature.com/plgshx参照）。一部の学術誌はインタラクティブなグラフィックスやデータを慎重に試しているが、基本的にはまだ稀だ。

ハーバード大学（米国）の天文学者で、PepeがAuthoreaを開発したポストドク研究を指導したAlyssa Goodmanは、Authoreaで執筆された文書は、読むことのできる論文にも、生データを含むインターネット上の研究ノートにもなるという。「論文として読むことのできる部分は氷山の一角にすぎず、その下には全ての説明が隠れているのです」。

Nechesは、この機能を使って米国ミシガン州の2人の研究者と共同研究を行なった。彼はTwitterを使って2人とやりとりしているが、直接会ったことは

ない。彼らは、3Dプリンターで印刷したある材料を細菌培養実験で使用する際に滅菌処理が必要か否かを調べる共同研究を行なった。彼は、Authoreaを使うことで、チームのメンバーが生データと手法をアップロードするためのフォーラムができ、これらに基づいてオンラインで原稿を共同執筆することができたと言う。「皆で一緒に作業できる研究室を立ち上げたような感覚でした。共同執筆ツールがなかったら、このような感覚で論文を執筆することはできなかったでしょう」。

（翻訳：三枝小夜子）

The online cooperative  
Vol. 514 (127-129) | 2014.10.2  
Jeffrey m. Perkel

## RESEARCH HIGHLIGHT

# プラスチックを消化する イモムシ

CÉSAR HERNÁNDEZ/CSC



ケンブリッジ大学（英国）のPaolo BombelliとChristopher Howe、カンタブリア大学（スペイン）のFederica Bertocchiniは、ハチノスツツリガ（*Galleria mellonella*）の幼虫を入れたポリ袋にすぐに穴が開くことに気付いた。そこで、実験室でポリエチレンフィルムの上に幼虫を載せて観察すると、約100匹の幼虫が12時間ほどで92mgのポリエチレンを分解することが分かった。この分解速度は、ポリエチレンを分解することが知られている微生物よりもはるかに速い。また、幼虫をすりつぶしたものをポリエチレンフィルムに塗っても分解されたことから、幼虫はプラスチックを単にかじったのではなく、消化していると考えられる。

ハチノスツツリガの幼虫は、ハチの巣の中に棲み、蜂蜜や蜜蝋<sup>みつろう</sup>を食す。蜜蝋には化学的にポリエチレンに似た化合物が含まれており、この分解能力は、幼虫が蜜蝋を消化するのに役立っている可能性がある。

（翻訳：藤野正美）

*Curr Biol.* **27**, R292–R293 (2017).



# クエーサーは大質量銀河の目印

天文学

クエーサーと呼ばれる非常に明るい天体の近傍の調査は、初期宇宙ではこれまで不十分だった。アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 (ALMA) を使って行われた観測で、初期宇宙のクエーサーの周辺には、初期宇宙で最も大質量の銀河たちの一部が存在していることが分かった。

クエーサーは、光を持続的に放つ天体の中で最も明るい天体だ。クエーサーは、太陽の少なくとも10億倍の質量を持つブラックホールがそのエネルギー源だと考えられていて<sup>1,2</sup>、ビッグバン後わずか7億5000万年の時期にすでに存在しているものが見つかった<sup>3,4</sup>。初期宇宙でクエーサーが発見されて以来、どのようにしてそれほど比較的短期間でクエーサーが形成されたのかという大きな疑問は解明されないままだった。今回、マックス・プランク天文学研究所 (ドイツ・ハイデルベルク) の Roberto Decarli らは、チリのアタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 (ALMA) を使って遠方のクエーサーの周辺を調べたところ、4つの大質量の星形成銀河を発見したことを *Nature* 2017年5月25日号457ページで報告した<sup>5</sup>。この観測結果は、クエーサーの形成過程に関する私たちの理解を深めると同時に、初期宇宙で最も大質量の銀河たちを見つけ、研究するためには、どうすればいいのかも教えてくれた。

クエーサーにエネルギーを供給するブラックホールは

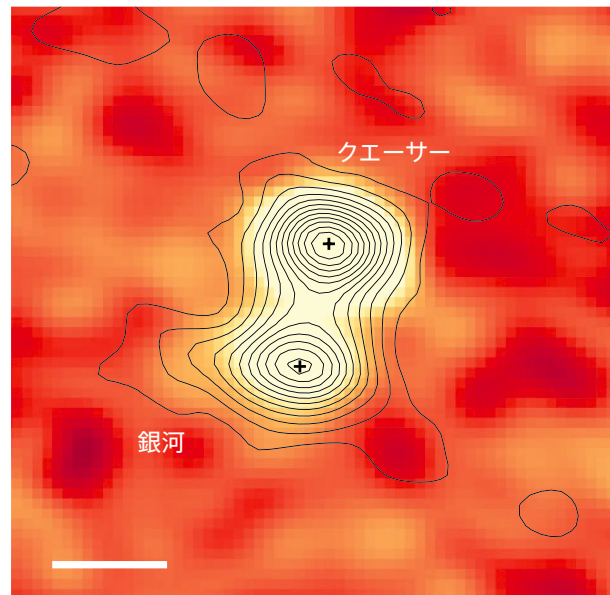


図1 遠方のクエーサーとその伴銀河

クエーサーは非常に明るい天体で、太陽の少なくとも10億倍の質量があるブラックホールがそのエネルギー源だと考えられている。Decarli らは、初期宇宙のクエーサーの近くで、4つの大質量の星形成銀河を発見した<sup>5</sup>。この画像は、クエーサー PJ231-20 とその近くで見つかった銀河で、それぞれの中心を十字で示している。Decarli らは、初期宇宙での大質量星形成銀河のスペクトルで特に目立つ、一階電離した炭素に伴う特定の輝線放射を探した。黒い等高線は、この輝線放射の強度が等しい点をつなげた等輝度線 (アイソフォト) だ。カラースケールは、星の光を受けた塵<sup>ちり</sup>が放つ連続放射の強さを示し、暗い赤が弱く、黄色が強い。スケールバーは10キロパーセク (1パーセクは3.26光年)。

おそらく、生まれたときは小さく、降着によって指数関数的に成長したとみられる<sup>6</sup>。このため、ブラックホールに近い物質は、強い重力場から逃れることはできず、やがてはブラックホールに引き込まれた。初期宇宙で発見された明るいクエーサーは<sup>3,4</sup>、莫大な質量を短期間で集めていることから、物質密度が特別に高い領域にあったと考えられている。物質密度の高い環境は、クエーサーのエネルギー源になるブラックホールの急速な成長に物質を供給しただけでなく、クエーサーのすぐ近くでの銀河の成長も促しただろう。

初期宇宙のクエーサーの成長に関するこの一般モデルを、初期宇宙の明るいクエーサーの周辺で銀河を探すことによって検証しようとする試みが多数行われてきた。



アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 (ALMA) のアンテナ群。ALMA は、標高約 5000m のチリ・アタカマ砂漠に設置された 66 台のパラボラアンテナからなる電波望遠鏡であり、日本、台湾、米国、カナダ、欧州などの国際共同プロジェクトだ。

CARLOS PADILLA – AUI/NRAO

しかし、遠い銀河の標準的な探索方法の空間（視線方向）分解能が低いことや<sup>7-11</sup>、検出技術がクエーサー周辺の低質量の銀河にのみ敏感であること<sup>12,13</sup>が、そうした取り組みの障害になっていた。これまでに行われた研究は、明るいクエーサーは宇宙の高密度環境で形成されたという考えを支持したものの、十分な証拠にはならなかった<sup>14</sup>。

ALMA は、天文学者たちにとって、明るいクエーサーのすぐ近くの大質量星形成銀河からの輝線放射を探す強力なツールになった。干渉計とは、互いに接続され、観測結果を結合することができるアンテナ群だ。ALMA は、集光面積が非常に大きく、また、25 秒（満月の角直径の約 1.5%）の視野のあらゆる位置で発光スペクトルを得ることができるため、こうした観測を実現することができる。

Decarli らは 2016 年 1～3 月、ALMA の口径 12m のアンテナ 38～48 台を使って、ビッグバン後 9 億年未満、つまり、6 を超える赤方偏移に存在する、25 個の明るいクエーサーを観測した（天体の赤方偏移が大きいほど、その天体が光を放出した時点の宇宙は若い）。加えて彼ら

は、クエーサーから、天球の接平面上で 70 キロパーセク未満、地球への視線方向で 2 メガパーセク未満の距離の空間内で、クエーサー以外の放射源のしらみつぶしの探索も行った。

Decarli らは、現在の宇宙の銀河の星間物質と、初期宇宙の大質量星形成銀河のスペクトルで特に目立つ、一階電離した炭素に伴う輝線を観測対象にした<sup>15,16</sup>。彼らは、調べたクエーサーから強い放射を見だし、さらに、同じ観測で 4 つの明るい輝線放射源を発見した（図 1）。Decarli らは、これらの輝線放射源を大質量の星形成銀河と解釈し、これは理にかなっている。

Decarli らが遠方のクエーサーの近くで明るい銀河を発見したことは、少なくとも 2 つの理由で重要だ。第一に、この発見は、明るい高赤方偏移クエーサーは特に高密度の環境で形成されたという、決定的で説得力のある証拠になり、大質量銀河の高密度環境に物質がどの程度豊富にあるかについて具体的で重要な答えをもたらしてくれる。これまでの研究では、赤方偏移 4.8（参考文献 17）と

5.3 (参考文献18) での関連した発見が報告されている。Decarliらは、赤方偏移が6を超える明るいクエーサーを調べることにより、これまでの知見を相当に拡大した。

第二に、Decarliらは、明るいクエーサー周辺をしらみつぶしに探索することにより、6を超える赤方偏移でこれまでに発見された中で最も大質量の銀河の1つとみられる星形成銀河を3つ発見した。意外なことに、彼らの方法は、ずっと広い視野（満月の角直径の数倍）を持つ、初期宇宙の銀河探索の成果を上回ったようだ<sup>16,19</sup>。Decarliらが見つけた銀河は、光度が高く、近隣のクエーサーからの光の汚染がないため、初期宇宙での銀河について詳細に調べることができる可能性がある。

発見された放射源は、ALMAやジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡、近い未来のその他の観測施設の観測対象になることは確実だと思われる。放射源の性質に関する私たちの知識は現在得られているデータに制限されているため、Decarliらの観測結果を完全に理解するためには追跡観測が必要だ。それでも、Decarliらの研究は非常に価値の高い開拓的研究であり、明るい高赤方偏移クエーサーを取り巻く領域に関する今後の調査だけではなく、初期宇宙の最も大質量の銀河たちを探す方法をも根本的に変える可能性がある。

(翻訳：新庄直樹)

### Quasars signpost massive galaxies

Vol. 545 (418–420) | 2017.5.25

Rychard Bouwens

ライデン大学ライデン天文台 (オランダ) に所属

1. Barth, A. J., Martini, P., Nelson, C. H. & Ho, L. C. *Astrophys. J.* **594**, L95–L98 (2003).
2. Willott, C. J., McLure, R. J. & Jarvis, M. J. *Astrophys. J.* **587**, L15–L18 (2003).
3. Mortlock, D. *et al. Nature* **474**, 616–619 (2011).
4. Fan, X. *et al. Astron. J.* **125**, 1649–1659 (2003).
5. Decarli, R. *et al. Nature*, **545**, 457–461 (2017).
6. Volonteri, M., Haardt, F. & Madau, P. *Astrophys. J.* **582**, 559–573 (2003).
7. Stiavelli, M. *et al. Astrophys. J.* **622**, L1–L4 (2005).
8. Zheng, W. *et al. Astrophys. J.* **640**, 574–578 (2006).
9. Kim, S. *et al. Astrophys. J.* **695**, 809–817 (2009).
10. Simpson, C. *et al. Mon. Not. R. Astron. Soc.* **442**, 3454–3461 (2014).
11. Morselli, L. *et al. Astron. Astrophys.* **568**, A1 (2014).
12. Bañados, E. *et al. Astrophys. J.* **773**, 178 (2013).
13. Mazzucchelli, C. *et al. Astrophys. J.* **834**, 83 (2017).
14. Overzier, R. A. *Astron. Astrophys. Rev.* **24**, 14 (2016).
15. Capak, P. L. *et al. Nature* **522**, 455–458 (2015).
16. Willott, C. J., Carilli, C. L., Wagg, J. & Wang, R. *Astrophys. J.* **807**, 180 (2015).
17. Trakhtenbrot, B. *et al. Astrophys. J.* **836**, 8 (2017).
18. Riechers, D. A. *et al. Astrophys. J.* **796**, 84 (2014).
19. Bowler, R. A. A. *et al. Mon. Not. R. Astron. Soc.* **440**, 2810–2842 (2014).

# がん再発を早期探知できる液体生検

医学研究

肺腫瘍の進化に関するゲノム情報が血液から得られることが実証され、がん再発の初期兆候の臨床モニタリングが可能ながん報告された。プレジジョン (高精度) 医療への有望な一歩だ。

腫瘍が転移の過程を経て原発部位から離れた部位に広がった場合の治療法は、組織学的手法による細胞診検査、もしくは腫瘍片のDNA塩基配列の解析をもとに判断するのが普通である。解析用の腫瘍片は、腫瘍の原発部位と思われる場所か、あるいは最も採取しやすい場所から得る。しかし、このやり方では、こうした悪性腫瘍に内在する遺伝的不均一性も、時間とともにゲノムをダイナミックに進化させるがんの能力も、正確に捉えることができない。つまり、がん患者は複数種類の治療を受けるが、それには数十年とまでいかなくても数年はかかるため、その患者の治療の根拠となったがん分子解析がその間に無効になっていることもあり得る。今回、Christopher Abboshら (*Nature* 2017年5月25日号446ページ)<sup>1</sup>とMariam Jamal-Hanjaniら (*The New England Journal of Medicine* 2017年6月1日号2109ページ)<sup>2</sup>は、がん臨床研究プロジェクト「TRACERx」の結果について報告している。このプロジェクトは、個々の患者で肺腫瘍の経時的な進化動態を追跡し、詳細な遺伝的プロファイルを作成するために実施されたものだ。Abboshらは、そこから得られた解析結果をもとに、患者特異的な情報を用いて腫瘍摘出後の再発を早期探知できる検査法を開発した。



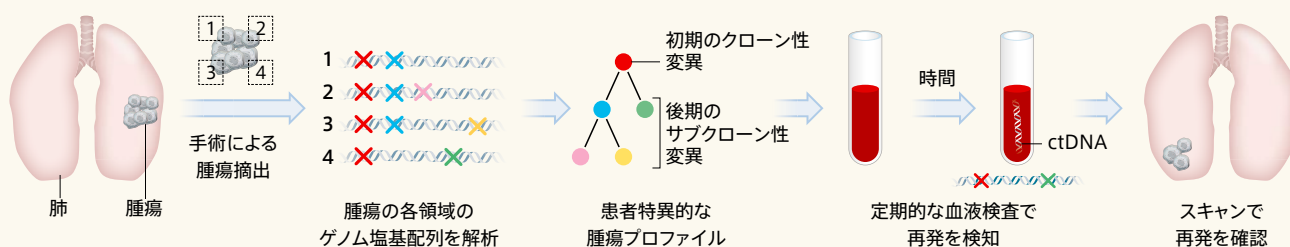


図1 摘出手術後の再発を早期に検出するための、肺がん進化のモニタリング

TRACERx<sup>1,2</sup>では、非小細胞肺がんの患者から病巣を外科的に摘出し、その腫瘍のいくつかの領域(1~4)から試料を採取。この試料を使って、Jamal-Hanjaniら<sup>2</sup>はゲノムのタンパク質コード領域の塩基配列を解析し、その腫瘍の試料採取領域で生じたDNA変化(×記号)を特定。その変化パターンから、変異間の類縁関係を決定した。例えば、初期に生じた変異は全ての腫瘍細胞に存在することが多い(クローン性変化)が、後期に生じた変異は一部の細胞にしか見られない(サブクローン性変化)。Jamal-Hanjaniらが作成した1人の患者の腫瘍の進化過程を表す系統樹を使って、Abboshら<sup>1</sup>は循環腫瘍DNA(ctDNA)の液体生検を設計。この血液検査法を使い、1人の患者において、がん再発の特異な遺伝的特徴を見分けることができた。この個別化検査法では、CTスキャン画像で再発が分かる平均70日前に、腫瘍再発の兆候が捉えられた。こうした再発は、腫瘍の原発部位とは異なる場所に見られる場合が多い。

腫瘍の経時的な進化動態を調べる研究に現在、大変革をもたらしているのが「液体生検」だ<sup>3</sup>。これは、血液試料に含まれる「循環腫瘍DNA(circulating tumour DNA; ctDNA)」という腫瘍由来DNAの塩基配列を解析する手法である。こうした細胞外のDNA断片は、細胞死過程であるアポトーシスやネクローシスで血流中に放出されたり、他の機構で血流中に入り込んだりしたものだ<sup>4</sup>。Abboshらは実験で、液体生検によるctDNA検出能と、一部の型の非小細胞肺がんがよく見られる細胞ネクローシスの存在との間に関係性があることを確認した。液体生検は近年、感度や精度が向上し、臨床に応用されつつある<sup>4,5</sup>。Abboshらは今回、液体生検により初期段階にあるがんの進化のモニタリングや再発の探知ができるかどうかを検討し、ctDNA解析をさらに前進させた。

今回の2つの論文で報告された「TRACERx」という臨床研究プロジェクトは、非小細胞肺がんが時間経過につれてどう変化していくかを調べるために設計されたものだ。まず、非小細胞肺がんの摘出手術を受けた患者100人を対象にして研究が開始された。ただし摘出手術で腫瘍細胞を残らず除去しようとしても、必ずしも取りきれないわけではない。しかも、体内の他の部位にすでに少数の腫瘍細胞が移動していた場合、手術後も悪性細胞が残留してしまう可能性がある。もし再発した場合、化

学療法など別の治療選択肢を考えることになる。

TRACERxプロジェクトチームはまず、患者それぞれの腫瘍の進化を追跡するため、さまざまな時点で得た血液試料のctDNAを調べることにした。しかし、液体生検の感度が大きな難関となった。腫瘍DNAは、血漿試料中の総DNA量の1%未満しかないからだ<sup>3</sup>。そうした「干し草の山の中にある針」を探し出せるくらい高感度の検査法を開発するために、Abboshらが使ったのが、Jamal-Hanjaniらによる摘出肺腫瘍の解析結果からの情報だった。Jamal-Hanjaniらは、摘出された肺腫瘍それぞれの数カ所に由来するゲノムと、健康な組織に由来するゲノムについて、全タンパク質コード領域の塩基配列を解読して比較解析し、肺腫瘍に特異的に存在するDNA変化(一塩基バリエーション [SNV] という)を特定した。

1個の腫瘍の異なる領域とSNVプロファイルとを関連付けることで、類似点と相違点が見えてくる。腫瘍発生の初期に生じる遺伝的変異は通常、全ての腫瘍細胞(クローン)に見られる(つまりクローン性変化である)が、後期に生じる変異は一部の細胞(サブクローン)にしか見られない(つまりサブクローン性変化である)。Jamal-Hanjaniらは、腫瘍内のいくつかの領域の変異について解析し、腫瘍の遺伝的進化のパターンを推測して、変異間の類縁関係を示す系統樹を構築した(図1)。これらの

系統樹から、Abboshらは、ある患者のクローン性SNVとサブクローン性SNVを特定し、この情報を使って、がんの再発をチェックする液体生検法を設計することができた。SNVの解析にあたっては、検出感度を向上させるため、多重ポリメラーゼ連鎖反応（多重PCR）を含む配列解読法を用いた。これで、液体生検による試料解析の際に複数のSNVを検査できる。Abboshらは、患者1人につき10～22個のSNVを調べた。検出された腫瘍SNVは主に、初期のクローン性SNVに相当するものだった。また、液体生検にクローン性SNVが含まれていた患者の大半は、サブクローン性SNVも持っていた。

この研究は、肺がんの進化に関する目覚ましい手掛かりをもたらし、いくつかの点で先駆的である。Abboshらは、TRACERx研究に参加した患者100人のうち24人を、摘出手術後に、通常の画像検診と、SNV 12～30個のctDNA検査の両方で追跡観察した。術後の液体生検解析による腫瘍関連SNVの検出から、その後、コンピューター断層撮影（CT）スキャン像によって再発を確認するまでの日数の中央値は、70日だった。ctDNA解析による乳がんや大腸がんの再発予測はすでに可能になっている<sup>6-8</sup>が、Abboshらの研究は、難易度の高い条件下で盲検化した予測分析によって達成されたという点で特に注目される。つまり、ctDNA量が極めて少ない腫瘍再発の早期という条件を乗り越えたのだ。

ctDNA解析に使われた系統樹や、個々の患者由来の組織標本を追加解析して得られた結果から、今後役立つような情報ももたらされた。例えば、再発した1人の患者から採取した試料では、*ERBB2*遺伝子の増幅したサブクローンが大半を占めていた。この増幅は、がんを進行させる変化の1つであり、既存薬で標的にできる。さらにAbboshらは、患者が化学療法を受ける際に、液体生検でctDNAにある腫瘍SNVを検査することで、その化学療法が有効かどうかの指針を得られることも明らかにした。このようにctDNA解析は、再発を早期に予測したり、どのDNA変化が頻度を増しているかを知る手掛かりを得たりするのに役立つ。つまり、がんの次の出方を予想できる潜在的能力を持っているのだ。

こうしたアプローチは、がんの不均一性のがんの進行を後押しする仕組みを解明するのにも役立つ。例えばAbboshらは、1人の患者の死後解析について報告して

いる。その患者の頻繁な腫瘍再発と再発に関連するSNVの詳細なプロファイルから、どのサブクローンが転移巣を生じたかについての情報や、がんが治療中にどのように進化したかを知る上で有用な空間的および経時的手掛かりが得られた。

Abboshらによる、もう1つの重要な知見は、ctDNAに存在する変異SNVの頻度（バリエント対立遺伝子頻度 [VAF]）の高さと、CTスキャンで確認された腫瘍容積の大きさが関連していたことだ。Abboshらの計算によれば、VAF値が0.1%の場合では、約3億個の細胞を含む腫瘍容積と相関が見られるという。このパラメーターは、今後の肺その他の腫瘍の液体生検研究で腫瘍サイズを見積もる際に、同様の推定をする上で役立つかもしれない。

今回の研究で、液体生検ががんの経時的追跡に有効なことが明らかになったが、この方法は技術的に難度が高く、面倒であり、また、患者ごとに分析する必要があり費用がかかる。そのため現時点では、臨床現場での日常的使用には適さない。ただし、塩基配列解読のコストは下がり続けているので、この種のプレジジョン医療による治療が当たり前になる可能性もある。がんについて臨床的に意義のある情報が血液試料の遺伝解析から豊富に得られるということ自体、10年前までSFの世界の話だったのだから、そうなるのも不思議ではないのだ。

この「TRACERx」プロジェクトのために、がん専門医や放射線科医の他に、遺伝学者や統計学者、数学者や進化生物学者といった医学以外のさまざまな専門家が集まった。そのため今回の研究は、専門分野の垣根を越えた「交流」によって、がんのプレジジョン医療の普及を大きく進められることを示す説得力ある証拠といえる。 ■

（翻訳：船田晶子）

### Personalized test tracks cancer relapse

Vol. 545 (417–418) | 2017.5.25

Alberto Bardelli

トリノ大学医学系大学院（イタリア）に所属

- Abbosh, C. et al. *Nature* **545**, 446–451 (2017).
- Jamal-Hanjani, M. et al. *N. Engl. J. Med.* **376**, 2109–2121 (2017).
- Diaz, L. A. & Bardelli, A. J. *Clin. Oncol.* **32**, 579–586 (2014).
- Siravegna, G., Marsoni, S., Siena, S. & Bardelli, A. *Nature Rev. Clin. Oncol.* <http://dx.doi.org/10.1038/nrclinonc.2017.14> (2017).
- Wan, J. C. M. et al. *Nature Rev. Cancer* **17**, 223–238 (2017).
- Beaver, J. A. et al. *Clin. Cancer Res.* **19**, 2643–2650 (2014).
- Garcia-Murillas, I. et al. *Sci. Transl. Med.* **7**, 302ra133 (2015).
- Tie, J. et al. *Sci. Transl. Med.* **8**, 346ra392 (2016).

## 知能に関する研究のすすめ

人種差別主義にまみれた知能の研究を救うのは、現代の遺伝学かもしれない。

「知能に関する大部分の人々の知識は、良くて偏った知識であり、最悪の場合には完全に誤った知識となっている」。これは、2014年に論文誌 *Intelligence* が「知能の教育」に取り組んだ特集号の巻頭における編集長の言葉だ (*Intelligence* 42, 135; 2014)。この特集号では、少なくとも米国の超一流の大学5~6校の学部での心理学のカリキュラムに知能に関する講義がほとんどないことが明らかにされた。大学では知能論が廃れており、その理由は、知能論がエリート主義だけでなく人種差別主義の影響を受けており、学生も大学当局者も気まずさを感じるからだと思われる。

こうした偏りは、知能と知能を研究する動機に関する誤った知識が広まる一因となっている。この傾向が特に顕著なのが知能の遺伝学研究だ。2017年に *Nature Genetics* に発表された論文 (S. Snickers *et al.* *Nature Genetics* 49, 1107; 2017) では、知能に関する遺伝学的メタ解析の成果が報告されている。

このメタ解析研究は、約8万人の小児と成人について調べたゲノムワイド関連解析をまとめたものだが、それぞれのゲノムワイド関連解析では、知能指数やタッチパネル上のパズルでの正答数など、さまざまな「一般知能」の指標が用いられた。このメタ解析では、知能と関連する18のゲノム領域および脳内で高度に発現している候補遺伝子が突き止められた。この研究では、これらのコホート全体における知能の分散の最大4.8%を説明できることが示唆されている。

このメタ解析結果は、遺伝的性質が認知能力にどのよ

うに影響しているかを詳しく調べる一連の研究の中で最も新しい。ここで「どのように」という言葉に留意してほしい。遺伝的性質の違いによって知能に関する有意な個人差が生まれていることについては、これを否定する善意から出た主張や無知による主張があるものの、遺伝学者の間では十分に確立されており、議論の余地はない。ただ、こうした個人差は数多く存在し、それ自体に大した意味はないということではない。そのため、知能は、その他の多くの認知特性と身体的特徴（例えば、精神障害や身長）と同じく、典型的なヒトのポリジーン形質（形質の発現に複数の遺伝子が関わる）の1つなのだ。

そうならば、どうして論争が起こるのだろうか。知能は、ヒトの形質の中で最も重要で影響力の大きいものの1つであることは間違いないのに、どうして心理学科の学部生は知能に関する授業を受けることができないのだろうか。知能に関する研究と幅広い理解を妨げている最大の障害は、未来の出来事ではなく過去の出来事にある。これは、科学分野として異例なことなのかもしれない。

障害は3つあると考えられる。第1の障害は、生物学的決定論に対する根拠のない恐れであり、それへの対応は最も容易だと思われる。特定の遺伝子が知能に影響を及ぼすのなら、その遺伝子を持たない者は頭脳明晰とはいかず、成功できないと考えて心配する人々がいるのだ。しかし、知能には遺伝子だけでなく環境も重要な役割を果たしていることが明らかになっている。つまり、知能「に関連する」遺伝子は存在するが、その遺伝子を持たない人々が教育を受けるのは無駄、という結論を意味する





FREDERICK FLORIN/AFP/GETTY IMAGES

わけではない。遺伝学者は、そうした仮説をとっくの昔に否定している。

第2の障害は、何よりも知能科学が興隆したタイミングが悪かったことだ。知能科学や知能テストが最初に盛んになったのは20世紀、米国や英国などの国々で、移民に対する懸念から国民の遺伝的ストックを保護する政策が固まったことによる。知能に関する研究は、優生学者の便利な道具となり、外国人嫌いに代わって「知的障害者」に対する差別が台頭した。

第3の障害が人種差別主義だ。知能科学に醜い偏見が付きまとったことに疑いの余地はない。過去に行われた頭蓋容積と脳重量の測定は、白人の人種的優越性を主張するためのものだった。また最近では、米国内の黒人と白人の集団間における知能指数の平均値の差（差は実在するが、現在は縮小している）の原因が、両人種間の遺伝的差異にあるという誤った結論が示された。

知能の遺伝的性質に関するどのような研究であっても、過去の醜い人種差別を再燃させ、今後も怪しげな目的のために利用される可能性があるとして、一部の論者が懸念を示している。知能科学の評判を落とした不適切な姿勢は今も変わらない上、怪しげな研究が一部で続けられていることは確かだが、知能科学が過去に足をひっぱられてはならない。

個人間の遺伝的差異とその形質に対する影響は、21世紀初頭に考えられていた以上に複雑で捉えにくいことが、続々発表される研究で示されている。研究者が知能のような形質を調べる研究を進めて、差別に遺伝的根拠のないことを明らかにすれば、過去の誤りからさらに決別できる。知能に関する大部分の人々の知識は、アップデートされなければならない。 ■

(翻訳：菊川要)

2017年6月1日号 | Vol. 546 No. 7656

### 保全における課題：生物多様性の低下に取り組む方法を評価する

地球上の生命の多様性は息をのむほどだが、重大な危機に瀕<sup>ひん</sup>してもいる。表紙のシマウマとアカハシウツツキの間に見られるような潜在的に有益な関係は多いが、他の潜在的に破壊的な関係は、種、生息地、生態系にかつてないほどの難題をもたらしている。今週号の *Nature* では、生物多様性と保全における重要な主題のいくつかが探究されている。Insight では、生命の豊かな多様性を生んだ過程とこの多様性の低下速度を加速する過程が深く掘り下げられている。重要なのは、多様性の低下を緩和し生態系を保護する方法だけでなく、そうした保全努力の極めて多面的な恩恵も探究されていることである。News Feature では、生態系の機能単位の検討が、単に種の目録を作ることよりも有益になり得る理由を明らかにしている。また、2本の Comment は、土地利用と分類学の危機的状況の問題に取り組んでいる。さらに、2本の論文によって、多様性が生態系の機能を高める仕組みと、保護区域の比較的小さな拡大によって生物多様性保全が大きな効果を得られる可能性が検討されている。賢明な政策立案と地域社会の参加によって保全効果が得られるのは明らかだが、時間は押し迫っている。

Cover; 10.1038/nature22368; 10.1038/nature22399

### 物性物理学：相転移材料は次の局面へ

イオン種の電気的な挿入と脱離に応答して相転移する材料は、動作できる気候の範囲が広い電池や、通過する光や熱の量を制御できるスマートウィンドウなど、さまざまな用途に利用されている。N. Luらが今回報告しているように、移動可能なイオン種の数を増やすことによって、材料系の機能性が大幅に向上する可能性がある。具体的には、酸素イオン ( $O^{2-}$ ) と水素イオン ( $H^+$ ) の電気的な挿入と脱離を独立に制御することで、光学的、電気的、磁気的特性が全く異なる3つの材料相を可逆的に転移させられる材料系が報告されている。今回の知見によって、相転移材料の応用の幅がさらに広がる可能性がある。

10.1038/nature22389

### 神経科学：頭の向きを変えるニューロン

空間ナビゲーションの一部は、「頭方向ニューロン」に依存することが知られている。これらのニューロンは複数の動物

種で体内コンパスのような働きをするが、こうした細胞の持続的な活動を生み出し、それを随時更新する神経回路は分かっていない。今回 G. Maimon らは、ショウジョウバエ (*Drosophila*) が頭の向きを変えるとき、いつどれくらい向きを変えるべきかの回頭信号を発する、2つのタイプの上流ニューロンを発見した。P-EN1 は頭の向きを変え始めるときにアクセルペダルのように働き、P-EN2 は向きを変え終えたときにブレーキのように働く。一方、左右の P-EN ニューロンの非対称度は頭の向きを変える速さを示す。これらの知見は、例えばアリ、ハナバチ、齧<sup>げっし</sup>歯類などといった他の動物種で提唱されている空間的積算の演算モデルへの情報をもたらすだけでなく、一般的に脳がどのようにして一過的な入力を持続的な活動に積算するかを、神経科学的に理解する助けとなるだろう。

10.1038/nature22343



実験で使われたハエ追跡用の装置。

MARIO MORGADO FOR THE ROCKEFELLER UNIVERSITY

### 原子物理学：高強度X線に対する超高速分子応答

X線自由電子レーザーによって、速い生体過程の構造的な精査など、多くの新しい応用が得られる。これには、高強度硬X線パルスを使う必要があるが、そうした条件下での物質のふるまいは十分調べられていない。今回 A. Rudenko らは、重原子を1個含む小さな多原子分子に超強度硬X線パルスを照射したときの応答は、それほど極端でない条件下の実験で見られるものとは質的に異なることを示している。同じ条件下での重原子1個のイオン化と比較すると、観測された分子のイオン化はかなり増強されており、これは、重原子から出ていった電子を補充する超高速電荷移動が分子内で生じて、さらなるイオン化が可能になるためである。この効果を説明できたことは、生体系研究へのX線自由電子レーザーの利用促進に役立つだろう。

10.1038/nature22373



### 地球科学：地震発生帯の熱水圧力

断層の岩石変形は、温度の変化と岩石の間隙内にある流体の圧力の変化の影響を受ける。地震は、こうした条件の変化によって地殻内の鉱物相が不安定化するとき起こるので、この「転換点」にどのように到達するかは、地震予測に重要である。今回R. Sutherlandらは、ニュージーランド南部のアルパイン断層上盤を掘削した坑井から得られた知見を報告している。この断層は、地震後経過率が高く今後数十年内にマグニチュード8の地震を起こすと予測されている。著者らは、静水圧よりずっと高い間隙流体圧勾配を観測しており、これは、周囲の岩石にかかる圧力が大きく、断層「上盤」内部の地温勾配が高いことを意味している。彼らは、このような極端な条件は、地表下深部から上向きに岩石と熱を輸送する急速な断層運動と、地表で熱を渓谷に集中させる、地形が駆動する流体の動きに起因すると結論している。

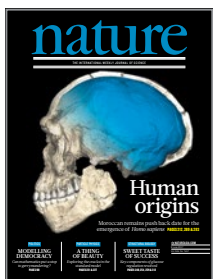
10.1038/nature22355

2017年6月8日号 | Vol. 546 No. 7657

### 神経変性疾患：相転移が伸長したRNAを毒性化する

特定のトリヌクレオチド配列の伸長は、いくつかの神経疾患の原因となっている。このような伸長した反復配列はRNA転写産物を「毒性化」すると考えられており、これらのRNAは疾患に関連する長さになると凝集体(foci)を形成する。今回A. JainとR. Valeは、foci形成に特定の長さの反復配列が必要なのは、RNAが疾患を引き起こす長さで相分離を起こすためであることを見いだした。この結果は、タンパク質凝集に起因する神経疾患と同様に、RNAのゲル化がトリヌクレオチドリピート伸長病の病因に関与している可能性を示唆している。

10.1038/nature22386



### 構造生物学：クラスB完全長GPCRの構造

グルカゴン様ペプチド1受容体 (GLP-1R) とグルカゴン受容体 (GCGR) はGタンパク質共役受容体ファミリーのクラスBに属し、グルコース恒常性とインスリン放出について相反する生理的役割を担っている。そのため、これらは代謝や食欲の調節に重要であり、2型糖尿病の治療に利用できる可能性が非常に高い。しかし、これらの受容体の完全長構造はまだ解明されていなかった。今週号にはGLP-1RとGCGRの構造に関する4つの論文が掲載されている。G. Skiniotis, B. Kobilkaらのグ

ループは、修飾を加えていないGLP-1Rが、その内在性ペプチドリガンドであるGLP-1およびヘテロ三量体Gタンパク質と複合体を形成した状態の低温電子顕微鏡構造について報告している。F. Marshallらは、マウスへの経口投与で強力な活性を示した短縮型ペプチドアゴニストと複合体を形成した完全長受容体について、活性状態の構造を明らかにしている。また、B. Wuらは、不活性なコンホメーションをとった完全長GCGRの結晶構造を明らかにしている。さらに、R. Stevensらは、ヒトGLP-1Rの膜貫通ドメインについて、負のアロステリック調節因子と複合体を形成した不活性な状態の結晶構造を報告している。これらの4つの研究の結果は、クラスB受容体の活性化機構やシグナル伝達機構についての重要な考察をもたらすものであり、この受容体ファミリーを標的とする治療法の開発につながる可能性がある。

10.1038/nature22394; 10.1038/nature22800;

10.1038/nature22363; 10.1038/nature22378

### 光物理学：光通信の大規模化

周波数コムは、周波数間隔が等しい鋭い線からなる幅広いスペクトルを放射する光源であり、最近ではこれを大容量の光データ伝送に使用することに関心が持たれている。周波数コムはチップに集積したコンパクトな微小共振器を使って生成できることから、スケーラビリティと実用性が期待できる。今回C. Koosらは、シリコンベースの微小共振器内で光のソリトン、つまり伝播中にその形状を維持する波形を連続的に循環させることによって周波数コムを生成するという、最近開発された技術を使用している。彼らは、インターリーブされたチップベースの2つの周波数コムを使って、通信波長帯の179の個別光キャリア上での毎秒50テラビットを超えるデータストリームの伝送を実証した。この技術は、効率的で高度にスケーラブルな通信システムの開発に使える可能性があり、データ容量の需要がますます増えているという課題に対処するのに役立つと思われる。

10.1038/nature22387

### 神経科学：一夫一妻制ハタネズミの社会的絆形成

多くの哺乳類種は一夫一妻型のペアの絆を形成しないが、プレーリーハタネズミ (*Microtus ochrogaster*) はそうした絆を形成する。報酬処理ネットワークをなす脳結合領域でのオキシトシンおよびドーパミン信号が社会的絆形成行動を促すとされているが、その神経機構は明らかになっていなかった。今回R. Liuらは、ハタネズミの前頭前野と側坐核<sup>しこ</sup>の間の結合で活動を刺激すると、交尾を伴わなくても、提示されたパートナーに対する雌の嗜好<sup>しこう</sup>に偏りが生じることを示している。これは、この結合が単に社会的絆形成と相関しているのではな



く、それを実際に強化できることを示唆する。今回の知見により、脳の報酬系が社会的相互作用によって動員されて社会的絆を形成し得る仕組みが明らかになった。 [10.1038/nature22381](https://doi.org/10.1038/nature22381)

2017年6月15日号 | Vol. 546 No. 7658

### ジカ熱流行のマッピング：ゲノム塩基配列から明らかになった南北アメリカ大陸におけるジカウイルスの起源と拡大

今週号の3つの論文によって、ジカウイルスの新しいゲノム塩基配列が多数明らかになり、その遺伝的疫学に関する知見が得られた。K. Andersenらは、感染患者とネタイシマカ (*Aedes aegypti*) から得られた39の新しいゲノム塩基配列を示している。彼らは、系統発生解析を用いて、このウイルスは複数回に分かれて米国フロリダ州に持ち込まれており、その大半がカリブ海地域からの人々の移動に関連していたと結論付けている。また、フロリダ州におけるジカウイルス感染の連鎖が持続する可能性は低く、今後の大発生は、南北アメリカ大陸における感染動態に左右されると思われることも示された。N. Fariaらは、ジカウイルスの54の新しいゲノム塩基配列を報告している。その大半がブラジル北東部由来で、いくつかは携帯型シーケンサーと移動式のゲノミクス実験室を用いてリアルタイムで解読された。彼らは、今回得られた塩基配列と、利用可能な他の塩基配列を用いて、ブラジルと南北アメリカ大陸におけるジカウイルスの空間的な起源と拡大を追跡し、南北アメリカ大陸



でジカウイルス感染が定着し拡大するのに、ブラジル北東部が重要な役割を果たしたことを明らかにしている。またB. MaInnisらは、10の国と地域の患者と蚊の試料に由来する110のジカウイルスゲノムを分析している。その結果、流行がブラジル国内で急激に拡大し、他の地理的地域への侵入が複数回起こったことが確認された。彼らは、ジカウイルスの進行中の進化についても報告しており、変異の蓄積が今後の診断検査の有効性に影響を与える可能性を調べている。

Cover; [10.1038/nature22400](https://doi.org/10.1038/nature22400); [10.1038/nature22401](https://doi.org/10.1038/nature22401); [10.1038/nature22402](https://doi.org/10.1038/nature22402)

### 幹細胞：ヒト誘導多能性幹細胞の変動をマッピングする

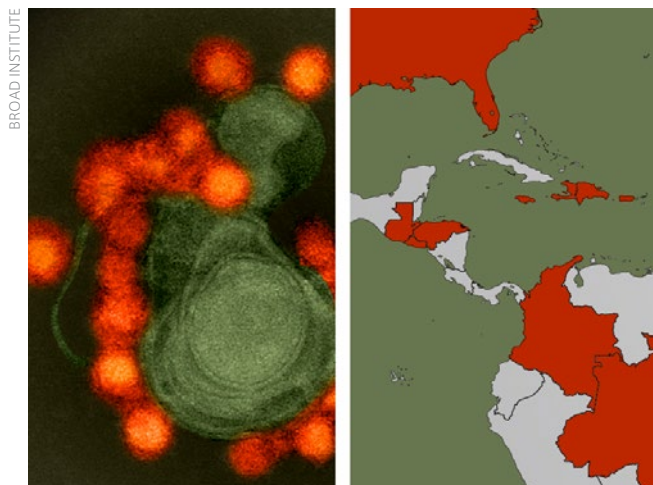
今回、ヒト誘導多能性幹細胞イニシアチブ (HiPSci) が、約300人の健康なドナーから700以上のヒト誘導多能性幹 (iPS) 細胞株を作製し、遺伝型および表現型を決定したことを報告している。これらのデータの解析からは、細胞間に見られる表現型の多様性の大部分は個体間の差異に起因することが示されたが、著者らは、iPS細胞で再プログラム化後に繰り返し見られるまれな遺伝的異常がもたらす結果も評価しており、ヒト多能性細胞のトランスクリプトームを変化させ得るありふれた調節バリエーションの地図を提示している。この情報源は複合形質やがんの遺伝的研究に役立つと考えられる。 [10.1038/nature22403](https://doi.org/10.1038/nature22403)

### 微生物学：下痢症の創薬研究

アピコンプレックス門に属するクリプトスポリジウム属 (*Cryptosporidium*) の寄生物は小児下痢症の主因であり、乳児や免疫系の弱い個体が感染した場合には死亡率が高くなる。今回、クリプトスポリジウム症の創薬スクリーニングパイプラインの確立が報告されており、ピラゾロピリジン類がクリプトスポリジウム属の脂質キナーゼPI(4)Kの選択的なATP競合的阻害剤であることが明らかになった。リード化合物のKDU731は、*in vitro*で2種類のクリプトスポリジウム属原虫 (*C. parvum* および *C. hominis*) の増殖を阻害し、*in vivo*で免疫低下マウスの感染減少やヒト疾患の臨床モデルである新生仔ウシの症状解消に有効であることが実証された。さらに、KDU731は、広範な安全性基準や薬理学的基準を満たしており、切望されているクリプトスポリジウム症の治療薬となる可能性がある。 [10.1038/nature22337](https://doi.org/10.1038/nature22337)

### 材料科学：みぞれ状の強誘電体

強誘電体は、可逆的な自発電気分極を示す材料である。「リラクサー」強誘電体の望ましい特性は数十年前から知られているが、その機構的起源は依然として謎である。竹中寛之 (米 たけなかひろゆき 国ペンシルベニア大学) らは今回、この不可解な材料の挙動



(左) ジカウイルス。(右) 中南米およびカリブ海諸島におけるジカウイルス感染の拡大地域。

に新たな視点をもたらしている。彼らは、根底にある電気双極子構造の重要な特徴を特定するとともに、融点近傍の水に見られる水と氷が混ざったような不完全氷結状態の混合相としてモデル化できるダイナミクスを見いだした。こうした概念的枠組みは、新しいリラクス材料の設計と合成の指針として役立つはずである。 [10.1038/nature22068](https://doi.org/10.1038/nature22068)

### 材料科学：タコから着想を得た粘着パッチ

接着材料は、大きく分けて2つに分類され、界面での化学結合や引力を通して機能するものと、機械的な結合を通して表面同士の接着性を確保するものがある。いずれの種類についても、乾燥状態や液体に浸した状態で接着して、しかも汚染されにくい接着材料を見つことが、目下の課題である。今回C. Pangらは、タコの吸盤の形状から着想を得て、機械的変形を通して接着するテクスチャー加工したポリマーパッチを開発・作製した。このパッチは、さまざまな媒質中で優れた接着特性を示すとともに、化学的汚染が起りにくかった。

[10.1038/nature22382](https://doi.org/10.1038/nature22382)

### 細胞周期：サイクリンD3-CDK6代謝によるがん細胞の生存

サイクリン-CDK複合体は、がんでは一般に発現量が増えている、細胞周期の進行を促進している。CDK4/6の阻害剤は、CDKの基質であるRB1の発現が続いている患者で有効だと考えられており、現在臨床試験が行われている。今回、サイクリン-CDK複合体の1つであるサイクリンD3-CDK6に、細胞の代謝を調節して生存を促進するという、もう1つの役割があることが明らかにされている。この複合体は、がん細胞で過剰に活性化されると解糖系の2つの酵素をリン酸化して不活性化する。これによって、解糖系の中間体がペントースリン酸経路とセリン経路へと振り向けられるようになり、抗酸化能が高まる。CDK4/6阻害剤は、サイクリンD3-CDK6複合体の発現レベルが高い腫瘍細胞で酸化ストレスを増強することで、アポトーシスを誘発できる。これらの知見から、RB1に加えて、サイクリンD3-CDK6複合体レベルのようなマーカーも、CDK4/6阻害剤に応答性を示す患者の見極めに役立つ可能性が出てきた。

[10.1038/nature22797](https://doi.org/10.1038/nature22797)

2017年6月22日号 | Vol. 546 No. 7659

### 惑星のホットスポット：多くの恒星より高温な、木星に似た世界

表紙は、大質量星 KELT-9 の軌道を回る木星に似た巨大ガス惑星 KELT-9b の想像図である。今回 S. Gaudi と K. Stassun ら

は、KELT-9b の発見について報告しており、この惑星がこれまで確認された太陽系外惑星の中で最も温度の高いものの1つであることを明らかにしている。その昼側の表面温度は約4600 K で、大半の恒星より高く、大気を蒸発させ、あらゆる分子を構成原子に解離するのに十分なほど高い。この惑星の質量は、木星の約3倍だが、密度は木星の半分しかない。さらに、この惑星は、中心星の周りを約1.5日で回っており、高レベルの紫外線放射を常に受けているため、彗星によく似た物質の尾を放出している可能性がある。KELT-9b の大気の損失率は大きく、中心星が成長してこの惑星を先に飲み込んでしまわないと仮定するならば、中心星の寿命が尽きる前に惑星の大気が消失してしまう可能性がある。KELT-9b は、高温のA型星を回っていることが分かった「ホットジュピター」としてはまだ7番目であり、大質量星の周りの惑星系の理解を深めるのに役立つはずだと、著者らは述べている。Cover; [10.1038/nature22392](https://doi.org/10.1038/nature22392)



### 気候科学：火山噴火が暴くエアロゾルと雲の相互作用

エアロゾルは、地球システムのさまざまな面に大きな影を落としている。エアロゾルは、太陽放射を反射し、雪と氷の融解を増加させ、局地的な大気汚染に寄与している。また、エアロゾルは雲とも相互作用するが、この相互作用の正味の影響を、同時に起こる気象変化から見いだすことは困難である。硫酸塩エアロゾルには反射を増大させる傾向があり、理論的原理からは、エアロゾルによって、生成される雲粒子はより多くなるがより小さくなり、雲の寿命が延びて鉛直積算雲水量が増えることが示されている。しかしこれまで、こうした間接的な影響を確認するのは難しかった。今回、F. Malavelle らが観測とモデリングを用いて行った研究は、アイスランドにおける最近の火山噴火の影響の解明に一役買うものだ。噴火に伴う硫酸塩エアロゾルは、識別できる一時的な増白効果を生じさせたが、鉛直積算雲水量への影響はごくわずかだった。今回の結果は、過度な鉛直積算雲水量の応答を伴う気候モデルの結果を排除できるため、将来の気候予測における不確かさを減らすのに役立つ。

[10.1038/nature22974](https://doi.org/10.1038/nature22974)

### 視覚：眼全体で動きを符号化する

視覚刺激の移動方向を検知するために、一部の網膜ニューロンが局所的に結合していることはよく知られているが、こうしたニューロン集団が視覚像の流れをより一般的に符号化する仕組みは明らかにされていない。今回 D. Berson らは、マ

ウスの運動方向感受性神経節細胞 (DSGC) の運動方向選好を広範囲にマッピングし、DSGCが行動的に意味のある2つの軸(体軸と重力軸)に沿って並んでいることを明らかにしている。4つの基本的方向(前後上下)それぞれに2種類のDSGC(オン型とオンオフ型)があり、左右2つの眼の分を合計した数である16のチャンネルの相対的な活動によって、自己運動に関連する並進運動と回転運動のそれぞれが独特に符号化される。これにより、生体力学的な前庭系を補う視覚的フィードバックが作られ、視覚像の安定と身体バランスが制御される。

10.1038/nature22818

### がん：エキソソームによる膵臓でのKRAS標的化

KRAS変異体は膵臓がんのよく見られるドライバーであり、その発現を短鎖干渉RNA (siRNA) によって低下させることは膵臓腫瘍の増殖をくい止める戦略になる可能性がある。今回 R. Kalluri らは、siRNAの膵臓への送達を改善するためにエキソソームを利用し、これらの内因性小胞が、人工リポソームよりもうまく免疫クリアランスを回避できることを示している。こうした回避は、エキソソーム膜上のCD47の発現によると考えられる。siRNAを組み込んだエキソソーム (iExosome) は膵臓の腫瘍細胞に選択的に取り込まれ、この取り込みはマクロピノサイトーシスの亢進によって促進されることが示唆された。iExosomeによる治療は、膵臓がんの複数のマウスモデルで発がん性のKRASシグナル伝達の減少および腫瘍増殖の抑制につながった。

10.1038/nature22341

### 構造生物学：ヒト多剤輸送体の構造

ABCG2はABC (ATP-binding cassette) 輸送体の1つであって、乳がん耐性タンパク質と呼ばれることもあり、多剤輸送体として働いて外部から侵入する異物分子から多くの組織を守っている。従って、ABCG2は広く使われている経口薬の有効性について重要な役割を持っている。また、この輸送体は腫瘍細胞への治療薬送達に活用できる可能性があるため、がん治療においても重要である。今回、阻害抗体と結合したヒトABCG2の構造が低温電子顕微鏡法を用いて得られた。これはヒト多剤輸送体について初めて得られた高分解能構造データである。2つのコレステロール分子が膜貫通ドメインの間にある多剤結合ポケットに結合していることが明らかになり、これは他のABC輸送体による基質認識に関する重要な情報となる。

10.1038/nature22345

### 発生生物学：培養皿で肝臓を育てる

ヒトの発生過程において、異なる種類の細胞間の相互作用が

細胞系譜の分化状態や細胞の成熟に影響を及ぼす機構は分かっていない。B. Treutlein らは今回、単一細胞RNA塩基配列解読技術を用いて、肝細胞、間葉系細胞、内皮細胞の相互作用の再構築に基づいた三次元オルガノイド系での肝細胞系譜の出現を解析した。この*in vitro*の知見を、ヒトの胎児および成人の肝臓から得たデータと比較したところ、オルガノイド由来の肝細胞は胎児肝臓細胞に非常に類似していることが分かった。化合物スクリーニングにより、この三次元系を用いれば、シグナル伝達経路がどのように内皮ネットワークや肝芽細胞形成に影響を及ぼすかを探索できることが示された。

10.1038/nature22796

### がん：がん細胞でのアポトーシスを手助けする

アポトーシスへの抵抗性は、がん細胞の特徴の1つであり、がんの持久性の一因となっている。ミトコンドリアでのカルシウム過負荷は、アポトーシスを促進する刺激である。今回、小胞体からミトコンドリアへのカルシウム放出を制御する経路が詳細に調べられた。小胞体膜に存在するIP3受容体であるIP3R3は、小胞体からのカルシウム放出を促進する。IP3R3はFXBL2による分解の標的であり、この分解がミトコンドリアへのカルシウム流入量を制限している。がん抑制因子PTENは、IP3R3への結合をFXBL2と競合する。PTENが存在しないとIP3R3の分解が増加し、カルシウムの流入量によって誘発されるアポトーシスが制限される。IP3R3レベルの回復は、アポトーシスを誘導するがん治療の効果を高める可能性がある。

10.1038/nature22965

2017年6月29日号 | Vol. 546 No. 7660

### 沸き立つ雲：界面活性剤が雲粒の形成を増強する

大気中の雲粒は、雲凝結核として働くエアロゾル粒子上での不均一な核生成を通して形成される。雲凝結核の自発的な活性化は、ラウール効果とケルビン効果という2つの要因の相互関係に依存している。ラウール効果では、溶質濃度が高くなるか水分活性が低下すると活性化ポテンシャルが大きくなり、ケルビン効果では、雲粒サイズが小さくなると活性化ポテンシャルが小さくなり、表面張力が低下すると大きくなる。有機分子によって生じた雲粒の表面張力の低下は、同時にラウール効果が低下するため相殺され、雲粒活性化への全体的な影響はほとんどないと考えられている。し





しかし、今回C. O'Dowdらは、大気中では、界面活性剤分子による表面張力の低下が、ラウール効果のいかなる変化をも上回る様式で給水へ影響を及ぼす可能性があり、結果として雲粒濃度が大きく増大することを示している。著者らは、この結果は気候モデルにおける雲形成過程の描写に影響してくるはずだと示唆している。 [Cover; 10.1038/nature22806](https://doi.org/10.1038/nature22806)

### 神経科学：空腹による感覚の偏り

生理的状态は、目下の要求と最も強く関連した環境内の手掛かりに対し動物の注意を直接的に偏らせることがある。しかし、こうした動機付けされた要求を満たすための行動を脳が駆動する仕組みについての理解は進んでいない。今回M. Andermannらは、行動課題実行中のマウスの島皮質ニューロンは、空腹時には食物を表現する視覚手掛かりに対して強く偏るが、満腹時にはそうした偏りは見られないことを明らかにしている。手掛かりへの島皮質の神経応答は、摂食行動を駆動する視床下部のAgRPニューロンの活動レベルによって調節されていた。これらのニューロンを人為的に活性化すると満腹信号は無視され、島皮質ニューロンの食物関連課題手掛かりに対する応答への偏りが再出現した。特定の動機付け状態に導いたり応答したりするニューロンは、強い手掛かりの認知的処理に影響を及ぼしたり偏らせたりできると考えられる。 [10.1038/nature22375](https://doi.org/10.1038/nature22375)

### 構造生物学：準備万全状態のスプライソームを可視化

DNAのタンパク質コード領域は、非コード領域であるイントロンにより中断されている。大型の多サブユニット複合体であるスプライソームは、メッセンジャーRNAがタンパク質に翻訳される前にそこに含まれるイントロンを除去するのに使われている。イントロン上に活性のあるスプライソーム複合体を形成するには、サブ複体の段階的な集合、それに続く再編成といくつかの因子の除去が必要である。長井潔(英国MRC分子生物学研究所)らは今回、プレ触媒状態の準備が済んだB複体スプライソームの構造を解いた。以前に報告されたスプライソームの構造では可視化されなかった複数の因子が見つかったことで、この複合体が活性化する過程に関する新たな知見が得られた。 [10.1038/nature22799](https://doi.org/10.1038/nature22799)

### 光物理学：高速通信のためのエンタングルしたキューディット

キュービットは、ビットの量子版であり、2レベル量子系で構成されるが、量子情報プロセッサは、原理的にはより高次の量子系を演算に利用できる可能性がある。こうした任意の数のレベルを有する量子系はキューディットと呼ばれるこ

とが多く、例えば光子から生成できる。キュービットの代わりにキューディットを用いることで、量子画像化の感度の向上や、量子通信方式の強化が可能になる。今回M. Kuesらは、四波混合過程を用いて、集積フォトニックチップ上で2つのエンタングルしたキューディットを生成している。各キューディットが10次元状態をエンコードしているため、100次元の量子系を実現できる。この手法は、光ファイバー量子通信に応用できる可能性がある。 [10.1038/nature22986](https://doi.org/10.1038/nature22986)

### 感染症：人獣共通感染症ウイルスの分布パターン

人獣共通感染症のウイルスは、多くが野生の哺乳類を起源とし、世界の公衆衛生における深刻な脅威となっている。今回P. Daszakらは、哺乳類宿主とウイルスの間の関係についての包括的なデータベースを作成し、その解析から哺乳類におけるウイルスの多様性パターンおよび人獣共通感染症ウイルスの分布を明らかにしている。任意の1種に感染するウイルスの数や多様性に影響を及ぼすさまざまな因子に加えて、種ごとの人獣共通感染症ウイルスの割合を予測する因子が突き止められた。今回の研究ではさらに、新規の人獣共通感染症が見つかると思われる哺乳類種や地理的地域も明らかになった。 [10.1038/nature22975](https://doi.org/10.1038/nature22975)



野生のルーセットオオコウモリからの採血の様子(タイにて)。

ECOHEALTH ALLIANCE

### 免疫学：パーキンソン病の免疫要因候補

パーキンソン病の重要な病理学的特徴は、運動に関連する脳領域である黒質でのニューロンの細胞死と、ニューロン内の $\alpha$ -シヌクレイン凝集体の存在である。一方、遺伝学的研究によって、パーキンソン病と主要組織適合遺伝子複合体の対立遺伝子とが関連付けられている。今回D. Suzlerらは、 $\alpha$ -シヌクレイン由来であることが明確な一群のペプチドが、パーキンソン病患者から得たT細胞で特異的な免疫応答を誘導できることを明らかにしている。この結果は、パーキンソン病の発症に、 $CD4^+$ T細胞や $CD8^+$ 細胞傷害性T細胞などの免疫要因が存在する可能性を示唆していて、報告されているパーキンソン病と獲得免疫系対立遺伝子との関連性を説明すると考えられる。 [10.1038/nature22815](https://doi.org/10.1038/nature22815)

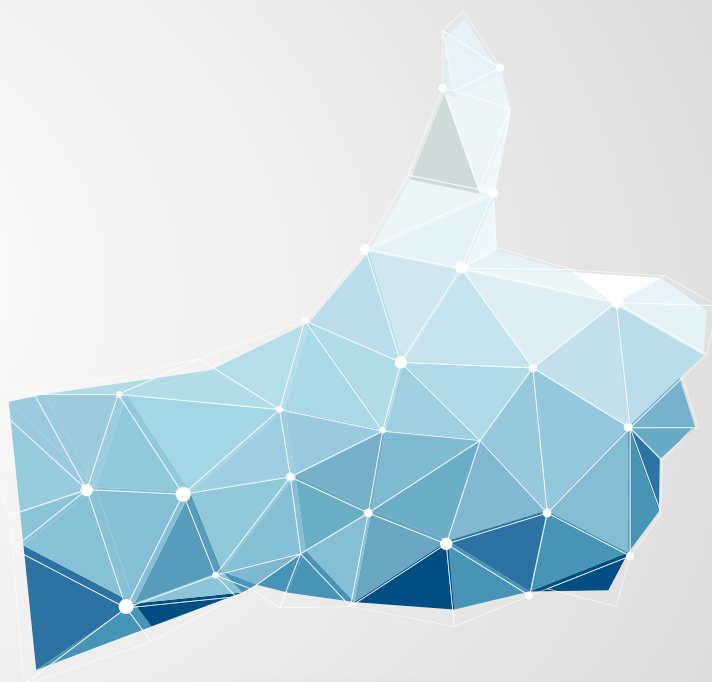
# nature ダイジェスト

## FOLLOW US!

 [facebook.com/NatureJapan](https://facebook.com/NatureJapan)

 [twitter.com/naturejapan](https://twitter.com/naturejapan)

 [nature.asia/jp-regist](mailto:nature.asia/jp-regist)



Nature、Nature ダイジェスト、Nature 関連誌の最新情報をフォローしよう!

## SPRINGER NATURE

### EDITOR'S NOTE

先日、実家の愛犬がこの世を去りました。獣医師から余命は1週間ほどと宣告されていたため、間に合ってくれという思いで実家に駆けつけた翌日、旅立っていきました。イヌとは最期まで、人に寄り添う気持ちのなんと強い生き物なのだろうと改めて感じた出来事でした。そして先頃、人になつく動物の行動に関わる遺伝子領域がマウスで突き止められ、*Scientific Reports* に発表されました (10.1038/s41598-017-04869-1)。その領域は、ほとんどのイヌが持つ特定の遺伝子領域とほぼ一致していて、高い能動的従順性 (自ら人に近づいていく性質) に関わっている可能性があるそうです。この論文の責任著者である小出剛・国立遺伝学研究所准教授によれば、性格や行動には遺伝と環境の両方が重要な役割を果たしているとのこと。通常は人になつかないと思われる動物の中にもなつくものがあるのはそのためなのでしょう。ヒトは、イヌやネコのような高い能動的従順性を示す動物と長年共に暮らしてきましたが、その家畜化の過程は今も活発に研究されていて、つい最近も、その起源や人懐っこい性格についての研究結果が *Nature Communications* (10.1038/ncomms16082) と *Science Advances* (10.1126/sciadv.1700398) でそれぞれ発表されました。今後の発見が楽しみです。

MI

「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。

広告のお問い合わせ

T 03-4533-8094 (広告部)

E [advertising@natureasia.com](mailto:advertising@natureasia.com)

編集発行人: 大場郁子

編集: 宇津木光代、松田栄治、菖蒲さやか、石田みか、山西三穂子

デザイン/制作: 中村創 広告: 藤原由紀 マーケティング: 池田恵子

## SPRINGER NATURE

シュプリンガー・ネイチャー

〒105-6005 東京都港区虎ノ門 4-3-1 城山トラストタワー 5F

T 03-4533-8050 (代表)

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

© 2017 Nature Japan K.K. Part of Springer Nature.  
掲載記事の無断転載を禁じます。



自分だけの Nature ダイジェストを始めてみませんか？

個人向けプランはいつでもどこでも読み放題！

オンラインマガジンは  
バックナンバーも  
読み放題で

PDFもダウンロードできて

2011年までぜんぶ読めます！

年間購読

8,210円（税込）

Nature ダイジェスト・コンボなら

アプリでも  
読み放題

アプリは通常価格 5,200円（iOS/Android）

4,200円もお得！

年間購読

9,210円（税込）

さらに  
+1,000円  
で

詳しくは  
[nature.asia/ND-subscribe](http://nature.asia/ND-subscribe)

SPRINGER NATURE