

nature ダイジェスト

科学が深まる、世界が広がる

09
2019

ペロブスカイト太陽電池開発

- ▶ 02 ソ連崩壊で炭素排出量が激減していた!
- ▶ 06 造血幹細胞を実験室で安価に大量増幅させる新技術
- ▶ 11 全身の PET スキャンがわずか数十秒で!
- ▶ 05 FROM 日経サイエンス
紫外線照明で衝突防止



OXFORD PV

NEWS FEATURE

ペロブスカイト 太陽電池が 直面する現実

ペロブスカイトセルは、シリコンセルよりも単純で安価に製造できるため、わずか10年で太陽光発電の未来を担う期待の新材料になった。複数企業が実用化を目指ししのぎを削っているが、既存のシリコン太陽電池を過去のものにできるだろうか。

NEWS IN FOCUS

- 02 ソ連崩壊で炭素排出量が激減していた！
原因は、ソビエト連邦崩壊後の不景気により人々が肉を食べなくなり、畜産物の生産が減少したことだった。
- 06 造血幹細胞を実験室で安価に大量増幅させる新技術
液体のりの成分を用いると、マウス造血幹細胞を未分化の状態で大増幅できることが分かった。
- 08 小惑星の内部を探った「はやぶさ2」
日本の小惑星探査機「はやぶさ2」が、小惑星リュウグウの地下の物質を採取するためのタッチダウンを行った。
- 10 米国政府が胎児組織利用の研究を大幅に制限
現政権は、政府機関の研究者による胎児組織研究を禁止し、政府が資金提供する研究には厳しい審査を課すことを決定。
- 11 全身のPETスキャンがわずか数十秒で！
最短20秒で全身を画像化できるため、検査時の放射線被曝の低減や、さまざまな医学研究での利用が期待される。

nature ダイジェスト

#09

SEPTEMBER 2019

natureasia.com/naturedigest

2019年9月1日発行

© 2019 Nature Japan K.K. Part of Springer Nature.

掲載記事の無断転載を禁じます。

COVER IMAGE: PHOTOALTO/JAMES HARDY/GETTY

13 圧力の精密測定方法が更新へ

正確な大気圧力の測定方法が開発された。約400年前に原理が開発された水銀圧力計に取って代わる可能性がある。

NEWS IN JAPAN

15 研究者としてSNSをどう使っていくか

16 科学者自身の手で種をまこう

PUBLISHING ACADEMY

18 学術界サバイバル術入門 第10回

NEWS & VIEWS

31 極北のヒト系統

最終氷期、人類はシベリア北東部から米大陸に達した。古代人と現代人のゲノムの比較から、米大陸に広がった古代人の集団が東アジア人の血を引いていることが分かった。

34 プレートテクトニクス発展に
堆積物が貢献

地球のプレートテクトニクスの出現と発展は、大陸の隆起と、大陸縁と海溝での堆積物の蓄積が関係していたという、斬新なアイデアの証拠を与える研究結果が報告された。

NEWS SCAN

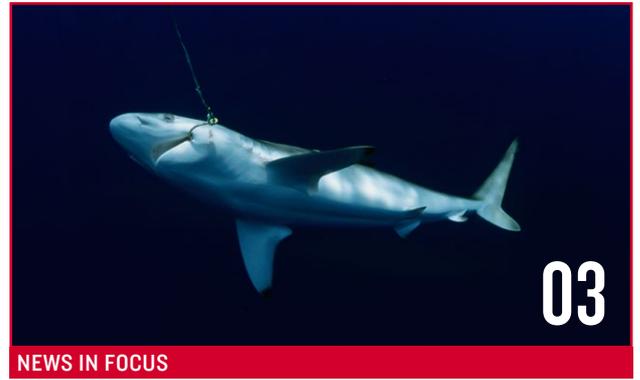
05 ハエトリの目 / 紫外線照明で衝突防止

EDITORIAL

39 国際疾病分類に伝統医学を組み入れることへの懸念

HIGHLIGHTS

40 2019年7/4～7/25号



NEWS IN FOCUS

サメの逃げ場を奪う延縄漁

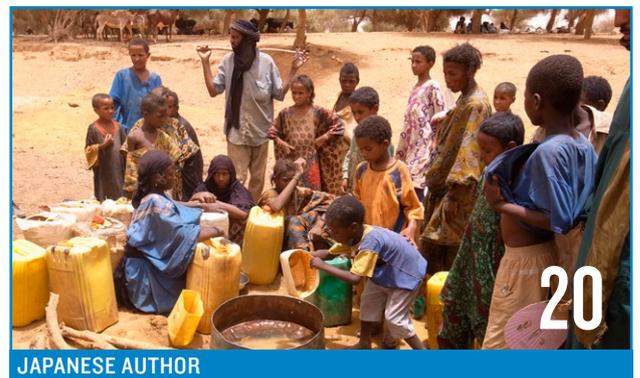
外洋性サメ類の生息域の実に4分の1近くが、延縄漁によって侵害されていることが明らかになった。



NEWS & VIEWS

いたずらな微生物

主要なヒト腸内細菌について医薬品の代謝能力を調べた研究から、医薬品の大半は腸内細菌叢により代謝されることが示された。



JAPANESE AUTHOR

全ての人に安全な水を

ミレニアム開発目標（MDGs）の飲料水に関する世界目標が実際に達成された。その理由を解明すれば、そこからSDGs達成への手掛かりが得られる可能性がある。



1982年に撮影された旧ソ連の牛肥育施設。

NIKOLAI AKIMOV/TASS/GETTY

ソ連崩壊で炭素排出量が 激減していた！

原因は、ソビエト連邦崩壊後の不景気により人々が肉を食べなくなり、畜産物の生産が減少したことだった。

1991年にソビエト連邦（ソ連）が崩壊したのを機に、温室効果ガスの排出量が大きく減少していたことが分かった。経済危機により、多くの人々が肉を食べるのをやめたからだ。

共産党が一党独裁制を敷いていた時代には、ソ連市民の主食は肉で、畜産物は国内で生産されていた。1990年には、1人のソ連市民が1年間に消費する牛肉の量は平均32kgだった。こ

れは、当時の西欧諸国の平均より27%多く、世界平均の4倍の量だ。

しかし、共産党崩壊後の経済危機により日用品の価格が高騰し、ルーブル（通貨）の購買力が低下すると、肉への需要と畜産物の生産量は激減した。また、ある見積もりによると、これまでにソ連時代の耕作地の3分の1が放棄されたという。

旧ソ連諸国の食生活や農業システム

の変化は、1992～2011年にかけて、二酸化炭素換算量で合計76億tの温室効果ガスを減少させた。研究者たちはこの事実を、畜産物の消費と国際的な取引に関するデータの分析から発見した¹（「ソ連崩壊の影響」参照）。この減少量は、同時期のアマゾンの森林伐採に関連した二酸化炭素排出量の4分の1に相当する。ロシアは現在、毎年25億t（二酸化炭素換算量）の温室効果ガスを排出している。

この数字は、旧ソ連諸国の国内での畜産物の生産と、輸入した畜産物の生産に関連した温室効果ガスの排出量の他、放棄されたソ連時代の耕作地の土壌や植物に固定された炭素量も考慮している。

国際気候研究センター（Center for International Climate Research；ノルウェー・オスロ）の炭素予算の専門家であるGlen Petersは、「ソ連崩壊後、工業生産は大きく落ち込み、これに関連した温室効果ガスの排出量も減少しました。食料の消費や生産について同じことが起きても不思議ではありません。今回の研究は、旧ソ連の炭素取り込みの潜在能力を強調しましたが、農業生産が回復した後の炭素排出のリスクも明らかになりました」と言う。なお、Petersは今回の分析には関与していない。

今日、畜産業により排出される温室効果ガスの量は、全世界の人間の活動による温室効果ガス排出量の14.5%を占めている。最も炭素集約度が高い食品は牛肉である。なぜなら、牧場は森林やサバンナを切り開いて作られることが多いからだ。

論文著者のライプニッツ移行経済農業開発研究所（Leibniz Institute of Agricultural Development in Transition Economies；ドイツ・ハレ）

の Florian Schierhorn は、世界中の土地からの温室効果ガス排出量の計算において、ロシアと中央アジアにおける肉（特に牛肉）の消費と土地利用の変化は、見落とされがちな要素だと言う。

国際取引の傾向からは、食肉の消費に関連した温室効果ガスの排出量が再び増加し始めていることが示唆されている。ロシアはこの10年で、南米などが輸出する牛肉の最大の仕向け地になった。

(翻訳：三枝小夜子)

Soviet Union's collapse led to massive drop in carbon emissions

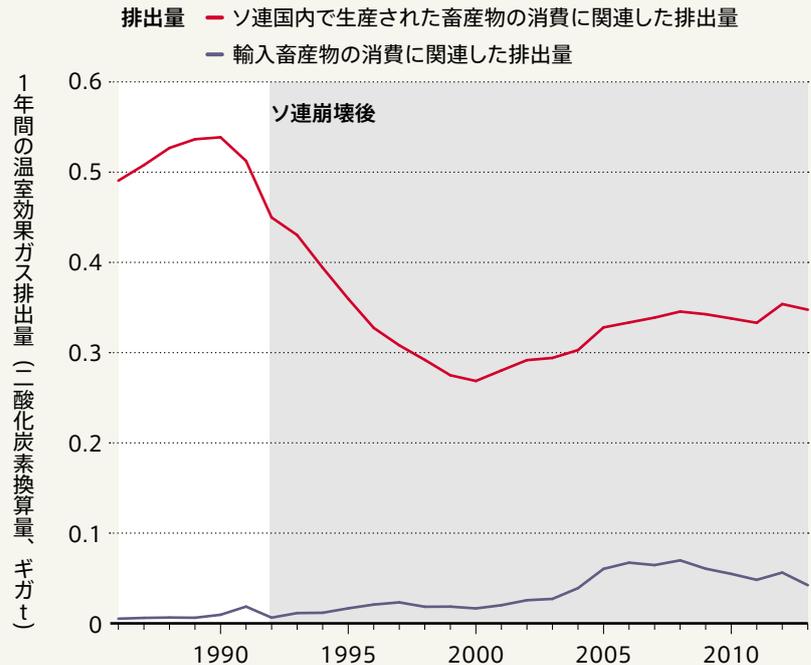
doi: 10.1038/d41586-019-02024-6
2019.7.1 (Published online)

Quirin Schiermeier

1. Schierhorn, F. et al. *Environ. Res. Lett.* **14**, 065009 (2019).

ソ連崩壊の影響

ソ連崩壊後の経済危機の中、人々が肉を食べなくなった結果、食料生産による温室効果ガスの排出量が大きく減少した。



サメの逃げ場を奪う延縄漁

外洋性サメ類の生息域の実に4分の1近くが、延縄漁によって侵害されていることが明らかになった。

外洋に生息するサメ類の動きと漁船の動きとの重なりを世界規模で評価した研究から、外洋性サメ類は、その生息域のかなりの部分を漁業と共有せざるを得ない状況にあることが示された。海域やサメの種類によっては、そうした重なり合いはさらに高くなるという。漁業がサメ類の生息域に及ぼす影響のこうした実態は、英国海洋生物

学協会（プリマス）の David Sims らにより *Nature* 2019年8月22日号 461 ページで報告された¹。今回 Sims らが目にしたのは、「延縄」と呼ばれる、1本の長い幹縄から、先端に釣り針の付いた数百本の短い枝縄が垂れ下がった漁具を用いる漁法だ。延縄の長さは時に100kmを超え、外洋性サメ類の世界の漁獲量（混獲を含む）の大半

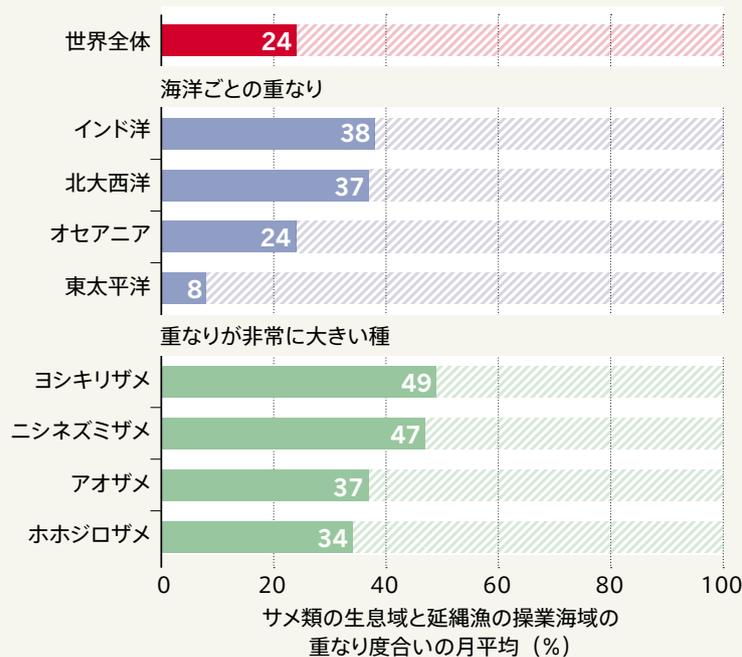
が、この延縄漁に起因している。

外洋性サメ類は生息域が広く、多くの種が毎年、長距離を回遊している。Sims らは、これらのサメ類の利用海域を把握するため、2002～2017年に計23種からなる約1700匹の外洋性サメ類に衛星発信機を装着し、その動きを追跡した。Sims らはさらに、多くの漁船に搭載されている自動船舶識別装置 (AIS) のデータを使って、延縄漁船の動きをマッピングした。

そして、これらのデータを比較した結果、平均的な月に外洋性サメ類が利用する海域の実に24%が、延縄漁の操業海域と重なっていることが明らかになった（「延縄漁の脅威」参照）。その程度は、東太平洋では8%、インド洋南西域では38%と幅があるが、ホホジロ

延縄漁の脅威

外洋性サメ類が利用する海域の4分の1近くが、延縄漁の操業海域と重なっていることが明らかになった。重なり度合いは特定の海域や一部のサメ種でさらに高く、そうした種の多くは絶滅の危機に瀕している。



ザメ (*Carcharodon carcharias*) が数多く集うことから「ホホジロザメのカフェ」と呼ばれているメキシコとハワイの間の海域や、多様なサメ類が生息するオーストラリアのグレートバリアリーフの南の海域など、サメ類の密度が特に高い海域の大半には漁船も存在するという傾向が見られた。

これは、サメ類が漁業の侵害から逃れることのできる避難場所の選択肢が少ないことを示している、とSimsらは指摘する。そして、サメ類の密度が高い重要な「ホットスポット」の周辺に海洋保護区を設けることが解決策の1つになる、と論じている。

こうした対策は、外洋性サメ類の多くの種が絶滅の危機に瀕していると思われているため、特に重要だ。そうした種の中には、今回の研究で生息域と漁業海域との重なりが非常に大きいことが明らかになった種も複数含まれている。例えば、国際自然保護連合 (IUCN) のレッドリストで絶滅危惧II類に分類されているニシネズミザメ (*Lamna nasus*) は、重なり度合いが47%だった。また、絶滅危惧IB類のアオザメ (*Isurus oxyrinchus*) は、世界全体では重なり度が37%だったが、北大西洋だけで見るとその値は62%にも上った。さらに、絶滅危惧II類のホホジロザメは34%、準絶滅危惧種のヨシキリザメ (*Prionace glauca*) は49%と、共に高い値となった。

(翻訳：船田晶子)

Sharks squeezed out by longline fishing vessels

doi: 10.1038/d41586-019-02265-5
2019.7.24 (Published online)

Matthew Warren

1. Queiroz, N. et al. *Nature* **572**, 461–466 (2019).



延縄の針に掛かったカマストガリザメ (*Carcharhinus limbatus*)。

ハエトリの目

奇妙な構造がハイスピード撮影を可能に？

多くの鳥が飛びながら獲物を追いかけるのと異なり、ミドリメジロハエトリは木の枝などに止まって昆虫を待ち伏せする。最近、この鳥の目に奇妙な構造が発見された。この構造は、自分がじっとしたままで、動く昆虫を目で追跡するのに役立っているのかもしれない。

ニューヨーク州立大学プラッツバーグ校（米国）の視覚生態学者 Luke P. Tyrrell らは、この鳥の網膜の中央にある光受容器（光を感知する細胞）が特別に大きなミトコンドリアを含んでいることを発見した。ミトコンドリアはエネルギーを作り出す細胞小器官で、この鳥の場合、個々の大きなミトコンドリアが数百個の油滴で囲まれ、細長い小塊を形成している。以前にゼブラフィッシュなどの目に大きなミトコンドリアが観察されていて、多くの鳥の光受容器には光を調節するための油滴があることも知られていたが、両者を併せ持つ例が見つかったのは今回が初めてだ。

この構造は「かなり衝撃的です」とワシントン大学（米国セントルイス）の視覚科学者 Joseph Corbo は評する。「こんな特徴的な形の構造は、どの種の生物にもありません」。

油滴を含む光受容器を持つ鳥は他にもあるが、通常は大きなものが1つだけだと Tyrrell は言う。このハエトリの場合、「極めて小さな油滴が数百から数千あり、ミトコンドリアの周囲に密集していて、非常に特異です」と言う。Tyrrell はこの研究を2019年2月に bioRxiv に投稿した後、査読付きの専門誌へ論文を投稿している。

この油滴は波長の短い光をカットして、長波長の光（橙色や赤色）だけを通す。以前にマウスで実証されていたように、それら長波長の光がミトコンドリア内の特定の酵素を活性化して網膜細胞のエネルギー生産量を増やしているのだらうと研究チームは考えている。「そのエネルギーは、細胞が発火する頻度を増やすために使われている可能性があります」と Tyrrell は説明する。「フレームレートの高い高速カメラのようなものです」。

これに対し Corbo は、この構造がエネルギー増産の役割を果たしていると推測するのは危ういと注意する。もしそうならば、同様の構造が鳥類にもっと広く見られてしかるべきだろう。Tyrrell は現在、ミドリメジロハエトリと近縁な他の鳥に同様の構造があるかどうかを調べている。 ■

（翻訳協力：粟木瑞穂）

紫外線照明で衝突防止

鳥と送電線の衝突を防ぐ巧みな考案

人間の活動は環境汚染から建造物までさまざまな要因によって、野生動物の命をかつてないスピードで奪っている。一部の鳥は夜間に送電線と衝突することで個体数をかなり減らしている。最近、鳥にとって電線を見やすくし、それでいて人間には目障りにはならない方法が考案された。

電力業界と米国魚類野生生物局（FWS）のガイドラインは共に、送電線にプラスチック製の目印をつけて視認性を高めるよう電力会社に推奨しているが、それでも鳥の衝突死は続いている。2009年春、カナダヅルが渡りのシーズンに毎年立ち寄る米国ネブラスカ州ロウ・サンクチュアリで目印付きの電線に衝突し、1カ月で300羽が死んだと生物学者チームが報告した。

ツルの衝突 98%減

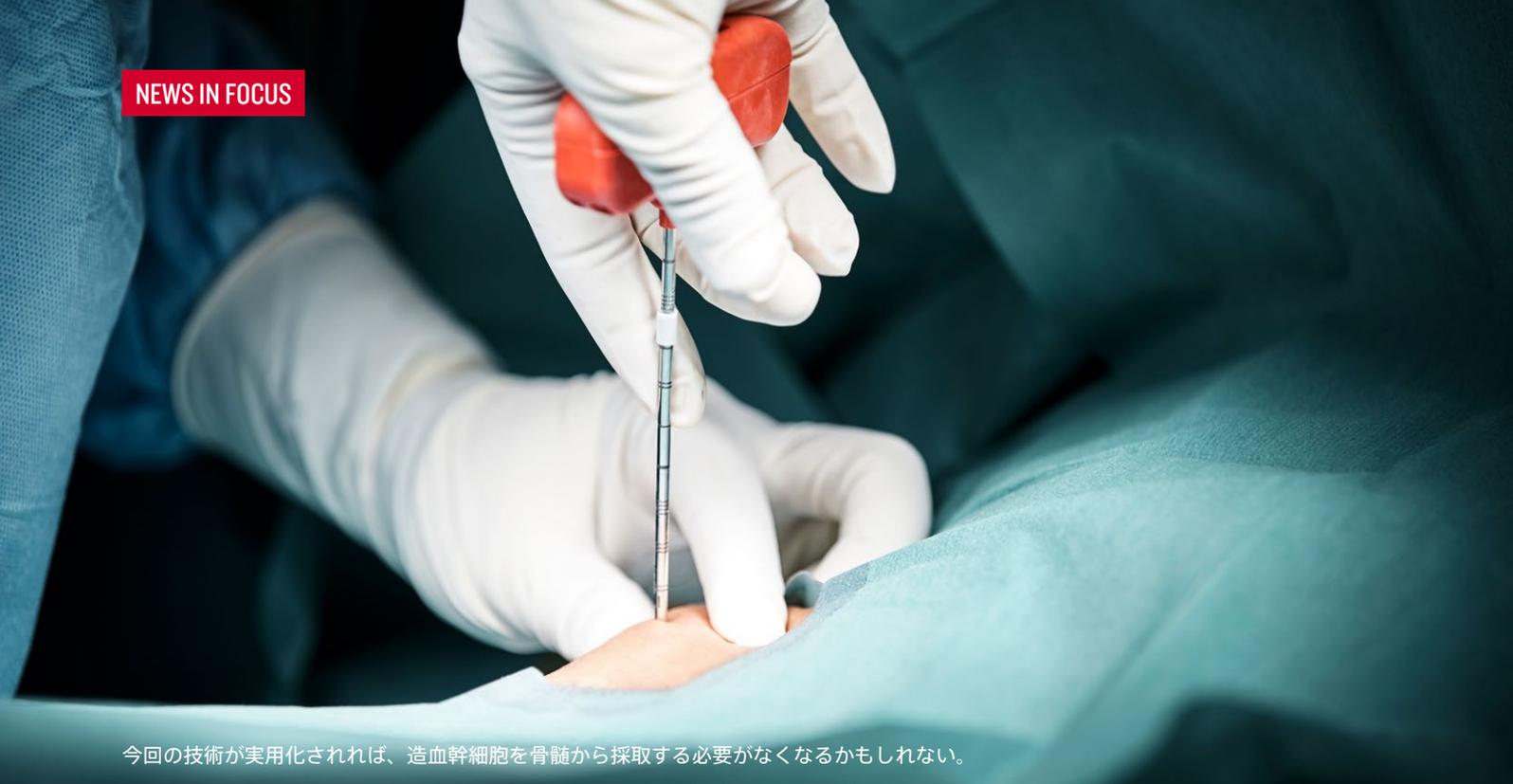
鳥類の種の半数は紫外線を視認できる。そこで公益事業コンサルティング会社 EDM インターナショナル（米国コロラド州フォートコリンズ）の野生生物学者 James Dwyer は、近紫外線で送電線を照明することを思い付いた。EDM の技術チームと電力会社ドーソン・パブリック・パワー・ディストリクトはそうした照明システムを開発し、ロウ・サンクチュアリにある送電塔の1つに設置した。紫外線照明を点灯した38夜の間、ツルの衝突は98%減った。2019年5月に *Ornithological Applications* に報告。

エジソン電気協会の環境活動担当理事 Richard Loughery（この試みには加わっていない）は、新紫外線システムは絶滅の危機に瀕した鳥類が繁殖・採餌するホットスポットで利用できる重要な手段になるという。

研究チームによると、紫外線照明によって鳥以外の生物種に悪影響が生じた例は見られず、昆虫が紫外線ランプに群がることも、コウモリなどが餌を求めて集まることもなかった。さらに、こうした地表近くの紫外線照明が鳥が星の光など自然の手掛かりと間違える可能性は低いという。

「新手段があるからといって電力会社が好き勝手に送電線を設置するのはよくありません」と、FWS の生物学者 Robert Harms（この試みには加わっていない）は言う。だが既存の送電線に関しては、この紫外線システムは「間違いなく素晴らしいです」。 ■

（翻訳協力：鐘田和彦）



今回の技術が実用化されれば、造血幹細胞を骨髄から採取する必要がなくなるかもしれない。

MORSA IMAGES/DIGITALVISION/GETTY

造血幹細胞を実験室で 安価に大量増幅させる新技術

液体のりの成分を用いると、マウス造血幹細胞を未分化の状態で大
量に増幅できることが分かった。

液体のりに含まれるポリビニルアルコール (PVA) と呼ばれる極めて単純な化合物を用いることで、実験室で造血幹細胞 (HSC) を大量に増幅 (自己複製) できることが、*Nature* 2019年7月4日号117ページで報告された (A. C. Wilkinson and R. Ishida et al. *Nature* <http://doi.org/gf3h99>; 2019)。この増幅HSCをマウスに注入すると、血液系の重要な細胞が産生されるようになった。この研究は、中内啓光なかうちひろみつが率いる東京大学とスタンフォード大

学 (米国カリフォルニア) のチームと、理化学研究所との共同研究による成果で、東京大学の山崎聡やまざきさとしが中心となって進めた。

「全く予想もしなかった素晴らしい結果です」と、プリンスマーガレットがんセンター (カナダ・トロント) の幹細胞生物学者John Dickは言う。

この増幅技術をヒトに適用することができれば、白血病などの血液がんに対する化学療法により免疫系が傷害された患者へ増幅したHSCを移植すると

いう手法がとれる可能性がある。また、増幅HSCを大量に移植する手法は、血液疾患の患者を治療するためのより安全な方法になる可能性がある。というのも、鎌状赤血球症のような血液疾患では現在、骨髄移植前に免疫系を抑制する前処置を受けなければならず、これにはリスクが伴う。

HSCは、自己複製するだけでなく、他の血液細胞を作り出すことができる。このため、実験室で増幅させて大量のHSCを得ようとする取り組みは数十年にわたって行われてきた。しかしこれまでのところ、HSCを体内に再導入した際に、HSCが確実に生着する (つまり血液細胞が産生されるようになる) のに必要な細胞数まで増幅させることができなかった。

研究チームは今回、実験室でマウスHSCを大量に増幅させる培養法を確立し、この増幅HSCをマウスに大量に移植することで、HSCを移植前処置なしにうまく生着させられることを示した。

具体的には、彼らはまず、マウスのHSCクラスターをたった1カ月の培養で最初のレベルの約900倍に増幅させた。次に、この増幅HSCを複数のマウスに移植した。するとこの増幅HSCは、マウスの体内で生着して血液細胞を産生し始めた。「この成果は私の人生の目標でした」と中内は言う。

通常、動物の免疫系は、遺伝的に一致しないドナー細胞を破壊しようとする。そのため、多くの場合、移植の前に免疫系の除去あるいは抑制を行わなければならない。しかし、中内は、「無傷の免疫系を持つ健康なマウスにHSCを注入し、生着させることができました。これはおそらく大量のHSCを移植したためです」と言う。中内は現在、この技術をヒトHSCの増幅に適用しようとして取り組んでいる。

ハーバード大学医学系大学院（米国マサチューセッツ州ボストン）の幹細胞生物学者で、HSCの増幅を研究しているGeorge Daleyは、「この研究は、実験室で増幅させたHSCが数日以上生存し、体内に再び戻すと生着できることを示したこれまでで最良の証拠です。見事なデータです」と言う。

アルバートアインシュタイン医科大学（米国ニューヨーク市）の血液学者Paul Frenetteは、「この増幅レベルは、臨床で非常に大きな意味を持つと思います」と言う。

夢の材料

実験室でHSCを大量に増幅させる方法を探索してきた研究者たちは、増殖因子を用いる方法を試してきたが、これまで大きな成功は得られていなかった。しかし今回、中内らは、細胞培養液に加えるアルブミンに原因があることに気付いた。彼らは、精製過程で残

存した微量の混入物が細胞を分化させたり、また、タンパク質の酸化反応が細胞老化を誘導したりするため、HSCの長期間の増幅を維持できなかったことを突き止めたのだ。「このような混入物は主に免疫細胞から放出されるタンパク質で、これが細胞の増幅を妨げていたのです。こうした混入物のために、どれほどのお金や時間、努力が無駄に費やされてきたことでしょうか」と中内は言う。

中内らは、アルブミンの代替になると考えられる一連のポリマーについてスクリーニングを行った。すると、液体のりによく使用されるポリビニルアルコール（PVA）と呼ばれる合成化合物が、アルブミンの代替物質として適していることが見いだされた。PVAは、^{はい}胚や胚性幹細胞の培養や錠剤のコティングにすでに使用されており、規制当局が毒性はないと見なしている物質である。

テリー・フォックス研究所（カナダ・バンクーバー）の幹細胞・がん研究者Connie Eavesらも、この細胞増幅法をぜひ試したいと考えている。しかしEavesは、この手法がヒト細胞で機能するかどうかはまだ分かっていないと注意を促す。

中内らの発見により、HSCを人工多能性幹（iPS）細胞から作製するという手法に再び注目が集まるかもしれない。2017年に、Daleyらはヒトの皮膚細胞を再プログラム化してiPS細胞を得て、次に、そのiPS細胞をHSCに非常に類似した細胞に発生させた（R. Sugimura et al. *Nature* 545, 432-438; 2017）。iPS細胞を用いる方法では患者自身の細胞からHSCを作り出せるので、ドナーからの骨髄移植によってHSCを得る方法に比べて、遺伝的に適合するドナー

を必要としないという点で有利である（2017年7月号「研究室でついに血液幹細胞の作製に成功」参照）。しかし、実のところDaleyは、HSCを実験室で大量に増幅させるのに苦労していた。中内らの細胞増幅法はこの状況を変える可能性がある。「今回の方法がヒト細胞に適用可能であるならば、非常に有用でしょう」とDaleyは言う。

中内らの研究チームはまた、マウスにおいて、免疫系を破壊・抑制することなく、ドナーHSCを生着させられることを初めて示した。

鎌状赤血球症などの遺伝学的血液疾患の患者は、ドナーからの骨髄移植によって治療できることがある。ただし、ドナーの細胞を移植する場合、（血縁関係にある兄弟姉妹であっても）遺伝的に完全には一致しないので、患者は最初に移植前処置を受け、体がドナー細胞を拒絶するのを防止しなければならない。しかし移植前処置により、ドナーHSCが宿主組織を攻撃するリスクが高まり、致命的な疾患が引き起こされることがある。また移植前処置によって不妊になったり、子どもの場合には成長が妨げられたりすることもある。

「数百万という数のHSCを移植することで、移植前処置の必要性を低減させるという考えは魅力的ですが、まずはマウス、そしてヒトにおいて、さらなる検討が必要でしょう」とサンラファエレ病院（イタリア・ミラノ）でHSCを用いた遺伝子治療を研究しているLuigi Naldiniは言う。

（翻訳：三谷祐貴子）

Blood stem cells produced in vast quantities in the lab

Vol. 570 (17-18) | 2019.6.6

David Cyranoski

小惑星の内部を探った 「はやぶさ2」

日本の小惑星探査機「はやぶさ2」が、小惑星リュウグウの地下の物質を採取するためのタッチダウンを行った。

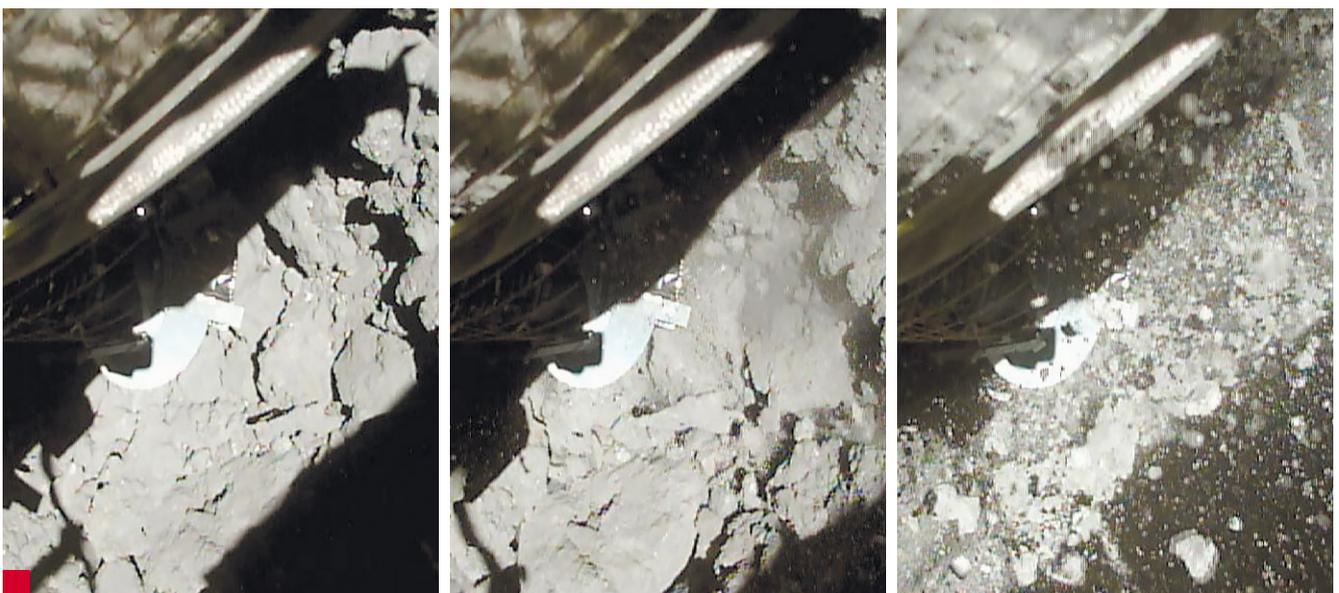
日本の小惑星探査ミッション「はやぶさ2」が、宇宙での一連の探査活動における最後の大事な仕事を成し遂げた。探査機は小惑星リュウグウに向かって降下し、日本時間の2019年7月11日午前10時18分、この年2回目のタッチダウン（接地）を行った。同年4月に小惑星の表面に衝突体を打ち込んで作っていた人工クレーターから試料を採取するためだ。採取がうまくいけば（ミッションチームがミッションの成否を確認できるのはしばらく先のことになる）、史上初めて小惑星の地下から試料を採取できたことになる。

リュウグウ表面の試料は2019年2月に採取済みだ。この2つの戦利品を2020年に地球へ持ち帰ることができれば、リュウグウの表面と地下の組成の比較が可能になる。これにより、宇宙の過酷な環境への暴露、特に太陽光による加熱、太陽風、宇宙線への暴露が表面の化学的性質に及ぼす影響が明らかになるはずだ。NASAゴダード宇宙飛行センター（米国メリーランド州グリーンベルト）の惑星天文学者 Lucy McFadden は「多くの成果が期待できるミッションです」と言う。

2014年12月3日に打ち上げられた

「はやぶさ2」は、2018年6月27日にリュウグウに到着した（2018年8月号「はやぶさ2が小惑星リュウグウに到着！」参照）。同年9月21日には搭載していた2台の小型ローバー「イプー」と「アウル」を表面に着陸させて磁気測定や化学測定を行い、地球に画像を送信した。「はやぶさ2」は2019年2月22日にリュウグウへの第1回のタッチダウンを行って表面の試料を採取し、4月5日には衝突装置から小惑星の表面に衝突体（質量2kgの銅の塊）を打ち込んで直径10mの人工クレーターを作り、小惑星の地下にある物質を露出させた。「はやぶさ2」は2019年末に分析用の試料を携えて地球への帰路につき、2020年末に地球に帰還する予定になっている。

「はやぶさ2」のミッションマネージャーである宇宙航空研究開発機構（JAXA）宇宙科学研究所（ISAS；神奈川県相模原市）の吉川^{よしかわまこと}真准教授は*Nature*に、第2回のタッチダウンで人工クレーターの中に降下するのは「リスクが大きい」ため、そのすぐ外側をタッチダウン地点と

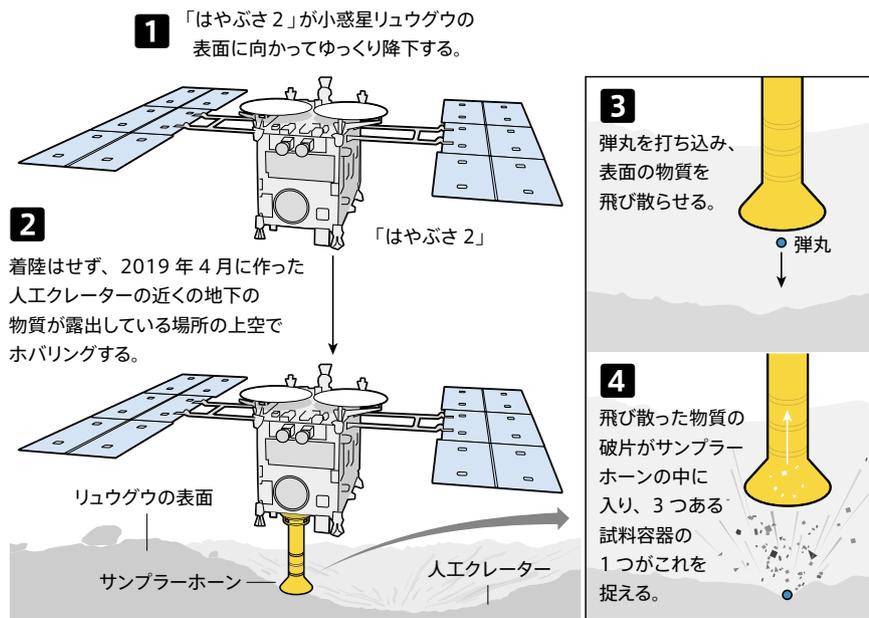


JAXA

小惑星「リュウグウ」に向かって降下する「はやぶさ2」が撮影した写真。

リュウグウ土産を獲得する

日本の小惑星探査機「はやぶさ2」は、小惑星の地下からの史上初の試料採取に向けた最後の大仕事を終えた。



して選んだと語った。

ローワン大学（米国ニュージャージー州グラスボロ）の宇宙化学者で、ミッションチームの共同研究者である Harold Connolly は、「くぼみの中に入ってしまうと、本体から突き出しているソーラーパネルなどを気にしなければならず、表面に衝突してしまう恐れもあるからです」と言う。彼は NASA のオシリス・レックス（OSIRIS-REx）ミッションにも携わっている。2016年9月に打ち上げられたオシリス・レックスは、リュウグウによく似た小惑星ベンヌを探査し、その表面の試料を採取して地球に持ち帰るミッションで、すでに2018年12月にベンヌに到着して観測を開始していて、2020年に試料採取を行う予定である。2つのミッションは情報を交換し、部分的にスタッフを共有するなどして協力し合っている。

直径1kmの小惑星リュウグウは、岩

石と塵^{ちり}が重力により緩やかに集まってできた、いわゆる「ラブルパイル (rubble-pile) 天体」だ。リュウグウの密度の低さ（水よりわずかに高い程度）は、この小惑星がスカスカで、別の天体同士の衝突によって生成したデブリ（破片）が集積したものであることを示唆していると Connolly は言う。

宇宙は真空なので試料を吸い込むわけにはいかないし、リュウグウにはほとんど重力がない。そこでチームは、小惑星の表面に着陸はせずに、接地と同時に質量5gのタンタル製の弾丸を表面に打ち込んで物質を飛び散らせ、サンプラーホーンに飛び込んできたものを捉えるという、独自の手法を考案した（「リュウグウ土産を獲得する」参照）。

目標は合計1g前後の試料を地球に持ち帰ることだ。目標を達成できたかどうかはまだ分からない。答えが明らかになるのは、「はやぶさ2」が地球に帰

還し、試料容器を開けて中を見た時だ。「はやぶさ2」が宇宙にいる間は、2回のタッチダウンでどれだけの量の試料を採取できたか、ミッションコントロールセンターにも知るすべはない、と吉川は言う。

物理学者たちは、「はやぶさ2」が持ち帰る試料が小惑星の謎の解明に役立つのではと期待している。例えば、リュウグウはかなり黒い色をしているが、その理由はまだ不明だ。リュウグウは太陽系で最も反射率の低い天体の1つで、既知のどの隕石よりも黒いのだが、「はやぶさ2」が作った人工クレーターの底に露出した物質はさらに黒い。JAXA の研究者たちは、4月に衝突体を打ち込んだことで物質が黒くなったのか、あるいは、クレーターの色の方がリュウグウの組成の本来の色で、表面の色は太陽放射によって薄くなっただけなのかを明らかにしたいと考えている。

リュウグウの表面は異常な数の岩に埋め尽くされている。ミッション科学者たちが2019年5月に発表した論文によると、リュウグウはこれまでに探査された小惑星よりも単位表面積当たりの岩の数が多いという (T. Michikami et al. *Icarus* **331**, 179-191; 2019)。この大量の岩によって、「はやぶさ2」のリュウグウ表面への接近とタッチダウンは非常に危険な作業となった。リュウグウは地球から遠く離れているため、「はやぶさ2」はリュウグウとの距離が100m以下になると自律的に着陸・離陸しなければならなかったからだ。 ■

(翻訳：三枝小夜子)

Japanese spacecraft probes asteroid's guts for first time

Vol. 571 (306-307) | 2019.7.18

Davide Castelvecchi

米国政府が胎児組織利用の研究を大幅に制限

トランプ政権は、連邦政府機関の研究者らによる胎児組織研究を禁止し、政府が資金提供する研究について倫理面の審査を求める方針を打ち出した。

米国のドナルド・トランプ政権は、政府機関の研究者による胎児組織研究を打ち切り、米国立衛生研究所 (NIH) から胎児組織を使う研究の助成金を得ようとする学術研究者に厳しい制限を課そうとしている。

トランプ政権は2019年6月5日、人工妊娠中絶由来の胎児組織を使った研究を支援するNIH助成金の申請を個々に評価するための倫理諮問委員会を設置することを明らかにした。ただし、政府はすでに、胎児組織を使ってHIV治療法を研究するカリフォルニア大学サンフランシスコ校 (UCSF; 米国) の研究室との契約を更新しないことを決めている。

米国保健福祉省 (HHS) は、「受胎から自然死に至るまでの人命の尊厳を守り高めることは、トランプ政権の最優先事項の1つだ」とする声明を発表した。

この声明は、胎児組織を使った科学研究の制限を長年求めてきた中絶反対派の活動に追随するように出されたものだ。もちろん研究者らはそうした動きに対して、胎児組織の利用は一部の健康問題を研究するための唯一の方法だとして警鐘を鳴らしてきた。胎児組織は、感染症やヒトの発生、眼の疾患といった多様なテーマの研究に使われている (2016年3月号「胎児組織研究に関する真実」参照)。

「今回の決定により、研究は後退する

でしょう」と、南カリフォルニア大学 (米国ロサンゼルス) の幹細胞生物学者 Andrew McMahon は言う。彼は現在、ヒト幹細胞から腎臓を作る方法を研究している。McMahonによると、自然の発生をうまく模倣できたかを判断するには、作成した原型的な臓器を胎児組織の腎臓と比較する以外に方法がないのだという。生物医学研究ではマウスをヒトの代理生物として使うことが多いが、McMahonの研究で使うには、マウスの腎臓はヒトの腎臓と違い過ぎているのだ。

HHSは2018年9月以降、その傘下にあるNIHや米国食品医薬品局 (FDA) などの機関が資金提供する全ての胎児組織研究を審理している。HHSは、ヒト胎児組織を使って改変した免疫細胞でHIVを治療する方法をマウスで試験するUCSFの研究について、助成の契約をしていたが、この契約の満期は2019年3月だった。その後HHSは、契約を6月5日まで延長することに合意したが、契約はそこまで打ち切りとなった。

これを受けて、UCSF学長のSam Hawgoodは声明を出し、その中で、トランプ政権のこの決定は「政治的動機による近視眼的なものであり、健全な科学に基づいたものではない」としている。「HIV感染症の治療法開発のため、胎児組織を利用することでしか開発できない特別設計のモデルを使用するというNIHとの30年来のパートナーシップは、今回のHHSの措置により終わりを迎えます」。

トランプ政権のこの方針によって、NIHの研究者らは、現在保有中の胎児組織の在庫が尽きた時点で、胎児組織を使った研究を否応なく中止することになる。HHSによれば、この制限は国の3つの研究プロジェクトに影響してくるだろうという。

RICKY CARIOTI/THE WASHINGTON POST VIA GETTY IMAGES



米国立衛生研究所 (NIH; メリーランド州ベセスダ)。

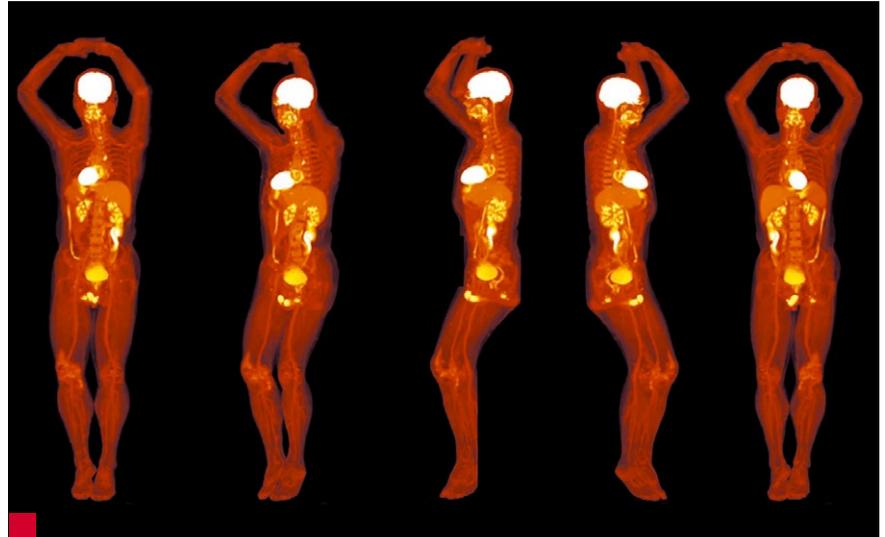
他の大学や研究機関が現在 NIH から助成金を受けて行っている約 200 件の研究プロジェクトは、この政府方針の影響を受けないだろう。しかし HHS によれば、助成金の新たな申請や更新は倫理諮問委員会に提出する必要がある、委員会は「議会を通った法律に従い、倫理規定に照らし合わせて、その研究企画案を審査し、NIH が当該研究プロジェクトに助成金を出すべきかどうかを勧告する」ことになるという。

問題のこの法律は、倫理諮問委員会のメンバーを 14～20 名とし、その 3 分の 1 から 2 分の 1 は「生物医学研究または行動学研究において十分な業績」のある研究者とするよう求めている。HHS の長官であるアレックス・アザール (Alex Azar) により任命される委員会のメンバーには、神学者、倫理学者、法律家、医師も各 1 名ずつ含む必要がある。

カリフォルニア大学サンディエゴ校 (米国) の神経科学者 Lawrence Goldstein は、この厳しすぎる審査が追加されたことで、連邦政府の胎児組織研究への資金提供は実質的に止まるのではないかと話す。「これは全て、誰が任命され、委員会が政治的にどの程度偏向したものになるかにかかっています。今後数年で更新の時期を迎える非常に重要な研究プロジェクトをいくつか知っていますが、政治的に偏向した委員会が価値ある研究を潰してしまうのではないかと心配しています。委員の顔ぶれがある程度妥当なものであれば、いくらか希望が持てるのですが」と彼は言う。 ■

(翻訳：船田晶子)

US government curtails fetal-tissue research
Vol. 570 (148) | 2019.6.13
Sara Reardon



改良型 PET スキャナーは、薬剤の追跡や細菌感染の特定に使える可能性がある。

全身の PET スキャンが わずか数十秒で!

最短 20 秒で全身を画像化できる PET スキャナーが開発された。臨床診断での放射線被曝を大幅に低減できるだけでなく、さまざまな医学研究にも利用できる期待される。

全身の三次元 (3D) 画像を最短 20 秒で得ることのできる、改良型の陽電子放出断層撮影 (PET) 装置が、カリフォルニア大学デービス校 (米国) の生物医学工学者 Ramsey Badawi らによって開発された。従来の PET 装置では全身のスキャンに平均で 20 分かかるが、時間が著しく短縮されたことで、検査時の被曝線量を大幅に低減できる。この改良型 PET スキャナーは、2019 年 6 月 5～7 日に米国メリーランド州ベセスダで開催された、米国立衛生研究所 (NIH) のコモンファンドプログラム

「ハイリスク・ハイリワード研究 (High-Risk, High-Reward Research)」のシンポジウムで紹介された。

PET 検査では、被検者は計測が終わるまで装置の中で動かずにいる必要があるが、子どもにはこれが難しく、撮像中に動いて測定が台無しになる場合がある。今回の改良型スキャナーは、この問題を解消できるだけでなく、薬剤がどのように体内を巡るかを調べる研究などで役立つ可能性がある、ジョンズホプキンス大学 (米国メリーランド州ボルティモア) の小児感染症

専門医 Sanjay Jain は評価する。

標準的なPET検査では、まず、トレーサー（陽電子を放出する放射性同位体で標識した薬剤）が被検者に投与される。これらのトレーサー分子が被検者の細胞に取り込まれると、放射性核種から陽電子が放出され、それらが体内で近くの電子と結合して消滅（対消滅）する際に高エネルギーの γ 線が放出される。この γ 線の角度と速度を、被検者の周囲に設置したリング状の検出器で計測することで、 γ 線源の体内での分布状況が3D的に再構成される。

従来のPET装置のリング状検出器は、奥行き（筒の長さ）が25cm程度で、一度に画像化できるのは人体のほんの一部にすぎない。また、トレーサー分子中の放射性核種はすぐに崩壊するため、 γ 線のシグナルは急速に減衰す

る。従って、撮像範囲をより広くするには、放射性トレーサーの投与量を増やし、検査台を装置内で前後に移動させる必要がある。

Badawiらは今回、PET装置のリング状検出器を8個つないで長さ2mの円筒にし、全身を同時に画像化できる改良型スキャナーを開発して、これらの問題を解決した。この新型装置は、従来の装置の40分の1の時間で全身の3D画像を生成でき、トレーサーの投与量も40分の1で済むため、被曝線量を大幅に低減できる。さらには、被検者を装置内で動かす必要もないため、トレーサーが体内で移動する様子を長時間にわたり経時的に追跡することも可能だ。

この改良型スキャナーは、2018年12月に米国食品医薬品局（FDA）によって米国内での使用が承認されてお

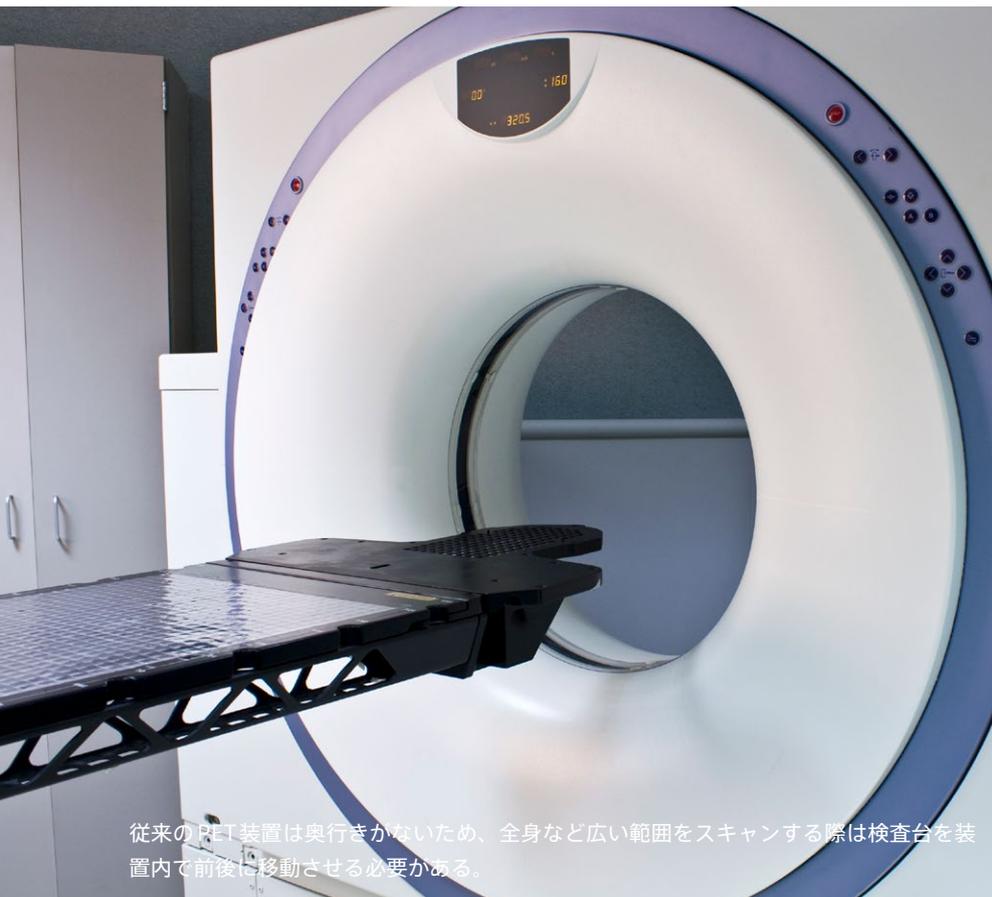
り、シンポジウム後には、実際に患者の検査に使用された。現在は、カリフォルニア大学デービス校のヘルスセンター「UC Davis Health」で臨床での本格的な使用が始まっている。

「この全身撮像装置で、医用イメージング界に新たな飛躍の進歩がもたらされました」とペンシルベニア大学（米国フィラデルフィア）の放射線科医 Abass Alavi は言う。彼は、Badawiと共同で、改良型スキャナーを用いたアテローム性動脈硬化症（動脈内にプラークが蓄積する状態）の研究を進めようとしている。Alaviによると、この装置で薬剤の効果を経時観察することで、ゆくゆくは特定の薬剤が動脈閉塞症の治療に役立つかどうかを確認できるようになる可能性があるという。

従来のPET装置は通常、こうした目的では使用されない。コストが高く、被曝線量も多くなってしまふからだとして Badawi は説明する。

Jain は、この装置を用いて、自らが開発した新たな放射性トレーサーを試験したいと考えている。一般的なPET用のトレーサーにはブドウ糖が使われているが、Jainのトレーサーには、哺乳類細胞には取り込まれず細菌にのみ取り込まれるマンニトールやソルビトールといった糖が使われている。細菌感染が疑われる被検者にこのトレーサーを投与すれば、細菌が集中している場所を明らかにできると考えられる。Jainの研究室ではさらに、細菌の種類をPET検査で特定するためのトレーサーも開発中だ。■

（翻訳：藤野正美）



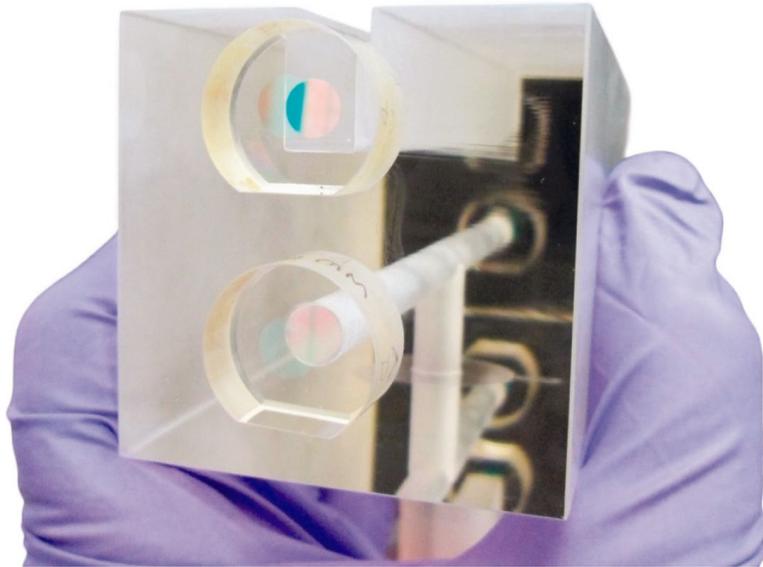
従来のPET装置は奥行きがないため、全身など広い範囲をスキャンする際は検査台を装置内で前後に移動させる必要がある。

Whole-body scans made in seconds

Vol. 570 (285-286) | 2019.6.20

Sara Reardon

NIST



米国立標準技術研究所（NIST）が開発した「固定長光学キャビティ」（FLOC）。FLOCはレーザーを使って気体の圧力を測定する。

圧力の精密測定方法が更新へ

気体の圧力測定において、最も正確な方法はこれまで、約400年前に原理が開発された水銀圧力計だった。それが、量子物理学に基づく新たな測定方法に取って代わられるかもしれない。

気体の圧力を極めて精密に測定でき、測定装置を校正するための新たな基準となり得る測定方法を米国の研究者たちが開発した。この新たな測定方法は、レーザーを使って気体中の原子や分子の密度を測定するもので、開発した研究者らは、1年以内に、1643年から使われてきた水銀圧力計に取って代わり始めるだろうとみている。

新たな圧力測定方法を開発したのは、米国立標準技術研究所（NIST；メリーランド州ゲイサースバーグ）の計測学

者Jay Hendricksらだ。圧力は、単位面積当たりの力で定義され、1パスカルは 1m^2 あたりに1ニュートンの力が働くことをいう。これまで、大気圧以下の圧力の精密測定は、液柱型圧力計と呼ばれる装置で行われてきた。液柱型圧力計の代表例が、水銀柱を使った水銀圧力計だ。

水銀圧力計は、イタリアの物理学者エバンジェリスタ・トリチェリ（Evangelista Torricelli）が1643年に発明した。典型的な水銀圧力計は、水銀の入った垂直な

管を備え、気体の圧力が水銀表面に及ぼす力と、水銀柱の重さが及ぼす力とを釣り合わせ、水銀柱の高さから圧力を測定する。圧力は、重力と、使われた水銀の密度の測定結果から導かれる。これまで、最も正確なのは水銀圧力計による測定だったが、計測学者たちは長く、液柱型圧力計に代わる技術を探してきた。

NISTの新しい圧力センサーは「固定長光学キャビティ」（FLOC）と呼ばれる。FLOCは、手で持てるほどの大きさのガラスブロック製で、2本のキャビティ（空洞）を備える。1本のキャビティには測定対象の気体が自由に入り込むようになっていて、もう1本のキャビティは真空に保たれている。

FLOCは、気体が入り込んだキャビティの中を進むレーザーの波長と、真空のキャビティの中を進む同じレーザーの波長の違いを検出する。光の速度と波長は気体の密度と共に変化し、その変化の仕方は原子の特性に基づいて計算できる。こうして得られた気体の密度（一定体積内の粒子数）とボルツマン定数と温度から、気体の状態方程式により圧力が得られる。

NISTの新測定方法が計測学界で広く受け入れられれば、有毒で、国際的な規制の対象になった水銀を使う必要性がなくなる。さらに、新しい方法では、液柱型圧力計のように密度などの他の量の事前測定に頼る必要がない。この技術は、測定装置を携帯しやすくし、測定時間も短縮するとみられ、航空輸送や半導体製造などの産業にも役立つ可能性がある。

国際単位系（SI）の7つの基本単位は2019年5月、人工的な基準や物体ではなく、全てが自然界の基礎定数に関連付けて再定義された（2018年1月号「国際単位系（SI）が変わる」参照）。今回

の測定方法は、その方針を踏襲している。Hendricksは「私たちが採用した原理は適切なものです。この方法は、量子力学的な計算と自然界の基礎定数だけを使い、キャビティ内の気体粒子の数を数えることによって圧力を測定するものだからです。これは、計測学の観点からは素晴らしいことです」と話す。

NISTは、「一次標準」と呼ばれる、世界にわずかな数しかない、世界で最も正確な液柱型圧力計の1つを保有している。これは大型の装置で、他の全ての圧力計を校正する基準になっている。研究チームは、FLOCの性能が液柱型圧力計に匹敵することを2020年のうちに証明し、他の計測学研究機関にもその一次標準としてFLOCを採用するよう促したいと考えている。

研究チームによると、FLOCによる測定は、大気圧で100万分の6の不確かさを持ち、水銀圧力計とほぼ同等だが、低圧での不確かさは液柱型圧力計の3分の1だという。英国立物理学研究所（テディントン）の計測学者Stuart Davidsonは「この性能は見事です」と評価する。Hendricksは「液柱型圧力計はすでにその精度の限界に達していますが、FLOCは、その不確かさを改善する余地がたっぷりあります」と話す。

中国科学院理化技術研究所（北京）の計測学者、高波（Bo Gao）は、「理論的には、一次標準への校正のチェーン（連鎖）という、現在必要な退屈な作業なしに、誰でも圧力を基礎定数に基づいて測定することが可能になるかもしれません」と話す。高は、今回の測定方法と関連した方法で低温を測定する方法を研究している。

高は「この技術には潜在力があります」と話す。しかし、気体中の不純物の影響や圧力によるキャビティの変形



水銀と管を使って大気圧を測定する実験を行ったイタリアの物理学者トリチェリ。1873年出版の書籍から。

など、いくつかの問題の解決が必要だ。研究チームは、不確かさを減らすために不純物などの問題に取り組んでいる。Hendricksは「1年以内に、特定の圧力では、産業界で使われるセンサーをNISTで校正するための一次標準としてFLOCを使えるようになるでしょう」と話す。

しかし、NISTは、他国の計測学者たちにも、FLOCが実地の測定に使えることを納得させる必要がある。NISTは、まずはFLOCをNISTの一次標準にすることを目指し、液柱型圧力計と比較した研究結果を論文で公表し、また、組織内部の審査を行う予定だ。それが済めば、NISTは国際度量衡委員会の下部組織に申し出て、ドイツの計測学研究機関、物理工学研究所（PTB；ブラウ

ンシュバイク）にある従来型測定装置との比較をこの下部組織に監督してもらい、公式な評価を得ることになる。

計測学者たちが新たな測定方法を完全に受け入れるためには、別の研究機関で作られた第2のFLOCが同じ測定結果を与えることを確かめる必要があるだろう。PTBを含め、他の国立計測学研究所が同等の装置を開発中だが、まだ準備はできていない。Davidsonは「新たな実験結果が確認され、信頼を得るまでには長い時間がかかるでしょう」と話す。

（翻訳：新庄直樹）

Pressure gets an upgrade

Vol. 570 (424-425) | 2019.6.27

Elizabeth Gibney



NORTONRSX/ISTOCK / GETTY IMAGES PLUS/GETTY

研究者としてSNSを どう使っていくか

誰でも発信できる時代、科学者が心得ておくべきこととは何か。ソーシャルネットワークサービス（SNS）やクラウドファンディングなどとの関わり方について、科学技術社会論を専門とする横山広美・東京大学教授に寄稿いただいた。

日本および世界が直面する超高齢化、温暖化などの課題に科学技術で貢献をしていくためには、科学と社会の信頼関係の維持は欠かせません。しかし、研究不正や震災を経て明らかになった多くの問題に加え、SNSによっても、信頼の分断はますます深まっています。研究者はどのような点に気を付けていくべきでしょうか。

SNS は感情の空間

科学と社会の信頼をつなぐ活動として1990年代半ばに英国で生まれたサイエンスコミュニケーションは、当初、コミュニケーターやインタープリター、科学ジャーナリストがその担い手と考えられていました。しかしSNSが日常的に使用される現



「フィルターバブル」やクラウドファンディング

言いつ放しのSNSは、互いの主張に耳を傾け合意形成をしていく場とは程遠い現状があります。しかし、だからといってSNSがなくなるわけでも使わなければよいとい

在、その担い手は、SNSを使う研究者や研究機関にシフトしました¹。

SNSが立ち上がって間もない2005年ころには、SNSによって議論が深まることが期待されましたが、現在では分離したイデオロギー団体がお互いを痛烈に批判し合う、感情が支配する装置になってしまったとの指摘があります。また、研究者もSNSを使う中で良くも悪くも普通の人であることが社会に見えるようになり、科学が誰にでもできるかのような錯覚をもたらし権威を落としていったという指摘もされています²。

うわけでもありません。いかに賢く付き合い、科学を伝え科学の信頼をつなぐという本来の目的をいかに達成するか、という点が重要です。

インターネットでは、GoogleやAmazonを使うことで「フィルターバブル」³という現象が生じています。サジェスト機能により自分好みの情報(フィルター)に囲まれ、広い意見分布を目にする機会が減る現象です。これに陥らないためには、なるべく広い意見に触れるよう心掛ける必要があります。SNSでフォローするのは好みの言説を述べる人ばかりではないか確認するのもよいでしょう。

また、近年、多くの大学や研究機関が、インターネット上で小口の支援を募るクラウドファンディングを用いるようになりました。これを用いた研究は、研究資金獲得時にピアレビューがないことが特徴です⁴。相当の準備をもって望むことが必要で、成功させるには、支援を集めるのに適した研究テーマ設定も必要です。若手の方の場合は、審査を経て配分される助成金の方がためになるかもしれません⁵。

イデオロギーの困難と科学者の責任

SNS上ではイデオロギーの対立が年々激化していますが、もし皆さんがいち早く、社会に専門の情報を知らせたい場合、SNSは強力な拡散ツールとなります。研究者に求められている社会的責任は、社会を安心に導くことでも政策判断を下すことでもなく、科学に基づいた安全基準について説明することです。ただし、個人で発信する場合は説明が偏ることも否めません。そこで、学会や研究グループで解説文章などをあらかじめ作成してウェブページに掲載し、そのURLを紹介しながら

ら補足説明をするなどの形をお勧めします。

米国をはじめ、世界ではイデオロギーの極端な二極化が進んでおり、例えば共和党支持者は科学リテラシーが高い人でも気候変動を信じない人が大半です。残念なことに、科学的事実を基に政策を検討することが困難な状況があります。科学と政治の関係は複雑ですが、少なくとも米国のように割れていない日本が世界の中で、少しでも人類全体への貢献になる合意形成を後押ししていくことは可能かもしれません。それには研究者が、SNSを楽しみながらSNSでもその責任を果たす必要があります。研究者として信頼される発言、振る舞いが求められるのです。 ■

1. Bucchi, M. *Public Understanding of Science* **22**, 904–915 (2013).
2. Collins, H. *Are We All Scientific Experts Now?* (2014).
3. Pariser, E. *The Filter Bubble: What the Internet Is Hiding from You* (Penguin Press, 2011).
4. Ikkatai, Y., McKay E., Yokoyama H. M. *JCOM* **17**, A06 (2018).
5. Ikkatai, Y., McKay E., Yokoyama H. M. *Japanese Journal of Science Communication* **24**, 55–67 (2018).



横山 広美 (よこやま ひろみ)

東京大学 Kavli IPMU 教授

専門は科学技術社会論。2017年から現職。2015年科学技術社会論学会柿内賢信賞研究奨励賞受賞。日本学術会議連携会員。

科学者自身の手で種をまこう

研究者の専門知識は研究室以外の場所でも必要とされていると、渡辺正夫・東北大学大学院教授は話す。植物遺伝育種学の第一線で活躍する渡辺氏は、2005年から小学校や高校を中心に
出前授業を行い、2018年12月には1000回を数えた。渡辺氏に、研究者によるアウトリーチ活動の意義について聞いた。

出前授業のきっかけは？

東北大学に移った2005年に、大学からの依頼を受けて実施。高校時代に将来は教師になることを考えた時期もあったので、出前授業の実施依頼書を見た私は、「チャンスが早々に巡ってくるとは！」と申し込みました。

東北大学の出前授業は仙台市教育局との提携によるもので、「^{ひとき}来田小学校にて実施を」という連絡がきました。でも小学生に教えた経験がない。ましてや私が研究する自家不和合性は理解が難しいのではと不安になりました。頭を抱え、小学生時代の恩師に相談



小学生に囲まれながら植物について語る渡辺教授。

したところ、関心や集中力を途切れさせないように15分に1回は面白いことをやる必要がある。何をやるかは自分で考えなさいと。そこで仕掛けを3つ用意しました。①動画、②実物を使った学習、③野菜や果物を被ったぬいぐるみ「博士」たちです。実物を見せたのは、身近な自然について考えてほしいと思ったから。私は菜の花で研究をしています、子どもたちにはリンゴの果実を見せました。リンゴも自家不和合性です。「ふじの実を作るには王林の花粉をかけないといけない。どうして自分の花粉は嫌いなのかな?」「受精すると種子ができる。じゃあ、食べている実は何?」と尋ね、遺伝的多様性や種子と果実の関係に触れました。そうした話の後で自家不和合性の動画を見せると感嘆の音が。

ご自身へはどのような影響が?

初めての講義の後、子どもたちから手紙をもらいました。約40人だったので、全てに返事を書いたところ、人来田小学校の先生から「子どもたちが大

変喜んで、家で飾っている子もいるほど」という電話が。社会に貢献できたのかもしれないと嬉しくなったのを今でも覚えています。

それに、相手に合わせたコミュニケーション方法も身に付きました。学際的な研究の場では、別の領域の人に自分の研究を説明する必要があります。分かりやすい言葉を持っていると心に余裕が生まれますし、研究発表や申請書作成でも役立ちます。あと、さまざまな人とのつながりができました。視野が広がり、違った世界が見られます。最近では、キャリア形成について話す機会も増えてきました。

なぜ植物遺伝育種の研究を?

小学生のころから、テレビアニメに登場する「科学」「博士」に憧れていました。植物の遺伝育種学を学びたいと思ったきっかけは、高校の社会科の授業で「ハイブリッドライス」のテレビ番組を観たこと。遺伝学で品種改良をして世界征服ができるんじゃないか!? と。植物は食糧ですから、世界

中の全ての人に必要です。イネとキャベツの仲間が消えたら、とんかつ定食はレモン定食になりますよ。

研究を続けていくには、やりたいこととやりたくないことの折り合いをつけないといけないし、激しい競争もある。夢を持って、「毎日頑張ること、努力すること、続けること」で、自分に合ったやりたいことが見つかる。私は植物や畑が好きなので、植物の「彼氏と彼女の問題」を解決していけたら楽しいだろうと。あとは、植物に興味を持って、渡辺の後を継承してくれる人が現れると幸せなのですが。

研究者が専門知識を生かし、科学の楽しさや科学の歴史を子どもたちに伝えるのは大事なことです。私が研究の合間を縫ってアウトリーチ活動をしているのは、自然の変化や不思議について子どもたちが考えるきっかけになればとの思いから。研究を社会へ還元することでもあり、米国のNSFグラントでは評価対象。自分自身の研究の励みにもなり、将来研究を発展させてくれる「種」をまくことにもなる。大学にとっては学生を呼び込むことにつながる。外の世界と関わるのは案外楽しいものなのです。

(編集部)



渡辺 正夫 (わたなべ まさお)

東北大学大学院植物分子育種分野教授

愛媛県今治市で生まれ育つ。2005年より東北大学大学院にて現職。大学での研究と指導の傍ら、多数のスーパーサイエンスハイスクール (SSH) の運営指導委員も歴任。



学术界サイババル術入門

Powered by Nature Research Academies

TRAINING 10

学会発表 ①

あなたの研究結果をその分野の研究者と共有するために、学会も大いに活用しましょう。今回は、印象的なポスター発表を行うためのコツについて、次回はスライド発表の注意点についてお話しします。

印象的に学会発表を行うには

学術誌で論文を発表してあなたの研究内容を伝えることは、あるトピックについてあなたが得た新しい知識をその分野の仲間と共有するための、とても重要な方法です。一方、国際的な学会で研究結果を発表することもまた、それに負けずとも劣らない重要な方法です。

国際的な学会への参加には、多くの利点があります。第一に、学会に出席している同輩はまさに、あなたが「私の

論文を読んでほしい」と望んでいる人々です。同輩たちと直接顔を合わせる場で研究結果を披露することは、あなたの研究を、ターゲットとしている聴衆と共有するための最良の方法です。第二に、学会では、まだ論文として発表されていない現在進行中の研究に触れることができるので、あなたの分野の主要な傾向を確実に把握できます。さらに、研究者たちと直接会って彼らの研究について尋ねる機会が得られます。学術誌に発表された論文を読んでいるときにはまず得られないチャンスです。第三に、学会で出会った研究者とネットワークをつくる機会や、国際的な共同研究を立ち上げる機会も生まれるでしょう。いくつかの研究で、国際的な共同研究を行った論文はインパクトの強い学術

誌に掲載される傾向が強く、引用の数も多くなることを示されています。^{1,2,3}

学会への参加が重要であることはこれで明確ですね。しかしその一方で、あなた自身がその分野において確かな評判を確立するために、学会で同輩たちに強い印象を与える必要があります。この目的を達成するには、ポスターやスライドを使ってあなたの発見を明確かつシンプルに発表し、そして、自信を持ってはっきりと研究成果を伝えて信頼を得る必要があるでしょう。

明確なポスター発表

まず、ポスター発表についてお話ししましょう。ポスター発表は、あなたが現在行っている研究について発表し、同輩たちと1対1で議論する機会を与えてくれる素晴らしい方法です。ですから、ポスター発表はしばしばスライド発表よりもはるかに対話的であり、興味をそそるものになります。ポスター発表を上手に活用して、同輩たちと新しいネットワークを築きましょう！

ポスターに関して覚えておくべき最初の重要なポイントは、ポスターは「見せるためのもの」だということです。人々はポスターを「読む」のではなく、「見る」のです。ですから、ポスターでは研究結果に焦点を合わせて、文章はどうしても必要な場合だけにとどめましょう。ポスターを論文要旨の視覚的表現の場と考えると、想像しやすいかもしれません。まさに要旨と同じく、背景はごく簡潔に触れるにとどめ、方法は最小限にまとめ、結論は要点のみに絞るべきです。そして、研究結果に焦点を合わせるようにします。人々が知りたいのはそこなのですから。

背景は、150ワード以内の1パラグラフに簡潔にまとめましょう。その中でト

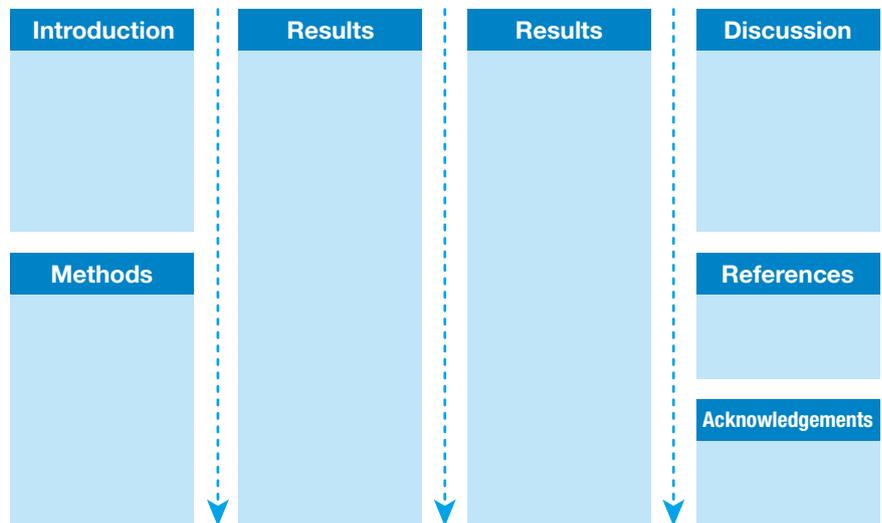
ピックを紹介して、なぜ今、このトピックをこの分野で研究する必要があるかを説明します。ここでは研究を行った動機を明示することが肝要です。また、こうした情報を表す助けとして図やモデルを活用できればさらにいいでしょう。こうすれば、背景のセクションで、視覚を介して聴衆を案内できるのです。

方法のセクションでは、細部に触れ過ぎないようにして、研究設計と重要な技術について要約するべきです。ここでも、こうした情報を表す際に、視覚に訴える図やフローチャートなどを使うと、聴衆を導くのに役立つ場合があります。

ポスターの大部分は、研究結果に関する図が中心となるでしょう。読みやすいように、十分に大きく、画質の良いものを使いましょう。印刷用の画像は一般にCMYKおよび300dpi以上（デジタル画像の場合はRGBで72dpi以上）です。表は、罫線がたくさんあると読みにくいので、罫線の使用は最小限に抑えます（有名な学術誌に発表されている表を参考にして、適切な表の形式について学び、読みやすさを改善しましょう）。グラフに関しては、全ての軸に適切なラベルが付いていること、データが明確に表されていることを確認しましょう。図の説明文は、論文の「result-discussion（結果-考察）」一体型のセクションで使用するものに近いです。最初に、図が示す内容について論じ、次に重要な傾向と関係を明示し、あなたの研究に関連するこれらの結果の重要性についてのあなたの自身の解釈で締めくくります。

最後に、研究の要点をまとめた短い結論を提示します。聴衆はあなたの研究結果をずっと見てきて、おそらく少々飽きていると思われるから、ここは箇条書きにしてもいいでしょう。覚えておくべき重要な点を箇条書きで強

Short Descriptive Title of Your Research



調することで、同輩たちに確実に、あなたの研究がその分野にとって価値があるものと分かるはずですよ。

ポスターの形式に関して、カギとなるのは簡潔さです。まず、情報は横列ではなく縦列でまとめるようにしましょう（図参照）。こうすることで、人々はポスターを上から下に読み、そして次に、左から右へと移ることができます。横列で書かれていると、人々はポスターの前を行ったり来たりしなければならず、あなたのポスターを見ている他の人とぶつかってしまうかもしれません。次に、フォントはArialやHelveticaのようなサンセリフ体を使用しましょう。離れた場所からでも読みやすい字体だからです。そしてフォントサイズは、1～1.5m離れた所からでも確実に読める大きさにしましょう。タイトルには、遠くからでも容易に読めるように85ptのフォントを、著者名には50ptを使用しましょう。見出しには36～44pt、本文には24～28ptが適切です。最後に、色の数は最小限に抑えましょう。関心が研究結果からそれるのを避けるため

す。カラフルな数字を使うなら、背景は非常に地味な色（例えば、白か明るい灰色）にします。数字がほとんどモノクロであるなら、ポスターをもう少し目立たせるために、ほんの少しだけカラフルな背景色を使用してもいいでしょう。

（翻訳：古川奈々子）

NEXT TRAINING: 「学会発表②」は11月号掲載予定です。

1. Parish, A. J. et al. *PLoS ONE*, e0189742 (2018).
2. Smith, D. P. et al. *PLoS ONE*, e0109195 (2014).
3. Guerrero Bote, V. P. et al. *J Am Soc Info Sci Technol*. **64**, 392-404 (2013).



natureresearch
ACADEMIES

ジェフリー・ローベンス (Jeffrey Robens)

ネイチャー・リサーチにて編集開発マネージャーを務める。ペンシルベニア大学でPhD取得後、シンガポールおよび日本の研究所や大学に勤務。自然科学分野で多数の論文発表と受賞の経験を持つ研究者でもある。学術界での20年にわたる経験を生かし、研究者を対象に論文の質の向上や、研究のインパクトを最大にするノウハウを提供することを目的とした「Nature Research Academies」ワークショップを世界各国で開催している。

全ての人に安全な水を

水道水のように容易に手に入る、安価で安全な水は、感染症を防ぎ、子どもに学校に行く機会を与え、生活の向上や女性の社会進出につながる。国連機関でもこの50年、いろいろ取り組んできた。その1つが2000年に採択されたミレニアム開発目標（MDGs）7C「2015年までに、安全な飲料水と基礎的な衛生設備を継続的に利用できない人々の割合を半減させる」だ。この目標はMDGsの中でもいち早く達成された。今回、(株)TECインターナショナルの福田紫瑞紀さん、沖大幹・東京大学教授/国際連合大学上級副学長、乃田啓吾・岐阜大学助教が、水目標達成の背景を明らかにし、*Nature Sustainability* 5月号に発表した¹。水問題だけでなく、今後の持続可能な開発目標（SDGs）など国際開発目標に取り組む上でも、非常に興味深い論文である。

この研究を始めたきっかけは？

福田：私は「全ての生活の根本は水道から」と考えており、沖研究室に入った頃から、発展途上国で水道インフラに関わる仕事をしたいと思っていました。その中で、MDGsなど国際的な開発目標達成のための支援を受けた現地の人たちが、生活が豊かになり幸せになったという実感を持っているかどうかに興味を持ちました。MDGsには水問題以外に、貧困や医療、食糧などの指標があります。卒業研究では、そういった指標の向上と発展途上国の主観的幸福度の相関を調べました²。修士課程に進み、大幹先生からのアドバイスもあり、それを発展させることになったのです。

沖：ちょうどその頃、MDGsの水目標が達成され、私自身、どうして達成できたのだろうと思っていました。

福田：そもそもこの目標が決められた背景についても知りたいと思い、過去のWHOなどの資料を読みあさって、時代ごとにどうやって水問題の目標が移り変わってきたのか調べました。すると、いくつかの事情に気が付きました。1つ目は、10年とか15年単位でその時代に合った目標を立てているということ、2つ目はMDGsでは努力すれば達成できるような目標設定をしていること、3つ目はその目標達成には中国とインドの経済発展が大きかったということです。



おき たいかん
沖 大幹 (右)

東京大学未来ビジョン研究センター 教授 / 東京大学 総長特別参与 / 国際連合大学 上級副学長

の だ けいご
乃田 啓吾 (左)

岐阜大学応用生物科学部 助教

ふくだ しずき
福田 紫瑞紀 (中)

株式会社TECインターナショナル

AUTHOR PROFILE

(安全な飲料) 水源への「アクセス」

水源までの距離や水くみに必要な時間を、その値で定義している発展途上国の数。

	距離						時間		
	50m	100m	250m	500m	1000m	2000m	5分	15分	30分
都市域	20	6	3	8	1	—	1	—	1
農村部	10	1	6	17	4	4	—	1	1

MDG 指標 7.8用のJMP「はしご」

水供給施設	サービスレベル
家屋内に水道管 敷地内に水道管	水道管 (改善)
公共水栓 / スタンドパイプ チューブ井戸 / 掘り抜き井戸 保護された井戸 保護された泉 雨水利用	その他改善
保護されていない井戸 保護されていない泉 水タンクやドラム缶を積んだ荷車 給水車 瓶詰水	非改善
表流水 (川、ダム、湖、池、小川、 運河、用水路)	表流水



画像提供：沖大幹

図1 ミレニアム開発目標 (MDG) 7.8

改善された安全な水の指標 (下図) とそうした水源までの距離 (上図)。

今回は指標が単純だったので、達成できた？

沖：はい、そういうこともよく分かるインフォマティブな論文になっています。

乃田：指標によっても達成率に違いが出ます。何をもちょうど達成とするのか、指標での調節もあります。開発目標の場合、一概にちょうどいい目標を設定しながらモチベーションを維持することの評価は難しいですね。

改善された水源 (improved water source) とは？

福田：動物のふんが入り込んだり、動物が飲みに来たり、表流水が混ざったりしないように、「ふた」などで保護されていれば、井戸でもいいんです。

沖：実は、瓶詰めの水は改善された水源ではありません。瓶詰め水やタンクで運ばれる水は利用可能な量が限られており水としての価値が下がるからです。必要な量の水を必要だけを使えるのが、improvedの条件です。また、MDGsやSDGsという飲料水 (drinking water) は生活用水全般を指しており、飲み水だけでなく手を洗ったり調理したりする水も含んでいます。このため、1日

に必要な飲料水の量は、1人当たり20Lとされています。

目標達成の大きなファクターが、中国とインドの経済発展ということですが。

福田：はい。でも正直、もう少し突き詰めたかったというのが本音です。改善された水源へのアクセス率と経済発展の相関性や、その2つが向上していくプロセスをもう少し掘り下げたかった。

沖：MDGsの達成に向けた期間が、ちょうど両国が大きく経済発展するときに重なったのです。そうでなかったら、いまだに達成できていなかったかもしれません。

サハラ以南ではまだ多くの人々が取り残されていますね。

福田：私は、上下水道のコンサルティングと設計業務を行う民間企業に勤めています。海外事業は、お金がある程度そろわないと着手できません。日本レベルの上下水道設備は相当な建設コストになるので、アフリカなら今はまだ、飲める水が蛇口から供給されるレベルでなくてもいいのかもしれない。とりあえず飲料用は瓶詰め水で、洗濯など

はある程度濁度が取れた上水レベルで十分なのかも。

乃田：今、私は、ラオスの上・下水を一緒に考えるプロジェクトに関わっています。福田さんが言うように、彼らは飲み水は瓶詰め水を使用していて、その他の生活用水は井戸水を使っています。ところが、その井戸水に大腸菌が混入しているのに野菜を洗ってしまう。この点だけ改善すれば、今のあり方でいいんじゃないかなと思っています。全て日本レベルでやる必要はないですし、MDGsの指標で一律に進めるのも現実的ではない気がします。

沖：アフリカを含め、表流水を利用しているのは2億人足らず、改善されてない水源を使っている人も4億人と、かなり限られてきています。言い換えれば、対応、開発の難しい所が残っているということです。例えば大きな災害があると、国連機関や国際NGOが大挙して行って、救出しましたとか援助しましたとか、とにかく目に見える成果を得ようとして。一方、成果を出すのが難しい所は後回しに。low-hanging fruitといって、開発援助は簡単な所から進められて、難しい箇所が残されるのです。SDGsはそれを回避するためにNo one will be left behindを掲げています。ただ、とても難しいなあって思います。というのも今、水や食糧不足で困っているのは、ソマリアや南スーダンなど紛争地域が多いのです。今回、水問題の解決には経済的な発展の貢献が大きいとしましたが、経済発展のためには国が平和で安定していて、世界中からの投資が入ることが大事です。それから、アフリカで水が足りないのは乾燥した大地だからではない、という点も非常に重要です。

といますと？

沖：水が足りないのは雨が少ないからだと思っても素朴に思っていた時代が、実はつい最近までありました。2006年にScienceに発表した論文³で、水は時空間的に偏在しており、それを平準化して安定供給できる施設がない地域が水に困るのだと強調し、今では、そういう考えが世界的にも普通になってきたと思います。そういう意味で、今回、その裏側、社会はどうなのかということをお程度書けたかなと思います。が、経済発展と水の開発に相関関係があっても、因果関係は分かりません。もう少しいろいろな要因を探って、例えばガバナンスや政府がしっかりしているなどの指標で調べてみようとはしています。

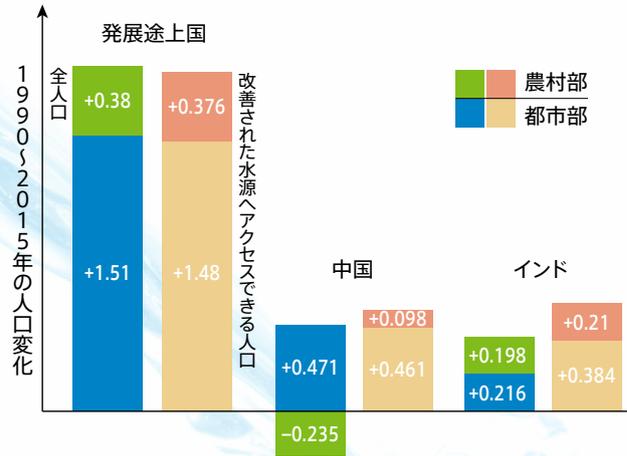


図2 発展途上国の総人口と改善された水源へのアクセス人口の増分（1990～2015年）

工業化や農業の近代化も、水不足や汚染などの問題で関係してくると思います。

沖：SDGsには、水質や、全てのセクターで水の使用効率を上げることも入りました。農業は優遇されている国が多いのですが、農業分野も自分たちは例外と思わず、水の使用効率を上げなさいというメッセージです。

乃田：Nature Sustainabilityの掲載論文⁴で、今後世界の都市でどの種類の水が足りなくなるかを色分けしたのがあります。乾燥地域はdrinking waterが足りなくなるので赤く、農業の灌漑に大量に地下水を使っている地域は農業・工業用水が足りなくなるので青く、先進国の多くは環境のための水が足りなくなるので緑色にという具合です。SDGsは、MDGsで1番下のカテゴリーにある地域だけでなく、先進国も対象にしています。いろんなレベルのグローバルな評価があってもいいのかなって思いました。

また、SDGsの水問題ターゲット6.6に、湿地や池に関する項目、いわゆる生態系サービスの維持があります。これはMDGsにはありませんでした。

気候変動も関わってきます。ヒマラヤ山脈や天山山脈の麓では、雪解けの頃は川の流量が増えている一方、他の季節では減っていると聞いています。

沖：その地域では氷河も重要です。氷河は年中ゆっくり解けており、地面にとってみれば、いつも雨がしとしと

降っているのと同じなので、安定して川の流量が保たれるのです。今は、温暖化で氷河の融解が加速しており、本来よりも降水量が多くなっている状態です。でもある程度氷河が小さくなってしまえば、今度は減り始める。季節変化が大きくなると、それを制御するような施設を作らない限り、安定して水を使えなくなります。

今までは、施設があって水道が敷設されていればいいという考えでしたが、それでは1日24時間週7日のサービスは保証されていません。目標が達成されたからといって、日本と同じように自由に水を使えるというのは幻想です。だから、指標のグレードをだんだん上げているのです。今心配なのは、パキスタンですね。人口はまだまだ増えるのに、水源はチベット・ヒマラヤで、そこから下流の方は乾燥地帯で水がありません。そういう所では、施設があっても水が得られない。だから、食料を輸入しないと飲み水も足りない状況になるのは自明です。

産業、官、自然が絡まり合っている。難しいですね。

沖：経済発展は悪だと思っている人もまだまだいるでしょうが、今回の論文では、経済が発展しないとみんなが改善された水源にアクセスできない、つまり経済発展と水へのアクセスの向上とが軌を一にしていることをきちんと示せたのが良かったと思います。

環境保護が経済発展と相反すると思っている人も少なくありません。でも、高度経済成長時代にひどく汚染された日本の河川も、最近は非常に良くなりました。中国もそういう時期を迎えており環境改善の気運が高まっています。環境汚染の増加があるレベルに達すると減少に転じる環境クズネツ曲線という概念がありますが、それをいろいろな指標について実証したいですね。みんなの幸せの増進を考えれば、環境保護と経済発展が共にうまくいくやり方を見つけることが重要だと信じます。経済発展や市場原理が停滞すると環境も悪くなってしまいますし、逆に環境をないがしろにした経済発展もないでしょう。このことを実感できる研究成果をうまく示せたら格好いいなと思います。

ところで、福田さんの会社ではどんな海外事業を進めていますか？

福田：今は、カンボジア・コンポントム州の浄水場の更新設計を行っています。南スーダンでも事業が進められ

ていますが、紛争が起こって一時中断するなど、進めにくいようです。東南アジアでは、ミャンマーなどは現地の人たちもやる気があって、仕事もやりやすそうです。

沖：援助を待つのではなく、発展途上国自身、安全な水が必要だと思えることが大事です。受け身ばかりか、支援が当たり前とっていたり、今度は何をしてくれるのという態度であったりする地域もあります。自分たちで自分たちのいい社会を作るんだと思っている地域にどんどん投資が入るようになるといいですね。

今後、投資以外でSDGsの達成に日本ができることは？

福田：民間企業の立場からは、技術移転。ただ、海外には日本とは違った着眼点の技術があり、そういうものを学んで各土地に合った浄水処理法を開発しないと、と思います。

乃田：私は、人材育成を挙げます。

福田：設備のメンテナンスは現地の人がやらなくてはならないので、人材育成は必要です。

沖：アジアにおける日本の価値は、「西洋のまねをしなくても、先進的なテクノロジーを享受し豊かな社会を構築できる」という唯一の例外だった点にもあったと思います。日本に来て見てもらえば、欧米とは建物が違う、食べ物が違う、文字や言葉が違う、古典が違う、欧米と全く違う暮らしをしているのに精神的にも経済的にも豊かな生活をしていて、平均寿命も長いという点に深く感じ入ってもらえると思います。日本にできるのなら、私たちにでも実現できるはずだと思っていただけのではないのでしょうか。

乃田：意識の共通性が日本と東南アジアではあると思います。drinking waterの定義にしても、これは家の中で使う水、これは外で使う水っていう意識みたいなものが。そういう意味で、東南アジアでは、そこにある新しい将来と一緒に考えられるのかなと、感じます。日本が彼らの将来である必要はなくて、彼らが自分たちの将来を描くときに日本からサポートできるのが本当の意味での人材育成だと思います。

ありがとうございました。

聞き手は田中 明美（サイエンライター）

1. Fukuda, S. et al. *Nature Sustainability* **2**, 429–434 (2019).
2. Fukuda, S. et al. *Sustainability* **8**, 189 (2016).
3. Oki, T. & Kanai, S. *Science*, **313** (5790) 1068–1072 (2006).
4. Flörke, M. et al. *Nature Sustainability* **1**, 51–58 (2018).



OXFORD PV

ペロブスカイト太陽電池が直面する現実

ペロブスカイト太陽電池を開発中の各社は、既存の結晶シリコン太陽電池を過去のものにするような安価な新材料の実用化の時期は近いと言うが、彼らは楽天的過ぎないだろうか？

長崎のハウステンボスにある「変なホテル」は、未来的な技術を試すことに躊躇がない。同ホテルはロボットが従業員として働く世界初のホテルとして2015年に開業したが、ロボットコンシェルジュの仕事ぶりが一部の顧客に不評だったことと、コスト減につながらなかったことから、最近、ロボットの数が減らされ、自動化の範囲が縮小されている。しかし、「変なホテル」は現在、もう1つの注目の次世代技術を試している。2018年12月から敷地内に、曲面の薄い壁のような形状の太陽電池を配置し、看板照明用の電源として使用しているのだ。この

太陽電池はポーランドのスタートアップ企業サウレテクノロジー社 (Saule Technologies) のもので、ペロブスカイトという材料でできたマイクロメートル単位の薄さの膜を利用している。科学的な関心から研究されていたペロブスカイトは、わずか10年で太陽光発電の未来を担う期待の新材料になった。

過去18カ月間にペロブスカイト太陽電池が研究室の外に飛び出ていった国は日本だけではない。サウレテクノロジー社は、ワルシャワ本社の近くにあるオフィスビルの壁面にもペロブスカイト太陽電池を設置した。こ

ドイツのブランデンブルク・アン・デア・ハーフェルにあるオックスフォード PV 社の試作品生産設備でシリコン上にペロブスカイトを積層した実用サイズの太陽電池の試験を行う研究者。

の分野をリードする英国の企業オックスフォードPV社 (Oxford PV) は、ドイツのブランデンブルク・アン・デア・ハーフェルにある試作品生産設備で試験運用を行っている。中国企業のマイクロクオンタ・セミコンダクター社 (Microquanta Semiconductor) とワンダーソーラー社 (WonderSolar) は、それぞれ浙江省杭州市と湖北省鄂州市で野外試験を行っている。エレクトロニクス巨大企業からスタートアップまで、世界の10社以上の企業が、ペロブスカイト太陽電池を近日中に発売したいと考えているという (「ペロブスカイト太陽電池を開発中の企業」参照)。BCCリサーチ社 (BCC Research; 米国マサチューセッツ州ウェルズリー) のアナリストMargareth Gagliardiによると、この他に数十社がペロブスカイト太陽電池の材料の製造に関わっているという。

過去数十年間の太陽電池産業を支配していたのはシリコン結晶の板だった。CIGS [銅 (Cu)、インジウム (In)、ガリウム (Ga)、セレン (Se) の4種類の元素を原料とする化合物] やCdTe (テルル化カドミウム) などの薄膜太陽電池の材料は、従来型の太陽電池に匹敵する効率や低価格を実現するのが難しく、市場の5%未満しか獲得できていない (2014年9月号『「にがり」で太陽電池製造過程の安全性が向上』参照)。けれどもペロブスカイトを使うことで、別の結果がもたらされる可能性がある。ペロブスカイトは安価に製造することができ、かなり高い効率で太陽光を電気に変換できるようなのだ……少なくとも実験室では。

しかし、この技術を強く支持する人々でさえ、ペロブスカイト太陽電池セルが急速にシリコンに取って代わるだろうとは思っていない。むしろ一部の企業は、シリコンの上に安価なペロブスカイト結晶を積層させて、どちらかを単独で使う場合より多くの太陽エネルギーを電気に変換する「タンデム型」装置の開発を試みている。例えばオックスフォードPV社は、最上位の実用ソーラー

パネルの1.2倍の変換効率のタンデム型デバイスの開発を行っており、2019年中の実現を目指すとしている。この技術が業界全体に広がれば、太陽電池パネルの年間の合計発電量も1.2倍になるだろう。同社の最高技術責任者のChris Caseは、今後も改良は続くはずだと言う。そうならば、現時点では世界の電力の2%しか供給できていない太陽電池技術は、もっと大きな割合を占めるようになるだろう。「世界は、可能な限りの太陽エネルギーを欲しているのです」とCaseは言う。

一方、サウレテクノロジー社やその他の企業は、プラスチックをペロブスカイト薄膜で被覆した、軽量で柔軟な太陽電池の開発を目指している。こうした装置の発電効率はそれほど高くないものの、自動車やボート、航空機や弱い構造の屋根の上、巻き上げ可能な太陽電池ロールスクリーン、太陽電池パネルを兼ねた船の帆など、ガラス基板上の太陽電池パネルがその重さのために使えなかった場所で使うことができる。

しかし、この新素材には、解消する必要のある根本的な疑問がいくつかある。シリコンパネルは雨や風や強烈な日差しや凍てつく寒さに25年間耐えることができるが、ペロブスカイトの耐久性は不明である。また、ほとんどのペロブスカイト装置は鉛を含むため、毒性の不安もある。さらに、実験室で記録された高い変換効率を実用スケールで再現できるかも不明だ。一方、従来型の太陽光パネルの価格は下がり、変換効率は上昇している。そのため、新材料が従来の材料を追い抜いて気候変動との戦いに参戦することが困難な状況となっている。カリフォルニア大学マーセド校 (米国) の太陽光発電の専門家Sarah Kurtzは、「個人的には、世界が直面する諸問題を解決するためにペロブスカイト太陽電池に全てを賭けるべきだとは思いませんが、除外するべきだとも思いません」と言う。

変換効率の追求

オックスフォード大学 (英国) から北に車で15分の場所にあるオックスフォードPV社の研究所では、白衣を着てヘアネットをかぶったスタッフが、1cm四方のキラキラした黒い太陽電池セルの試験を行っている。光を電気に変換する効率が高い、新しい材料の組み合わせを探しているのだ。近くの実験台の上には、彼らが作ろうとし

ている、2枚のガラス基板に挟まれた大型のペロブスカイト被覆太陽電池モジュールが置かれている。面積は標準的なシリコンセルと同じ243cm²だ。「これまでに何十万種類もの装置を測定してきました」とCaseは言う。

研究者に与えられた選択肢は多い。「ペロブスカイト」には膨大な種類の結晶構造があるからだ（「ペロブスカイトと太陽電池セルの構造」参照）。ペロブスカイトは、もともとは1839年にロシアのウラル山脈で発見され、ロシア人鉱物学者Lev Perovskiにちなんで名付けられたチタン酸カルシウム（CaTiO₃）という鉱物を指す言葉だった。しかし、太陽電池に使われるペロブスカイトは、ABX₃

という構造以外にこの鉱物との共通点はほとんどない。

ペロブスカイトの特性の中で太陽光発電の観点から重要なのは、結晶に入射した光が負の電荷を持つ電子を揺り動かして高エネルギー状態にし、元の場所に「正孔（ホール）」を残すことである。正孔は正の電荷を持つ粒子のように振る舞う。電荷を輸送する電子と正孔がペロブスカイト薄膜の上下の電極に到達するまでの間に再結合しなければ、電流は流れることができる。

2009年に報告された最初のペロブスカイト太陽電池装置は、太陽光に含まれるエネルギーのわずか3.8%しか電気に変換できなかった。しかし、実験室でペロブスカイト

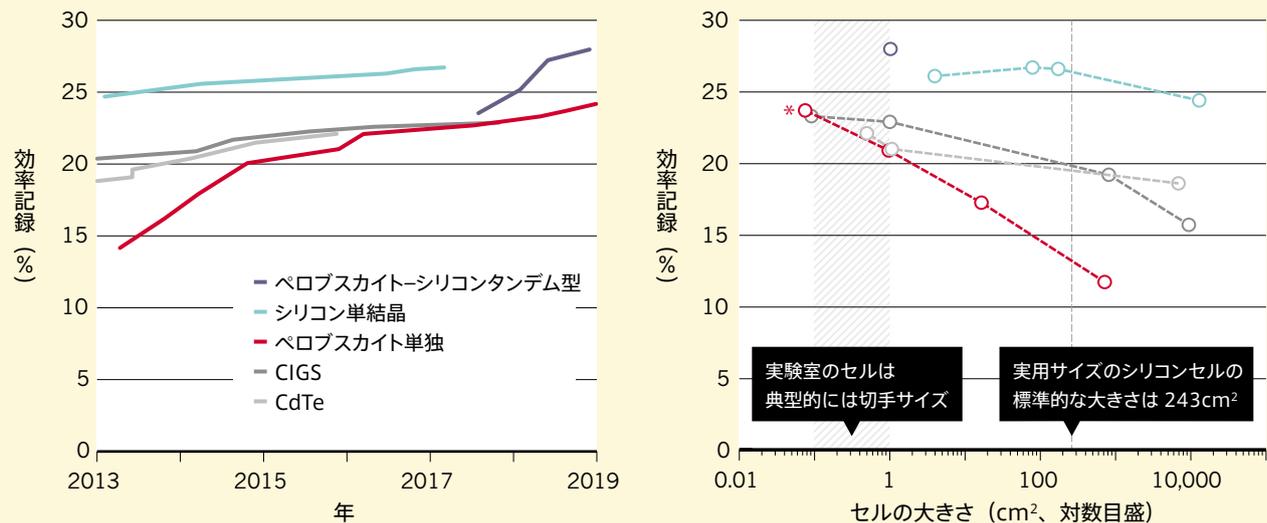
ペロブスカイト太陽電池を開発中の企業

現在 10 社以上がペロブスカイト太陽電池の実用化を目指している。

企業名	本社所在地	設立時期	目指している商品	実績
Energy Materials Corporation	米国ニューヨーク州 ロチェスター	2010年	ロール・ツー・ロール方式で被覆したペロブスカイト単独セル。	非開示。
フロンティア・エナジー・ソリューション (Frontier Energy Solution)	韓国蔚山	2016年	柔軟と硬質（ガラス基板上）のタンデム型セル。	非開示。目標は225cm ² モジュールで変換効率20%。
マイクロクオンタ・セミコンダクター (Microquanta Semiconductor)	中国浙江省杭州市	2015年	硬質のガラス基板上ペロブスカイトセル。	17.3cm ² の「ミニモジュール」で効率17.3%の世界記録。野外試験中。100cm ² 以上の大型モジュールを目指す。
オックスフォード PV (Oxford PV)	英国オックスフォード	2010年	ペロブスカイト-シリコンの硬質のタンデム型セル。 シリコン製造メーカーと提携して独自にセルを製造。	1cm ² のタンデム型セルで効率28%を達成。年内に実用スケール(243cm ²)で27%を達成する予定。野外試験中。より大型のモジュールを目指す。
サウレテクノロジー (Saule Technologies)	ポーランド・ ワルシャワ	2014年	印刷による柔軟な軽量ペロブスカイト単独セルを2021年に商業生産。	小型セルでの変換効率17%。 100cm ² のモジュールでは変換効率10%。 野外試験中。
積水化学工業 パナソニック 東芝	大阪 大阪 東京	歴史ある 企業	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の産学官連携プロジェクトの一部。 積水化学工業： 2020年に柔軟なセルを発売予定。 パナソニック： 硬質なペロブスカイトセルを開発。 東芝：屋根の上に設置できる 軽量モジュールを2025年に発売予定。	積水化学工業： 900cm ² のモジュールの 野外試験で変換効率8～10%。 パナソニック： 6.25cm ² のセルで変換効率20.6%、 412cm ² のモジュールで変換効率12.6%。
ソラロニクス (Solaronix SA)	スイス・オボンヌ	1993年	ペロブスカイト太陽電池モジュール。 最初は建物に埋め込む。	1cm ² のセルで変換効率14.9%、 100cm ² のモジュールで変換効率12%。
ソライアンス (Solliance)	オランダ・ アイントホーフェン	2010年	知識・技術を提供する複数企業が 提携した合併会社でペロブスカイト単独 およびタンデム型セルを開発。	0.1cm ² のガラス基板上ペロブスカイトで 変換効率19.6%、シリコンセルとの タンデム型で変換効率27%。
スウィフトソーラー (Swift Solar)	米国コロラド州 ゴールデン	2017年	柔軟なペロブスカイト-ペロブスカイト タンデム型。	非開示。
タンデム PV (Tandem PV)	米国カリフォルニア州 パロアルト	2016年	ペロブスカイト-シリコンタンデム型セル。	非開示。約225cm ² のセルを開発中。
ワンダーソーラー (WonderSolar)	中国湖北省鄂州市	2016年	硬質ガラス上の安価なペロブスカイト。	100cm ² のモジュールで変換効率12.5%。 3600cm ² のモジュールを実証。 野外試験中。

サイズが問題

安価なペロブスカイト材料を使った太陽電池セルの変換効率は急激に向上している（左）。しかし、実験室で記録される変換効率は小さな試作品についての数字であり、ペロブスカイトセルの変換効率はスケールが大きくなるほど低くなる。



ここで示す記録は「ヘテロ接合」シリコンセル（例、シリコン結晶とアモルファスシリコン薄膜）についてのもの。「マルチ接合」セルは、効率はもっと良いが、一般市場向けに大量生産するには高価過ぎ、複雑過ぎるため、ここには示さない。変換効率 24.2% のセルの大きさは報告されていない。表面積 243cm² 以上のセルは通常、相互に配線されたモジュール（パネル）である。CIGS はニセレン化銅インジウムガリウム、CdTe はテルル化カドミウム。

結晶を作るのは非常に容易だったため（安価な塩溶液を混ぜ合わせて薄膜を形成させればよい）、研究者たちは短時間で性能を向上させることができた。2018年には米国と韓国の研究者が24.2%という変換効率を記録し、実験室でのシリコンの効率記録である26.7%に迫っている¹（2014年12月号「ペロブスカイト太陽電池の効率、シリコン太陽電池に迫る」参照）。どちらの材料についても理論的な上限は30%弱だが、実用シリコンパネルの効率は典型的には15~17%程度で、高くても22%である。しかし残念ながら、効率記録を出したペロブスカイトは1cm²未満の小さい試料で、そのままスケールアップすることはできない。これに対して、シリコンセルの現在の効率記録は70cm²のセルで達成した数値であり、180cm²のセルでも26.6%という変換効率を達成している（「サイズが問題」参照）。

「変換効率の高いペロブスカイトセルの面積化の能力は、まだ実証できていないのです」とKurtzは言う。1つの問題は、面積が大きくなると、均一に被覆するのが難しくなることだ。もう1つの問題は、実験室で小さなセルを作るとき、科学者は多くの光を透過させる透明電極薄膜を使って電流を集めているが、これにはわずかに抵

抗があり、一部の電流を遮断してしまう。規模が大きくなると、この抵抗がより大きな問題となるため、実用サイズのセルでは透明度の低い電極薄膜を使用するが、そのせいで変換効率が下がってしまうのだ。例えば、多国籍エレクトロニクス企業のパナソニックは、6.25cm²のペロブスカイトセルで20.6%の変換効率を報告している²。しかし、35個のセルを組み合わせて412cm²のモジュールにすると、効率は12.6%まで低下した³。また、マイクロオンタ社はペロブスカイトの「ミニモジュール」¹につき公認世界記録を持っているが、これは7個のセルで約17.3cm²をカバーする設計で、変換効率は17.3%である〔註：国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）のプロジェクト「ペロブスカイト系革新的低製造コスト太陽電池の研究開発」でリーダーを務める東京大学の瀬川浩司が2019年7月、20.4%を達成したことを日本学術振興会のシンポジウムで発表した〕。

それでも、ペロブスカイトセルはシリコンセルよりも単純で安価に製造できる。シリコンセルの製造は、砂を1800℃まで熱するところから始まる。高純度のシリコン板を製造する工程には、材料を300℃の塩酸に溶かす作

業がある。一方サウレテクノロジー社は、インクジェットプリンターを使って少量のペロブスカイトをプラスチックフィルムに載せることで解決を図った。同社はこの方法で、 100cm^2 というまずまずの大きさで、変換効率が10%のモジュールを作ることができたという。いくつかの企業は、パターン付きのローラーを使って、ペロブスカイトインクを載せている。米国コロラド州ゴールドデンのスイフトソーラー社 (Swift Solar) は、2種類のペロブスカイトセルを組み合わせることで軽量のタンデム型モジュールの開発を試みている。

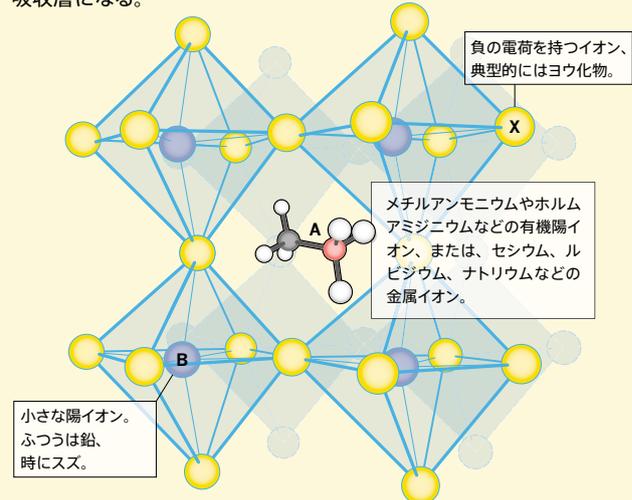
しかし、効率アップへの近道は、シリコンにペロブスカイトを追加することかもしれない。2018年にはオックスフォードPV社が、変換効率17%のペロブスカイト層でシリコンをコーティングして作った 1cm^2 のタンデム型セルで28%という効率を報告した。ペロブスカイトは波長の短い青～緑色の光を吸収することができ、シリコンはその残りの、波長が長い赤い光を吸収することができるからだ。同社は2019年中に変換効率27%の実用サイズのタンデム型セルを生産し、提携会社 (社名は明かされなかった) でモジュール組み立てを可能にすることを目指している。Caseによると、このモジュールは2020年末には市販されるという。27%という変換効率は、現時点で最高効率を記録しているシリコンパネルの効率より高い。Caseによると、タンデム型セルの変換効率の理論的な上限は45%で、実用的な目標は35%であるという。これは、現時点で最高性能の市販シリコンパネルの1.5倍の効率だ。

耐久性への懸念

現在のシリコンパネルは25年保証が付くのが一般的で、これと同等の耐久性を実現できるかがペロブスカイトにとっての主要な挑戦になっている。ニューサウスウェールズ大学 (オーストラリア・シドニー) でペロブスカイトやその他の太陽電池素材を研究しているMartin Greenは、ペロブスカイトには「シリコンが打ち立てた基準に近い安定性」が求められていて、「その実現はますます困難になっている」ように思われると言う。彼のチームはこの素材について中国の2大ソーラーパネルメーカーであるトリナ・ソーラー社 (Trina Solar; 江蘇省常州市) およびサンテック社 (Suntech Power; 江蘇省無錫市) と協力している。

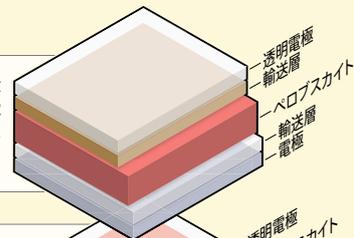
ペロブスカイトと太陽電池セルの構造

「ペロブスカイト」という用語は、 ABX_3 構造を持つ結晶を意味する。ペロブスカイトの安価な薄膜は、新しいタイプの太陽電池セルの光吸収層になる。

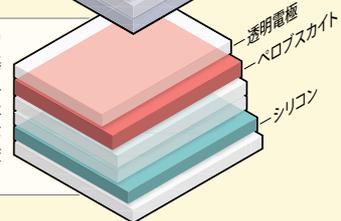


太陽電池セルの構造

ペロブスカイトのみからなる太陽電池では、結晶はしばしば電荷担体 (電子と正孔) を電極に輸送する層に挟まれている。



タンデム型セルでは、ペロブスカイト同士を重ねたり、シリコン基板上を重ねたりする。それぞれの層は太陽光の別々の波長を吸収することができ、従来のセルより高い効率で太陽光を電気に変換するハイブリッドセルとなる。



ペロブスカイトは空気と湿気に敏感だが、このことは決定的な問題にはならないはずだ。実用化されているソーラーパネルでは、保護用のプラスチックとガラスの中に太陽電池素材を封入している。この方法は、ほとんどのペロブスカイトでもうまくいくだろう。より大きな問題は結晶自体にある。場合によっては、ペロブスカイトの温度が上昇すると、結晶構造が変化してしまうのだ。この変化は可逆的だが、性能に影響を及ぼす。

研究者たちは、この問題に対処しようと努力している。スイス連邦工科大学ローザンヌ校 (EPFL) では、Michael Grätzelが率いるチームが、 ABX_3 構造の「A」に当たる陽イオンを3～4種類持つ構造を開発した。例えば、メ

チルアンモニウムやホルムアミジニウムという陽イオンを、少量のセシウムやルビジウムと結合させるのだ⁴。この組み合わせが、それぞれの陽イオンが使われるときの温度と湿度が引き起こす構造変化を阻止することになる。

もう1つの問題は、光がペロブスカイト結晶に当たるときに、小さな「X」陰イオンが構造の中で動き回り始める場合があることだ。これが起こるのは、陰イオンがあるべき場所に空隙がある場合で、一連の反応により結晶の組成や変換効率が変化したり、装置が動かなくなったりする恐れがある。ほとんどの太陽電池技術にはある程度の変換効率の変動があるとKurtzは言う。「ペロブスカイトではそれがかなり大きく出るので」。

それでも研究者たちは前進している。「状況は良くなっています」とGrätzelは言う。例えば2017年には、彼のチームは0.16cm²のペロブスカイトセルについて20%以上の変換効率を報告したが⁵、このセルは41日間、1000時間以上にわたって直射日光にさらされても95%の性能を維持していた。未発表の研究では、その時間を2倍にすることができたという。

フィールドテスト

ペロブスカイト太陽電池を開発中の企業のほとんどは安定性に関する実験結果を公表していないが、どの企業も、国際電気標準会議（IEC；スイス・ジュネーブ）がシリコン太陽電池パネルについて定めた認証標準に従っているという。この基準はIEC 61215として知られ、湿度85%の室内でモジュールを1000時間にわたり85℃まで熱する試験も含まれている。パネルはその他、-40℃から90℃までの温度サイクルを100回繰り返したり、あられの粒を浴びせられたりしている。

これらの試験を終えてもなおシリコンパネルが機能しているなら、典型的な天候の下で25年持つ可能性は高いと考えられている。しかし、ペロブスカイトはシリコンとは異なる不安定性を持っているため、IEC 61215の試験に合格しても現実世界ではうまくいかない可能性がある。例えば、マイクロクオンタ社の共同設立者であるBuyi Yan 副社長によると、同社のペロブスカイトモジュールはIEC 61215に合格したが、杭州での野外試験では、使用開始から1～2年後には当初の平均80%まで性能が低

下するという結果が出た。「シリコンパネルの寿命が25～30年であることと比較すると、これは大きな欠点です」と彼は言う。同社の共同設立者である代表取締役のJizhong Yaoは、この後に開発した新型モジュールでは劣化のペースはもっと緩やかであったが、まだ詳細を公表する時期ではないとしている。

Caseによると、オックスフォードPV社のタンデム型モジュールも、IEC 61215レベルの試験に合格しているという。彼は近くに置いたモジュールを指さしながら、「シリコンパネル用の試験に合格すれば、ペロブスカイトでも25年持つのでしょうか？ さあ、どうでしょう。あれは長期的な耐久性の目安にすぎませんから。良い指標ではありますが、根本的に不十分です」。

Greenは、ペロブスカイトモジュールがノルウェーの第三者認証機関であるDNV GLによる報告書「太陽光パネル信頼性スコアカード」の上位半分に入ったら、安定性の問題は解決したと思ってよいだろうと言う。DNV GLは各メーカーから複数のパネルを入手して独自に電気、光学、温度試験を行い、その結果を比較している。DNV GLの試験はIEC 61215の試験に似ているが、長期的な劣化をよりよく捉えられるようになってきている。ペロブスカイト企業はまだこのリストには登場していない。

鉛毒性への不安

ペロブスカイトセルにとってのもう1つの「つまずきの石」は、その最高水準のものに鉛が含まれていることだ。鉛は有毒な金属である。研究者らは鉛の代わりにスズなどを試してみたが、それだと性能が低下してしまう。とはいえ鉛を含むセルが利用できないわけではない。オックスフォードPV社のタンデム型セルのライフサイクル分析の結果は、セルに含まれる少量の鉛は、たとえ漏れ出すことがあっても環境毒性に大した影響は及ぼさないことを示している。同じ分析によると、環境に及ぼす全体的な悪影響はシリコンセルの方が大きいという。シリコンセルの製造に使われる資源のせいだ。

一部の研究者は、鉛を含むペロブスカイトを使い捨て製品に用いることは不可能だと言う。Grätzelは、人々がめったに訪れないような大規模な太陽発電施設でなら利用できるかもしれないと言う。「フレキシブルなデバイスを市場

に投入したいのなら、それは間違いです」と彼は言う。「子どもがプラスチックのカバーに穴を開けてしまったらどうしますか？ 鉛毒性について妥協する余地はありません」。

サウレテクノロジー社はこのような考え方に反対する。同社の最高科学責任者のKonrad Wojciechowskiは、自社の印刷された軽量モジュールには鉛はほとんど含まれていないと主張する。封入したモジュールを1年間水に浸けておいても、鉛の濃度は「世界保健機関（WHO）が飲用水に含まれる鉛について定めた上限以下でした」と彼は言う。また、サウレテクノロジー社の最高技術責任者で、2014年に博士課程の途中で同社を設立したOlga Malinkiewiczは、ペロブスカイト製品の頑丈さを強調する。「子どもがたまたまペロブスカイトパネルを分解し、薄い層に分けてしまうことなど不可能です」。

安価な太陽エネルギー？

自社製品で太陽光発電のコストを下げられると期待するペロブスカイト企業は、もう1つの問題を抱えている。シリコンパネルはすでに安価になっていて、価格はさらに下がっているのだ。ブルームバーグNEF社（BloombergNEF；スイス・チューリヒ）の太陽光発電分析部門長のJenny Chaseは、「太陽光発電セクターはこれまでにないほど面白い状況になっていますが、技術的ブレイクスルーは必要とされていません」と言う。「太陽光発電は、すでに多くの国々で、最も安価な電力源の1つになっています。シリコン結晶技術は十分に向上していて、これに勝つのは困難です。今後、ペロブスカイトは1ワット当たり数セントのコスト削減を可能にするでしょうが〔訳註：現時点での米国の太陽光発電のコストは1ワット当たり3ドル（330円）前後〕、その日を待ち望むほどの差ではありません」。Caseの意見は違う。彼の会社のタンデム型モジュールはシリコンセルより高価だが、変換効率が高いため、数年後には太陽光発電のコストを17～23%下げることができるだろうという。その見込みはいくつかの大企業の興味を引いた。2019年3月、オックスフォードPV社は中国の風力発電タービンメーカー大手のゴールドウィンド社（Goldwind）からの3100万ポンド（約40億円）など、合計7600万ポンド（約98億円）を調達した。

一方、ペロブスカイト単独モジュールを作っている企

業の大半が、（少なくとも当面は）主流の太陽電池パネル市場への参入は考えていないとしている。だから彼らは軽量のフィルム型太陽電池の開発に集中しているのだ。サウレテクノロジー社は2021年に柔軟なペロブスカイト単層フィルム型太陽電池を発売したいと考えている。ペロブスカイト関連の特許をオックスフォードPVに次いで世界で2番目に多く保有する積水化学工業は、2020年に柔軟なセルの販売を計画している。同社は、日本のエレクトロニクス巨大企業のパナソニックや東芝と共にNEDOのプロジェクトに参加している。

一部の企業はすでにペロブスカイト市場から撤退している。多国籍企業の写真フィルムメーカーである富士フィルムはペロブスカイト太陽電池関連の特許保有数は第3位だが、同社の広報担当者Shohei Kawasakiによると、同社はペロブスカイト太陽電池の基礎研究は行ったが、以降、太陽電池の開発も、製造に用いる材料の開発もしていないという。また、オーストラリアのペロブスカイト開発会社であるグレートセル・ソーラー社（GreatCell Solar）は、世界有数の太陽パネルメーカーであるジンコソーラー社（JinkoSolar；中国・上海）と提携していたが、ペロブスカイト施設の建設資金を十分に調達できずに2018年12月に倒産した。

これらの撤退は、ペロブスカイトの擁護者が期待するほど、その恩恵を受けるのは容易ではないことをほのめかしている。ここで重要になるのが野外での試験である。Grätzelは、もっと試験を行わなければならないと言う。彼は2018年の夏に鄂州のワンダーソーラー社の試験用地を訪れたときのことをこう振り返る。「外気温は28℃でしたが、パネルは70℃になっていました。私は汗をかいていましたが、パネルもそうでした。パネルがどうなるのか、もっとよく確かめる必要があります」。

（翻訳：三枝小夜子）

Perovskites on Trial

Vol. 570 (429-432) | 2019.6.27

Andy Extnance

(英国エクセターのフリーランスのライター)

1. Green, M. A. et al. *Progr. Photovoltaics*. **27**, 3–12 (2019).
2. Matsui, T. et al. *Adv. Mater.* **31**, 1806823 (2019).
3. Higuchi, H. & Negami, T. *Jap. J. Appl. Phys.* **57**, 8S3 (2018).
4. Saliba, M. et al. *Energ. Environ. Sci.* **9**, 1989–1997 (2016).
5. Arora, N. et al. *Science* **358**, 768–771 (2017).

極北のヒト系統

古代ゲノミクス

最終氷期、人類はシベリア北東部からアメリカ大陸に達した。古代人と現代人のゲノムを解析することにより、それらの地域に存在した人々の集団史が明らかになった。

シベリア極北東部は、古代人にとってはアメリカ大陸への玄関口であり、現代では多くの言語が使われ、多様な文化が根付いている地域だ。後期更新世（約12万6000年前から1万1700年前頃まで続いた氷期）、シベリアのこの地域は北米とつながっており、その陸橋および周辺地帯はベーリンジアとして知られる地域を形成していた。シベリア各地からベーリンジアにかけては狩猟採集民集団が広く分布し¹⁻³、マンモスなどの大型動物相やその他の動物が彼らの生活を支えていたと考えられている。このたび、コペンハーゲン大学（デンマーク）のMartin Sikoraらの研究グループ⁴と、オストラバ大学（チェコ）およびチェコ科学アカデミー（プラハ）、ロシア科学アカデミー（モスクワ）に所属するPavel Flegontovらの研究グループ⁵が、かつてシベリア北東部と北米北部に存在した人類集団の遺伝的足跡を調べて現代人集団との関係を解明し、それぞれ*Nature* 2019年6月13日号の182ページおよび236ページで報告した。Sikoraらは、その人類集団が過去4万年にわたって気候変動から受けた影響についても調べた。

Sikoraらの研究では、古代シベリア北東部の34人のゲノムデータを解析した。そのうち2人はロシアのヤナ RHS 遺跡（シベリアの極北東部で発見された3万1600年前の遺跡で、最古のヒトの骨が見つかった）に埋まっていたものであり、その他は9800～600年前のものだ。



図1 ベーリンジアでの古代人集団の移動

最終氷期には、ベーリンジアと呼ばれる陸地がシベリアとアメリカ大陸をつないでいた。この現代のシベリア・北米周辺地図では、ベーリンジアを淡青色で示している。Sikoraら⁴は、シベリア北東部の古代人の骨から採取したDNAを解析し、古代の北シベリア人と呼ぶ集団が、約2万6500～1万9000年前の最終氷期極大期にシベリアを出て、ベーリンジア南部（点線の楕円）などのもっと快適な地域へ移動した可能性が高いことを示唆している。彼らはアメリカ大陸に住んだ最初の人々（ファースト・ピープルズ）および後のシベリアの集団（古代の古シベリア人）の双方の祖先になった、とSikoraらは考えている。この2つの集団は東アジア人の血も引いている。古代の古シベリア人の集団がその後シベリア全体に広がった一方、ファースト・ピープルズはアメリカ大陸内へ広がり、両集団が分岐したのは約2万4000年前のことだったと推定されている。

最終氷期極大期（LGM；約2万6500～1万9000年前）以前のシベリア北東部のものとしてこれまでに収集されているゲノムデータは、ヤナの人々のもの以外にはない。ただし、シベリア中央部には、4万5000年も前にヒトが存在していた証拠がある⁶。

LGM以前のユーラシア人のゲノムデータは限られており、当時のヒトの多様性の全貌^{ぜんぼう}を理解することは困難である。Sikoraらの解析結果は、当時の人々は広域にわたって居住していたが、体系的であった（集団間に遺伝的な差があった）という考えを支持している。Sikoraらは、西ユーラシア人が東アジア人から分かれて間もない約3万8000年前に西ユーラシア人の集団から分岐した一団を「古代の北シベリア人（Ancient North Siberians；ANS）」と呼び、ヤナはこの分岐集団を代表するのではないかと考えている。

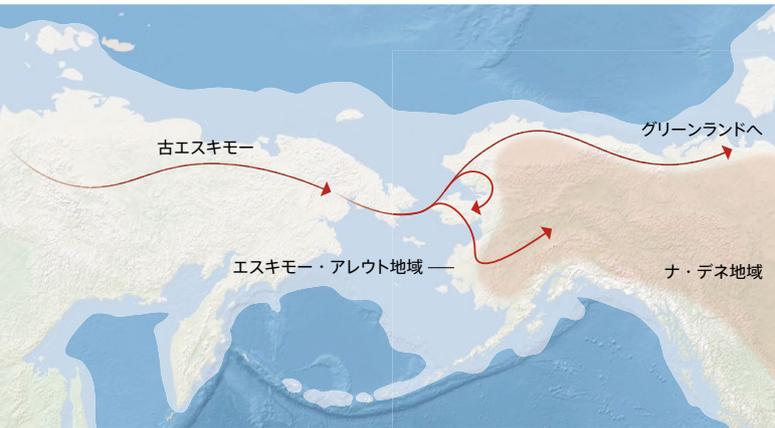


図2 シベリア北東部からアメリカ大陸極北域各地への古代人集団の移動

Flegontovら⁵は、アメリカ大陸極北域の古代人と現代人のDNAを解析した。その結果、古代のシベリア人の1集団が、約5000年前にシベリアからアメリカ大陸とグリーンランドへ移動した古エスキモー集団の祖先であることが明らかになった。古エスキモー集団は、現代のナ・デネ語族話者（ピンクで示した地域に居住）およびエスキモー・アレウト語族話者（ナ・デネ地域の周囲の地域に居住）の祖先の一部だったことが分かった。

ユーラシア・北米間に陸橋が存在したのは約3万4000～1万1000年前であり^{3,7}、3万～1万5000年前の間のどこかで人々がこの陸橋へ移住してきたと考えられている。古気候シミュレーションと遺伝子データを利用したSikoraらの考えによれば、ANSの少なくとも一部はLGMの間にベーリング南部へ移動し（図1）、その人々が、アメリカ大陸に居住した最初の集団（「ファースト・ピープルズ (First Peoples)」とも呼ばれる）、およびほぼ同時期に出現した別の集団（Sikoraらは「古代の古シベリア人 (Ancient Palaeo-Siberians)」と呼んでいる）の双方の祖先となった可能性がある。しかしながら、古代の古シベリア人には東アジア人のDNAの75%が含まれる一方で、ファースト・ピープルズには63%しか含まれておらず、古代の古シベリア人とファースト・ピープルズとの間には何らかの地理的境界があったことが示唆される。Sikoraらは、両集団は約2万4000年前に分岐したものと主張する。

LGMの後、陸橋の両側では、（他の地域と同様に）環境的、文化的な大変化が起こった。シベリアの考古学的証拠からは、マンモスの牙の払底と軌を一にして、道具の技術に変化が生じたことが明らかになっている⁸。この

ことは、Sikoraらの遺伝子データと共に、古代の古シベリア人集団が拡大した結果として、集団と文化に変化が起こったことを示している。その後、古代の古シベリア人は、1万1000～4000年前に、「新シベリア人 (Neo-Siberians)」と呼ばれる集団に取って代わられたか、あるいはその集団と混血し（て子孫をもうけ）た。

同じくLGMの直後に、ファースト・ピープルズは南方への移動を開始した^{9,10}。一方、北にとどまった集団もあり、Flegontovらはそうした集団のその後の歴史に注目した。具体的に言えば、考古学的に定義された複数の文化に属する人々の関係を調べたのだ。対象には、約5000年前以降にアメリカ大陸極北域の各地に広がった「古エスキモー (Palaeo-Eskimo)」および約800年前以降に集団が広がって古エスキモーに取って代わった可能性がある「新エスキモー (Neo-Eskimo)」が含まれる（図2）。Flegontovらは、そうした古代の集団が、エスキモー・アレウト語族やナ・デネ語族（共にアメリカ先住民の言語）などの言語を話す現代人集団とどのように関係するのかも調べた。

Flegontovらは、古代人48人、およびアラスカ北部に住んでいる現代のイヌピアット族について、ゲノム中の約124万カ所の一塩基多型 (SNP) を調べた。過去の研究¹¹では、古エスキモーが他の集団と混血したのかどうかについて議論が生じていた。Flegontovらのデータから、古エスキモーのDNA系統は確かに新エスキモー集団に受け継がれており、その集団の人々が現代のエスキモー・アレウト語族話者やナ・デネ語族話者の祖先の一部だったことが明らかになった。

今回の2編の論文では、古エスキモーの集団に関する解析と考察が行われた。Sikoraらがそのシベリアの祖先に注目した一方、Flegontovらは、古エスキモー集団がその後の北米の集団とどう関係するのかを調べた。Sikoraらは、古エスキモーの人々（グリーンランドに住んでいたサカク人1人を含む）が古代の古シベリア人系統と東アジア人系統の混血であることを明らかにしたが、Flegontovらはこのシベリアの系統を「原始古エスキモー (Proto-Palaeo-Eskimo)」系統と呼んでいる。また、2編の論文は共に、ベーリング海峡を越えて相互作用する古代人集団、およびシベリアへの集団の逆流に関する証拠も示している。Sikoraらは、古代の古シベリア人が現

代のナ・デネ語族話者にDNAを伝えたことを示唆しているが、Flegontovらとは異なりその由来は古エスキモーではなくシベリアの祖先だったと考えている。

2編の論文には、1つの限界がある。2組の研究チームによって解析されたDNA試料の一部は同じ遺跡のものであるとはいえ、同一個人の試料なのかどうかは判然としないのだ。これは、考古学的標本の研究ではありがちな問題である。この研究領域では、最初の発掘者が用いた識別の根拠を研究者に提供するよう推進する、一般的な行動規範が有用と考えられる。こうした行為で、研究間の比較と検証が可能になり、再生不可能な資源である考古学的遺物の破壊的な採取を適正に調節し最小限にとどめられるからだ。それに行動規範に基づけば、古代人の子孫が確実に試料採取の議論に参加するようになる可能性もある（実際に、Flegontovらは、研究の中でアラスカの住民集団に相談したことを記している）。

2件の研究は、どちらもシベリアと北米北部で起こった集団内、集団間の経時的相互作用の複雑さを示しただけでなく、気候変動の影響、具体的には、LGMに際して氷期の気候がどのように人々を「レフュジア（ヒトの生存が可能だった場所）」へ移動させたのか、そしてその後の氷の後退や気候の好転を受けて人々がどのように他の地域へ広がったのか、という点も明らかにしている。しかし、ヒト遺伝子データは、ヤナRHS遺跡にヒトが住み

始めた後、約2万年分が欠落している。考古学的には、これは巨大な空白だ。この年代のシベリアとベーリンジアのヒト集団について、遺伝的・文化的多様性をさらに知るためには、今後の研究の進展が必要である。

同じく、シベリア北東部のどこにレフュジアがあったのか、その地域はどのような環境条件だったのかを理解するためにも、さらなる研究が必要だ。とりわけ、ベーリンジアのレフュジアの集団構造はいかなるものだったのだろうか。それはベーリンジア停止仮説（LGMの時代、あるいは氷床が南方に拡大するLGM以前に、ファースト・ピープルズがベーリンジアに孤立した状態で最大約1万5000年間とどまっていたという説¹²）を支持するのだろうか。

いくつの人類移動の「波」がアメリカ大陸でのヒト集団の確立につながったのかに関しては、議論が続いている。今回の論文は、それがファースト・ピープルズ集団と古エスキモー集団のわずか2つだったことを示唆するものとして解釈される可能性がある。そうならば、この可能性と、一部のアマゾン集団がオーストロネシア語族話者（現在の東南アジア、オセアニア、およびマダガスカルに居住）とDNAを共有するとみられるという説^{13,14}とを、どのようにして一致させるのだろうか。ベーリンジアのレフュジアの集団もその血を引いていたのだろうか。さらに、シベリア北東部とアメリカ大陸極北部では、環境変化と人類移動と文化的・遺伝的適応とがどのように相互作用したのだろうか。今回の2件の研究は、ベーリング海峡の近辺に住んでいた古代人について理解しようとする際の道しるべになるだろう。

（翻訳：小林盛方）

Human lineages in the far north

Vol. 570 (170–172) | 2019.6.13

Anne C. Stone

アリゾナ州立大学（米国）に所属

1. Nogués-Bravo, D. et al. *PLoS Biol.* **6**, e79 (2008).
2. Pitulko, V. et al. *Quat. Sci. Rev.* **165**, 127–148 (2017).
3. Hoffecker, J. F. et al. *Evol. Anthropol.* **25**, 64–78 (2016).
4. Sikora, M. et al. *Nature* **570**, 182–188 (2019).
5. Flegontov, P. et al. *Nature* **570**, 236–240 (2019).
6. Pitulko, V. V. et al. *Science* **351**, 260–263 (2016).
7. Hu, A. et al. *Nature Geosci.* **3**, 118–121 (2010).
8. Pitulko, V. V. & Nikolskiy, P. A. *World Archaeol.* **44**, 21–42 (2012).
9. Fagundes, N. J. R. et al. *Am. J. Hum. Genet.* **82**, 583–592 (2008).
10. Goebel, T. et al. *Science* **319**, 1497–1502 (2008).
11. Raghavan, M. et al. *Science* **345**, 1255832 (2014).
12. Tamm, E. et al. *PLoS ONE* **2**, e829 (2007).
13. Raghavan, M. et al. *Science* **349**, aab3884 (2015).
14. Skoglund, P. et al. *Nature* **525**, 104–108 (2015).



プレートテクトニクス の発展に堆積物が 貢献

地球物理学

地球のプレートテクトニクスの出現と発展は、大陸の隆起と、大陸縁と海溝での堆積物の蓄積が関係していたという、斬新なアイデアの証拠を与える研究結果が報告された。

プレートテクトニクスと呼ばれる惑星進化の形態を示す太陽系の惑星は、地球だけだ。この様式の惑星冷却では、対流するマントルが、リソスフェア（岩石圏）と呼ばれる、地球表層の比較的固い殻の部分を通じて熱を伝える。この殻は、拡大中心（2つの離れていくプレートの境界）で作られ、沈み込み帯（サブダクションゾーン；1つのプレートがもう1つのプレートの下に沈み込んでいる領域）でマントルに再利用される。地球の惑星冷却はどのようにしてこの様式で起こっているのか、プレートテクトニクスの現在の時代はいつ始まったのかに関しては、今も議論が続いている¹⁻³。ドイツ地球科学研究センター地球力学モデリング部門（ポツダム）のStephan V. Sobolevとメリーランド大学地質学科（米国カレッジパーク）のMichael Brownは今回、これらの疑問に関する答えを*Nature* 2019年6月6日号52ページで提案した⁴。彼らの仮説は、地球や他の惑星の内部ダイナミクスと表面プロセス（気候と大気のプロセスを含む）の関係を理解するための基礎になる可能性がある。

沈み込みは、地球のプレート運動を引き起こす主要な現象の1つであり、このため、地球の熱損失を引き起こす主要な現象の1つでもある。プレートが速く動けば冷却は強まる。対照的に、もしもプレートが遅くなるか、止まったら、熱はマントルの中に閉じ込められ、冷却は弱まる。沈み込みが進む速度は、少数の因子に依存する^{5,6}。これらの因子は、沈み込むプレートの材料強度や、沈み込むプレートと上になるプレートの境界の強度を含む（図1）。

プレート境界の強度は、沈み込んでいる材料の組成に特に左右されやすいパラメーターだ^{7,8}。例えば、海洋の地殻を特徴付ける、マグネシウムや鉄に富む火成岩（溶岩やマグマの凝固で形成された岩石）は乾いて強く、沈み込む速度は遅くなる⁸。対照的に、主に大陸の浸食でもたらされ、海洋地殻の上に堆積した堆積物の被覆は湿って弱く、沈み込みは加速される。これは堆積物潤滑と呼ばれるプロセスだ。このプロセスは、現代のいくつかの沈み込み帯のダイナミクスに影響した可能性があり、そうした沈み込み帯には、アンデス山脈^{7,9}やヒマラヤ山脈⁸に関係する沈み込み帯がある。

SobolevとBrownは、初期の地球（約45億～20億年前）のダイナミクスにおける堆積物潤滑の潜在的な役割を調べた。彼らは、地質記録でよく確立されている地球規模の氷期（地球表面の大部分が氷に覆われた期間）を検討した。彼らは、これらの氷期は、新興の大陸の強い風化と浸食をもたらしたと指摘する。さらに彼らは、風化と浸食による大陸縁辺での堆積物の供給は、沈み込むプレートと上になるプレートの境界を滑らかにする働きをし、このため、地球のプレートテクトニクスの現在の時代の開始を促したという仮説を立てた。SobolevとBrownはこの仮説を立証するため、沈み込み主導プレートテクトニクスの活動と、大陸由来の堆積物の海洋への供給との相関を、時間を追って探した。

SobolevとBrownは、沈み込みの活発さの指標として、造山帯の累積長さ（大陸衝突の頻度を反映すると彼らは解釈した）を記述するデータセットや、「対になった変成帯」の発生を記述するデータセットなど、いくつかの既存のデータセットで時間変動を比較した。対になった変成帯は、同様の年代ではあるが対照的な鉱物集合体である変成岩（既存の岩が極端な熱や圧力を受けて形成された岩）の平行な細長い分布からなる。対になった変成帯

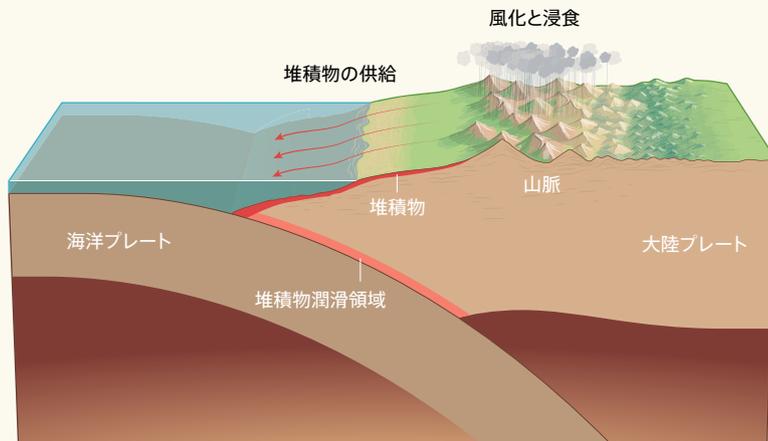


図1 堆積物循環と初期の地球のダイナミクス

地球表面の大部分が氷に覆われた全球的氷期の後、大陸の山脈は強い風化と浸食にさらされた。SobolevとBrownは、こうしたプロセスで作られた堆積物が沈み込み帯（1つのプレートがもう1つのプレートの下に沈み込んでいる領域）に供給されたという仮説を立てた⁴。この図に示された沈み込み帯の場合、海洋プレートと大陸プレートからなる。SobolevとBrownは、堆積物がこれらのプレートの境界を滑らかにし、プレートテクトニクスの現在の時代の開始を促したと提案した。

は、非対称な沈み込みの証拠だと長く考えられてきた¹⁰。彼らは、海洋への堆積物供給の指標として、地殻材料（堆積物を代表する）とマントル材料が、海水と火山岩に及ぼす相対的な地球化学的影響を調べた。

SobolevとBrownの研究の価値は、地球規模で収集されたデータセットを結び付けて統一された仮説を作り上げたことだ。これらのデータセットのそれぞれは、本来的に複雑で、その解釈について意見は分かれている。しかし、結合されたデータセットは、地質年代において3つのはっきりしたピークを示すようだ。これらのピークの1つは、海面上への大陸の出現と同時期だ。また、3つのピークは全て、地球規模の氷期とおおむね同時に起こっているようだ。各ピークの後、超大陸と呼ばれる大陸塊の集合が起こったらしい。おそらくプレート運動の活発化によって駆動されたのだろう。

SobolevとBrownによって提案された概念は非常に興味深い、それを検証するためにはさらに多くの研究が必要だ。今後の研究の重要な課題は、堆積物潤滑と山脈形成の間のフィードバックを定量化することだ。例えば、上になるプレートで隆起した地形が発達すると、プレート境界の摩擦抵抗を増やし、プレート速度を遅くする^{11,12}。しかし、同時に、山脈の成長は表面の浸食を引き起こし、堆積物供給を増やす。さらに、火山活動と沈み込み帯での炭素の埋没は地球全体の気候に影響し、浸食にも影響する。特定のタイムスケールでこれらのプロセスのどれ

が支配的なのか、また、プロセス同士がどのように結び付いているのかはよく分かっていない。

堆積物の流量と収支（入力と出力の差）、大陸の山脈から沈み込み帯の海溝への堆積物の地球化学的トレーサーを調べることも価値があるだろう。そうした研究では、初期の地球のリソスフェアと気候が現在とどのように異なるかを考慮することが必要だろう。地質学の観点からは、沈み込む岩の物理的特徴の変化が境界の性質にもたらす影響を定量化するために、浅い（摩擦のある）プレート境界と深い（粘性のある）プレート境界の両方について、自然の岩と実験による材料強度のさらなる情報が必要だ。■

（翻訳：新庄直樹）

Earth's evolution explored

Vol. 570 (38–39) | 2019.6.6

Whitney Behr

チューリヒ工科大学地球科学科地質学研究所（スイス）に所属

1. Korenaga, J. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* **41**, 117–151 (2013).
2. Sleep, N. H. *J. Geophys. Res.* **105**, 17563–17578 (2000).
3. Bercovici, D., Tackley, P. J. & Ricard, Y. in *Treatise on Geophysics*, Vol. 7, 271–318 (Elsevier, 2015).
4. Sobolev, S. V. & Brown, M. *Nature* **570**, 52–57 (2019).
5. Conrad, C. P. & Hager, B. H. *J. Geophys. Res. Solid Earth* **104**, 17551–17571 (1999).
6. King, S. D. & Hager, B. H. *Geophys. Res. Lett.* **17**, 2409–2412 (1990).
7. Lamb, S. & Davis, P. *Nature* **425**, 792–797 (2003).
8. Behr, W. M. & Becker, T. W. *Earth Planet. Sci. Lett.* **502**, 166–173 (2018).
9. Sobolev, S. V. & Babeyko, A. Y. *Geology* **33**, 617–620 (2005).
10. Miyashiro, A. *J. Petrol.* **2**, 277–311 (1961).
11. Iaffaldano, G., Bunge, H.-P. & Dixon, T. H. *Geology* **34**, 893–896 (2006).
12. Meade, B. J. & Conrad, C. P. *Earth Planet. Sci. Lett.* **275**, 93–101 (2008).

いたずらな微生物

..... 微生物学

細菌が医薬品を代謝できるかどうか、さまざまな腸内細菌と広範な種類の医薬品について試験したところ、全ての細菌が複数の医薬品を代謝し、さらに、半数を超える医薬品が代謝されることが分かった。

全ての人にはそれぞれ違いがあり、薬物治療に対する反応にも、当然、個人差がある。通常、この差は主に、摂取した分子の解毒に特化した肝酵素の違いによるものと考えられている。そのような酵素は医薬品を代謝することがあり、その結果、医薬品の効果が低下もしくは消失したり、毒性が現れたりする。従って、ある医薬品に個人がどのように反応するかを知っておくことは、治療計画を立てる上で重要だ。しかし、この分野については古くから研究されてきたにもかかわらず、体内における医薬品の運命に関する我々の知識は依然として初歩的なものである。このほど、医薬品がどのように代謝されるかを理解するために、エール大学医学系大学院（米国コネチカット州ニューヘイブン）のMichael Zimmermannら¹はヒトの腸内細菌にスポットライトを当て、*Nature* 2019年6月27日号462ページで報告した。

腸内に生息する細菌の集団、すなわち腸内細菌叢が医薬品に影響を及ぼし得ることが明らかにされている例は、これまでほんの一握りしかない。古典的な例は、広く使われるようになった最初の抗生物質であるプロントジルだ。1930年代に微生物学者Gerhard Domagkは、プロントジルがマウスの化膿連鎖球菌 (*Streptococcus pyogenes*)

感染症に有効であることを発見した²。その後、プロントジルは腸内細菌によって代謝され、抗菌活性を持つ分子であるスルファニルアミドに変換されることが明らかになった³。興味深いことに、もし化膿連鎖球菌に対するプロントジルの抗菌活性を今日のように試験管内で評価していたとしたら、抗生物質を生み出すその能力は見逃されていただろう。

腸内細菌が医薬品に影響を及ぼす別の例として、心疾患の治療に使われているジゴキシンの微生物による不活性化⁴、中毒性副作用を引き起こす化学療法薬イリノテカンの細菌による修飾⁵などが挙げられる。今回、Zimmermannらは、腸内細菌叢による医薬品の代謝がどれほど広範に起こっているのかという未解決の問題に取り組むため、大規模なアプローチを考案した。

Zimmermannらはまず、主要な細菌分類群を網羅した68種にわたる76のヒト腸内細菌株について、271種類の医薬品を代謝する能力をin vitroで評価した(図1)。対象とした医薬品の分子構造や効能分類は多種多様である。Zimmermannらは、試験した医薬品のうち176種類が少なくとも1つの細菌株に代謝され、活性分子濃度の有意な低下が見られたと報告している。また、試験したどの細菌株も複数(11~95種類)の医薬品を代謝した。試験が多種多様な医薬品について行われたことを考えると、この結果は注目に値する。なぜなら、医薬品の大半は腸内細菌叢によって代謝される可能性があることを示しているからだ。この種の試験は、腸内細菌叢によって不活性化される可能性が高い医薬品を知るためにも有用な方法となるだろう。

次にZimmermannらは、代謝された176種類の医薬品の代謝産物を質量分析法で解析した。その結果、これらの医薬品に由来する868種類の分子が明らかになった。この数は、腸内細菌による代謝によって、一部の医薬品からは複数の代謝産物が生成し得ることを示している。また、生じた多様な化学修飾の種類(酸化、還元、アセチル化[C₂H₅O基の付加]など)も明らかにした。医薬品に対するこの予想外に多様な修飾の全貌解明^{ぜんぼう}までには、もちろん、まだしばらく時間がかかるだろう。Zimmermannらは差し当たり、いくつかのケースを選んで薬物代謝の詳細を検討し、報告している。

さらに薬物代謝に関与している細菌酵素を同定するため

に、Zimmermannらは腸内細菌バクテロイデス・テタイオタオミクロン (*Bacteroides thetaiotaomicron*) をピックアップして詳細に検討した。B. テタイオタオミクロンは、試験した医薬品のうち46種類という多くの医薬品を代謝した細菌である。Zimmermannらは、B. テタイオタオミクロンが高血圧の治療薬ジルチアゼムをどのように代謝するかを調べた。まず、B. テタイオタオミクロンのゲノム塩基配列の一部を発現するように大腸菌 (*Escherichia coli*) を操作し、大腸菌がジルチアゼムを代謝できるかどうかを試験した。その結果、ジルチアゼムの代謝にはB. テタイオタオミクロンの *bt4096* 遺伝子が必要であることが分かった。

これを裏付けるために、ZimmermannらはB. テタイオタオミクロンを操作して *bt4096* を欠損させた菌株を作製し、欠損型または野生型B. テタイオタオミクロンのいずれかを無菌マウスに感染させた後、全てのマウスにジルチアゼムを投与した。これにより、*bt4096* がジルチアゼムを代謝する酵素をコードしていることが確認できた。同様のアプローチにより、B. テタイオタオミクロンが修飾できる医薬品のうち18種類について、その代謝に必要な遺伝子が同定された。

このような戦略により、臨床で使用されている医薬品や開発中の治療用分子を代謝できる腸内細菌酵素の同定が、一般に可能となるはずである。そうした情報はまた、

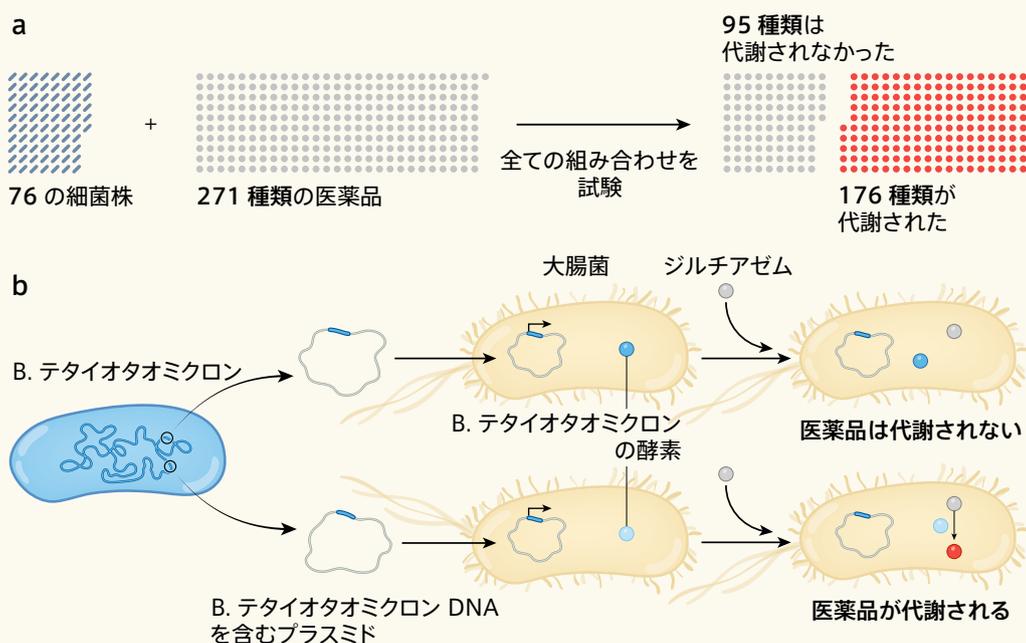


図1 腸内細菌による薬物代謝の研究

- a ヒトの腸内細菌による医薬品の代謝がどれほど広範に起こっているのかを調べるために、Zimmermannら¹は主要な細菌分類群を網羅した68種にわたる76の細菌株について、多様な構造と機能を持つ271種類の医薬品を代謝する能力を試験した。その結果、試験した医薬品のうち65%が代謝を受けることが明らかになった。これは予想外に高い数値である。一部の医薬品からは複数の代謝産物が生成し、どの細菌も試験した医薬品のうち複数種を代謝した。
- b 薬物代謝に関与している細菌酵素を同定するために、Zimmermannらは多くの医薬品を代謝した腸内細菌バクテロイデス・テタイオタオミクロン (*Bacteroides thetaiotaomicron*) に注目した。まず、B. テタイオタオミクロンのゲノム断片を単離し、それらをプラスミドと呼ばれる小型の環状DNAに挿入して大腸菌 (*E. coli*) に導入した。操作された大腸菌はB. テタイオタオミクロンのDNAにコードされている酵素などのタンパク質を発現した。これらの大腸菌を試験した医薬品の1つであるジルチアゼムに曝露させると、一部の大腸菌はジルチアゼムを代謝しなかったが、ジルチアゼムを代謝した大腸菌の解析から、代謝に関与しているB. テタイオタオミクロンの酵素を同定することができた。



KATERINA KONN/SPL/GETTY

治験薬の臨床試験の際に、薬物を不活性化させやすい腸内細菌を被験者が保有しているかどうかを調べる場合にも有用だろう。

Zimmermannらの研究は、体内の薬物動態に関する我々の理解を大きく進めるものである。そして薬物代謝に対する微生物の影響を研究する新興領域において、今後の研究の出発点ともなるだろう。しかし、せっかちな読者はすでにお気付きかと思うが、この研究の着眼点と規模は見事なものとはいえ、多くの疑問点が残されている。考慮すべき問題の1つは、多くの医薬品が経口ではなく注射によって投与されており、腸内細菌に接触するとは考えられないということだ（注射剤の中には、腸に入ってから血流中に再吸収されるものもあるが）。ただ、一般的に医薬品は経口投与が好まれる傾向があり、経口投与を促進する先進的な手法も開発されつつある^{6,7}。そのうち、注射剤の使用から経口投与への大規模な移行が起こるかもしれない。そうなったら、薬物代謝における腸内細菌叢の役割の理解は、今にも増して喫緊の課題となってくるわけだ。

細菌叢が人体に影響を及ぼす機構のリストは増えつつあるが、今回、そこに腸内細菌による薬物代謝が付け加わることになる。腸内細菌叢にはかなり大きな個人差が

認められ、それがおそらく薬物代謝の個人差にも関係している。さらに、腸内細菌叢の組成は食事によって大きな影響を受ける可能性がある⁸。食事は、腸内細菌叢に影響を与えることで、医薬品の効果にも影響を及ぼすだろうか？ このような問題は、個別化医療を行うに当たって患者の細菌叢を考慮することの複雑さを際立たせている。この分野が向かう先はおそらく、患者の腸内細菌叢の薬物代謝に対する個別アプローチをはじめ、細菌叢を目的に応じて適応させることだろう。

（翻訳：藤山与一）

Metabolic mischief as microbes target drugs

Vol. 570 (453–454) | 2019.6.27

Kim Lewis & Philip Strandwitz

Kim Lewis はノースイースタン大学
(米国マサチューセッツ州ボストン) に所属、
Philip Strandwitz はホロバイオーム社
(米国マサチューセッツ州ケンブリッジ) に所属

1. Zimmermann, M. et al. *Nature* **570**, 462–467 (2019).
2. Domagk, G. *Dtsch. Med. Wochenschr.* **61**, 250–253 (1935).
3. Tréfouël, J. et al. *C. R. Soc. Biol.* **120**, 756–758 (1935).
4. Haiser, H. J. et al. *Science* **341**, 295–298 (2013).
5. Guthrie, L. et al. *NPJ Biofilms Microbiomes* **3**, 27 (2017).
6. Abramson, A. et al. *Science* **363**, 611–615 (2019).
7. Banerjee, A. et al. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **115**, 7296–7301 (2018).
8. David, L. A. et al. *Nature* **505**, 559–563 (2014).

国際疾病分類に伝統医学を組み入れることへの懸念

世界保健機関（WHO）は、国際疾病分類の第11回改訂版（ICD-11）に伝統中国医学を組み入れる決定を下した。これが思わぬ事態を招くのではないかと危惧されている。

伝統中国医学（TCM、中医学とも略される）で使用される薬に対する需要の高まりは、厄介な状況を引き起こしている。その原料となる動物の生息を脅かしており、中国では、ロバの個体数が激減し、トラやサイ、タツノオトシゴ、センザンコウなどの種が絶滅の危機に瀕している。

厄介な状況はそれだけではない。こうした動物由来の製剤が所定の効果をもたらすことを示す証拠がほとんど得られていないのだ。TCMは、経路と気という科学的に証明されていない理論に基づいており、欧米で教育を受けて経験を積んだ医師や医学研究者の多くは、TCMの医療行為を懐疑的に捉えている。ほとんどのTCMは、奏功するという確たる証拠がなく、いくつかのTCMが有害なことを示す証拠すら存在している。

また、中国政府からのTCMに関するメッセージは一貫していない。一方で、根拠に基づいた医療に対する信念を宣伝し、TCMの近代化と標準化のためのプログラムに数百万円を投資している。これは歓迎すべきことだが、これまでのところ、こうしたプログラムでTCMの治療法にうわべの正当性が備わっただけで、無作為化比較臨床試験による厳密な検証は実施されていない。他方で、TCMをビッグビジネスと位置付けて、強力に支援している。全世界でTCMの積極的なプロモーションが行われており、「一帯一路」構想と表裏一体になっていることが多い。おまけに国内ではTCMへの批判を抑圧している。

このように一貫性に欠けたメッセージを、世界保健機関（WHO）も発しており、懸念が生じている。WHOは、2019年5月25日に国際疾病分類（ICD）の第11回改訂版（ICD-11）を採択した。ICDは、病状・疾患を分類し、コードを付与した文書で、非常に大きな影響力を持っている。ICDは全世界で、医師が疾患を診断する方法を決める際や、保険会社が治療費を支払うかどうかを決定する際に使用されているの

だ。最新版（ICD-11）に、TCMに関する章が初めて設けられた。これを積極的に推進したのが、マーガレット・チャン前WHO事務局長だった。TCMの医師は、この章がTCMの国際的普及にとって極めて重要だと称賛している。

ところが、WHOに他の分野から大量の批判が寄せられた。これに対して、WHOはその立場を弁明し、4月4日の声明で、TCMの章は特定の治療法を論じるのではなく、むしろ、医師にTCMと西洋医学の両方を用いて患者を診断する機会を与えることを意図したものだとして強く主張した。声明には、これらの分類は、「いかなる形態の治療法に言及するものでも、支持するものでもない」と記されている。

伝統医学を否定すべきでないことは確かだ。世界の多くの地域で、伝統医学しか利用できない状況が生じているからだ。命を救う治療薬の一部は天然物でできており、そのような治療薬がもっと見つかるであろうことに疑いの余地はない。そうであっても、ICD-11の伝統医学に関する章は思わぬ事態を招く可能性が高い。この章は、広範囲にわたって詳細に記述されているため、科学的に証明されていない根本原理を正当化してしまうリスクがある。この章には、診断基準しか記述されていないのかもしれないが、TCMに関連付けられている疾患とひとたび診断されれば、TCMにおける治療薬が処方される可能性が非常に高い。

根拠に基づいた方法で医療を拡大させたいという願望には誰もが共感できる。TCMに関する証拠の収集を進めるには、持続的で綿密な基礎研究と臨床研究を行い、TCMによる医療行為の中から有害なもの、有望なもの、プラシーボ効果を持つだけのものを選び分ける必要がある。国際疾病分類が改訂された今、そのような研究を早急に行う必要がある。■

（翻訳：菊川要）

ワームワイドウェブ：両方の性の *C. elegans* の神経系の完全なマッピング

神経系の構成要素がどのように接続されているか知ることは、神経系が機能する仕組みの理解に不可欠である。今回 S. Emmons らは、線虫の一種である *Caenorhabditis elegans* の両方の性（雄と雌雄同体）の完全な配線図を示している。この神経地図、つまりコネクトームは、影響力の大きかった1986年の文献を更新するもので、新たな電子顕微鏡画像と以前出版された電子顕微鏡画像から作られ、感覚入力から末端器官への出力まで線虫の全ての接続を含んでいる。この地図によって、各シナプスの位置を決定して、それぞれの接続の強さの間接的測定を、構成シナプスの物理的なサイズに基づいて割り当てられるようになった。また、この地図によって雄と雌雄同体を直接比較することができるようになり、著者らは雄と雌雄同体の間で接続の約30%が大きく異なっている可能性があると思積もっている。これら2つのコネクトームは、線虫の行動に関する神経回路の特定に役立つはずである。 Cover; 10.1038/s41586-019-1352-7



分子生物学：DNAの損傷がヌクレオソームをこっそり滑らせる

真核生物では、DNAがヒストンタンパク質八量体の周りに巻き付いてヌクレオソームを形成することによって、その凝縮が円滑に進み、安定性が高まる。DNAの損傷はゲノムのあらゆる場所に起こるが、DNAがヌクレオソーム構造中にある場合に、修復タンパク質が損傷部位を認識して接近する仕組みは不明である。N. Thomä らは今回、DNA修復因子であるUV損傷DNA結合タンパク質 (UV-DDB) について、さまざまなDNA損傷に結合した場合の構造を解明した。それによって、「外側」に面した損傷はヌクレオソームをゆがめることなく容易に認識されるが、ヒストン側に向けた損傷の場合はヌクレオソームの位置を並行移動によってずらし、損傷を露出させてから結合することが分かった。 10.1038/s41586-019-1259-3

物性物理学：グラフェンにおけるスピン-軌道結合に基づくトポロジカル相

グラフェンの電子バンド構造を調整することによって、例えばねじれ二層グラフェンにおける超伝導のような、通常とは異なる特性が現れる。グラフェンのバンド構造を変化させる別の方法は、トポロジカル絶縁体の観測に必要なバンド反転の主要因

である弱い固有スピン-軌道結合を増強することである。今回 A. Young らは、ファンデルワールスヘテロ構造における近接効果によってより強いスピン-軌道結合を誘起し、その結果として二層グラフェンに生じたバンド反転と非圧縮性ギャップ相を観測している。著者らは電場を用いて、自明な絶縁体相と、スピンフィルターされたエッジ状態を特徴とする新しい相の間の転移を調整した。今回の結果によって、脆弱なトポロジーの実験的証拠が初めて示され、グラフェンにおけるスピン-軌道効果の探究が可能になった。 10.1038/s41586-019-1304-2

免疫学：性器ヘルペスウイルス感染における防御機構

性感染症 (STI) に対するワクチンは、ヒト免疫不全ウイルス1型 (HIV-1) や単純ヘルペスウイルス2型 (HSV-2) などによる一般的なSTIの拡大を防ぐことができていない。岩崎明子 (米国エール大学医学系大学院ほか) らは今回、性器ヘルペスウイルス感染マウスモデルを用いて、弱毒化したHSV-2による初回免疫では、記憶B細胞や形質細胞が、脾臓や循環血中に高レベルで見られるにもかかわらず、雌性生殖管には誘導されないことを示している。しかし、次に野生型HSV-2を感作すると、循環血中の記憶B細胞の雌性生殖管への迅速な誘導とウイルス特異的抗体の分泌が促進された。この研究から、STIワクチンの成功を決定する要因は血清抗体価に依存していないこと、また、雌性生殖管に記憶B細胞を誘導できるワクチン接種戦略開発の必要性が示された。 10.1038/s41586-019-1285-1

腫瘍生物学：UDPグルコースは腫瘍抑制性代謝物である

今回、EGFシグナル伝達が代謝物であるUDPグルコースを減少させることが報告されている。これによってRNA結合タンパク質HuRのRNA結合ドメインへのUDPグルコースの結合が減少して、HuRによる *SNAI1* mRNAの安定性の減弱が阻害される。その結果、SNAIL発現が増加して腫瘍細胞の移動や肺がんの転移が促進される。従って、発がん性シグナル伝達がない状態では、UDPグルコースは腫瘍抑制性の代謝物として働いているといえる。 10.1038/s41586-019-1340-y

生態学：鳥類の侵入に対する環境的制約

外来種の個体群は増加の一途をたどり、その速度はますます高まっている。しかし、新たな場所で存続可能な個体群の確立に成功する外来生物と、それに失敗する外来生物がいる理由は、いまだ明らかにされていない。今回 T. Blackburn らは、708種の鳥類による4346件の導入事象についての全球的なデータを調べ、導入の成功を左右する決定要因を評価した。その結果、外来個体群の確立の成功においては環境が最も重要

な決定要因となることが明らかになった。つまり、環境条件が当該種の本来の生息域によく似ている場所で確立の成功率が最も高かったのである。同じく重要なのは他の外来種の存在で、すでに他の外来種集団が存在する場所では、新たな導入種の個体群確立の成功が促進されることが分かった。この知見は、現在の人為的な環境変化の軌跡が将来の外来種の侵入を促進する可能性が極めて高いことを示唆している。

10.1038/s41586-019-1292-2

TIM M BLACKBURN



ホシムクドリ (*Sturnus vulgaris*) はヨーロッパ原産だが、現在では南アフリカ、ニュージーランド、北米など、世界各地に外来種として分布している。特に北米への導入は、この鳥がシェークスピアの作品に登場することが理由であった。

2019年7月11日号 | Vol. 571 No.7764

うたた寝の記録：魚類とヒトの睡眠に共通する性質が神経信号から明らかになった

魚類にとって眠りとはどのようなものなのだろうか。今回 P. Mourrain と L. Leung らは、この問題に取り組んでいる。哺乳類、鳥類、爬虫類では、さまざまな段階の睡眠が特定され、特徴付けられているが、それが魚類などの他の脊椎動物にも当てはまるかどうかは分かっていなかった。著者らは、非侵襲的な分子ツール、画像化ツール、生理学的ツールを用い



てゼブラフィッシュの神経シグネチャーを観測し、少なくとも2つの異なる睡眠状態を特定できたことを報告している。これらの状態は、他の生物に見られる徐波睡眠状態および急速眼球運動睡眠状態と類似している。魚類においてこうした特徴が特定されたことから、これらの睡眠状態は、4億5000万年以上に脊椎動物の脳に現れた可能性が示唆された。

Cover; 10.1038/s41586-019-1336-7

神経科学：老化した脳では炎症が幹細胞機能に影響を及ぼす

哺乳類の脳の神経発生領域には、活性化にตอบสนองして新しいニューロンを作り出すことのできる幹細胞が含まれている。ニューロンの新生能は加齢に伴って低下するが、その理由は分かっていない。A. Brunet らは今回、若齢マウスと老齢マウスの神経発生ニッチについて単一細胞 RNA 塩基配列解読を行い、老化したニッチではT細胞が増加していることを明らかにしている。これらのT細胞は血液中に存在するT細胞とは異なり、インターフェロン γ を発現していて、これが老化した神経幹細胞における炎症性シグナル伝達応答の増大と相関する。これらの知見は、加齢に伴う脳の障害を防ぐための有望な将来の道を開くものである。 10.1038/s41586-019-1362-5

免疫学：CD8 T細胞疲弊の調節

T細胞疲弊は、多くの慢性感染やがんにおいて生じるT細胞の機能不全状態である。T細胞疲弊は、限定されたエフェクター機能、抑制性受容体の持続的な発現、機能的なエフェクターT細胞や記憶T細胞とは異なる転写状態によって特徴付けられる。今回 E. Wherry ら、A. Schietinger ら、D. Zehn らの3つの研究グループが、異なる慢性ウイルス感染やがんのマウスモデルを用いて、HMGボックス転写因子TOXが疲弊T細胞の非常に重要な調節因子であることを明らかにしている。TOX調節の根底をなす機構やTOXの作用機序について得られた知見は、免疫療法の新たな戦略を開発するための基盤となる可能性がある。 10.1038/s41586-019-1325-x; 10.1038/s41586-019-1326-9; 10.1038/s41586-019-1324-y

遺伝子工学：免疫過程に助けられてジャンプする遺伝子

細菌のCRISPR-Cas系の主な機能は、外来性の核酸を認識して分解することである。そのため、この系は進化史の早い時期に生じた免疫過程の1つと見なされてきた。S. Sternberg らは今回、この系が可動性DNA因子の組み込みも仲介できることを明らかにしている。コレラ菌 (*Vibrio cholerae*) のTn7様トランスポゾンが大腸菌 (*Escherichia coli*) ゲノムへ組み込むには、RNA誘導型CRISPR Cascade複合体とTn7

様トランスポゾンにコードされるTniQタンパク質が必要であることが分かった。これらの知見からすると、ガイドRNAに支援されたターゲティングを用いて、標的DNAに二本鎖切断箇所を作らずにゲノムを操作するための方法はもっとたくさんあると考えられる。 [10.1038/s41586-019-1323-z](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1323-z)

物性物理学：磁気単極子の動きを検出する

磁気単極子は、凝縮物質系において準粒子として実現できるが、素粒子としての磁気単極子の存在はこれまで単なる仮説であった。磁気単極子は、パイロクロア型酸化物においてかなり間接的な手法を使うことで測定されている。今回J. Davisらは、磁気単極子が超伝導ループを通過することに起因する磁束の量子化された変化を調べる、より直接的な検出法を用いている。磁気単極子の特徴を磁束の雑音から推定することによって、観測された磁荷のダイナミクスを提案されているいくつかの理論の1つに限定することができた。磁気単極子の検出に必要な実験技術を開発すれば、磁性量子流体の研究が将来可能になるだろう。 [10.1038/s41586-019-1358-1](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1358-1)

生化学：タンパク質-無機ハイブリッド材料

タンパク質の設計は多くの形で生物学に影響を与えており、基本的な集合原理を理解することによって望みの機能を持つタンパク質を一から作製できることを示している。今回D. Bakerらは、この方法を生物無機材料用に調整できることを示している。生体鉱物化作用（バイオミネラリゼーション）のある種の逆過程によって、タンパク質が雲母の(001)表面に結合して自己集合アレイを形成するよう設計された。こうしたタンパク質アレイは雲母上で数十ミリメートルのサイズに及び、タンパク質1個分の幅のワイヤーやさまざまなサイズの六角形アレイを形成するよう設計することができる。この設計原理を基にすれば、多様なタンパク質-無機ハイブリッド材料が実現されるはずである。 [10.1038/s41586-019-1361-6](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1361-6)

細胞生物学：Smoothenedを介するシグナル伝達

Smoothenedは、クラスFのGタンパク質共役受容体で、発生やがんの生物学的性質に重要なHedgehogシグナル伝達に関わっている。受容体PatchedがSmoothenedを活性化してHedgehogシグナル伝達を引き起こすことは知られているが、PatchedとSmoothenedの相互作用の仕組みは分かっていない。今回2つの研究によって、ステロールがSmoothenedをその膜貫通ドメインを介して活性化することが明らかにされた。A. Manglikらは構造データと機能データを示し、コレステロールがSmoothenedを活性化し、この過

程には細胞外のシステインリッチドメインは必要ないと示唆している。一方、X. Liらは24,25-エポキシコレステロールがPatchedの内在性リガンドであることを報告し、クライオ（極低温）電子顕微鏡を使って、Smoothenedが活性化されてGタンパク質シグナル伝達が開始可能となる仕組みを解明している。 [10.1038/s41586-019-1286-0](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1286-0); [10.1038/s41586-019-1355-4](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1355-4)

2019年7月18日号 | Vol. 571 No.7765

量子論理：原子のエンタングルした電子スピンに基づく2キュービット交換ゲート

リン原子の電子スピンに基づく量子ビット（キュービット）は、量子コンピューティングのプラットフォームとして大いに有望である。プロセッサの構成要素である論理ゲートを作るには、電子スピン同士をすぐ近くに置いて、強い相互作用と高速ゲート動作を可能にする。シリコン量子ドットでエンタングルメントが実現されているが、原子キュービットに束縛された2つの電子の間の相互作用の実現は難しかった。今回M. Simmonsらは、シリコンにおいてドナーのリン原子の電子間のナノ秒2キュービット交換ゲートについて報告している。著者らは、キュービットの配置とそれに付随する制御回路を原子スケールで操作して、スピン状態の忠実度の高い読み出しを達成することによって、このゲートを実現している。この高速交換ゲートが作られたことで、シリコンでの電子スピンキュービットを用いた大規模量子回路が、現実に一歩近づいた。 [Cover; 10.1038/s41586-019-1381-2](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1381-2)



計算化学：反応予測が容易に

片方のエナンチオマーがもう片方のエナンチオマーよりも優先的に生成する不斉触媒反応は、合成化学や薬剤候補の開発において重要である。新たな反応の開発は困難だが、試したことのない基質に対して触媒が機能するかどうかを予測することはもっと困難である。今回M. Sigmanらは、不斉触媒作用の起源を理解するために、化学文献の既存反応データについて統計モデルを訓練する方法を報告している。著者らは、キラルアミンを生成するイミン付加反応を用いることによって、各成分のさまざまなパラメーターの理解が得られ、機構的情報を用いて反応を設計できることを実証している。この方法によって、モデルから高い精度で反応のエナンチオ選択性を予測できる。 [10.1038/s41586-019-1384-z](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1384-z)

進化学：胚発生の細胞別トランスクリプトミクス

今回M. Levineらは、動物の胚発生に関する高分解能の単一細胞RNA塩基配列解読（scRNA-seq）解析の結果を報告している。研究対象はカタユレイボヤ（*Ciona intestinalis*）で、この動物を対象とすることには複数の利点がある。第一に、カタユレイボヤの胚を構成する細胞は比較的少数なため、個体全体のscRNA-seq解析が行いやすい。第二に、ホヤの発生は個体差がなく確定しており、細胞の系譜がすでによく知られている。そして第三に、ホヤ類に代表される被嚢類は脊椎動物に最も近縁な現生動物であるため、脊椎動物の数々の新規性の進化に関して驚くほど多くのことが明らかになる可能性がある。今回の研究で得られたカタユレイボヤの単一細胞トランスクリプトーム系譜からは、ホヤ類の胚発生に関して多くのことが明らかになり、脊索動物に見られる脊索などの構造や、脊椎動物に重要な終脳などの構造の起源について手掛かりがもたらされた。 [10.1038/s41586-019-1385-y](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1385-y)

生化学：脂質二重層の単層間で脂質が移動する仕組み

細胞膜の構造と機能には、膜の脂質分布の非対称性の維持が重要である。脂質フリッパーゼであるP4-ATPアーゼは、細胞小器官を囲む脂質二重層膜の単層間では脂質を小器官内腔側から細胞質側へ移動させる（脂質のフリップ）。この逆の過程（脂質のフロップ）が起こる仕組みに関しては知見が得られているが、脂質のフリップについては、いまだにほとんど解明されていない。今回P. Nissenらは、脂質フリッパーゼの酵母オルソログであるDrs2p-Cdc50pについて、自己阻害状態、中間状態、活性化された状態に当たる3つの構造を報告している。裏付けとなる解析も行われ、フリッパーゼの作用機構の基盤と、その働きが脂質であるホスファチジルイノシトール4-リン酸（PI4P）によって調節される仕組みが明らかになり、脂質輸送と自己調節がどのようにして行われているかも示唆された。 [10.1038/s41586-019-1344-7](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1344-7)

工学：アリから着想を得たロボット

アギトアリは、跳躍して脅威から逃れたり障害物を越えたりできるように多くの機構を進化させた。例えば、脚を使って前方に跳ねるだけでなく、大顎をパチンと閉じることで自らを上方に弾き飛ばすこともできる。今回J. Paikらは、アギトアリから着想を得て、凹凸地形上の歩行、平坦面上の匍匐、スナッフ機構を用いた跳躍が可能な三脚ミリロボットを実証している。今回のミリロボットは他にも、アリのように互いにコミュニケーションを取って協働し、縦一列になって障害物を飛び越えたり、物体を操作したりすることさえできる。今回の手のひらサイズ

のマルチロコモーション・ミリロボットは、バッテリー駆動であるにもかかわらず、重さがわずか10 gであり、さまざまなタスクを実行できる小型ロボットを作製するコンパクトでスケーラブルな方法を提示している。 [10.1038/s41586-019-1388-8](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1388-8)

化学：自動的に進むナノリボン合成

グラフェンナノリボンの特性は、長さ、幅、エッジ構造によって決まるため、合成時にこれらのパラメーターを精密に制御できることが重要である。表面重合法には制御性が良好な方法もあるが、溶液中の合成では、溶液法の簡便さが支持され、制御性が犠牲になることが多い。今回、伊丹健一郎と伊藤英人（名古屋大学）らは、「リビング」重合にヒントを得て、長さ、幅、エッジ構造の3つのパラメーターを同時に全て制御できる溶液系合成法を報告している。幅とエッジ構造はモノマーの選択によって決まり、長さはモノマーと開始剤の混合比で決まる。今回の手法は、重合に自在性をもたらし、ブロック共重合体型グラフェンナノリボンの合成も可能にしている。 [10.1038/s41586-019-1331-z](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1331-z)

気候科学：海面水温記録の問題を修正する

海面水温の現在の見積りは、20世紀前半に北大西洋と北東太平洋が急激に温暖化し、北西太平洋が寒冷化したことを示している。こうした傾向は、よく理解されていない内的変動や未知の外部強制力の重要な役割を示唆している可能性がある。あるいは、この傾向自体に問題があるのかもしれない。今回P. HuybersとD. Chanらは、海面記録の難解な歴史に徹底的に取り組み、意外な問題点を発見している。例えば、日本の記録の一部は、デジタル形式に変換する際に整数化されていた。「均質化」によってさまざまな奇妙な点を調整すれば、温暖化パターンと寒冷化パターンの両方が縮小し、新奇な機構や強制力の必要性はほぼなくなる。 [10.1038/s41586-019-1349-2](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1349-2)

生化学：mRNAの液-液相分離能はm⁶Aによって増強される

YTHDFファミリーのタンパク質は、N⁶-メチルアデノシン（m⁶A）を認識し、これに結合する。S. Jaffreyらは今回、こうしたYTHDFファミリーのタンパク質自体が、液-液相分離することを見いだしている。さらに、m⁶Aを複数持つmRNAでは、YTHDFタンパク質が結合する足場として働いてこうした相分離過程を促進するが、m⁶Aを1つしか持たないmRNAでは相分離過程は促進されないことが分かった。このようなmRNA-YTHDF複合体は、ストレス顆粒やPボディアのような細胞内のさまざまな区画に分配され区画特異的な調節を受ける。 [10.1038/s41586-019-1374-1](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1374-1)

2019年7月25日号 | Vol. 571 No.7766

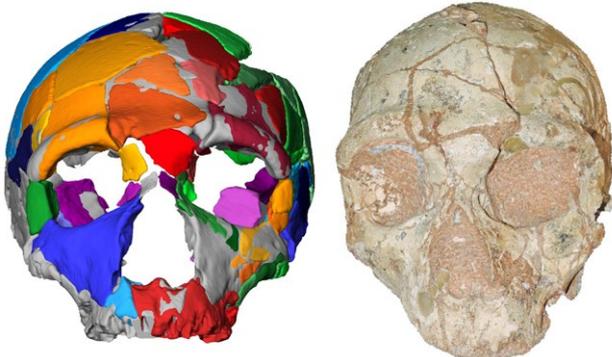
細胞ダイナミクス：作動中の分子機械を捉えた一連の構造

ABC輸送体と呼ばれるタンパク質は、細胞膜に見られる非常に動的な分子機械である。このタンパク質は、さまざまな基質を細胞内部から運び出すため、適応免疫や多剤耐性を含むいくつかの重要な細胞過程に関与している。今回R. TampéとA. Moellerらは、TmrABと呼ばれるABC輸送体の作動中の8つの状態の構造を報告している。これによって、基質輸送時にこのタンパク質がとるさまざまなコンホメーションの全体像が提示された。表紙は、細胞膜内に埋まっているTmrABの多重タンパク質複合体（青色と黄色）である。著者らは、クライオ（極低温）電子顕微鏡法を用いて、さまざまな状態を捉えており、この撮像過程は、ヒトの生理機能や疾患に密接に関連する他の輸送体にも適用できると思われる。

Cover; [10.1038/s41586-019-1391-0](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1391-0)

古人類学：人類のヨーロッパへの移動は古くて複雑だった

1978年にギリシャのアピディマ洞窟で発見された2点のヒト頭蓋化石「アピディマ1」と「アピディマ2」が、今回K. Harvatiらによって、年代の再測定を含め、再度調べられた。アピディマ2は、年代が17万年以上前でネアンデルタール人に最も似ていたのに対し、アピディマ1は、年代が21万年以上前で形態は初期のホモ・サピエンス (*Homo sapiens*) のものに似ていることが分かった。これによってアピディマ1はヨーロッパで発見された最古の現生人類となり、ヨーロッパへの人類の移動が、古いネアンデルタール人から新しい現生人類への単純な入れ替わりではなく、より複雑なものであったことが示された。

[10.1038/s41586-019-1376-z](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1376-z)

ヒト頭蓋化石「アピディマ2」(右)とその仮想復元像(左)。

発生生物学：哺乳類の発生におけるlncRNA

H. Kaessmannらは今回、同時に掲載される論文で示したように、7つの動物種について、7つの器官における複数の発生時点のトランスクリプトームデータセットを解析し、これらの種内および種間の器官に発現する長鎖ノンコーディングRNA (lncRNA) のカタログを作成した。これは、候補lncRNA、それらの発現パターン、発生過程での進化的保存についての情報源になる。また、複数の発生時点を横断して動的な発現パターンを示すlncRNAが特定された。

[10.1038/s41586-019-1341-x](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1341-x)

生物物理学：ミトコンドリアのADP/ATP交換輸送体は脱共役タンパク質である

適応性熱産生は深部体温の調節や脂肪沈着の制御により、エネルギーの全体的な均衡に関わっている。この過程は、脱共役タンパク質 (UCP) の活性に依存していて、UCPは長鎖脂肪酸 (FA) が存在するとミトコンドリア内膜の透過性を高め、ミトコンドリアにATPではなく熱を産生させる。UCP1は褐色脂肪やベージュ脂肪の脱共役タンパク質であることが知られているが、他の全ての組織でH⁺漏出を行っているUCPの本体が何なのかは、まだ解明されていなかった。今回Y. Kirichokらは、ミトコンドリアのADP/ATP交換輸送体 (AAC) が、UCP1を発現していないあらゆる組織のミトコンドリアでH⁺漏出を行っていることを明らかにしている。ACCはin vivoで2つの機能を持ち、ADPとATPの交換だけでなく、ATP需要が低い場合には脂肪酸の存在下で脱共役による熱産生を引き起こすことが分かった。

[10.1038/s41586-019-1400-3](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1400-3)

神経変性：パーキンソン病誘発についての示唆に富む証拠

PINK1 遺伝子や *PRKN* 遺伝子 (Parkinをコードする) の変異は、若年性のパーキンソン病 (PD) と関連付けられている。*PINK1* と *Parkin* は、ミトコンドリアの抗原提示を抑制することが示されており、このため、*PINK1* や *PRKN* の変異は自己免疫を引き起こす可能性がある。M. Desjardinsらは今回、*Pink1* を欠失したマウスでは、腸内のグラム陰性細菌の感染が実際にミトコンドリア抗原提示を引き起こし、末梢と脳を巡るミトコンドリア特異的な細胞傷害性 CD8⁺ T細胞を生み出すが、正常なマウスではそうした影響は見られないことを示している。意外にも、*Pink1* を欠失した感染マウスでは、一過性でL-DOPAにより回復し得る運動障害が見られ、ドーパミン作動性軸索のバリコシティー密度の低下が同時に起こっていた。これらの知見は、*PINK1* が自己免疫の抑制因子であることを示唆しており、PDについての新しい考え方を提供する。

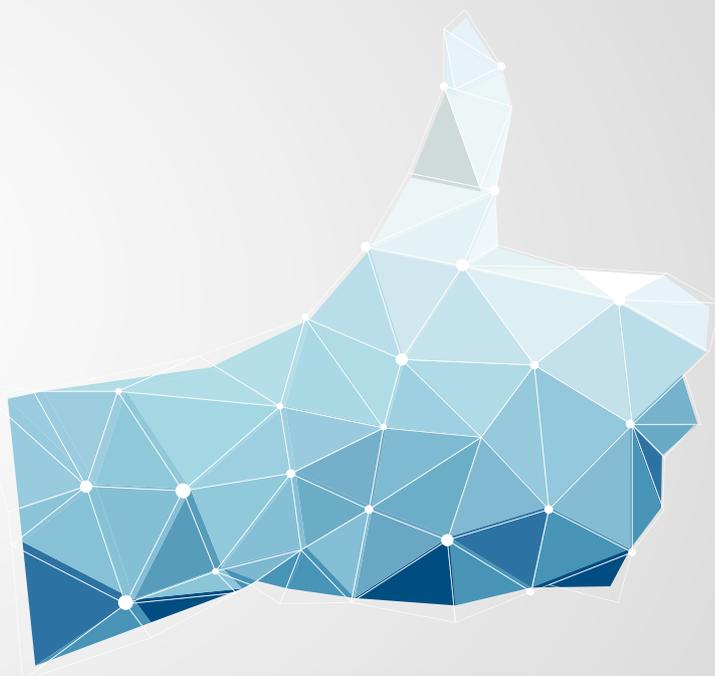
[10.1038/s41586-019-1405-y](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1405-y)

nature ダイジェスト

FOLLOW US!

  @NatureJapan

 go.nature.com/jp-register



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!

 @NatureDigest

nature.asia/ndigest

EDITOR'S NOTE

外洋性サメ類に衛星タグを取り付けてその動きを長期間追跡し、遠洋漁業が彼らに及ぼす影響を調べた研究結果が報告されました (3ページ)。明らかになった事態の深刻さに胸が痛みましたが、この記事にはどこか心踊るキーワードも。それは「ホホジロザメのカフェ (White Shark Café)」という、楽しい響きのする海域名です。調べたところ、カリフォルニア州沿岸でアザラシなどを捕食しているホホジロザメの一部が冬から春にかけて集う、メキシコとハワイの間にある海域とのこと。彼らの回遊パターンは知っていましたが、この名称は初耳でした。ここでは、昼間は水深350~500mの深海で過ごし、夜間は水深200m辺りに戻るといった日周的な潜水行動と、1日に100回以上も水深30~200mでの鉛直潜水を繰り返すという特異な行動が確認されており、後者は主に雄で見られるとか。最近の研究からは、この海域には想像以上に豊かな深海生態系が存在することも明らかになっていて、この「カフェ」がホホジロザメの食事と出会いの場になっている可能性が示唆されています。そして研究者たちは今、その実態を解明すべくサメの動きに合わせて録画を開始できる特殊なカメラ「Shark Café camera」を開発中とのこと。カフェで過ごすホホジロザメの姿、ぜひとも見てみたいものです!

SA

「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。

広告のお問い合わせ

T 03-4533-8094 (広告部)

E advertising@natureasia.com

編集発行人: Antoine Bocquet エグゼクティブ・アドバイザー: Sara Phillips

編集: 宇津木光代、松田栄治、菫蒲さやか、泉奈都子

編集協力: 山西三穂子、田中明美

デザイン/制作: 中村創 広告: 大場郁子 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.natureasia.com

© 2019 Nature Japan K.K. Part of Springer Nature.

掲載記事の無断転載を禁じます。

OPEN FOR SUBMISSIONS

投稿募集中



COMMUNICATIONS
CHEMISTRY



go.nature.com/commschemjp



COMMUNICATIONS
BIOLOGY



go.nature.com/commsbiojp



COMMUNICATIONS
PHYSICS



go.nature.com/commsphysjp

化学、生物学、物理学の全ての領域の高品質な一次研究論文、総説、論評を出版する3つの新しいオープンアクセスジャーナルが誕生します。

全ての投稿論文は、社内の専門エディターが担当し、社外の専門編集委員のサポートを経て、審査、出版されます。

投稿することで得られるメリット

- ネイチャー・リサーチの高い編集基準
- 簡便な投稿プロセス
- 行き届いた査読
- 迅速な掲載可否判断
- 出版コンテンツの高い露出度
- CC-BY を標準としたオープンアクセス出版

 @commschem @commsbio @commsphys

natureresearch