

Contents



Feature

中性子星の 奇妙な核心に迫る

中性子星は、宇宙で最も謎めいた天体の1つだ。 その核は超高密度で、

直径 20km ほどの球体の中に

太陽2個分の質量が詰め込まれている。

近年、さまざまな観測装置での研究が進み、 多くの事実が明らかになろうとしている。

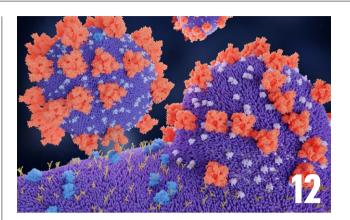
中でも2017年に打ち上げられた

中性子星内部組成観測装置 NICER は、

中性子星の質量と半径を

これまでで最も精密に測定し、

2019年12月にその結果を発表した。



News in focus

02 人工知能を使ってマウスの表情を解読

マウスの表情を解読した神経科学者たちはさらに、特定の感情と相関して活動する神経回路も発見。

03 ロックダウンと動物を扱う 研究者たちの苦渋の選択

COVID-19対策の措置を受け、研究者たちは 自らの研究と研究用の動物を守ろうと必死だ。

O5 農作物を食い尽くすバッタが 最大規模で発生中

この四半世紀で最大規模の蝗害が発生している。

07 FBIとの関係を深める米国の大学

中国が研究成果を横取りしているという米国政府の姿勢に対応するためという。

09 スマホアプリのデータから見えてきた COVID-19の特徴

嗅覚障害は、新型コロナウイルス感染症の 重要な症状の1つであることが示唆された。

10 コロナウイルスワクチンの開発レース

SARS-CoV-2 に対するワクチンの開発が 世界中の企業や大学で進められている。

12 新型コロナウイルス研究注目の論文

SARS-CoV-2 および COVID-19 に関する文献を *Nature* が精査し、主要な論文をまとめた。



16 Nature および Nature 関連誌が 「プラン S」に準拠して、 オープンアクセス化へ

プランS参加機関から資金を受ける研究者も、 Nature およびNature 関連誌でOA出版可に。

World view

18 パンデミックと女性研究者たち

ロックダウンにより、「母親の壁」についてさまざまなことが明らかになるだろう。

Work

21 ピュリッツァー賞作家が伝授、 読ませる論文の書き方

小説家コーマック・マッカーシーから学んだコツを、 2人の研究者がお裾分けする。

Japanese author

30 真核生物につながるアーキアの培養と ゲノム解析に成功!

世界初となるアスガルド類アーキア培養に成功し、 完全長ゲノムを解読、進化に新たな説を提唱した 井町寛之氏と Masaru K. Nobu氏に話を聞いた。

News & views

34 ヒトの足のアーチ構造と剛性の進化

ヒトの足は他の霊長類には見られないアーチ型だ。 長年、ヒトの足の剛性には縦方向のアーチが重要 とされてきたが、横方向のアーチも重要らしい。



36 過酸化水素シグナルの感知

植物細胞表面に、過酸化水素を感知するセンサーが見つかった。植物が環境ストレスを感知して 応答する機構に新たな手掛かりが得られた。

38 38億年前の岩から見つかった 地球の材料のヒント

地球の材料は、地球の進化とともに混ざるため、 地球の岩石からそれを突き止めるのは難しいが、 太古の岩石に未知の構成要素の証拠が見つかった。

41 家禽類の祖先が示す現生鳥類の初期進化

家禽類の祖先といえる特徴を持つ約6670万年前の 鳥類の化石が見つかった。現生鳥類の出現時期と 多様化のタイミングを知る大きな手掛かりとなる。

News scan

20 脳内の寄生虫

Editorial

44 英国版 DARPA の夢は 現実に根差したものであるべき

Highlights

46 2020年4月2日~4月30日号

Where I work

52 Martyn Poliakoff

人工知能を使って マウスの表情を解読

マウスの表情を解読した神経科学者たちはさらに、特定の感情と相関して活動する神経回路も明らかにした。

で発表たちは、機械学習アルゴリズムを使用して、実験用マウスの一見理解不可能に思える顔の表情を解読した。この研究は、特定の表情を符号化するヒト脳のニューロンの位置を正確に示すことにおいても意味を持つかもしれない。

彼らの研究は、感情の不可解な側面のいくつかを理解したり、感情が脳にどのように現れるかを解明したりするための「重要な第一歩だ」とカリフォルニア工科大学 (米国パサデナ)の神経科学者 David Anderson は言う。

およそ150年前、チャールズ・ダー

ウィンは、動物の表情は、人間の場合と同様に、彼らの感情をのぞき込むための窓となる可能性があると述べた。しかし、高倍率の顕微鏡やカメラ、遺伝子工学技術などのツールが開発されて、顔の動きを高い信頼性で捉えて分析し、感情が脳内でどのように生じるかを調べられるようになったのは最近のことだ。

「我々人間には感情状態 (emotional state) があり、それを気分として経験しているという事実に、私は魅了されました」と、この3年にわたる研究を指揮したマックス・プランク神経生物学研究所(ドイツ・マルティンスリート)の神経科

学者Nadine Gogollaは言う。「私は動物実験で、これらの状態が脳に現れてくる仕組みを解明できるかどうかを知りたかったのです」。この研究はScience 2020年4月3日号¹に掲載された。

Gogollaは、Andersonがカリフォルニア工科大学の同僚 Ralph Adolphs と共同で執筆して2014年に Cell に発表された論文² に刺激を受けた。その研究で Anderson らは、感情のような「脳の状態」は特定の特徴を示すはずだと考えた。例えば、そうした状態を誘発した刺激が消えた後もしばらく続く、持続性のある状態であるはずだ。そして、刺激の強さに比例するだろう、と想定した。

顔面値

Gogollaの研究チームは、マウスの頭部を固定して動けないようにし、特定の感情を引き起こす目的で異なる感覚刺激を与え、マウスの顔を撮影した。例えば、喜びまたは嫌悪を喚起するために甘い味か苦い味のする液体をマウスの唇に垂らした。また、不快感を引き起こすために、尾に疼痛性の軽い電気ショックを与えたり、塩化リチウムを注射したりもした。

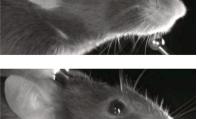
マウスが耳や頬、鼻や上まぶたを動かすことによって表情を変えられることは分かっていたが、そうした表情を高い信頼性を持って特定の感情に割り当てることはできていなかった。そこで彼らは、マウスが異なった刺激に反応するときの顔面筋の動きの動画を、極短時間の画像データに分解した。

機械学習アルゴリズムは、顔面筋の 特定のグループの動きが生み出す異な る表情を認識した(「感情を表すマウス」 参照)。これらの表情は喜びや嫌悪や恐 怖といった、誘発された感情状態と相 関していた。例えば、喜びを経験してい るマウスは、鼻を口の方向に引き下げ、

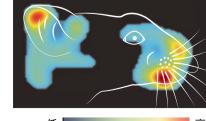
感情を表すマウス

マウスもヒトと同様に、感情と対応する表情を示す。研究者たちはマウスに刺激を与えて、喜びや恐怖などの特定の感情を引き起こし、動画分析を使ってマウスの顔面筋がどのように動くかを調べた。









低無表情との差

恐怖

耳と顎を前方に引く。対照的に、痛みを感じているときには、マウスは耳を後方に引き、頬を膨らませ、時には目を細める。そうした表情には、AndersonとAdolphsが提案した特性が見られた。例えば、表情には持続性があり、表情の強さは刺激の強度と相関していた。

「このやり方で表情を調べることには 大きな利点があります。実験者のあら ゆる偏見を避けることができますから」 と、ジュネーブ大学(スイス)で神経 精神疾患の研究を行っている Camilla Bellone は言う。

次に、Gogollaらは脳でこれらの感情を符号化している可能性のある脳細胞を探した。彼らはマウスで光遺伝学使用して、ヒトなどの動物で特別な感情の引き金となることが示されている個々の神経回路を標的とした。直接これらの神経回路を刺激すると、マウスはそれと関連する表情を示した。

最後に、研究チームは2光子カルシウムイメージング法を用いて、特定の感情、そして特定の表情が誘発されたときにだけ発火するマウス脳の単一ニューロンを特定した。「それらは脳において感情の符号化の一部を担っているのかもしれません」とGogollaは推測する。「私たちは感情の符号化は進化的に保存されているのではないかと考えています。ですから、ヒトとマウスにおける符号化に共通した特徴がいくつかあるかもしれません」。

翻訳:古川奈々子

Artificial intelligence decodes the facial expressions of mice

10.1038/d41586-020-01002-7 2020.4.2

Alison Abbott



David の研究室では、写真のようにスポッテッドガーの稚魚を誕生させる計画が中断してしまった。

ロックダウンと動物を扱う 研究者たちの苦渋の選択

殺処分かリリースか、それとも移転か。 COVID-19対策の措置を受け、研究者たちは 自らの研究と研究用の動物たちを守ろうと苦慮している。

にも孵化しそうな卵を前に、爬 虫両生類学者の Vivian Páez はそれらが無事に生き延びら れるかどうか確信が持てずにいた。彼 女は、同じく爬虫両生類学者の夫Brian Bockと共に、コロンビアのアンティオ キア大学 (メデジン) の研究室で、温 度に敏感なカメの卵を100個近く人工 孵化させているところだった。Bock は マグダレナヨコクビガメ (Podocnemis lewyana) を、Páez はアカアシガメ (Chelonoidis carbonarius)を研究して いる。いずれも絶滅危惧種に分類され ている種だ。2020年3月17日、2人は COVID-19対策の封鎖措置 (ロックダ ウン) が目前に迫っていることを知った。

翌日、同大学は全ての研究活動と教育活動を停止させたため、PáezとBock

は全ての卵を自宅のガレージへと移動させた。温度変化はもとより、動きや騒音も卵の状態に影響を及ぼすことから、移動には細心の注意を払ったという。2人は、作業台の上に並べたプラスチック容器の中に卵を置き、防水シートを掛け、固唾をのんで見守った。

ロックダウンや大学閉鎖、屋内退避命令といったCOVID-19対策が広がる中、世界各地の研究者たちは、研究用の動物たちをどうすべきか難しい判断を迫られている。慎重を期してソーシャルディスタンスを保つことを条件に、それまでと同じ施設内で動物の世話を続けられる研究者もいれば、PáezとBockのように動物を自宅に移動させた研究者や、野生で捕獲した個体を野生に返した研究者もいる。だが悲し

Dolensek, N., Gehrlach, D. A., Klein, A. S. & Gogolla, N. Science

https://www.doi.org/10.1126/science.aaz9468 (2020). 2. Anderson, D. J. & Adolphs, R. Cell 157, 187–200 (2014).

いことに、多くの研究用動物、特にマウスのような小型動物は、すでに殺処 分されているか、殺処分される予定だ という。

生か死かの決断

こうした選択は、患者に直接影響を及ぼす研究をしている科学者にとっては特に難題だ。ブラジルの国立外傷・整形外科学研究所(リオデジャネイロ)の研究主任Maria Eugênia Duarteは、主に小児に見られる希少な悪性肉腫の研究を監督しており、彼女のチームは約100匹の免疫不全マウスを扱っている。腫瘍の増殖の仕方や最善の治療法を探るために、患者の腫瘍が移植されたマウスたちだ。

リオデジャネイロがロックダウンされてから、この研究所の動物施設に入ることが許されているのは1日1人のみ。年齢制限もあり、60歳を超すDuarteは入れない。そのため、研究室の他のメンバーが交代で、マウスの餌やりやケージの掃除・殺菌消毒、健康状態のチェックを毎回12時間がかりで行って

いる。しかし、ケージの殺菌消毒装置などの機器が壊れてしまったら、それを修理できる人はいないだろう。「この状態をいつまで続けられるか分かりません」とDuarteは話す。「優先順位を付けて、一部の個体を犠牲にする必要が出てくるかもしれません」。

一方で、この苦渋の決断をすでに下 さざるを得なかった研究室は少なくな い。米国のオレゴン健康科学大学(ポー トランド) のある研究者は、扱っていた マウスの3分の2以上を安楽死させなけ ればならなかったと語る。米国では他 にも、カーネギー・メロン大学(ペンシ ルベニア州ピッツバーグ) の研究者が 600匹ものマウスを殺処分したと報告 しており、ハーバード大学(マサチュー セッツ州ケンブリッジ) の2人の研究者 は研究用マウスの半数を殺処分しなけ ればならなかったと述べている。また、 スローン・ケタリング記念がんセンター (ニューヨーク) のある研究チームには、 必要最小限の動物の数を従来の60%以 下に減らすよう勧告があったという。

米国のジャクソン研究所 (メイン州

バーハーバー)は、年間数百万匹の研究用マウスを販売する非営利の生物医学研究所で、他にもオーダーメイドのマウス系統作製など、多様な関連サービスを提供している。サービスプログラム担当のRob Taftによれば、最近、特定のマウス系統個体を後で復元させるための精子や胚の凍結保存依頼が以前の数倍に増えているという。同研究所はこれに対応すべく、すでに多くの主要都市で凍結保存用のマウスの回収を行っており、他の都市での集荷も予定している。

これに対し、特に野生で捕獲した動物を扱う研究室などでは、研究プログラムを維持し存続させるための選択肢はほぼないと言っていい。米国のニコルズ州立大学 (ルイジアナ州ティボドー)の魚類生物学者 Solomon Davidは3月末、ロックダウンを前に、野生で採集したばかりのスポッテッドガー(Lepisosteus oculatus)の成体48匹を放流することに決めた。これらのガーは繁殖用に集めたもので、産卵後は受精卵を共同研究者たちに送る予定だったが、研究チームと動物両方の安全のため、4月の頭に元の生息地であるバイユーに戻された。

PáezとBockの自宅ではその後、55 匹のマグダレナヨコクビガメと18匹の アカアシガメが誕生した。長距離移動 の制限が解除されて野生の生息地に戻 せる日が来るまで、一家と共に暮らす 予定だが、それがいつになるかは予想 がつかない。「とりあえず、研究対象が ジャガーやワニでなくて良かったです」 と Páez は話す。

翻訳: 船田晶子



PáezとBockの自宅で孵化したアカアシガメ。

Tough choices loom for researchers working with animals

Vol. 580 (19) | 2020.4.2 Anna Nowogrodzki



ケニアは過去70年で最悪の蝗害に見舞われている。

農作物を食い尽くすバッタが 最大規模で発生中

この四半世紀で最大規模の蝗害を阻止するためには、 生物農薬と監視の強化が必要だ。

アフリカ、アジア、中東を 横断するサバクトビバッタ (Schistocerca gregaria)の大 群が、食料供給と人々の暮らしを脅か している。各国政府と科学者は大発生 したバッタの防除に全力で取り組んで いるが、少なくとも2000万人が危険 な状況に置かれている(註:国連食糧農 業機関は2020年4月21日、この春の 繁殖シーズンで、東アフリカ、イエメ ン東部、イラン南部では今後数カ月に わたり大発生が続くことが予想される と発表した)。

ケニアでは、異常に大きい1つの群れが2400km²もの土地を占拠した。これはニューヨーク市の面積の3倍に相

当する広さである。サバクトビバッタが大群を形成するときの典型的な規模は100 km²程度で、40億~80億匹からなり、1日に350万人分以上の食料を食い尽くすといわれている。

国連食糧農業機関 (FAO) は、国際社会に1億3800万ドル (約150億円)の緊急の資金拠出を呼び掛けた。その半分は被害を受けたコミュニティーの支援のため、残りの半分はバッタの広がりを食い止めるための費用である(註:2020年3月10日、日本政府はサバクトビバッタ被害に対する支援として、国連世界食糧計画を通じて750万ドルの緊急無償資金協力を実施することを決定している)。

一方、研究者は、こうした対策と同時に、バッタの移動と成長を予測するための監視の強化と、膨大な数のバッタが繁殖する前にこれを駆除できる、化学合成農薬に代わる農薬が必要だと主張する。

世界の最貧国65カ国以上で見られるサバクトビバッタは、ふだんは西アフリカからインドにかけての砂漠で単体行動をしている。卵を産むのに湿り気のある土を必要とするため、雨が降った後で繁殖する。サバクトビバッタなどのワタリバッタ類は、高密度下で育つと群居相(群生相ともいう)と呼ばれる個体となり、集合性が高まる。特に激しい雨が降ると、バッタの数はみるみる増加し、ついには巨大な群れになる。加えて群居相の個体は、移動に適した性質を持っている。

現在の大発生は、2018年のサイクロンと、2019年末の暖かさと異常な大雨によって起きた。2020年初頭にエチオピアとソマリアで観察されたバッタの群れは、ここからケニア、ウガンダ、スーダンなどの国々へと急速に広まっていった。イエメン、サウジアラビア、イラン、パキスタン、インドでも、サバクトビバッタの群れが形成され始めている。

サバクトビバッタの防除法についてケニア政府に助言している国際昆虫生理学・生態学センター(ケニア・ナイロビ)のセンター長Segenet Kelemuは、今回の蝗害(バッタの異常発生による災害)の規模の大きさには気候以外の要因も関わっていると言う。例えば、今も内戦が続くイエメンでは、人道支援スタッフや研究員が立ち入ることのできない地域が多く、対応が遅れているのだ。「イエメンのような国は蝗害対策どころではないのです」とKelemu。

同じくウガンダ政府に助言をしてい るグリニッジ大学天然資源研究所(英

News in focus

国ロンドン)の動物学者 Robert Cheke は、アフリカ諸国はサバクトビバッタを監視するための財源が不足していると説明する。Chekeによると、アフリカには東アフリカサバクトビバッタ防除機関 (DLCO-EA; エチオピア・アジスアベバ)があり、バッタの大発生に関する早期警戒システムを提供し、防除に協力しているが、蝗害に苦しむ国々の多くが分担金を滞納しているという。ジブチやソマリア、スーダンの未払金は合計800万ドル(約8.6億円)にのぼり、ウガンダは2020年2月に未払金の一部を支払ったものの、まだ200万ドル(約2.1億円)も滞納している。

「分担金の拠出がなければ、DLCO-EAには何もできません」と Cheke は言う。 DLCO-EAの代表を務める Stephen Njoka は *Nature*の取材に対して、資金不足のため十分な活動ができていないことを認めている。 DLCO-EAには農

薬の散布に使える飛行機が4機しかなく、農薬の安定供給もできていない。

生物学的防除

異常発生したサバクトビバッタの駆除は、クロルピリホスなどの広く用いられている農薬を散布する方法で行われているが、研究者は農薬が人体や環境に及ぼす影響を懸念している。そこでChekeらは、別の防除法、中でも生物農薬(biopesticide)を使う方法について助言している。生物農薬は生物学に基づく防除法で、周囲の環境に影響を及ぼすことなく昆虫を標的とすることができる。

Chekeのチームが特に推奨しているのは、バッタの体内で増殖して死に至らしめるメタリジウム・アニソプリアエ (Metarhizium anisopliae)という糸状菌を用いる防除法だ。クロルピリホスの散布とは異なり、メタリジウム菌は「触れたもの全てを殺すようなやり方は

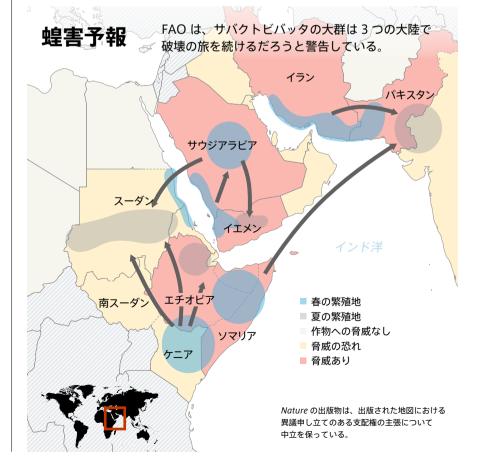
せず、標的昆虫に特異的に効果を及ぼします」とCheke。生態毒性学的研究からは、メタリジウム菌が他の昆虫を含む生物に及ぼす危険は小さいことが分かっている(R. Peveling et al. *Crop Prot*.18,323-339; 1999)。

農業生物科学国際センター(CABI;英国エガム)の生物農薬チームの主任科学者であるBelinda Lukeによると、生物農薬はクロルピリホスとは対照的に、まだ翅ができあがっていない幼虫の段階のバッタに最もよく効く。Lukeのチームは、気候とバッタの異常発生に関する歴史的データを利用してモデルを作り、気候によってバッタがどのくらいの日数で成虫になるかを予測できるようにすることを目指している。このモデルが完成すれば、サバクトビバッタの生活環のどの段階で生物農薬を用いるのが最も有効かを特定するのに役立つだろう。

生物農薬の問題点は、大量に用意することがすぐにはできないことだとKelemuは言う。だから政府は化学合成農薬を散布せざるを得ない。それに、生物農薬には化学合成農薬のような即効性がないとLukeは言う。「散布して1時間後に戻ってくればバッタが全滅しているというわけにはいかず、バッタが死ぬまでに7~14日はかかります」。この性質が、今回のような突然の大発生に対して生物農薬を無力にしている。

Njokaは、生物学的防除の方が好ま しいのは確かだが、今回のような緊急 事態では効果がよく分かっている農薬 を使うべきだと言う。「農民が求めるの は昨日よりも早く効く農薬です」。

翻訳:三枝小夜子



The battle to contain gigantic locust swarms

Vol. 579 (330) | 2020.3.19 Antoaneta Roussi



2020年1月30日、保釈され、米国マサチューセッツ州ボストンの裁判所を後にする、ハーバード大学教授の化学者 Charles Lieber。彼は、中国の人材募集プログラム「千人計画」への参加について虚偽の報告をした容疑で同月に逮捕された。

FBIとの関係を深める 米国の大学

米国の大学は、中国が研究成果を横取りしているという 米国政府の姿勢に対応するため、FBIとの関係を強めている。

国政府は、中国が人材募集計画を使って米国の科学研究成果を横取りしているという姿勢を強めている。そうした状況に対応するため、米国の各大学は連邦捜査局(FBI)との関係を深めていることが、Natureがこのほど大学副学長らに電子メールで尋ねた調査で分かった。

米国政府は、中国が米国の科学研究 の開放性につけ込み、人材募集プログ ラム「千人計画」などによる人材の引き 抜きで経済的利益を得ている、と主張している。米国議会上院の小委員会は2019年11月、「中国は、米国の研究者を集めることにより、米国の研究資金を利用して軍事力と経済力を強化している」とする報告書を公表した(Nature ダイジェスト2020年2月号「『中国の千人計画は脅威』米国議会の報告書が警告」参照)。

米国立衛生研究所 (NIH) は、年間 予算約400億ドル(約4.1 兆円)の研究 費助成機関だ。NIHの研究助成金を受ける研究者は以前から、他の研究資金提供源も開示するように求められている。米中間の緊張が高まる中、NIHは2018年8月、この規則を研究者に徹底させるよう、大学など1万以上の研究機関に文書で要請した。

またNIHは、研究者の外国との関係と外国からの資金提供を調べていることを認めた。NIHによると、現在、84の研究機関の約180人の科学者が規則に違反している可能性があり、調査しているという。調査によると、秘密にすべき、審査中の研究助成金応募の研究内容を国外の組織に送った審査者もいた。

一方、米国エネルギー省は2019年6月、同省の研究者が中国の人材募集計画に参加することを禁止した。全米科学財団 (NSF) は2019年12月、著名科学者グループ「JASON」がまとめたこの問題に関する報告書を発表した。

News in focus

Natureは今回、政府の姿勢に対し、 米国の大学がどのような対応策を取っ ているかを、12校の公立大学の研究担 当副学長らに電子メールで尋ね、10件 の回答を得た。副学長らは、連邦政府 から資金提供される1校当たり年間数 億ドル規模の科学研究費を監督し、研 究者に規則や大学の方針を守らせる立 場にある。

ワシントン州立大学 (プルマン)、オクラホマ州立大学 (スティルウォーター)、ノーステキサス大学 (テキサス州デントン) など、4校の副学長らは、FBIの地域の連絡担当官と定期的な会合を持っていることを明らかにした。その目的について彼らは、秘密主義のFBIに、大学の開放性と国際協力の必要性になじんでもらうためだと説明した。ノーステキサス大学の研究・イノベーション担当副学長 Mark McLellanは、「そうした関係作りは、(FBIによる) 突然のドアノックを避けるのに役立つのです」としている。

サウスアラバマ大学 (アラバマ州モビール) は、さらに進んでいる。同大学は2019年9月、引退したFBI 捜査官で、経済スパイ活動と対諜報活動を専門にする David Furmanを、情報技術とリスク管理・法令遵守の責任者として雇用した。Furmanは、「大学の教員たちとは1対1での話し合いを重ねてきました。教員らは今では私を、彼らの研究の生産性への脅威ではなく、援助してくれる人と見なしています」と書いている。

各大学は、教員らの旅行に関する指針も変えつつある。サウスアラバマ大学は、海外からの訪問研究者のための指針を改訂した。また、McLellanによると、ノーステキサス大学は、「技術が漏洩する可能性がある、特定の既知の外国組織への旅行」に制限を課すことを検討している。



FBI本部ビル (米国ワシントンD.C.) 壁面の FBIの紋章。

バージニア大学 (シャーロッツビル) の研究担当副学長を務める Melur Ramasubramanian は、Natureの質問への回答の中で、大学側から研究者への支援について述べている。同大学のあるウェブページでは、連邦政府の資金で行われた研究に対する外国の影響について、大学の方針を解説している。例えば、大学が定める期間を超える外国組織での活動は禁じている。この中で大学は、外国の人材募集の例として中国の千人計画を挙げている。

もう1つのウェブページでは、研究の 公正性に関する大学の方針を説明して いて、匿名で情報を知らせるための電 話番号と手続きが掲載されている。ま た、同大学は、外国との関係の開示や 利益相反の可能性に関する問い合わせ 用の電子メールアドレスを設けている。

Natureは、研究者に開示規則を守らせるためにどのような支援を大学が必要としているかを副学長らに尋ねた。複数の副学長が、さまざまな政府機関から要件の異なる報告を求められて調整に苦労していることを述べた。主要な助成機関の代表を含む、ホワイトハウス科学技術政策局研究環境合同委員会が方針の統一を主導しているが、今のところ指針は示されていない。ま

たRamasubramanianは、「匿名の情報を受け取ったときに、大学は何を利益相反と見なすべきか、さまざまな状況にどう対応すべきかという疑問が残る」と述べている。

政府の規制強化で持ち上がったもう 1つの問題は、中国系研究者や一部の 外国人研究者が不当に標的とされてい るのではないかということだ。副学長 らは、性急な対策は米国で働いている 外国人研究者たちに反感を持たせ、彼 らを疎外する可能性があると述べた。 カリフォルニア大学ロサンゼルス校の 研究担当副学長Roger Wakimotoに よると、同校は「大学は人種による選 別を許容しない」ことを強調する文書 を大学教員らに送ったという。

大学への圧力は徐々に高まっている。1つの例は、2020年1月、ハーバード大学(マサチューセッツ州ケンブリッジ)の教授で著名な化学者 Charles Lieberが米司法省に逮捕されたことだ。彼の容疑は、千人計画への参加に関して米国政府に虚偽の報告をしたということだった。司法省によると、彼は計画に参加し、中国側から最大5万ドルの月給と年間約15万ドルの生活費を受け取る契約を結び、1500万ドル以上の研究費も受け取ったという。

2020年2月、中国が米国に及ぼしている脅威について議論する会議が開かれ、米国大学協会会長Mary Sue Colemanはそこで、Lieberの逮捕は、政府機関への報告の重要性を科学者と大学幹部に理解させるのに特に役立った、と話した。

翻訳:新庄直樹

Universities forge ties with FBI amid foreign-influence crackdown

Vol. 579 (331) | 2020.3.19 Nidhi Subbaraman

スマホアプリのデータから 見えてきた COVID-19 の特徴

嗅覚障害は新型コロナウイルス感染症の 重要な症状の1つであることをスマホアプリのデータが示唆。

型コロナウイルス感染症 (COVID-19)では嗅覚や味覚 の喪失を症状の1つとして見なすべきであることが、英国で症状追跡アプリケーションを使った1回目の調査結果から示唆された。COVID-19と関連する現象には数多くの事例報告があるが、嗅覚を喪失する嗅覚障害は、世界保健機関(WHO)が設定したCOVID-19の症状リストには、2020年4月16日現在、入っていない(註:WHOが4月17日に公開した「Q&A on coronaviruses (COVID-19)」サ

イトでは、稀な症状の一例として嗅覚 異常が挙げられている)。

英国で150万人以上が登録するスマートフォン・アプリケーション「COVID Symptom Tracker」は、ユーザーに毎日、COVID-19のものと考えられる症状を含めた健康情報を記録してもらう。このアプリで2020年3月24~29日に収集されたデータの解析から、COVID-19のPCR検査で陽性だったユーザーは、COVID-19の症状があってもPCR検査で陰性だったユーザーに比べて、嗅覚障害を報告する率が3倍であることが分

かった。PCR検査で陽性の579人のうち、嗅覚が失われたと報告したのは59%だったのに対して、陰性のユーザーでは1123人のうち18%だったのだ。これらの知見は4月7日にプレプリント(査読前の論文原稿)の形で報告された(C. Menni et al. Preprint at medRxivhttp://doi.org/drkq; 2020)。同じ研究グループの最新(未発表)の図(「症状の追跡」参照)からも、同様の傾向が読み取れる。彼らは、嗅覚障害がある人は「自己隔離」すべきだと述べている。

PCR検査で陽性だったユーザーが報告した他のよくある症状は、発熱、しつこい咳、倦怠感、下痢、腹痛、食欲減退だった。

翻訳:船田晶子

App data suggest loss of smell is a key symptom of coronavirus infection

Vol. 580 (309) | 2020.4.16

症状の追跡

研究チームの 2020 年 4 月 7 日の報告によれば、 COVID-19 の PCR 検査において陽性で 症状を報告したアプリユーザーのうち、 約 60%に嗅覚障害があった。

一嗅覚障害(無嗅覚)

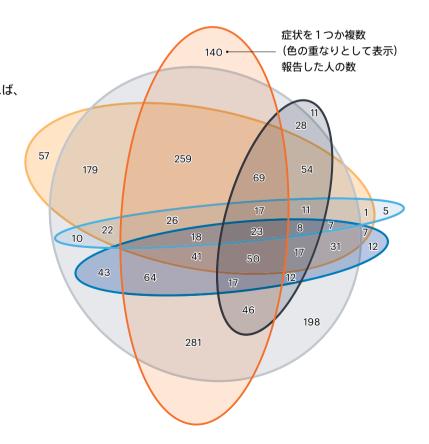
一下痢

一咳

一息切れ

一倦怠感

一 発熱



DATA SOURCE: COVID SYMPTOM TRACKER TEAM

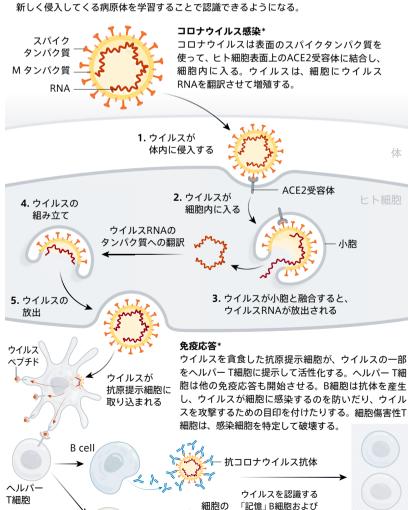
コロナウイルスワクチンの 開発レース

SARS-CoV-2に対するワクチンの開発が世界中の企業や大学で進められていて、それは90種類以上に及ぶ。中には、人体で使用されたことがあるがワクチンには使われたことがない技術を用いたものもある。少なくとも6つの研究チームがワクチン製剤の安全性試験でボランティアへの投与を開始し、他のチームも動物での試験を始めている。

ワクチンの基礎:免疫を発揮させる仕組み

*単純化している

体の適応免疫系は、コロナウイルスSARS-CoV-2などの、 新しく侵入してくる病原体を学習することで認識できるようになる



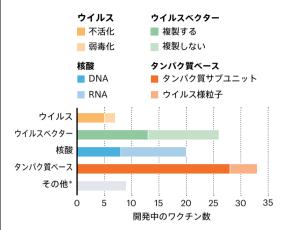
「記憶」T細胞は長期生存し、

体内を巡回して免疫を発揮

数カ日~数年間にわたり

多くのワクチン

ワクチンは全て、「抗原」に体をさらすことを目的としている。この「抗原」は、病気を引き起こさないが、感染が起こるとウイルスを抑制あるいは殺傷する免疫応答を引き起こす。コロナウイルス用に試験中のワクチンには少なくとも8タイプあり、異なるウイルス株またはウイルス部分に依存する。



*その他では、ポリオウイルスあるいは結核菌に対する既存のワクチンが、広 範にわたる一般的な免疫応答を誘導することでSARS-CoV-2と戦うのに役立つ かどうか、あるいは特定の免疫細胞を、コロナウイルスを標的とするように遺 伝的に改変できるかどうかが検討されている。

ウイルスワクチン

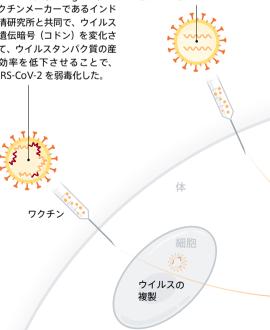
少なくとも7チームが、弱毒化または不活化したウイルスを用いてワクチンを開発中だ。麻疹やポリオに対するワクチンなど、既存のワクチンの多くはこの方法で作られているが、広範な安全性試験が必要だ。シノバク・バイオテク社(Sinovac Biotech)は、不活化型SARS-CoV-2 ワクチンの臨床試験を開始。

弱毒化ウイルス

ワクチンに用いるウイルスは、通常、病気を引き起こしにくくなる変異を獲得するまで、動物あるいはヒトの細胞に繰り返し感染させて弱毒化する。コーダジェニクス社 (Codagenix) は、ワクチンメーカーであるインド血清研究所と共同で、ウイルスの遺伝暗号(コドン)を変化させて、ウイルスタンパク質の産生効率を低下させることで、SARS-CoV-2 を弱毒化した。

不活化ウイルス

ウイルスをホルムアルデヒドなどの化合物や熱などを用いて非感染性にしたワクチン。ただし、大量の感染性ウイルスから作り始める必要がある。



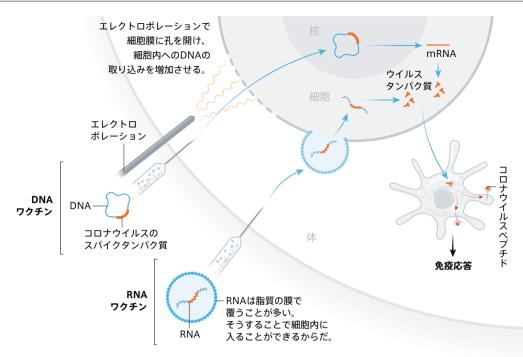
細胞傷害性

T細胞

核酸ワクチン

ヒトの細胞に、コロナウイルスのスパイクタンパク質などをコードする核酸を注入すると、ウイルスタンパク質のコピーが作り出される。少なくとも20のチームが、こうした遺伝的指示を用いて、コロナウイルスタンパク質を標的とした免疫応答を引き起こすことを目指している。

RNAやDNAをベースとするワクチンは安全性が高くで開発が容易だ。核酸ワクチンを作製するのに必要なのは遺伝物質のみであり、ウイルスは必要ないからだ。しかし、この技術を用いたワクチンはこれまで承認されておらず、有効性が証明されていない。



ウイルスベクターワクチン

麻疹ウイルスやアデノウイルスなどのウイルスに遺伝学的な改変を加えて、体内でコロナウイルスタンパク質を産生できるようにしたもので、約25のグループがこのワクチンを開発中。ベクターとして用いるウイルスは、弱毒化されていて病気を引き起こさない。ウイルスベクターには、細胞内でウイルスが複製するタイプと、主要な遺伝子が機能しないように改変され複製しないタイプの2つがある。

免疫応答

細胞内で複製するウイルスベクター (弱毒化麻疹ウイルスなど)

新たに承認されたエボラワクチンは、 このタイプの一例。安全で強力な免疫 応答を誘導する傾向があるが、ベク ターに対する既存の免疫によりワクチンの有効性が低下する可能性がある。

複製しないウイルスベクター (アデノウイルスなど)

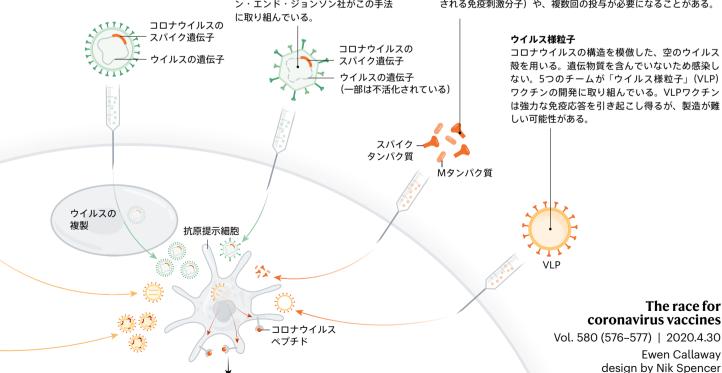
承認ワクチンではこの方法が用いられたものはまだないが、遺伝子治療では長い歴史がある。長く持続する免疫を誘導するためには、追加のワクチン投与が必要になることがある。ジョンソン・エンド・ジョンソン社がこの手法に取り組んでいる

タンパク質ベースのワクチン

多くの研究者がコロナウイルスタンパク質を直接体内に注入したいと考えている。ウイルスの外膜(エンベロープ)を模倣したタンパク質の断片や、タンパク質の殻(キャプシド)の断片も使用できる。

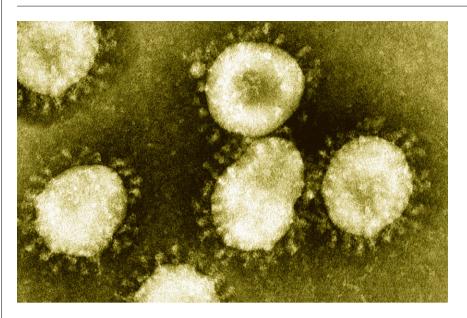
タンパク質サブユニット

28 のチームが、ウイルスタンパク質サブユニットによるワクチンを開発中だ。そのほとんどが、ウイルスのスパイクタンパク質あるいは、スパイクタンパク質の受容体結合ドメインと呼ばれる一部分に注目している。SARSウイルスに対する同様のワクチンは、サルでは感染を防いだが、ヒトでの試験は行われていない。これらのワクチンが効果を発揮するには、アジュバント(ワクチンと共に送達される免疫刺激分子)や、複数回の投与が必要になることがある。



11

翻訳:三谷祐貴子



新型コロナウイルス研究 注目の論文

新型コロナウイルス (SARS-CoV-2) と その感染症である COVID-19 に関する文献を Nature が精査し、主要な論文をまとめた。

5月6日 ウイルスを迅速に作製する手法

酵母細胞を使い、他の手法よりもはるかに迅速に人工SARS-CoV-2ゲノムを合成することに成功した。

SARS-CoV-2ゲノムはRNAからなるが、ベルン大学 (スイス)のJoerg JoresとVolker Thielらが開発したプロトコルでは、SARS-CoV-2ゲノムを重複のある12の断片に分割し、それをDNAに変換した短配列を用いる(T. T. N. Thao et al. *Nature* doi. org/ggttcr; 2020)。研究チームがこれらの合成DNA短配列を出芽酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)細胞に挿入すると、酵母はそれをつなぎ合わせて完全なウイルスゲノムを構築した。

研究チームは、この合成ゲノムを再びRNAへと変換し、RNA鎖をヒト細胞に挿入することで、生きたウイルスを作製した。人工コロナウイルスの作製に要した期間は1週間だった。この技術を使えばウイルスを迅速に組み立てることができるので、ウイルスの新たな変異の生物学的影響を調べるのに役立つと研究チームは述べている(natureasia.com/ja-jp/research/highlight/13311参照)。

5月5日 中国が感染拡大を 阻止できた理由は単純ではない

新たな証拠は、SARS-CoV-2の流行を抑制するために中国が取った学校閉鎖や旅行禁止などの痛みを伴う措置に、そ

れだけの価値があったことを示している。 ブルーノ・ケスラー財団 (イタリア・トレント) の Marco Ajelli、復旦大学 (中国上海) の Hongjie Yuらは、当局が厳格なロックダウンを義務付けた後、上海と武漢の市民では、1日に接触する人の数が15~20人から約2人まで減少したことを見いだした (J. Zhang et al. Science doi.org/ggthtr; 2020)。この思い切ったソーシャルディスタンシング (社会的距離確保施策) は、2つの都市の感染拡大を抑え込むのに十分だった。

研究チームのモデル研究によると、上海では、学校閉鎖だけでは感染拡大を阻止することはできなかったと考えられるが、流行のピーク時の1日当たりの新規感染者数を少なくし、病院の負担を軽減することはできただろうと予想している。

サウサンプトン大学(英国)のShengjie Laiらによる別の研究は、中国でのSARS-CoV-2の封じ込めには、感染の迅速な検出と感染者の隔離が最も効果的な手段だったことを示している(S. Lai et al. *Nature* doi.org/dtr4; 2020)。しかし、このような措置を取っていても、当局が旅行と社会的相互作用も規制していなければ、感染者数ははるかに多くなっていたはずだ。

対策があと3週間遅れていたら、中国の感染者数は18倍になっていたかも しれないと研究チームは述べている。

5月1日 免疫系は新型コロナウイルスに 対して異常な反応を示す

SARS-CoV-2に感染した細胞とフェレット、ヒトでの分析によれば、このウイルスに対する免疫反応は、他の呼吸器ウイルスに対する反応とは異なっているという。この発見は、免疫系を標的とする治療がCOVID-19患者に有効かも

しれないという考えを裏付けるものだ。

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 Benjamin tenOeverらは、SARS-CoV-2に感染した細胞は、他の呼吸器ウイルスに感染した細胞に比べて、インターフェロンと呼ばれる抗ウイルスタンパク質の濃度が異常に低いことを発見した(D. Blanco-Melo et al. *Cell* go.nature.com/3bWE82b, 2020)。しかし、SARS-CoV-2に感染したフェレットやヒトでは、より一般的な免疫反応を活性化させるIL-6などのタンパク質の濃度が、感染していない対照群に比べて高かった。

この結果は、免疫不均衡を示唆している。すなわち、インターフェロン濃度が低いために細胞がウイルスの複製を阻止する能力が低下し、一方で、より特異性の低い免疫反応が活性化する。その結果、炎症が促進されるというわけである。

4月30日

子どもも新型コロナウイルス感染症に 罹患する

中国・深圳の人々を対象とする調査に よると、SARS-CoV-2感染者との濃厚 接触により感染する可能性は、子ども も大人と同程度という。

ジョンズホプキンス大学公衆衛生大学院 (米国メリーランド州ボルティモア) のJustin Lessler、深圳市疾病対策予防センターのTiejian Fengらは、約400人のCOVID-19患者と、感染者の「濃厚接触者」1300人を分析した(Q. Bi et al. Lancet Inf. Dis. doi.org/dtd7;2020)。その結果、10歳未満の濃厚接触者の7%がSARS-CoV-2に感染していたことが明らかになった。これは濃厚接触者の集団全体における感染者の割合とほぼ同じである。この研究は、プレプリントとして3月27日に最初にネット

上で公開された (doi.org/dpf9)。

研究チームは、陽性となった濃厚接触者の80%は、最初の感染者のうちのわずか9%から感染したことも明らかにした。こうした「スーパースプレッディング」現象は、「COVID-19の大規模クラスター」を生じる可能性があると彼らは述べている。

4月29日

新型コロナウイルスは 宿主の免疫防御機構を乗っ取って 侵入している可能性がある

SARS-CoV-2がヒト細胞に侵入する際には、ウイルスタンパク質の1つが、ヒトの多くの臓器の細胞に見られるACE2というタンパク質と結合した後に侵入することが分かっている。しかし、この重要な相互作用についてはほとんど解明されていない。

詳細を明らかにするため、ハーバード大学医学大学院(米国マサチューセッツ州ボストン)とマサチューセッツエ科大学(MIT:米国ケンブリッジ)の

Alex Shalek、ブロード研究所 (米国マサチューセッツ州ケンブリッジ) の Jose Ordovas-Montanes らは、インフルエンザに感染した人の気道の細胞を調べた (C. G. K. Ziegler et al. *Cell* doi. org/ds9j; 2020)。インフルエンザウイルスも SARS-CoV-2も気道の細胞に感染することが分かっている。

研究チームは、インフルエンザに感染している人では、通常はウイルスを撃退するのに役立つインターフェロンというシグナル伝達分子が、ACE2タンパク質をコードする宿主遺伝子のスイッチを入れていることを発見した。この結果は、ウイルスの攻撃に対する体の防御機構がACE2の遺伝子を活性化させることを示唆している。

4月27日

病院のトイレは 空気中のウイルス RNA 濃度が高く ホットスポットになり得る

SARS-CoV-2のRNAは空気中を伝わることができ、感染者の呼気中の微粒



SARS-CoV-2 は、ウイルスタンパク質 (赤) を標的細胞表面の ACE2 タンパク質 (青) に結合させることにより、標的細胞に侵入する。

子によって拡散する可能性がある。

武漢大学 (中国湖北省) のKe Lanらは、COVID-19患者を治療している2つの病院でエアロゾル(空気中の微粒子)トラップを設置し、エアロゾル中のSARS-CoV-2ウイルスRNAの濃度を調べた(Y. Liu et al. *Nature* doi.org/10.1038/s41586-020-2271-3; 2020)。

その結果、空気中のウイルスRNA 濃度が高かったのは、患者用の仮設トイレや、医療スタッフの更衣室などであった。医療スタッフの部屋を消毒した後にはウイルスRNAは検出されなくなり、よく換気されている病棟ではウイルスRNAは低濃度か検出不可能なほど低かった。

研究チームは、空気中にウイルスRNAが存在することは、SARS-CoV-2がエアロゾルを介して拡散する可能性があることを示唆しており、定期的な消毒やこまめな換気などの対策がウイルスの拡散抑制に役立つ可能性があると述べている(natureasia.com/ja-jp/clinical/research/13301参照)。

4月20日

香港はいかにして、 厳しい活動制限なしに新型コロナの 感染拡大を食い止めたのか

香港は他の国々のような厳しい方策に頼ることなく、徹底的な監視、隔離、ソーシャルディスタンシング(社会的距離確保施策)によりSARS-CoV-2の拡散を減速させることができた。

2020年1月にCOVID-19のアウトブレイクが始まった武漢では、感染拡大を抑え込もうとする当局が、人々が市外に出ることを禁止した。これに対して香港では、広範な検査、感染者と接触した人々の隔離、および学校閉鎖をはじめとする社会的距離を取る施策などからなるプログラムが採用された。香

港大学のPeng Wuらが3月上旬に住民に対する調査を行ったところ、99%が公共の場ではマスクを着用していると答え、85%が人ごみを避けていると答えた(B. J. Cowling et al. *Lancet Public Health* doi.org/dsfw; 2020)。

香港市民の行動変容と政府の施策の 組み合わせにより、3月末までの期間、 ウイルスの感染拡大は比較的抑えられ ていたことが明らかになった。

4月16日

アイスランドに新型コロナウイルスを 持ち込んだのはスキー愛好家たち

アイスランドに SARS-CoV-2を運ん だのは、アルプスでのスキー休暇から 帰国した人々だった。

デコード・ジェネティクス-アムジェ ン社 (deCODE Genetics-Amgen; アイスランド・レイキャビク)のKari Stefanssonらは、アイスランド住民 の中で中国への旅行者などでSARS-CoV-2への曝露リスクが高い人を対 象に、2020年1月下旬からウイルス 検査(RT-PCR法)を開始した(D.F. Gudbjartsson et al. N. Engl. J. Med. doi.org/ggr6wx; 2020)。4月4日ま でに検査を受けた9199人のうち、約 13%がウイルスに感染していた。研究 チームは陽性者から採取したウイルス RNAについて塩基配列解読を行い、い くつかの系統はオーストリアかイタリ アに起源を持つと考えられることを明 らかにした。どちらも、アルプス山脈 のスキーリゾートがある国だ。

研究チームは、無作為に選んだ2000 人以上についてもも3月後半に検査し、 感染者はそのうちの0.6%だった。研 究チームはこの分析結果について、ア イスランドが検査と接触者の追跡、隔 離により、ウイルスの封じ込めに成功 したことを示すものだとしている。

4月15日

ソーシャルディスタンシングの 緩和で新型コロナウイルスの 新たな感染拡大が起こる恐れ

現在のソーシャルディスタンシング (社会的距離確保施策)が緩和されると COVID-19患者が急増する可能性が 高いことがモデル研究により示された。

ハーバードT.H.チャン公衆衛生大学院(米国マサチューセッツ州ボストン)の Yonatan Grad、Marc Lipsitchらは、SARS-CoV-2とは別のベータコロナウイルスに関する米国でのデータを基に、米国のような温暖な地域でのパンデミック後の SARS-CoV-2 伝播を予測するモデルを開発した(S.M. Kissler et al. *Science* doi.org/drz3; 2020)。

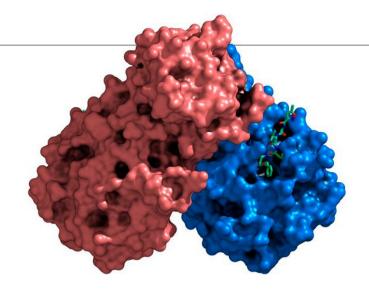
研究チームはこのモデルから、SARS-CoV-2にもインフルエンザウイルスなどのように特に効率よく伝播する季節がある場合には、社会的距離確保施策が終わった後のCOVID-19患者数のピークは、この措置を一度も取らなかった場合のピークよりも大きくなる可能性があることを見いだした。これは、社会的距離確保施策によりウイルスに感染しやすい人の割合が高いままになっているため、2020年後半にウイルスの伝播性が高まった場合には患者数が急増するというわけである。

研究チームはまた、SARS-CoV-2に 対するヒトの免疫が数年で弱まる場合 には、冬場に繰り返しアウトブレイク が発生する可能性が高いとしている。

4月10日

ウイルス酵素の構造が指し示す 治療薬の可能性

SARS-CoV-2の複製に関与するタンパク質の1つ、メインプロテアーゼという酵素の結晶構造が詳細に解明された。



2020年2月、上海工科大学(中国)の Hualiang Jiang、Zihe Rao、Haitao Yangらは、タンパク質データバンクに このプロテアーゼの構造を登録し、以 来、この酵素を阻害する化合物を探し 求めてきた (Z. Jin et al. Nature doi. org/10.1038/s41586-020-2223-y; 2020)。研究チームが1万以上の化合物をスクリーニングした結果、この酵素を阻害する化合物がいくつか見つかり、その中でもヒトで安全性が試験済みのエブセレン (ebselen) には強力な 抗ウイルス活性があることが分かった。

SARS-CoV-2のプロテアーゼにはく ぼみが1つあり、酵素阻害作用のある化 合物はそこに入り込むことで作用する。 他のコロナウイルスのプロテアーゼに も同様のくぼみがあることから、こう した単一の化合物が各種のコロナウイ ルスによって引き起こされる広範な疾 患の治療に役立つのではないかという 期待が高まっている。

4月8日 ウイルス量は発症時に急増する

2つの独立の研究チームによると、 COVID-19患者のウイルスRNA濃度 は症状が出始めた直後に最も高くなる という。

香港大学深圳病院 (中国) の Kwok-Yung Yuen らは、SARS-CoV-2 に感染 した23人の咳から採取した唾液検体を分析した。研究チームは、研究参加者のウイルス濃度は最初に体調不良を感じてから間もなくピークに達し、ピークから約1週間後に低下し始めることを発見した。

体内で検出されるウイルスRNAの量が多いほど、咳やくしゃみの際に排出される量は多くなる。研究チームによれば、発症時に検出されるSARS-CoV-2粒子の濃度の高さは、比較的軽症であっても、ウイルスが人と人の間で容易に伝播し得ることを示唆しているという(K. K.-W. To et al. *Lancet Infect. Dis.* doi.org/ggp4qx; 2020)。

この結果は、18人のCOVID-19患者の鼻咽頭ぬぐい液を分析した別の研究の結果とも一致している。症状のある17人の患者におけるウイルスRNAの濃度は、無症状の患者1人のそれとほぼ同じであった(L. Zou et al. *N. Engl. J. Med.* doi.org/ggmzsp; 2020)。

しかし別の研究では、入院時に軽症だったCOVID-19患者は、より重症だった患者に比べてウイルスRNAの濃度がはるかに低いという結果が出ている(Y. Liu et al. *Lancet Infect. Dis.* doi.org/dqrr; 2020)。南昌大学第一附属病院(中国)のWei Zhang、香港大学のLeo Poonらは、この研究から、ウイルスRNAの濃度に基づき患者が重症化するかどうかを予測できる可能性が示唆されるとしている。

4月3日 マスクの着用で 新型コロナウイルスの拡散を 抑えられる可能性がある

サージカルマスク (医療用マスク) で呼吸器飛沫中の季節性コロナウイルスの拡散を効果的に阻止できることが報告された。この研究は、SARS-CoV-2の伝播も阻止できる可能性を示唆している。

季節性コロナウイルスは風邪の原因の1つである。香港大学のBenjamin Cowlingらは、季節性コロナウイルスに感染した被験者に密閉したブース内で空気中の粒子を捕集する装置 (Gesundheit-II) に向かって呼吸をしてもらうことで検体を採取し、呼気中のウイルス量を測定した (N. H. L. Leung et al, *Nature Medicine*. doi. org/10.1038/s41591-020-0843-2; 2020)。

実験の結果、マスクを着用していない被験者が排出した大きめの飛沫と「エアロゾル」と呼ばれる細かい飛沫の両方で、コロナウイルスRNAが検出された。マスク着用の場合、両タイプの飛沫中に検出されるウイルスRNA量が減少した。大きめの粒子はくしゃみや咳によって運ばれるのに対し、直径5μm未満のエアロゾル飛沫は呼気で拡散し得る。

研究チームは、サージカルマスク着用で、季節性コロナウイルスだけでなくインフルエンザの伝播も減らすことができるとしている(natureasia.com/ja-jp/research/highlight/13305参照)。

翻訳:三枝小夜子

※ Nature ダイジェスト 6 月号 オンライン版にはプレプリント論文も 含めて掲載しています。

Coronavirus research updates 10.1038/d41586-020-00502-w

Nature および Nature 関連誌が「プラン S」に準拠して、 オープンアクセス化へ

2021年以降、プランS参加機関からの資金を受ける研究者も、 Nature および Nature 関連誌のほとんどで 論文をオープンアクセス形式で出版できるようになると、 シュプリンガー・ネイチャーが発表した。

◆◆◆ 合科学雑誌 Nature などを出版するシュプリンガー・ネイチャーは2020年4月8日、「プ

ランS(Plan S)」と呼ばれる大胆なオープンアクセス(OA)実現計画の規定が変更されたことを受け、非OA誌である*Nature*およびNature関連誌を、プランSに準拠させると表明した。なお、論文掲載料(APC)などの詳細については今後も検討を続けるという。

同社の広報担当者によると、出版した論文の即時OAを希望する研究者や、研究資金配分機関からこれを要請されている研究者は、2021年1月以降、一次研究論文をNature およびNature 関連誌にOA形式で出版できるようになる(Natureは、その出版元であるシュプリンガー・ネイチャーと編集上の独立を保っている)。

今回の発表は、同社が発行する中でも特に知名度が高い学術誌をプランSに準拠させる意思を初めて明らかにしたものである。つまり、プランS参加機関から資金を受ける研究者は、今後もこうした学術誌で論文を出版できるようになったことを意味する。これまでシュプリンガー・ネイチャーは、NatureやNature関連誌でもOA形式での出

版を可能にしたい気持ちはあるが、プランSの規定が変更されるまでは従うことはできないと述べていた(2019年5月号「主要学術出版社はプランSをどう見ているか|参照)。

生物医学分野の資金配分機関であるウェルカム財団 (英国ロンドン)のオープンリサーチ部門長で、2018年にプランSを策定した資金配分機関の団体「コアリションS (cOAlition S)」の暫定コーディネーターであるRobert Kileyは、「シュプリンガー・ネイチャーが、その学術誌の完全OA化に乗り出したことをうれしく思います」と言う。

しかし、イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校(米国)の図書館司書Lisa Hinchliffeは、規定の変更は、出版社がプランSとの戦いに勝利し、そのガイドラインを緩和させて期待をしぼませたことを意味すると指摘する。それが最も顕著に出ているのが、ハイブリッド型学術誌と呼ばれるものだ。ハイブリッド型学術誌では、一部の論文はOAだが、他の論文はペイウォールの後ろにある。「コアリションSは当初、ハイブリッド型学術誌を認めない強硬な姿勢で臨んでいました。しかし今回、規定を変更して、ハイブリッド型学術

誌に対し徐々にプランSに準拠した形 に移行するよう働き掛けを続ける方針 に転換したのです」と彼女は言う。

プランSとは何か?

プランSの目標は、科学論文などの学術 出版物を、出版と同時に誰もが無料で 読めるようにすることにある。コアリ ションSに参加している機関は、欧州諸 国を中心とする17カ国の公的資金配分 機関をはじめ、世界保健機関(WHO)、 生物医学分野の世界最大の民間助成機 関であるビル&メリンダ・ゲイツ財団や ウェルカム財団などである。欧州委員 会も、プランSに沿ったOA方針の採用 を予定している。ある推定によると、プ ランS参加機関からの資金を受けた論 文は、世界の全科学論文の約7%を占 めるという。出版情報サービス会社ク ラリベイト・アナリティクスの2019年 の報告書によると、2017年にNature に掲載された論文の35%が、プラン S参加機関からの資金を受けたもので あった。

プランSについて簡単に説明すると、 プランS参加機関から資金を受けた研 究者は、その成果である論文をOA誌 に投稿するか、査読済み論文をオンラ イン上で公開することが義務付けられ る。この要請の対象となるのは、遅く とも2021年1月1日以降に募集され る、プランS参加機関からの資金を受 けた研究に関する論文だが、個々の機 関はそれよりも早い時期からこの規則 の適用を始めることができ、その方法 についても細かい規定がある。プラン Sが問題視する「完全OA誌以外での 出版 | については、状況はもっと複雑 だ。一時は、完全OA誌ではない学術 誌での出版を禁止するとみられたコア リションSだが、規定を変更したり特 別な取り決めを結んだりすることで、こ の条件を徐々に緩和してきたからだ。

2018年11月、コアリションSに参加 する資金配分機関が、研究結果をハイ ブリッド型学術誌においてOA形式で 出版することは禁止しないがAPCは負 担しないと表明し、この方法での出版 は、研究者にとって魅力的ではなくなっ た。ただし、投稿先のハイブリッド型 学術誌を発行する大手出版社が、図書 館や大学コンソーシアムと「転換契約 (transformative agreement;移行契 約とも呼ばれる) | を結んでいる場合は 例外である。転換契約は、コンソーシ アムなどが出版社に、APCおよび購読 にかかる費用を一括で支払い、研究者 が論文をOA形式で出版するのを後押 しするのが狙いである。現在、多くの 出版社がこうした契約に署名しており、 この方法での準拠に関するプランSの方 針の評価は、2024年に行われる予定だ。

しかし、転換契約は全ての学術誌をカバーしておらず、この契約には影響力の大きい購読型学術誌であるNatureやScienceは含まれていない。これらの学術誌がOA形式での出版を認めたとしても、完全OA誌ではないため、プランS参加機関は出版費用を支払わない。そこで出版社と資金配分機関は、交渉により「転換ジャーナル(transformative journal)」という新しい準拠カテゴリーを設けた。学術誌がOA形式のコンテンツを段階的に増やしていけば、個別に「転換ジャーナル」として認められるようにしたのだ。

「転換ジャーナル」に関する規定の変更

この1年間、出版社とプランS参加機関は、どのような学術誌を「転換ジャーナル」として認めるかについて議論してきた。出版社との交渉の後、コアリションSが4月8日に発表した規定によれば、学術誌が「転換ジャーナル」として認められるためには、完全OA化に向けて移行中であることを明示す

る必要があるという。具体的には、OA 形式のコンテンツの絶対数を毎年5% ずつ増やし、これが75%を超えたとこ ろで完全OA誌に転換する。ただし、コ アリションSは「転換ジャーナル」は 2024年12月までにOA化を完了しな ければならないという条項を削除して、 期限を撤廃した。

出版社と 資金配分機関は、 「転換ジャーナル」という 新カテゴリーを設けた

こうした規定変更を受け、シュプリンガー・ネイチャーは、自社の学術誌をプランSに準拠させることができると表明した。シュプリンガー・ネイチャーの出版・ソリューション部門の最高責任者であるSteven Inchcoombeは、変更された目標は「非常に困難なものですが、私たちはその達成に向けて全力を尽くします」と述べた。この方針は、2024年にコアリションSによる評価を受けるまで維持される。

とはいえ全ての交渉が終わったわけではない。プランSは、学術誌がプランSに準拠していると認められるためには、OAの価格戦略について透明性がなければならないなどの細かい要請をしている。Inchcoombeは、プランSはシュプリンガー・ネイチャーに対してこうした詳細な点を明確にする必要があると言う。ややこしいのは、個々のプランS参加機関がコアリションSの定めるガイドラインから逸脱する可能性があることだ。例えば、英国の主要な資金配分機関で、プランS参加機関の1つであるUKリサーチ・アンド・イノベーション(UKRI)は、ハイブリッ

ド型学術誌での出版に関する方針についてはまだ考慮中であるとしている。

シュプリンガー・ネイチャーがNature やNature関連誌でのOA出版をどのよ うな形で認めるのか、その費用はどう なるのかなどの詳細は、まだ決まって いない。2020年1月、同社を含む学術 出版社8社は、価格設定に関する匿名 化した情報を共有できるようにする予 備的な研究を立ち上げた。その目的は、 コンサルティング会社「インフォメー ション・パワー」(Information Power; 英国) がコアリション Sからの委託を受 けて作成した報告書で提案されている 「透明性のためのテンプレート」(訳註: 資金配分機関や図書館が、出版社のど のような項目に対してどれだけの費用 を払っているかを明確にするためのひ な型)を試すことにある。その結果は年 内に発表される予定だ。

Scienceを出版する米国科学振興協 会(AAAS;米国ワシントンD.C.)は、 プランSに従って同協会の非OA誌を 「転換ジャーナル」とする計画は持って いないが、別の解決策を模索している という。著者が、論文が出版されるの と同時に、受理されたバージョンの論 文のオンラインリポジトリへの投稿を 認めるという方法だ。広報担当者によ ると、AAASは、2013年からこれを 許可しているという。しかしプランS の要請はそれにとどまらず、論文がオー プンライセンスの下で共有され、誰で もそれを再配布したり改編したり(例 えば翻訳したり再出版したり) できる ようにすることを求めている。

翻訳:三枝小夜子

Nature to join open-access Plan S, publisher says

10.1038/d41586-020-01066-5 2020.4.9

Richard Van Noorden

パンデミックと 女性研究者たち

研究者としての昇進を妨げる可能性のある「母親の壁」。 これについて、ロックダウンでどのようなことが明らかになるのか。 私はそれを知りたいと考えています。



性研究者たちの仕事や生活は、COVID-19 のパンデミックによって多大な影響を受けている。彼女たちがそれに対処する方法の1つがユーモアだ。3月、ツイッターにウイルス関連のこんな投稿を見つけた。「この次、『アイザック・ニュートンは自宅でどれほど生産的な仕事をしていたか』とツイートした人は、うちの3歳の息子からツイートをもらうわよ!」。

COVID-19のせいで勤めている大学が3月12日 に閉鎖されて以来、私はこれまでの人生で見てきたよりもずっと多くの日の出を見てきた。いま私は、夜明け前に仕事をしなければならないからだ。

考えたり教えたりするには、静寂と集中が極めて重要だ。学生たちに向けたオンライン授業を録画しているときには、バックグラウンドの騒音を最小限にすることが不可欠だ。しかし、息子はまだ2歳。私が最初の授業を録画しようとしたとき、最後の2枚のスライドを映している最中に息子がおもちゃのトランペットを吹く音がはっきりと聞こえていた。となると、私が撮影できるのは、息子が眠っている夜か夜明けごろしかない。

もう1つ、私の時間を要求するもの。それは、世界中に散らばっている研究の仲間たち。彼らは、オンラインで顔を見ながら話をしたいという時代錯誤も甚だしい願望を持っている。時間帯などおかまいなし。そういうわけで、私の研究者仲間たちは息子の顔を知ることになった。彼の小さな頭が時々ウェブカメラにひょっこり現れるからだ。

これはつまり、科学論文を書く時間が減ってしまったことを意味する。働く代わりに、私や仲間たちの目下の目標は、日常生活を切り抜けることになっている。もちろん、COVID-19に感染した

場合の激烈な結果と比べれば、これはささいな問題だ。そして私たちは皆、失業していないことは幸運なことだと分かっている。貧富の差などの社会的不平等によって、仕事やヘルスケア、買い物などのサービスに手が届きにくくなっている人々もいるのだ。

とはいえ私は社会人口統計学者であり、家族が どのように世帯や賃金労働を管理しているかを研 究している。私は研究職や専門職の女性に研究の 焦点を合わせることが多いのだが、今は、自分自 身が研究対象になっている気がしている。私はす でに共同研究者たちと、聞き取り調査やオンライ ン民族誌学研究を立ち上げる準備を始めている。

このパンデミックは、一部の人々に重要な教訓を与える可能性がある。母親たちも父親たちも、家事・育児や労働時間の短期的な再編成に直面している。長い目で見ると、生産性におけるこれらの変化はキャリアに影響するだろう。家事や育児の義務が少ない人々は高みを目指している。学界の人々の中で、家族の世話や仕事におけるアンバランスを考慮に入れてくれる人はいるだろうか?いや、いない。私たちは皆、育児中かどうかにかかわらず、昇進とポジションを巡る自由競争に参加するだろう。

研究職においては、キャリアアップのチャンスは 自分が発表した科学論文の数および質と、研究プロジェクトに助成金を獲得できるかどうかにかかっている。だからそもそも、研究職と子育ては相いれないものなのだ。この先2、3年間の論文発表記録のデータから、子どもを持つ研究者は子どもを持たない研究者よりも相対的に2020年の論文発表数が劣るという結果が出るだろうと私は予想する。

育児中かどうかにかかわらず、

昇進と職を巡る自由競争に

私

たちは皆、

また、こうしたデータは女性にもたらされる結果についても明らかにするかもしれない。実際、家事や育児の負担は均等ではない。非常に教育程度の高いカップル間でさえも、だ。女性は男性よりかなり多くの時間を家事に割いている。米国の既婚の母親と父親を比べると、母親の方が家事と育児に倍近い時間をとられている。北欧の男女平等主義の国々でも、女性はいまだに無償労働の約3分の2を担っている。女性が稼ぎ手の男女のカップルにおいてさえ、女性が家事・育児の大部分をこなしている。

全体的に見て、COVID-19の経験は、特にいくつかの領域で、研究のやり方を変えつつある。査 読をスピードアップする新しい仕組み、入手可能なデータの質と速さの増加、および領域間での助成金の配分などが、学界の均衡を変えようとしているのだ。私たちは、これが格差にどのような効果を与えるのかに注意を向ける必要があるだろう。

(J

くつかの領域で、

研究のやり方を変えつつある

では、男女のカップルの妻と夫の両方が家にいると、何が起こるのか? 一番起こりやすいのは、これが男女不平等を悪化させるというシナリオだ。

研究職についたばかりの頃は、長期にわたって不安定な状態が続くものだが、この時期は女性の生殖期とちょうど重なる。働く母親が直面する差別や制限を指す、いわゆる「母親の壁 (maternal wall)」という言葉は10年以上にわたって使われ



てきた。女性にとって、保証された産休や育休、そして保育所などに関する政策は特に重要となるだろう。今回の事態に直結するアイデアの1つは、このロックダウンの時期を、子どもの世話をしている人々の育児休暇と見なすことである。そうすれば、例えばキャリアアップのための自由競争などにおいて彼女たちが後々評価される場合に、これを考慮に入れてもらうことができる。この期間に普段よりもさらに苦しい状況にある家族、とりわけ一人親(女性である可能性が高い)にとっては、非常に役立つ措置となるかもしれない。

男性も役割を持つ場合がある。フィレンツェ大 学(イタリア)の経済学者で私の共同研究者のPaolo Brunoriには、2人の子ども(18カ月と5歳)がい る。彼の妻は小児科医だ。彼はテレワークをして いるが、彼女はいまだに病院で勤務している。彼 はこう告白する。「頭を研究の仕事にだけ向けてお くのはほとんど不可能です。だって、集中できる 静かな時間を連続して3~4時間持つなんてことは 無理な相談なんですよ。そこで、やらなければな らないことを細分化して、妻のシルビアが家にい るときか、みんなが寝静まっている間に、少しず つ片付けていくんです」。Paoloや彼と同様の立場 に立たされている全ての人たちは、話を広めるべ きだ。私たち自身の家族の一員が子育てや家事に 割いている時間でさえ、ほとんどの場合、目に見 えず、見落とされているのだから。

たった1つの現実的な解決策は古典的なものだ。 それは男女平等への長期投資である。

翻訳: 古川奈々子

The pandemic and the female academic

10.1038/d41586-020-01135-9 2020.4.17

Alessandra Minello フィレンツェ大学 (イタリア) の統計学 および社会人口学の研究者

脳内の寄生虫

カナヘビの胚に侵入者発見。

Nathalie Feiner は、フランスのピレネー山地で採集したトカゲの胚の脳の中で小さな線虫がうごめいているのを見つけたとき、ただの偶然だと思った。彼女はある研究のために数百匹のイワカナヘビの胚を解剖していたのだが、この侵入者と出くわしたのは初めてだった。だがその後、孵化前のこの性を調質の脳に線虫が見つかる例が増えていった。

当時英国オックスフォード大学にいたFeinerは興味を覚え、同僚と共にこの胚の親を調べた。すると、線虫がいた胚の母親の卵巣だけに線虫が見つかった。この寄生虫が、それまで不可能だと考えられていた仕方で母から仔に移動したことを示唆している。

線虫などの寄生虫は宿主の中では増殖せず、哺乳類の胎盤や母乳を介して母から仔に伝わることが多い。だが鳥類や爬虫類の場合、発生中の胚の周囲に形成される卵殻がそうした侵入を阻

む壁になっていると考えられていた。爬虫類の卵に寄生虫が感染した例が観察されたことはなかったとFeinerは言う。「私たちはこれらの線虫が進化させた全く新しいライフスタイルを偶然に発見したと思われます」。

卵殻が防護壁になるとは限らないかも

Feiner らは2019年12月にAmerican Naturalistに受理された論文で、雌のイワカナヘビ85匹が6カ所で産んだ720個の卵を調べ、胚に線虫が見られるのがピレネー山地で採集した最初の個体群のみだったことを報告した。感染した雌から寄生虫が胚に移行した割合は50~76.9%だった。

DNA解析の結果、これらの線虫はこのトカゲの腸内で見つかる線虫に似ていることが分かった(ただしサイズはずっと小さい)。このためFeinerらは、この線虫は腸内にいる種から進化したのだろうという。

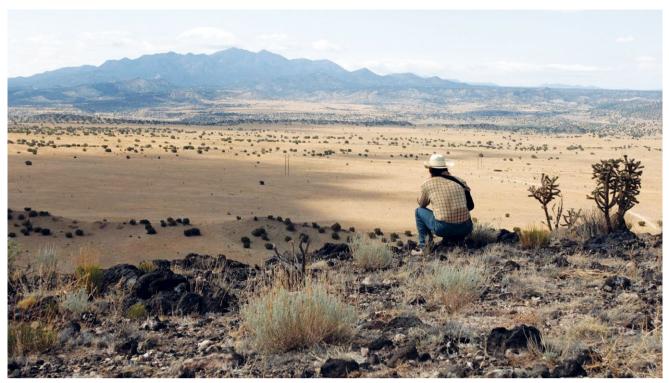
従来の研究は、主に鳥とカメの寄生 虫を調べていたので卵への感染の可能 性を見落としていたのだろうとFeiner は言う。鳥やカメでは受精後すぐに卵 殻が形成され、この段階の胚はわずか な細胞の塊にすぎないので、小さ過ぎ て宿主にならない。だがトカゲやヘビ で卵殻が形成されるのは胚がもっと大 きくなってからなので、寄生虫が感染 してもおかしくない。生物多様性・遺 伝資源研究センター(ポルトガル)の James Harris (今回の研究には加わっ ていない)は、Feinerらの仮説が正し い場合、この形態の感染はもっと広く 見られる可能性があるという。

Feinerは、この線虫が宿主の行動を変えている可能性があるとみている。脳にすみ着く寄生虫がその動物の捕食者に感染するためによく使う手だ。例えばトキソプラズマに感染したマウスは、ネコの尿を避けなくなる。その結果、マウスはネコの餌食になりやすくなり、寄生虫は生活環の次の段階に移ることができる。「欧州のイワカナヘビを捕食する動物に"私たちの線虫"が存在することが明らかになれば、この戦略が働いている可能性が高まるでしょう」とFeinerは言う。

翻訳協力: 粟木瑞穂



岩肌で日の光を浴びている雌のイワカナヘビ。



コーマック・マッカーシーの小説『血と暴力の国』を原作とする 2007年の映画「ノーカントリー」で、俳優ジョシュ・ブローリンが演じるベトナム帰還兵ルウェリン・モスの後ろ姿。

ピュリッツァー賞作家が伝授、 読ませる論文の書き方

2人の研究者が小説家コーマック・マッカーシーから 学んだコツをお裾分けする。

McCarthy)は、20年前からサンタフェ研究所 McCarthy)は、20年前からサンタフェ研究所 (ニューメキシコ州)のシニアフェローとして研究所内にオフィスを持ち、執筆活動の傍ら、多くの教職員 やポスドクのためにコピー・エディティング (文章の編集)を買って出ている。『ザ・ロード』『血と暴力の国』『ブラッド・メリディアン』など10冊の小説を上梓しているベストセラー作家が、複雑系の学際研究で有名なサンタフェ研究所と深く関わるようになったのは、研究所の設立者の1人である博覧強記の物理学者マレイ・ゲル=マンと1990年代に意気投合したことがきっかけだったという。マッカーシーは、ハーバード大学で女性として初めて終身在職権を

持つ理論物理学教授となった Lisa Randall や、一般向けの科学書『Scale』の著者である物理学者 Geoffrey West らの著作のエディティングにも協力している。理論生物学者で生態学者である Van Savage は、2000年にマッカーシーと出会い、大学院生からポスドクまでの約4年間をサンタフェ研究所で過ごした。 Savage は、この20年間に出版した科学論文のいくつかで、マッカーシーから編集上の貴重な助言を受けている。2018年の冬の長期休暇はサンタフェ研究所で過ごし、週に一度、マッカーシーとにぎやかに昼食を取っていた。2人はその際、論文執筆に関するマッカーシーの助言を要約し、幅広い科学者に教えられる形にした。今回は、このようにしてまとめた助言を、進化

生物学者 Pamela Yehの意見と併せて紹介する。マッカーシーが最も重視するのは、文章を簡潔に保ちつつ、説得力ある一貫した物語を語ることだ。それでは、Savageと Yehが伝えるマッカーシーの英知の言葉をどうぞ。

明快な論文を書きたいならミニマリストになることだ。この句読点、この単語、この文、この段落、このセクションがなくても言いたいことは伝わるのではないか、と考えながら文章を書こう。余計な単語やコンマがあれば取り去ること。

論文のテーマと、全ての読者に覚えておいてほしいポイントを2つか3つ決める。このテーマとポイントが、論文を貫く1本の糸になる。単語、文、段落、セクションをつづる作業は、論文をまとめ上げるための針仕事だ。読者がメインテーマを理解するのに必要ないものがあれば削除しよう。

この句読点、この単語、 この文、この段落、 このセクションがなくても 言いたいことは伝わるのではないか、 と考えながら文章を書こう。

1つの段落で伝えるメッセージは1つだけにすること。1つの文を1つの段落とするのは構わない。各段落では、最初に問い掛けをしてからアイデアへと進み、時に答えに到達するという形でメッセージを伝えていく。1つの段落の中で問題を提起し、答えを出さずにおくのもありだ。

文は短く、構文は単純に、遠回しな言い方はしない。科学的な説明には簡にして要を得た文が良い。読者が主なメッセージに集中できるように、従属節や重文や転換語―「however(とはいえ)」や「thus(かように)」など―は、なるべく使わないようにする。

読者のペースを乱さないように。脚注は避けよう。読んでいるときにページをめくる、リンクをクリックするなどの目を前後に動かす作業が入ると、読者の思考の流れを遮ってしまうからだ。専門用語や流行りの言葉、過度に技術的な用語はなるべく使わないように。同じ単語を繰り返し使ってはいけない。うんざりするからだ。

文章をゴテゴテと飾り立てないこと。形容詞は本当にふさ わしいものだけを使うように。論文は想定問答集ではないの で、読者からの質問を先回りすることに必死になり過ぎてはいけない。1つのセクションの中で、同じことを3通りの表現で言うのはやめよう。「elucidate (説明する)」と「elaborate (詳述する)」の両方を使ってはいけない。どちらか一方にしないと、読者は論文を放り出してしまうかもしれない。

読者の中には、あらゆる機会を捉えて本筋から外れた議論をしようとする人や、あらゆる主張に対して考えられる限りの条件を付けようとする人もいるが、気にし過ぎないように。楽しく書こう。

文法について言えば、初稿の手引きには、文法書よりも 話し言葉と常識の方が役に立つ。文法的に完璧な文を書く ことよりも理解されることの方が重要だ。

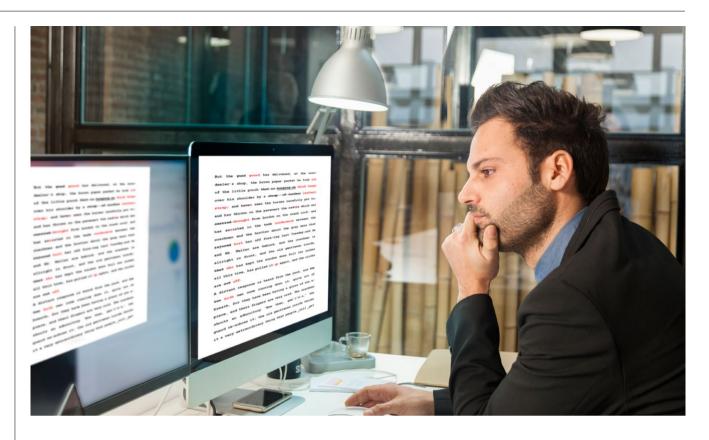
コンマは話し手の小休止を意味する。文頭の「In contrast (これに対して)」という句の後ろにコンマが必要なのは、文の最初の2語を残りの語句から区別するためではなく、この文が前の文と違っていることを強調するためだ。小休止する箇所を見つけるには、文を読み上げればよい。

ダッシュ(一)は、あなたが最も重要だと考える節を一ボールド体にしたりイタリック体にしたりすることなく一強調するためのものであり、単に用語を定義するために使うものではない(節を括弧に入れると、コンマで区切るよりも穏やかに挿入することができる)。関連の薄い思い付きを結び付けるためにセミコロン(;)に頼ってはいけない。悪文になるだけだ。「isn't」「don't」「shouldn't」などの短縮形は、時々なら使ってよい。堅苦し過ぎてはいけない。重要な点に注意を引きつけるためにエクスクラメーションマーク(!)を使わないこと。代わりに「surprisingly(意外なことに)」「intriguingly(興味深いことに)」を使うのはいいが、使い過ぎないように。使っていいのは1本の論文で1回か2回だけだ。

語調は大切

折に触れて問い掛けや少し砕けた言葉を入れて語調を崩し、親しみやすい雰囲気を保とう。この点で口語表現は有用だが、1つの狭い領域でしか通じないような表現はいけない。自分を主語にした文も、読者の心をつかむのに有用だ。自分を主語にしない方が客観的に見えると信じている人もいるが、そんなことでだまされる読者はいない。「我々は太陽系の中心にいる」を「地球は太陽系の中心である」と言い換えても、その内容が客観的でも事実でもないことに変わりはない。

具体的な言葉と例を選ぶこと。抽象的な球体の色につい



て語るときには、球体を赤い風船や青いビリヤードボール として語る方が、読者を強く引きつけられる。

文章の中に方程式を入れてはいけない。数学は英語ではないので、数式を英文として扱ってはならない。方程式を文章から分離するには、改行、空白、補遺、直観的な表記法、そして、仮定を方程式に翻訳し、方程式を結論に翻訳するやり方を分かりやすく説明する、などの方法がある。

書き終わったと思ったら声に出して読み、自分の耳で聞くか、友人に聞いてもらうように。信頼でき、あなたの論文のために時間と頭をしっかり使ってくれる、良いエディターを見つけよう。エディティングをしてくれる友人ができるだけ楽にそれを行えるように配慮すること。ページ番号を付け、行間はダブルスペースに。

全ての作業が終わったら、科学雑誌に論文を投稿する。査読者や編集者が何か言ってくるまでは、論文のことはなるべく考えないように。何か言ってきたら、「全ての人があなたを疑っても自分自身を信じなさい。ただし、彼らがあなたを疑うことも許しなさい」というラドヤード・キップリングの言葉を思い出すと有益なことが多い。書き換えた方がいいと思った部分は書き換え、そう思わない部分は、なぜ元のままにするのか丁寧に説明すること。

オックスフォード・コンマ (例えば「A, B, and C」と書くときの、Bの後ろのコンマ。オックスフォード大学出版会が

使用することからこう呼ばれる)、「significantly (有意に)」の正しい使い方、関係代名詞を「that」にするか「which」にするかについて、編集者にかみ付いてはいけない。それぞれの学術誌には独自のスタイルとセクションがある。あなただけ例外扱いというわけにはいかないのだ。

最後に、自分なりに最高の論文、自分の気に入る論文を書くようにしよう。顔のない読者を喜ばせることはできなくても、自分を喜ばせることならできるはずだ。あなたの論文―あなたの希望―は、後世の人々のためにある。感動した論文を初めて読んだときのことを思い出しながら、論文執筆のプロセスを楽しもう。

あなたの文章が、もっと生き生きした、理解しやすいものになれば、人々はあなたの作品をじっくり読もうとするだろう。あなたが若手科学者であるにしろ世界的に有名な小説家であるにしろ、それこそが求めるものではないだろうか?

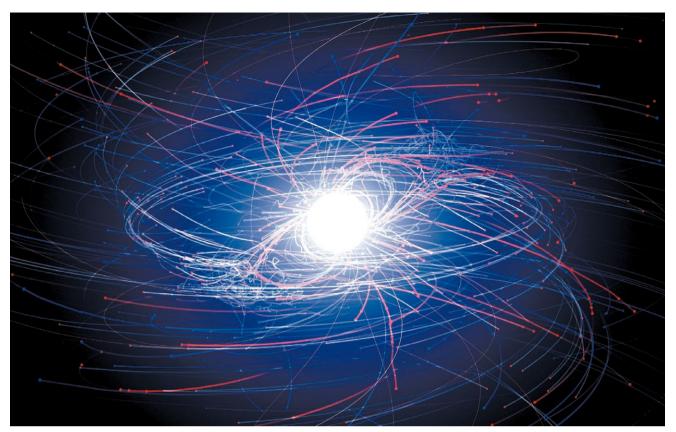
翻訳:三枝小夜子

Tips from a Pulitzer prizewinner

Vol. 574 (441-442) | 2019.10.17

Van Savage, Pamela Yeh

Van Savage はカリフォルニア大学ロサンゼルス校(米国)とサンタフェ研究所(米国ニューメキシコ州)の理論生物学・生態学者。Pamela Yeh はカリフォルニア大学ロサンゼルス校とサンタフェ研究所の進化生物学者。



高速で自転する中性子星のコンピューターシミュレーション。中性子星の強力な磁場と電場が、荷電粒子を猛スピードで周回させている。

中性子星の奇妙な核心に迫る

中性子星は宇宙で最も謎めいた天体の1つだが、 近年、さまざまな観測装置を使った研究が進み、 多くの事実が明らかになろうとしている。

質量星が超新星爆発を起こして死んでゆくとき、 爆発は終わりの始まりにすぎない。星を作っていた物質の大半ははるか彼方まで吹き飛ばされるが、鉄でできた核はその場に残る。核には太陽2個分もの質量が詰め込まれていて、急激に収縮してマンハッタン島(南北方向に約20km)ほどの直径の球体になる。星の内部は、エベレストを角砂糖の大きさにするほどの恐ろしい高圧になっていて、原子を構成する陽子と電子が融合して中性子になっている。

中性子星の誕生について天文学者が知っているのはここまでで、その後、超高密度の核の内部で厳密に何が起こるか

については、いまだに謎のままである。表面から中心まで中性子がほとんどを占めているのではないかと言う研究者もいれば、信じられないほど大きな圧力が物質を圧縮し、異常に潰れて変形した、もっとエキゾチックな粒子や状態を作り出しているという仮説を立てる研究者もいる。

中性子星の謎については、この数十年間は推測するしかなかったが、国際宇宙ステーション (ISS) に取り付けられた中性子星内部組成観測装置 NICER (Neutron Star Interior Composition Explorer) などを使った近年の研究により、解明に近づきつつある。

NICERは2019年12月に、中性子星の質量と半径をこ



NICER打ち上げの様子。

れまでで最も精密に測定し^{1,2}、その磁場についても予想外の発見をしたと発表した^{1,3}。NICERチームは、数カ月後には他の中性子星の観測結果も公開する予定である。重力波望遠鏡を使った観測からは、中性子星同士が衝突して変形する様子を観測したデータも得られている。研究者らは、これらの観測結果を考え合わせることにより、中性子星の内部を満たす物質の正体に迫ろうとしている。

中性子星研究者の多くにとって、続々と報告される観測結果は、宇宙で最も奇妙な天体の1つに関する研究の転機となるものだ。ゲーテ大学(ドイツ・フランクフルト)の理論物理学者 Jürgen Schaffner-Bielich は、「中性子星物理学の黄金時代の始まりです」と言う。

6200万ドル(約66億円)の費用を投じて製作され、2017年にスペース X社のファルコン9 ロケットで打ち上げられた NICER 望遠鏡は、宇宙ステーションの外側に取り付けられて、パルサーから来る X線を集めている (2017年9月号「中性子星の核心に迫る NICER」参照)。パルサーは高速で自転する中性子星で、海を照らす灯台のように、荷電粒子とエネルギーを巨大な円柱状に放射している。 X線はパルサー表面のホットスポットから出ている。ホットスポットの温度は 100万度で、強力な磁場が星の表面から荷電粒

子を剥ぎ取り、反対側の磁極にこれを叩きつけている。

NICERは金で被覆した56台の望遠鏡を使って中性子星からのX線を検出し、その到達時刻を100ナノ秒以内の時間分解能で記録する。この装置を使うことで、研究者は1秒間に1000回近く回転する中性子星のホットスポットを正確に追跡できるようになった。回転する中性子星の表面にあるホットスポットが地球の方を向いたときには、そこからの光は当然検出できる。しかし中性子星は時空を強く曲げるため、NICERは地球の方を向いていないホットスポットから出た光も検出する。アインシュタインの一般相対性理論を使うと、光がどの程度曲がっているかに基づいて星の質量-半径比を計算することができる。つまり、NICERなどによる観測から、天体物理学者は死んだ星の質量と半径を特定できるようになる。星の質量と半径からは、その核で起きていることを解明するのに役立つ情報が得られる。

深く暗い謎

中性子星は深部ほど複雑になる。ほとんど水素とヘリウムからなる薄い大気の下、恒星の残骸は、原子核と自由電子を含む厚さわずか1~2cmの外殻を持つと考えられている。

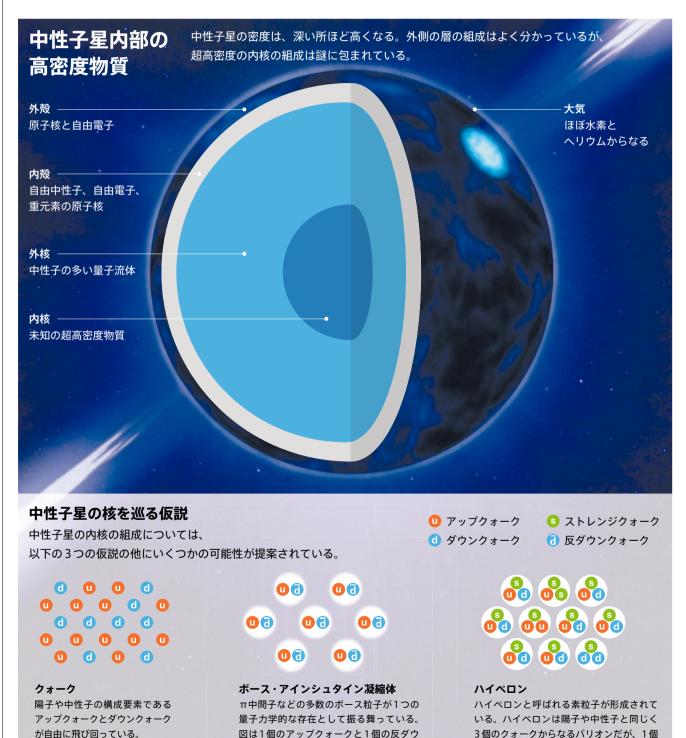
Feature

研究者は、次の層には電離した元素がぎゅうぎゅうに詰め込まれて、内殻の中に格子を形成していると考えている。さらにその下に行くと圧力が猛烈に高くなり、ほとんど全ての陽子が電子と結合して中性子に変わっているが、その先で何が起こるのかはよく分かっていない(「中性子星内部の高密度物質 | 参照)。

カリフォルニア州立大学フラトン校(米国)の天体物理学

者 Jocelyn Read は、「材料を知っていることと、レシピを理解し、材料がどのように相互作用するかを知ることは別なのです」と言う。

地上の粒子加速器のおかげで、物理学者は中性子星の内部で起きていることについて、ある程度の見当をつけてきた。研究者はブルックヘブン国立研究所(米国ニューヨーク州アプトン)やCERNの大型ハドロン衝突型加速器(ス



ンクォークからなるπ+中間子。

以上の「ストレンジ」クォークを含んでいる。

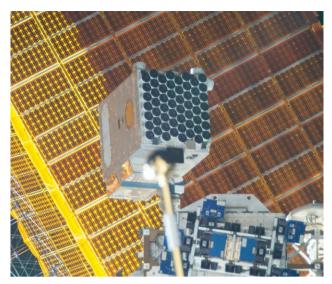
イス・ジュネーブ近郊)などの施設で、鉛や金などの重イオン同士を衝突させて、超高密度物質の集合を短時間だけ作り出している。しかし、衝突実験で生じるのは10億度、ひいては1兆度の閃光であり、ここまで高温になると陽子と中性子は融解し、その成分であるクォークとグルーオンのスープになってしまっている。中性子星の内部でよく見られる数百万度の比較的温和な条件を地球上の実験施設で作り出すのは、かえって難しいのだ。

中性子星の内部の様子については、仮説がいくつか提案されている。そこではクォークとグルーオンが自由に飛び回っているのかもしれない。あるいは、極端な高エネルギーによりハイペロンと呼ばれる素粒子ができているのかもしれない。ハイペロンは中性子のように3個のクォークからなるバリオンで、中性子がアップクォークとダウンクォークという最も基本的で最もエネルギーの低いクォークからなるのに対して、ハイペロンは少なくとも1個以上の「ストレンジ」クォークを持っている。もう1つの可能性は、中性子星の中心がボース・アインシュタイン凝縮という状態にあり、全ての素粒子が単一の量子力学的な存在のように振る舞っているというものだ。理論家は、さらに奇妙な予想も提案している。

重要なのは、こうした仮説が提案する機構が、それぞれ 特徴的なやり方で中性子星の巨大な重力を押し返している ことだ。それぞれの機構は異なる内圧を生み出すため、質 量が同じであっても半径が大きくなったり小さくなったり する。例えば、ボース・アインシュタイン凝集体からなる 核を持つ中性子星の半径は、中性子のような一般的な物質 でできた中性子星の半径よりも小さくなるだろう。柔らか いハイペロン物質からなる核を持っているなら、半径はさ らに小さくなるだろう。

NICERチームのメンバーであるアムステルダム大学 (オランダ) の Anna Watts は、「素粒子と、これらの間に働く力の種類が、物質の柔らかさや潰れやすさに影響を及ぼすのです」と言う。

モデル同士の違いを見極めるためには中性子星の大きさと質量を正確に測定する必要があるが、研究者の技術はまだ、最も可能性が高そうなモデルを特定できるほどのレベルには達していない。典型的には、連星になっている中性子星を観測することで質量を見積もる。天体がお互いの周りを回るときには重力によって引き合うため、これを利用して質量を決定できるのだ。すでに約35個の中性子星の質量がこの手法で測定されているが、測定値には太陽の質量ほどの大きさのエラーバーがついていることもある。半径も計算



金で被覆された望遠鏡を備えるNICER。

されている中性子星は10個強にすぎないが、多くの場合、こうした手法では数km以内の誤差で決定することはできない。数kmと言ったら、中性子星の半径の5分の1にもなる。

NICERのホットスポット法は、1999年に打ち上げられて今でも運用されている欧州宇宙機関(ESA)のX線観測衛星XMM-ニュートンで用いられてきた。しかし、NICERの感度はXMM-ニュートンの4倍で、分解能は数百倍である。研究チームは今後2、3年でNICERを使ってさらに6個の中性子星の質量と半径を明らかにし、その半径を0.5km以内の誤差で特定したいと考えている。この精度で特定できれば、中性子星の質量と半径(別の言い方をするなら内圧と密度)を関連付ける「状態方程式」を導き出せるようになる。

科学者たちが素晴らしい強運の持ち主で、自然が特別に良いデータを提供してくれれば、NICERでの観測により、現在提案されている方程式のどれかを却下することもできるかもしれない。しかし、ほとんどの物理学者は、謎めいた天体の核で起きていることに関するモデルを絞り込むことができるだけで、完全に否定することはできないだろうと考えている。「それでも、私たちの現状を大きく前進させてくれます」とWattsは言う。

予想外の磁力線

NICERの最初のターゲットとなったのは、うお座のパルサー J0030+0451 だった。これは地球から337パーセク(1100 光年)の距離にある単独のパルサーで、1秒間に約200回転している。



うお座のパルサーJ0030+0451のホットスポットマップ。NICERの観測データ (2017年7月~2018年12月) から2つのシミュレーション結果が導かれた。

アムステルダム大学を中心とするグループ 1 とメリーランド大学カレッジパーク校 (米国) の研究者が率いる別のグループ 2 は、850時間に及ぶ観測データを独立に調べた後、お互いのチェックを行った。

ホットスポットの光度曲線は非常に複雑であるため、2つのグループはそれぞれスーパーコンピューターを使ってさまざまな構造のモデルを作り、どの構造がデータに最もよく合うかを計算した。その結果、J0030の質量は太陽の1.3または1.4倍、半径は約13kmという、よく似た結果が得られた。

これらの結果は確定的なものではなく、中性子星の内部に関する常識的な予想と荒唐無稽な予想の両方の裏付けになり得る。テネシー大学(米国ノックスビル)の天体核物理学者Andrew Steiner は、「ファンキーなもの、クレイジーなもの、エキゾチックなものは、まだ必要ありません」と言う。

研究者たちを驚かせたのは、ホットスポットの形状と位置に関する発見だった。中性子星の標準的な理解では、その磁力線は棒磁石の周りにできる磁力線に似た形をしていて、北側の磁力線と南側の磁力線はそれぞれ星の両側にある円形のホットスポットから出ているとされている。これに対して、オランダのチームのスーパーコンピューターによるシミュレーションでは、J0030のホットスポットは2つとも南半球にあり、そのうちの1つは細長い三日月形をしていると

いう結果になった¹。メリーランド大学のチームは、南の方 に楕円形のものが2つ、南極点付近に円形のものが1つ、合 計3つのホットスポットがあるかもしれないとしている³。

こうした可能性を示唆するモデルを作っていた天体物理学・惑星学研究所(フランス・トゥールーズ)の宇宙物理学者 Natalie Webbは、「ビームが180度離れていないパルサーが初めて実際に検出された可能性があります」と言う。「本当なら素晴らしいことです」。

今回の結果は、太陽の1兆倍も強い中性子星の磁場が、一般に考えられているよりも複雑であることを示唆する過去の観測や理論を補強するものだ。パルサーは最初に形成されてから数百万年かけて自転速度を落としていくと考えられている。しかし、パルサーの周りを回る伴星があれば、伴星から物質と角運動量を奪い、自転を超高速に加速させることができるかもしれない。一部の理論家は、星の表面に物質が堆積すると、表面下の中性子が液体のようになっている層に影響を及ぼして巨大な渦を発生させ、中性子星の磁場を奇妙な形に歪ませる可能性があると提案している。伴星は最終的に食い尽くされるか、多くの質量を失って重力的な束縛を解かれて飛び去ってしまう可能性がある。現在は単独で存在しているJ0030では、過去にこのようなことがあったのかもしれない。

新しい観測装置

NICERは、J0030の半径の測定精度をさらに向上させるための観測を続けると同時に、第2のターゲットからのデータの解析も始めている。第2のターゲットはやや重いパルサーで、白色矮星の伴星を持っている。このパルサーについては、すでに他の天文学者が、伴星との軌道運動のダンスの観測に基づいて質量を決定しているので、NICERの研究者は独立の測定値との比較によって自分たちの発見を検証することができる。

研究チームは、少なくとも2個の高質量パルサーをNICERのターゲットに入れようとしている。そのうちの1つは、太陽の2.14倍の質量を持つ、現時点で最も質量の大きい中性子星である。研究者はこのパルサーを観測することで、中性子星が崩壊してブラックホールになる上限を探ることができる。理論家にとっては、太陽の2.14倍の質量の天体でさえ、説明するのが難しいのだ。質量がほぼ同じで半径が大きく異なる2つの中性子星をNICERが見つけてくれることを期待する研究者もいる。そのような中性子星は、わずかな違いから2種類の核が生まれる転移点があることを示すものだ。例えば、一方の中性子星はほぼ中性子からなり、他方の中性子星はもっとエキゾチックな物質からできているのかもしれない。

NICERは最先端を走っているが、パルサーの内部を調べている観測装置は他にもある。2017年には、米国のレーザー干渉計重力波観測所 (LIGO) とイタリアの重力波検出器 Virgoが、2つの中性子星が衝突して合体するときの信号を捉えた(2017年12月号「重力波源を光で観測」参照)4。2つの中性子星は、衝突前はお互いの周りを回っていたが、やがて衝突して、星の大きさや構造に関する情報を含む重力波を放出した。それぞれの星の巨大な重力は、相手の星を引っ張り、球形から涙形へと変形させた。これらの最後の瞬間の歪みの大きさは、物理学者が中性子星の内部の物質の変形しやすさを探るための手掛かりとなる。

ルイジアナ州リビングストンにあるLIGOの施設は、2019年4月にも中性子星の衝突を捉えていて、次のイベントもそのうち検出するだろう。これまでの2回の衝突イベントの観測は、中性子星の内部の様子をかすかにほのめかしている程度であるが、中性子星は特に変形しやすいわけではなさそうだ。しかし、この世代の観測施設では、歪みが最大になり、内部の状態が最も明瞭に見えるようになる、最後の決定的な瞬間を観測することはできない。

日本の重力波望遠鏡KAGRA (かぐら; 岐阜県飛騨市) は 2020年2月末に観測を開始し、インド重力波観測イニシアチブ (マラスワダ地方アウンダ・ナガナス近郊) は 2024年の稼働を予定している。これらをLIGO や Virgo と組み合わせることで感度が向上し、衝突に至る瞬間の詳細まで捉えられるようになるかもしれないと期待されている。

もっと先のことになるが、NICERや現在の重力波観測装置では不可能な観測を可能にするような観測装置も複数計画されている。2027年打ち上げを予定している中国と欧州のeXTP (enhanced X-ray Timing and Polarimetry;増強型X線タイミング・偏光観測衛星)ミッションは、単独星および連星の中性子星を調べて、その状態方程式を決定しようとするものである。研究者たちはまた、2030年代の宇宙ミッションSTROBE-X (Spectroscopic Time-Resolving Observatory for Broadband Energy X-rays;広帯域X線時間分解分光観測衛星)も提案している。このミッションは、NICERのホットスポット技術を用いて、20個以上の中性子星の質量と半径をより正確に突き止めようとするものだ。

おそらく今後も、中性子星の核を巡る謎の全てが解明されることはないだろう。けれども物理学者たちは今、謎解きに着手できるところまで来ているようだ。LIGOチームのメンバーであるReadは、2030年代と2040年代に重力波検出器を使って挑戦できる科学的問題にはどのようなものがあるかを想像するプロジェクトに協力していると言う。彼女はその過程で、中性子星研究を取り巻く状況、特に状態方程式の問題は、その頃には全く違ったものになっているはずだと気付いたという。

「この問題はずっと前からあり、いつまでも残っているだろうと思われていました」と彼女は言う。「けれども今の科学界は、中性子星の構造の謎を10年以内に解決できそうなところまで来ているのです」。

翻訳:三枝小夜子

The strange hearts of neutron stars

Vol. 578 (20-22) | 2020.3.5

Adam Mann

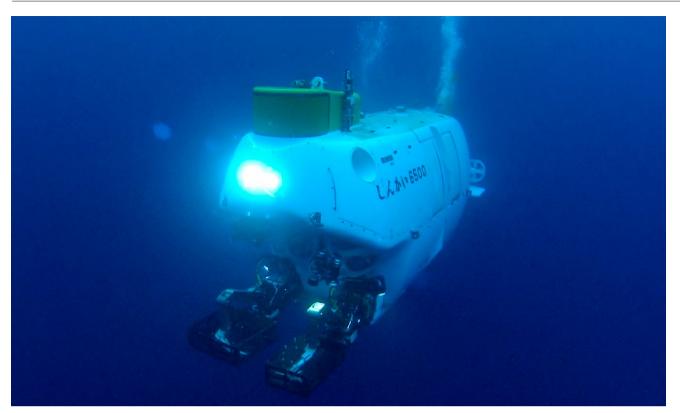
米国カリフォルニア州オークランドを拠点とする フリーランスのジャーナリスト

^{1.} Riley, T. E. et al. Astrophys. J. Lett. 887, L21 (2019).

Miller, M. C. et al. Astrophys. J. Lett. 887, L24 (2019).

Miller, M. C. et al. Astrophys. J. Lett. 887, L24 (2019).
Bilous, A. V. et al. Astrophys. J. Lett. 887, L23 (2019).

Abbott, B. P. et al. Phys. Rev. Lett. 119, 161101 (2017).



真核生物につながるアーキアの 培養とゲノム解析に成功!

約20億年前に現れたとされる真核生物。海洋研究開発機構 (JAMSTEC) の井町寛之氏と、産業技術総合研究所 (AIST) の Masaru K. Nobu (延優) 氏は、

その誕生につながったとされるアスガルド類アーキアの培養を世界で初めて成功させ、 完全長のゲノム配列も手に入れた。そこから、アーキアの生態と真核生物への進化について、 驚くべき知見が複数もたらされた。

アーキアとは、どんな微生物なのでしょうか?

井町 3つのドメインに分けられている生物系統群の1つで、古細菌とも呼ばれる微生物です。残りの2群は、バクテリア(真正細菌)と真核生物です。

よく知られているアーキアとして、メタンを出すメタン 生成菌、高塩濃度環境に生息する高度好塩菌、高温環境に 生息する超好熱菌がいます。深海底にはアーキアが多く生 息していることが分かっており、今回、私たちが培養に成 功したアーキアも、和歌山県沖の水深2500mの海底堆積 物から採取したものです。昔は極限的な環境にしか生息し ないと考えられていたアーキアですが、遺伝子解析技術の 発展で、淡水や海水、土壌、ヒトを含む動物の体内などの ありふれた環境中にも存在することが分かってきました。

アーキアが生物進化において重要視される理由とは?

Nobu 真核生物が、アーキアとバクテリアの共生によってもたらされたと考えられるからです。生命が誕生したのは約40億年前で、最初の真核生物が現れたのは約20億年前とされています。真核生物誕生については諸説があり、有力視されてきたものに「バクテリアが水素を作り出しアー

キアに渡し、水素を介した栄養共生をしているうちに後者が前者を飲み込み、バクテリアをミトコンドリアとして使い始めることで真核生物になった」とする水素モデル¹や、その逆の「アーキアが水素を作ってバクテリアに渡していた」とする逆流モデル²があります。

後でお話ししますが、私たちは今回、このような仮説を 覆すと思われる成果を得ることになりました。

研究対象はどのようなアーキアですか?

井町 アスガルドと呼ばれるアーキアの一群です。ただ、初めから生命進化との関連に注目していたわけではありません。そもそもの興味は、アスガルド類が海底堆積物中のアーキアで多くの割合を占めるグループであるにもかかわらず、培養株がなく生態や物質循環などの役割が未解明という点にありました。ところが2015年と2017年に、スウェーデンの研究グループが海底堆積物を対象にメタゲノム解析を行い、「アスガルド類が真核生物に最も近いアーキアだ」と発表し^{3,4}、多くの研究者が進化の観点から注目するようになりました。当時の私はすでにアスガルドアーキアの集積培養に成功していたのですが、これらの論文が出たことで、自分の研究をどうまとめるか悩みました。結局、きちんと分離し、その生理や遺伝学的特徴まで調べ上げようと決めました。2016年からNobuさんに加わってもらいました。

どのように培養されたのですか?

井町 一連の培養を始めたのは2006年です。しんかい6500 に乗り込んで紀伊半島沖の深海底から堆積物を採取し、研究室に持ち帰りました。培養に使ったのは、下水処理用のバイオリアクター (DHSリアクター)です。私は土木工学の出身で、JAMSTECに来る前は下水処理などの排水処理の研究をしていましたので、「DHSリアクターを使えば、アーキアを含めた海底下微生物を、網羅的かつ効率よく培養できるのではないか」と思い付いたのです。

DHSリアクターの特徴は、ポリウレタンのスポンジを微生物のすみかとして使うことにあります。私は、スポンジに海底堆積物試料を含ませた上で、リアクターの上部から海水ベースの液体培地を滴下しました。アスガルド類は嫌気性のアーキアなので、リアクター内は無酸素状態にしました。本来の生息環境に近づけるため、リアクターにはメタンガスも供給しました。

深海底微生物の増殖速度は極めて遅いので、スポンジは 微生物細胞をリアクター容器内に長くとどめる足場として



いまち ひろゆき 井町 寛之

海洋研究開発機構 (JAMSTEC) 超先鋭研究開発部門 超先鋭研究プログラム 主任研究員

2003年 長岡技術科学大学大学院 工学研究科博士課程修 了。2009年より現職。嫌気環境に生息する難培養性微生物 の培養を軸に研究を進めている。この世の全ての未培養微 生物を分離・培養し、その実体を明らかにすることが目標。

Masaru K. Nobu (延優)

産業技術総合研究所 (AIST) 生物プロセス研究部門 生物資源情報基盤研究グループ 研究員

2017年 イリノイ大学土木環境工学科博士課程修了後、来日し現職。ゲノム解析を通じて、微生物の未知の能力と、遺伝子に隠された生命の真髄と歴史を追求。また解析で得た情報を基に、新たな水処理・物質生産技術開発などの応用研究にも取り組む。

好都合でした。また、三次元のスポンジ内には培養液由来物質の濃度勾配ができるために、多様な種を同時に培養可能だろうとも考えました。現在に至るまで、このDHSリアクターを使った培養を続けており、メタンを消費するアーキアを一次生産者とした「1000種以上からなる微生物生態系」が出来上がっていると思われます。

アスガルドアーキアの分離培養と解析はどのように?

井町 特定の種を分離するには、別の培養方法が必要でした。私は、スポンジの一部を絞ったものを試料とし、多様な培地を入れた試験管を数百本用意して、段階的に分離する戦略を取ることにしました。アミノ酸とペプチドを混合した培養液と、バクテリアの生育を抑える抗生物質を入れ

海底堆積物採取からリアクターによる培養、MK-D1株の分離培養まで











- 2006年に有人潜水調査船「しんかい6500」を用いてメタン冷 湧水帯の深海堆積物を採取。
- 2006~2012年までDHSリアクターを用いて、メタン冷湧水帯を模擬した培養条件で深海堆積物由来の微生物を前培養。
- DHSリアクター内に増殖してきたここの微生物の分離を試験管やバイアル瓶を用いた従来型の培養方法で行った。2018年にMK-D1株の分離に成功。

た試験管内で約1年培養し、微生物が増殖したと思われる「微弱な濁り」が観察できたものを選出したのです。その上で、試料を対象に16SリボソームRNA遺伝子配列解析を行い、アスガルドアーキアが含まれているものだけを絞り込んで継代培養しました。結局、DHSリアクターで約5年間、その後の試験管を使った分離培養に7年と、合計12年をかけて、アスガルドアーキアに属する培養株 (MK-D1株)を分離しました。この間に、MK-D1株の細胞分裂は14~25日に1回であることや、最大細胞密度が10⁵個/ml以下と極めて低いことが分かりました。

MK-D1株が培養できたところで、電子顕微鏡などを用いた細胞構造の解析と、完全超ゲノム配列の解読を進めました。さらに、既知のアーキアゲノムのデータも利用し、真核細胞への進化について検討しました。ゲノム解析と進化についての検討は、全面的にNobuさんが担当しました。

どのような知見が得られたのでしょう?

井町 得られた成果は、(1)細胞の形態と生理的な特徴、(2)遺伝学的な特徴、(3)(1)と(2)から導かれる進化的な知見に大別できます 5 。

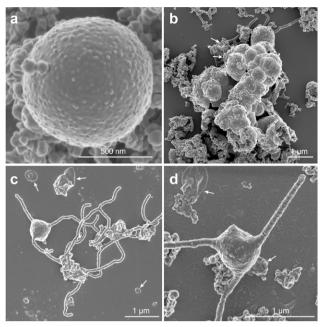
まず(1)について。MK-D1株の細胞は直径約550nmの球状と、微生物としては小さい部類でした。細胞内部は単純な構造で、真核生物のような核や小器官を一切持っていません。また、大量の小胞を細胞外に放出していること、増

殖の終盤には細胞外に触手のような長い突起構造を形成すること、細胞膜は他のアーキアと同じくイソプレノイドという脂質分子からなり、真核生物の細胞膜成分とは異なることが分かりました。

Nobu (2) については、まず完全長ゲノムのサイズが約4.4メガ塩基対と分かりました。微生物のゲノムサイズとしては普通なのですが、MK-D1株の大きさや増殖速度を考えるとかなり大きいと感じます。大きなゲノムを維持するには多くのエネルギーが必要なので、エネルギー源が乏しい環境にいる微生物ゲノムは小さい傾向にあるからです。

ゲノム中には、約4000個の遺伝子がありました。これも微生物一般としては普通の数ですが、MK-D1株の生態を考えると、やはり多いと思います。興味深いのは、約4000個の中に、アクチン、ユビキチン、小胞体輸送に関連する遺伝子が見つかり、RNA解析によって実際に細胞内で発現していると分かったことです。これらは、いずれも真核生物に特有の遺伝子ですので、アスガルドアーキアには「真核生物の遺伝子の一部」が備わっていたことになります。もちろん、今の真核生物とは大きく機能が異なっていると思いますが。

ゲノム配列からは、細胞体を作るために必須のアミノ酸やビタミン類、ヌクレオチドを自身で合成できないことが示唆されました。先に、MK-D1株を分離したと述べました



MK-D1株の電子顕微鏡写真

上段: 増殖時の細胞形態。単独(a)、あるいは多くの場合で集塊体(b)を作っている。

下段: 増殖が終わる頃の細胞形態。触手状の長い分岐した突起が 見える。白い矢印は、MK-D1株が細胞外に放出した小胞。

が、厳密にはMK-D1株は単独では生きていけず、メタン生成アーキアと共培養する必要がありました。このメタン生成アーキアが、アミノ酸やビタミン類を供給するとともに、MK-D1株の代謝産物である水素を消費しているようでした。

驚く結果ばかりですが、これらから示唆されることとは?

Nobu それが前述の(3)に当たるわけですが、最大のインパクトは、真核生物の祖先アーキアがMK-D1株で見られるような長い触手や小胞を使ってバクテリアを取り込み、それが真核生物になったとする新たな仮説「Entangle-Engulf-Endogenize(E³)モデル」を提案できたことです。これは「巻き込む-飲み込む-内部に発達させる」という意味です。27億年前にシアノバクテリアが登場したことで地球に酸素が増えていきますが、酸素は嫌気性の祖先アーキアにとって有毒です。しかしそれは大きなチャンスでもありました。今回の新仮説では、「祖先アーキアが、有害な酸素を制するためにミトコンドリアの祖先バクテリアを細胞内に取り込み、両者のせめぎ合いを経て融合し、1つの細胞で「操縦」と「動力」を初めて役割分担できた生命体が誕生した」とするモデルを提唱しました。このような酸素を介した新仮説は、水素モデルと逆流モデルを否定することになります。

突起と小胞の機能は未解明ですが、両者を使うことでミトコンドリアの祖先バクテリアと祖先アーキアを隔てる膜構造ができ、祖先アーキアが自身の細胞壁を失うことで核膜が作られたのではないか、などと考えています。

Nature とのやりとりや、周囲の反響はどうでしたか?

Nobu 井町さんの培養部分には、指摘が入りませんでした。私の方は、「仮説のロジックはいいが、証拠がないので受け入れ難い」と主張する査読者が1人いましたが、最後は編集者の「仮説の説明部分を少し短くしてはどうか」という提案で折り合いました。

井町 私たちは共に土木工学の出身で、進化生物学者ではありませんが、今回の論文に対し、長年、進化について検討してきた研究者から絶賛の言葉をいただきました。これを機に、真核生物誕生の議論や検証がさらに進んでいけばうれしいです。

今後のご予定は?

井町 課題を1つずつ検証したいと考えています。例えば、MK-D1株の小胞や突起の構造や機能は解明できていません。また、祖先アーキアがミトコンドリアを取り込んだとすると、両者に重複する機能はどのように1つになったのでしょうか。それに、酸素を使う真核生物として生きるには祖先アーキアの嫌気代謝系を捨てる必要があります。それがどのように行われたのか。細胞内のATPの輸送経路をどう構築していったかといったことも、解明すべき課題の1つです。すでに、MK-D1株以外のアスガルドアーキアの培養を始めており、研究をさらに進めていきたいと考えています。

Nobu 井町さんとのコンビで研究を続け、機会があった ら私も「しんかい6500」に乗ってアーキアが生息する深 海に行ってみたいですね。

ありがとうございました。

聞き手は西村尚子(サイエンスライター)

註:井町氏、Nobu 氏の研究成果に関する *Nature* news は下記を参考されたい。

2019年11月号

「真核生物の起源を暗示するアーキアの培養に成功!」

- 1. Martin, W. & Müller, M. Nature 392, 37-41 (1998).
- 2. Spang, A. et al. Nature Microbiology 4, 1138-1148 (2019).
- 3. Spang, A. et al. *Nature* **521**, 173–179 (2015).
- 4. Zaremba-Niedzwiedzka, K. et al. *Nature* **541**, 353–358 (2017).
- 5. Imachi, H. et al. *Nature* **577**, 519–525 (2020).

生体力学

ヒトの足のアーチ構造と 剛性の進化

ヒトの足に剛性を付与している重要な構造は縦方向のアーチである、

とこれまで考えられてきた。このほど、横方向のアーチがヒトの足の剛性の進化において 中心的な役割を果たしてきたという研究結果が発表され、注目を集めている。

ヒトは両足を使って、地上を効率的に歩いたり走ったりできるように進化してきた。他の霊長類には見られないアーチ型の足は、ヒト固有の特徴であり、二足歩行をする上で欠かせない。アーチ構造は足に剛性を付与する。足の筋肉が地面を蹴り出すときに発生する力を伝えるためには、この剛性が必要となる。アーチ構造はまた、足に柔軟性を与える。それによって足はバネのように働き、力学的エネルギーをいったん蓄えてから放出することができるのだ。このほど、足の剛性を担っている構造について、エール大学(米国コネチカット州ニューヘイブン)のMadhusudhan Venkadesanら¹が新しい見解をNature 2020年3月5日号97ページで報告している。彼らの発見は、足の進化を理解する上で興味深い知見であるのみならず、足の健康を考えたり、より優れた靴を設計したりする際のフレームワークともなり得るものだ。

これまで足の剛性に中心的な役割を果たしていると考えられてきたのは、内側縦足弓 (かかとから母指球まで伸びる縦方向のアーチ;図1)である^{2,3}。このアーチに沿った足底筋膜(または足底腱膜)のような靭帯は弓の弦のように働き、力が加わった際にアーチがつぶれるのを防いでいる。さらに、これらの靭帯が持つバネのような力学的特性は、エネルギーを蓄えてから放出する足の能力に大きく貢献している⁴。

しかし、Venkadesanらは、第二のアーチである横足引 (中足骨の基部で足を横切る横方向のアーチ;図1)が、少なくとも内側縦足弓と同じくらい足の剛性に重要だという 見解を提示している。彼らは、横足弓の湾曲がどのように して足の屈曲を防ぎ、それによって足の剛性を増加させて いるのかについて、実験結果を示しているのだ。この剛性 増加の原理は、ピザの生地の縁がカールしていると、切ったピースを折り曲げにくくなるのと同じ理屈である。

Venkadesanらは、まず理論的なアプローチで、足の剛性増加における横方向の湾曲の役割を検討した。彼らは、弾性のある板をモデルとして用い、板の横方向の曲率が増加すると縦方向の剛性が増加することを実証した。そして、横方向の曲率および縦方向の剛性のパラメーター(板のサイズや厚さなど、他の要因に依存しない)を導き出し、曲率の大きさがある値を超えると縦方向の剛性に直接影響を与えるようになる、明確な転移点が存在することを示した。複



図1 ヒトの足のアーチ

ヒトの二足歩行を可能にする特性である剛性を足に付与する上で重要な役割を果たしていると考えられてきたのは、内側縦足弓(縦方向のアーチ)である 2,3 。今回の 2,3 の報告によれば、第二のアーチである中足骨付近の横足弓(横方向のアーチ)も足の剛性に大きく寄与している。

数の硬い部品(中足骨に相当)をバネ(靭帯に相当)で接続 して作製した足の物理的モデルを用いた検討でも、同様の 関係が認められた。

モデルから得られたこの結果が、実際にヒトの足のアー チの剛性にも当てはまるかどうかを検証するために、 Venkadesan らは、ヒトの死体標本 (死後硬直による剛性 の増加を除くために、凍結してから解凍したもの)を使っ て、荷重をかけたときの足の垂直方向の変位を測定した。さ らに、横足弓の湾曲を足の剛性と関連付けるために重要だ と予想される、横足弓の靭帯を切断した場合の効果も調べ た。その結果、横足弓の靭帯を切断すると、足の剛性は 40%以上という驚くべき値で減少した。これとは対照的に、 内側縦足弓に沿った足底筋膜を切断しても足の剛性は23% しか減少しないことが、以前の研究⁴で示されている。従っ て、Venkadesanらのデータは、足の総合的な剛性には横 足弓の靭帯が大きく寄与していることを示唆している。荷 重がかかっているときには、母指球の部位で中足骨が広が るため、横足弓の靭帯はおそらく伸張していると考えられ る。Venkadesanらによれば、この靭帯の伸張は横足弓の 湾曲の直接的な結果であるという。

Venkadesanらは、絶滅したヒト亜族(チンパンジーより もヒトに近縁の種) のさまざまな種を含む、各種の霊長類に おける横足弓の進化についても検討した。以前報告された 足の進化についての別の研究5と同様、Venkadesanらは第 4中足骨のねじれ角に注目した。そのねじれ角から横足弓の 曲率を推定し、足の剛性が現生人類と同程度まで強くなる のに十分な曲率を有していた種を探した。例えば、アウスト ラロピテクス・アファレンシス(Australopithecus afarensis) という種を見てみよう。これは300万年以上前に生存して いた種で、ヒトのように直立歩行をしていたかどうかについ て議論されている⁶⁻⁸。Venkadesanらは、A. afarensisの 横足弓はヒトのものよりも曲率がかなり小さく、そのため、 彼らのモデルによれば、おそらく足の剛性が低かったと考え られると報告している。ただし、横足弓の曲率だけでは運動 能力を正確に推測することはできず、また、別のメカニズム によって足の剛性が十分に高くなり、ヒトのように直立歩行 ができた可能性もあることも、しかるべく強調している。

足のアーチの曲率には大きな個人差がある。扁平足の人 もいれば、アーチが高い人もいる。扁平足の人は、そうで ない人に比べてアーチの曲率が小さいので、足の剛性は低 くなるかもしれない。しかし、扁平足の人であっても、横 足弓の曲率が十分に大きければ内側縦足弓の低さが補償さ

れ、効率的な歩行やランニングに十分な足の剛性を持って いる可能性がある。Venkadesanらの研究では、横足弓の 曲率と足の剛性との間に関連があるかどうかを直接検証し ているわけではない。横足弓の曲率が足の剛性を説明する 重要な機能的パラメーターであることの証明は、今後の課 題として残されている。

Venkadesan らによって今回示唆された足のアーチの曲 率の範囲は、横足弓の曲率に生まれついての違いがあるた めに、足の剛性に2倍近くの個人差が生じ得ることを示し ている。しかし、横足弓の曲率と足の剛性との関連だけで は、剛性を担っている仕組みを完全に説明するにはおそら く十分ではなく、その他の要因、例えば、足底筋膜の剛性 や、筋肉がアーチの剛性を能動的に調節している可能性な ども考慮する必要があるだろう。従って、ヒトの足の剛性 を評価する際の重要な変数として、この曲率パラメーター のみに頼るのは注意が必要である。

進化生物学、運動科学、医学の領域では、足にかかる荷 重の処理を説明しようとする際に、これまで横足弓はほと んど無視されてきた。Venkadesanらの研究は、足の形状 と機能とを結び付ける新しいメカニズムを示唆しており、ヒ トの足についての考え方を変えるきっかけとなり得る。横 足弓がヒトの歩行機能にどのように寄与しているのかをよ り深く理解するためには、横足弓が足の剛性にどのように 寄与しているのか、また、それによって力学的もしくはエ ネルギー的な利益が得られるのかどうかも含めて、さらに 多くの研究が必要である。将来的には、足のさまざまな障 害に対して、横足弓の曲率を活用して足の剛性を調節する 新しい治療法が開発される可能性がある。さらに楽しみな のは、義足や二足歩行ロボットを設計する際に研究されて いるヒトの足の模倣にも、今回の成果が密接に関係してい るということだ。

翻訳:藤山与一

Ahead of the curve in the evolution of human feet

Vol. 579 (31-32) | 2020.3.5

Glen A. Lichtwark & Luke A. Kelly

クイーンズランド大学(オーストラリア・セントルシア)に所属

- Venkadesan, M. et al. Nature 579, 97-100 (2020).
- Pontzer, H. Curr. Biol. 27, R613-R621 (2017).
- Holowka, N. B. & Lieberman, D. E. J. Exp. Biol. 221, eb174425 (2018).
- Ker, R. F., Bennett, M. B., Bibby, S. R., Kester, R. C. & Alexander, R. M. Nature 325, 4.
- Ward, C. V., Kimbel, W. H. & Johanson, D. C. Science **331**, 750-753 (2011). Jungers, W. L. *Nature* **297**, 676-678 (1982).
- Ward, C. V. Am. J. Phys. Anthropol. 119 (Suppl. 35), 185-215 (2002).
- Hatala, K. G., Demes, B. & Richmond, B. G. Proc. R. Soc. B 283, 20160235 (2016).

植物生物学

過酸化水素シグナルの感知

細胞表面で過酸化水素を検知するセンサーが発見され、 植物細胞が環境ストレスを感知して応答する機構についての手掛かりが得られた。

アポプラストと細胞壁は、植物細胞と外界との間の動的な界面として機能するので、脅威にさらされたり、問題が生じたり、有利な状況があったり、あらゆることが起こる。一部の H_2O_2 は、このアポプラストからアクアポリン³と呼ばれるチャネルタンパク質を介して細胞質に移動する。しかし、アポプラストには酸化作用を減弱させる分子が細胞質よりかなり少なく 1 、そのため H_2O_2 を含むROSは、細胞質中よりもアポプラストで長く存続できる。これが、アポプラストにはe H_2O_3 センサーがあると考えざるを得ない理由である。

 eH_2O_2 の最初の標的についてはほとんど分かっていないが、 eH_2O_2 産生によって生じる現象は非常によく定義されている 4 。 eH_2O_2 は細胞内へのカルシウムイオン (Ca^{2+})の流入を引き起こし、それが細胞間のシグナルの波として全域に伝わり、植物体全体としての病原体抵抗性あるいはストレスへの順応 5 などの過程を活性化する。さらに、 eH_2O_2 シグナルは、花粉管や根毛の極性成長を調節し 6 、気孔 (葉

の外層にある光で、2つの孔辺細胞によって形成されている)の開閉を制御する 3 。気孔は、開いたときには二酸化炭素や酸素などの分子が自由に植物体内に入り、閉じると植物体からの水分の喪失を防ぐことができる。

Wuらは「順」遺伝学的スクリーニングの手法を用いて、 Ca^{2+} シグナル伝達を開始させる eH_2O_2 の細胞表面受容体の特定を試みた。シロイヌナズナ (*Arabidopsis thaliana*) の種子を、DNA変異を誘導する化合物で処理し、生じた変異体をスクリーニングして、 H_2O_2 に応答した Ca^{2+} 流入が低下した変異体を特定した。これらの変異体は、hpca1 ($hydrogenperoxide-induced Ca^{2+}$ increase 1) と名付けられた。

次にWuらは、HPCA1タンパク質を特定し、HPCA1がロイシンリッチリピート (LRR) 受容体キナーゼとして知られるタンパク質ファミリーの膜貫通酵素であると報告している。また、HPCA1がその細胞外ドメインに2つの特定のシステイン (Cys) 残基対を持つことも示している。Cys残基のチオール基は、 H_2O_2 による酸化の標的であることが知られている 7 。孔辺細胞では、 eH_2O_2 の存在がHPCA1の細胞外Cys残基の酸化につながることが分かった。この修飾によってHPCA1の細胞内キナーゼが活性化され、 Ca^{2+} チャネル活性化や Ca^{2+} 流入が開始し、気孔が閉じる (図1)。

 eH_2O_2 が存在しない場合、hpca1と野生型の実生に差異は見られなかった。しかし、hpca1実生の孔辺細胞は野生型実生の孔辺細胞よりも eH_2O_2 への感受性が低く、 eH_2O_2 に応答した Ca^{2+} 流入のレベルが野生型よりも低下していることが示された。従って、HPCA1は eH_2O_2 シグナルを生理的な応答に変換するのに必要である。さらに、孔辺細胞によるアブシジン酸依存的な eH_2O_2 の産生はhpca1変異体で低下していた。注目すべきは、 eH_2O_2 シグナル伝達におけるHPCA1の機能が孔辺細胞に限定されないことである。Wuらは、 eH_2O_2 シグナル伝達が、さまざまなタイプの細

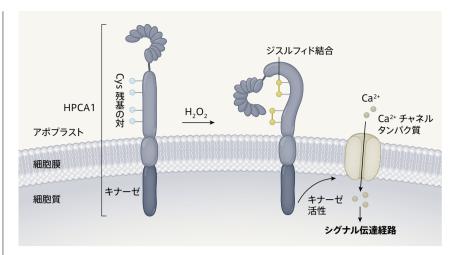


図1 HPCA1タンパク質

Wuら²は、植物の過酸化水素(H₂O₂)の細 胞外センサーHPCA1を特定した。HPCA1は、 細胞内にキナーゼ酵素ドメイン、アポプラスト(植 物細胞の細胞膜と細胞壁の間の区画) に突出 した細胞外ドメインを持つ。Wuらは、H₂O₂ が HPCA1 にある2 つの特別なシステイン残 基のチオール基を酸化し、スルフェン酸やジス ルフィド結合が形成されることを示した。これ によって構造が変化してキナーゼが活性化され、 Ca²⁺ チャネルの開口 (機構は分かっていない) と細胞へのCa²⁺流入につながり、固有の植物 体全体へのシグナル伝達経路が開始する。

胞の核に環境シグナルを伝達して、遺伝子発現を調節する のに役立っているという証拠を示しているのだ。

 H_2O_2 による Cys の酸化は、酸化-還元 (レドックス) シ グナル伝達の中心であるスルフェン酸 (SOH) の形成につ ながる。スルフェン酸はやや不安定な中間体であり、さら に酸化されてスルフィン酸 (SO₂H) やスルホン酸 (SO₃H) になったり、あるいは「交換反応」によってジスルフィド 結合が形成されたりする。HPCA1がeH2O2受容体として 適切に機能するためには、Cvs酸化過程で可逆的な反応も 容易に起こる必要があり、再び酸化可能なチオール基が再 び形成されなければならない。しかし、酸化されたHPCA1 の還元を仲介する因子群は分かっていない。1つの候補は、 アポプラストの抗酸化分子アスコルビン酸の酸化型を還元 する系8など、膜結合型電子伝達系である。このような膜 結合型タンパク質に加え、チオレドキシンがタンパク質の 酸化されたCys残基のよく知られた還元剤であることを考 えると、アポプラストのチオレドキシン様タンパク質も候 補になると考えられる。

Wuらは、受容体キナーゼが仲介するeH2O2感知機構を 明らかにした。この機構は、他の生物で報告されている eH₂O₂の既知の受容体やセンサーには類似していない。そ れでもHPCA1は、植物がROSシグナルを介して環境の変 化を認識し応答するために用いるセンサーの、より幅広い ポートフォリオの一部である可能性がある。このような受容 体の特定は、特に有望な候補が非常に大規模なタンパク質 ファミリーに属しているため難しいことが分かっている。今 回Wuらが用いたような精巧なスクリーニング系は、ROS を感知する役割やROSシグナルを伝達する役割を持つファ ミリーの分子を探し出すのに必要だと考えられる。このよう

なセンサーが特定されると、その特性を操作して、例えば、 環境のH2O2シグナルに対する感受性を増強あるいは減弱さ せたモデル植物やモデル作物を比較的容易に作製できるの で、環境の脅威に対する抵抗性の変化を明らかにできる。

気孔の閉鎖は、H2O2だけが調節しているのではなく、大 気中のCO₂レベルの上昇にも応答している^{3,9}。HPCA1 な どのタンパク質が酸化還元シグナル伝達ネットワークで機 能する仕組みは、CO。レベルの高い将来の世界で植物が生 存するための備えになる可能性があり、解明することは興 味深いと考えられる。CO。レベルが高いと、光合成が促進 されて光呼吸が抑制されるので、光合成と呼吸の比が変化 し、細胞の酸化還元のバランスに広範な影響が及ぶ。とい うのも、光合成の過程で細胞小器官の葉緑体での同化によっ て生じる酸素1分子に対して、別の細胞小器官であるペル オキシソームでの光呼吸によってH₂O₂1分子が生じるから だ。おそらく他のH₂O₂センサーがHPCA1と共に機能して、 細胞小器官特異的な酸化還元メッセージと、細胞膜の外か らのメッセージを共に核に伝えていると考えられる。

翻訳:三谷祐貴子

Making sense of hydrogen peroxide signals

Vol. 578 (518-519) | 2020.2.27

Christine H. Fover

バーミンガム大学 (英国) に所属

- Foyer, C. H. & Noctor, G. Plant Cell Environ. **39**, 951–964 (2016). Wu, F. et al. Nature **578**, 577–581 (2020).
- Rodrigues, O. et al. Proc. Natl Acad. Sci. USA 114, 9200-9205 (2017).
- Smirnoff, N. & Arnaud, D. New Phytol. **221**, 1197–1214 (2019). Choi, W. et al. Plant J. **90**, 698–707 (2017).
- Mangano, S. et al. Proc. Natl Acad. Sci. USA 114, 5289-5294 (2017).
- Paulsen, C. E. & Carroll, K. S. Chem. Rev. 113, 4633–4679 (2013). Foyer, C. H., Kyndt, T. & Hancock, R. D. Antioxid. Redox Signal.
- https://doi.org/10.1089/ars.2019.7819 (2020).
- Melotto, M., Zhang, L., Oblessuc, P. R. & He, S. Y. Plant Physiol. 174, 561-571 (2017).

地球化学

38億年前の岩から見つかった地球の材料のヒント

地球を作った構成要素を地球の岩石から突き止めることは難しい。 地球の材料は、地球の進化とともに混ざってしまっているからだ。 古代の岩石の中から未知の構成要素の証拠が得られ、 地球の材料についての理解が進んだ。

地球は、隕石物質が集まって誕生したが、どのような隕石物質が集まったかはまだ分かっていない。ケルン大学地質・鉱物学研究所(ドイツ)のMario Fischer-Göddeら(金沢大学の研究者を含む)は今回、グリーンランド南西部で得られた古代(約38億年前)の岩石の中のルテニウム同位体の組成に、これまで認識されていない地球の構成要素の証拠が含まれていることを見いだし、Nature2020年3月12日号240ページで報告した¹。驚くべきことに、この岩石中のルテニウムの推定された同位体組成は、既知の隕石の同位体組成と一致しない。Fischer-Göddeらの発見は、水や有機化合物などの揮発性成分は、地球の成長の最終段階に地球に持ち込まれた可能性を示唆している。

地球は、天体の一連の衝突の産物であり、衝突する天体の大きさは徐々に大きくなった²⁻⁴。こうした地球の構成要素は、約46億年前に、原始太陽を回っていたダストとガス

Fischer-Göddeらの発見は、水や有機化合物などの 揮発性成分は、 地球の成長の最終段階に 地球に持ち込まれた可能性を 示唆している。 の原始惑星系円盤から集積した。地球の構成要素の組成を 突き止めることは、原始惑星系円盤の残存物へのアクセス が限定されていることと、マントルの複雑で長期の地質学 的作用が地球の古代の材料を混合したために難しい。

地球は何からできたのかという疑問に対する答えは、地球の岩石試料の同位体組成を、太陽系の歴史の最初の数百万年以内に形成された隕石の同位体組成と比較する研究で得られる可能性がある。こうした隕石は、合体してやがては岩石惑星を形成する小天体の代表と考えられる。だから、隕石は地球の構成要素の最も可能性の高い候補だ。

隕石は特徴的な同位体組成を持ち、それは、可能性のある、さまざまなタイプの構成要素を見分けるための指紋として役立つことが分かっている。Fischer-Göddeらの研究はこのことを基にしている。例えば、炭素質コンドライトなどの隕石は、「湿っている」(揮発性成分を含む)ことが多いが、通常は「乾いている」隕石とは異なる同位体指紋を持つ⁵。同位体組成の違いは、原始惑星系円盤におけるダストの不均質な分布から生じ、元素合成同位体変化と呼ばれる。もしもこの指紋を地球の岩石試料で見つけることができたら、地球を作った隕石物質の証拠になる可能性がある。

地球の岩石の指紋の収集は、揮発性元素はいつ地球にもたらされ、どこから来たかの推定を絞り込むのに役立つ可能性がある。これは、一部の元素の特定の同位体 [例えばルテニウム100(100Ru)] の存在度は、湿った構成要素と乾いた構成要素を見分けるだけではなく、地球の集積の歴史におけるさまざまな段階を記録するからだ。

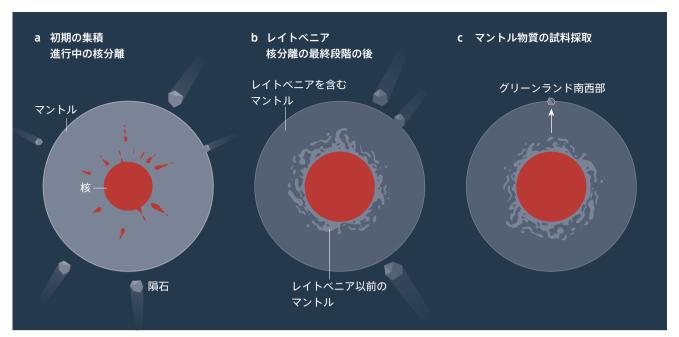


図1 地球マントル中の古代の物質の保存のシナリオ

- a 地球は46億年前から約45億年前の間に、隕石物質の集積によって形成された。金属と強い親和力を持つ親鉄性元素は核の中に分離した。
- b 地球の質量の最後の約0.5% (重量パーセント) は、核が形成された後、レイトベニアと呼ばれるイベントの間に隕石によって集積した。
- c Fischer-Göddeらは、グリーンランド南西部で得られた古代(約38億年前)の岩石が、通常とは異なるルテニウム同位体組成を持つことを報告した¹。彼らは、その原因は岩石中のレイトベニア以前のマントル物質の存在にあるとした。ここで示したレイトベニア以前の物質の分布は推測にすぎない。実際の量と分布は既知のデータからは導けない。

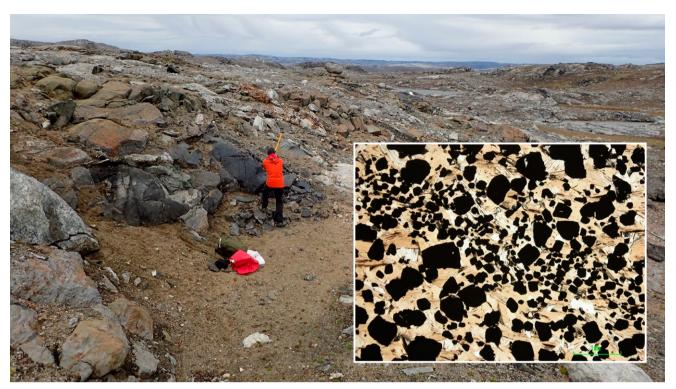
ルテニウムは、地球内部の金属に富む相に集まるため、強親鉄性元素(鉄との親和力が高い元素)に分類される。このため、地球のルテニウムの大部分は金属の核に集まっている。しかし、マントルには微量のルテニウムと他の強親鉄性元素が含まれており、その相対的割合は原始的隕石で測定された割合に近い 6 。この事実の1つの解釈は、強親鉄性元素は、地球の核が形成された後、レイトベニアと呼ばれるイベント[このとき地球の質量の最後の約0.5%(重量パーセント)が集積した $^{7.8}$]の間にマントルに付け加えられたということだ。もしそうなら、マントルのルテニウムと他の強親鉄性元素は、地球に集積した最後の物質の組成を記録している 9 。

地球の揮発性元素も、レイトベニアの間に、炭素質コンドライトの集積によって付け加えられたのかもしれないと提案されてきた^{10,11}。しかし、この数年の研究で、地球のマントルの¹⁰⁰Ru同位体組成(地球の岩石の¹⁰⁰Ruの存在度)と、炭素質コンドライトの¹⁰⁰Ru同位体組成との不一致が見いだされた^{12,13} (炭素質コンドライトの方が¹⁰⁰Ru存在度が小さい)。従って、炭素質コンドライトは、レイトベニアには集積しなかったと結論できるかもしれず、揮発性物質が地球にもたらされたタイミングに疑問を投げ掛ける¹³。

この結論は、マントルの強親鉄性元素は、レイトベニア 以前の物質をそれほど含んでいないという前提に基づいて いる。これは、含んでいることを示す直接的な証拠が少な いことを考えれば妥当な前提だ。もしも、実際にはレイト ベニア以前のマントルが、核に集まらなかった相当量の ¹⁰⁰Ruを含み、それを現在のマントルの¹⁰⁰Ru同位体組成と 異なる¹⁰⁰Ru同位体組成を持つことで見いだすことができ るなら、炭素質コンドライトがレイトベニアの間に集積し た可能性はある。

元素合成ルテニウム同位体変化はこれまで、地球の岩石では報告されていなかった。これは一部には、地球には活発なプレートテクトニクスとマントル対流があるからで、こうした作用は地球の構成要素の指紋を混ぜ、希釈する。しかし、この数年で分析方法がさらに開発され、同位体変化をppm(100万分の1)のスケールで測定することが可能になり、こうした原始の同位体特性を探すことができるようになった 14 。

Fischer-Göddeらは、地球の岩石の 100 Ru同位体組成を、 隕石の 100 Ru同位体組成と比較することにより、グリーン ランド南西部で得られた岩石に保存されていた、地球の古



グリーンランド南西部の約38億年前(原太古代)の地質帯(森下知晃撮影)。地球初期のマントル組成を保持していると考えられる岩石の 顕微鏡写真 (スケールバー: 1mm) (高橋歓太撮影)。

代に形成された部分が、通常とは異なる構成要素の指紋を 保持していたと報告した(図1)。推定された同位体組成が 既知の隕石の組成に一致しないという事実は、これまでに 収集されている隕石は、原始惑星系円盤のサンプリングと してはかなり限定されていることを示す。

Fischer-Gödde らは、通常とは異なる¹⁰⁰Ru データを、こ れらの岩石の源における、レイトベニア以前のルテニウム 同位体特性だと解釈した。彼らは、マントルの他の強親鉄 性元素の組成を踏まえて彼らの発見を考察し、マントルの 現在の組成は、レイトベニアが炭素質コンドライトを含み、 マントルのレイトベニア以前の成分の組成と相殺するとき にのみ、彼らの新しいデータと調和すると提案する。これ は、揮発性物質は、地球の形成の最終段階に地球に持ち込 まれたのかもしれないことを意味する。

Fischer-Göddeらのデータは、地球のさまざまな構成要 素は、保存されていて、採取して研究することが可能なの かという長年の疑問に答えるものだ。しかし、このデータ は重要な疑問も提起し、その答えは間違いなく、この新た な発見の重要性を決定する。例えば、グリーンランド南西 部で得られた1組の岩石試料は、レイトベニア以前のマン トルをどれほど代表しているのか? 元素合成指紋は、マ

ントル中の他の元素の同位体組成に見られるのか? レイ トベニア以前のマントルのルテニウム組成に大きく影響し た、見つかっていない隕石の組成はどのようなものか? そ して、その隕石の組成はなぜまだ分かっていないのか? こ れらの隕石の同位体特性は対流マントルの中にどのように 保存されたのか? これらの疑問を解決するには、マント ル中の元素合成指紋をもっと大規模に探すしかない。

翻訳:新庄直樹

A hint of Earth's ancient ingredients

Vol. 579 (195-196) | 2020.3.12

Katherine R. Bermingham

ラトガース・ニュージャージー州立大学に所属

- Fischer-Gödde, M. et al. Nature 579, 240-244 (2020).
- Chambers, J. E. Astrophys. J. 825, 63-81 (2016)
- Lambrechts, M. & Johansen, A. Astron. Astrophys. 544, A32 (2012).
- 4. Morbidelli, A. & Nesvorny, D. Astron. Astrophys. 546, A18 (2012).
- Warren, P. H. Earth Planet. Sci. Lett. 311, 93-100 (2011).
- Becker, H. et al. Geochim. Cosmochim. Acta 70, 4528-4550 (2006).
- Chou, C.-L. Proc. 9th Lunar Planet, Sci. Conf. 219-230 (Lunar Planet, Inst., 1978).
- 8. Kimura, K., Lewis, R. S. & Anders, E. Geochim. Cosmochim. Acta 38, 683-781 (1974).
- Dauphas, N. Nature 541, 521-524 (2017).
- 10. Marty, B. Earth Planet. Sci. Lett. 313-314, 56-66 (2012).
- 11. Alexander, C. M. O'D. et al. Science 337, 721-723 (2012).
- 12. Bermingham, K. R. & Walker, R. J. Earth Planet. Sci. Lett. 474, 466-473 (2017).
- 13. Fischer-Gödde, M. & Kleine, T. Nature 541, 525-527 (2017).
- 14. Fischer-Gödde, M., Burkhardt, C., Kruijer, T. S. & Kleine, T. Geochim. Cosmochim. Acta 168, 151-171 (2015).

家禽類の祖先が示す 現生鳥類の初期進化

ベルギーで、約6670万年前の新種の化石鳥類のほぼ完全な頭蓋が発見された。 家禽類の祖先ともいえる独特な特徴を備えたこの化石は、 現生鳥類の出現時期と多様化のタイミングを知る上で、 これまでで最も優れた証拠となる。

現生の鳥類は、種数が約1万種と素晴らしく多様で、その 魅力は尽きない。では、そうした鳥類はいつ出現したのか。 その答えは、鳥類をどのように定義するか、化石記録の中 でどの種を系統樹の最も基部に位置付けるか、そして鳥類 進化に関する古生物学的・遺伝学的な空白をどう説明する かによって変わってくる。今回、ケンブリッジ大学(英国) の進化古生物学者 Daniel I. Field らによって、ベルギーの 6680万~6670万年前(後期白亜紀マーストリヒチアン期) の地層から、家禽類の祖先ともいえる独特な特徴を持つ新 たな化石鳥類のほぼ完全な頭蓋が発見され、Nature 2020 年3月19日号397ページで報告された¹。この年代は、現 生鳥類が出現した時期としてはこれまで知られている中で 最も古く、現生鳥類の初期進化における重要な空白を埋め る貴重な手掛かりをもたらすとともに、鳥類の多様化のタ イミングを推定する遺伝学的な手法に対して有用な制約を 与えるものである。

鳥類進化の物語の多くは、先駆的存在である始祖鳥 (Archaeopteryx) から始まる。後期ジュラ紀(約1億5000

化石標本は、 分子に基づく 分岐年代推定の 極めて重要な検証材料である。 万年前)に現在のドイツで初めて空に飛び立ったとされる始祖鳥²は、必要な羽毛を全て身にまとい、翼を羽ばたかせて飛行していた、広義の鳥類である。だが始祖鳥は、現生鳥類のいずれの分類群に対しても、それらに帰属させるに足る特徴を備えていたとは言い難い。始祖鳥に見られる特徴はあまりに一般的で、後の全ての鳥類の祖先であることは否定しないものの、現生鳥類が確実にこの系統から生じたかどうかを示すものではないからだ。

鳥類のような大きな分類群の中で互いの系統の関係性を検討する際には、進化系統樹(図1)においてそれらを「クラウン群」と「ステム群」に区別する考え方が重要になる³。鳥類の場合、クラウン群は、全ての現生鳥類(巨大なダチョウ類から小型のスズメ類まで、古顎類と新顎類に属する全ての現生種)と、それらの最終共通祖先の全ての子孫(絶滅種を含む)からなる。一方のステム群鳥類は、現生鳥類の外に位置付けられるが、他のどの主要な類縁分類群(恐竜類など)よりも現生鳥類に近縁な全ての絶滅種、すなわち、既知最古の鳥類である始祖鳥とそれ以降の全ての鳥類のうち、クラウン群鳥類を除いたものを指す。注目すべきは、今回Fieldらが報告した化石鳥類が、また別のステム群鳥類なのか、それとも初期のクラウン群鳥類を代表する初めての例なのか、そして、その年代から鳥類進化のタイミングに関して何が分かるのか、ということだ。

現在利用可能な全ての証拠は、鳥類がジュラ紀(約2億100万~1億4500万年前)に「獣脚類」と呼ばれる主に肉食恐竜からなる分類群から進化したこと、そして、少なく

News & views

とも始祖鳥の存在を考えれば、鳥類の飛行がその頃までにすでに進化していたことを示している 2 。鳥類系統ではその後、白亜紀 (1億4500万 \sim 6600万年前)を通して、初期の側枝の数々で進化的な「実験」が何度も繰り返された 4 。そうした側枝には、エナンティオルニス類、ヘスペロルニス類、イクチオルニス類など、多様な分類群が含まれるが、これらの絶滅鳥類はいずれも現生鳥類に特有の構造的・生理学的特徴を欠くため、クラウン群ではなくステム群鳥類に分類される。ステム群鳥類の成長様式は、小型恐竜において三畳紀 (約2億5100万 \sim 2億100万年前)以降維持されてきたものによく似ており、その成長速度は骨組織の研究結果に基づき、典型的な爬虫類よりは速いが現生鳥類よりは遅く、成熟には数年を要したことが分かっている 5 。

ところが白亜紀の末期になると、そうしたステム群鳥類の中から、成長速度がはるかに速く、概して1年以内、あるいはさらに短期間で成熟する系統が出現する^{2.5}。これが後にクラウン群鳥類となったのだが、この系統と近縁なステム群鳥類との関係については、一般に化石鳥類が希少でその保存状態が良くないこともあり、いまだ明確になっていない⁴。

この問題は、今回Fieldらによって報告された化石鳥類の 重要性を如実に物語っている。現生鳥類の究極の起源を特



アステリオルニス・マーストリヒテンシスの想像図 アステリオルニスは体重が約400gと小型で、海辺に生息していたと考えられる(背景で砂浜に打ち上げられているのは海生爬虫類モササウルスの死骸)。

定するための手掛かりをもたらす化石標本はこれまでにもいくつかあったが、Fieldらの今回の発見は、既知最古のクラウン群鳥類がいつどのように進化したかを示す、これまでで最も優れた証拠だからだ。この化石標本は、ウズラに姿を変えたとされるギリシャ神話の女神アステリアと化石産地の累層名にちなんで「アステリオルニス・マーストリヒテンシス (Asteriornis maastrichtensis)」と命名された。

アステリオルニスの化石標本は、ほぼ完全な頭蓋といく つかの断片的な肢の骨からなる(参考文献1のFig.1参照)。 頭蓋の化石は、保存状態が極めて良好で三次元的構造が保 持されており、その解剖学的特徴からは、この化石鳥類が クラウン群鳥類であること、そして、現生のキジ類とカモ 類の両方の特徴が組み合わさった前例のない独特な姿をし ていたことが明らかになった。Fieldらによると、アステ リオルニスは「キジカモ上目」の最終共通祖先の近くに位 置付けられるという。キジカモ上目は、ニワトリやウズラ からなるキジ目と、アヒルやガチョウからなるカモ目を含 む分類群で、これらは「家禽類」と見なすことができる。ま た、系統発生解析からは、アステリオルニスをキジ目の基 部に位置付ける結果が得られたが (図1)、利用可能な情報 があまりに少なく断片的なため、不確実性は残る。既知の 他の化石鳥類の大半は、現生鳥類の絶滅種か、クラウン群 から完全に外れたステム群鳥類のいずれかに分類されてい る⁴。そんな中、今回のアステリオルニスは、鳥類系統樹に おいて実に興味深い位置を占めている。クラウン群鳥類で 最初に分岐した主要な分類群は平胸類 (ダチョウなどの地 上性の大型鳥類) だが^{6,7}、アステリオルニスは、そうした 系統樹の外側の原始的な枝ではなく、キジカモ類というよ り内側の進化的な枝に「巣ごもり」していたのだ。

では、アステリオルニスの化石の年代からは、鳥類の多様化のタイミングについて何が分かるのか。わずか1個体の情報から多様化の多くを語るのは難しいが、今回の標本の年代は白亜紀の終焉の約70万~80万年前であることから、クラウン群鳥類が白亜紀の末期にすでに存在したことが分かる。ただし、その出現時期がそれより大きくさかのぼることはないと考えられる。また、アステリオルニスは系統樹の基部に位置することから、後期白亜紀のクラウン群鳥類の多様化は限定的だった可能性や、白亜紀末の大量絶滅事象を生き延びられたのはそれらの一部だった可能性も示唆される。一方で、同地域の同年代の地層からは以前、イクチオルニス様の化石鳥類も見つかっており、これは白亜紀の末期にクラウン群鳥類とステム群鳥類とが共存していたことを意味する。

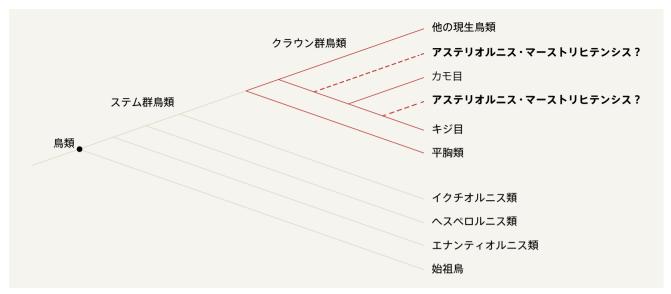


図1 鳥類の系統樹

鳥類は、クラウン群鳥類(全ての現生鳥類、およびそれらの最終共通祖先の全ての子孫)とステム群鳥類に区別される。ステム群鳥類はクラウン群鳥類の外に位置付けられるが、他のどの主要な類縁分類群(恐竜類など)よりもクラウン群鳥類に近縁である。ステム群鳥類には、始祖鳥、エナンティオルニス類、ヘスペロルニス類、イクチオルニス類などが含まれる(これらの化石鳥類には翼はあったが、クラウン群鳥類に特有な特徴の一部が欠けていた)。Fieldら「は今回、「アステリオルニス・マーストリヒテンシス(Asteriornis maastrichtensis)」と名付けた6680万~6670万年前のクラウン群鳥類の化石について報告した。その形態的特徴と系統解析から、アステリオルニスは系統樹においてカモ目(アヒルやガチョウなど)とキジ目(ニワトリやウズラなど)の近くに位置付けられたが、どちらにより近縁なのかなど、その詳細を決定付けるには至っていない。とはいえ、アステリオルニスの化石からは、カモ類とキジ類、平胸類(ダチョウなどの地上性の大型鳥類)とその他の現生鳥類からなるクラウン群鳥類が、少なくとも6670万年前には出現していたことが明らかになった。アステリオルニスは現在のところ、既知で最古のクラウン群鳥類である。

これらの知見は、現生鳥類の起源と多様化に関する、分子系統解析に基づく従来の推定に修正を加えるものである。これまでの推定では、現生鳥類の分岐年代は古いもので1億3900万年前、新しいもので9500万年前あるいは8900万年前と、研究によって大きな開きがあった。なお、これらはほんの数例にすぎない8-11。もしもこれらの年代があまりに分散していると感じるなら、その解析方法を思い出すといい。分子系統解析では通常、わずか数種類の遺伝子についてDNA配列の変化を調べており、分子の進化速度は比較的一定であるという仮定に基づいている。つまり、こうした間接的な証拠を用いて進化的分岐を解き明かそうという試み自体が、大胆なものなのだ。

古生物学的な証拠が、分子的な証拠よりも「スマート」であるべき理由を考えてみよう。化石標本は、分子に基づく分岐年代推定の極めて重要な検証材料である。例えば、分子系統解析でとある分類群の出現年代が推定された場合、その時間枠の化石にはその分類群だと同定できるだけの形態的特徴があるはずであり、もしも該当年代の化石に期待どおりの新たな進化的証拠が認められなければ、その分子的予

測は裏付けを失うことになる。今回 Field らが報告したアステリオルニスの証拠は、クラウン群鳥類が、白亜紀が終わりに差し掛かっていたときに出現したことを示している。この結果は、クラウン群鳥類の最も古い系統分岐の年代に関する仮説の数々に強力な制約を課すものだが、これで終わりではなく、新たな化石は今後も発見され続けるだろう。

翻訳:小林盛方

Poultry through time

Vol. 579 (351-352) | 2020.3.19

Kevin Padian

カリフォルニア大学バークレー校 (米国) に所属

- Field, D. J., Benito, J., Chen, A., Jagt, J. W. M. & Ksepka, D. T. Nature 579, 397–401 (2020).
- 2. Padian, K. & de Ricqles, A. C.R. Palevol 8, 257-280 (2009).
- 3. Budd, G. E. & Mann, R. P. Sci. Adv. **6**, eaaz1626 (2020).
- Chiappe, L. M. & Witmer, L. M. (eds) Mesozoic Birds: Above the Heads of Dinosaurs (Univ. California Press, 2002).
- 5. Padian, K., Horner, J. R. & de Ricqles, A. J. Vert. Paleont. 24, 555-571 (2004).
- 6. Prum, R. O. et al. Nature 526, 569-573 (2015).
- 7. Hackett, S. J. et al. Science **320**, 1763–1768 (2008).
- 8. Pereira, S. L. & Baker, A. J. Mol. Biol. Evol. 23, 1731-1740 (2006).
- 9. van Tuinen, M. & Hedges, S. B. *Mol. Biol. Evol.* **18**, 206-213 (2001).
- 10. Jarvis, E. D. et al. Science 346, 1320-1331 (2014)
- 11. Cracraft, J. & Claramunt, S. Sci. Adv. 1, e1501005 (2015).

nature

英国版 DARPAの夢は 現実に根差した ものであるべき

「ハイリスク・ハイリターン」研究を 成功させてきたとされる、 米国の国防高等研究計画局は、 自由奔放な発明には 責任が伴うことを自覚している。

英国のジョンソン首相は、米国の国防高等研究計画局(DARPA)を手本にしたAdvanced Research Projects Agency (ARPA)の計画を大急ぎで進めている。英国は、欧州連合(EU)からの脱退に伴い、技術競争力の強化を目指しているのだ。ARPA計画の正確な詳細は明らかにされていないが、その予算規模は5年間で約8億ポンド(約1000億円)と推定されている。

DARPAは、軍事目的の野心的な技術を支援するために1958年に当時の大統領アイゼンハワーが創設した。DARPAの創設に弾みをつけたのが、1957年にソビエト連邦が打ち上げた世界初の人工衛星「スプートニク」で、この人工衛星によって実証された高い技術力は、西側諸国に衝撃を与えた。DARPAは、NASAと同じ年に創設されており、アイゼンハワーがDARPAに託した望みは、米国の軍隊が二度とこのように取り残されないようにすることだった。

DARPAの最も著名な研究投資には、トランシットと呼ばれる世界初の全球衛星測位(航法)システム、ステルス航空機、インターネットの前身であるARPANETがある(DARPAは設立当初、ARPAという名称であった)。今もDARPAが資金を提供

する数多くのプロジェクトが進行中で、その一例が、切断された四肢を再生させる治療法の開発だ(2015年9月号「ペンタゴンと生命科学が手を組むとき」参照)。

DARPAが提供する資金の総額は、年間約35億ドル(約3850億円)で、米国の公共部門と民間部門の研究開発予算総額の1%にも満たない。こうした額であっても、従来の研究資金助成団体よりもリスクの高い発想を採用し、失敗に対する許容度が高いというDARPAの評判は十分に正当化される。DARPAが資金提供した研究プロジェクトの失敗例として有名なのが「ハフニウム爆弾」だ。これは、ハフニウム178にX線を照射すると大量のエネルギーが放出されるという誤った考えに基づいていた。

DARPAの研究プログラムマネジャーは、資金の提供対象となる研究プロジェクトと資金提供方法を比較的柔軟に決定できるが、DARPAほどの規模での成功例は、米国外には見当たらない。米国内でおいてさえ、これほどの成功を収めた機関はない。2009年に設立されたARPA-E(新エネルギー技術のための先端的研究プロジェクト機関)は、トランプ政権によって廃止される脅威に常にさらされている。

DARPAの成功を再現できない理由の1つは、DARPAのプロジェクトには他のプロジェクトにない資金源があることで、「DARPAには、世界で最も潤沢な資金を持つ顧客がついているのです」と、DARPAの歴史を研究するSharon Weinbergerは話す。米国の国防総省の年間研究・調達予算は総額1900億ドル(約21兆円)で、要求仕様を満たす試作品の試験を実施して、商業的に採算が取れるかどうかを判断するための大規模な研究に対して資金を拠出できるのだ。

リスク管理

DARPAをさらに詳しく調べてみると、DARPAのマネジャーがどのようにしてリスクを制御しながら



ステルス機能を備えた B-2 爆撃機。米国防高等研究計画局 (DARPA) は、その基礎を築いた研究の一部に資金を提供した。

大胆な発想を推進しているかが分かる。DARPAの生物技術研究室 (バージニア州アーリントン) において同研究室と共同で作業を進めているチームの一員が、2016年から実施されたイニシアチブについて報告している (Nature 2020年3月12日号190ページ)。それによると、DARPAはこのイニシアチブの各プロジェクトに、研究計画に関するトラブルシューティングと研究結果の再現を行う独立した検証チームを割り当てている。この「シャドー・チーム」は、「実行チーム」と会合を行い、正確なプロトコルを学び、研究プロジェクトの再現に必要な条件を確立し、これら2つのチームが、プログラムマネジャーに対して、進捗状況に関する共同プレゼンテーションを行う。

これは大変な作業であり、再現のために最大20カ月を要したプロジェクトもあった。そのための費用も莫大で、開発された技術から同じ結果が得られることを確かめるために、研究プログラムの予算の3~8%を要している。しかし、それだけの投資をする価値はあると複数のプログラムマネジャーが話しており、この作業モデルは、DARPAの大胆なイメージが想起させる以上にDARPAによる慎重な管理を明確に示している。

DARPA のこのような作業からは、英国 ARPA に何を夢見るかという点でも、科学全般という点

でも、多くを学ぶことができる。英国のARPAを支持する人々の中には、最先端技術が15年以内に開発され、成功の見込みの薄い研究に大ナタを振るうことを期待する者もいる。だが、再生医療やリモートセンシングなどの分野における野心的な技術目標に関しては、慎重な研究によって成功の見込みやリスクが明確になるまでにより多くの時間を要する可能性が非常に高い。

研究者、大学で研究者を管理する者、研究助成機関のいずれもが、効果的なデューデリジェンスを行うことが各プロジェクトに必須である理由を理解している。しかし、首相官邸がARPAを「ハイリスク・ハイリターンの研究」と称賛し、「型にはまった作業」はお役所仕事だと決めつけているようでは、このような声は伝わりにくい。

DARPAの成功を再現しようとする国は、綿密な準備と検証への投資なしにハイリスク研究の成果を得ることはできないことを認識しなければならない。自由奔放に大胆な発想を推進することには、より大きな責任が伴うのだ。

翻訳:菊川要

DARPA 'lookalikes' must ground their dreams in reality

Vol. 579 (173-174) | 2020.3.12

2020年4月2日号

Vol 580 / Issue 7801

正反対の南極環境

9000万年前に南極点付近が 温帯雨林だったことを示す証拠

表紙は、約9000万年前に西南極大陸に存在した温帯雨林の想像図である。白亜紀の中頃は、過去1億4000万年間で最も温暖だった時期であり、そうした高い気温において極域に氷が存在し得たかどうかについて盛んに議論されている。今回J. Klagesらは、西南極大陸棚から得られた堆積シーケンス



の分析結果を報告し、チューロニアン期からサントニアン期(9200万~8300万年前)の西南極大陸に温帯雨林に似た生態系が存在したことを示している。この堆積物コアの特徴は、さまざまな花粉や胞子を含む泥岩基質に埋め込まれた、長さ3mの化石化した根のネットワークである。この森林の気候を再構築するモデルからは、当時の南極大陸には氷がなく、大気中の二酸化炭素濃度が1120~1680 ppmと、現在の407 ppmよりずっと高かったことが示唆されている。

Cover; 10.1038/s41586-020-2148-5

有機化学

光によって形成される強力な還元触媒

近年、温和な条件下での光触媒的ラジカル生成方法が数多く開発され、2電子経路への新しい合成手段が得られている。多くの酸化的1電子移動経路がこの目的で利用されているが、還元的変換はあまり一般的ではない。今回D. Nicewiczらは、アクリジン光触媒が、光で励起されると元素状リチウムと同等の還元力を示すことを見いだしている。彼らはまた、アクリジン光触媒の特性を評価するとともに、芳香族化合物の光脱ハロゲン化 (ハロゲンを水素と交換する反応) やN-トシル化合物の脱保護 (通常は溶解金属を要する反応) によってその還元力を実証した。

10.1038/s41586-020-2131-1

細胞生物学

アポトーシス細胞の代謝物セクレトームが、 周辺の細胞の遺伝子発現プログラムに影響を与える

日常的な恒常性維持の一環として体内で毎日起こる多数の細胞の代謝回転のうち、90%以上はアポトーシスによるものである。細胞がアポトーシスを起こすことが決まった後も、アポトーシスプログラムの完全実行までには、多くの場合、数分

から数時間かかる。今回 K. Ravichandran らは、アポトーシス細胞の細胞膜の完全性がまだ維持されているこの暫定期間に、アポトーシス細胞は代謝物を調節しながら放出することによって周辺の細胞に情報を伝えられると報告している。このような代謝物は、例えば炎症の抑制や創傷治癒の促進など、周辺の組織の遺伝子発現パターンに影響を及ぼすことが分かった。炎症性関節炎モデルや肺移植片の拒絶モデルに、選択されたアポトーシス代謝物の混合物を投与すると、病気の重症度を軽減できることが分かった。この研究により、アポトーシス細胞のセクレトームの生成、放出、周辺細胞への生物学的作用が、体系的に明らかになった。

10.1038/s41586-020-2121-3

発生生物学

ヒトの分節時計の特性解析

哺乳類の脊柱は、椎骨つまり分節構造が周期的な振動によって形成されるという特徴がある。分節は胚形成過程で確立される。O. Pourquiéらは今回、ヒト誘導多能性幹細胞を未分節中胚葉に分化させることで、ヒトにおけるこのような振動を再現した。彼らは、体節形成の過程に重要な因子 HES7の役割の特徴を明らかにし、単一細胞解析により転写の変化と発生の軌跡の詳細な解析を行った。従来の分節モデルとは対照的に、FGF は振動が停止する領域でのみシグナル伝達の閾値を持つことが分かった。

10.1038/s41586-019-1885-9

発生生物学

分節時計の特性解析

初期胚形成における分節による体節形成は、未分節中胚葉の細胞間での重要な調節因子 HES7 の同期した振動である分節時計とカップリングしている。影山龍一郎(京都大学)らは今回、このHES7のパターンが、分節による体節形成を駆動する振動ネットワークによって調節される仕組みを示している。この仕組みには、HES7 発現の時間遅れを伴う細胞間のカップリングが関与していて、Notch と LFGN による調節を受ける。10.1038/s41586-019-1882-z

発生生物学

ヒトの分節時計のモデル化

アレヴ・ジャンタシュと式家美紀 (理化学研究所ほか) らは今回、ヒトの誘導多能性幹細胞を用いて in vitro で未分節中胚葉を誘導し、分節時計のモデルを作製した。このモデルでは、コア分節時計遺伝子の発現振動が実証され、正確な周期で振動する波状の発現が見られた。体節形成に異常のある患者で発現異常を示すいくつかの遺伝子が、この in vitro モデルで

機能していた。患者由来の誘導多能性幹細胞において、これ らの遺伝子を調整すると分節異常が救済された。

10.1038/s41586-020-2144-9

2020年4月9日号

Vol 580 / Issue 7802

ボトルネックの解消

PET製品の効率の良い再生と再利用に有望な 改良型酵素

プラスチック廃棄物は、重大な環 境問題であり、毎年約2億トン が埋め立て地や自然環境に蓄積さ れている。この問題に大きく寄与 しているのが、ポリエチレンテレ フタレート(PET)である。PETは、 プラスチックボトルの製造に広く 使われていて、リサイクルが難し い。今回 A. Marty らは、PET を



効率よくモノマー成分に分解できる酵素を作製したことを報 告している。今回の PET ヒドロラーゼは、10 時間で、少な くとも約90%のPETを解重合できる。より重要なのは、得 られたモノマーの特性が石油化学原料から新たに生成したも のとほぼ同じであるため、これをペットボトルの製造に再利 用できることであり、これによって PET に基づく循環経済 の構想に一歩近づいた。

Cover; 10.1038/s41586-020-2149-4

化学

創薬のツールボックスの拡張

最近、潜在的薬剤候補において、芳香環の代わりとしてビシ クロペンタンが用いられるようになっている。平面環を3D性 のはるかに高い環に置き換えることによって、ビシクロペン タンが「2Dからの脱出」の機会をもたらし、薬物動態特性を 著しく変化させる可能性がある。今回 D. MacMillan らは、実 質的にビシクロペンタンの「中心」となる単純な炭化水素の プロペランの両側を、光触媒反応と銅触媒反応を用いてワン ポットで官能基化する方法を報告している。この方法によっ て、さまざまなビシクロペンタンを迅速に合成でき、医薬品 化学のツールボックスが大幅に拡張される。

10.1038/s41586-020-2060-z

材料科学

配向したナノ複合材料膜の連続的作製

真珠層などの機械的強度の高い生体複合材料は、層状の構造 をとっており、材料科学では、その構造と特性を人工的な類 似材料で再現する方法が長い間探究されてきた。今回、シリ コーン油下でせん断流を用い、アルギン酸塩溶液中で酸化グ ラフェンや粘土のナノシートを配向させる方法が報告されて いる。アルギン酸塩は次に、カルシウムイオンを用いて架橋さ れ、これによって配向した二次元シートが適切な位置に保持さ れる。こうして得られた膜は、乾燥させて重ね合わせることで バルクのナノ複合材料になる。PVA やカーボンナノチューブ を添加すると、複合材料の特性はさらに向上した。この優れた 機械的特性は、閉じ込めによってポリマー鎖が固まった臨界界 面相が各ナノシートの周りに形成された結果であると、著者ら は主張している。今回の連続作製工程によって、高強度の秩序 化したナノ複合材料膜を大規模に製造する機会が得られる。 10.1038/s41586-020-2161-8

がんゲノミクス

リキッドバイオプシーを用いた肺がんのスクリーニング

M. Diehnらは今回、肺がん患者のリキッドバイオプシーを 用いて、臨床適用されているctDNA検出法を最適化し、リス クのある人々の初期スクリーニングにおけるその有用性を調 べた。著者らは、ゲノム特性と臨床特性を統合し、血液で検 出されたがん関連変化をクローン性造血事象と区別する、機 械学習の手法を用いた改良型の手法 Lung-CLiPを提案してい る。Lung-CLiP法は、発がん性の遺伝的変化の存在を腫瘍組 織非依存的に評価する。この研究によって、リキッドバイオ プシーによるゲノムスクリーニングのリスク集団への適用可 能性の評価に一歩近づいた。

10.1038/s41586-020-2140-0

神経科学

4Rタウ繊維の新規な構造

W. Zhangらは今回、大脳皮質基底核変性症 (CBD; 運動障 害と認知機能障害を生じる疾患) の患者で見られるタウ繊維 のクライオ電子顕微鏡構造を明らかにしている。微小管結合 タンパク質であるタウの沈着は一般に、特定の神経変性疾患 と関連付けられており、CBDは4つの微小管結合リピートを 含むアイソフォーム(4R)からなるタウ封入体を特徴とする。 この研究グループは以前に、ピック病(タウ繊維は3Rアイ ソフォームからなる)、アルツハイマー病や慢性外傷性脳症 (CTE) (繊維は3Rと4Rタウアイソフォームの両方を含む) の 患者から得られたタウ封入体の構造を解析している。タウ繊 維の構造はCBDの患者間では同じだが、アルツハイマー病や ピック病、CTEに由来するタウ繊維とは異なっていた。また、 CBD 繊維は新規な4層の折りたたみ構造をとっていて、非 タンパク質性の高密度部分を取り囲んでいることが分かった。 これらの知見は、繊維状タウを形成する配座異性体の違いに

Highlights

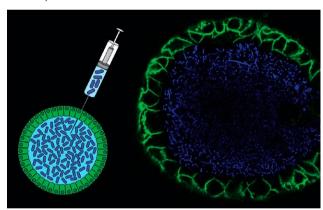
よって、異なるタウオパチーが生じるという仮説の説得力を 増すものである。このような多様な配座異性体の形成を促す 原因を明らかにすることは、診断や治療における新たな機会 につながるかもしれない。

10.1038/s41586-020-2043-0

腫瘍生物学

遺伝毒性のあるpks⁺大腸菌によって誘導される 大腸がんの変異シグネチャー

遺伝毒性物質のコリバクチンを産生するpks⁺大腸菌(Escherichia coli)などの細菌の感染は、がんの発生に結び付けられている。H. Cleversらは今回、ヒトの腸オルガノイドをpks⁺大腸菌に曝露させ、ゲノム解析によって、この感染オルガノイドでは独特な変異シグネチャーが見られることを明らかにしている。コリバクチン産生大腸菌に特異的であるこの「pks変異シグネチャー」は、ヒト大腸がんの試料にも見られ、発がん性ドライバー遺伝子の多くの変化と一致した。今回の知見によって、pks⁺大腸菌のありふれた腸内感染が、大腸がんの発生に役割を持っているという推測が直接裏付けられた。10.1038/s41586-020-2080-8



オルガノイド内腔に細菌を注入するイメージ図 (左) と、実際に細菌を注入したヒト腸オルガノイドの蛍光顕微鏡画像 (右)。

2020年4月16日号

Vol 580 / Issue 7803

ひびの入った鏡

ニュートリノに見いだされた物質と反物質の 対称性の破れを示す兆候

どのようにして物質が反物質よりも多く存在するようになったかは、宇宙の形成に関する基本的な問題の1つである。この差異は、基本的な物理法則の破れに関連していると考えられている。物理法則は基本的には対称で、この宇宙で物質粒子に当てはまる法則は、鏡像宇宙の反物質粒子にも当てはまるとされる。しかし、これは常に当てはまるというわけではなく、クォークとその鏡像の反クォークは全く同じようには

振る舞わないことが示されている。 荷電共役変換パリティ反転(CP)対 称性の破れと呼ばれるこうした対 称性の破れは、電子、ミューオン、ニュートリノを含む素粒子群であるレプトンではまだ実証されていない。今回T2Kコラボレーションが、ニュートリノと反ニュートリノの相違を99.7%の信頼水準で測定



し、CP対称性の破れを示す兆候を95%の信頼水準で得たことを報告しており、対称性の破れの探究におけるこの問題に大きな進歩が見られた。T2Kコラボレーションは、スーパーカミオカンデ検出器 (表紙の写真)を用いて、295 km離れた茨城県東海村のJPARC大強度陽子加速器施設で生成されたニュートリノを捉え、ミューニュートリノが電子ニュートリノになる確率と、反ミューニュートリノが反電子ニュートリノになる確率が異なっていると思われることを見いだし、レプトンにおけるCP対称性の破れの兆候を得た。将来、より精密な測定によって裏付けが得られれば、この対称性の破れは、この宇宙で物質が余剰に形成された理由を説明する手掛かりになる可能性がある。

Cover; 10.1038/s41586-020-2177-0

進化学

ホモ・ローデシエンシスの年代

1921年、北ローデシアのブロークンヒル (現在のザンビア・ カブウェ)の鉱石採掘場でヒト族の頭蓋が出土した。レイモ ンド・ダートによってアウストラロピテクス・アフリカヌス (Australopithecus africanus) の化石が発見・記載されるま で、この標本はアフリカ全土で唯一の化石ヒト族のものであり、 当初はホモ・ローデシエンシス (Homo rhodesiensis) のタイプ 標本とされたが、その後は一般に別の古代ヒト族であるホモ・ ハイデルベルゲンシス (H. heidelbergensis) に分類されるよう になった。しかしその年代は議論の的になっており、50万年前 と古いものからそれよりはるかに新しい年代まで、さまざまに 提唱されてきた。この頭蓋の発掘場所は採掘し尽くされて当時 の堆積物がすでに存在しないことから、堆積物に基づく年代推 定が容易でなく、また、標本中の重金属濃度が高い(カブウェで は鉛と亜鉛の採掘が行われてきた) ために放射年代測定法の適 用も極めて困難である。今回 R. Grün らは、これらの問題を克 服して、この頭蓋の年代が29万9000 ± 2万5000年前であ ると示している。この結果は、ホモ・サピエンス (H. sapiens) が出現し始めたのと同じ時代のアフリカに、複数の古代ヒト族 が存在していたことを示唆している。

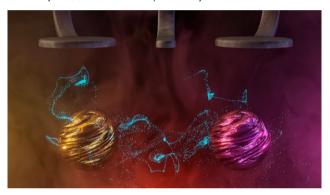
10.1038/s41586-020-2165-4

ナノスケールデバイス

より高い温度で動作するシリコン量子コンピューター

超伝導回路や単一スピンに基づく固体プラットフォームは、スケーラブルな量子コンピューティングの開発に有望である。しかし、そうした量子コンピューターには、キュービットのコヒーレンスを保持するために100 mK未満という極めて低い動作温度が必要である。そうした低温の維持によって、キュービット数のスケールアップにかなり役立つと思われる統合制御エレクトロニクスの導入が困難になる。今回 C. Yang らとL. Petitらはそれぞれ別の論文において、シリコン量子ドットに閉じ込められたスピンキュービットが1 Kを超える温度において量子演算を実行できることを実証し、実際的にスケーラブルな量子情報処理への道を提示している。

10.1038/s41586-020-2171-6; 10.1038/s41586-020-2170-7



量子エンタングルメントのイメージ画像。

計算生物学

ヒトタンパク質のインタラクトーム

M. Calderwood、F. Roth、M. Vidalらは今回、ヒトタンパク質の参照用二元インタラクトームマップ「HuRI」を作製したことを報告している。このマップには、酵母ツーハイブリッド法によるスクリーニング解析で得られた、8000を超えるタンパク質が関わる、約5万3000の高品質なタンパク質-タンパク質相互作用が含まれている。ゲノムやトランスクリプトーム、プロテオームのデータと組み合わせて解析を行えば、細胞が置かれた状況に応じた細胞機能の研究が可能になる。著者らは、HuRIが、タンパク質-タンパク質相互作用の細胞内区画特異的な役割を突き止めるのに使えることを実証している。10.1038/s41586-020-2188-x

神経変性

タウの拡散を制御する

微小管結合タンパク質タウは、アルツハイマー病や前頭側頭型認知症などの神経変性疾患の発病において中心的な役割を担っている。これらの疾患の進行は、タウの細胞間拡散とミス

フォールディング (誤った折りたたみ) を特徴とし、その結果、脳内にタウタンパク質凝集体が沈着する。J. Rauchらは今回、低密度リポタンパク質受容体関連タンパク質1 (LRP1) が、タウのエンドサイトーシスとその後の拡散を制御していることを示している。LRP1をノックダウンすると、グリオーマ細胞や誘導多能性幹 (iPS) 細胞由来ニューロンへのタウの取り込みが低下した。また、マウスのin vivo タウ伝播モデルにおけるLRP1の発現低下は、ニューロン間でのタウの伝播を効率的に低下させた。この研究は、タウの拡散に関する我々の理解を深めるとともに、LRP1がタウの伝播の重要な決定因子であり、治療介入点の1つになり得ることをはっきりと示している。10.1038/s41586-020-2156-5

2020年4月23日号

Vol 580 / Issue 7804

噴火と雨

2018年のキラウエア火山の噴火を極端な降雨が誘発した可能性

表紙は、米国ハワイ島のキラウエア 火山の2018年の亀裂噴火時の溶 岩流である。今回J. Farquharson と F. Amelung は、極端な降雨に よって大量の溶岩の流出が生じた 可能性を示す、モデル化による証 拠を提示している。降雨によって 浅部の火山活動が変わり得ること は知られているが、降雨がマグマ



の移動に関連するより深部にまで影響を及ぼし得るかどうかはよく分かっていなかった。著者らは、2018年の噴火前の数カ月間に降った記録的な大雨がキラウエア火山の地下に浸透し、地下水の圧力をこの50年で最も高い値まで増大させたと提唱している。これによって、岩盤が弱くなり、割れ目ができてマグマが新たな場所へ上昇できるようになり、最終的に噴火が生じたと思われる。著者らは、1790年以降のキラウエア火山の噴火史を改めて調べ、噴火の約60%が、1年の最も湿潤な時期に起こっていることを見いだした。彼らは、降雨と火山活動のつながりをより深く理解すれば、火山活動の予測を改善できる可能性があると示唆している。

Cover; 10.1038/s41586-020-2172-5

天文学

遠く離れた連星系からの接触連星小惑星の形成

探査機ニューホライズンズによる、カイパーベルト天体(2014) MU₆₉ (アロコス) のフライバイ (接近通過) で、この天体が2 つのローブが細い首でつながったゆっくりと自転する接触連

Highlights

星であることが分かった。また、この天体の軌道は、太陽系平面に対して大きく傾いている。これまでに提案されたモデルでは、そのような特性を持つ天体を予測できなかった。今回 E. Grishinらは、一連のシミュレーションを実行し、遠く離れた連星系を初期状態として、ほとんどあるいは全く変形のない接触連星系を形成できることを見いだしている。これによって、観測されている MU₆₉の特性の再現が可能になり、遠く離れた連星の約15%が後に接触連星になると見積もられた。10.1038/s41586-020-2194-z

ナノスケール材料

二次元における電子相関の光学分光測定

材料中の強い電子相関によって非従来型超伝導が生じる場合があり、そうした強い電子相関は、ねじれ2層グラフェンに相関状態が発見されて以来、二次元モアレ格子において集中的に研究されている。こうした研究はこれまで、試料の大域的特性を調べる輸送研究に基づいていた。今回A. Imamoğluらは、光学分光法を用いて、遷移金属ジカルコゲニド系のねじれ2層構造における相関状態を局所的に調べ、強い層常磁性や非圧縮性モット的電子状態などの多体効果を見いだしている。今回の研究は、二次元材料で相関を調べる新たな方法を提示するものであり、その結果として遷移金属ジカルコゲニドにおける多体効果の存在が実証された。

10.1038/s41586-020-2191-2

考古学

洗っていない土器は歴史に残る

考古学者なら誰でも、割れた土器の破片が古代史を再構築するための重要な情報資源であることを知っている。問題は、その年代をどうやって正確に測定するかだ。R. Evershed らは今回、土器の破片に安定的に吸収された食物残渣の脂質から正確な放射性炭素年代を得る方法を提示している。彼らは、他の方法で年代がよく知られているさまざまな遺跡にこの方法を適用するとともに、得られた年代を用いて英国のロンドンからアフリカのサハラ砂漠まで、実に多様な地域から出土している土器の年代を明らかにしている。

10.1038/s41586-020-2178-z

進化学

現生種を見ても進化の歴史は分からない

生物の形態を決めるものは何なのか。アリや寄生バチの種類は無数にあるのに、シーラカンスは2種しか現生していないのはなぜか。これらの疑問のうち少なくともいくつかについては、その根底に種分化と絶滅の速度の変動を見積もる必要性がある。しかし、このような速度を見積もるのは困難であ

ることがよく知られている。S. LoucaとM. Pennell は今回、そのような不確実性の厳しい現実を明らかにしている。彼らはどんな種分化 – 絶滅モデルにも、代替となる出生 – 死亡モデルが無数に存在し、それらは候補モデルとしてどんな現生種の時間系統樹も同等にうまく説明し得ることを突き止めた。我々に集められるデータはこうした研究に不適格であるだけでなく、驚くことにデータ量が無限にあっても、ある系統樹を作り出すシナリオ同士を区別するには不十分なのである。10.1038/s41586-020-2176-1



シーラカンスの1種 Latimeria chalumnae。

2020年4月30日号

Vol 580 / Issue 7805

分子シリンジ

高分解能構造によって 抗菌性のナノマシンの働きが明らかに

表紙は、緑膿菌 (Pseudomonas aeruginosa) のR型バクテリオシンタンパク質複合体の想像図である。バクテリオシンは、収縮性の分子シリンジで、他の細菌の細胞膜に穴を開けて致死的な一撃を加えることのできる、細菌が産生するナノマシンである。今回 H. Zhouらは、緑膿菌のバクテリオシンで



あるR2ピオシンの収縮前と収縮後の両方の状態の高分解能構造を提示している。今回の結果によって、分子シリンジが機能する仕組みが詳しく示され、R型バクテリオシンを新しいクラスの抗菌剤として開発する方法に関する知見が得られた。Cover; 10.1038/s41586-020-2186-z

物性物理学

トポロジカル反強磁性体の電気的スイッチング

物質の電子構造がさまざまなトポロジカルクラスに属し得る ことが最近発見されたが、こうしたクラスは、物質の内部が 絶縁性であっても導電性の表面状態が存在することなど、従 PETERSCOONES/THE IMAGE BANK/GETTY IMAGES PLUS

来にない乱れに強い特性を特徴とすることが多い。そうしたトポロジカル物質は、実験によって発見されて以来、多数見いだされている。しかし、技術的な応用への重要な次の一歩を踏み出すには、新たなトポロジカル状態を電気的に操作する必要がある。今回、中辻知(東京大学)らは、ワイル金属 Mn_3Sn の多結晶薄膜において、室温でのトポロジカル反強磁性状態の電気的スイッチングを実証している。このスイッチングは、従来の強磁性金属で使われているのと同じ磁化反転手法を使って実現されており、スピントロニクスへの応用にトポロジカル磁性体を利用できる可能性を示している。

有機化学

「マジック」メチル基の付加

10.1038/s41586-020-2211-2

「マジックメチル効果」は、化学分野ではよく知られた表現であり、1つのメチル基が分子の生物活性や選択性に大きな影響を及ぼし得ることを表している。しかし今のところ、既存の薬剤や天然物に単にメチル基を付けるだけのことが、なかなか容易ではない。今回 M. White らは、Mn 触媒を用いる酸化的て(sp³)—Hメチル化法について報告している。この方法では、医薬的に重要な種々のヘテロ環にメチル基を高い部位選択性で組み込むことができる。これによって、ワンステップでさまざまな天然物や薬剤の修飾が可能になり、マジックメチル効果の理解を深めるとともに現行薬や新薬を改良する基礎が得られる。10.1038/s41586-020-2137-8

地球科学

巨大沈み込み地震前の千キロメートルスケールの変形

今回J. Bedfordらは、マグニチュード8.8の2010年チリ・マウレ地震とマグニチュード9.0の2011年東北沖地震に先行して、4~8 mmの地表変位の逆転が数千キロメートルにわたって数カ月続いていたことを示している。分解能の高い東北沖地震前の一時的な事象の観測結果をモデル化することによって、最初にゆっくりすべりが起こった後、フィリピン海スラブが突然引きずり込まれ、そのあまりの急速さに日本全域にわたって粘弾性反発が起きたことが示された。彼らは、巨大地震が切迫している時期をよりよく理解するには、プレート境界の摩擦過程の進化だけでなく、準安定状態のスラブの急速な高密度化などの、より深部の沈み込み過程が課す力学的な境界条件も考慮する必要があると結論付けている。

10.1038/s41586-020-2212-1

植物科学

微生物相と植物の健康

葉圏とは、陸上植物の地上部分のことであり、多くの微生物

が豊富に定着している場所である。S. Heらは今回、植物と葉圏微生物相の相互作用について報告している。パターン誘導性免疫シグナル伝達と、小胞輸送経路と細胞死経路を重要な構成要素とする遺伝学的ネットワークが見つかり、植物がこのネットワークを介して葉圏微生物相のレベルや多様性を制御していることが分かった。これらの経路の変異は、葉に関連した微生物相を変化させ、葉の組織を損傷する。葉の組織に対するこのような作用は、植物の微生物相を変化させることによって再現された。著者らは、葉圏のディスバイオーシスとヒトの炎症性腸疾患で生じるディスバイオーシスの状況とを比較して関連付けている。

10.1038/s41586-020-2185-0

創薬

数十億もの仮想化合物

構造ベースのバーチャルスクリーニングは、膨大な数のバーチャル化合物がタンパク質の構造に対してスクリーニングされるので、薬剤のリード化合物を開発するためのより迅速で費用効率も高い方法として推奨されることが多い。今回G. Wagnerらは、バーチャルスクリーニング用のオープンソース・プラットフォームで、誰にとっても使いやすく、かなり大規模な実験もできる「VirtualFlow」を開発した。著者たちは14億種の化合物からなるライブラリーを作成し、このプラットフォームによって自動化スクリーニングを行って、初期段階のヒット化合物群を見つけ出し、類似化合物のバーチャル最適化を行った。その結果、KEAP1と転写因子NRF2との間のタンパク質間相互作用を阻害する、構造的に多様な一連の小型分子阻害剤が見つかり、この手法の威力が実証された。10.1038/s41586-020-2117-z

分子生物学

パイオニア転写因子群はヌクレオソームを不安定化する

多くの転写因子は、ゲノムの開いた領域、つまりクロマチンに詰め込まれていないゲノム領域に結合するが、「パイオニア」転写因子はヌクレオソームを介してクロマチンに結合し、発生の間に発現が抑制されているゲノム領域での転写を開始すると考えられている。今回P. Cramerらは、ヌクレオソームに結合したパイオニア因子SOX2とSOX11のDNA結合ドメインのクライオ電子顕微鏡構造を報告している。これらの構造から、パイオニア因子群がヌクレオソームに巻き付いているDNAを変形させてほどき、クロマチン開放を開始して、その後に起こる転写を促進する仕組みが示された。

10.1038/s41586-020-2195-y



フィスに人が来ると、「散らかっていてごめんなさい」といつも 謝っています。何十枚という周 期表に、数百本ものプラスチックボト ル、壁中に貼られた絵、天井に届きそ うな本の山、人々が捨てそびれた古い 備品などでいっぱいです。

私はグリーンケミスト、つまり環境に優しい化学を研究しています。有害な副産物をできるだけ出さないプロセスに興味を持っており、英国工学・物理科学研究会議が出資するPhoto-Electroというプロジェクトのメンバーでもあります。Photo-Electroは、化学物質や溶媒の量、複雑分子合成に必要なステップ数を最小限にすることを目的としています。例えば、光と電気を使って、より高い効率で化学物質を合成する方法を研究しています。

でも、周期表の普及家としての顔の 方がよく知られているようです。オフィスには、周期表をモチーフにしたさまざまなものがあります。例えば、多数の周期表ネクタイや、空っぽですが周期表チョコレートの箱、それから微小な周期表を刻み込んだ私の髪の毛。

おもちゃもたくさんあります。 C_{60} フラーレン (炭素原子60 個で構成されるサッカーボール状の分子) に見える犬用のおもちゃに、いろいろなルービックキューブ。解けないのですが、いじるのが楽しいのです。指で潰すとニセの卵が出てくるプラスチック製のカエルといった他愛もないものもあります。

全ての科学者にとって、大きな課題 は新しいアイデアを生み出すことです。 創造力をテーマにしたワークショップ では、おもちゃがあちこちに置かれて いるのが一般的です。たくさんの絵や おもちゃを周りに置くのは、気持ちを 楽にして革新を促す良い方法だと考え ています。

私は、より環境に優しい方法でプラスチックを作ることを目指す長期プロジェクトに携わり、スケールは小さいながらも成功しました。会社はスケールアップの価値はないと判断しましたが、私は多くのことを学びましたし、プラスチックボトルは会話を切り出す良いきっかけになっています。かなりの来訪者が、私のオフィスにいることを楽しんでくれているようなのですから。

Martyn Poliakoffは、

ノッティンガム大学(英国)のグリーンケミスト。

翻訳:藤野正美

nature ダイジェスト **FOLLOW US!**





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

新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の拡大が表面化して から、間もなく半年がたとうとしています。罹患者やその家族、 医療従事者はもとより、このパンデミックでは、施設の閉鎖 や外出制限といったさまざまな対策措置によって、私たちの 生活は一変しました。それは研究者たちも同じで、通常の研 究活動が続けられなくなっただけでなく、研究用の動物たち をどうするかで頭を悩ませたり(3ページ)、子育てと在宅勤 務の両立に悪戦苦闘したり(18ページ)しています。一方で、 多くの研究者たちが、それまでのテーマを脇に置いて COVID-19関連の研究を急ピッチで進めており、成果がものすごいス ピードで次々と報告されています(12ページ)。最新の情報を 全て把握するのは難しいですが、Nature Researchの日本語 サイトでは特設ページ (natureasia.com/covid-19) を設け、 *Nature ダイジェスト*の COVID-19 関連記事をはじめ、*Nature* やNature関連誌のプレスリリース、論文要旨など、COVID-19関連の日本語翻訳記事を無料公開していますので、情報源 の1つとして活用していただけますと幸いです。先が見えず、 不安や心痛で心が重くなりがちな状況ではありますが、この 「新たな日常」の中から、明るい未来につながる何かを見いだ せたら、と願ってやみません。 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、菖蒲さやか、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

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

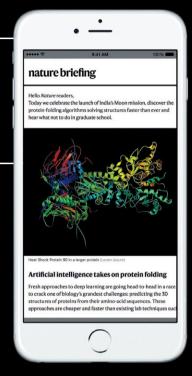
© 2020 Nature Japan K.K. Part of Springer Nature. 掲載記事の無断転載を禁じます。

^{*}翻訳記事は、原則として原文に沿っております。一部、編集部でより分かりやすいように編集しております。

nature briefing

What matters in science and why – free in your inbox every weekday.

The best from *Nature's* journalists and other publications worldwide. Always balanced, never oversimplified, and crafted with the scientific community in mind.



SIGN UP NOW

go.nature.com/briefing