

日本語で読む世界の最新科学ニュース

nature ダイジェスト

10
2010

陽子はいくら小さい？

特許なしの大学発ベンチャー

皮膚から心筋細胞へ直接変換

もう1つのメキシコ湾原油流出

月クレーター研究に期待

食糧問題の
カギを握るのは、「根」

フィールド研究者の
危機を救う医師

巨大断層の
ささやきを聞く

森林の炭素吸収能力が
低下している!?

原子間力顕微鏡で
分子の形を感じとる

NIHが臨床研究施設を
外部に開放へ

定価 680 円

FUNCTIONAL ARCHITECTURE OF THE CELL NUCLEUS

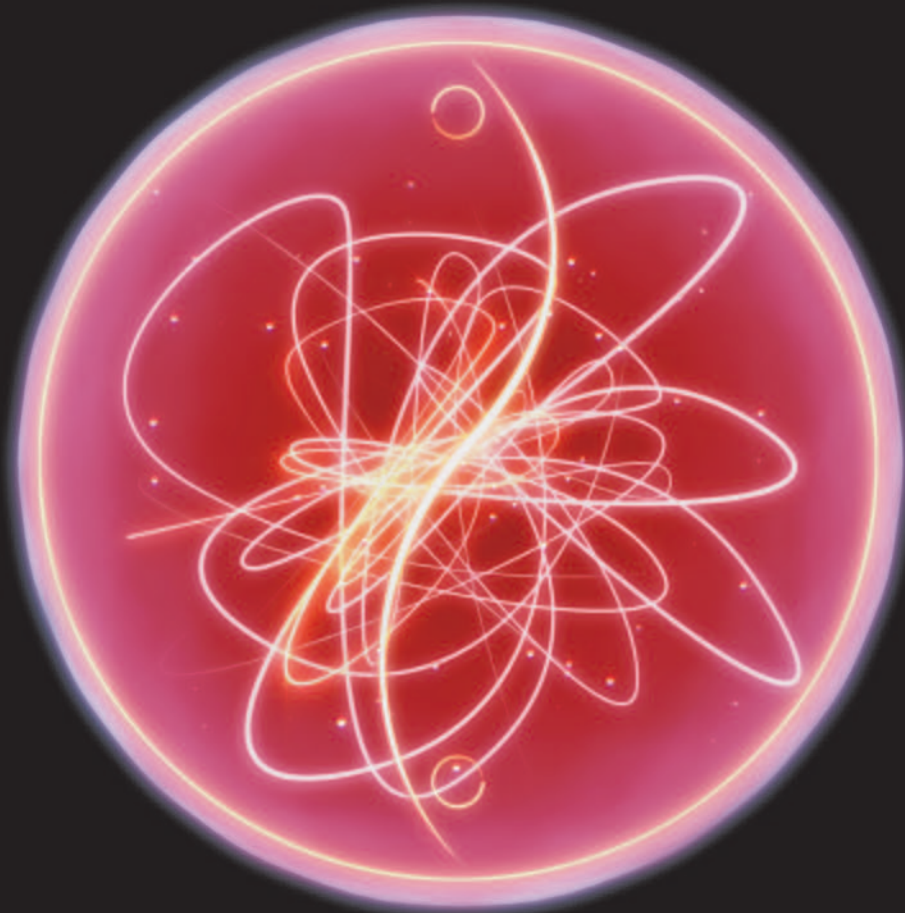
A JOINT DOCTORAL COURSE BETWEEN THE **RIKEN YOKOHAMA INSTITUTE** (JAPAN) AND **KAROLINSKA INSTITUTET** (SWEDEN).

カロリンスカ研究所 (スウェーデン) および 理化学研究所 主催の博士課程レベルのジョイントコース。

LEARN ABOUT MOLECULAR BIOLOGY FROM CUTTING-EDGE RESEARCHERS FROM LEADING INTERNATIONAL RESEARCH INSTITUTES.

INTERNATIONAL SETTING FOR PH.D STUDENTS FROM JAPANESE AND SWEDISH UNIVERSITIES. THE COURSE LANGUAGE IS ENGLISH.

2010.11.24 - 30
YOKOHAMA, JAPAN



KAROLINSKA INSTITUTET CMB - RIKEN OSC JOINT INTERNATIONAL DOCTORAL COURSE

APPLICATION DEADLINE: 2010.10.18
www.osc.riken.jp/event/cell2010

application-info@gsc.riken.jp



Karolinska
Institutet



陽子のサイズはもっと小さい!? 28

COVER IMAGE: MARKUS FISCHER, PAUL PIWNICKI, ALDO ANTognINI/PAUL SCHERRER INST.

エキゾチック原子系の分光学によって、陽子の大きさが測定された。

NATURE NEWS

- 02 ロシアの森林火災が環境に及ぼす影響
- 05 米国大学教官の特許なし起業モデル
- 06 皮膚細胞から直接心筋細胞に転換
- 07 森林の炭素吸収機能が衰え始めている
- 19 30年前のメキシコ湾原油流出事故
- 24 米国立衛生研究所、臨床研究施設を外部研究者に開放か
- 25 太陽フレアからの明るい光
- 27 ビッグバンの残光

NEWS FEATURE

- 08 食糧問題の真の姿
- 10 根から、第二の緑の革命が始まる

NEWS & VIEWS

- 30 細胞内の張力を測定する

EDITORIAL

- 32 世界的な飢餓に立ち向かうために
- 33 科学論文の剽窃を阻止するために

JAPANESE AUTHOR

- 22 腸の常在細菌が免疫系に果たす役割を追う — 本田 賢也

HIGHLIGHTS

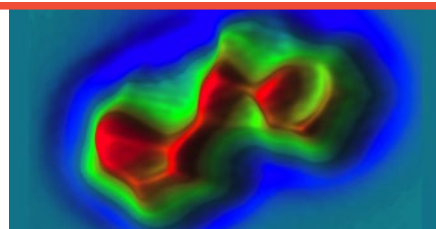
- 34 2010年8/5～8/26号

英語で Nature

- 38 サンショウウオのびっくり卵

03 分子の形を感じる

有機小分子の原子構造を、原子間力顕微鏡法で解明。



GROSS, L. ET AL.

13 フィールド研究者の命を救う

野外調査中にけがをしたり病気になったりした場合、一歩間違えば命取りだ。そんな研究者を救う医師がいる。



M. LEWIN

16 巨大断層のささやき

地下数十 km で周期的に発生して長時間持続する微弱な震動は、大地震の予測に役立つ可能性がある。



PACIFIC PRESS SERVICE/ALAMY

26 月クレーター研究への期待

月のクレーターを詳細に調査すれば、太陽系天体の地表面形成年代を、高い精度で推定できるだろう。



NASA/GSFC/ARIZONA STATE UNIV.

ロシアの森林火災が環境に及ぼす影響

Russia counts environmental cost of wildfires

NATASHA GILBERT 2010年8月12日 オンライン掲載
www.nature.com/news/2010/100812/full/news.2010.404.html

この夏、ロシア全土で大規模な森林火災が発生した。
森林管理体制を改善しないかぎり、
今後、制御不能な火災の発生件数が増えていくことが予想される。

モスクワも火災によるスモッグに覆われた。写真は、赤の広場、8月6日撮影。



2010年、観測史上最も高温で乾燥した夏となったロシアでは、各地で発生した大規模な森林火災により、国民の健康と環境を脅かすさまざまな問題が起きている。その中には、かつて爆発事故を起こしたチェルノブイリ原子力発電所の周囲の汚染区域から放射性物質が飛散する危険性も含まれている。

今回 *Nature* は、この大規模森林火災について検証を行った。

状況はどのくらい深刻なのか？

6月に森林火災が始まって以来、30万ヘクタール以上の森林、草原、泥炭地が燃えている。マックス・プランク化学研究所の一部門で、フライブルク大学（ドイツ）に本拠地を置く世界火災監視センター（GFMC）によると、特に大きな被害を受けている地域は、ロシア西部のモスクワ州や、モスクワの南西部のニーノヴゴロド州などであるという。

ロシアの国営メディアであるイタル・タス通信は、保健・社会開発省がこれまでに把握している森林火災による死者は53人、病院で治療を受けた人は806人に上ると報道している（8月12日現在）。

ロシアでこのような森林火災が発生したのは初めてなのか？

初めてではない。ロシアではしばしば森林火災が起こる。GFMCによると、今年は既に、ロシア連邦内で1500万ヘクタール以上の森林や草原が燃えたとい

う。ロシアの森林火災の多くは、燃えにくい木が多い森林への落雷によって始まる。なかでもマツは特に火に強く、かなり激しい火災にも耐えられる。また、そのような森林火災は、しばしば生態系の機能にとって有益であり、通常、森林は速やかに再生する。

ではなぜ、今年は大騒ぎになっているのか？

今年の森林火災は、例年よりも都市部に近く、燃えやすいカバノキなどが多い場所で発生しているからである。GFMCの所長で火災生態学者のJohann Goldammerによると、火災は庭園や野菜畑にも迫っており、「多くの貧しい人々が、冬を越すために必要な収穫を失うでしょう」という。また、人々が煙を吸い込むことによる健康への長期的な影響も懸念されている。実際、大気中の二酸化炭素や一酸化炭素は許容濃度を超えており、大気汚染が深刻になっている。その主な原因は、カラカラに乾いた泥炭地の有機物が燃えたことにあるという。Goldammerは、森林は自然に回復するが、それには長い時間がかかるだろうという。成長の遅いトウヒなどの回復には、特に長い時間を要するだろう。

森林火災はブリャンスク州にも達している。ブリャンスク州は、1986年に原子力発電所の爆発が起きたチェルノブイリのすぐ東に位置しているため、この地を汚染している放射性物質が火災により

大気中に飛散するのではないかという懸念が高まった。Goldammerは、未確認ながらこの地域で200ヘクタールが火事になっているという情報を得ていると語った。（編集部註：ロシア森林保護局は、8月11日、ブリャンスク州内で火災が起きていることを明らかにした。）

放射性物質による汚染のおそれはないのか？

ないといってよい。環境中にまき散らされた放射性物質の影響について研究しているボーツマス大学（英国）のJim Smithは、今回の森林火災により危険な放射性物質が飛散する可能性は「心配していない」という。ほとんどの放射性物質は、燃えやすい落ち葉や木に含まれているのではなく、土壌中にあるからだ。現在火災が起きているのは、チェルノブイリの周囲30キロメートルの立入禁止区域の外であり、その土壌が α 粒子（吸入された場合に最も大きい害をなす放射線）を放出する核種で汚染されている可能性は低い。

チェルノブイリの事故から今日までの間に、立入禁止区域の中で既に約100件の火災が起きているが、研究により、火災による放射線量の増加は1パーセント未満であることがわかっているとSmithはいう。彼は、「火災により再び大気中にまき散らされる放射性物質はごく少量であり、吸入による影響は心配していません」と語った。



ロシア政府は8月11日の声明で、ブリャンスクとその隣接地域の放射線量は「正常」であるといった。しかし、それでは懸念が払拭されない人もいる。グリーンピース・ロシアのVladimir Chouprovは、「被爆のリスクを過小評価してはいけません。一酸化炭素と少量の放射線の組み合わせが健康にどのような影響を及ぼすのか、我々はほとんど知らないのです」という声明を発表している。

マスコミの報道によると、ウラル山脈地域のスネジンスクにある原子力研究所に迫っていた火災は鎮火したという。また、ロシア最大の放射性廃棄物プラントの1つであるマヤク核施設があるチェリャビンスク州のオゼルスクの町では、消火設備が拡充された。

今回の森林火災はどのようにして始まったのか？

Goldammer は、今回の火災は、森林地帯でバーベキューや花火をするといった市民の「軽率な行動」によって発生したと指摘する。ロシアは今年、過去130年で最も暑い夏になり、気温が40度近くまで上昇したため、草原や泥炭地はカラカラに乾燥し、火災の危険が高まっていたのだ。

森林火災を防ぐことはできたのだろうか？

できたかもしれない。ロシアでは、2007年1月に可決された法律により、それまで中央政府が行っていた森林の

管理を、地方政府が行うことになった。Goldammer は、当局が森林や泥炭地の管理や保護に対して十分な責任を果たしておらず、「火災管理のための投資を行っていない」と言及する。

気候変動により森林火災が起こりやすくなることはあるのだろうか？

ある。今後、ロシアの気候が温暖化シミュレーションどおりに変化していったら、今回の森林火災で被害にあった地域は乾燥が続いて、ますます火災が起こりやすくなるだろう。その結果、森林の回復が妨げられ、その地域は草原に変わるかもしれない。そうなれば、さらに火災が起こりやすくなるだろうと、Goldammer は懸念する。

(翻訳：三枝小夜子)

編集部註：ロシアのメドベージェフ大統領は、7つの地域に非常事態宣言を出して警戒に当たってきたが、気温の低下と降雨により火災は鎮火されたとして、8月23日までにすべての地域の非常事態宣言を解除した。

分子の形を感じる

Feeling the shapes of molecules

PHILIP BALL 2010年8月1日 オンライン掲載
www.nature.com/news/2010/100801/full/news.2010.385.html

有機小分子の原子構造は、原子間力顕微鏡法で解明できる。

複雑な小分子の原子レベルの構造が、原子間力顕微鏡法とよばれる方法で、分子をスキャンし、「感じる」ことによって推定された。

研究チームは、非常に細い針のようなチップを使って、塩の結晶の上に置かれた深海細菌由来の天然分子の形をなぞり、分子構造を調べた。この分子は、2

つの分子構造が考えられていたが、今回の方法でどちらが正しいかを判断することができた。この研究成果は *Nature Chemistry* に報告された¹。

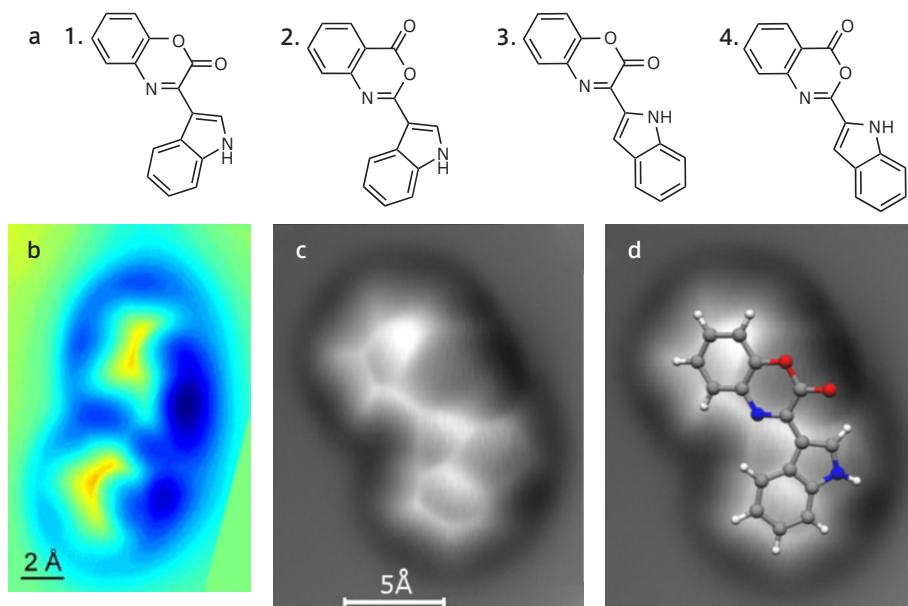
これまでは、分子内での原子の結合を調べるには、X線を分子の結晶に反射させたり(X線結晶構造解析)、分子内の原子が電磁波をどのように吸収するかを

調べたり(核磁気共鳴; NMR)と、間接的な方法が取られていた。

これに対して、IBM 研究所(スイス・チューリッヒ)のLeo Grossらは今回、2種類の走査プローブ顕微鏡法を利用して、直接、分子の姿を撮影できた。

「とてもおもしろい結果です。Grossらの方法は、構造決定用の新たなツールの1つになるかもしれません」と、ダラム大学(英国)で有機小分子のX線結晶構造解析を研究するJudith Howardはいう。X線結晶構造解析では、分子の三次元(3D)原子構造を明らかにできるが、それは分子を良質な結晶に成長させることができる場合に限られる。結晶が少なすぎたり、結晶化しなかったりして、X線による構造決定が不可能な場合もあるのだ。

1980年にIBMチューリッヒで発明



NMR 解析から、セファランドール A は 4 つの分子構造が考えられた (a-1 ~ 4)。Gross らは、原子間力顕微鏡 (AFM) を用いて原子 (c) と電子密度 (b) をマッピングすることによって、正しい構造 (a-1) を解明した (d は分子構造を AFM 画像に重ねたもの)。

された走査トンネル顕微鏡 (STM) は、移動する帯電金属チップとその真下に位置するサンプルの間を流れる電流を測定することによって、分子や材料の構造を原子レベルの精度で明らかにできる。このときの電流は、サンプルの化学的性質とサンプル-チップ間の距離の両方に依存する。

一方、原子間力顕微鏡 (AFM) は、サンプルとチップとの間の引力を測定することによって、直接、サンプルの原子レベルの構造を「感じる」ことができる。このときの引力は、サンプル-チップ間の距離に依存する。

明るい塊

原理上、STM、AFM のどちらを用いても、平面上の個々の原子を見ることが出来る。しかし、分子は、原子どうしが融合したような明るい塊に見える傾向がある。それに、塊の形状は、分子が表面に横たわっている場合、分子全体の形状を反映しているにすぎない。

昨年、Gross らは、一酸化炭素 (CO) 分子 1 個を取り付けた走査チップを使うことによって、AFM の感度を高め、表面に置かれた有機 (炭素系) 小分子の原子

骨格をなぞって描き出せることを初めて示した²。ただし昨年ケースでは、既知の分子構造から予測された画像と得られた AFM 像とを比較できるとどまった。

Gross らは、今回の新しい研究では、標準的な方法で識別できなかった複数の分子構造を識別することを目的としていた。これにより、AFM で既知のものを確認するばかりでなく、未知のものを明らかにできるかどうかを試そうとしたのだった。

Gross らが選んだのは、水深 11 キロメートルという深海の高圧下で息する深海細菌が生成する、セファランドール A とよばれる分子だった。セファランドール A は、医薬品への応用をめざして研究されている「天然物」の 1 つである。

セファランドール A の原子構造は、過去に、NMR で推定されている。NMR によって、原子対の相対位置が明らかになり、候補として 4 つの分子構造が示唆されたが、そのうちのどれが正しいかを判断することは容易ではなかった。当初、ある候補が正しい構造として割り出されたが、その後、別の候補の方が適切と見なされた。このことは、NMR 実験がいかに曖昧なものであったかを物語っている。

スナップショットを見る

研究チームが得た塩結晶上のセファランドール A の STM 像と AFM 像には、分子の全体形状がはっきりと現れており、分子に含まれることがわかっていた六角形原子環のいくつかを見ることができた。

しかし、それらの画像は、NMR から示唆された 2 つの構造候補のどちらが正しいかを判断できるほど詳細なものではなかった。だが、研究者らは、それぞれの構造について AFM 像がどう見えるはずであるかを計算することで、2 つの候補のうち片方のみが、得られた画像とぴったり合うことを見いだした。

この方法がどれほど一般的に役立つものになるかはまだわからない。フランスの材料解析構造研究所 (CEMES; トゥールーズ) の STM 専門家、Christian Joachim は、「CO チップによるこれらの AFM 像が実際に何を表しているのか、多くの研究者がまだ議論を交わしているところなのです」と注意を促している。また、結晶表面に蒸着すると分子の構造が変わるおそれがあることも心配している。「蒸着によく用いられる手法は、非常に破壊的なのです」と Joachim は話している。

Howard は、こうした状況下では分子が代表的な構造をとらない可能性があることを認めている。「あらゆる形状の乱れを考慮しなければならないし、それが可能なのは、始めの全体形状にかなり自信があるときだけなのです」と Howard はいう。

「今回の方法は、結晶構造解析に代わる究極の手段にはならないでしょう。結晶構造解析を利用すれば、事前情報がなくても構造を解析できます。しかし、私にはまだ、Gross らの方法でそのような構造解析ができるとは思えないのです」と Howard は締めくくっている。

(翻訳: 藤野正美)

1. Gross, L. et al. *Nature Chem.* doi:10.1038/nchem.765 (2010).
2. Gross, L. et al. *Science* **325**, 1110-1114 (2009).

米国大学教官の特許なし起業モデル

Start-up model patently flawed

Zoë Corbyn 2010年7月15日号 Vol. 466 (303)

www.nature.com/news/2010/100712/full/466303a.html

大学教官が自ら起業する場合、大学に発明を開示して、特許を取得し、独立して事業展開する、というのが標準的なルートだと考えられている。ところが、最近実施された大規模な調査では、米国の大学教官が会社を設立した事例の半数以上が、このルートをたどっていないことが判明した。この調査結果は、政府と大学が起業活動を高めようと努力するなかで、足りない部分があることを示唆している。

今回の研究は起業の専門家によるもので、この種の研究としては最大規模の、全米大学教官1万1572人を対象とした調査となった (R. Fini, N. Lacetera and S. Shane Res. Pol. doi:10.1016/j.respol.2010.05.014; 2010)。そのうち実際に起業した者は1948人で、「各大学の正式な知的財産制度を通じて取得した特許を活用して起業した」と答えた者は、約3分の1に当たる682人にすぎなかった。残りの1266人の回答者は、特許性のない知識をもとに起業していた。業種は、コンサルタント業、製造業、サービス業などだ。

社会学者とエンジニアの場合、特許発明に基づかない事業を立ち上げる事例がほとんどだったが、こうしたベンチャー企業は、生物医科学や物理学の研究者の場合にも数多くみられた (図「起業家の意外な姿」参照)。

「それ自体に特許性はないが、起業することで商業化できる知識が数多く存在していることに、大学教官が気付いているのです」。こう話すのは、ケース・ウェスタン・リザーブ大学 (米国オハイオ州クリーブランド) の経済学者で、今回の調査研究の共同著者である Scott Shane だ。政府による評価を含め、起

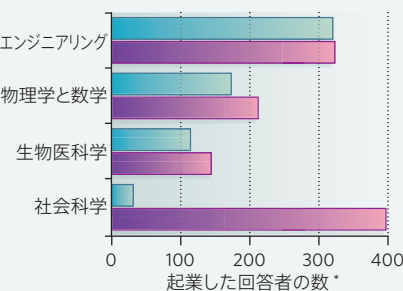
業活動に関する調査では、一般に特許活動に焦点を当てている。そのため「大学教官が払った努力の部分を、かなり過小評価している可能性があります」と Shane は指摘する。

また、Shane の論文には、各大学の技術移転事務所 (TTO、日本では TLO) が、大学教官出身の起業家のかんりの部分を「支援していない」と記述されている。「起業活動の全体を評価しなければ、支援活動を進めることはできません。すべての政策や手法は正式な知的財産制度を念頭に置っていますが、それだけでは、水面下に隠れた氷山の大きな部分に対応できないことを意味しています」と Shane は話す。

大学技術マネージャー協会の Ashley Stevens 会長は、今回の研究を「重要な新データ」と評する一方で、「TTO は、正式な知的財産制度を利用しない大学教官出身の起業家も支援しています」と主張する。ただし、Stevens 会長は、さらなる支援を阻んでいる大きな要因の1つとして、特許なしの起業は、知的財産制度を利用した起業と異なり、大学に対

起業家の意外な姿

多くの大学教官による事業は、特許の裏打ちがない。



* 自らの専門分野に関する情報を提供した1714人の回答に基づく。



ISTOCKPHOTO

して財務収益をもたらす可能性が低い点を挙げている。

それでも、今回の調査では、起業の際に特許があった場合となかった場合で、回答者の財務収益に有意な差はみられなかった。ただし、特許に基づかない企業のほうが、倒産率は高かった。

この研究の発表と時を同じくして、米政府は、連邦助成研究の成果の商業化に関する政策を作り上げようとしている。科学技術政策局は、この3月に情報提供を募集し、その情報を役立てて、技術の商業化を促進する一連の「有望な方策」を特定したいと考えている。科学技術政策局の Tom Kalil 部長代理 (政策担当) は、「具体的な内容としては、教官と学生向けの起業家教育、発明の商業化可能性を実証するための資金助成、標準化された知的財産契約、教官が起業するために一時的休職を取得できるようにする政策などがあります」と話す。

その一方で、「政府と大学が、特許を用いた大学教官の起業に注力することは、やはり正しい」と語る専門家もいる。「発明を基礎に置いた事業が成功するには多くの支援が必要になりますが、多額の利益を生み出す可能性もあるのです」と話すのは、ロンドン・スクール・オブ・エコノミクス (英国) で起業を研究する Mark Schankerman だ。「経済と社会に対して、より大きな貢献ができると考えられるのは、新しいコンサルタント会社ではなく、新しい薬の開発なのです」。

(翻訳: 菊川要)

皮膚細胞から直接心筋細胞に転換

Skin cells converted to heart muscle cells

HEIDI LEDFORD 2010年8月5日 オンライン掲載
www.nature.com/news/2010/100805/full/news.2010.394.html

マウスで皮膚細胞を心筋細胞に直接転換できたことで、将来、細胞移植しなくても、心臓にある繊維芽細胞をそのまま心筋細胞に転換できるようになるかもしれない。

胚性幹細胞（ES細胞）のような初期状態に戻さず、3種類の重要な遺伝子を導入するだけでマウスの皮膚細胞を心筋細胞へ直接転換することに、グラッドストーン心臓血管研究所（米国カリフォルニア州サンフランシスコ）のチームが成功した¹。もしヒトでも成功すれば、心臓疾患の再生医療における心筋の新たな供給源となるかもしれない。

近年、幹細胞を経ずに細胞の種類を転換させる試みが増えている。こうした技術によって、幹細胞治療に伴うがん発生の可能性などの問題や、幹細胞から特定の細胞種へと分化させる難しさを回避できると考えられる。「こうした技術が幹細胞技術と完全に置き換えられるかどうかはわかりません。でも、幹細胞使用での問題の一部を解消できる戦略につながっていくはずです」と、論文の主要著者、グラッドストーン心臓血管研究所長のDeepak Srivastavaは語る。

成熟した心筋細胞を得るまで

心筋は、いったん損傷すると自己再生・修復できない。心筋梗塞などで心筋が損傷を受けると、時間の経過とともに損傷が大きくなって心臓の機能は弱まり、最後には心不全に陥る。米国には500万人の心不全患者がいるが、心臓移植手術は年間2000件しか行われていない。

これまでSrivastavaたちは、幹細胞を使って心筋細胞の作製を試みてきた。しかしながら、できた細胞は自律的に拍動したが、成熟した心筋細胞ほどは強く

ならなかった。そこで、別のやり方を試みることにした。心筋細胞に高レベルで発現している遺伝子群を洗い出し、それらをさまざまに組み合わせてしぼり込んだのだ。すると、3種類の遺伝子（*Gata4*、*Mef2c*、*Tbx5*）があれば、心臓や皮膚の繊維芽細胞を心筋細胞へ転換できることがわかった。こうして作製された細胞をマウスの心臓へ移植したところ、正常に拍動した。この結果より、細胞移植ではなく、心臓に既にある繊維芽細胞を同様の手法で心筋細胞へ転換できるかもしれないとSrivastavaは話す。研究チームは現在、ヒトでもこの3種類の遺伝子だけで転換可能かどうかを調べている。

細胞種を切り替える

Srivastavaの研究成果は分化転換研究に大きな進展をもたらした、とボストン小児病院（米国マサチューセッツ州）の幹細胞生物学者George Daleyは話す。分化転換研究は波乱に満ちた歴史をもつ。10年ほど前、複数の研究チームから骨髄細胞をさまざまな別の細胞種へ転換できたという発表があった。しかしその後これらは、骨髄細胞がほかの種類の細胞と融合した、人為的産物であることがわかった。それ以降、分化転換研究に対する風当たりは強くなり、この分野の研究者たちは、同様に思われるのを恐れるようになったと、スタンフォード大学（米国カリフォルニア州）の幹細胞研究者Marius Wernigは話す。

しかし、2006年になって、京都大学

の幹細胞研究者である山中伸弥らが、4種類の遺伝子を導入するだけで繊維芽細胞を新しい種類の幹細胞へ転換できたことを報告した。この幹細胞は「人工多能性幹細胞（iPS細胞）」と名付けられた。この成果により、分化転換研究者たちは、この分野に希望を確信できたのである。

その後この分野は勢いを増し、Wernigらは今年1月、繊維芽細胞からニューロンへの転換に成功した。彼はこの過程を分化転換ではなく「直接転換」とよんだ²。Daleyの推測では、細胞種の直接転換を競っている研究チームは現在100以上あるという。「再生医療に幹細胞は本当に必要なのかという疑問が出てきてもおかしくない³」という人もいる。

さらなる励励を

しかし、Wernigはこう語る。「直接転換という分野はまだ緒に就いたばかりです。実際に使う際には幹細胞のほうが有利な場合もあるはずです」。例えば、幹細胞はよく増殖するため、大量の細胞が必要な場合は有用かもしれない。

一方Daleyは、分化転換した細胞についてもっと研究する必要があるという。彼は最近、iPS細胞が「元の細胞の重要な記憶」をもっていることを報告した⁴。この記憶は、遺伝子発現に影響を及ぼすこともあるDNAのメチル化という形で残っている。Srivastavaらは、そうした修飾を数個の遺伝子の近辺で探したが、ゲノム全域のスキャンはまだ行っていない。

「実際、分化転換した細胞が元の組織の記憶をもっているとしたら、心配になりますね」とDaleyは話す。そうなれば、この技術の融通性は狭まってしまい、記憶の違いを最小限にするために、ごく近縁の細胞種への分化転換しかできなくなるだろう、と彼は述べている。

（翻訳：船田晶子）

1. Ieda, M. et al. *Cell* **142**, 375-386 (2010).
2. Vierbuchen, T. et al. *Nature* **463**, 1035-1041 (2010).
3. Nicholas, C.R. & Kriegstein, A.R. *Nature* **463**, 1031-1032 (2010).
4. Kim, K. et al. *Nature* doi:10.1038/nature09342 (2010).

森林の炭素吸収機能が衰え始めている

Earth's green carbon sink on the wane

RHIANNON SMITH 2010年8月19日 オンライン掲載

www.nature.com/news/2010/100819/full/news.2010.418.html

地球全体が温暖化傾向にあるにもかかわらず、
植物による炭素貯蔵量が減少していることが、衛星データによって示された。

植物の炭素吸収機能が低下に向かっている可能性がある。

この数十年間、地球全体の気温の上昇に伴い、大気中の炭素が植物バイオマスに変換される量も増加してきた。しかし、モンタナ大学（米国ミズーラ）の生態学者 Maosheng Zhao と Steve Running が *Science* 8月20日号に発表した論文によると、この10年間の地球の気温は観測史上最も高かったにもかかわらず、植物による炭素貯蔵量は増加するどころか減少するという、驚くべき逆転傾向がみられたという¹。

2003年に、同じくモンタナ大学の Ramakrishna Nemani が率いる研究チームが発表した論文では（Running はこの論文の共著者だった）、1982年から1999年にかけて植物の生産力が上昇したと報告され、その原因は気候の温暖化と日射量の増加にあるとされていた²。Zhao と Running は、2000年から2009年にかけても同様の増加がみられるだろうと予想していたが、みごとに外れてしまった。

Running によると、植物は海洋とともに、化石燃料の使用によって大気中に排出された二酸化炭素の約半分を吸収するという重要な役割を担っている。「植物のこの機能が衰えつつある可能性が、今回、初めて示唆されたのです」と彼はいう。

Zhao と Running は、各種の植物生態系を区別し、植生の密度を測定するため、NASA の地球観測衛星テラに搭載された中分解能撮像分光放射計（MODIS）の可視光および赤外線スペクトルデータ

を分析した。次に、植物バイオマスとして蓄積される大気中の炭素の量（純一次生産量：NPP）を推定するため、植物の成長に影響を及ぼす利用可能な水の量や日長などを調べた。

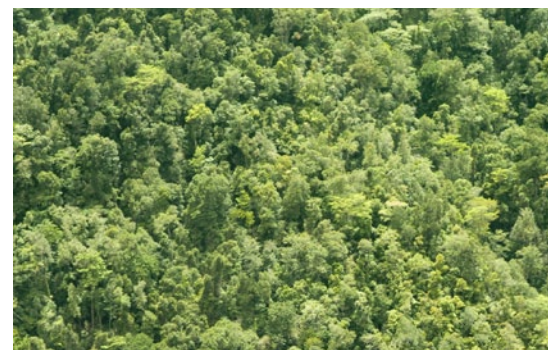
その結果、植物による炭素の吸収量が予想どおり増加している地域もあった。そうした地域は北米、西ヨーロッパ、インド、中国の一部など、主に北半球であることがわかった。一方、炭素吸収量が減少している地域では、その減少は急激だった。南半球では、南米、アフリカ、オーストラリアなどで、植物に覆われた地域の70パーセントでNPPが減少していた。

Running は、各地域の植物による炭素吸収量の「増加分と減少分をすべて考え合わせると、地球全体では減少していることになります」という。

限界を超えて

Running らは、地球全体の炭素吸収量が減少した原因は、局所的な干ばつ（2005年のアマゾンの深刻な干ばつなど）と、地球温暖化により南半球全体の乾燥が進んでいることにあるという。

気候の温暖化と干ばつの増加が、南半球と北半球で異なる影響を与える理由は不明である。Running は、赤道の南と北では植物の生育を制約する条件が異なることが関係しているのではないかと考えている。北半球では、植物の生育は、気温と植物が成長可能な季節の長さに制約される傾向があるため、地球温暖化により気温が上昇し、暖かい季節が長くなっ



ISTOCKPHOTO

たことは有利に働く。一方、南半球の植物の生育を制約する主な要因は、利用可能な水の量であるため、干ばつの影響を強く受けってしまうと考えられるのだ。

アリゾナ大学（米国トゥーソン）の気候学者 Michael Crimmins は、植物の生育が気温ではなく利用可能な水の量によって制約される地域に注目している点で、この論文は「いい仕事」をしているという。「温暖化した世界が必ずしも緑豊かな世界になるわけではないことを示唆する地球規模の証拠がついに現れたことを、うれしく思います」。

しかしながら、ハーバード大学（米国マサチューセッツ州ケンブリッジ）の生態学者 Bill Munger は、この論文が用いた手法に批判的である。「彼らが用いた種類のモデリング手法は、植生過程の空間分布を強調するのに適してはいますが、湿度と気温をどのように仮定するかに大きく影響されるからです」という。

Running も、自分たちがいくつかの仮定をせざるを得なかったことを認めている。「地球規模の計算をするときには、生態系活動のほんの一部だけを解析して、それ以外の部分については推定することになるからです」。さらに、「今後10～20年分のデータが得られるまでは、これが永続的な傾向であると断定することはできません。けれども、この傾向を注意深く見守るべきであることは確かです」と付け加えた。

（翻訳：三枝小夜子）

1. Zhao, M. & Running, S. W. *Science* **329**, 940-943 (2010).
2. Nemani, R. R. et al. *Science* **300**, 1560-1563 (2003).

食糧問題の真の姿

The growing problem

2010年7月29日号 Vol. 466 (546-547)

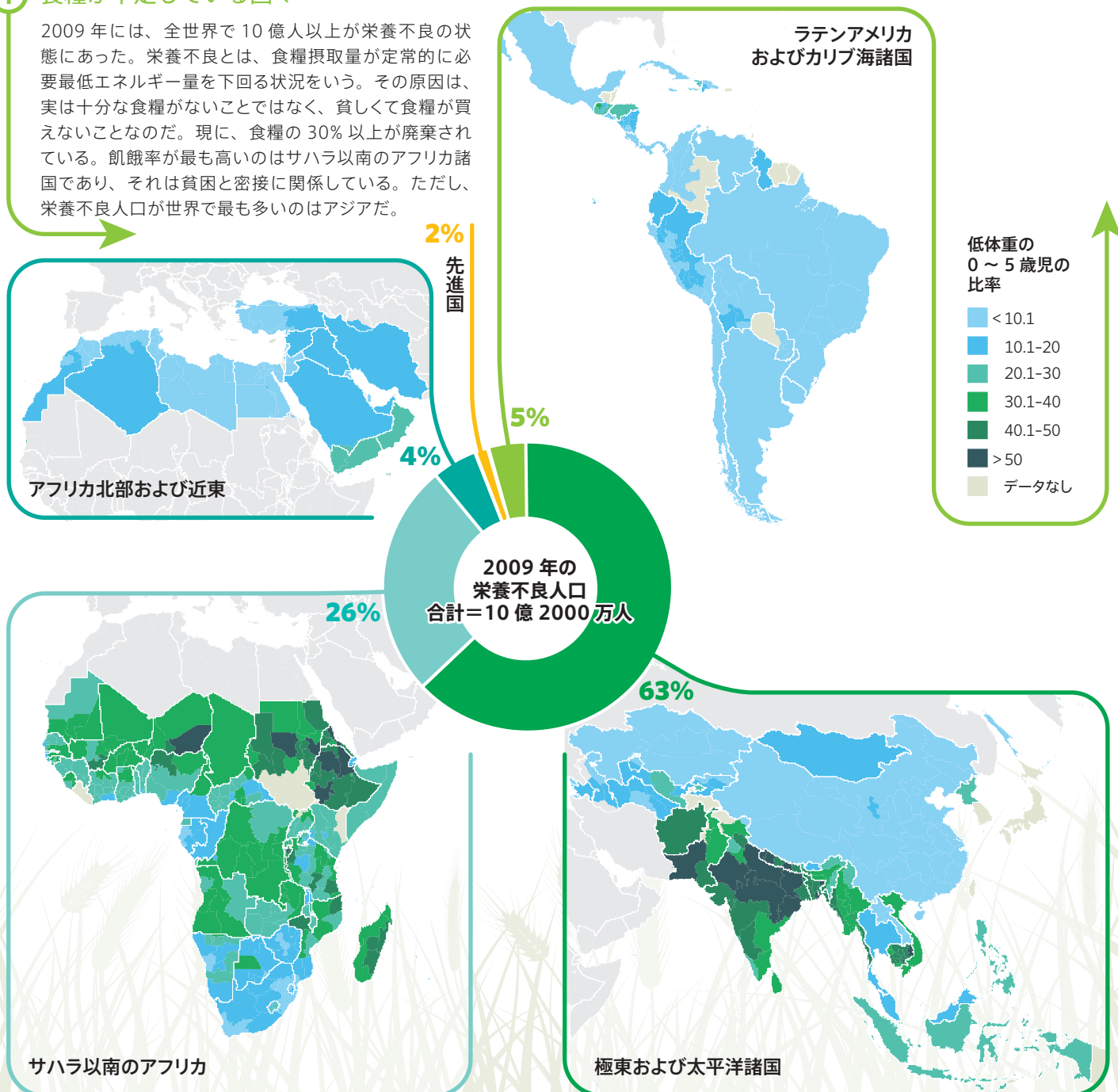
飢餓が依然として大きな問題であり続けている。しかしそれは、一般の人々が想像するような理由からではない。

Nature は食糧問題に関するデータの傾向を分析し、その課題を検討した。

2050年に地球人口は90億人を超えると推定される。

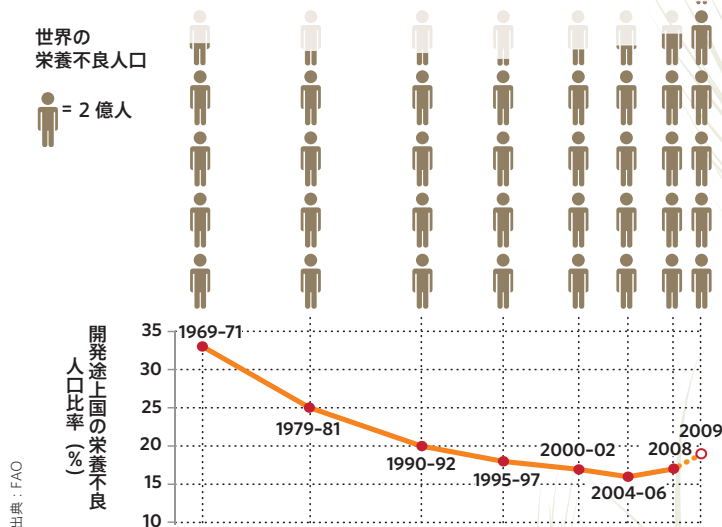
① 食糧が不足している国々

2009年には、全世界で10億人以上が栄養不良の状態にあった。栄養不良とは、食糧摂取量が定常的に必要最低エネルギー量を下回る状況をいう。その原因は、実は十分な食糧がないことではなく、貧しくて食糧が買えないことなのだ。現に、食糧の30%以上が廃棄されている。飢餓率が最も高いのはサハラ以南のアフリカ諸国であり、それは貧困と密接に関係している。ただし、栄養不良人口が世界で最も多いのはアジアだ。



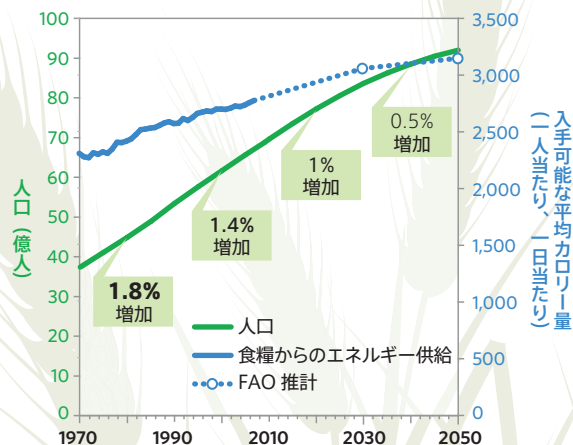
3 飢餓は過去のものではない

地球上の飢餓人口は、総数でいえば、一時は減少したが、現在は増え続けている（上図）。一方、開発途上国における比率でいえば、飢餓人口は数十年にわたって低下傾向を示していたが（下図）、2008年の食糧価格危機で状況は暗転してしまった。



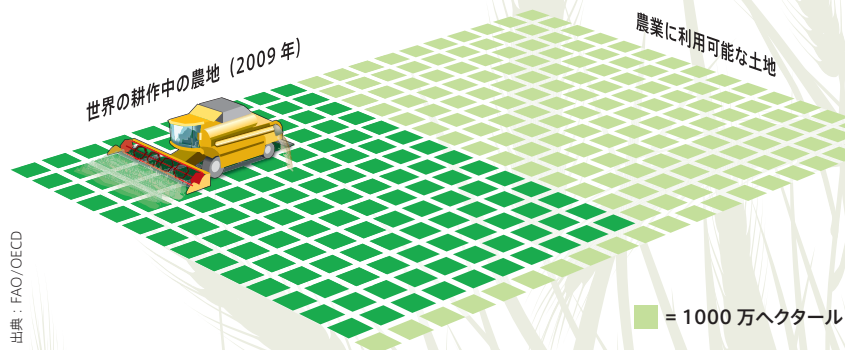
3 人口爆発が問題なのではない

人口の急増が食糧生産を圧迫する、という懸念が専門家の間で長年語られてきた。しかし今や、世界人口の増加は減速しており、2050年には安定化するとみられる。ほぼすべての貧困国で家族が少人数化し、子どもは1戸当たり約2.2人まで減少するのだ。人口が増加してきたにもかかわらず、1人当たりの入手可能な総カロリー量は、減少どころか増加している。将来、十分な量の食糧を生産することは可能だが、水をはじめとする資源を損なうことなくそれを達成するのは難しいだろう。



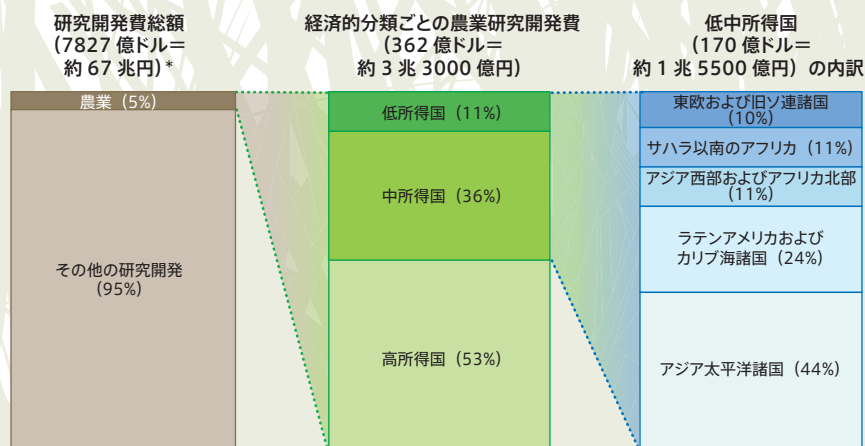
4 農地面積も問題ではない

国連食糧農業機関 (FAO) と経済協力開発機構 (OECD) が2009年に発表した見通し (go.nature.com/DdNYvk) によれば、農地面積は、主としてラテンアメリカとアフリカの16億ヘクタールを加えれば、現状の2倍以上に増やすことが可能だ。それは、森林や保護区域、都市化に必要な土地とかち合うことなく、である。しかし英国学士院は、耕作地の大幅な拡大は生態系と生物多様性を損なうと警告している (go.nature.com/YJ2jsB)。その代わりに「持続可能な集約化」を推奨しており、これが現在、多くの農業研究機関の優先課題となっている。



5 少ないコストで大きな成果を

多くの国々では、既存の技術と農法を改善するだけで、生産量を増大させることができる。しかし、持続可能な集約化とは、さらに、水や肥料、農薬の使用量を減らしながら収量を増大させることなのだ。専門家によれば、その実現には農業研究への公的投資の増額が不可欠だという。現在、農業研究への投資額は、科学全体の研究開発費の5%にすぎない。世界全体でみれば、農業研究への公的投資は増加しているが、1970年代の緑の革命当時と比べると、増加率ははるかに低い。例外は中国で、この10年間で資金拠出は2倍以上に増加した。





根から、第二の緑の革命が始まる

An underground revolution

VIRGINIA GEWIN 2010年7月29日号 Vol. 466 (552-553)

これまでの農業研究では、根はほとんど無視されてきた。
しかし、環境にダメージを与えずに収量を増やすという目標に向けて、
特に植物育種の分野で、根の重要性が注目され始めている。

根は、地面の下でこんがらがって、泥だらけになって埋もれているため、研究対象としてはたいへんなシロモノだ。根を掘り出すには時間がかかり、時には骨の折れる作業となる。根の繊細な分岐パターンや根毛、さらには根に付着した微生物を損なわないよう、シャベルで慎重に掘り進めなければならない。こうした現実ゆえに、これまでの農業研究では根はほとんど顧みられず、見過ごされてきた。しかし、多くの科学者が今、生産性の優れた作物を作り出すカギとして、根をとらえ始めている。めざすは「緑の革命」を超えることだ。

1940年代に始まったその徹底的な研究開発の時代には、高収量作物品種の開発、および農薬、肥料、大量の水の使用により、急激な食糧増産が進められた。しかし、その増産によって地下水が枯渇し、1998年には窒素肥料使用量が8倍に増加して¹、水系汚染などの環境問題

が発生した。収量が飛躍的に増加した一方で、飢餓に苦しむ人々はなお多数存在している。そして、土壌がやせた国々、灌漑システムが利用できない国々、高価な肥料が買えない国々など、多くの開発途上国が緑の革命から取り残された。ペンシルベニア州立大学（米国ユニバーシティーパーク）の植物栄養学者であるJonathan Lynchは、「こうした過去の戦略は、現在の増え続ける食糧需要を満たすのには役立ちません」と話す。

「根こそが、高コストなインプットに依存しない『第二の緑の革命』のカギを握っています」とLynch。根は、植物が必要とする最も重要な「水」と「栄養素」を運ぶが、この2つの要素は、十分得られないことが多いのだ。だから根の能力を高めることができれば、既にそこにあるものが利用でき、それによって「耕作限界地」を生産性の高い土地に変えることもできるはずだ。そうした可能性が

あるのに、水や肥料を次々と与え続ける必要があらうはずがない、とLynchらは考える。

明らかに、改善の余地がある。植物育種では、茎ではなく穀粒の生産に多くのエネルギーを投入する矮性品種の開発など、「地上」形質の操作によって多大な進歩が既に達成されている。しかし、根の形質に関しては、ほとんど手が付けられていない。「そこに収量を向上させる可能性が残されているのです。根に仕掛けられたさまざまな遺伝的変異が見過ごされてきました」とLynchは話す。ここでは、根を通じた食糧増産に関する有望な先進的事例を4つ紹介しよう。

特製の根

根は、その構造が環境に合わせて作られたときに、最も効率よく働く。深い根は乾いた土壌の下から水を吸い上げる能力をもち、また細かな浅い根は、土壌の表

層にとどまっている限られた栄養素を取り込むことができる。

オーストラリア連邦科学産業研究機構 (CSIRO; キャンベラ) の植物生物学者である Michelle Watt は、乾燥しやすい地域に適したコムギ品種の開発に携わっている。最近のコムギ系統の研究で、Watt の研究チームは、一部の系統の根がほかの系統よりも 25 パーセント深く伸びていくことを発見した²。研究チームは、この系統を一般的な栽培品種と交配して、新しいコムギを 400 系統作り出し、現在インドとオーストラリアで圃場試験を進めている。

Watt は新しい遺伝子ツールも利用している。しかし、170 億塩基対のパンコムギゲノムを使っているわけではない。研究チームが使っているのは、コムギと同じ亜科に属する温帯性のイネ科植物で、今年の前半にゲノム配列が解読されたミナトカモジグサ (*Brachypodium distachyon*) のゲノムだ。この小さなゲノム (2 億 7100 万塩基対) を用いて、深い根と関係する遺伝子マーカーを探索しているのだ。そうしたマーカーを利用できれば、種から育てた植物を掘り出して根の長さを測るといったたいへんな作業をせずに、どのコムギ品種の根が深くまで伸びそうか、種子の段階で明らかにできるのではないかと期待している。

ペンシルベニア州立大学では、Lynch が興味深い形質を発見している³。根の組織に細胞間の通気空隙を大量に作るトウモロコシ系統が、その能力をもたない系統と比べて、水の少ない場合に 8 倍の収量をあげるのだ。ストレスが加わると、根に取り込む空気量を増やすことで、新たな根の組織を作る代謝コストを抑え、浮かせたエネルギーを穀粒の成長に回すのではないかと Lynch は語る。この形質が今後の育種研究にどれだけ役立つのかについては、Lynch にはまだ確信がない。

Lynch によれば、根の構造に関する研究はまだ始まったばかりだという。「いってみれば、今は個々の文字を分析

しているような段階で、ここから始めて、いずれはシェイクスピア演劇の内容まで予測したいわけです。予測できない根の構造から新しい特性が現れてくることもあるはずです」。

目に見えない掃除屋

根は栄養素を探す。そこで、それを助ける方法を探している研究者もいる。具体的には、土壌から栄養素を遊離させたり、毒素を中和したりする能力を高めようというのだ。

ブラジル中央部の「セラード」とよばれる草原では、大部分の土壌の酸性度が高いため、アルミニウムが水に溶けて植物の根に害を及ぼす。ところが一部の作物品種は、その害から身を守ることができる。根の先から放出する有機酸がアルミニウムイオンを化学的に不活性化するからだ。

2007 年、コーネル大学 (米国ニューヨーク州イサカ) の植物遺伝学者である Leon Kochian の研究チームは、セラードのモロコシ品種について、アルミニウム耐性のものとアルミニウム感受性のものとを比較して、アルミニウム耐性をもたらし遺伝子を見つけたと発表した⁴。研究チームは現在、さらに優れた変異体や別のアルミニウム耐性遺伝子を求めており、モロコシや他の作物の地域品種を選別できるような遺伝子マーカーの探索を進めている。Kochian によれば、ブラジルでの最初の野外研究では、アルミニウム耐性をもたらし遺伝的変異を備えた系統は、酸性土壌で生育させた場合、ほかの品種よりも収量が約 3 分の 1 高かったという。

アデレード大学 (オーストラリア) の植物生物学者である Trevor Garnett は、農業バイオテクノロジー企業のアルカディア・バイオサイエンス社 (米国カリフォルニア州デービス) と共同で、根による土壌からの窒素取り込み効率を高める方法を実用化しようとしている。それは、窒素を含むアミノ酸「アラニン」の合成に関与する遺伝子の過剰発現



を利用する方法だ。Garnett は、「現在は、肥料として投入した窒素の 40～50 パーセントしか植物体には取り込まれていません。これはとんでもないことです」と話す。利用されなかった窒素は、むだになるばかりでなく、湖沼や河川を汚染するからだ。「環境に流出してしまう前に窒素をすばやく取り込んで保存し、後々の成長で必要になったときに利用するような、貪欲な植物が欲しいですね」と Garnett は語る。

微生物の操作

別の研究チームは、根圏（根を取り巻く狭い範囲の土壌）で増殖する微生物を利用して、作物収量を高めようとしている。ただし、まだ初期段階でしかない。例えば、カビと戦う新たな遺伝子を微生物に導入したり、新たな微生物を正体不明の微生物群集に投入したりすることが実行可能なのかどうか、まだ明らかになっていない。

ローザンヌ大学（スイス）の生態学者である Ian Sanders は、ある有望な方法を最近発見した。Sanders の研究材料である *Glomus intraradices* は、一般に植物から炭素をもらって植物にリン酸などの無機栄養素を供給している相利共生菌だ。2010 年 6 月、Sanders は、*G. intraradices* 個体の交配で新たな核の組み合わせをもつ子孫が出現し、その一部を温室育ちのイネに与えるとイネの生育が 5 倍になることを明らかにした⁵。現在、なぜそうなるのか調べている最中だ。Sanders は、この技術がリン欠乏土壌での収量維持に役立つのではないかと考えている。

微生物の中には、抑えなければいけないものもある。ワシントン州立大学（米国プルマン）の植物育種学者 Kim Kidwell は、*Rhizoctonia* というカビが原因の根腐れ病に抵抗性をもつ植物を探索している。彼はエチルメタンスルホネートという物質を使ってコムギの変異体を作り出した。変異体 50 万個から選別することにより、根腐れ病に非常に高



根の成長が盛んなコムギ系統（右）を使って、高収量性の試験が行われている。

い耐性をもつ系統が発見された。「前途は洋々です」と Kidwell は語るが、研究チームは、その原因遺伝子の同定に手間取っている。また、それが子孫に受け継がれていることを確認する遺伝子マーカーがなければ、その形質をもつ植物体を大規模に選別するのは難しい。さらに、根腐れ抵抗性遺伝子は、たとえ見つかったとしても、野外の条件で同じような結果を生み出すかどうか、確信はもてないという。「環境の役割は非常に大きいので、野外で必ずその形質が現れるとは限らないのです」と Kidwell はいう。

窒素の固定

コムギやトウモロコシ、イネなどの穀類の遺伝子を組み換えて自前で窒素を供給させようという考え方は、何十年も失敗し続けているにもかかわらず、今後も消え去ることはないだろう。窒素を土壌から吸収する代わりに、大気中から「固定」できるようになれば、環境を破壊する高価な肥料は、減少または消滅するだろう。しかし、その能力を始めからもっているレンズマメやダイズのようなマメ科植物を模倣するには、*Rhizobium* などの窒素固定微生物との複雑な共生的相互作用を植物体内に構築する必要がある。そのため、多くの研究は、植物に根粒（*Rhizobium* が棲む根の無酸素的なこぶ）

を形成させることに集中してきた。

1990 年代前半、根粒形成因子 Nod の同定が次々に発表された。この Nod はシグナル伝達分子であり、微生物がこれを土壌中に出して、マメ科植物に根粒形成を開始させている。この Nod 因子の受容体をほかの作物に導入する取り組みは、これまでのところうまくいっていない。新しい知見として、ある種の窒素固定共生細菌 *Bradyrhizobium* が *nod* 遺伝子をもっていないことがわかり、窒素固定遺伝子がほかにも存在することが示されている。ノッティンガム大学（英国）の植物生理学者で、作物窒素固定センターの所長を務める Edward Cocking は、「もはや根粒形成はそれほど重要ではなく、ただ植物細胞内に窒素固定細菌を定着させることのほうが、大事なのです」と話す。

何らかの窒素固定遺伝子を非マメ科植物に導入することが、農業科学の重大目標の 1 つだと考える研究者は多い。フロリダ大学（米国ゲインズビル）で微生物学・細胞科学科長を務める Eric Triplett は、「10 年以上かかることになる研究に取り組む勇気と資源をもったチーム」が必要だろうと話す。

スコットランド作物研究所（英国ダンディー）を率いる Peter Gregory は、「これまで 40 年間の研究では、根は全く顧みられませんでした。しかし、非効率的な栄養素の投入によって経済的・環境的な帰結がどうなるのか、もはや明らかです。そうした損害を回避できる唯一の方法が、根をもっとよく知ることなのです」と話している。

（翻訳：小林盛方）

Virginia Gewin は、米国オレゴン州ポートランドに拠点を置くフリーランスのライター。

1. Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R. & Polasky, S. *Nature* **418**, 671-677 (2002).
2. Kirkegaard, J. A., Lilley, J. M., Howe, G. N. & Graham, J. M. *Aust. J. Agric. Res.* **58**, 303-315 (2007).
3. Zhu, J., Brown, K. M. & Lynch, J. P. *Plant Cell Environ.* **33**, 740-749 (2009).
4. Magalhaes, J. V. et al. *Nature Genet.* **39**, 1156-1161 (2007).
5. Angelard, C., Colard, A., Niculita-Hirzel, H., Croll, D. & Sanders, I. R. *Curr. Biol.* **20**, 1216-1221 (2010).

社説（32 ページ）およびオンライン特集（www.nature.com/food）もご参照ください。



モンゴルのゴビ砂漠で、足に感染症を負った男性を治療している、医師であり科学者でもある Matthew Lewin。

フィールド研究者の命を救う

The field medic

ERIK VANCE 2010年7月1日号 Vol. 466 (22-23)

研究者が、へき地での野外研究の最中にけがをしったり急病になったりしたら、頼れるものはほとんどない。そうした現状を変えようとしている野外医療のパイオニアがいる。

事の始まりは、小さな傷だった。古生物学研究の調査で発掘中に落石があり、作業していた研究者の1人が足に擦り傷を負ったのだ。ところが、数日後に Matthew Lewin が彼の容態を診ると、感染症が全身に及んで敗血症を起こし、命にかかわるほどの高熱を出して、腎不全を起こしかけていた。しかし、最も深刻で困難を極める問題は、彼のいる「場所」だった。そこは、人里から遠く離れ、灼熱の太陽が照りつけ、風が吹き荒れる、モンゴルのゴビ砂漠だったのだ。彼は白亜紀の化石を探す 2005 年の発掘調査に参加していたのだ。通常、こうした症状の患者は、まずほとんどは病院の集中治

療室に入れられることだろう。「道路事情がよければ、いちばん近い病院まで2日もあれば行けたでしょう。でも、あその道はひどいものでした」と Lewin はいう。

Lewin はその発熱した男性に抗生物質を点滴した。すると、男性は2日間で回復した。そこで、Lewin は静脈内投与する薬剤を残しておこうと、錠剤投与に切り替えた。ところが、数時間もしないうちに男性の病状は悪化し、口の周囲や皮膚にできた潰瘍が剥離し始めた。Lewin は、スティーブンス・ジョンソン症候群と診断した。これはある種の薬剤反応で、めったに発生しないが、発生すると命にかかわるものである。「その晩、私は彼

につきっきりでした。けれども、肺が機能不全にならないことを、祈るよりほかにありませんでした」と Lewin は話す。

Lewin は、人のいない荒地などで施す野外医療 (wilderness medicine) に通じた救急救命医である。彼は、生死にかかわる救急医療から、正体不明の寄生生物や化石の話、そして自分の救急キットを 100 グラム軽くする最善の方法についてなど、目まぐるしく話題を変えていく。そんな彼からは、オタクの不器用さとアウトドア好きらしい威勢のよさが感じられる。

物資の限られたへき地で行われる野外医療は、ここ 20 年ほどで知られるよう

パーフェクト・キット

Matthew Lewin が携帯を推奨する物

常備品

耳栓

快適な睡眠のため。

爪切り

足の手入れは見過ごされがちだが、足指の爪が肉に食い込んだまま長時間歩くと、たまらないほど痛くなる。

強力瞬間接着剤

切り傷や足の爪が割れたときに。

縫合用ホチキス

強力瞬間接着剤では大きすぎる切り傷用。

体温計

マラリアの診断に必須。

ダクトテープ

靴擦れやマメの対処に（のど飴の包み紙を足に張り付けてもよい）。

コンドーム

科学者といえども買春をしたり同僚との恋愛に陥ったりすることがある。

不測の事態用

妊娠検査薬

患者が妊婦となれば標準的治療法は大きく変わる。

ジップタイ

応急キットを勝手にいじられるのを防ぐ。ダイヤル錠だと、医師が意識不明に陥った場合に開けることができない。

薬剤

アドレナリン

あらゆる種類のかみ傷に対して。

抗生物質

ドキシサイクリンは海洋でかかる感染症に効果的。

錠剤

カプセル剤は、乾燥した砂漠では亀裂が入ることがあるので避ける。

真空パックの医薬品

湿気らないようにするため。

キットに入っていない物は？

毒吸い出し器

Lewin によれば「無用の長物」。

補水塩

食塩と砂糖で間に合う。

バイコディン

ストレス解消に悪用される麻薬性鎮痛薬剤は必要ない。快感「トリップ」は、調査隊のリーダーによる統制が取れていれば体験できる。

になってきた、大まかな枠組みの医療分野である。この分野で唯一の会員制組織である Wilderness Medical Society (WMS) は、米国ユタ州に本部を置き、2800 人の資格をもつ会員を有している。会員の中には、世界各国の軍関係者や捜索隊員、救急隊員、災害救助隊員なども含まれる。

無人の地での医療

人里離れた場所で行う調査に医師を同行することは、必要というよりむしろ「ぜいたく」なことだと見なされがちである。例えば、米国自然史博物館（ニューヨーク州）が派遣したこのゴビ調査隊の場合、人数枠はわずか 8 人だったと Lewin はいう。「医師を 1 名連れていこうとすれば、その分、研究者の枠が 1 名削られてしまうのです」。

ただし、どちらも連れて行けるような例外がある。Lewin は MD と PhD の両方をもっており、ほかの研究者の治療をするだけでなく自身でも研究を行っているのだ。医師としてペルーやチリ、モンゴルなどでの調査に同行するだけでなく、外来寄生生物やガの幼虫の防衛行動から、応急処置中に患者の喉を開く最良の方法まで、幅広い題材の研究論文を 40 本以上も発表している。「私には、医療という持ち運べる技能があります。しかも、サイエンスの知識もあるおかげで、有意義な研究ができるのです」と Lewin は話す。

Lewin は現在、この種の医療を普及させようと活動している。彼はカリフォルニア大学サンフランシスコ校（米国）で、野外で患者を治療する方法に関して、米国立公園の緊急時対応要員や米国特殊部隊医療班、医学生の研修に当たってきた。その一方で彼は、自分のように医師免許をもつ科学者の数を増やすことにも力を注いでいる。

野外調査を行う研究者にとって、医学の専門知識をもつ人間の存在はありがたいものだ。「そうした『潜在的な緊急』事態について考えてくれる人がいて、自分

で考えずにすむのはありがたいですね」と、ブリティッシュ・コロンビア大学（カナダ・バンクーバー）の古生物学者 Nicholas Pyenson は話す。彼は、2008 年に自身が率いたペルーのビスコ盆地への研究調査隊に Lewin を帯同した。

カリフォルニア科学アカデミーが Lewin を雇ったのは、ある悲劇的事件がきっかけだった。2001 年、ミャンマーの密林を探索する調査チームを率いていたヘビ類研究の専門家 Joseph Slowinski は、世界でも最強クラスの毒ヘビであるアマガサヘビ（*Bungarus multicinctus*）にかまれてしまった。しかし、調査チームは解毒剤や最小限の応急用品すらもっておらず、Slowinski は 28 時間後に死亡した。

こうした辛い教訓から、Lewin は緊急事態に備えることの重要性を訴えている。彼は、飛行機でモンゴルに降り立つ前に、モンゴルにある 14 台の CT や MRI の設置場所を把握しておいたのだという。当時モンゴル国内には透析装置が 2 台しかなく、そのうち 1 台が壊れていることも知っていた。そして、おそらく最も重要なことだが、Lewin は調査地域周辺にある病院や医学校の代表者と連絡を取って、講習を行い、さらに非常に不足している抗生物質類を提供した。こうした親善活動により、地元の医療機関に負傷した研究者の搬送を受け入れてもらい、可能な医療サービスを快く提供してもらえるだろう。

その他、自身の医療キットも携行している。Lewin は、野外医療の分野で最も包括的な教科書と考えられている『Wilderness Medicine（野外医療）』の「Wilderness Preparation, Equipment, and Medical Supplies（野外での準備、機材および医薬品）」という章の共著者であり、携行する医療キットを真剣に考えている。キットには、調査旅行での必要性に応じて、飲料用クーラーからサンドイッチバッグサイズまでのいくつかの大きさがあるが、Lewin は中サイズのランチボックスサイズのキットを、自分

の「たった1つの最も誇りに思うプロフェッショナルな作品」だといっている。Lewinは10年以上の試行錯誤の末、その中身を必需品と能率のバランスが完璧になるまでしぼり込んだ（前ページ図「パーフェクト・キット」を参照）。

「普通、絶対に携行しないものですが、妊娠検査薬と体温計の2つは大事です」と彼はいい、どちらもキットに入れている。小さい切り傷をふさぐための強力瞬間接着剤や、もっと大きい傷口用の特製ホチキスも入っている。ヘビのかみ傷や敗血症、まれな薬剤副作用はさておき、Lewinが行う医療行為の大半は、脱水症に注意したり、危険なほど疲れている集団に1日の休養を推奨したりといった、かなりありきたりなものだ。だが、軽視してはいけない。歯根膿瘍のように単純な病状でも、調査旅行が台無しになることだってあるのだ。

野外調査に同行する医師は、心理学的な対応もできるようになる。なかには、遠隔地への旅で精神的に参ってしまう研究者もいるし、飲酒が許されている場合には特に、けんかも起こる。Lewinは、興奮した1人のチームメンバーをおとなしくさせるために、こっそり鎮静剤を飲ませなければならなかったことがある。彼が、地元の武装集団を挑発してしまい、仲間の命を危険にさらしてしまったからだ。

あふれる好奇心

Lewinによれば、医師たるものは診察室でも野外でも重要な役割を果たせるはずだという。彼は、中国北部にかついていたダチョウに似た未知の恐竜種¹や、モンゴルの感染症²、果てはテキサス州のスズメガ幼虫の防衛行動³に関する研究まで発表している。2007年のゴビ砂漠への調査旅行では、まだ中に胚の入った恐竜の卵のように見える化石を発見している。同行者たちは、その中身が胚かどうか疑問に思ったが、Lewinはそれを保管庫に収納せずに、母国へ持ち帰り、こっそりと自分の医院にあるCTスキャ

ンにかけた。その内部は、角竜類ヤマケラトプス（*Yamaceratops*）の完全な胚の化石だった。これは、この属の胚の化石として初めての例であり、さらに詳しいスキャンを行って、ヤマケラトプスの発生の仕方について解明の手がかりとなる論文を発表した⁴。

「Lewinは好奇心がいっぱいです」と、『Wilderness Medicine』を編纂したスタンフォード大学（米国カリフォルニア州）の外科医、Paul Auerbachは話す。「彼はこうした状況に対して、熱意と好奇心をもって立ち向かいます。それに、新しい発見に純粋に感嘆する心も持ち合わせています。彼は医者という領分を超えた存在なのです」。

Slowinskiの死を受けて、Lewinはカリフォルニア科学アカデミーとともに「探検・調査旅行保健」研究所を設立するための資金を集めている。彼は、2、3年以内にこの研究所を立ち上げたいと思っている。そのコンセプトは、医療知識のある医師と、地球の至る所に旅する研究者とを連携させることだ。例えば、ダイビング経験があり古典学の学位をもつ医師と、地中海に沈んだ古代遺物を見つけるための調査航海とは、いい組み合わせになるだろう。

Lewinのチームは、野外医療を向上させる方策を研究することにしており、限られた物資の中での応急手当を評価して最良の診療法を決める予定である。彼らは講義を行い、また、研究者が調査旅行助成金を申請したり医療キットの準備をしたりするのを支援する予定もある。同科学アカデミーで研究を監督する立場にあって、Lewinを会員に推薦したDavid Mindellは、そばにLewinがいるだけで大いに助かっていると話す。

リスクの閾値はさまざま

Lewinの仕事で大きな部分を占めるのが、野外研究へ出かける研究者へのアドバイスである。しかし、彼は押し付けにならないよう気を付けている。カリフォルニア科学アカデミーの昆虫学者である

Brian Fisherなど一部の研究者は、1人で調査に行きたがる。Fisherは1000種以上のアリ新種を発見しており、その過程で、地球上で最も人を寄せつけない最も危険な場所を何か所も訪れている。紛争地域から飛行機で運び出されたことや、腕の傷を釣り糸で縫合したことがあり、考えられるほぼすべての病原体にも感染している。

Fisherは、Lewinが用意した中サイズの荷物を調べながら、「私には、うざったい体温計はいりませんよ。こんなの持って行く気はありませんよ」と話す。Fisherにとって重要なのはスピードである。彼は密林の奥の調査場所で2、3日過ごし、すぐ次の調査場所へ移動するというやり方をしており、「よい体調を保つ医療」と「確実に生還できる医療」を厳しく線引きしている。鎮痛薬や包帯、抗生物質以外の物は不要だと彼は主張する。

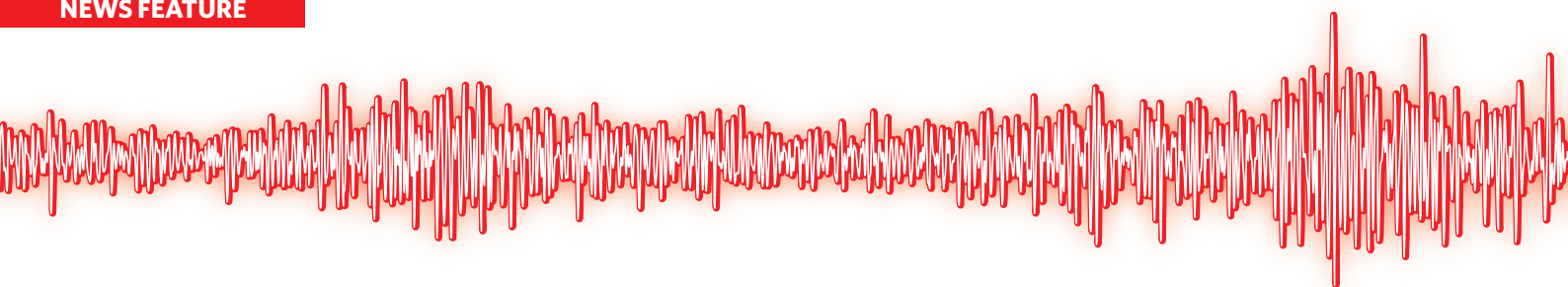
Fisherは最初、Lewinを警戒し、Lewinが自分の研究をあまりに危険なものと考えすぎており、不要な物まで彼にもたせようとしていると思っていた。しかし、Lewinのほうも如才ない。人によって受けるリスクのレベルはさまざまであることを、彼は野外での経験から学んでいた。彼は自身のアドバイスに磨きをかけ、推奨品リストをしぼり込んだ。

FisherはすぐさまLewinに共感し、現在では他の医師との連携を拒むほどである。Fisherはまた、特別な緊急対策も追加した。「今は衛星電話を携帯していて、Lewinの電話番号をリストの1番目に登録しています」。Fisherは、最近、医療アドバイスや避難の情報をくれる民間営利企業の従来からの緊急サービスをやめたという。「今や私は、Matt (Lewin) に頼り切りなんですよ」。

（翻訳：船田晶子）

Erik Vance は米国カリフォルニア州パークレー在住のフリーランスライター。

1. Makovicky, P. J. et al. *Proc. R. Soc. B* **277**, 191-198 (2009).
2. Lewin, M. R. & Musher, D. *Lancet* **363**, 1076 (2004).
3. Walters, E. T., Illich, P. A., Weeks, J. C. & Lewin, M. R. *J. Exp. Biol.* **204**, 457-469 (2001).
4. Balanoff, A. M., Norell, M. A., Grelet-Tinner, G. & Lewin, M. R. *Naturwissenschaften* **95**, 493-500 (2008).



巨大断層のささやき

The secret chatter of giant faults

NAOMI LUBICK 2010年7月15日号 Vol. 466 (312-313)

北米大陸西部の地下で周期的に発生して長時間持続する微弱な震動は、大地震の予測に役立つ可能性がある。
そのためにはまず、この震動の意味を明らかにする必要がある。

2010年7月、ワシントン大学（米国シアトル）の地震学者たちは、数週間前から非常警戒態勢に入っていた。近くのアリゾナ半島の地下深部では、長時間持続する微弱な震動（深部微動）が12～14か月ごとに発生しており、次の震動がいつ始まってもおかしくない時期に入っていたからだ。研究者らは万全な準備の下で、深部微動の発生を待ち構えている。

2009年、地震学チームは1年がかりでアリゾナ半島の山地の地中に100個以上の地震計アレイを設置し、精密な観測網を作り上げた。これらの地震計が深部微動の兆候を検出し始めたら、研究者らは現地へ駆け付け、その発生源の上にさらに多くの地震計を設置し、数日ごとに地震計のバッテリーを交換したりデータをダウンロードしたりして管理を行うことになっている。こうして、地下深部で起きている地震活動についてできるだけ多くの情報を手に入れようというのだ。

深部微動（あるいは非火山性微動）は、地上では体に感じられない、数週間以内に終息するごく小さな揺れである。しか

し、地震学者にとって、深部微動は、過去10年間で最も重要な発見の1つである。深部微動を観測することで、恐ろしい被害をもたらす断層の活動について知ることができるかもしれないからだ。最初にこの深部微動が見つかったのは、2002年、日本だった。その1年後、北米太平洋岸北西地区の研究チームが、シアトルに近いカスカディアの地下で同様の深部微動を検出した。

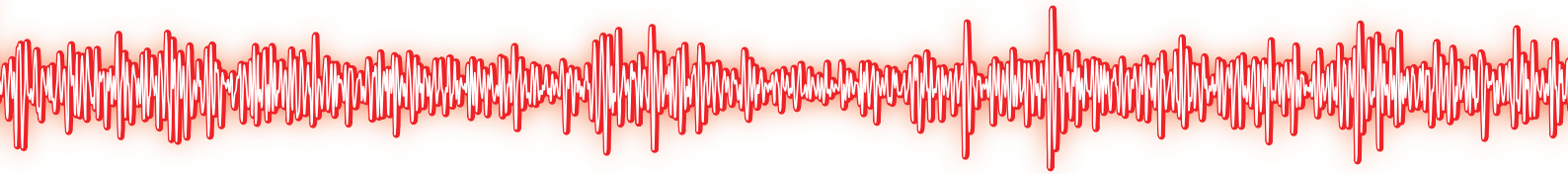
カスカディアでは、海岸の地下深部に、かつてマグニチュード9に近い地震を引き起こしたことがあると考えられている巨大な断層がある。カスカディアの深部微動が注目されているのは、この巨大断層に沿って発生しているからである。研究者らは、自分たちが計画している精密な観測により、断層に沿った地震活動の監視が容易になることを期待している。周期的に発生する深部微動を指標に、地下の応力の変化を追跡できるかもしれないし、今後の巨大地震の発生時期や発生場所を特定する手がかりさえ得られるかもしれない。

スタンフォード大学（米国カリフォルニア州）の地球物理学者 Greg Beroza

は、「そうした可能性を考えると、なんだかとてもワクワクしてきます」といい、ワシントン大学の研究チームによる観測結果を心待ちにしている。深部微動の発生が周期的であることは、研究者が準備を整えて観測に臨めることを意味している。地震活動をそんな風に詳細に観測できる機会など、めったにない。「地下深部の断層でなんらかの活動が起きていて、その周期性から、そう遠くない時期に次の活動が始まると予測できるなどと、10年前に聞かされたら、『そんなばかな』といていたでしょうね」とBerozaはいう。

とらえにくい信号

地震計による深部微動の記録は、普通の地震の記録とは異なっているようにみえる。普通の地震は激しく始まり、高周波エネルギーが突然生じて、急速に小さくなっていく。一方、深部微動は穏やかで、その震動は低周波成分に富み、ひっそりと始まり、終わっていく。こうした特性や震動の弱さのために、深部微動の発見は難しい。プレリミナリーな観測（試しに行ったものでデータとしては不十分な



観測)から、アラスカやメキシコなどでも深部微動が見つかった。しかし、こうした深部微動をとらえることのできる高感度の地震観測網をもつ地域はまだ少なく、情報は不十分である。

深部微動を最初に発見したのは、東京大学地震研究所の地震学者小原一成^{おばらかずしげ}だった¹。日本には、全国の地中に設置した地震計で常時観測を行っている高感度地震観測網 (Hi-net) がある。Hi-net は、甚大な被害を出した 1995 年の阪神淡路大震災の後に日本政府が整備したもので、全国 600 か所の観測点からなる。深部微動は、この Hi-net が記録した信号の中から見つかった。微弱な震動はトラックの走行などの人間活動による振動にかき消されてしまうことがあるため、高感度地震計は、こうしたノイズを遮断できる地下 100m よりも深いところに設置されている。小原が地下 30km 以上の非常に深いところで数週間持続する微弱な震動を発見すると、世界中の研究者たちが、自分たちの地震計のデータに目を凝らし、同様の記録を探そうとした。

日本の深部微動のほとんどは、2つのプレートがぶつかり合って、一方が他方の下に沈み込んでいく場所に沿って起きている。北米太平洋岸北西地区の地下にも、カナダのバンクーバー島 (ブリティッシュコロンビア州) から米国カリフォルニア州北部に伸びるカスカディア沈み込み帯に沿って、同様の構造がある (18 ページ図「深部微動の発生源」参照)。ここでは、ファンデフカプレートが北米プレートの下にすべり込んでいる。1700 年に発生したと考えられてい

る最後の巨大地震以来、カスカディア沈み込み帯の危険地域は固着 (プレートどうしが強固に接着していて、エネルギーがたまっている状態) しており、研究者らは、22 世紀中に崩壊して大災害を引き起こすと予想している。

こうした危険があるため、研究者たちは、地下深部の沈み込み帯の状態を探るための手段として深部微動の検出に非常に関心をもった。しかし、2009 年は、観測機会を逃してしまった。ワシントン大学の研究チームは深部微動の発生を 8 月と予想していたのだが、観測装置がほとんど設置できていない 5 月初旬に始まってしまったのだ。一部の震動は常設地震計アレイを使って記録できたが、期待したような詳細な情報は得られなかった。

今年は、準備万全だ。常設地震計アレイが深部微動の最初の兆候をとらえたら、その発生源の上に観測網を設置する。それぞれのアレイは、人間活動による振動が届かない場所に、25 個前後の地震計を 200 ~ 300m 間隔で配置したものからなる。こうした研究は、米国科学財団から非営利研究コンソーシアム Earthscope に交付された 50 万ドル (約 4200 万円) の助成金に支えられている。

ワシントン大学の地震学者で、このプロジェクトの主任研究者の 1 人である John Vidale は、「我々が現在行っている実験は、これまで見ることでできなかったものを見せてくれる点で、前例のないものになるでしょう」という。

Vidale によると、研究チームが「アレイのアレイ」とよんでいるこの観測網は、地震波がそれぞれの地震計に到達す

る時刻を比較することで、深部微動の発生源を正確に特定できるという。「我々が耳で音を聞いて、どの方向から聞こえてくるのかを当てられるのと同じことです」と彼はいう。

深部微動の発生源を巡っては激しい論争が起きている。日本では、深部微動は 2 つのプレートの境界面 (沈み込み帯—断層境界) で発生していることが観察されており、ここでは巨大地震も発生している。一方、太平洋地球科学センター (カナダ・ブリティッシュコロンビア州シドニー) の Honn Kao らによると、カスカディアでは、地震計の記録からは一部の微動が断層面上で発生している可能性が示唆されるという²。

深部微動の発生源

深部微動の発生源の位置を特定することは、深部微動を発生させる物理的過程の解明に役立つはずだ。深部微動は地下数十 km の深さで発生する。ここは、低温の地殻が、高温のマントルに引き込まれる所である。上部地殻の岩石はもろく、応力を受けて破壊され、地震を引き起こす。しかし、マントル中の岩石は非常に高温なので、圧力を受けても破壊されずにひずんでいく。深部微動は、沈み込むプレートの温度が上昇し、岩石が柔軟になってきた程度の、複雑な領域で起こるようにみえる。

Nature 2010 年 7 月 15 日号に発表された研究³は、日本で観測されている一部の深部微動については、その発生過程を解明する役に立つかもしれない。論文著者で、東京大学の地震学者の井出哲^{いでとし}は、四国で観察される深部微動が、その場所

の沈み込み帯にある岩石の種類に影響を受けている可能性がある」と指摘した。井出は、一部の深部微動の発生源が縞状に並んでいて、その方向が、沈み込んでいくプレートの過去 1000 万年間の移動方向と一致していることを発見した。彼は、これらの縞から、日本列島の下に潜り込んでいく海洋プレート上の海山（かつての火山が沈下したもの）が通った経路をたどれるとする仮説を提案した。

この仮説が正しいなら、海山が深部微動に作用する過程は 2 つ考えられると井出はいう。1 つは、海山等が沈み込む途中でマントルに付けた凸凹が不規則にすべるといふものである。もう 1 つは、沈み込むプレートの脱水反応で生成された水によってマントルの岩石が変成し、境界面の性質が変化して、安定したすべりからぎくしゃくした運動になり、微弱な振動が生み出されるというものだ。

Beroza は、井出の研究結果はプレリミナリーなものにすぎないというが、どうやって断層に沿った岩石の特性が数百万年も保存されて、今日の深部微動に影響を及ぼしているのかを示唆する「非常に重要な結果」であると評価している。日本の深部微動と同様、カスカディアの深部微動も帯状に発生することがあり、沈み込んでいく岩石の何らかの特性を反映している可能性がある。

研究者たちは、岩石に圧力をかけたときの摩擦や間隙率などの特性の変化を検証した新旧の室内実験のデータを用いて、普通地震ではなく深部微動が発生する条件を明らかにしようとしている。スタンフォード大学の地球物理学者 Paul Segall は、これらの研究は、沈み込み帯の深さでの断層の動きを明らかにするのに役立つかもしれないという。

大地震との関係

研究者らは、深部微動と、同じ断層で発生する大地震との関連についても知りたがっている。よく観測されている日本とカスカディアの深部微動は、沈み込んでいくプレート上の大地震の発生場所付近で生じる傾向がある。深部微動は、大地震を引き起こすエネルギーを蓄えている「固着」領域の下方で発生しているのだ（左下図「深部微動の発生源」参照）。

ワシントン大学の地球物理学者 Joan Gomberg によると、研究者たちは今、断層における圧力の変化に連動するような深部微動のパターンの変化を探しているという。そのような関係がわかれば、大地震の前兆を見つけるために、深部微動の監視を始めることができる。これまでに、興味深い手がかりがいくつか見つかっているが、確実なものはまだない。例えば、カリフォルニア州のサンアンドレアス断層では、マグニチュード 1 または 2 の地震とともに深部微動が発生したが、両者の直接的な関係はまだ証明されていないのだ⁴。

一方、小原らは、日本の地下で発生する深部微動について、より詳細なデータを集めるために、さらなる監視システムの設置を計画している。カスカディアの研究者たちも、2010 年の深部微動を逃すまいと周到な準備をしている。

ワシントン大学の地震学者 Ken Creager は、深部微動をとらえ損なった 2009 年の失望を思い出して、「深部微動は、時計仕掛けのように周期的に発生しますが、その周期はあまり厳密ではないのです」という。けれども今年は自信がある。「今回こそは、逃しません」。

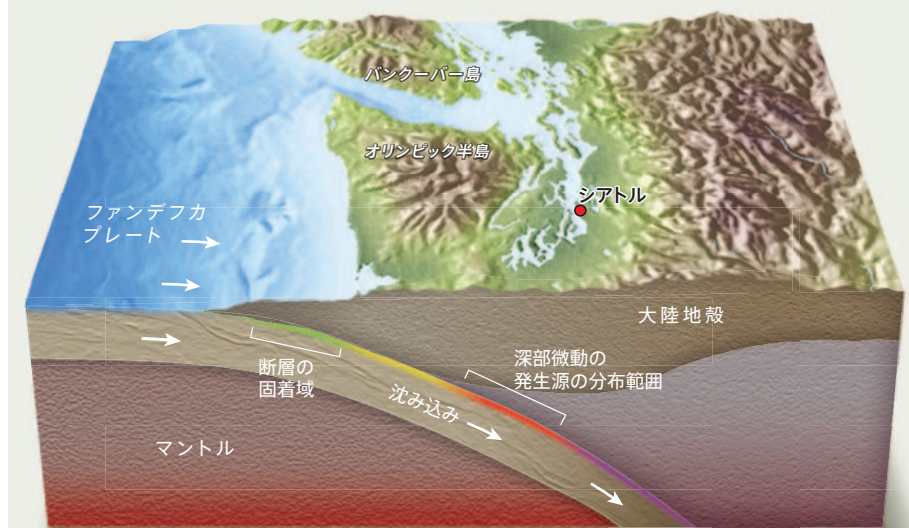
【訳注：2010 年 8 月 8 日、彼らはいついにカスカディアの深部微動をとらえた。】

（翻訳：三枝小夜子）

Naomi Lubick はチューリヒ（スイス）に拠点を置くフリーランスのライター。

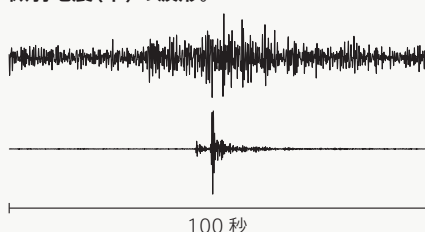
1. Obara, K. *Science* **296**, 1679-1681 (2002).
2. Kao, H. et al. *J. Geophys. Res.* **114**, B00A12 (2009).
3. Ide, S. *Nature* **466**, 356-359 (2010).
4. Nadeau, R. M. & Guilhem, A. *Science* **325**, 191-193 (2009).

深部微動の発生源



カスカディア沈み込み帯に沿って、海洋地殻の一部が北米プレートの下にすべり込んでいる。プレートの間の断層面上部は固着して圧力をため込んでおり、将来、これが一気に解放されて大地震を引き起こすと予想されている。断層の下部や周辺領域では、ほぼ毎年、深部微動が発生している。周期的に発生する深部微動を調べることは、地震学者が沈み込み帯の状態を監視する役に立つかもしれない。

地震計が記録した深部微動(上)と微弱地震(下)の波形。



著作権等の理由により画像を掲載することができません。

30 年前のメキシコ湾原油流出事故

The lost legacy of the last great oil spill

MARK SCHROPE 2010 年 7 月 15 日号 Vol. 466 (304-305)
www.nature.com/news/2010/100714/full/466304a.html

1979 年、メキシコ湾の石油試掘井「イストク I」で爆発事故が発生し、
 大量の原油が海に流出した。生態系の一部は速やかに回復したが、
 この事故が環境に及ぼした長期的影響についてのデータはほとんどない。
 原油の流出が止まると、調査は早々に打ち切られてしまったからだ。

油井が爆発し、防噴装置は機能せず、掘削装置は火に包まれて、やがて海中に没した。プラットフォームと油井を結ぶパイプが破損し、そこから恐ろしいペースで原油が噴出して、メキシコ湾に広がっていった。この事態をどう收拾すればいいのか、誰にもわからなかった。技術者たちはさまざまな方法で流出を食い止め

ようとし、ドームをかぶせて流出原油を封じ込める方法なども試した。原油を分解するため、空前の量の化学分散剤が使用された。原油の一部は、海中の深い所にとどまっていた、それが環境にどのような影響を及ぼすかはわからなかった。流出は永遠に続くように思われた——。どこかで聞いたような話だが、これ

は、2010 年 4 月に発生した BP 社（英国）の石油掘削基地「ディープウォーター・ホライズン」の話ではない。30 年前に、今回の事故現場から 1000 キロメートルほど南で起きた、メキシコ石油公社（PEMEX）の石油試掘井「イストク I」の爆発による原油流出事故の話なのである。爆発が起きた 1979 年 6 月 3 日から、最終的に油井にふたをすることに成功した 1980 年 3 月 23 日までの間に、メキシコのユカタン半島にあるシウダード・デル・カルメンという町の北西の海中には、約 47 万 5000 トンもの原油が流出した。

ディープウォーター・ホライズン原油流出事故が環境に及ぼす長期的影響を予測しようとする研究者たちは、これによく似たイストク I の事故から有益な情報を得られるはずだと気づき、事故後に行われた研究について調べ始めた。未来学研究所（スウェーデン・ストックホルム）に所属し、ウィーンを本拠

地とする環境生化学者の Arne Jernelöv は、かつて国連の依頼を受けてイストク I の事故の影響に関する調査を行っていた (A. Jernelöv and O. Lindén *AMBIO* 10, 299–306; 1981)。「研究コミュニティがこの研究を再発見するまでには少し時間がかかったようですが、今では広く知られていると思います」と彼はいう。

しかし、この論文から得られる情報は十分とはいえない。イストク I からの原油の流出が終息して間もなく、その影響を調べるための研究資金は底を尽き、事故の影響を調査する機会は失われてしまったというのが専門家たちの見解である。テキサス A&M 大学コーパスクリスティ校ハート研究所 (米国) の副所長 Wes Tunnell は、「研究は止められてしまったのです」という。「それこそが真の犯罪行為でした」。

Tunnell は、イストク I の爆発事故の直後に、メキシコの沿岸地域にある動植物の生息地を広く調査した。ディープウォーター・ホライズンの爆発事故以

来、彼の元には、原油流出とその長期的な影響に関する質問が殺到したが、彼はそうした質問に答えることができなかった。「だから私は、もう一度行くことにしたのです」。ハート研究所からの支援と財団からの少額の助成金で、Tunnell は 30 年前の原油流出事故の際に最も大きな打撃を受けた 2 つの地域を再訪した。彼の任務は、当時の流出原油が残っていたらそれを採取することと、地元の漁師たちに会って、原油流出事故の前後にどのようなことが起きたのか、話を聞いてくることだった。

30 年後の漂着原油

イストク I の原油流出事故から 2、3 年が経過すると、この災害に関する研究はほとんど発表されなくなってしまった。そのため、いくつかの点については、漁師たちの記憶だけが頼りということになってしまった。メキシコ政府は 1982 年に会議を主催し、そこで発表された論文をまとめて会報にすると約束したが、会報が製作されることはなかった。ハー

ト研究所のウェブサイトには、当時の論文の一部が掲載されている (go.nature.com/rvwUwI)。

7 月上旬の現地調査で Tunnell が最初に立ち寄ったのは、ユカタン半島の西海岸にあるチャンボトンという町の近くの、石灰岩が露出した海岸線だった。彼の記憶によると、30 年前には、ここの潮だまりには大量の原油が漂着していたという。その後の開発と道路建設により、海岸線の姿は大きく変わった。それにもかかわらず、Tunnell と 2 人の研究者はすぐに、満潮線より高い所にこびり付いた幅 40 センチメートルほどのタールを見つけた。「かなり固いですね」と Tunnell はいう。「だから高速道路の舗装に使えるわけですが」。

表面を削り落とすと、その下のタールはまだ光っていた。Tunnell の共同研究者で、メキシコ国立自治大学 (カンペチェ) の漁業生物学者の Julio Sánchez Chávez は、「まるで新しいもののようですね」という。彼らが採取したサンプルは、もう 1 人の研究者が分析して、イストク I の油井から流出した原油と同じ化学的特徴がみられるかどうか調べることになっている。

漁業への影響

ここまで風化した原油が生態系に重大な影響を及ぼすとは考えにくいですが、海岸に残った原油は、それが最初に漂着した当時のことを思い出させる。30 年前には大半の漁村が孤立していたので、地元住民は、ほんの数キロメートル離れた所で起きている災害について、ほとんど何も知らなかった。その多くが、イストク I からの原油の流出規模は大したことはないと思っていたが、実際には歴史上最大級だった。

間もなく事故の影響が現れ始めた。現在 78 歳の Carlos Castillo は、当時は毎日のようにスキングダイビングをしていた。水中銃を使って、自分が経営する小さいレストランで出す魚を取っていたのだ。イストク I の事故が起こるまでは、



イストク I の油井から流出する原油を分解するために、膨大な量の分散剤がまかれた。

2時間もあればハタやフエダイやアカメを30キログラムは取れたという。しかし、原油が流出し始めると、マスクに油が付くようになり、彼自身も体に不調を感じるようになった。やがて、魚は見つからなくなった。チャンボトンの海にいた魚たちは、死んでしまったか、汚染されていない海域に行ってしまったのだ。「私は妻に、『残念だ。これからは魚を買わなければならない』といました」。彼らのレストランでは、淡水魚や、ほかの海域で取れた魚を出すようになった。

原油の流出が続いていた間、漁師たちは大きな打撃を受けた。その多くは、メキシコ湾で取れる魚を唯一の収入源とし、自分たちもそれを食べていたからだ。とはいえ、メキシコ湾の漁獲量は、ほとんどの研究者の予想よりも早く回復した。Chávezによると、漁獲量の記録から、カンパチェの小エビの漁獲量は、事故から2年以内に従来の水準に戻っていたことがわかるという。地元住民によると、魚の漁獲量も3～5年以内にかなり回復したという。Tunnellは、当時のメキシコ湾が、今よりも健康で、回復力が高かった可能性があるため、現在のメキシコ湾北部の生物種が、同じくらい急速に回復するかどうかはわからないという。ただし、海産物の汚染への不安から商業的漁業が縮小されることで、その対象となってきた種の回復は早くなるかもしれない。

カキが消えたマングローブ林

しかし、カンパチェのいくつかの地域では、すべての生態系が回復できるわけではないことを示唆する不吉な兆候が見つかっている。チャンボトンの後にしたTunnellらは、マングローブ林に残っている漂着原油を探すため、125キロメートルほど北にあるイスラアレナという小さな村に向かった。研究チームは、村から数キロメートルの所で、かなり風化した原油らしきものがこびり付いているのを見つけた。そのときChávezが、「Wes、ここに臭いがあるぞ!」と叫んだ。縦



イストクIの爆発事故から30年が経過した今でも、沿岸の岩の上には漂着した原油がみられる。

2メートル、横1メートルほどにべったりと広がったタールは、アスファルトのにおいがした。

さらに心配なのは、イスラアレナの周囲からカキがいなくなったことである。かつてこの辺りはカキが非常に豊富で、地元の漁師によると、マングローブの根を1本切れば、一家で食べられるだけのカキを取ることができたという。漁師たちは、イストクIの事故後、カキは二度と戻ってこなかったというが、その理由を説明する研究は全く行われていない。「私が知るかぎり、これはメキシコで最も研究されていない生態系の1つです」とTunnellはいう。彼はカキがいなくなった経緯に強い興味をもち、この問題について追跡調査をしたいと考えている。

30年前の事故の教訓

イストクIの事故は、今回の原油流出事故の対応に迫られる人々に、どんなことを教えているのだろうか？ Tunnellによると、それは、砂浜や磯は比較的速やかに回復するが、マングローブ湿地や潮間帯沼沢地などの豊かな生態系にはいつまでも漂着原油が残ることであるという。後者は、メキシコ湾北部のマングローブ林によく似ている。こうした生態系が

健康を回復するには数十年の歳月を要するかもしれない。

Jernelövは、イストクIの事故の際に観察されたその他の現象も、今後数か月から数年間の見通しの参考になるかもしれないという。例えば、イストクIの事故では原油流出箇所の水深はわずか50メートルであったが（今回のディープウォーター・ホライズンの事故では1500メートル）、それでも海中に原油のプルーム（細長い広がり）ができていた。プルームはメキシコ湾を回るように伸びていき、あるとき、テキサスの海岸に近い所で表面の海水と混ざり、数か所の海岸に漂着した。テキサスの人々は、予想外の原油の漂着に驚いた。「それまで何の異常もみられなかった海岸に、突然、原油が漂着したのです」とJernelövはいう。

TunnellもJernelövも、イストクIの事故に詳しいその他の研究者たちも、この事故が残した最も重要な教訓は、次に同じような事故が発生したときにデータ不足に困らないよう、原油流出とその影響の研究を続けること、特に、原油の流出が止まり、世間から注目されなくなった後も研究を続けることの重要性であるという。

米国海洋大気局の海洋漁業部の主任科学顧問であるSteve Murawskiは、自分たちがディープウォーター・ホライズンの事故に対応してきたとき、イストクIの事故に関するデータが不足していることを嘆かわしく思ったという。彼は、30年前の過ちを繰り返してはならないと考えている。「我々が今回の歴史を記録し始めるときには、データ不足を悔やむ部分は少なくなっているはずです」。

イストクIの事故現場の近くに住む漁師たちは、現在メキシコ湾北部で起きている新たな災害を強く意識している。その多くが、流出した原油が自分たちの近くに来ることを恐れると同時に、事故の影響を受けた人々に深く同情している。「これは人類全体にとっての問題だと思います」とCastilloは語った。

（翻訳：三枝小夜子）

腸の常在細菌が 免疫系に果たす役割を追う

体外から食べ物を取り込む小腸や大腸は、病原体の侵入を受けやすい場所でもある。腸に棲む非病原性の常在細菌が、腸の免疫系を普段から活性化し、感染に備えた準備状態を作り出していることがわかってきた。こうした仕組みの解明を進める本田賢也博士に、常在細菌と免疫系の関係、および今後の研究の展開についてうかがった。

ほんだ けんや
本田 賢也



——Nature ダイジェスト：研究テーマと背景についてご説明下さい。

本田：私は小腸や大腸の免疫系について研究していますが、特に、腸内の常在細菌の影響を詳しく調べています。

腸との出会いは、私自身がもともと消化器内科の医師であったことと、大学院での研究テーマが、腸に存在するリンパ組織だったことがきっかけです。その後、東京大学の免疫学講座の助手として、谷口維紹教授の下で6年間、自然免疫とインターフェロンの関係解明に取り組みました¹。

これらの経験と技術を生かし、大阪大学の免疫制御学講座（竹田 潔教授）で、本格的に腸の免疫系の研究に取りかかったのが、今から3年前でした。准教授として、初めて独立したわけですが、幸運にもよい成果が生まれました。2009年12月、東大免疫学講座に戻りまして、今後もこのテーマを発展させ、研究を進めるつもりです。

——腸の免疫系はなぜ重要なのですか？

小腸や大腸の管の中には食べ物が送られてきて、消化・吸収が行われます。これは消化管の粘膜を介した外界との物質のやり取りなので、病原体の侵入をも受けやすいというわけです。ですから、腸の免疫系は頑強でなくてはなりません。

実際、腸では、免疫系がよく発達しています。腸は、免疫反応に携わる細胞（T細胞やB細胞など）や、分子（インターフェロンなど）を供給する組織であり、また、免疫反応が実際に起こる場所でもあるのです。そして、これらの細胞や分子のバランスが崩れると、腸にだけでなく、体全体の免疫にも影響が及びます。

腸の免疫系を語るときに、もう1つ重要な点があります。それは、共生する細菌が多いことです。実に、500～1000種が棲んでいます。これらは、普通、生体に病気を起こすことがなく、常在細菌や腸内細菌などとよばれていますが、免疫系に対して影響を及ぼしているのです。

——腸の免疫系について、これまで研究が進んでこなかったのは、なぜですか？

1つには、腸が体の奥まった所に存在しているので、その難しさもあったのでしょう。実験に使う細胞を得るのも簡単ではありません。上皮の層と筋肉の層の間にある粘膜固有層という部分を取り出す必要があります。ここに免疫細胞が含まれているからです。また、腸管には常在細菌が多いので、できるだけ無菌的に取り出す工夫も必要です。私たちはこれらの技術を持っていて、新幸二さん（現在、助教）が、専任でこれに当たってくれています。

セグメント細菌がT細胞を活性化

——Th17細胞について発見した内容を詳しく教えてください。

まず私は、腸にはTh17細胞が非常に多いことを発見しました。Th細胞とは、T細胞が変化（分化）し、病原体の侵入に応答して、それをやっつける準備段階に入った細胞です。なお、Thとは、T細胞にヘルパーのHを付けたものです。

Th細胞には種類があり、細胞内の病原体に対処するTh1細胞と、細胞外の病原体に対処するTh2細胞は、以前からよく知られていました。一方、Th17細胞は最近発見されたばかりですが、既に盛んに研究が進められています。真菌や緑膿菌、病原性大腸菌に対処すること、あるいは、自己免疫疾患の原因となることもわかってきました。

次に、このTh17細胞が、なぜ腸に多いのだろうかと考えたときに、腸

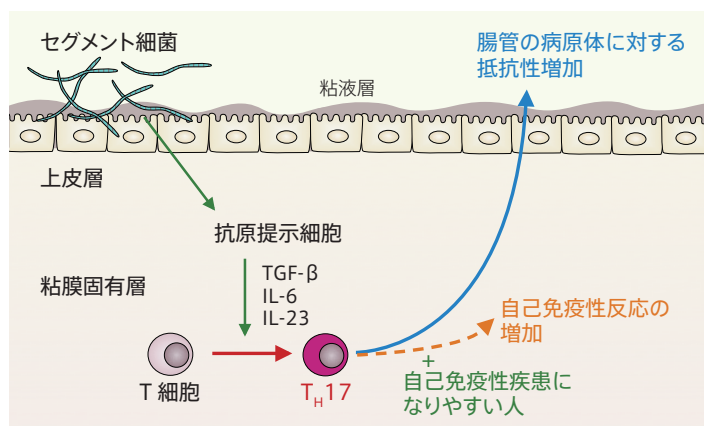


図1. 腸の免疫系。粘膜は、上皮層と、リンパ組織が分布する粘膜固有層からなる。その表面には粘液が分泌されている。セグメント細菌がTh17細胞を活性化する反応は、この図のような段階を踏んでいる。

の常在細菌の存在が刺激となっているのではないかと思います。特に、常在細菌の核酸分子が重要ではないかと考えたのです。それというのも、病原体がヒトの体に侵入してきたときには、ヒトと病原体の核酸分子の違いが目印となって、病原体が認識され、自然免疫という仕組みが活性化されることを思い出したからです。

そこで無菌状態で育てたマウスの腸を調べてみると、案の定、Th17細胞は全く含まれていませんでした。次に、マウスの常在細菌の培養液には核酸（この場合はATP）が多く含まれること、これをT細胞に与えると、Th17細胞に分化することを見いだしました。また、無菌マウスにATPを与えると、腸のTh17細胞数が増えました。これで、腸の常在細菌のもつATPが刺激となって、腸にTh17細胞が増えていることがわかりました²。

——次に、その常在細菌の種類を突き止めたのですか？

はい。ヤクルト中央研究所の梅崎良則博士の力を借りて実験しました。無菌マウスに常在細菌を1種類ずつ与えて、Th17細胞の量を調べたのです。幸運なことに、比較的すぐに、Th17細胞を増やす細菌が見つかりました。繊維状の形態をしたセグメント細菌とよばれる細菌でした。偶然にも、梅崎博士が長年研究していた生物でもありました。繊維状の細菌は、腸の粘膜に突き刺さるように存在するので、生体への影響力が大きいのではないかと想像されます。この細菌が存在すると、普段からTh17細胞の分化がある程度促進されているので、免疫反応が迅速に行える状態にあると考えられます。

——このときの論文では、リットマン博士たちとも協力されていますが。

セグメント細菌によるTh17細胞の増加ですが、この場合、実は細菌のATPの影響を受けなかったため、どのように研究をまとめようか迷っていました。そん

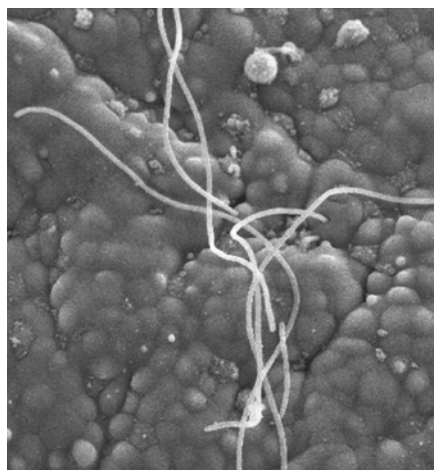


写真1. セグメント細菌。直径0.7～1.8μm、長さ2～1000μm。哺乳類、鳥類、魚類、昆虫など多くの生物の腸に存在する。

なとき、米国のダン・リットマン博士と議論する機会があったのです。

セグメント細菌の写真とデータを彼に見せると、「欲しかったデータはこれだっ!」と叫びました。リットマン博士たちは、網羅的な方法でマウスの常在細菌を検討し、セグメント細菌という答えにたどり着きました。しかし、この細菌の株が手に入らずに、研究は行きづまっていたのです。そこで、私たちはそれぞれのデータを持ち寄り、両者の課題を解決して1つの研究に仕上げたのでした³。

何よりも研究の透明性が大切

——ぴったりの研究者に、巡り合えたわけですね。

私は、問題に直面して文献で解決できないとき、気になる専門家のもとに出向き、直接お話をうかがうようにしてきました。その際には、自分の研究内容を隠

さずに説明するよう努めています。そうすると、たいいていの場合、多くの貴重な知識とアドバイスをいただくことができます。協力関係や信頼関係が築かれることも少なくありません。梅崎博士やリットマン博士がそのよい例です。

研究の透明性を保つことが、いろいろな意味で大切だと思っています。速さを競争して論文の投稿に勝つことよりも、互いに協力して実験のむだを省き、研究の成果をより大きくすることのほうが大切だと思うからです。社会に役立つ研究課題に対しても、そのほうがしっかり対応できるような気がします。

——今後の展開をどう考えていらっしゃいますか？

セグメント細菌と病気との関係を具体的に調べたいと思っています。この細菌は、自己免疫疾患を促進する可能性が高いからです。関節炎との関係などが、ほかの研究グループにより報告されています。

また、Th17細胞は免疫を促進する細胞ですが、免疫を抑制するように働く「制御性T細胞」も腸に多く存在するので、その解析も進めています。既にこの制御性T細胞の分化を進める常在細菌も突き止めています。免疫を制御する性質は、自己免疫疾患の薬の開発にもつながるので、期待しています。

——ありがとうございました。

聞き手は藤川良子（サイエンスライター）。

1. Honda K. et al. *Nature*. **434**, 772-777 (2005).
2. Atarashi K. et al. *Nature*. **455**, 808-812 (2008).
3. Ivanov II. et al. *Cell*. **139**, 485-498 (2009).

AUTHOR PROFILE

本田 賢也

東京大学大学院医学系研究科免疫学講座准教授。1994年、神戸大学医学部卒業。1997年、京都大学医学部消化器病態学講座に医師として勤務しながら、同大学院医学研究科分子遺伝学講座にて消化管免疫組織発生を研究し、2001年、医学博士取得。2001年、東京大学医学部・医学系研究科免疫学講座助手。2007年、大阪大学医学系研究科免疫制御学で准教授として、消化管免疫システムの構築機構について研究。2009年12月から現職。2008年、JST さきがけ研究者。2006年、日本免疫学会研究奨励賞。

米国立衛生研究所、臨床研究施設を 外部研究者に開放か

NIH may open access to clinical facility

MEREDITH WADMAN 2010年7月8日号 Vol. 466 (172)

www.nature.com/news/2010/100706/full/466172a.html

外部の臨床研究者が使用料を払って、米国立衛生研究所臨床センターの
最先端のリソースを利用できるようになるかもしれない。

腫瘍外科医の Steven Libutti は、米国立衛生研究所（NIH；米国メリーランド州ベセスダ）に勤務していた14年間、同研究所内でひととき目立つ臨床センターを最大限に活用した。センターでは、医療用同位体の製造にサイクロトロンを自由に使い、実験薬の生体内代謝を調べるための採血と採尿を15分おきに看護師に行わせ、さらには、最先端の画像診断装置を、診療目的で使用する医師と競争することなく利用していた。

NIHを辞めた後、Libuttiを取り巻く状況は激変した。モンテフィオーリ・アインシュタインがんセンター（米国ニューヨーク州）のセンター長に就任し

た Libutti は、最近では、ある臨床試験を軌道に乗せるためだけに8か月を費やし、週末に採血をするために被験者に来院してもらえるようにするといったこまごまとした仕事もした。今、NIHでは、年間予算3億8600万ドル（約320億円）で、Libuttiのような外部の臨床研究者が、NIH所属の研究者と同じように臨床センターを利用できるようにするという提案を検討している。「NIH臨床センターは、極めて貴重な研究施設であり、ほかでは実施が難しい、あるいは不可能な試験ができるのです」と Libutti は話す。

この提案は、NIHの Francis Collins 所長の諮問機関、科学研究管理審査委員

会（SMRB）による臨床センターの持続可能な財政と施設利用の根本的見直しの一環として提示された。

SMRBは、近年どこでも苦慮している問題に直面している。臨床センターでの医療費の増加率が、同センターを利用するNIH内17研究所の予算の伸び率をはるかに上回っているのだ（次ページ図「コストの高騰」参照）。これらの研究所は、それぞれ「school tax」とよばれる年間料金を支払って、臨床センターで自由に臨床試験を実施している。この年間料金の額は、各研究所の研究予算の規模に応じて決まっている。ただし、スキャンから薬剤、遺伝子検査に至るさまざまな試験項目について追加料金を請求されるケースが増えているのだ。（大学病院と異なり、NIH臨床センターの患者は、全員が被験者であり、医療費を支払う必要はない。）

こうした費用の高騰により、NIH内の研究所は一部の臨床試験の実施を回避するようになってきている。2004年には最先端技術を集めた新しい研究棟がオープンしたにもかかわらず、平日の利用率は、過去5年間で64パーセントにまで落ち込んだ。「これが、患者をこれ以上受け入れられない理由となっています。予算の許す範囲内でしかできないのです。米国内の他の病院では、患者を受け入れれば収入が生まれます。臨床センターでは、患者を受け入れれば費用が生じるのです」。こう話すのは、臨床センター長の John Gallin だ。

今回の提案は、外部の研究者に臨床センターを利用してもらって、同センターの利用率を高め、コストの削減を図ることをめざすものといえる。同センターではとりわけ、被験者の糖質と脂質の代謝を秒単位で測定できる代謝測定室や、研究者の注文どおりに新たなワクチンや薬剤を開発する院内施設の利用について、研究者の要望が高い。

米国議会と国民が基礎研究から治療応用実現までのプロセスのスピードアップを求め、Collins 所長が施設開放



2004年にNIH臨床センター内に開設されたマーク・O・ハットフィールド臨床研究センター（写真最前面）。

を最優先課題としている今、NIHが、この「宝の山」を外部の研究者に開放すれば、臨床研究への貢献は多大なものとなるだろう。

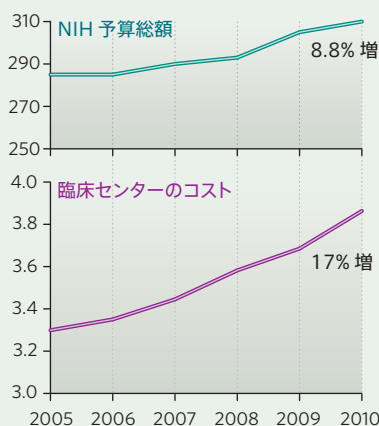
この考え方は大筋では「すばらしい」と、NIHの国立心肺血液研究所の所長代行で、SMRBの一員である Susan Shurin はいう。だが、細部に落とし穴がある、とも話す。「外部の研究者もメリットがなければ、臨床センターを利用しないと思います。一方、私たち NIH の研究所の負担が大きくなりすぎるなら、やはり容認できません。資金繰りがとても大きな課題であり、資金繰りをどうするかによって今回の提案が実現するかどうかが決まります」。

Gallin センター長は、臨床センターを外部へ開放することに積極的な姿勢を示している。「料金体系については、今も検討が続いていますが、格安と感じられるようにすることが料金設定のコンセプトです」と Gallin は話す。

この点について、ほかの NIH 内研究

コストの高騰

NIH 臨床センターのコスト増は、NIH 予算の伸び率を上回った。
(単位は 1 億ドル)



所の所長は、外部の研究者による研究によって、既に逼迫している NIH 内研究所の予算からリソースが奪われる可能性を心配している。ある NIH 内研究所の長が、匿名を条件に次のように語った。「NIH 内の各研究所は、支援を行うこと

で生じる負担を非常に心配しています」。

トランスレーショナルリサーチの支持者は、より広範なコミュニティへの臨床センターの開放によってメリットが得られ、錯綜しているさまざまな課題がより分けられていくだろうという。「臨床センターは国民の税金で作られたのですから、臨床研究、そして最終的には患者に利益をもたらす方策を考え出すべきです」と、米国ワシントン D.C. に本拠地を置く非営利団体、FasterCures の事務局長 Margaret Anderson は話す。FasterCures は、この 5 月に、外部の研究者への臨床センターの開放についての要望書を Collins 所長に送った、87 の患者擁護団体の 1 つである。

今回の提案に関して、SMRB は 9 月に採決を行う予定だ。SMRB の勧告に基づいて行動をとるかどうかの決定権は、Collins 所長が握っている。

(翻訳：菊川要)

NEWS BRIEFING

太陽フレアからの明るい光

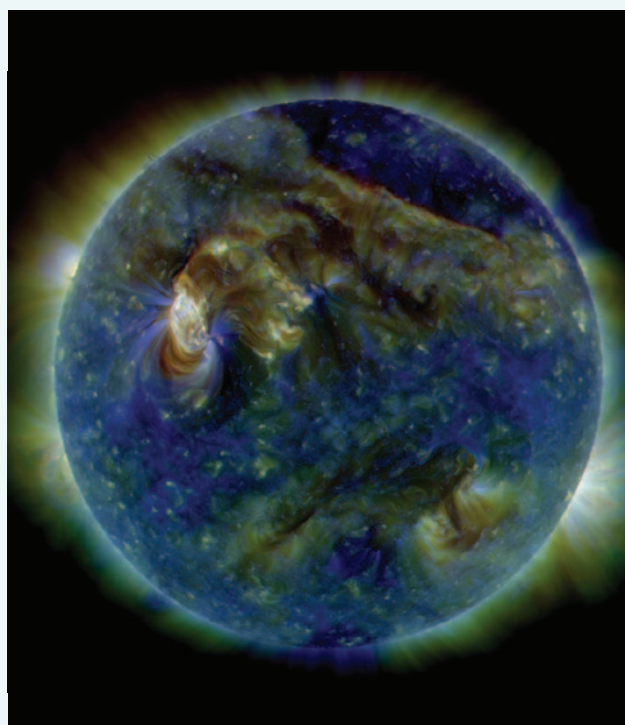
Bright lights from solar flare

2010 年 8 月 12 日号 Vol. 466 (800)

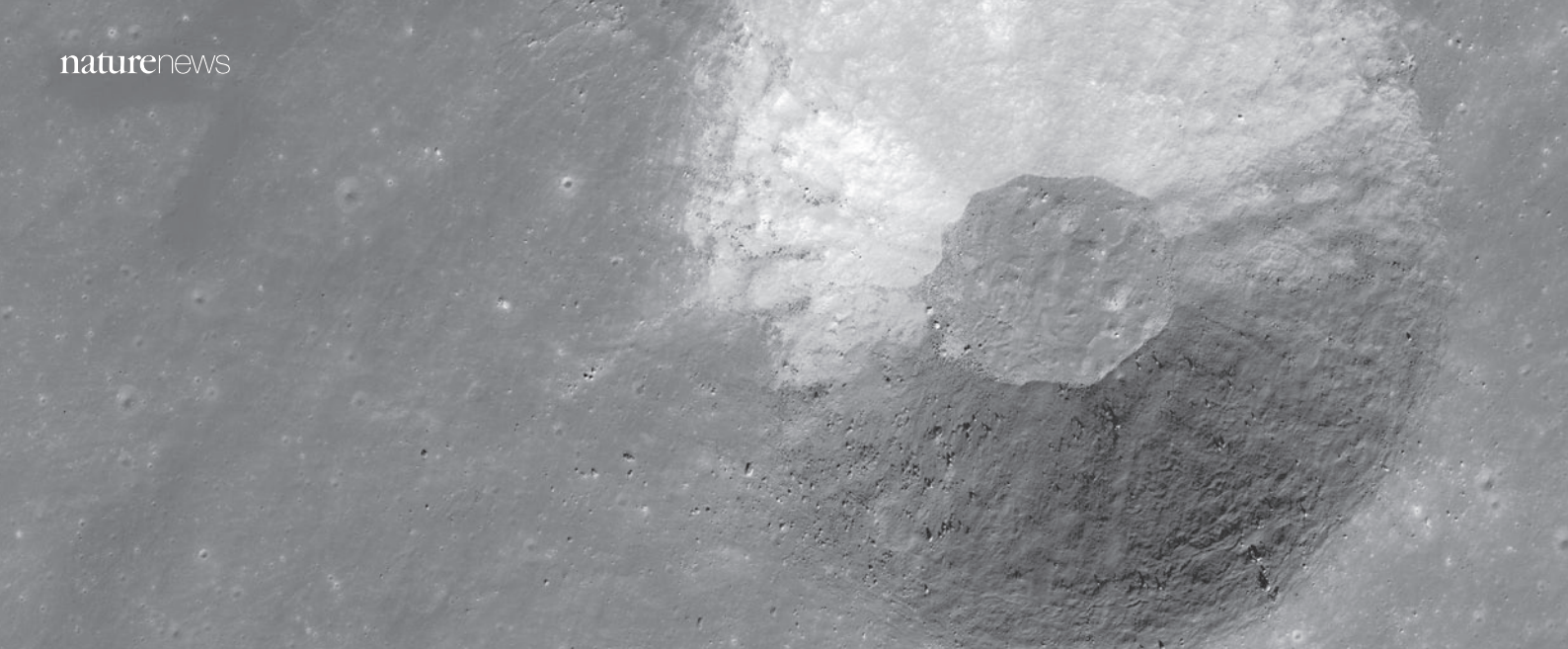
8 月 1 日に太陽表面で C クラスに相当する中規模の太陽フレアが発生し（写真左上の白い部分）、その後、地球の大気中で美しいオーロラが輝いた。フレアからの荷電粒子は、近年まれにみる速さで地球にやってきて、8 月 3 日から 4 日にかけて地球の磁場と相互作用し、オーロラを作り出した。太陽は近年、これまでにない長い間活動が低下した状態にあった

が、今後、活動が盛んになっていくと予想されており、今回の太陽フレアもその表れである。太陽フレアは、地球に向いている側の太陽表面の爆発的な活動と一致している。写真は、4 月末に稼働を開始した NASA の太陽観測衛星「ソーラー・ダイナミクス・オブザーバトリー」により撮影された。

(翻訳：三枝小夜子)



NASA/SDO/AIA



月クレーター研究への期待

A closer look at cosmic impacts

ROBERTA KWOK 2010年7月29日号 Vol. 466 (540-541)
www.nature.com/news/2010/100727/full/466540a.html

月のクレーターの詳細な調査が進めば、
他の太陽系天体の地表面形成年代も、高い精度で推定できるようになるだろう。

月の裏側。差し渡し3キロメートルのクレーターから、暗い色をした溶けた岩が川になってあふれ出している。先が2つに分岐したこの岩の流れは、小惑星か彗星が月の表面にぶつかってできた。岩は1000°C以上の高温になり、溶けた岩がクレーターの縁から約3キロメートルにわたって流れ出したのだ。アリゾナ州立大学（米国テンピ）の惑星科学者 Brett Denevi は「このクレーターは月面でとても目立ちます」と話す。

この衝突の傷跡も、米航空宇宙局（NASA）の月探査機「ルナー・リコネサンス・オービター」（LRO）が詳細に明らかにした数千個のクレーターの1つだ。LRO は2009年6月から月を周回し、最高で画像の1ピクセルが地表の50センチメートルに相当する分解能

で月表面の写真を撮影し、地図を作製してきた。

LRO 計画の任務は、一般には、月で水を見つけることだとされてきた（go.nature.com/oDK7he を参照）。しかし、LRO が撮影した詳細な写真を見れば、それ以外にも重要な役割を果たしていることがわかる。2010年7月、NASA エイムズ研究センター（米国カリフォルニア州モフエットフィールド）で月科学フォーラムが開かれ、写真の一部が公開された。これらによって、小惑星や彗星の衝突過程や、衝突がどれほどの頻度で起こっているかが解明されつつある。新たな知見は、ほかの惑星の地質形成年代を、より高い精度で推定することにつながっていく。ブラウン大学（米国ロードアイランド州プロビデンス）の惑星地質

学者 Peter Schultz は、「LRO による調査は、太陽系の年代決定に関して、もう1つの足場を築いてくれました」と話す。

地球上のクレーターは短期間で浸食されてしまうので、十分な科学調査ができるほどにはよく保存されていない。しかし月面では、別の天体衝突のほかには、クレーターを消す現象がほとんどない。だから月面は、衝突でどのようにクレーターができ、溶けた岩だまりがどのようにできるのかを知る“天然の実験室”なのだ。Denevi らは、同じくらいの大きさのクレーターであっても、溶けた岩の体積が大きくばらついていることを見つけた。流れが分岐している場合は、特に大量に岩が溶融していた。彼らは、これほどのばらつきをもたらす要因を突き止めるため、衝突天体の速度、組成、入射角度などを決定しようとしている。

別の研究者たちは、LRO の写真データを使って新規にできたクレーターを探している。そして、1970年代のアポロ計画で集められた画像と LRO の写真を比較することにより、この40年間にできたクレーターを5個見つけた。アリゾナ大学（米国トゥーソン）の惑星地質学者 Alfred McEwen は、「新たにできたクレーターを探せば、月にどれほどの頻度で天体が衝突するかを知る手がかりが得られます」と話す。彼らはまだ狭い

領域を調べただけであり、今後、より多くのクレーターが見つかるだろう。

そのデータから、月だけでなく、地球に対する現在の天体衝突頻度もわかるかもしれない。大きな地球には、その分、多くの小天体が衝突しているはずだ。地球にぶつかるおそれのある大きな小惑星は、観測で発見できる。しかし、小さな天体は見つからないまま地球にぶつかり、大気中でばらばらになって燃え尽きてしまう。ところが月では、そうした小天体でも表面に衝突して痕跡を残しているわけだ。

月のクレーター分布は、ほかの太陽系惑星や衛星の地表面形成年代を推定する手段にもなる。現在、月是一种の「標準時計」として使われている。科学者たち

は、アポロ計画で地球に持ち帰った月の試料の年代を決定し、試料が見つかった場所のクレーター密度とその形成年代にどのような関係があるかを調べた。ここから、例えばある火星表面についてクレーター密度がわかれば、月表面と比較して、そこでの地表面形成年代を推測できるわけだ。しかし、月と火星での衝突頻度は違うため、修正は必要だ。この修正は、小惑星の軌道計算、太陽系における火星の位置、火星の大きさや重力を考慮したモデルをもとに見積もられる。

LRO やそのほかの宇宙探査機の観測を結びつけることで、太陽系のあらゆる場所の相対衝突頻度を、もっと直接的に知ることもできるかもしれない。McEwen らの研究チームはこの4年間、

NASA の火星探査機「マーズ・リコネサンス・オービター」のデータを使って、火星の新しいクレーターを探してきた。また来年、NASA の水星探査機「メッセンジャー」が水星を周回し始めれば、現在の水星への天体衝突頻度もわかるかもしれない。ただ、McEwen は「メッセンジャーで新しいクレーターが見つかると思えば、とても大きなものだけでしょう」と話している。

Schultz はいう。「ほかの惑星表面の年代推定の精度を、机上のモデルではなく、実際の測定で高めるチャンスがやって来たのです。本当に見たいのは、自然が実際に見せてくれる事実なのです」。

(翻訳：新庄直樹)

NEWS BRIEFING

ビッグバンの残光

The big bang's afterglow

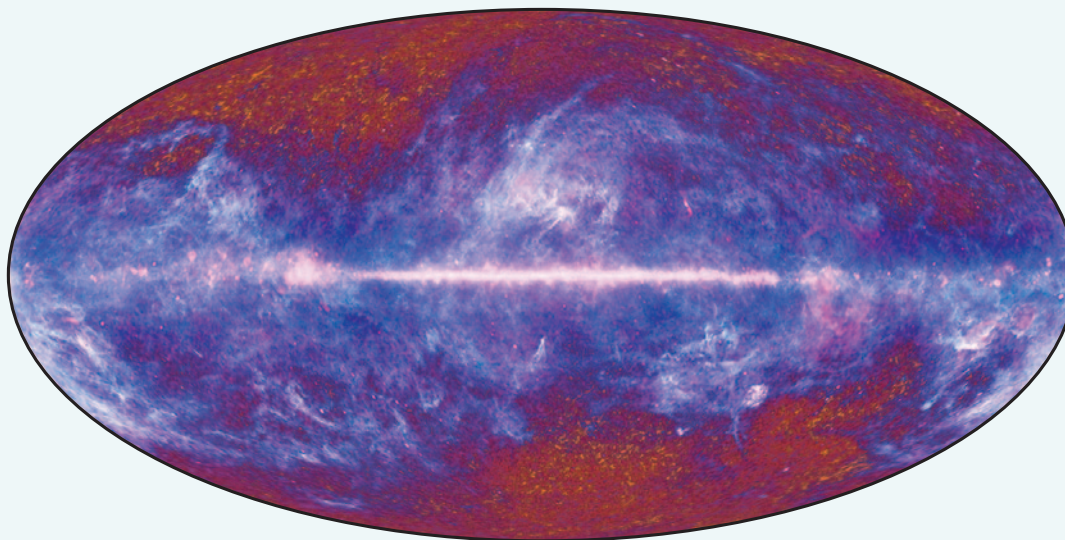
2010年7月8日号 Vol. 466 (164)

欧州宇宙機関 (ESA) は、プラנק衛星の望遠鏡が撮影した宇宙背景放射 (CMB) の、初の全天画像を公開した。CMB (銀河系本体のディスクの上下に写った、まだら

模様の背景) は、約 137 億年前に宇宙が始まったところに生成した光子が作り出す、宇宙に遍在する残光だ。プランク衛星は、こうした光子の温度揺らぎの地図を作製するために設計された一連の探査機の中で最新のものであり、2009 年に ESA に

より打ち上げられた (*Nature* **458**, 820–824; 2009)。今回の全天画像は、約 9 か月にわたる観測に基づいて作製されたもので、宇宙の構造と組成に関する天文学者の理解を深める役に立つことが期待されている。

(翻訳：三枝小夜子)



ESA/LFI & HFI CONSORTIA

量子電磁力学

陽子のサイズはもっと小さい!?

A chink in the armour?

JEFF FLOWERS 2010年7月8日号 Vol. 466 (195-196)

エキゾチック原子系の分光学によって、陽子の大きさが測定された。

測定結果はこれまでにない高い精度で得られたが、従来の測定方法で得られた値とは一致しなかった。

米国の著名な物理学者リチャード・ファインマンはかつてこんな皮肉をいった。「物理学者たちの研究がこれほどうまくいっているのには訳がある。彼らは水素原子とヘリウムイオンを研究し、そこでやめたからだ」。ドイツのマックス・プランク量子光学研究所のRandolf Pohlらは今回、*Nature* 2010年7月8日号213ページに掲載された研究で水素原子を再び調べた¹。正確に言えば、調べたのはエキゾチックな（つまり軌道電子を電子以外の荷電粒子で置き換えた）種類の水素原子だ。そして驚くべき結果を得た。

彼らは陽子の大きさを測定した。この測定は、光と物質がどのように相互作用するかについての理論、量子電磁力学（QED）の厳密なテストになる。量子電

磁力学は、あらゆる物理理論の中で最も正確に物理量を予言した実績があるものの、いくつかの計算上のテクニックに基づいており、そのテクニックの正当性は理論が作られてから60年以上経っても完全には立証されていない。Pohlらの測定は、以前のどの方法よりも高感度な新しい方法を使った。その結果は、これまで最も正確とされてきた方法で得られた結果と有意に差があり、両方の測定方法の基礎になっている量子電磁力学の計算に疑いを抱かせる。

量子論は主に元素、特に原子状態の水素（陽子と電子の束縛状態）のスペクトル線を説明する試みのなかで発展した²。水素は単純な2体系であり、ほかの多電子原子よりも著しく単純な構造を

もつ。とはいえ、理論的に解明するには数十年の研究が必要だった。

1947年に米国の物理学者ウィリス・ラムとロバート・レザフォードによって行われた高精度な水素分光は、水素原子の当時の理論的記述は不完全であることを示し³、量子電磁力学という新理論につながった⁴。新しい理論の予言の中には、原子の2つの電子軌道のエネルギー準位がわずかに異なるはずだという指摘があった。それまでの理論ではこの2つの軌道のエネルギー準位は同じだとされていた。ラムとレザフォードはこのエネルギー準位の差を実験で測定し、現在ではこの差はラムシフトとよばれている。量子電磁力学は非常に精度で物理量を予測し、その後発展した「場の理論」の原型でもあった。しかし、その数学的な基礎は盤石ではなく、実験による検証はまだ活発に続いている。

Pohlとスイスのポール・シェラー研究所の共同研究者たちは、「ミュオン水素」でラムシフトを測定した¹。ミュオン水素というのは、通常の水素原子の電子をミュオン（ミュオン粒子）で置き換えたものだ。ミュオンは電子と似た粒子で、電子と同じ電荷をもち、電子の207倍重く、不安定だ。ミュオンの質量が重いために、ミュオン水素の原子としての大きさは水素よりも小さく、ミュオンは陽子とずっと大きな相互作用をする。このため、水素を使うよりも高精度に陽子の構造を探ることができる。ミュオン水素を使った実験は、

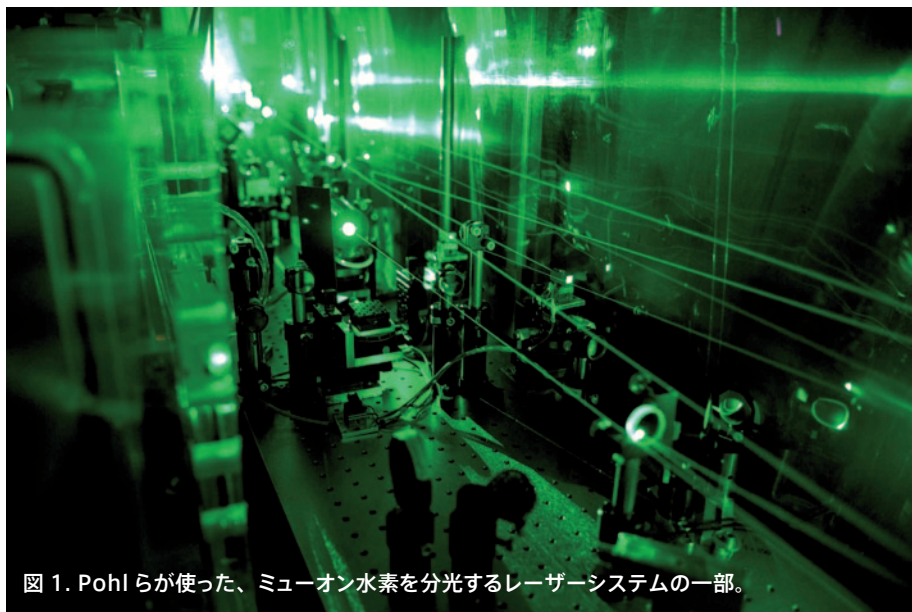


図1. Pohlらが使った、ミュオン水素を分光するレーザーシステムの一部。

測定の不確かさを著しく小さくする可能性があると以前から提案されていたが、実験がとても難しいために今まで成功していなかった。

ボール・シェラー研究所には強度の高いミュオン源がある。ミュオンのパルスは水素ガスの中で止められ、その一部がミュオン水素を作る。そのさらに一部は比較的長く生き延びる状態、準安定状態になる。準安定状態の寿命は約1マイクロ秒だ。この寿命の間にミュオン水素は強いレーザーパルスにさらされる(図1)。

レーザーの周波数が正確に調整されていれば、ミュオン水素はこのパルスによって最初の準安定状態からラムシフト分だけエネルギーの高い状態へ遷移する。エネルギーの高い状態はすぐにX線光子を放出して基底状態に移るので、このX線を検出することで、この遷移現象を検出することができる。検出を狭い時間枠で行えば、バックグラウンドのX線やほかに生まれた意図しない状態やミュオンの崩壊などのシグナルから、レーザーで誘起されたX線放出を見分けることができる。レーザーの周波数を変えながら、ミュオン水素とレーザーを何度も繰り返して相互作用させることにより、遷移エネルギーを高精度に測定することができ、その結果から陽子の大きさを計算できる。

陽子の大きさは、以前は、電子を陽子で散乱させて直接的に測定するか、水素原子の分光によって間接的に測定されていた。電子散乱の結果の分析は複雑で、データはあまりよく一致しない。それでも、スイスの物理学者 Ingo Sick が世界各地で測定されたデータを集め、最も確からしい数値を報告している⁵。国際科学会議(ICSU) 科学技術データ委員会(CODATA)は、2006年版のレポートで、水素分光のデータを収集するとともに、さらに、それと Sick のまとめた電子散乱データを組み合わせた結果も求めた⁶。Pohl らの新しい結果は、こうした以前の方法を組み合わせた結果と

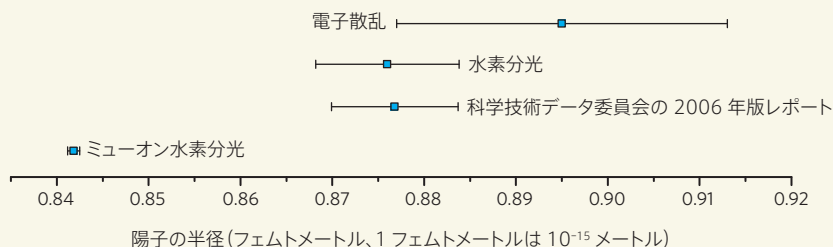


図2. 陽子の大きさ(半径)。陽子の大きさの測定方法にはさまざまなものがあり、それらの測定結果の比較。ここに示したのは、電子散乱⁵、水素分光(科学技術データ委員会の2006年版レポートによる⁶)、両者の組み合わせ(同)、そしてミュオン水素分光による Pohl らの新しい測定結果¹である。バーは1標準偏差の不確かさを示す。ミュオン水素による結果と科学技術データ委員会の結果(それまでのすべての測定をまとめた値)には、標準偏差の約5倍の開きがある。

比べ、有意な差(標準偏差の5倍)があったのだ(図2)。

この不一致の原因は今のところわかっていない。電子散乱は最も直接的な測定方法だが、そのデータの解釈には疑いを差し挟む余地がある。水素分光とミュオン水素分光の場合、そのいずれの場合も、実験データから陽子の大きさを求めるためには長く複雑な量子電磁力学上の計算が必要だ。Pohl らは、遷移エネルギーの測定結果を陽子の大きさに結びつける方程式の導出において、30を超える項を考慮した。これほど複雑な計算では誤りの可能性はいつもある程度存在し、その可能性の大きさを見極めるのは難しい。水素分光では、陽子の大きさとリュドベリ定数を導き出すため、さまざまな遷移エネルギーが測定されている。水素においては、今回報告されたミュオン水素と異なり、実験での遷移スペクトル線幅よりも小さな測定精度が必要になる。だから、遷移の詳細を高度の正確さでモデル化しなければならぬ。これも誤りの原因となりうる。

今回の不一致の解決は、水素、ミュオン水素、ミュオン重水素のほか、今回と同様の「単純原子系」⁷、つまり束縛された2粒子の系についての今後の研究によってなされる可能性が最も高い。こうした系は単純で、計算はもっと複雑な系に比べれば容易なため、その物

理現象を調べることが可能だ。異なる系では異なる側面が現れる。水素原子は、最もよく知られた2体系だ。ミュオンニウム(1個の反ミュオンと1個の電子の束縛状態)、ポジトロニウム(1個の陽電子と1個の電子の束縛状態)などの系も研究されており、これらの研究は原子核をもたない系の量子電磁力学を調べることになる。ヘリウムイオン(1個のアルファ粒子と1個の電子)と反水素(1個の反陽子と1個の陽電子)の研究も基礎的な物理学に関する理解をさらに深めてくれる。

もしも今回 Pohl らが行った高精度の測定や計算に誤りが見つからず、彼らの実験結果がこれまでの結果と一致しないことが確かめられれば、彼らは巨大加速器の高エネルギー衝突によらずに、素粒子物理学の標準模型では説明できない現象を発見したことになるのかもしれない。

(翻訳: 新庄直樹)

Jeff Flowers、国立物理学研究所(英国)。

1. Pohl, R. *et al.* *Nature* **466**, 213–216 (2010).
2. Rigden, J. S. *Hydrogen: The Essential Element* (Harvard Univ. Press, 2002).
3. Lamb, W. E. Jr & Retherford, R. C. *Phys. Rev.* **72**, 241–243 (1947).
4. Dyson, F. J. *Phys. Rev.* **75**, 486–502 (1949).
5. Sick, I. *Phys. Lett. B* **576**, 62–67 (2003).
6. Mohr, P. J., Taylor, B. N. & Newell, D. B. *Rev. Mod. Phys.* **80**, 633–730 (2008).
7. Flowers, J. L., Margolis, H. S. & Klein, H. A. *Contemp. Phys.* **45**, 123–145 (2004).

細胞内の張力を測定する

Sensing tension

ANDREW D. DOYLE AND KENNETH M. YAMADA

2010年7月8日号 Vol. 466 (192-193)

生きている細胞で、特定の部位にかかっている張力を測定するのは、技術的にたいへん難しい。

今回、蛍光の変化で張力を測定できるバイオセンサーを細胞内タンパク質で実現し、移動している細胞で生じる張力の、局所的特徴が調べられた。

細胞は、常に分子間力を利用している¹⁻³。例えば、構造の一部の突出と収縮をうまく連動させて、移動や浸潤を行っているし、収縮張力を利用して、ほかの細胞や細胞外マトリックスに安定的に接着することもできる⁴。また、分裂するためには、細胞内の複数の力を調整しなければならない。しかし、1個の細胞の内部で生じるこのような複雑な張力を、測定したりマッピングしたりするのは技術的に難しい。理想的なツールの1つは、機械的な力の計測器として機能する小型の生物学的装置を、細胞内の局所的な引っ張りや動きの生じる部位に埋め込んだものだろう。Carsten Grashoff たち⁵は、個々の細胞内に生じる力をマッピングするのに威力を発揮するツールを開発し、*Nature* 2010年7月8日号263ページで報告した。具体的にいうと、彼らが開発したのは、動的な細胞接着構造で生じている張力を正確に測定するための「第二世代」バイオセンサーだ。彼らはそのセンサーを使って、局所的な力が、細胞の移動に伴って実際にどのように変化するかを明らかにした。

Grashoff たちはまず、バネ様のタンパク質部分を含む張力センサーモジュールを設計することから始めた。このバネ様部分は、クモ糸のタンパク質に由来するアミノ酸配列を土台にしたもので、張力に応じて伸びる性質をもっている。次に彼らは、このバネ様タンパク質部分の両

端に蛍光タンパク質を付けた (図 1a)。張力がかかると、このセンサーモジュールが伸長し、両端の蛍光タンパク質の距離が離れるので、蛍光の減少という形でそれを容易に検出できる (図 1b)。こうして、Grashoff たちはキメラ分子をたった1種類用いるだけで、局所張力の高感度測定 (ピコニュートンの単位) を可能にしたのである。

研究チームは、この蛍光張力センサーモジュールを、ビンキュリンという細胞内タンパク質に組み込んだ。このタンパク質は、細胞の接着や移動時に生じる「力」に関連する機能をもつ。これはよい選択だった。なぜなら、ビンキュリンの頭部ドメインはテーリン (細胞外マトリックスと相互作用する細胞表面接着受容体に結合するタンパク質) に結合し、尾部ドメインはアクチン細胞骨格に結合するからだ (図 1b)。つまり、ビンキュリンは細胞の内外間の張力変化を検出するのに適役なのだ。ビンキュリンがアクチン細胞骨格と細胞表面接着受容体の間で伸長すると、そこに組み込まれた張力センサーモジュールによって、移動している細胞の内部で張力が変化している位置を特定でき、変化の程度を測定できるのである。

このバイオセンサーのおかげで Grashoff たちは、培養組織内を移動する細胞が形成した接着斑とよばれる細胞接着構造での張力を、初めて直接測定す

ることができたのだ。研究チーム⁵は、細胞が移動するときに、細胞の前端で新たに形成された接着では、ビンキュリンにかかる張力が大きく、接着面から解離する細胞の後端では、張力が小さくなることを見つけた。この観察結果は、これまで考えられていた、移動の際に生じる細胞内の張力の非対称性を、エレガントかつ直接的に定量化したものだ。また、細胞内で、分子モーターのミオシンに駆動されるアクチンフィラメントの収縮を阻害すると、予想どおり、ビンキュリンにかかる張力は消失した。

このバイオセンサーを使って、もう1つの洞察が得られた。それは、接着部位にビンキュリンが誘導される機能は、ビンキュリンの「細胞内の力を伝達する能力」とは無関係だということだ。さらに、ビンキュリンがない条件下では、強い力によって細胞接着の解離が起こることから、ビンキュリンは、細胞接着の安定性維持に役立っているものと考えられる。

Grashoff たちが今回開発したプローブ分子は、初めての張力バイオセンサーというより、生物学的な力を検出する技術として最先端を行くものと表現したほうがいいだろう。概念的にこれと似た方法は既に存在し、フィブロネクチンという細胞外タンパク質で、張力による伸長を測定するために使われている⁶。ほかにも張力バイオセンサーが設計されている。アクチン結合タンパク質である α -

アクチニンにかかる力が、移動中の細胞の前端と後端部分で異なることが報告されたり⁷、生きている細胞でアクチン-ミオシン結合の張力の大きさが決定されたり⁸しているのはその成果だ。さらにもう1つ、線虫 (*C. elegans*) で発現させることに成功した張力バイオセンサーがあり⁷、これらの測定技術が *in vivo* で適用可能だろうと示唆されていたのだ。

タンパク質の中には、力を感知し、応答する能力を本来備えているものがあることも、既に明らかになっている。例えば、膜にある一部のイオンチャネルは引き伸ばしによって活性化され、また、テーリンは力によって活性化されてピンキュリン⁹やシグナル伝達タンパク質 p130Cas に結合し、下流のリン酸化やシグナル伝達を促進する¹⁰。しかし、今回のピンキュリン製バイオセンサー⁵が特別なのは、局所の力をマッピングするのに必要な、高感度かつ高精度の定量化ができる点である。この利点によって、力に依存する生物学的プロセスの詳細な研究が可能になるわけだ。

今回のような張力計測分子は、細胞内に生じるさまざまな力を明確にできる可能性を秘めている。例えば、細胞が有糸分裂をするときに染色体を動かしたり導いたりする力や、細胞が移動したりニューロンの軸索突起が伸びたりするときに細胞膜にかかる複雑で局所的な力を測定することができるかもしれない。また、骨再形成や腫瘍細胞の浸潤における力学的な特性などを調べることもできるかもしれない。ところで、こうした張力センサーモジュールをほかのタンパク質の一部に組み込んで、細胞のほかの部位で使ったり、細胞内の別の種類の力を測定するのに使ったりするというのは、どれくらい現実的な話なのだろうか？

その答えは、ピンキュリンと共通するある特定の条件を満たすような、重要な特徴をもつタンパク質候補が見つけれらるかどうかにかかっているだろう。それはまず、この張力センサーモジュールを組み込む先のタンパク質が、測定対象の

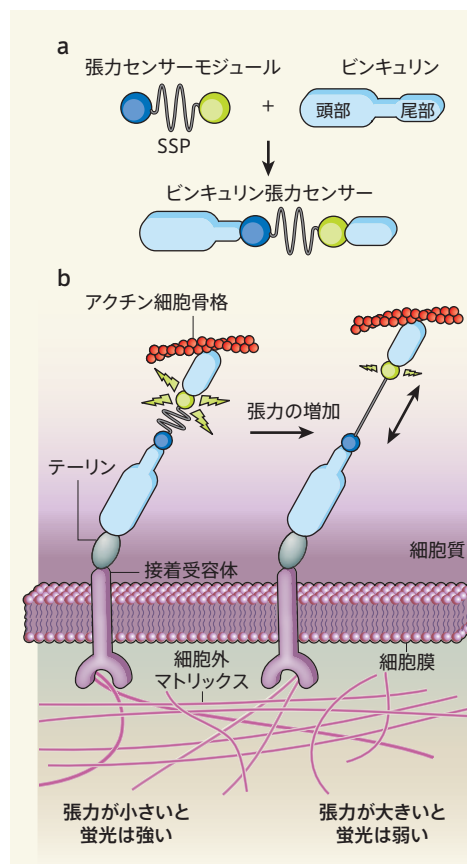
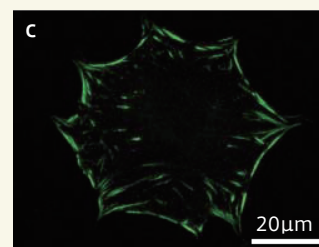


図 1. 張力バイオセンサー。 a. Grashoff たち⁵は、細胞で生じる局所的な力を測定するための張力センサーモジュールを設計した。使用したのは、クモの横糸タンパク質由来の、アミノ酸 40 個からなる伸縮性のある部分 (クモ糸タンパク質; SSP) で、その両端に蛍光タンパク質 (青色と緑色) を付けてある。このセンサーモジュールを、ピンキュリンの頭部と尾部の間に組み込んだ。b. このセンサーにかかる細胞張力が増加すると SSP 領域が伸長し、両端にある蛍光タンパク質が引き離されて、蛍光が減少する (蛍光共鳴エネルギー移動: FRET による測定法と似た原理)。こうして蛍光の変化を測定することで、張力を定量化することができる。c. 実際の細胞の観測例。



MARTINA SCHWARTZ

力によって伸長できるような細胞内の場所に存在していることである。しかも、センサーモジュールを組み込んだ後にも機能を保持している必要がある。また逆に、このタンパク質の機能がセンサーの機能に影響を及ぼしてもいけない。もし、このような張力センサーモジュールを組み込むことのできる理想のタンパク質が見つからなくても、2種類のタンパク質間もしくはこれらのタンパク質の結合部位間にモジュールを置くことで、別のタイプのキメラ型力感知バイオセンサーを実現できるかもしれない。また、もう1つの展開の仕方として考えられるのは、力の検出感度を高めることだろう。今回の手法⁵では、単一分子の力を検出するのではなく、特定部位の数百個の分子を解析することで、力を検出している。

将来、張力バイオセンサーを体系的に利用し、組織または動物個体の内部で生じる力をそのまま測定できるようになれば、興味の対象は大きく広がる⁷。例えば、*in vivo* での細胞外マトリックス内部や、

細胞と細胞の間、1個の細胞とその周囲の結合組織の間などの場所で、胚の体制が確立されるときや、発生中の器官で内部構造が形作られている時期に、力を測定するのである。局所の力を視覚化したり定量化したりすることができれば、遺伝子やタンパク質の組織特異的な発現に関する膨大な情報と、機能をもつ1個の生物個体を作り上げている種々の力とを結びつけることができ、生命の仕組みを理解するのに役立つはずである。

(翻訳: 船田晶子)

Andrew D. Doyle および Kenneth M. Yamada, 国立衛生研究所国立歯科・頭蓋顔面研究所(米国)。

1. Mofrad, M. R. K. & Kamm, R. D. *Cellular Mechanotransduction* (Cambridge Univ. Press, 2009).
2. Vogel, V. & Sheetz, M. *Nature Rev. Mol. Cell Biol.* **7**, 265–275 (2006).
3. Orr, A. W., Helmke, B. P., Blackman, B. R. & Schwartz, M. A. *Dev. Cell* **10**, 11–20 (2006).
4. Ridley, A. J. et al. *Science* **302**, 1704–1709 (2003).
5. Grashoff, C. et al. *Nature* **466**, 263–266 (2010).
6. Klotzsch, E. et al. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **106**, 18267–18272 (2009).
7. Meng, F., Suchyna, T. M. & Sachs, F. *FEBS J.* **275**, 3072–3087 (2008).
8. Iwai, S. & Uyeda, T. Q. P. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **105**, 16882–16887 (2008).
9. del Rio, A. et al. *Science* **323**, 638–641 (2009).
10. Sawada, Y. et al. *Cell* **127**, 1015–1026 (2006).

世界的な飢餓に立ち向かうために

How to feed a hungry world

2010年7月29日号 Vol. 466 (531-532)

2050年の地球の推定総人口91億人に、十分な食料を供給するのは可能だとされる。しかし、それを許容できるコストで実現できるかどうかは、ハイテク育種だけでなく農法のようなローテクに至るまで、多種多様な農業研究がカギを握っている。

現在68億人の世界の総人口は、2050年には91億人に増加すると予想されており、「人口増加を食い止めなければ、食料の供給が追いつかなくなる」というマルサス学説に基づいた懸念が生まれている。1961年には30億人だった世界人口は、2007年にはその2倍以上になった。ところが、農業生産高はそれに見合った伸びを示し、現在の予測（*Nature* 2010年7月29日号546ページ、本誌8ページ参照）では、このペースが維持される見通しになっている。

ただし、これには、世界の耕地面積が拡大し、今以上に大量の肥料と農薬を散布して、既に相当に減っている地下水源をさらに利用すれば、という条件がついている。したがって、資源消費と環境破壊による現代農法をさらに普及させつつ、中南米とアフリカを中心とした数億ヘクタールの荒地を開墾することは、賢明な選択肢とはいいがたい。ここに、今後数十年間にわたる現実の課題がある。すなわち、土地の利用面積をさほど増やさずに農業生産高を急増させる方法を構築しなければならないのだ。

第二の緑の革命が必要とされている。英国学士院は、この第二の緑の革命を「世界農業の持続可能な集約化」と巧妙に説明している。この革命では、優先順位を大幅に見直す必要がある。収量増をもたらす一方で、水、肥料やそのほかの資材の消費を減らす新たな作物品種が緊急に求められているのだ。こうした品種は、例えば、長い間軽視されていた根

の改良研究によって作出される（同号552ページ、本誌10ページ参照）。また、干ばつ、高温、冠水や病害虫に対する抵抗性を高めた作物の開発も急務となっている。同時に極めて重要なのが、輪作、小規模農家による農作物と家畜の混合農業、土壌管理、廃棄物削減といったハイテク度の低い研究だ。現実には、全世界の作物の4分の1から3分の1が栽培中に失われているからだ。

開発途上国では、現代の技術や農法をもっと上手に活用することで、生産性を大きく伸ばすことは可能だ。しかし、そのためには資金が必要だ。FAOの試算によれば、2050年の食料需要を満たすには、開発途上国の農業全体への投資額は年間830億ドル（約7兆円）に倍増する必要があるとされる。この投資のほとんどは、生産から貯蔵、加工に至る農業インフラの改良に向けられる必要がある。アフリカでは、農業生産性の向上が、道路不足によっても妨げられている。道路整備の遅れで、農家は化学肥料の入手に苦勞し、高額の出費を余儀なくされている。また、研究課題を定めるに当たっては、世界人口の過半数が生活し、今後数十年間の人口増加が最も顕著となる最貧国および最も資源の乏しい国々のニーズを重視することが必要だ。とりわけ、農業の再構築には、生物学者、農学者、農家だけでなく、生態学者、政策立案者、社会学者も関与する多領域的アプローチが必要だ。

一方で、遺伝子組み換え作物は、従来

の育種技術と並んで、持続可能な農業のための重要な道具の1つだ。しかしそれは、世界の飢餓に対する根本的な解決策ではない。実際、第一世代の遺伝子組み換え作物は、貧困国とはほとんど関係がない。組み換え作物の利点を誇張することは、一般市民の不信を高めるだけだ。農業の私営化や独占化の動き、あるいは利益重視の姿勢に対する懸念をも増幅させるからだ。

科学も技術もそれ自体では、世界的な飢餓に対する解決策にはならない。飢餓の根本原因は、食料生産高の不足ではなく、貧困にあるからだ。現在、地球上では、需要を十二分に満たすだけの食料が生産されているのに、それでも約10億人が飢餓状態にある。それは食料を買う金がないからなのだ。約1億人が飢餓状態に陥った2008年の食料危機の実態は、食料不足ではなく、食料価格の高騰であった。このほかにも、経済が、食料の供給にいろいろな悪影響を及ぼしている。経済協力開発機構（OECD）の加盟各国は、国内の農家に膨大な補助金を支給しており、その総額は、1日当たり約10億ドル（約850億円）に達している。そのため、開発途上国の農業が世界市場に足がかりを得ることを非常に難しくしている。

それでもなお、研究によって持続可能で生産性の高い農業を実現することが、人々を貧困から救い出す1つの処方箋であることに間違いはないのだ。■

（翻訳：菊川要、要約：編集部）

科学論文の剽窃^{ひょうせつ}を阻止するために

Plagiarism pinioned

2010年7月8日号 Vol. 466 (159-160)

投稿論文の中から剽窃・盗用を見つけ出す方法はいろいろあるが、それより何より、きちんと倫理規範を教え込むことが大前提だ。

主要な科学系出版社が、刊行中の学術ジャーナル全誌について、剽窃検出サービス「CrossCheck」を導入する方針を表明した（*Nature* 2010年7月8日号167ページ参照）。この発表は、期待感とともにある種の落胆を感じさせている。

期待感のほうは、多くの出版社が、系統的なやり方で剽窃に取り組むだけでなく、出版した論文全文を共通のデータベースで共同使用することに同意した点にある。論文データの共同使用には、各社とも保守的な姿勢を示していた。しかしそれは、この検出サービスを機能させるために、どうしても必要なステップだったのだ。CrossCheckが利用するソフトウェア iThenticate は、投稿された論文原稿を既発表論文のデータベースと照合することで機能する。CrossCheckに参加する83社は、既に2500万編以上の論文の全文をデータベースに提供した。

一方、落胆というのは、こうした予防措置が必要となるほどに剽窃が蔓延^{まんえん}しているらしい現実だ。ある出版社が自社発行の3誌についてCrossCheckを試行した事例が知られているが、その際には、いったん受理された論文の6パーセント、10パーセント、23パーセントをそれぞれ却下せざるを得なかった。

剽窃の頻度がある程度高いと考えられる理由がいくつかあるのは確かだ。物理学プレプリントサーバー arXiv 所収の論文の一部をサンプルとした研究（*Nature* 2006年11月30日号524ページ参照）やPubMedの抄録に関する研究（*Nature* doi:10.1038/news.2008.520; 2008 参

照）では、剽窃の頻度は、かなり低かった。しかし、剽窃の真の蔓延度、剽窃の頻度が実際に増加しているのかどうか、研究分野によって差があるのかどうか、といった点に関しては、データがひどく不足しているのが現実だ。今回のCrossCheckの導入によって、こうした疑問に対する信頼性の高いデータが得られるとともに、論文の剽窃に対する強い抑止力が生まれると期待される。

ただし、編集者と出版社は、剽窃にはいろいろな種類があり、程度もさまざま、それ相応の対応が必要であることを忘れてはならない。例えばこれまでの研究から、他人の論文の剽窃よりもはるかに高い頻度で、自己剽窃つまり、自らが発表した論文中の文章をそのまま用いる行為が行われていることがわかっている。別の研究分野の読者に対して、自らの既発表論文の考え方を再提示するために自己剽窃を行うことがあり、こうした形は正当化されるケースもあるといえよう。また、すべての剽窃において、悪意のない間違いや情状酌量の余地もみられる。例えば、英語の得意でない研究者が、自分の論文とよく似た論文の冒頭部分の言い換えをしようとしたがうまくいかなかった場合などだ。

こうした事例は、剽窃検出ソフトウェアが人間の判断を助ける道具とはなっても、人間の判断そのものは代行できないことを示している。*Nature* 系ジャーナルやその他の学術ジャーナルでは、論文原稿が過去の論文とどの程度類似しているのか、経験に基づいたやり方で判断し

ている。特に総説論文中で少数の自己剽窃があったとしても、それ以外の内容が十分にオリジナリティーの高いものかどうか、また興味深い内容なのかどうか、重要な判断のポイントになる。

ネイチャー・パブリッシング・グループは、CrossCheckに参加しており、自らのジャーナルに投稿される論文原稿を使って、CrossCheck サービスを検証してきた。これまでのところ、無作為抽出された研究論文中でごく少数の剽窃例が見つかっており、「supplementary methods（方法に関する補足情報）」の部分のみで発見されることが多かった。また、剽窃は、投稿された総説論文に多くみられるため、総説論文すべてについて検査した。その結果、この傾向は臨床系の総説論文で顕著にみられたが、それでも1論文当たりの検出率は1パーセントをはるかに下回っており、ほとんどの場合、ある程度の自己剽窃であった。

剽窃を検出する手段が得られたことは歓迎すべき前進であるが、重要課題は、やはり問題の原因に取り組むことだ。近年、剽窃に関する包括的な倫理ガイドラインを採用する専門学会、研究機関、論文誌が増えており、こうしたガイドラインの多くでは、剽窃の程度の差が慎重に区分されている。剽窃と出版倫理に関しては、世界各国の研究機関、特に若手研究者のメンターである教官が、所属研究員や教え子の研究者に、世界の科学コミュニティで認められた規範を教え込むことが重要だ。■

（翻訳：菊川要）



Volume 466
Number 7307
2010年8月5日号



進行中の化学反応：アト秒分光法で明らかにされた価電子のダイナミクス

CHEMISTRY IN MOTION: Attosecond snapshots reveal dynamics of valence electrons

化学反応は、分子軌道の価電子のダイナミクスによって引き起こされる。このような運動は、一般的にサブフェムト秒の時間スケールで進行し、リアルタイムで観測することは現在まで不可能だった。アト秒分光法（アト秒は 10^{-18} 秒）は当初、ある量子状態から別の量子状態への電子遷移を追跡するのに使われた手法だったが、今回この技術が拡張され、クリプトンイオンの原子価殻中の電子波束（結合を形成する電子）の超高速（サブフェムト秒）運動を追跡できるようになった。この初の原理実証実験では単純な系が用いられているが、このタイプのアト秒過渡吸収分光法によって、物理的、化学的、生物学的特性を左右する、分子や固体物質中の基本的な電子運動が、最終的には明らかになると期待される。

構造生物学：タンパク質構造予測をクラウドソーシング



Think distributed thinking

天然のポリペプチド鎖は数マイクロ秒で折りたたまれて本来の構造をもつタンパク質になるが、このような安定な三次元構造を、アミノ酸配列と物理学的第一原理から予測するのは非常に難しい計算課題である。S Cooper たちは、この作業にヒトの視覚能力や戦略的能力を動員しようと考え、自分たちのタンパク質構造予測アルゴリズムである Rosetta を多人数同時参加型オンラインゲームに変身させ、「Foldit」と名付けた。このゲームには数千人もの非専門家が参加し、競争したり協力したりしながら、タンパク質構造の精密化に用いる新しい多数のアルゴリズムや探索戦略を作成した。今回の研究は、複雑な計算を要する科学的問題であっても、対話型の多人数参加型ゲームにより効果的にクラウドソーシングできる、つまり、不特定多数の人々に仕事を委託できることを明らかにしている。

宇宙：星形成に狙いをつける

Star formation in their sights

我々の銀河系の中心近傍にある、若くて大質量の星からなる星団は、星形成



研究の最も重要な対象の1つである。現在、この目的に必要な高分解能と広視野を兼ね備えた赤外望遠鏡は、宇宙空間には存在しない。しかし理論的には、地上設置の望遠鏡でも、大気揺らぎの大きな部分を占める地表近傍の揺らぎのみ補正する高機能なグラウンドレイヤー補償光学系（GLAO）を備えれば、観測できるはずだ。今回、米国アリゾナ州ホプキンス山の MMT 天文台の研究者たちが、複数レーザーガイド星の使用などの改良を行い、このようなシステムを実現した。球状星団 M3 の中

心核の観測では、広視野でこれまでの2倍の分解能が得られた。さらに、望遠鏡を1回指向させるだけで星団全体を調べられる可能性もある。新たに開発されたこの GLAO パッケージをより多くの、そしてもっと大きな望遠鏡に導入すれば、星形成機構に関する新たなデータがどんどん得られるようになるだろう。

進化：古代の南半球にいた「哺乳類」?

The 'mammals' of the south

白亜紀の全動物相の中で世間の関心を最も集めているのは恐竜で、大きく水をあけられてそれに続くのが哺乳類である。それよりさらに認知度は劣るものの、当時の南半球のゴンドワナ大陸に存在したワニ類には、著明な適応放散が生じていた。ノトスクス類（「南のワニ類」の意味）は、ありとあらゆる奇妙な形を進化させた。特にその歯は、まるでワニらしくない。未分化の円錐状の牙が並んでいるのではなく、哺乳類に似た噛み切る歯と押しつぶす歯に分かれている場合が多いのだ。今回、タンザニア南西部のルクワ・リフト盆地の白亜紀堆積層で発見された新種の小型ワニ類の化石から、収斂的な形態進化を示すさらなる証拠が得られた。この化石ワニ類は、咀嚼の特徴である歯冠どうしの接触が可能な歯列をもち、「哺乳類的」と見なされる歯の特徴の多くが備わっている。さらに今回の発見は、この地域の陸上動物相に小型動物を1種加えることになっただけでなく、北半球の大陸では「哺乳類の世界」となった生態学的ニッチを、ゴンドワナ大陸ではノトスクス類が占めていたことを強く示唆している。





Volume 466
Number 7308
2010年8月12日号



最古の石器使用跡：アウストラロピテクスは 340 万年前にこの骨から肉を切り取った？

THE FIRST CUT: Did *Australopithecus afarensis* carve meat from this bone 3.4 million years ago?

人類の祖先あるいはそれと近縁の生物が道具を使用したことを示すこれまでで最古の証拠は、エチオピアのアワッシュ渓谷に存在する 2 か所の遺跡から発掘されている。250 万年ほど前に作製された石器がゴナ遺跡で、切り跡がつけられたほぼ同年代の骨がミドルアワッシュで発見されたのだ。今回、ディキカの近くで 2 個の骨が見つかり、人類はもっと早くから道具を使用していたのではないかと考えられるようになった。骨の 1 つは切り跡や叩き跡がついた大型有蹄類動物のもので（表紙の写真）、これらの跡は肉を切り離したり骨髄を取り出したりするために石器を使ったことと一致する。こうした跡がつけられた骨は約 340 万年前のもので、痕跡はアウストラロピテクス・アファレンシスが



石器で傷つけられたとみられる跡がある骨の化石。

つけたものらしい。アウストラロピテクス・アファレンシスはこの時期にアワッシュ渓谷に存在したことが知られる唯一の人類であり、エチオピアのハダールで発見された「ルーシー」と、ディキカで発見された子どもの「セラム」が属することよく知られている。

細胞：マイクロ RNA はメッセンジャーを狙いつ

MicroRNA shoots messenger

マイクロ RNA は広く存在する短い非コード RNA で、遺伝子の発現を調節しており、メッセンジャー RNA (mRNA) 量とタンパク質量の両方に影響を及ぼすことが知られている。しかし、タンパク質の産生は mRNA の存在に依存しているため、マイクロ RNA が mRNA 切断と翻訳抑制という 2 つの機序に、どのくらいの比率で関与しているのかを解明するのは、これまで困難であった。D Bartel たちは、この 2 種類の機序を分離し、予想に反して、マイクロ RNA が標的 mRNA の翻訳阻害というよりは、mRNA の不安定化によって主に作用していることを明らかにした。この結果は、これまでのさまざまな研究成果に対する再評価が必要であることを示唆している。

細胞：2 種類の細胞が作り出す幹細胞ニッチ

A stem-cell niche for two

骨髄内で造血幹細胞のための微小環境（ニッチ）を形成する細胞の正体は、これまで不明だった。今回 P Frenette たちは、ネスチンを発現する間葉系幹

細胞がニッチ形成細胞であることを明らかにした。このような細胞は、造血幹細胞のごく近くに存在しており、幹細胞維持に関与する遺伝子を高レベルで発現している。また、この細胞群を除去すると、造血前駆細胞の骨髄へのホーミングが低下する。この研究から、骨髄内の幹細胞ニッチが、2 つの異なる体性幹細胞種間の連携によって形成されていることが明らかになった。

脳：不安の遺伝因子

Genetic factors in anxiety

不安気質は、ヒトでもサルでも幼児期からみられ、その後に発症する精神疾患の重要なリスク因子であり、遺伝性があることが知られている。Oler たちは、画像化と遺伝解析を組み合わせた大規模な研究で、不安気質という形質に関連した神経回路と、その回路機能がどの程度の遺伝性をもつかを調べた。単一の血統に属する 200 頭以上のサルについて、軽度のストレス条件においた後、陽電子放射断層撮影を行った。すると、扁桃体と海馬の両方の活性化が不安気質の予兆となることがわかったが、海馬活動の遺伝性は扁桃体より大きかった。こ

のことは、不安気質に関するこの 2 つの脳領域の機能に遺伝子と環境が異なる影響を及ぼす可能性を示唆しており、不安障害やうつ病の遺伝的リスクについての新たな手がかりが得られる。

気候：雲をシミュレートする

Reach for the clouds

雲のシミュレーションは、地域スケールから全球スケールの気候モデル化における最も困難な課題の 1 つである。多くの場合、観測される雲の動態を作り出している物理的機構がわかっていないために、雲の構造や振る舞いを忠実にシミュレートすることが難しくなる。Feingold たちは、衛星画像と数値モデルを用いて、降水をもたらす雲によって引き起こされる下降流が、雲の開放型セル状のパターンを形成する仕組みを明らかにしている。このような雲のパターンの特徴は、低い反射率で、異なる準安定状態の間を振動する。結果として生じる雲の構造は、新たな雲のパターンが出現すると古いパターンに取って代わるため、振動し自己組織化する雲の場を形成する。



Volume 466
Number 7309
2010年8月19日号



二重の打撃：双子の地震が2009年南太平洋津波を引き起こした



DOUBLE STRIKE: Two linked earthquakes caused 2009 South Pacific tsunami

2009年9月にサモア諸島とトンガ諸島北部を襲った津波では、それに先行して、太平洋プレートが沈み込み帯に入っていくにつれて折れ曲がる場所である海溝外側斜面で、マグニチュード8の地震が発生した。当初は、この地震が単独で津波を引き起こしたと考えられていたが、事態はもっと複雑だったことが明らかになってきた。今回2つの研究グループが、同じ場所ではほぼ同時に起きた「引き金双子地震」といえる2つの地震の発生について報告している。はっきりしないのは、どちらが引き金となったのかという点である。Beavanたちは、GPS観測点の変位解析と津波モデルを用いて、近隣のトンガ沈み込み帯でほぼ同時に起きた巨大逆断層地震が、おそらく海溝外縁隆起帯地震の引き金となったことを示している。Layたちは、入手可能な地震データの解析を行い、その結果、海溝外縁隆起帯地震が巨大逆断層運動の引き金となったことが示された。いずれにしても、これら2つの地震はこの地域で発生する巨大津波の生成機構を示唆している。

進化：協力と乱婚の関係

Cooperation and promiscuity

動物には個体が協力的な社会集団内で生活する種があるが、それはなぜだろうか。多数の鳥類種を対象とした分析で、ある種が協力的となるか否かは、雌の性生活に左右されることが示された。協力的な傾向は、例えば雌が1羽の雄としか交尾しないなど、乱婚が少なく、援助者が援助対象を血縁者であるより強く確信できる場合に強くなる。乱婚が中程度に行われていると、血縁者と非血縁者とを識別する能力が生じやすいが、乱婚が多くなると、いかなる形式の協力行動も生じにくい。

医学：結核のバイオマーカー

A tuberculosis biomarker

結核菌 (*Mycobacterium tuberculosis*) に対する免疫応答は複雑で、その性質はまだ完全に解明されておらず、そのことが結核の新たな診断法、治療法およびワクチン開発を妨げている。今回、システム生物学の手法を用いて、活動性

および潜在性結核患者と健康な対照者の間で、発現される遺伝子の転写プロファイルの比較が行われた。活動性肺結核は、好中球で機動されるインターフェロン誘導性の遺伝子プロファイルと相関することが明らかになった。潜在性結核患者の約10%は、活動性結核へ進行する。今回の研究では、潜在性結核患者の10%が活動性結核でみられるのと同様の転写特性を示したことから、このバイオマーカーは予後および診断に役立つと考えられる。

細胞：トポイソメラーゼの阻害

Topoisomerase inhibition

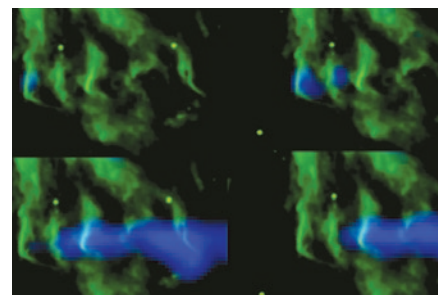
DNAポリメラーゼやRNAポリメラーゼなどのDNA鎖に沿って移動する酵素は、自分の動いていく先に超らせんを作り出すことが多い。これを抑制しないと、DNAが輪ゴムをねじったときのように、巻き過ぎ状態になってしまうことがある。トポイソメラーゼは、DNAをいったん切断してからつなぎ直すことで、このような変形を解消する。トポイソメラー

ゼの阻害剤は、抗菌薬や抗がん剤として使われている。こういう抗菌剤の一種であるキノロン類は1962年から臨床で使われているが、現在では多剤耐性菌の出現によって有効性が低下している。今回、黄色ブドウ球菌 (*Staphylococcus aureus*) 由来のDNAジャイレース (II型トポイソメラーゼ) が、DNAおよび広域抗生物質のGSK299423と複合体を形成した状態の結晶構造が決定された。この抗生物質は、フルオロキノロン類と同一の標的に結合するが、構造も作用機構も全く異なっていて、新しいタイプの抗生物質の一例といえる。この構造からフルオロキノロン耐性を回避する機構が明らかになり、臨床的に有効な標的に対する、別の阻害機構を開発する戦略への道が開かれた。

宇宙：オリオン星雲にみられる波状構造

Orion nebula making waves

オリオン星雲の分子雲は、地球からほぼ414パーセクという、我々が大量星の形成を観測できる最も近い場所にある。星形成モデルからは、この過程で加熱、イオン化されたガスが、もともあった分子雲に吹き付けられる際に波状構造を作り出すだろうと予想されている。今回、このような波が、オリオン星雲を電波で観測した新たな一連のマップに見つかった。この波は、密度と速度が異なる流体の間の界面でみられるケルビン-ヘルムホルツ不安定性に起因するものと考えられる。こうした周期構造をさらに観測することで、大量星の形成機構や、それが分子雲の周辺領域に及ぼす影響に関する手がかりが得られるだろう。



観測された波状構造をもつガス雲。





Volume 466

Number 7310

2010年8月26日号



Podcast



ソーシャルサービス：標準的な自然選択説によって真社会性の進化を説明する



SOCIAL SERVICES: How standard natural selection explains the evolution of eusociality

アリや多くのハチ類のような真社会性をもつ昆虫は、生殖能力をもつ女王と不妊のワーカーによって構成される階層的な社会集団を形成する。これは、一部の個体が自分の生殖能力を犠牲にして、他個体の子孫を養育することであり、ダーウィンはこの事実が進化理論上の難題であることを認めていた。この現象に関して最も広く受け入れられている説明は、包括適応度に基づく血縁選択理論に立脚しており、個体の適応度は、血縁個体の子孫の生存率を高めることによって増強されるというものである。本号では、M Nowak らが、包括適応度が標準的な自然選択の直接適応度の代替として有効であるのは明確に決められた一部の状況だけに限られ、一般化は不可能であることを数学的に実証している。集団構造の厳密なモデルという状況では、標準的な自然選択理論の方が簡明な説明を与えることができる。

生態：カオス的な生態に対処する

Coping with chaotic ecology

生態系の多くは、カオスまたはカオスに近い動態を示す。そのような場合には、ノイズのためにモデルとの統計的な比較解析が不可能になり、データが特定のモデルに適合しているかどうかを検証するのが難しくなる。今回 S Wood は、生データから位相非感受性の要約統計量を抽出し、モデルからシミュレートされたデータと比較することに基づいた、そうした推論を行うための統計的方法を考案した。この方法は、よく知られている問題へ適用することで実証された。その問題とは、ヒツジキンバエ (*Lucilia cuprina*) の集団サイズに関する John Nicholson の古典的な生態学的実験でみられた周期の性質である。

医学：ALS のリスク遺伝子

Genetic risk factors for ALS

ルー・ゲーリッグ病としても知られている筋萎縮性側索硬化症 (ALS) は、よくみられる成人発症型神経変性疾患の1つだが、その治療法は見つかっていない。大半の ALS は散発性であるが、患者の約 10% には家族性の要因があ

り、その中で最も一般的なものが SOD1 (superoxide dismutase) 遺伝子である。しかし、SOD1 の変異を原因とする患者は、全体の約 2% に過ぎないことから、これ以外の ALS リスク因子の探求が現在も続けられている。TDP-43 タンパク質は、未確定ながら、ALS の病因に関与していると考えられている。Elden たちは、動物および細胞のモデルでは、脊髄小脳失調症 2 型に認められる変異型ポリグルタミン (polyQ) タンパク質であるアタキシン 2 が、TDP-43 の毒性の強力な修飾因子であることを明らかにしている。915 人の DNA 解析から、ATXN2 は比較的広く存在する ALS 疾患感受性遺伝子であり、ALS 患者の最大で 4.7% がこれが原因であることがわかった。これらの知見は、TDP-43 とアタキシン 2 との相互作用が治療上の標的となる可能性を示している。

宇宙：早くから存在したブラックホール

Black holes arrived early

超大質量ブラックホールの形成に関してこれまで提案されてきたモデルには、説明の難しい事実がある。遠方のクエーサーの観測によると、超大質量ブラック

ホールは、ビッグバン後 10 億年経たないうちに、既にその場所に存在したというのだ。今回、新たに行われた一連の数値シミュレーションによって、超大質量ブラックホールへ直接崩壊する条件が、この時間スケールで大質量原始銀河どうしの合体から自然に生じることが示唆された。複数のスケールをもつガスの流入で、大質量で不安定な中心核のガス円盤が生じ、これが膨張して 1 パーセク以下のスケールのガス雲をわずか 10 万年で形成する。この雲は重力崩壊して、大質量ブラックホールが形成されるのである。

海洋：海洋生物多様性の調査

Marine biodiversity survey

10 年にわたる「海洋生物センサス」計画で得られた、動物プランクトン、植物、無脊椎動物、魚類および海洋哺乳類など 13 の異なる分類群に属する 1 万 1567 の海洋種の分布データの、全球的な解析が行われた。その結果、さまざまな分類群全体にわたって、水温が生物多様性の主要な相関要素の 1 つであり、概して水温が高い海域ほど多様性も高くなることが明らかになった。また、沿岸種は西太平洋で、外洋に生息する種は中緯度海域でそれぞれ多様性のピークを示した。このことは、生物多様性が熱帯地方でピークを示す陸上種の状況と対照的である。

||||||| ネイチャーからのご案内 |||||

naturevideo

Web: www.youtube.com/NatureVideoChannel

モバイル:



携帯電話で Nature Video チャンネルの科学関連動画を見ることができます。(一部の機種を除く)

naturepodcast

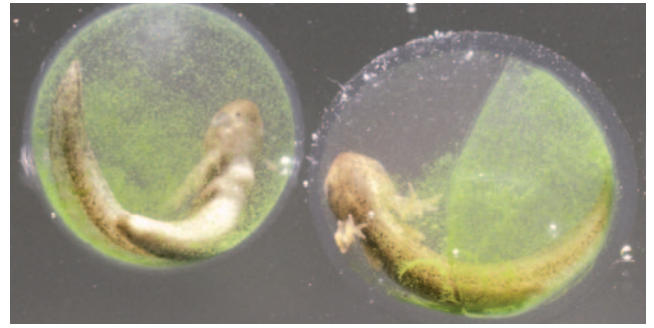
Web: www.nature.com/nature/podcast

モバイル:



Nature に掲載された研究成果をポッドキャストでチェックできます。(英語; iPhone™のみ対応)

サンショウウオの胚で光合成！ こんな驚きの発見が報告されました。なんと胚細胞に藻類が共生していたのです。発表によると、藻類は胚の排泄物を利用し、胚は藻類の光合成による酸素と炭水化物を利用しているということです。遠い未来、これが進化して、動物細胞も光合成できるようになる、なんてことが起こりうるかもしれません。



サンショウウオの卵の内部で、胚と藻類が共生している。藻類との共生関係は、胚細胞の内部でも成立している。

T. LEVIN/PHOTOLIBRARY.COM

nature news

語数：503words 分野：生態学・微生物学・発生生物学・生理学

Published online 4 August 2010 | Nature 466, 675 (2010) | doi:10.1038/466675a

<http://www.nature.com/news/2010/100804/full/466675a.html>

Salamander's egg surprise

Algae enjoy symbiotic relationship with embryos.

Anna Petherick

- Scientists have stumbled across the first example of a photosynthetic organism living inside a vertebrate's cells. The discovery is a surprise because the adaptive immune systems of vertebrates generally destroy foreign biological material. In this case, however, a symbiotic alga seems to be surviving unchallenged — and might be giving its host a solar-powered metabolic boost.
- The embryos of the spotted salamander (*Ambystoma maculatum*) have long been known to enjoy a mutualistic relationship with the single-celled alga *Oophila amblystomatis*. The salamanders' viridescent eggs are coloured by algae living in the jelly-like material that surrounds the embryo. The embryos produce nitrogen-rich waste that is useful to the algae, which, in turn, supply the developing embryos with extra oxygen. The algae clearly benefit their salamander hosts: Lynda Goff, a molecular marine biologist at the University of California, Santa Cruz, showed 30 years ago that salamander embryos lacking algae in their surrounding jelly are slower to hatch.
- Ryan Kerney of Dalhousie University in Halifax, Nova Scotia, Canada, has now found that these algae also live inside the embryo's cells. Such a close coexistence with a photosynthetic organism has previously been found only in invertebrates, such as corals. Kerney took long-exposure fluorescent images of pre-hatchling salamander embryos, and saw scattered dots in the unstained tissue — an indicator that it might contain chlorophyll. Transmission electron microscopy (TEM) images showed mitochondria in the salamander cells clustering close to the algae. Reporting the discovery on 28 July at the Ninth International Congress of Vertebrate Morphology in Punta del Este, Kerney suggested that the mitochondria might be taking advantage of both oxygen and carbohydrate generated by the alga's photosynthesis.
- So when do the algae enter the embryos' cells? A time-lapse video made by Roger Hangarter at Indiana University in Bloomington, and presented by Kerney at the meeting, reveals a fluorescent green flash — an algal bloom — next to each embryo just as its nervous system begins to form. Most research on spotted salamander embryos has focused on earlier periods of development, which might explain why algae have not been seen inside the cells before.
- One of Kerney's most curious discoveries suggests that the algae may be a maternal gift. He has found the same algae in the oviducts of adult female spotted salamanders, where the embryo-encompassing jelly sacs first form.
- David Wake, an emeritus professor at the University of California, Berkeley, who watched Kerney's presentation, wonders whether algae could be getting into the reproductive cells. This would "really challenge the dogma" that vertebrates' immune systems ban such close relationships, he says. Both Wake and David Buckley, who studies salamander development at the National Museum of Natural Sciences in Madrid, agree that the work might tell us more about how vertebrate cells learn to identify intruders.
- "It makes me wonder if other species of salamander that have known symbiotic relationships with algae also harbour algae inside their cells," adds Daniel Buchholz, a developmental biologist at the University of Cincinnati in Ohio. "I think that if people start looking we may see many more examples."

TOPICS

共生 (coexistence, symbiosis)

共生とは、異なる生物種が、相互関係を常に保ちながら共に生活していることをいう。双方の生物種が利益を得る相利共生、片方のみが利益を得る片利共生があり、一方のみが利益を得てもう一方は害を被る寄生も共生の一種である。以下に相利共生の例を挙げる。

- ・ **マメ科の植物と根粒菌**：根粒菌は植物から栄養分をもらい、植物は根粒菌が固定した窒素をもらう。
- ・ **動物と腸内細菌**：腸内細菌は外部からの病原菌の繁殖を防ぎ、消化を助ける。腸内細菌は動物から栄養分をもらう。
- ・ **サンゴと褐虫藻**：褐虫藻はサンゴの細胞内に共

生。サンゴは褐虫藻の光合成産物を栄養として受け取り、褐虫藻はサンゴの代謝産物を光合成の基質として利用する。

このほか、藻類どうしの細胞内共生もある。

このように相利共生の場合、生理的に強く結びついていることが多く、どちらかが欠けてしまうと生存の危機にさらされる。例えば、水温上昇などにより褐虫藻が死滅すると、サンゴは白化して死に至る。

今回、脊椎動物のサンショウウオの細胞内に共生する藻類が初めて発見された。脊椎動物は高度な免疫系をもっており、外部からの異物は排除されてしまう。このため、藻類がどのようにして免疫系をかわして細胞内共生を可能にしたのか、非常に興味深い研究である。



クマノミとイソギンチャクも共生。

ISTOCKPHOTO

SCIENCE KEY WORDS

タイトル **salamander**: サンショウウオ

両生類。4本の四肢をもつ。多くは体長20cm以下だが、オオサンショウウオは50cmに達する。湿った所に生息する。

リード **algae**: 藻類 **alga** の複数形

酸素発生型の光合成を行う生物から、陸上植物（コケ植物、シダ植物、種子植物）を除いたものの総称。

リード **symbiotic relationship**: 共生関係リード **embryo**: 胚

多細胞生物で卵割後の発生過程の個体。

1. **photosynthetic organism**: 光合成生物

光合成を行う生物。

1. **vertebrate**: 脊椎動物

動物分類上の1つ、脊椎動物亜門に属するもの。脊椎と中枢神経をもち、一般に左右対称の形態。

1. **adaptive immune**: 適応免疫

体内に侵入した異物を特異的に攻撃する免疫。抗体など。

1. **metabolic**: 代謝

代謝 (metabolism) とは、生物が外界から物質を取り込んで、生命活動のために必要な物質を合成あるいは分解する反応。

2. **spotted salamander**: スポテッドサラマンダー (キボシサンショウウオ)

黒い体に黄色い斑点が特徴のサンショウウオ。カナダ東部、米国東部～中西部の落葉樹森林地帯の池や川の近くに生息。

2. **mutualistic relationship**: 相利関係2. **single-celled alga**: 単細胞藻類2. **host**: 宿主

寄生虫や細菌、菌類などが、寄生あるいは共生する生物。

3. **invertebrate**: 無脊椎動物

脊椎動物以外の動物。動物全体の95%以上を占める。

3. **fluorescent image**: 蛍光画像

ある特定の波長の光を試料に当てて励起させ、撮影した画像。

3. **tissue**: 組織

多細胞生物で、同じ形態・機能をもつ細胞の秩序立った集合体。

3. **chlorophyll**: クロロフィル

葉緑素。緑色植物やシアノバクテリア、光合成細菌に含まれる色素。光合成反応で光を吸収する役割を果たす。

3. **Transmission electron microscopy**: 透過型電子顕微鏡

試料に電子線を照射し、透過した電子を結像して観察する顕微鏡。

3. **mitochondria**: ミトコンドリア

細胞小器官の1つ。呼吸反応の電子伝達系を担い、エネルギーを生産する。

3. **carbohydrate**: 炭水化物、糖質

単糖で構成された有機化合物で、多くは $C_nH_{2m}O_m$ で表される。

3. **photosynthesis**: 光合成

光エネルギーを利用して、 CO_2 の同化、有機物合成を行うこと。

4. **nervous system**: 神経系

情報の伝達と処理を行う、動物に特有な器官系。

5. **oviduct**: 卵管、輸卵管

卵巣と子宮を結ぶ管で、卵を受け取り排出する。

6. **reproductive cell**: 生殖細胞

生殖のために分化した細胞。卵や精子、花粉、孢子など。

6. **immune system**: 免疫系

体内に侵入した異物を認識し、排除しようとする生体防衛機構。

WORDS AND PHRASES

1. **stumble across** ～: 「～を偶然に見つける」2. **viridescent**: 「淡緑色の」、「緑がかった」2. **hatch**: 「孵化する」、「卵がかえる」3. **scatter**: 「散在する」3. **unstained**: 「無染色の」、「染色していない」3. **morphology**: 「形態学」3. **take advantage of** ～: 「～を利用する」、「～を活用する」4. **time-lapse**: 「微速度撮影の」5. **maternal**: 「母体からの」、「母体由来の」5. **～ encompassing**: 「～を取り囲む」6. **emeritus professor**: 「名誉教授」6. **dogma**: 「定説」6. **intruder**: 「侵入者」7. **harbour** ～: 「～を寄生させている」、「～を内部にもっている」

参考訳

サンショウウオのびっくり卵

サンショウウオ胚との共生関係を満喫する藻類がいる。

アンナ・ペザリック



スポテッドサラマンダーの成体。

JOHN CANCALOSI/ALAMY

- 脊椎動物の細胞内で生きる光合成生物の初めての事例が、偶然発見された。これは驚くべき発見である。脊椎動物の体内に外来の生体物質があると、通常は、適応免疫系によって破壊されてしまうからだ。今回、脊椎動物の体内での共生が明らかになった藻類は、宿主から攻撃を受けずに生き延びているように見え、光合成の産物を与えることで宿主を支援している可能性がある。
- スポテッドサラマンダー（キボシサンショウウオ）（*Ambystoma maculatum*）の胚が、単細胞藻類の *Oophila amblystomatis* と相対的関係にあることは、ずっと以前から知られていた。スポテッドサラマンダーの卵は淡緑色をしているが、これは、胚を包み込むゼリー状物質の中にいる藻類の色である。藻類は、胚から出る窒素を多く含む排泄物を利用する一方で、発生中の胚に酸素を多めに供給している。この藻類が宿主に利益をもたらしていることは明らかで、カリフォルニア大学サンタクルーズ校（米国）に所属する分子海洋生物学者の Lynda Goff は、スポテッドサラマンダー胚の周囲のゼリー状物質中に藻類がないと孵化が遅くなることを、今から 30 年も前に明らかにしている。
- 今回、ダルハウジー大学（カナダ・ノバスコシア州ハリファックス）の Ryan Kerney は、この藻が胚細胞の内部にもいることを発見した。光合成生物とのこれほど密接な共存は、これまで、サンゴのような無脊椎動物でしか見つかっていなかった。Kerney は、孵化前のスポテッドサラマンダー胚の長時間露出蛍光画像を撮影し、無染色の組織中に点状のしみが散在していることを明らかにした。これは、組織中にクロロフィルが含まれている可能性を示唆している。透過型電子顕微鏡（TEM）の画像からは、胚細胞中のミトコンドリアが藻類の近くに集まっていることがわかった。7 月 28 日、Kerney は、プンタ・デル・エステ（ウルグアイ）で開催された第 9 回国際脊椎動物形態学会議で今回の発見について報告し、このミトコンドリアが藻類の光合成により生成した酸素と炭水化物を利用している可能性を提示した。
- それでは、この藻類はいつスポテッドサラマンダーの胚細胞に入り込んだのだろうか。Kerney は会議でインディアナ大学ブルーミントン校（米国）の Roger Hangarter による微速度撮影映像を発表したが、その映像では、それぞれの胚で神経系の形成が始まるときに、胚の近くで、藻類の爆発的な増殖を示唆する蛍光緑色の閃光が見られた。胚細胞の内部の藻類がこれまで見つかっていなかったのは、スポテッドサラマンダー胚に関する従来の研究のほとんどが、これより早い発生段階に焦点を当てていたせいかもしれない。
- 今回の発見の中で特に興味深いのは、この藻類が母体からの贈り物である可能性を示唆するものである。Kerney は、スポテッドサラマンダーの雌の成体の卵管中で同じ藻類を発見したが、ここは、胚を包むゼリー状の嚢が最初に形成される場所なのだ。
- Kerney の発表を見たカリフォルニア大学バークレー校（米国）の David Wake 名誉教授は、藻類は生殖細胞に侵入するのではないかと考えている。そうすると、こうした密接な関係は脊椎動物の免疫系によって禁じられているとするドグマに対する「正真正銘の挑戦」となる、と Wake は話す。Wake も、国立自然科学博物館（スペイン・マドリード）でサンショウウオの発生について研究している David Buckley も、今回の研究により、脊椎動物の細胞が侵入者を識別できるようになる過程について解明が進むかもしれない、と考えている。
- シンシナティ大学（米国オハイオ州）の発生生物学者 Daniel Buchholz は、「今回の研究をみると、藻類との共生関係が知られている他のサンショウウオ種でも、細胞内に藻類がいるのでないかと思えてきます」と付言する。「探してみれば、もっとたくさんの事例が見つかるかもしれません」。

（翻訳：菊川要）

naturevideo & naturepodcast で

Natureダイジェストを

2倍楽しむ!

Natureでは、最新研究の音声ファイルや動画も提供しており、Natureダイジェスト掲載の記事に関連したコンテンツもお楽しみいただけます。(どちらも英語のみです。)

QRコードを読みこむ。



画面にURLが表示されるので、接続してください。

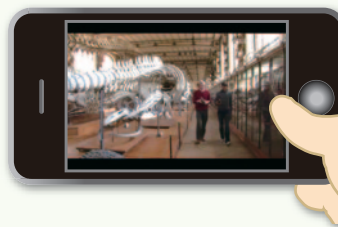
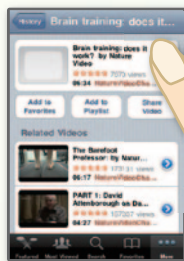
※ 通信にかかる費用は、お客様のご負担となり、携帯会社により異なります。

ハイライトページの

Podcast または Video の

QRコードの場合、表示されたURLに接続すると、すぐに音声または動画が再生されます。

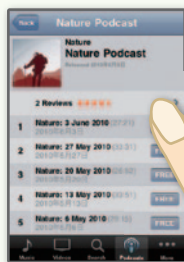
naturevideo



関連映像を楽しむ!

Nature Videoは、さまざまな分野の研究成果を動画でご紹介。5～10分程度にまとめられ、分かりやすく、楽しい映像です。

naturepodcast



最新研究について英語で聞いてみる!

Nature Podcastでは、Natureのハイライトや研究者のインタビュー、世界各国の記者による鋭い解説などを配信しています。

登録の必要はありません。ぜひ、アクセスしてみてください。

(※ Nature Podcastは、現在のところ、iPhoneのみに対応しています。 ※ Nature Videoは、一部対応していない機種もあります。 ※ iPhoneでQRコード読み取りアプリを事前にダウンロードしてください。) iPhoneはApple Inc.の商標です。

EDITOR'S NOTE

Nature 7月29日号は「科学は人類を養うことができるか」という大特集を組みましたが、本誌に翻訳しなかった残りの記事は、途上国での食料増産のために遺伝子組み換え作物の研究開発を進める農業バイオ企業への取材記事、今後の食料増産を担うブラジル農業についてのレポートです。関心のある方はお読みください。地球上のすべての人々の胃袋を満たすために、実は、もう30年以上前から、食料は十二分に生産されています。ところが飢餓がなくなるのは、まさに政治経済社会の問題があるからです。この事実を喝破したのが『宇宙船地球号 操縦マニュアル』(ちくま学芸文庫)の著者バックミンスター・フローでした。(YM)

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

npg nature asia-pacific

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

© 2010 年 NPG Nature Asia-Pacific
掲載記事の無断転載を禁じます。

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

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



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

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

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



BRITISH AIRWAYS 自分だけの時間

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

今すぐ、ba.comでご予約ください。

