日本語で読む世界の最新科学ニュース

nature ダイジェスト

05
2013

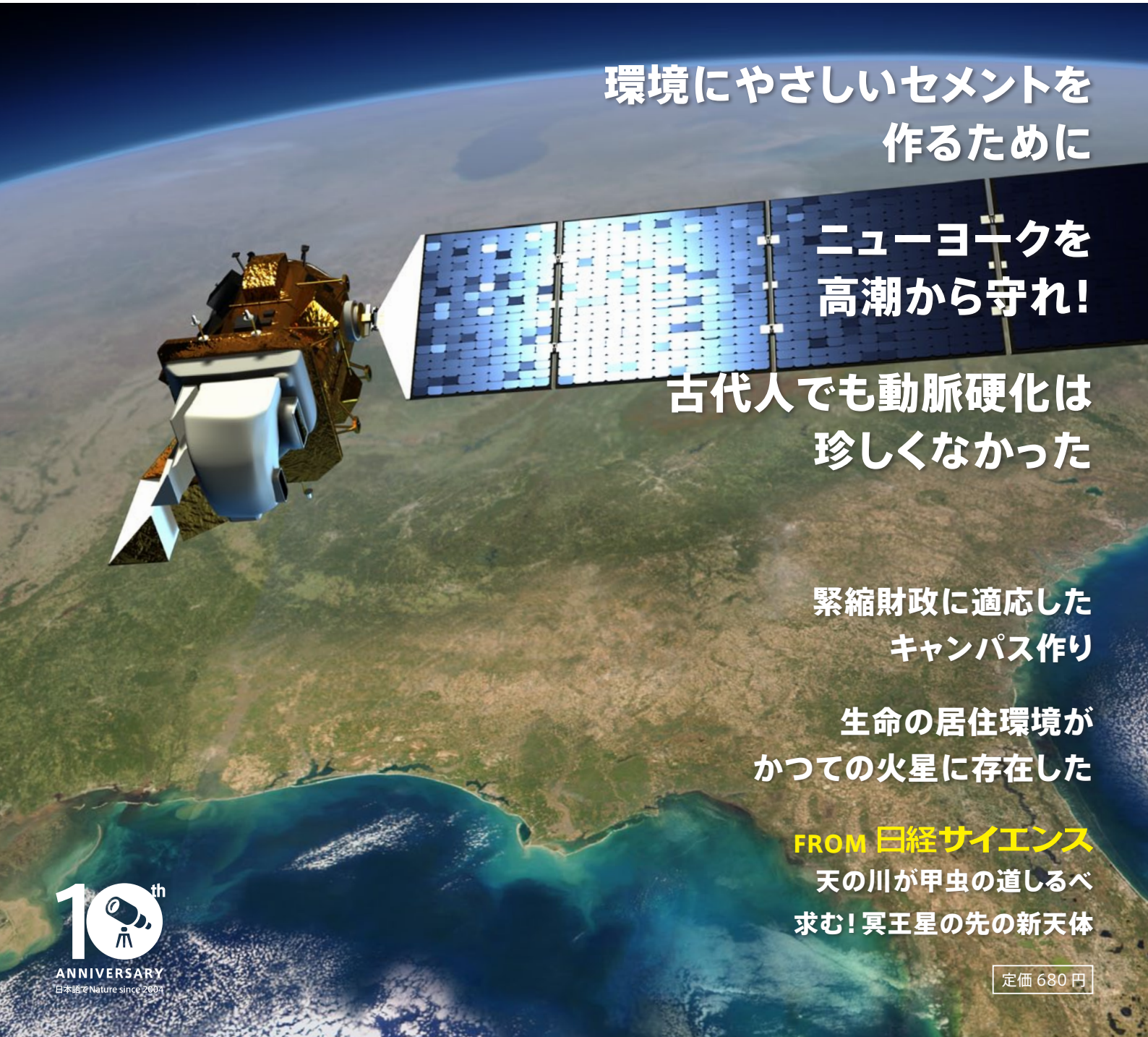
日本でも幹細胞治療に規制を

LDLの目標値は時代遅れ

3つ目のバンアレン帯が出現

超新星爆発直前の質量放出

ランドサットの歴史



環境にやさしいセメントを作るために

ニューヨークを高潮から守れ!

古代人でも動脈硬化は珍しくなかった

緊縮財政に適応したキャンパス作り

生命の居住環境がかつての火星に存在した

FROM 日経サイエンス

天の川が甲虫の道しるべ

求む! 冥王星の先の新天体

10th ANNIVERSARY
日本語でNature since 2004

定価 680 円

Nature Publishing Group のメールマガジンは発行日 * に最新の情報を日本語でお届けします！

nature
毎週木曜日配信

今週のハイライト、今週号の目次を日本語で紹介します。同日メディアで見たニュースや気になる記事をすばやく見つけ、サイトにすぐにアクセスできます。その他、お得な情報、*Nature* 以外のジャーナルの最新コンテンツ（日本語翻訳）もお届けします。役立つ情報満載のメールマガジンです。

nature ダイジェスト
毎月 25 日配信

今月号の目次はもちろん、今月号の Hot topic、無料公開記事など紹介します。また、今年は *Nature* ダイジェスト創刊 10 周年の特別コンテンツを企画していますので、その最新情報も発信していきます。キャンペーン情報も見逃せません。

ご登録はたった 1 分、無料です。ぜひ、この機会にメールマガジンにご登録ください。

SCIENTIFIC REPORTS
毎週火曜日配信

最新の論文、注目のハイライト、注目の論文を紹介。最新の論文は、「生物」、「化学」、「物理」、「地球、環境科学」、「医療」の分野にまとめられており、研究領域の論文に素早くアクセス可能です。毎日新しい論文が掲載される *Scientific Reports*、メールマガジンなら週 1 回まとめてチェックできます。

nature COMMUNICATIONS
毎週水曜日配信

最新の論文、注目のハイライト、注目の論文に加え、毎月 1 本論文全文を無料公開しています。毎週発表される最新の論文には、日本語タイトルと要約を掲載し配信しているので、サイトにアクセスする前に、メールマガジンで内容をご覧いただけます。

Scientific Reports, Nature Communications はオンラインジャーナルのため、この通りではありません。

メールマガジン登録
nature.asia/jpn-register

nature publishing group npg

nature ダイジェスト
05
2013
2013 年 4 月 25 日発行
©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.
掲載記事の無断転載を禁じます。
www.nature.com/naturedigest

NASA/GODDARD SPACE FLIGHT CENTER CONCEPTUAL IMAGE LAB

ランドサット 8 号が引き継ぐ歴史 13

表紙画像：NASA/GODDARD SPACE FLIGHT CENTER CONCEPTUAL IMAGE LAB

1972 年以来、NASA のランドサット衛星は地球環境の変化を記録し続けてきた。その役割が 2 月打ち上げの 8 号に引き継がれた。

NATURE NEWS

02 火星にはかつて生命の居住環境が存在した

04 3 つ目のバンアレン帯が出現

05 セミの翅が細菌をばらばらにする

12 時代遅れのコレステロール目標値

15 RESEARCH HIGHLIGHT | 温暖化で、集中豪雨の雨量が増える

19 緊縮財政に適応したキャンパス作り

20 加速する「遺伝子解析」の医療利用

28 遺伝子診断を阻む壁

30 遺伝学に波紋を呼ぶ環状 RNA

TURNING POINT
創刊 10 周年特別企画インタビュー

07 素粒子への思いが出会いを呼んだ
村山斉・東京大学国際高等研究所

NEWS SCAN

06 天の川が甲虫の道しるべ

06 求む！冥王星の先の新天体

NEWS & VIEWS

24 塩味を感知するセンサー分子

JAPANESE AUTHOR

22 ヌタウナギが教えてくれる脊椎動物の進化 ── 倉谷 滋

EDITORIAL

31 幹細胞治療の規制に取り組み始めた日本

32 包括的核実験禁止条約を支える国際監視システム

HIGHLIGHTS

33 2013 年 3/7 ～ 3/28 号

08 ニューヨークを高潮から守れ！

ハリケーン「サンディー」による被害を教訓に、ニューヨーク当局は科学者と連携し、科学的･合理的な高潮対策を模索中だ。

ISTOCKPHOTO

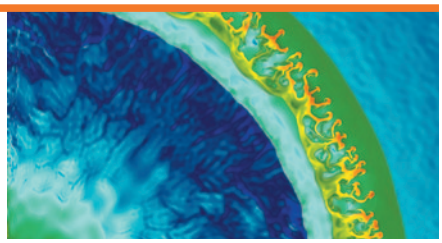
16 環境にやさしいセメント

セメントは人類文明に不可欠の建築資材だが、その製造工程で大量の CO_2 を排出する欠点を、科学的に克服する必要がある。

ISTOCKPHOTO

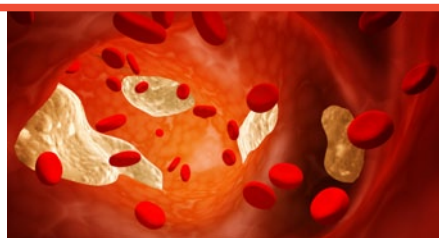
26 超新星爆発直前の質量放出をとらえた

超新星爆発を起こす元の星について、質量放出現象が爆発 40 日前に観測され、星の生涯について、新たな手がかりが得られた。



03 古代人でも動脈硬化は珍しくなかった

世界各地のミイラの CT スキャン画像によると、ぜいたく病の原因とされてきた動脈硬化は、古代人にも普通にあったようだ。


ISTOCKPHOTO/THINKSTOCK

都合により、「英語で Nature」は休載致します。

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

火星にはかつて生命の居住環境が存在した

Mars rover finds evidence of ancient habitability

Alexandra Witze 2013年3月12日 オンライン掲載（doi:10.1038/nature.2013.12597）

火星探査ローバー「キュリオシティー」が
初めて掘削した岩石サンプルを分析した結果、水中で形成された粘土を発見した。

NASA/JPL-CALTECH/CORNELL/MSSS

直径1.6cmのドリル孔から採取されたサンプルには、塩分を含む水の中で形成された鉱物が含まれていた。

火星にはかつて生命が存在できる環境があったのだろうか？　この謎を探るためにNASAが火星に送り込んだ探査ローバー「キュリオシティー」（2012年10月号7ページ参照）が、探していた証拠を発見した。

化学分析の結果、ローバーが岩石を掘削して最初に採取した灰色がかった粉末に、水中で形成された粘土鉱物が含まれていることが明らかになったのだ。その水は、わずかに塩分を含んでいて、生物が耐えられないほどの酸性でもアルカリ性でもなかったようだ。

カリフォルニア工科大学（米国パサデナ）の惑星地質学者で、キュリオシティーのプロジェクト・サイエンティストであるJohn Grotzingerは、「あなたが当時の火星にいて、近くにこの水があったら、飲むことができたでしょう」と言う。彼は、NASAのほかの研究者らとともに3月12日に記者会見を開き、今回の知見について発表を行った。

火星に粘土鉱物があることは、これまでのミッションによりすでに確認されていた。また、キュリオシティー自体も、かつて火星の表面を水が流れていたことを示唆する証拠を発見している。しかし今回、キュリオシティーが「ジョン・クライン」という愛称（2011年に死去したマーズ・サイエンス・ラボラトリーの副プロジェクト・マネジャーにちなんで名付けられた）の岩石から採取し、テストを行ったひとつまみの粉末が、水の存在下で、生物に無害なpH環境において粘土が形成されたことを示唆する、最初の確固たる証拠となった。

NASAエイムズ研究センター（米国カリフォルニア州モフェットフィールド）に所属するキュリオシティーの化学・鉱物学実験装置（CheMin）の主任研究員であるDavid Blakeは、「ここは、我々が記述し、記録してきたさまざまな場所の中で、唯一、生物が確実に居住できる環境があったといえる場所なのです」と言う。

CheMinによるX線分析の結果は、掘削された岩石の大部分が、火成鉱物（長石、輝石、橄欖（かんらん）石、磁鉄鉱など）からできていることを示していた。ただ、この岩石の少なくとも20%は、水の存在下で形成される粘土鉱物（スメクタイトなど）からできていた。以前、火星探査ローバー「オポチュニティー」が別の場所の岩石中に発見した鉄塩は、生物が耐えられないレベルの酸性環境で形成されたことを示唆していたが、今回、キュリオシティーが調べた岩石に含まれる塩類（例えば岩塩）は、生物が耐えられる環境で形成されたことを示唆しているとBlakeは言う。

同じくキュリオシティーに搭載されている火星サンプル分析装置（SAM）は、数分の1グラムの粉末を加熱して、放出されるガスを分析した。SAMの主任研究員であるNASAゴダード宇宙飛行センター（米国メリーランド州グリーンベルト）のPaul Mahaffyによると、サンプルから水が放出される温度は比較的高く、これは粘土鉱物の特徴であり、CheMinで得られた知見のよい裏付けだという。

今回の発見により、6輪車のキュリオシティーがゲール・クレーターの底に滞在する期間は長くなるだろうとGrotzingerは言う。なお2月28日には、キュリオシティーのメインコンピューターに不具合が生じたため、予備コンピューターへと切り替えられた。しかし、復旧のための初期の作業には遅れが出た。3月初旬に大規模な太陽嵐が火星を襲い、ミッションマネジャーらがキュリオシティーを保護するためにこれをシャットダウンしたからだ。

科学オペレーションは近日中に再開する予定であるが、4月には再び中断する。この時期には、地球から見た火星が太陽の背後に隠れてしまい、キュリオシティーと通信できなくなるからだ。その後、通信が再開したら、キュリオシティーは再び「ジョン・クライン」に孔をあける作業をし、それから旅支度をして、最終目的地である標高5kmのアイオリス山の頂上をめざして10kmのドライブに出発する予定である、とGrotzingerは言う。■

（翻訳：三枝小夜子）

編集部註：その後キュリオシティーは、3月16日にもトラブルにより活動を停止したが、3月25日に活動を再開した。現在は、本文にある理由で活動を休止している。

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

古代人でも動脈硬化は珍しくなかった

Mummies reveal that clogged arteries plagued the ancient world

Jo Marchant 2013年3月11日 オンライン掲載（doi:10.1038/nature.2013.12568）

ミイラのCTスキャン画像の解析研究から、
心疾患の要因は現代風の食生活だけではないことが示唆された。

動脈硬化による血管の狭窄（きょうさく）は、現代人の不健康な生活様式がもたらす典型的な病態だと見られている。しかし、この病態は古代のヒト社会でも珍しくなかったようだ。ジャンクフードと無縁で、運動量も多かったはずの狩猟採集民の間でも、動脈硬化はありふれたものであったことが、ミイラの研究から明らかになった。

「昔の生活に戻れば動脈硬化の問題はすべて解決するだろうという見方もありました。しかし、古代人にも普通に冠動脈疾患があったのです」と、研究チームの主要メンバーの1人であるカリフォルニア大学アーバイン校（米国）の心臓専門医Greg Thomasは話す。この論文は最近の*The Lancet*に掲載された[1]。

詰まった動脈

動脈の内壁に、コレステロールと免疫細胞のマクロファージからなる「プラーク」と呼ばれる隆起が生じた状態を、アテローム性動脈硬化と呼ぶ。この状態になると、動脈内径が狭くなり、また動脈壁が硬くなって、心筋梗塞や脳卒中、その他の心血管疾患を招くおそれがある。つまりアテローム性動脈硬化は、先進諸国の主要な死因と関連している病態なのだ。

運動不足と、飽和脂肪の多い食生活は、どちらも血中の「悪玉」コレステロール値を上昇させることがわかっており、この2つの生活習慣がプラーク形成のリスクを増大させると考えられている。そのため、心疾患を避けるには、狩猟採集民時代の祖先たちが送っていたような生活を心がけて、タンパク質や不飽和脂肪が豊富で加工されていない自然食品を常食とすべきだという意見が出されている[2]。

それが本当かどうかを確かめるため、Thomasたちは、大きく異なる4つのヒト集団（エジプト人、ペルー人、アメリカ南西部の古代プエブロ族、アラスカ・アリューシャン列島のアレウト族）に由来するミイラ137体について、CTスキャン画像の解析を行った。エジプトのミイラは人の手で防腐処理が施されていたが、それ以外のミイラは、極度の乾燥もしくは低温条件下で自然に保存されていたものだ。

4つの集団の生活様式は異なっており、例えば古代プエブロ族は定着農耕型で狩猟採集もした民族だったが、アレウト族はもっぱら海産物を食べる狩猟採集民だった。

研究チームは、ミイラのスキャン画像をチェックし、動脈の内壁や動脈の通り道と思われる部位に石灰化したプラークがあるかどうかを調べた。すると、137体のミイラのうち47体（34％）で、おそらく、もしくは確実にアテローム性動脈硬化があるという診断がなされた。なお、4集団それぞれでこの診断が下された割合は、古代プエブロ族の25％からアレウト族の60％まで幅があった。

古代からある病

研究チームによれば、古代ミイラに見られる動脈硬化の程度は、現代人集団とほぼ同じことがわかったという。この結果はThomasにとって「ショック」だった。

Thomasのチームは以前、古代エジプトの一群のミイラでアテローム性動脈硬化が見られることを報告した[3]。しかし、KNH生物医学エジプト学センター（英国マンチェスター）のRosalie Davidをはじめとする専門家たちは、それらのミイラは上流階級の人々であり、おそらく現代の美食家と同じくらい贅沢な食事をしていたのだろうと主張した[4]。

ところが「今回我々がスキャン画像を撮ったのは、一般市民の男女のミイラであり、彼らにもアテローム性動脈硬化があった訳です」とThomas。これらの人々に動脈硬化を引き起こしたのは、過剰なコレステロールではなく、煙の吸入や慢性感染症などによる重度の炎症だったのではないかと、彼は考えている。

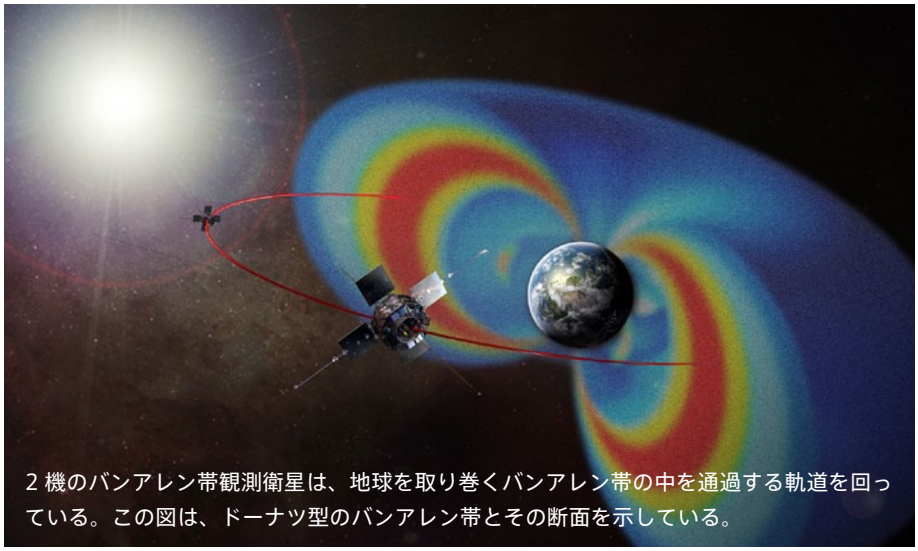
アテローム性動脈硬化の発症機序を調べているワシントン大学（米国シアトル）のMichael Rosenfeldは、煙の吸入などの要因がこの病態の進行を早める場合があることは認めている。その一方で彼は、動物研究では、不健康な食生活と不良な遺伝子のどちらによるとしても、血中脂肪量が多くならなければアテローム性動脈硬化は発生しないことも指摘する。そしてRosenfeldは、これらのミイラに見られるプラークは、アテローム性動脈硬化のせいではなく、腎臓病や骨粗しょう症によって生じたのではないかと話す。「私は今でも、アテローム性動脈硬化の発生に現代の生活様式が大きく関わっていると確信しています」。

しかしThomasは、今回の結果を踏まえれば、心血管疾患が単に不健康な生活様式の結果だと考えるべきではないと言う。「我々はこれまで、心疾患はなくすことができるものだと高をくくっていました。おそらく、その進行を遅くすることはできるでしょう。でも、予防できると考えるのは非現実的かもしれません」。■

（翻訳：船田晶子）

1. Thompson, R. C. *et al. The Lancet* http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(13)60598-X (2013).
2. O'Keefe, J. H. Jr & Cordain, L. *Mayo Clin. Proc.* **79**, 101-108 (2004).
3. Allam, A. H., Thompson, R. C., Wann, L. S., Miyamoto, M. I. & Thomas, G. S. *J. Am. Med. Assoc.* **302**, 2091-2094 (2009).
4. David, A. R., Kershaw, A. & Heagerty, A. *The Lancet* **375**, 718-719 (2010).

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.



2機のバンアレン帯観測衛星は、地球を取り巻くバンアレン帯の中を通過する軌道を回っている。この図は、ドーナツ型のバンアレン帯とその断面を示している。

NASA

3つ目のバンアレン帯が出現

Ephemeral third ring of radiation makes appearance around Earth

Ron Cowen 2013年2月28日 オンライン掲載 (doi:10.1038/nature.2013.12529)

NASAの観測衛星が、3番目のバンアレン帯の出現をとらえた。
それは太陽からの衝撃波が消し去るまで、数週間持続した。

2012年8月、米航空宇宙局（NASA）は地球の周りのバンアレン帯（放射線帯）を詳しく調べるため、2機の観測衛星を打ち上げた。バンアレン帯は地球を環状に取り巻いており、そこには高エネルギーの荷電粒子が多量に存在する。バンアレン帯は55年前の発見以来、内外の2つの環からなると考えられていたが、今回、2012年9月に、意外にも一時的に環が3つ存在したことが明らかになった。

バンアレン帯は、陽子や電子などの高速の荷電粒子が、地球の磁場によって2つのドーナツ型の環に集まったものと考えられている。1958年、米国の物理学者James Van Allenが、人工衛星を使って最初に発見した。外側の環（外帯）は地表から約1万～6万kmの距離にあり、その内側、地表から約100～1万kmのところに、さらにエネルギーの高い粒子の環（内帯）がある。バンアレン帯は半世紀前に発見されたときにもこのような構造をしていたし、今回、2機の観測衛星が2012年9月1日に観測を始めたときも、同じ構造をしていた。

しかし、そのわずか2日後、観測衛星搭載の望遠鏡による観測で、内側の環と、荷電粒子の流量が大きく減少して弱くなった外側の環との間に、荷電粒子の流量の大きな、もう1つの薄い環が現れたことがわかった。研究を行ったコロラド大学大気宇宙物理学研究所（米国ボールダー）の宇宙物理学者Daniel Bakerは、「それはあまりにも予想外の出来事だったので、私たちは当初、装置に何か問題が起こったのではないかと考えました」と振り返る。

しかし、この新しい環は消えずに持続した。Bakerらの研究チームは、新たな環は惑星間衝撃波によって作られたとみている。惑星間衝撃波は、太陽から噴き出す太陽風粒子の衝撃波のことで、別の宇宙観測機で検出された。「惑星間衝撃波が外側の環の大部分を流し去り、その残りを2つの環に分割したのでしょう」とBakerは話す。

中間の環はほぼ9月いっぱい持続し、一方、外側の環の荷電粒子の流量は、増減し続けた。しかし、10月1日、以前のものよりもエネルギーが高い別の惑星間衝撃波がやって来て、外側と中間の環の両方を完全に消し去り、内側のバンアレン帯のみが残った。「さらにその7～8日後、3番目の衝撃波が来て、なぜかは不明ですが、教科書に描かれているような、2つの環からなる元の構造が復活したのです。10月9日に観測衛星が観測したデータから、外側の環全体が突然、再び現れ、中間の環は消えたことがわかりました」とBakerは説明する。

今回の発見は*Science*誌オンライン速報版に2013年2月28日に報告された[1]。Bakerは、「今回の発見は、太陽での爆発現象がバンアレン帯の構造を作り出す強力な原動力であり、このような現象がありふれたものである可能性を示しています。特に、11年の太陽周期のピークに近い、今のような時期には、よくあることなのかもしれません」と話す。「しかし、外側のバンアレン帯の劇的な作り替えのメカニズムの詳細と、1か月間にわたって持続した中間の環ができた位置に関しては、現在の理論では説明できません」と指摘する。

今回の研究チームに加わっていなかった、カリフォルニア大学ロサンゼルス校（米国）の地球物理学者Yuri Shpritsは、「3つの環からなる構造が生じる仕組みを解明する仕事が、世界中の理論研究者や数値モデル作成者にゆだねられました」と話している。■

（翻訳：新庄直樹）

1. Baker, D. N. *et al. Science* http://dx.doi.org/10.1126/science.1233518 (2013).

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

セミの翅が細菌をばらばらにする

Insect wings shred bacteria to pieces

Trevor Quirk 2013年3月4日 オンライン掲載（doi:10.1038/nature.2013.12533）

セミの翅（はね）の表面の微細な柱状の構造体「ナノピラー」が、細菌の細胞膜を引き裂く。

クランガーゼミ（clanger cicada; *Psaltoda claripennis*）というセミが持つ、筋の入った翅は、物理的な構造だけで細菌を殺すことが明らかになった。このような機能を持つ天然の表面構造が見つかるのは初めてのことで、*Biophysical Journal* 2013年2月19日号に掲載された論文では、この翅がナノメートルスケールでどのように機能しているのかを示す、詳細なモデルが示されている[1]。

このセミの翅には、微細な柱状の構造体「ナノピラー」が広く表面に六角形をなすように並んでいる。このナノピラーの先は丸い針のような形をしている。細菌が翅の表面に取りつくと、その細胞膜がナノピラーの表面にスパイクのように突き刺さる。すると細胞膜は、ナノピラーとナノピラーの間隙へと引き伸ばされ、その膜にはきわめて大きなひずみが発生する。膜が十分に柔らかければ、その細胞は破裂する（写真）。

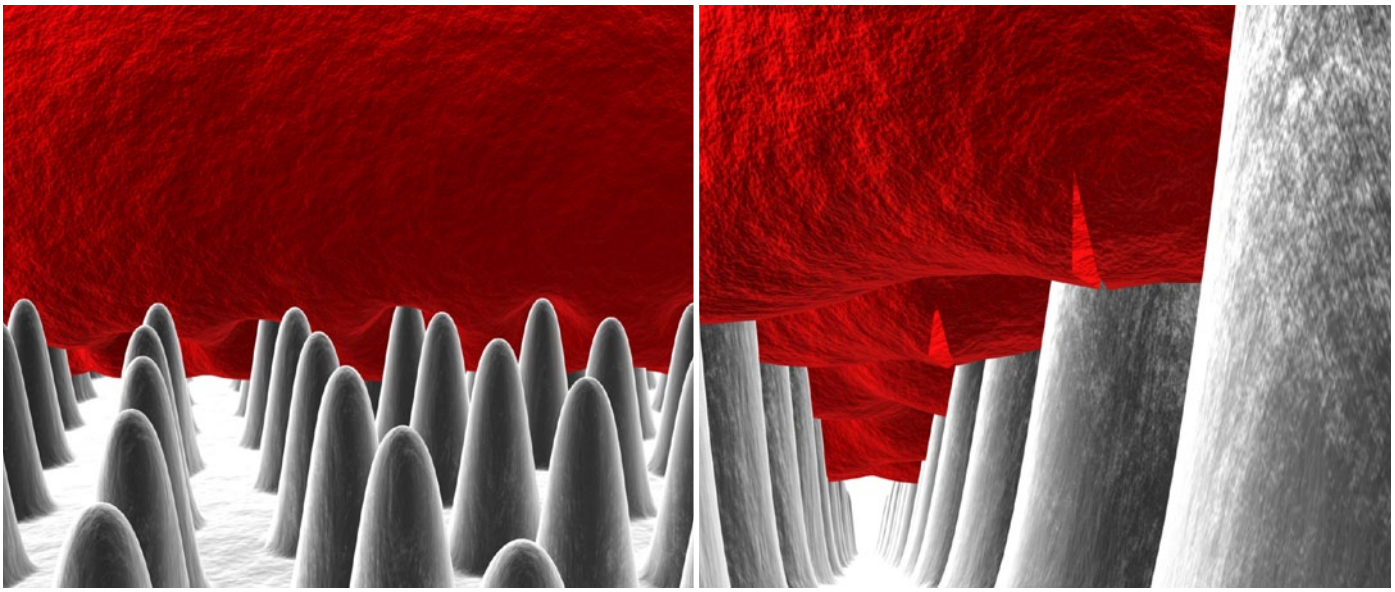
論文の代表執筆者であるスウィンバーン工科大学（オーストラリア・ビクトリア州ホーソン）のElena Ivanovaは、ナノピラーが実は細菌の細胞に穴をあける訳ではないことを知って驚いた、と明かす。その破裂のようすはむしろ、「ゴム手袋のような、伸縮性のあるシートを引っ張る」ようなもので、「両手で持ってゆっくり引き伸ばすと、中央部が薄くなって裂け目が入りますよね」とIvanovaは説明する。

そのモデルを検証するため、研究チームは細菌にマイクロ波を照射し、膜の硬さが異なる、さまざまな細胞を作り出した。硬い細菌ほどナノピラーの間で破裂しにくいだろうというのが、研究チームの仮説だった。実験の結果、そのモデルが正しいことが確認され、このセミのナノピラーによる防御機構は、十分に柔らかい膜を持つ細菌にしか有効でないことも明らかにされた。

このセミの翅の物理的防御という特性を人工素材で再現するには、その翅の研究をさらに進める必要がある。今回の研究チームには加わっていないマギル大学（カナダ・モントリオール）の化学工学者Anne-Marie Kietzigは、このモデルに基づく素材がいつの日か、バスの手すりのように、公共の場で病原体のすみかになっている場所の表面素材へと応用されるのではないかと考えている。「環境に悪影響を及ぼすことも多い、洗浄剤のようなものも必要ありません。放っておいても殺菌してくれるのです」とKietzigは語る。 ■

（翻訳：小林盛方）

1. Pogodin, S. *et al. Biophys. J.* **104**, 835–840 (2013).



VESELIN BOSHKOVIKJ

翅の表面に取りついた細菌に、ナノピラーがスパイクのように突き刺さる（左）。細胞膜は、ナノピラーとナノピラーの間隙へと引き伸ばされ、その膜には大きなひずみが生じ、膜が十分に柔らかければ、その細胞は破裂する。

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

天の川が甲虫の道しるべ

フンコロガシは夜、天の川を頼りに移動方向を決めている！

『ファーブル昆虫記』でおなじみのフンコロガシは、子どもや自分の食料にするために、糞を丸めてボールを作り、それを転がして生きている。ただ、地面に這いつくばって地味な仕事をしているからといって、この甲虫に空を見上げる目がない訳ではない。なんと、日が沈んだ後も、夜空を見上げていることがわかったのだ。

最近の研究から、ある種のフンコロガシ（*Scarabaeus satyrus*）が、直進するために太陽や月の光を強力な手がかりにしていることが示されていた。だがスウェーデンのルンド大学と南アフリカ共和国のウィットウォーターズランド大学の研究チームは、月のない晴れた夜でも、多くのフンコロガシがまっすぐ進んでいることに気が付いた。

夜空が道案内役になっているかどうかを調べるため、研究チームは、フンコロガシに厚紙製の特別な帽子をかぶせて実験した（*Current Biology*誌オンライン版1月24日号に掲載）。星が見える夜、南アフリカの小さな町フライバーグの中心地域で、フンコロガシに帽子をかぶせ、糞のボールと一緒に放してみた。対照として、帽子をかぶせないものと、透明なプラスチック製の帽子をかぶせたものも放した。

すると、帽子なしと透明の帽子をかぶせたフンコロガシは、通常どおり比較的まっすぐ歩いた。フンコロガシの食物獲得競争は非常に厳しいので、糞をボール状に丸めるとすぐにまっすぐ歩き始めようとするのだ。これに対し、視界をさえぎられたフンコロガシは、ずっと遠くまで蛇行しながら進み、はるかに長くて非効率的な道をたどった。

星だけを目印にして歩いていることを確認するため、研究チームはさらにいくつかの実験を行った。例えばフンコロガシをヨハネスブルクのプラネタリウムに持ち込んで、実験してみた。個々の星と天の川など、実際の夜空に非常に近い映像を投影した場合、フンコロガシは正確に進んだ。天の川だけを薄い光の帯として投影しても、うまく直進した。しかし、天の川を抜きにして18個の明るい星だけを投影したところ、直進路を外れて、目的地まで50%以上も遠回りした。

これらの結果から、フンコロガシは単一の明るい星を道しるべにしているのではなく、天の川の光の帯を目印にしていることがはっきりした、と研究チームは考えている。動物界で天の川を道しるべとして使っている例を、初めて実証したといえるかもしれない。 ■

（翻訳協力：粟木瑞穂）

求む！冥王星の先の新天体

太陽系外縁天体探査機のために、新たな観測対象を募集中

2015年7月、太陽系外縁天体探査機「ニュー・ホライズンズ」は、冥王星とその多くの衛星の近くを通過することになる。これは米航空宇宙局（NASA）が探査機を接近させた天体としては最も遠い例となる。しかし、それではまだ足りないとばかりに、科学者はすでにニュー・ホライズンズの次の探査目標を探し始めている。冥王星の先にある未知の天体を、間近から詳しく調べたいと考えているのだ。

エッジワース・カイパーベルト天体の中で、冥王星は最大または2番目に大きな天体だ。エッジワース・カイパーベルトは海王星の軌道よりも外側にある小天体の多い領域のことで、これまでに1600個にのぼる天体が発見・追跡されている。だが、それらの中に、今後のニュー・ホライズンズの通り道に近いものはない。

優れた探査機をこのままむだにするのはいかにも惜しいので、天文学者たちは今、観測対象となる天体を新たに見つけ出そうと必死になっている。「1つ見つかればうれしいですが、もし2つ見つかったら天にも昇る気分でしょう」とハーバード・スミソニアン宇宙物理学センターの天文学者Alex Parkerは言う。

探索にはハワイとチリにある望遠鏡が使われている。別の日に撮影された画像を比較し、位置が変わった天体を特定する。これまでに数十個の小天体が網にかかり、うち3つは2018年にニュー・ホライズンズから1600万～3200万kmの距離にやってくることがわかった。この距離からなら、その天体の衛星を探すことができ、衛星の動きから親星が及ぼす重力、ひいては親星の質量がわかる。

だが、Parkerは欲ばりで、探査機がわずか数千kmまで接近できるような天体を見つけたいと望んでいる。その距離なら、冥王星に対するのと同じように、綿密な調査が可能になるからだ。

残念ながら、そうした天体は現在、見つけ出すには最悪の方角を移動している。つまり、天の川銀河の中心がある「いて座」の方角を移動しているのだ。「何百万個もの星を背景に、かすかにしか見えない動く天体を特定するのは至難の業です」とParkerは言う。

それでも、これまでの探索ですでに新天体が見つかっているわけだから、冥王星を通過した後もニュー・ホライズンズがお役御免になることはない、とParkerは楽観的だ。 ■

（翻訳協力：鐘田和彦）

Scientific American trademarks used with permission of Scientific American, Inc.

Nature ダイジェスト 10 周年特別企画インタビュー

素粒子への思いが出会いを呼んだ

村山 斉

東京大学 国際高等研究所 カブリ数物連携宇宙研究機構 機構長
米国カリフォルニア大学バークレー校物理教室 教授

宇宙の成り立ちを探る素粒子物理学者、村山 斉（むらやまひとし）氏。2012 年には、「世界で活躍し『日本』を発信する日本人」の 1 人に選ばれた。思ったとおりの勉強ができずに悩んだこともあるという村山氏のターニングポイントは？

大学院時代は苦労されたそうですね？

どんな先生がいるかきちんと調べもせずに、東大から東大の大学院に進んだものですから。私の希望する素粒子物理学を専門とする人がいなかったのです。

当時は、ひも理論の研究が主流だったのですが、私はそれに全く興味が持てませんでした。しかたなく、素粒子は自分で勉強しようと考え、友人を集めて勉強会などを開いたりもしました。ただ、全然もの足りなかったですね。思うようにいかず、研究室の中でも孤立気味となり、フラストレーションもたまって、修士課程を終えたら、どこかに就職しようと考えていました。

その考えを思いとどまらせたものは？

出会いです。それがターニングポイントになりました。他講座の先生が、私の勉強したい分野の専門家（高エネルギー研究機構の萩原 薫（はぎわらかおる）先生）をご存じで、東大に呼んで講義を開いてくれたのです。「勉強したかったことはこれだ！」と、すぐに弟子入りを志願しました。幸い引き受けてはいただけたのですが、ちょうどそのとき、萩原先生は海外赴任直前でした。

そこで私は、先生の帰国を待つことにしました。その間に、博士課程に進み、高温超伝導など、興味の持てる研究をしていました。そして、博士課程2年の頃に萩原先生が帰国され、ようやく念願叶って1か月間の集中講義合宿の実現にこぎつけました。ただ、講義の条件として受講者を7人集めよ、というのがあったので、京大や名古屋大、広島大にも足を延ばしてなんとか集めたものです。

合宿では、素粒子についての勉強漬け。自分のやりたいことができて、本当にうれしかったですね。やっと素粒子の基礎が身についたと思いました。

その後、東北大を経てから、海外に移られたのですね？

本当は、博士論文を仕上げたら、すぐ海外に出ようと思っていました。日本では自分は必要とされていない。けれど、海外には、素粒子の研究者が大勢いる。そこで仕事を見つけ暮らしていこう。当時すでに結婚していた私は、そう覚悟していたのです。

ところが、東北大の柳田 勉（やなぎだつとむ）先生から助手として採用したい、というありがたいオファーが届きました。柳田先生も、東大に講義にいらしたことがあり、興味深い研究をされていることは知っていました。自分が評価してもらえたことがうれしく、まずは東北大行きを決めたのでした。柳田先生の研究室では、宇宙と素粒子の関係や超対称性理論などの重要で新しい分野を無我夢中で学び、研究が一段落したときに、米国に渡ったのです。

覚悟を決めて渡った米国では、順調にポジションを獲得されて……。

米国では、私の博士論文や東北大での研究論文を評価してくれる人がいると知って、驚きましたね。当時、COBE衛星の観測データが発表され、宇宙と素粒子が結びついて注目されるようになったという時代の後押しもあるでしょう。心ゆくまで研究に打ち込むことができ、5年後にはカリフォルニア大学バークレー校の准教授、さらに3年後に教授のポジションを得ることができました。

私が、実験と理論の2つの分野を理解できていたことも重宝されたようです。日本での大学院時代に紆余曲折（うよきょくせつ）あり、専門性を高められなかったものの、さまざまに勉強や経験を積み重ねてきたことが功を奏したと思います。

米国での体験は今どう役に立っていますか？

コミュニケーション力ですかね。米国で気が付いたことなのですが、30秒から1分以内に自分の研究を魅力的に伝えないと、話し相手には飽きられちゃうんですよ（笑）。

そもそも大学院時代から、自分のやりたいことを説明し、自ら発信していかなくては生き残れないという危機感がありました。ですから、コミュニケーション力の大切さは早くから痛感しておりましたが、米国での実践でさらに鍛えられました。

研究者どうしで話すときにも、一般の人々にビッグバンやヒッグス粒子について語るときにも、その経験が今でも役立っています。 ■

聞き手は藤川良子（サイエンスライター）。

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

ニューヨークを高潮から守れ!

New York vs the sea

Jeff Tollefson
2013年2月14日号　Vol. 494 (162–164)

2012年10月、ニューヨーク市はハリケーン「サンディー」がもたらした高潮により甚大な被害を受けた。
科学者と行政当局は、将来の水害から米国最大の都市を守る方法を模索している。

MICHAEL BOCCHIERI/GETTY

ニューヨーク市マンハッタン区の南端に位置する地下鉄1号線のサウスフェリー駅。その階段を下りながら、Joe Leaderの心は沈んでいった。2012年10月29日午後8時、ハリケーン「サンディー」は、150kmほど南のニュージャージー州に上陸したところだった。ニューヨーク市地下鉄網の管理責任者としてパトロールに出ていたLeaderは、サウスフェリー駅がハリケーンからの避難場所になることを期待していたが、そこで彼を迎えたのは、煙報知器のサイレンのかん高い音と、ごうごうという水音だった。プラットフォーム階に至る最後の階段を4分の3まで下りたところで、彼は懐中電灯の光を暗闇に向けた。プラットフォームはすでに水没していて、海水は1、2分に1段ずつ階段を飲み込んできていた。

今、Leaderは同じ階段に立って、当時のことを回想する。「あの光景を目にするまで、駅は大丈夫だと思っていたのです」。

5億4500万ドル（約520億円）の建設費をかけて2009年に開業したばかりだったサウスフェリー駅は、浸水から数か月が経過した今もなお、ひどい状態にある。塗料は剥がれ、エスカレーターは壊れ、腐食した電気設備などが散乱している。マンハッタンの多くの場所は平時の姿を取り戻したが、世界経済の中心地ウォール街から数ブロックしか離れていないのに、この駅は今後2、3年は使用不能のままになるかもしれない。それは、ニューヨークを襲ったものとしては史上最大のハリケーンが沿岸部に残した無数の爪痕（つめあと）の1つにすぎない。

サンディーは、気候との国際的な戦いの最前線に立つと自負するニューヨーク市が受けた最大の試練となった。この10年間、同市は科学者と協力して、異常気象や海面上昇に備え、温室効果ガスの排出抑制に努めてきた。これほど長期にわたる計画を立てている都市はほとんどない。しかし、サンディーはニューヨークの隠れた脆弱性を暴き出した。死者は43人にのぼり、数千人が家を失った。公共部門と民間部門の推定被害額は約190億ドル（約1.8兆円）にのぼり、金融街は麻痺した。ニューヨーク証券取引所も閉鎖されたが、それは実に、1888年にブリザードによって閉鎖されて以来の出来事だった。

大きな打撃を受けたニューヨークが復興に着手する一方で、科学者や技術者たちは、サンディーが襲来したときに何が起きたのか、そして将来、地球温暖化がさらに進んだときに、ニューヨークはどのような問題に直面するのか、真剣に考えるようになった。しかし、気候変化に関する議論の幅が広がるにつれて、課題

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

も表面化してきた。潜在的な脅威の大きさについても、沿岸部の守りを固めて高潮による被害を減らすために市がどの程度の支出をするべきかについても、人々の意見が一致していないのだ。

ニューヨーク市長Michael Bloombergは、同市がサンディーの被害を受けてから最初に行った2012年12月6日の公開演説の際に、賢明な再投資を行い、長期にわたって都市機能が維持されるよう努力する、と約束した。その一方で、「我々は現実の世界で暮らさなければならず、費用と便益の分析に基づいて、困難な決定をしなければなりません」とも釘をさした。彼は、気候の変化が、高潮だけでなくかんばつや熱波の脅威ももたらすことを指摘して、ニューヨークにとって、今回の高潮の問題を解決すれば終わりなのではなく、その先に新たな戦いが待ち受けていることを常に意識してほしい、と語った。

予想される危険

サンディーが去った直後のマンハッタン南端部は、まるで戦場のようだった。浸水によって変電所がダウンしたため、停電区域から避難してきた人々が、毎晩、懐中電灯を手にして、あてもなく北に向かっていったのだ。

ハリケーンは、ニューヨーク市内のマンハッタン以外の地区にも壊滅的な打撃を与えた。スタテン島では、繰り返し押し寄せる波が数百軒もの家屋を打ち壊し、クイーンズ区のある界隈では、浸水により電気系統がショートして火災が発生した。市内の一部では2週間以上も停電が続いた。今回の高潮を経験し、ニューヨーク市民は、2011年のハリケーン「アイリーン」が直撃ではなく単なるニアミスにすぎなかったことを痛感した。そして今、次に何が起こるのか、不安にかられている。

ニューヨーク中心部でいくつかのオフィスビルを管理しているRudin Management社の最高経営執行者であるJohn Gilbertは、「これまでとは違った新たな“常態”というものがあるのではないか？」と問いかける。「だとしたら、それはどんなものなのでしょう？」。Gilbertの会社はすでにその対策に乗り出した。同社が管理するビルの1つは、ハリケーンによって約1900万*l*もの水が入ってしまったが、現在、電気系統を2階に移しているところだ。「一度起きたことは、また起こる可能性があります。もっと悪い状況になるかもしれません」と彼は言う。

サウスフェリー駅の近くにあるバッテリー公園では、サンディーによる高潮は、平均潮位より2.75mも高い値となった。これは、1923年にここに潮位計が設置されて以来、最も高い観測値だった。2013年2月に*Risk Analysis*誌に発表された論文では、ハリケーンのシミュレーションに基づくデータ解析から、今日の気候のもとでは、これだけの高潮がバッテリー公園を襲う確率は500年に一度程度であると結論づけている（Aerts, J.C.J.H *et al. Risk Anal.* http://dx.doi.org/10.1111/risa.12008; 2013）。

しかし、この論文の著者たちも、ほかの科学者たちも、実際の危険はもっと高い可能性があると言っている。この研究では、バッテリー公園の浸水をハリケーン被害の深刻さのものさしとして使っているが、バッテリー公園には大きな被害をもたらさなくても、市内のほかの区域に大きな被害を及ぼすハリケーンがありうるからだ。そのようなハリケーンも考慮すると、ニューヨーク市がハリケーンにより大きな被害を受ける確率の推定値はもっと高くなる可能性がある。

また、500年に一度という見積もりには、サンディーの風変わりな性質が考慮されていない。サンディーは「フランケンストーム」というあだ名が示すように、熱帯低気圧と強力な冬の嵐が一緒になったものであっただけでなく、満月の大潮のときに、ニュージャージー州の海岸へと進行方向を変えたのだ。マサチューセッツ工科大学（MIT、米国ケンブリッジ）のハリケーン研究者で、この論文の共著者であるKerry Emanuelは、「サンディーは混成型のハリケーンでした」と言う。「研究者は、複数の要因が重なり合った混成型事象に対しても、そのリスクをきちんと評価する方法を理解する必要があるのですが、自分たちにそれができているという自信はありません」。

地球温暖化とともに、危険はどんどん大きくなるだろう。「気候変化に関するニューヨーク市パネル」が2010年に発表した評価によると、2080年までにこの地域の平均海面は0.3～1.4m上昇する可能性があるという。2012年にはEmanuelとその同僚らが、現在の気候のもとで100年に一度の確率で発生するクラスの高潮は、平均海面が1m上昇するなら、今世紀末には3～20年に一度の確率で発生する可能性があることを明らかにした。さらに、今日、500年に一度のクラスに分類される高潮は、25～240年に一度の確率で発生するおそれがあるという（N. Lin *et al. Nature Clim. Change* **2**, 462-467; 2012）。

都市計画の担当者は、科学的に予測不能な要素があるにもかかわらず、現実に、都市を再建し、保護していかなければならないという困難な問題と直面している。科学者の中には10年以上前から、「ニューヨーク市は高潮に対するニューヨーク港の守りを固めるために、ロンドンのテムズ川防潮堤のようなものを建設しなければならない」と主張する者が少数ながら存在していた。今回のサンディーによる被害を受けて、人々は彼らの提案に関心を寄せるようになり、2013年1月にはニューヨーク州パネルが正式な評価を要請した。

橋と防潮堤

防潮堤建設推進派の先頭に立っているのが、ニューヨーク州立大学ストーニーブルック校で高潮モデルの研究室を主宰するMalcolm Bowmanだ。彼は、ニューヨーク港の入口に幅8km、高さ6mの構造物を建設し、イーストリバーとロングアイランド湾との境界に第二の防潮堤を

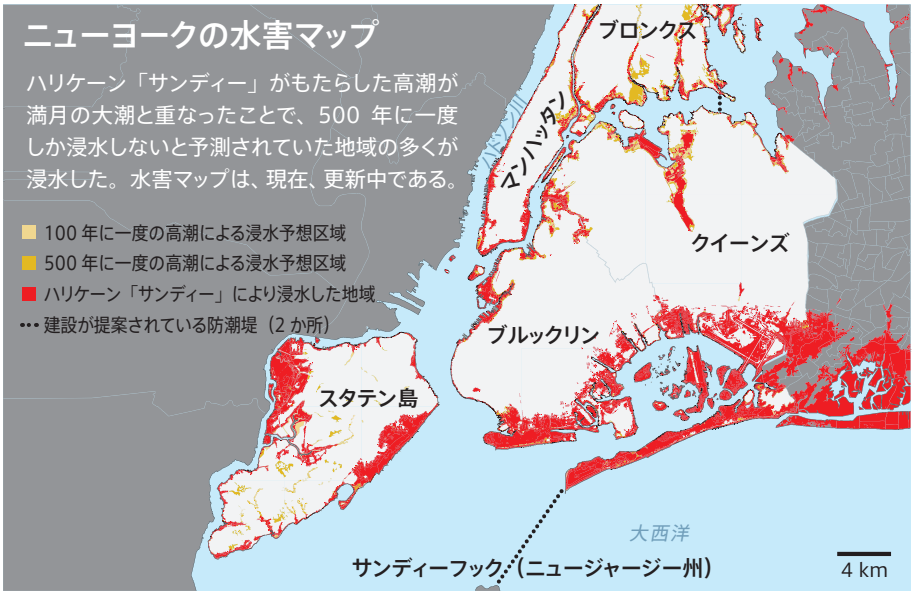
©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

建設することを考えている（「ニューヨークの水害マップ」参照）。ニューヨーク州パネルの見積もりによると、このような防潮堤の建設費は、設計に応じて70億～290億ドル（約0.7～2.8兆円）にのぼるという。しかしニューヨーク港の防潮堤は、空港に行く電車や車両のための橋としても利用できるとBowmanは言う。「私は、来週からコンクリートを流し込めと言っている訳ではありません。調査をする必要がある、と考えているのです」と彼は言う。けれども、サンディーがもたらした高潮被害があっても、ニューヨーク市が大がかりな防御策を講じるようになるかどうかはわからないという。

過去には、大きな災害がきっかけとなって、多額の費用がかかる防御策が講じられたことがあった。ニューヨーク市は、1888年のブリザードをきっかけに、高架式だった通勤電車を地下化した。2005年にはハリケーン「カトリーナ」と「リタ」によりニューオーリンズ（ルイジアナ州）が壊滅的な被害を受け、この町を高潮から守るために総額146億ドル（約1.4兆円）の事業が始まったが、米国陸軍工兵隊はその一環として2012年に11億ドル（約1000億円）の防潮堤を完成させた。

しかし、ニューヨークの都市圏はニューオーリンズよりも大きく、複雑であり、この町を守るためには多岐にわたるアプローチが必要になる。ニューヨーク市の海岸線は800km以上もあり、その住人のうち数十万人が沿岸部に住んでいるが、サンディーにより大きな被害を受けたロングアイランドの沿岸部の大部分は防潮堤では守れない。さらに、防潮堤は時々しか発生しない高潮に対してのみ有効で、ゆっくりした海面上昇や雨による水害を食い止めることはできない。

自然保護団体ニューヨーク・ネイチャー・コンサーバンシーのプログラム・ディレクターで、昨年末までニューヨーク市の長期計画・持続可能性局の副局長をつとめたAdam Freedは、「防潮堤を建設すること自体は間違ってはいませんが、これさえあれば安全というものではありません」と言う。「大事なのは全体論的なアプローチで、地下室にあった電気設備を上の階に移動させることや、予備発電機の数を増やすことなど、地味な対策も多数含まれることになるでしょう」。



SOURCES: FEMA; CITY OF NEW YORK; CUNY

ニューヨーク市当局は、そうした全体論的な取り組みの一環として、かつてこの町を取り囲んでハリケーンから保護してくれていた湿地の残りを広げるという選択肢を検討している。Bloombergニューヨーク市長は演説の中で、湿地は、「我々の町に襲いかかるハリケーンに対する自然の防潮堤として、おそらく最高のもの」であると言った。

しかし、ここ数十年の間に、ニューヨーク市の湿地の大半は重要な不動産になってしまい、サンディーは、これらの地域の開発が何をもたらすかをさらけ出すことになった、とニューヨーク市公園部の湿地・沿岸回復課長であるMarit Larsonは言う。

ハリケーンの襲来から数週間後、Larsonはスタテン島の浜辺の近くに車をとめて、そこに広がる葦原（あしはら）をじっと見つめた。この葦原は、1980年代後半に始まった「スタテン島ブルーベルト」プログラムの対象になっている。このプログラムは、湿地の保全を通じて、豪雨などであふれた雨水の管理に役立てようというものだが、スタテン島の湿地はサッカー場ほどの広さもなく、サンディーがもたらした高潮はその上を進んで近くの家並みに損害を与えた。「歴史的地図で湿地だった場所は、すべて浸水しました」とLarsonは言う。

法律による規制

現時点で2300～4000haの湿地があるニューヨーク市は、湿地間のネットワークの強化に乗り出している。市長の2013～17年の予算計画には、海岸を開発から保護して再設計する取り組みの一環として、湿地の復元に2億ドル（約190億円）以上の費用が盛り込まれている。

サンディーは、建物を適切に建設することで、将来のハリケーンによる水害を減らせることも教えてくれた。スタテン島のある界隈では、崩れ落ちた屋根が、かつてそこに古いバンガローが立っていたことを示していた。しかし、その隣には新しい住宅がきちんと残っており、ガレージの浸水以外は目立った被害を受けていなかった。両者を比べれば、現代の建築法規の有用性は一目瞭然だ。ニューヨーク市では、連邦緊急事態管理庁（FEMA）が定めた「100年に一度の高潮による浸水予想区域」に建設される新しい建物は、予想水位より低い部分に居住部分を作ったり暖房ユニットなどの主要な設備を置

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

いたりしてはいけないことになっている(「ニューヨークの水害マップ」参照)。

しかし、ニューヨーク市が行った区域指定による規制は、サンディーから町を守ることができなかった。当局の見積もりによると、今回のハリケーンによって被害を受けた家屋の3分の2が「100年に一度の高潮による浸水予想区域」の外に位置していたという。この点について科学者らは、FEMAの水害マップは明らかに時代遅れなものであり、100年に一度のスケールのハリケーンが指定区域の外まで被害を及ぼす可能性は十分に考えられた、と指摘する。2013年1月、FEMAはニューヨークの新しい水害マップを公開し始めたが、その地図では「100年に一度の高潮による浸水予想区域」が大幅に拡大されている。

Emanuelらによる最新の研究では、ニューヨークが高潮により直接受ける被害の平均年間被害額は、5900万～1億2900万ドル(約56億～123億円)と推定されている。これに対して、100年に一度クラスのハリケーンに備えるための費用は50億ドル(約4800億円)、500年に一度クラスのハリケーンに備えるための費用は110億ドル(約1兆円)にも達する可能性がある。これらの数字には、生産性の喪失や地下鉄などの主要なインフラの被害は含まれていない。

Bowmanやほかの研究者らは、ニューヨーク市はその全域を500年に一度クラスの高潮から守れるように努力しなければならないと主張するが、すべての解決策が物理的なものである訳ではない。研究者や政府当局者の間では、ニューヨーク市は、災害への対応能力を高め、人々の復興努力を支えるための基本的な社会福祉事業を強化しなければならないとする声が強まっている。

*Risk Analysis*誌に掲載された論文の共著者で、アムステルダム自由大学(オランダ)で沿岸部のリスク管理の研究を進めているJeroen Aertsは、何よりも重要なのは、ニューヨーク市とその周辺地域が海岸線を守るために包括的な戦略を立てる必要があるということだ、と指摘する。Aertsはニューヨーク市当局と共同で、防潮堤システムの提案と、都市計画、区域指定、洪水保険の変更について検討している。「マスタープランが必要なのです」と彼は言う。

将来を見据えた復興

Seth Pinskyは、この目標のために努力している。ニューヨーク市経済振興公社の社長である彼は、Bloombergの指名により、地域とインフラをより安全なものにするための総合的な復興計画の作成を任された。彼は、海岸地区の新しい公園や住宅地は、ハリケーンによく耐えたと指摘する。Pinskyによると、クイーンズ区のアーバーン・バイ・ザ・シーという団地は、海から少し離れた場所に盛り土をして建設されていたうえ、砂丘によっていくらか守られたこともあって、今回の高潮を乗り切ることができたと言う。「周辺地域と比較すると、ここの建物はほとんど被害を受けませんでした」。

ニューヨーク市が高潮への守りを固めるためには、天文学的な費用がかかるだろう。2013年1月、米国議会は、サンディーがもたらした被害からの復興費用の約600億ドル(約5.7兆円)と、陸軍工兵隊によるインフラの修復と建設など、より長期的な投資のための約330億ドル(約3.1兆円)の資金を供給することを承認した。

Pinskyは、その資金のうちどれだけがニューヨーク市に来るかはわからないと言うが、十分な金額ではないことは確信している。彼のグループが公式な勧告を行った後で、ニューヨーク市は6月にその予算を定める。復興に向けた取り組みには、おそらく、公的金融と民間金融を「創造的に」混合していく必要があるだろうと彼は言う。「世界中で試みられたありとあらゆる方策を組み合わせる必要があるかもしれません」。

Pinskyは、もっと理性的で賢い開発を進めるよう要請しているが、ニューヨーク市が高潮や海面上昇に対処するために思い切ったアプローチをとる可能性は低いと言う。「ニューヨーク市の海岸線から退く必要はありませんし、現実問題として不可能です」と彼は言う。

沿岸部の開発規模の大きさを考えると、Pinskyの評価について議論するのは簡単ではない。ただ、多くの気候科学者は、沿岸部の開発を進めていっても、議論を先送りにするだけで、将来の水害の可能性が大きくなってしまうのではないかと心配している。海面上昇はこれからも長期にわたって続くのだから、多くの都市が、いつかは水害対策をしなければならないのだ。

コロンビア大学ラモント・ドハティー地球観測所(ニューヨーク州パリセーズ)の地球科学者Klaus Jacobは、「私はまだ、将来を見据えた解決策を見たことがありません」と言う。けれども彼は、自分自身にも将来的な展望が欠けていることを認めている。彼とその妻は、2003年にピアモント(ニューヨーク州)のハドソン川沿いの低地にある家を買った。そんな場所の家を買うのは専門家としての信条に反していたが、盛り土をすればよいと考えたのだ。しかし、法律により建築物の高さが制限されていたため盛り土をすることができず、彼の家はサンディーによる被害を受けた。夫妻は今、家を建て直しているところである。

「ある意味、私は危険を信じていなかったのだと思います」とJacobは言う。彼は家を高くするための新たな申請が認められることを望んでいるが、それでも、今世紀の終わりには、海面上昇によりその家を維持できなくなるのではないかと心配している。ニューヨーカーも、すべての沿岸地域の住民も、サンディーの教訓から学ばなければならない。「最終的には、我々は皆、もっと高い土地へ引っ越さなければならないでしょう」とJacobは言う。■

(翻訳:三枝小夜子)

Jeff Tollefsonは、ニューヨーク在住の*Nature*記者。

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

時代遅れのコレステロール目標値

Cholesterol limits lose their lustre

Heidi Ledford 2013年2月28日号 Vol. 494 (410-411)

米国で心臓の健康に関するガイドラインの改訂が行われる。
数値目標最優先の治療からの脱却を図るためだ。

退役軍人保健局（米国ワシントンD.C.）で臨床分析と報告を統括するJoseph Francisは、健康診断で「悪玉」LDLコレステロール値が正常値の2倍であることを知らされ、リピトール（アトルバスタチン）の服用を始めた。この薬は、血中のコレステロール値を下げる「スタチン」の一種で、製薬史上最も売れている薬剤だ。服用開始からまもなく、彼はコレステロール低下薬の弊害と、その薬の使用法を指導する医師によるアドバイスの弊害に気が付いた。FrancisのLDL値は急激に低下したが、臨床ガイドラインが定める目標をわずかながら上回ったままなのだ。ほかの薬剤を併用しても効果がなく、リピトールの投与量を増やすと筋肉痛が生じた。まれではあるが、スタチンの副作用で筋肉が破壊される場合がある。

そのためFrancisはリピトールの量を元に戻し、高いコレステロール値と付き合っていくことにした。後にFrancisは、LDLの目標値を徹底して追求する医師たちが、患者に積極的な治療を行っていることを知った。しかし、目標値が記載されたガイドラインの科学的根拠は、驚くほど不確かであることをFrancisは発見した。「LDL値をさらに下げようとすることが患者のためになるとは必ずしもいえないのです」とFrancisは明かす。

アドバイスの標準はまもなく変わるかもしれない。米国立心肺血液研究所（メリーランド州ベセスダ）は、Francisの治療法を決定した臨床ガイドラインを十数年ぶりに改訂する（「何年続くか」を参照）。2013年中に発表される見通しの「成人治療パネル第4版（ATP IV）」は、同研究所が任命した心臓病医15人による専門家パネルによって作成された。このガイドラインは、米国内外の臨床診療の方向性を決定付け、医薬品市場にも大きな影響を及ぼすことになる。コレステロール目標値に関しては、これまで臨床試験で直接的に調べられたことがなく議論が高まっていたが、新しいガイドラインにはこうしたことも反映されると考えられる。

エール大学（米国コネチカット州ニューヘイブン）の心臓病医Harlan Krumholzは、「リスク因子をいじることでリスクが変わると決めてかかってはいけません。その思い込みのせいで、この10年間に何度も痛い目に遭ってきたのです」と説く。

2002年にATP IIIによって、LDLを目標値未満に下げることが医師に求められて以来、「低コレステロール」は「心臓の健康」と同義とされてきた。患者は自分のコレステロール値を自慢し、医師は飲み水にスタチンを混ぜると冗談を言い、一部の病院では患者のコレステロールを目標値未満にした医師に報酬を与えている。

ヘルスケアの技術と情報を取り扱うIMSヘルス社（米国コネチカット州ダンベリー）によれば、2011年に米国の医師が出したコレステロール低下薬の処方箋は2億5000万枚近くにのぼり、その市場規模は185億ドル（約1兆8000億円）という。マーシー・ヘルス（米国ミズーリ州チェスターフィールド）で転帰の研究を統括する心臓病医のJoseph Drozdaは、「とりわけ製薬業界は、目標値最優先の治療に大賛成でしょう。そのおかげで商品がどんどん利用されるのですから」と話す。

シカゴロヨラ大学ストリッチ医学系大学院（米国イリノイ州）の疫学者Richard Cooperによれば、ATP IIIは「コレステロール値を迅速に低下させれば心臓発作の危険性が低下する」という、当時医学界で強まっていた統一見解を反映したものだったという。Cooper自身が、そのガイドラインの編集委員会の一員だった。この委員会は、臨床データを重視したものの、基礎研究や臨床試験後解析からの推定も取り入れていた。Cooperによれば、LDLの目標値は、これがメッセージを発するように「特定の値よりは低くしよう」という形で設定されたという。「証拠がないわけですから、『低ければ低いほどよい』と断言したくはなかったのです。でも、『より低いほう』がめざすべき正しい方向という印象を、大半の人に強く与えてしまいました」。

それに対して今回のATP IVは、科学的厳密性を重んじ、無作為化臨床試験のデータに焦点を合わせることにしたと、委員長を務めるノースウェスタン大学医学系大学院（米国イリノイ州シカゴ）の心臓病医Neil Stoneは説明する。そうなれば、きちんと試験されたことのな

何年続くか

成人治療パネル（ATP）は、LDL「悪玉」コレステロールの許容値を徐々に切り下げる一方、心臓発作リスクの高い患者の予防に重点を移しつつある。

名称	年	心臓発作のリスクが最も高い患者のLDL目標値（mg dL^{-1}）
ATP I	1988	≦130
ATP II	1993	<130
ATP III	2002	<100
ATP III (update)	2004	<70

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

いLDLの目標値は葬られるだろう、とKrumholzは言う。臨床試験では、スタチンが心臓発作のリスクを下げることが繰り返し示されているのに対し、ほかの薬剤ではLDL値は下がっても心臓発作のリスク低下は今のところ報告されていない。すなわち、スタチンによって得られる効果は、コレステロール値を下げる作用とは別の作用、例えば心臓病のもう1つのリスク因子である炎症の緩和などの表れと考えられる。

KrumholzのLDLの目標値に対する疑いは、経験に基づくものだ。2008年と2010年に公表されたACCORD試験（2型糖尿病患者を対象に行われた、心血管リスクを制御する治療法を検討する試験）の結果では、血圧や血糖値を規定の目標値に下げても心臓発作のリスクが下がらないことが報告され、定説に疑問を呈することとなった。血糖値の強化コントロール群では、むしろリスクが増大した。この結果について、コロラド大学デンバー校の心臓病医Robert Vogelは、「リスク因子が病気の原因という思い込み」のばかばかしさを示すものだったと語る。「背の低い人は心臓病のリスクが高いですが、ハイヒールを履いてもリスクは下がりませんよね」とVogel。

ミネソタ大学医学系大学院（米国ミネアポリス）の心臓病医Jay Cohnも、LDL値が偏重されるあまり患者が不要なスタチン療法を施されているのを懸念する。また彼は、心臓発作の患者に高LDLが多い訳ではないと指摘する。スタチンを用いた治療は、超音波などの非侵襲的な方法で検査可能な動脈の健康状態に基づいて行うべきだ、とCohn。「動脈と心臓に問題がなければ、LDLや血圧がどんな値でも構わないのです」。

だが、LDLの目標値を撤廃することに賛成の心臓病医ばかりではない。実際、ジョンズ・ホプキンス大学医学系大学院（米国メリーランド州バルチモア）の心臓病学特別研究員のSeth Martinは、ATP IVではLDLの目標値をさらに下げるべきだと考えている。目標を簡明化することで重要なメッセージが伝わりやすくなり、スタチン療法が必要と考えられる患者の多くが治療に前向きになるのだという。「目標値をただ放棄することが最良のシナリオだとは思えません」。

市場調査を行うディシジョン・リソーシズ社（米国マサチューセッツ州バーリントン）のアナリストDonny Wongは、決定がどうあれ、製薬業界は注視し続けるだろうと推測する。スタチン類の多くは特許が切れているので、製薬大手は次世代LDL低下薬の上市でしのぎを削っている。特に、コレステロール合成に関与するPCSK9という酵素を阻害する薬剤には、何百万ドルもの資金が投入されている。だがこの薬剤による治療法では、LDLは低下するものの、心臓発作が減ることはまだ示されていない。

Francisは、新しいガイドラインで目標値が緩和されることを期待する。Francisのチームは昨秋、独自に臨床基準値を変更することを決め、LDLの目標値のみに頼るのではなく、ほかに問題のない患者でLDL値が高い場合に適量のスタチンが処方されるようにした。Francisは、退役軍人保健局で基準値を見直す際、ATP委員会にも所属している複数の外部専門家の意見を聞いたと打ち明けた。そして、ATP IVのガイドラインも退役軍人保健局と似た方式になると予想する。

Francisの食生活はますます野菜中心になっているのに、LDL値にはいっこうに変化がない。「主治医に『あんな目標値なんか気にするな』と言ってやりたくなるときがあります。もうじき変わるのですから」とFrancisは言う。■

（翻訳：小林盛方）

ランドサット8号が引き継ぐ歴史

Landsat 8 to the rescue

Jeff Tollefson
2013年2月7日号 Vol. 494 (13-14)

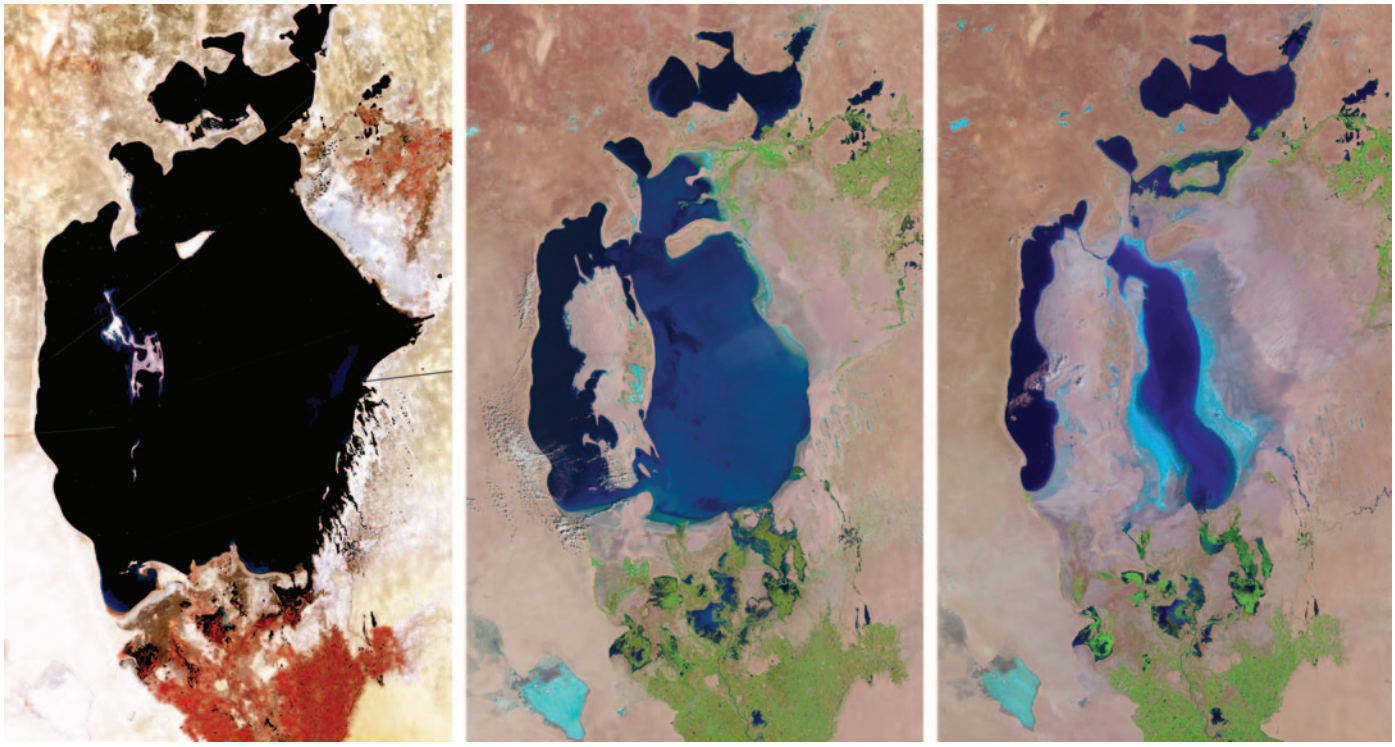
NASAの歴代のランドサット衛星は、1972年以来、地球環境の変化を連続的に記録してきた。今、ランドサット8号がその任務を引き継いでいく。

2013年1月6日、ランドサット5号が最後の仕事を終えて沈黙したとき、世界中の科学者がその死を悼んだ。多くの困難を乗り越えてきたこの衛星に、心からの感謝を捧げたのだった。1984年に打ち上げられたランドサット5号は、トラブル続きの後継機を尻目に、28年という記録破りの長期にわたって運用され、融解する氷河から燃える熱帯雨林まで、変わりゆく地球の画像を撮影し続けた。

1993年に打ち上げられたランドサット6号は軌道導入に失敗し、1999年に打ち上げられたランドサット7号は今日も運用されているが、データが部分的に欠損するようになり、燃料も尽きつつある。ランドサット5号の運用が終わった今、世界で最も長く続いている（そしておそらく最も影響力のある）地球観測データの収集は、2月にバンデンバーグ空軍基地（米国カリフォルニア州）から打ち上げられるランドサット8号に引き継がれることになる（最新情報は記事末の翻訳者註を参照）。

カーネギー研究所（カリフォルニア州スタンフォード）の生態学者で、ランドサットのデータを利用して熱帯森林の状

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.



USGS EROS DATA CENTER

1977年から2010年にかけて歴代のランドサット衛星が撮影した中央アジアのアラル海。かつては世界で4番目に広い湖だったが、湖に流れ込む河川の流域の開発により、大幅に縮小してしまった。

態を追跡しているGreg Asnerは、「今度のランドサット8号は、NASAにとって、この10年間で最も重要な地球観測ミッションです」と言う。彼らはこの数年間、老朽化し、故障した2機の衛星をだましだまし使ってきたが、「我々はついに天空の目を取り戻すのです」とAsnerは言う。「この目は、非常に優れたものになるでしょう」。

1972年に打ち上げられた1号から、ランドサット衛星は地球上の土地被覆と土地利用の変化を記録できるように設計されていた。初期のランドサットは、いくつかの可視光周波数と近赤外周波数で画像を撮影しており、解像度はいずれも80mだった。ランドサット4号と5号になると、解像度は30mまで向上し、より波長の長い赤外線で観測できるようになって、土壌水分や植生の研究に役立った。ランドサット7号にはマルチスペクトルセンサーが追加され、解像度は15mになった。ランドサット・プログラムは、注意深い較正を通じて、最初の周波数での観測データを40年にわたって途切れることなく蓄積してきた。この期間は、地上の様子が大きく変化した時期と一致している。

ランドサット8号のミッションが決定したのは2002年のことだったが、実現に至るまでには紆余曲折があった。NASAが最初に考えていたのは、民間衛星からデータを購入するという方法だった。次に、ランドサットのセンサーを複数の極軌道衛星に分けて搭載する計画を提案した。そして、ジョージ・W・ブッシュ政権時代の2005年に、やはり独立の衛星が必要であるということになったのだ。この衛星の正式名称はLandsat Data Continuity Mission（ランドサットデータ連続性ミッション：LDCM）と決まった。

大型のジープほどの大きさで、8億5500万ドル（約810億円）を投じて製作されたランドサット8号は、高度約700kmの軌道で地球を周回する。この衛星に搭載されているセンサーの精度は、前の世代のものよりもさらに高い。ランドサット8号は、鏡を使って眼下の地形を走査して少数のセンサーにその信号を送る代わりに、1つの帯域幅当たり約7000個のセンサーを使って、地上の幅185kmの範囲を瞬間的にとらえることができる。これにより、各地点につき、より多くのデータと、より質の高い画像が得られる。NASAゴダード宇宙飛行センター（メリーランド州グリーンベルト）のプロジェクト科学者Jim Ironsは、「今回のデータは、地表の場所ごとの変化や時間を通じた変化を、従来よりもはるかに高い感度でとらえることになります」と言う。「モロコシ（トウモロコシに似たイネ科の一年草）とトウモロコシの区別や、カシとカエデの区別もできるようになるかもしれません」。

ランドサット8号は、歴代のランドサット衛星の中で初めて、海洋や大気中のエアロゾルの観測に特に有用な「ウル

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

トラブルー」帯でデータを収集することになる。また、地球の気候に大きな影響を及ぼす巻雲（いわゆる「すじ雲」）への感度が高い短波赤外帯でのデータも、新たに収集する予定である。

ランドサットは、1号の時代から今日までに、イデオロギーと組織の大きな変化に耐えてきた。例えば、1980年代と1990年代には、米国議会の決定により、ランドサットとすべてのデータの運用が民間企業に委託されていた。画像は1枚当たり数千ドルの価格で販売されたため、これを入手して分析できるのは少数のエリート科学者だけになってしまった。しかし、2001年以降は再び政府が運用するようになり、2008年からは、このデータを監督する米国地質調査所がアーカイブを公開し、世界中の人々が無料で利用できるようになった。アクセス数は激増した。以前の画像の販売数は1年間に約1万5000枚だったが、現在の年間ダウンロード回数は平均約300万回である。

カナダ天然資源省林野部（ビクトリア）の研究者でランドサットの科学助言チームのメンバーであるMike Wulderは、「ランドサットはデータの民主主義を実現しました」と言う。「ランドサットのデータは、世界の資源なのです」。

ランドサットがもたらしたデータは、リモートセンシングの専門家の間にデジタル革命を引き起こし、彼らは、膨大な量のコンピューティング資源を活用し、地球の時間的・空間的変化の高解像度の記録をつなぎ合わせるためのツールを開発した。NASAの衛星「テラ」と「アクア」に搭載された中解像度撮像分光放射計（MODIS）など、ほかの衛星に搭載された観測装置は、一度により広い領域のスナップショットを撮ることができるが、解像度は格段に低い。

ランドサットを使えば、「狭い範囲（詳細に）でも非常に広い範囲でも、地理的にカバーできます。だからこそ、ランドサットは、土地被覆と土地利用の変化を監視する活動の最前線にあると言えるのです」とAsnerは言う。

ランドサット8号は、軌道投入から90日後に稼働し始める予定だが、最初の画像は3～4週間以内に届くことになっている。ランドサット5号はNASAの技術者がギネスブックに申請するほど長期にわたって活動したが、8号はそれほどまでは長生きできないかもしれない。Ironsは、長生きとは違った偉業をこの衛星が達成すると考えている。「70億人の人類全員が、このミッションから恩恵を受けることになると言っても過言ではないのです」。■

（翻訳：三枝小夜子）

翻訳者註：ランドサット8号は2013年2月11日に無事に打ち上げられ、3月18日には最初の画像が届いた。なお、2月10日にはランドサット5号が「世界で最も長く運用されている地球観測衛星」としてギネスに認定されている。

RESEARCH HIGHLIGHT

温暖化で、集中豪雨の雨量が増える

Harder rains in a hotter climate

2013年2月21日号　Vol. 494 (284)

気候が温暖化するにつれて、雷雨などの短時間の激しい雨による降水量が増加し、長時間降り続く雨による降水量の増加は、相対的にあまり多くならないかもしれない。

気温が上昇すると極端な降水事象の頻度が増えるが、科学者たちは、短時間・長時間どちらの種類の雨が、こうした変化の影響を強く受けるのか、なかなか特定できずにいた。コペンハーゲン大学（デンマーク）のJan Haertersらは、何か月にもわたって5分おきという高い頻度で測定したレーダー雨量と雨量計のデータを使って、ドイツ各地の降水量を調べた。また、雲の観察を利用して2種類の雨を区別した。

SETH RESNICK/GETTY IMAGES

その結果、気温の上昇とともに、長時間降り続く雨がもたらす降水量は、おおむね予想どおりに増加していることがわかった。これに対して、短時間の激しい雨がもたらす降水量は、気温の上昇に伴う大気の保水力の増加よりも急速に増加していた。将来、地球温暖化が進んだときには、こうした不規則な降水パターンのほうが、支配的になる可能性が高い。

Nature Geosci.
http://dx.doi.org/10.1038/ngeo1731 (2013)

（翻訳：三枝小夜子）

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

環境にやさしいセメント

Concrete solutions

Ivan Amato 2013年2月21日号 Vol. 494 (300-301)

古代ローマの時代から現代の建築構造物に至るまで、
セメントは人類文明に不可欠な建築資材としてあり続けてきた。
しかし、セメントの製造では大量の温室効果ガスが排出されてしまう。
それを削減するには、この複雑な材料を徹底的に理解する必要がある。

今年、全世界で生産されるセメントは約34億トンにのぼる。これをすべてマンハッタン島に注ぎ込んだとしたら、高さ13mの巨大な一枚岩ができる計算だ。中国やインドといった開発途上国で建設ブームが進行中であることを考えると、来年はもっと大きな一枚岩になるだろう。セメントは、2000年前の古代ローマのパンテオンから現代の超高層ビルや幹線道路に至るまで、さまざまな人工物を築き上げるのに使われており、文明に不可欠な原材料といえる。

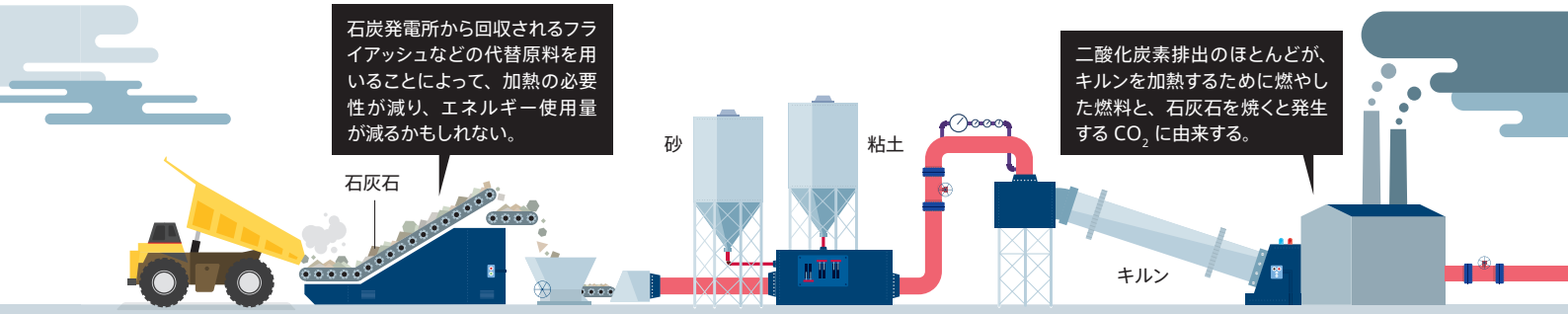
今日最も広く用いられているセメント材料が「ポートランドセメント」で、これは石灰石と粘土を巨大なキルンという窯で焼くことによって製造される。残念なことに、この過程で最終生成物1トン当たり1トン近い二酸化炭素が大気中に排出される。結果として、ポートランドセメントの製造工程で生じる温室効果ガスは、人為的な温室効果ガスの全排出量の約5%をも占めるのだ。

排出削減方法を模索する研究者にとって、セメントは単なるありふれた大量生産品ではない。実はセメントは、材料科学分野で最も複雑な物質の1つでもあるのだ。セメントの構造、組成から、水を混ぜると固まる反応に至るまで、「私たちはまだセメントに関する最も基本的な疑問にも答えられていないのです」とマサチューセッツ工科大学（米国ケンブリッジ）のコンクリート・サステイナビリティ・ハブ（CSHub）のディレクターHamlin Jenningsは言う。

「水とセメント粉末が触れ合うと何が起こるのか。この問題についても活発な議論が展開されています」と米国立標準技術研究所（メリーランド州）のセメントの専門家Kenneth Snyderが付け加える。「議論はほとんど宗教戦争状態と言っていいでしょう」。

にもかかわらず、炭素税やキャップ・アンド・トレード市場の実現が見込まれることから、世界中の業界団体が、環境にやさしい持続可能なセメント製造計画を採用する傾向にある。取り組みの内容は、基礎研究の支援から国際建築基準の改正までさまざまであり、うまくいけば、最終的にはセメント産業の二酸化炭素排出量が半減する可能性がある。

CSHubは、この分野最大の学術研究センターの1つであり、業界のスポンサーから5年にわたって総額1000万ドル（約9.5億円）の資金を得て2009年に



セメントの製造工程

セメントは、舗道から超高層ビルに至るまで、あらゆるところに使用されているが、主な二酸化炭素排出源でもある。

1 石灰石を破砕

2 粘土を混ぜる（アルミノケイ酸塩粘土）

3 キルンに入れて1500℃で焼成

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

設立された。現在、10数名の主任研究員を擁しており、いろいろな構造体の機能から量子力学的特性に至るまで、セメントを徹底的に理解し尽くそうと努めている。「セメントができるとき分子スケールで何が起こっているのかを考えると、理屈が明らかになります。これを求めて奮闘しているのです」とJenningsは言う。

謎に満ちた硬化過程

セメントの製造工程（下図を参照）は、石灰石とアルミノケイ酸塩粘土の混合から始まる。「それぞれの原料が、特有の化学的性質を持ち、特有の不純物を含んでいるのです」とJenningsは言う。それらをキルンに入れて約1500℃で焼成すると、いろいろな反応が起こり、「クリンカー」という灰色がかったビー玉サイズの塊ができる。クリンカーは、ケイ素、鉄、アルミニウムの酸化物（ほとんどが粘土由来）と酸化カルシウムを含んでいる。

酸化カルシウムは、加熱により石灰石の炭酸カルシウムから二酸化炭素が抜けることによって生成するが、こうして抜け出た二酸化炭素が、セメント製造工程からの主な排出源の1つである。もう1つの排出源は、燃料を燃やしてキルンを加熱するときに発生する二酸化炭素である。次に、クリンカーは冷却され、セメントの硬化速度を調節するために石こうと混ぜ合わされる。その後、粉砕して小麦粉程度の硬さの粉末にされ、バッチプラント（生コン工場）へと配送される。

バッチプラントではセメント粉末に水を混ぜてペースト状にするが、その稠度（ちょうど）は使用目的（例えば橋の杭（くい）か舗道か）に応じて調節される。ほとんどの場合、ペーストに砂や砂利、小石が混ぜられる。こうしてできたコンクリートスラリーが、コンクリートミキサー車で建設現場に運ばれ、型に注ぎ込まれた後で硬化する。硬化過程はすぐに始まるが、完全に終わるまでに数か月かかることもある。

「最初の数時間は流体状態なのですが、その後、猛烈な化学反応が同時に始まり、硬化を促す生成物が生じます。この不思議な現象について、精力的に研究されているのです」とJenningsは言う。最も重要なのは、水と粉末状クリンカーの混合物を、人工の石、つまりケイ酸カルシウム水和物のマトリックス（$CaO–SiO_2–H_2O$、略してC–S–H）に変える水和反応である。「地球上のあらゆる建造物に、こうした液体から石への転移が利用されているわけです」とCSHubの物理化学者Roland Pellenqは言う。

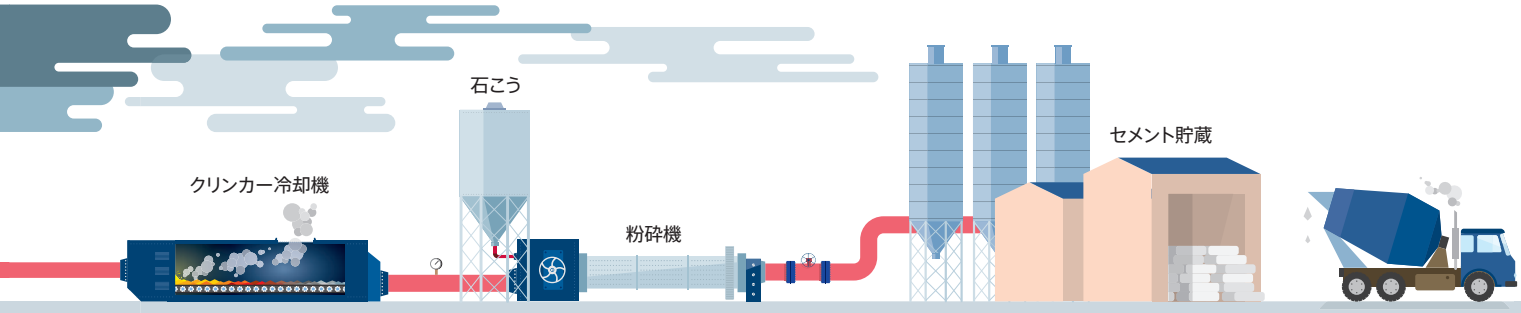
しかし、C–S–Hの化学組成が腹立たしいほど不明確なのだとPellenqは指摘する。各成分は一定の比率を持たず、硬化したコンクリートサンプル中の反応生成物は、最初の原料、用いた水の量、カルシウム／ケイ素比のほかに、添加剤、不純物、温度、湿度によっても変化する。当然のことながらコンクリートは不透明なので、C–S–H生成時の分析は非常に困難である。

レシピを微調整

こうした困難にもかかわらず、PellenqとCSHubの共同研究者たちは炭素排出問題の解決に向けて前進している、とPellenqは言う。有望な解決策は、燃やす燃料を少なくできるよう焼成温度を下げる手段を見いだすことだ。Pellenqが目を付けたのは、エーライト（Ca_3SiO_5）とビーライト（Ca_2SiO_4）である。これらはクリンカー中の主要鉱物であり、セメント硬化時にC–S–Hに変化する。

エーライトはビーライトよりも反応性が高く、水を加えてから数時間以内に硬化し始め、コンクリートに初期強度をもたらす。しかし、エーライトの生成に1500℃の温度が必要なのに対し、ビーライトは約1200℃で生成する。最終的にはビーライトのほうが強くなるのだが、ビーライトは硬化が始まるまでに数日から数か月かかるので、そのままでは建設資材としては使えない。Pellenqらは、エーライトと同等の反応性を持ち、低いキルン温度で生成する（このため燃料を節約できる）ビーライト結晶構造があるのではないかと考え、研究を進めている。

ビーライトの反応性は、結晶中の電子



4
灰色の塊状のクリンカーができる

5
クリンカーに石こうを混ぜた後、粉砕して微粉末状にする

6
セメント粉末に砂（あるいは砂利や小石）と水を混ぜる準備がなされ、建設現場で使用される

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

分布など詳細な原子スケールの状態に依存する。研究者らは、C–S–Hの構造がアルミニウムやマグネシウムなどの不純物の影響をどのように受けるか調べるため、量子力学的計算を行った（K. Van Vliet *et al. MRS Bull.* **37**, 395–402; 2012）。「クリンカーを量子力学的に設計するには、電子がどこにあるのか知る必要があるのです」とPellenqは話す。CSHubの研究者らは、エーライト結晶では常に一部の結晶面が他の面よりも水に溶けやすいのに対し、ビーライト結晶はすべての結晶面が同様なので、水との反応性が低いことを見いだした（E. Durgun *et al. Chem. Mater.* **24**, 1262–1267; 2012）。このため、ビーライトの硬化速度はエーライトより遅くなる。しかしこの結果は、マグネシウムなどの不純物を添加すればビーライトが水に溶けやすくなる可能性があることを示唆するものでもある、とPellenqは言う。建設用セメントの主成分として使えるほど硬化を速くできるかもしれない。

ところが、低温ビーライトへの動きは、新たな問題を引き起こす。CSHubの機械技術者Franz-Josef Ulmのチームは、ビーライトを粉砕して粉末状にするには、エーライトの4～9倍のエネルギーが必要であることを見いだしたのだ。したがって、ビーライト含有量の多いクリンカーを使用することで二酸化炭素排出量が削減されるというメリットが、減殺されてしまう可能性がある。

従来のクリンカーに代わる代替品に解決策を求める会社もある。Ceratech社（バージニア州アレクサンドリアのセメント会社）の研究者は、2000年前、古代ローマの技術者たちが使用したセメントからインスピレーションを得た。その主成分は、火山灰の一種、ポッツォラーナであった。ポッツォラーナは水と反応してセメントになるので、天然のクリンカーとして働く。

Ceratech社が利用したのは、工業版ポッツォラーナ、すなわちフライアッシュである。フライアッシュとは、石炭火力発電所の燃焼ガスから回収される微粒子のこと。米国の発電所は毎年およそ7000トンのフライアッシュを生み出しているが、そのほとんどが貯蔵もしくは埋立処分される。Ceratech社は数種の独自の液体添加剤と混ぜ合わせることによって、フライアッシュをセメント粉末に変換している。その工程は熱を必要としないので、このフライアッシュセメントはカーボンニュートラルだとCeratech社は説明する。

「バッチプラントでは長年にわたり、多くて15%のフライアッシュを含んだ混合物が作られてきましたが、当社の調合では、95%がフライアッシュで5%が液体成分なのです」とCeratech社の副社長Mark Wasilkoは言う。加えて、フライアッシュセメントから作製したコンクリートは、従来のものより強く、コンクリートの使用量を減らすことができると彼は言う。Ceratech社によると、一般的な3階建て4600m^{2}のビルの場合、フライアッシュセメントを利用すれば、コンクリートの総量を183m^3、鉄筋の総重量を約34トン減らせるという。その結果、374トンのフライアッシュが埋立地に向かわずに済み、320トンの二酸化炭素が排出されずに済む計算になる。

「我が社はセメント業界ではごく小さな存在なので、当社の排出削減方法の影響力は、数十億トンのうちのごくわずかにすぎません」とWasilkoは言う。大規模な二酸化炭素削減は、次世代セメントが、建設業界の何千という独立した生産者、技術者、建築家、都市設計者、建築検査官によって受け入れられないかぎり、実現しない。必要なのは、従来の安心なセメントをやめて新しい環境にやさしいセメントを選ぶときの抵抗感、リスク感覚を減らすことだ。問題は、「うまくいかないと上司に叩かれるから使わない」といった消極性だとSnyderは指摘する。

二酸化炭素排出のコストを大幅に高くするような税やキャップ・アンド・トレード方式を多くの国々が採用すれば、こうした姿勢は変わるかもしれない。しかし、消極性を克服する具体的で短期的な方法は、橋や道路やビルなど宣伝となる構造物を建造し、新しいセメントやコンクリート材料が実際に実現可能であることを証明することである。Ceratech社が毎年取り組む数十のプロジェクト、例えばジョージア州サバナ港のドック構造体や、Gulf Sulphur Services社（テキサス州ガルベストン）向けの薬品処理槽などが、そうした目的にかなうことを望んでいる、とWasilkoは言う。

前進する理由は十分にある。この記事を読むのにかかった8分程度の時間に、セメント産業は3万トンもの二酸化炭素を大気中に放出してしまうからだ。■

（翻訳：藤野正美）

ISTOCKPHOTO

Ivan Amatoは、米国メリーランド州シルバースプリング在住のフリーランスライター。

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

緊縮財政に適応したキャンパス作り

Campus girds for lean times

Erika Check Hayden 2013年2月7日号 Vol. 494 (19)

カリフォルニア大学サンフランシスコ校の新たな医療拠点は、
大学の研究体制維持にも貢献しようとしている。

スタートから10年を経たUCSFのミッションベイ・キャンパスは、緊縮財政に適応しながら前進している。

UCSF

サンフランシスコ（米国カリフォルニア州）のダウンタウンから南東へ約1km。そこに、カリフォルニア大学サンフランシスコ校（UCSF）の新しいミッションベイ・キャンパスがある。広さは23haあり、ここを訪れると、米国の不景気がウソのように思えてしまう。この地区は、サンフランシスコ再開発計画の主役と位置づけられている。新たに植栽された公園、新しい研究室、バイオテクノロジー会社や製薬会社の事務所が作られ、2015年にオープン予定の289床の医療センター（病院）の建設現場もある。

今から10年前、最初の建物がオープンしたとき、UCSFミッションベイ・キャンパスは「これまで建設された臨床研究キャンパスの中で最も野心的であり、大学における生物医学研究事業の成長を期待した高価な賭け」と評された。総費用30億ドル（約2900億円）のプロジェクトの始まりだった。

しかし現在、緊縮財政によって米国立衛生研究所（NIH）の研究助成金は減額され、米国の医療制度改革によって病院の収益が脅かされるようになり、状況は一変した。ミッションベイ・キャンパスはいまや、医学研究拠点に対する脅威と立ち向かい、投資から寄付金に至るまで、健全な運営を維持するためにさまざまな戦略を構築しなければならない。そのような意味で、衆目を集めるケーススタディー（事例研究）となっているのだ。「ミッションベイのビジネスモデルは、これまでとは全く異なったものになると思います」。こう話すのは、スローン・ケタリングがんセンター（米国ニューヨーク州）の医療政策アナリストPeter Bachだ。

UCSFは、他の大学なら負担しないような費用も抱えている。例えば、医療センターの建設費用、増え続けるカリフォルニア州職員の退職金、州からの補助金削減の充当額などであり、その結果、UCSFの予算は2015年に赤字化する可能性がある。そのうえ、医療センターがオープンするときには、オバマ大統領の医療制度改革に組み込まれたコスト管理によって、研究費用をまかなってきた病院の収益が減るおそれもある。例えば、現在のUCSF医療センターの収入のうち、過去10年間に2億9500万ドル（約280億円）が大学の運営に回されてきた。

それより悪い材料がNIHの予算削減で、米国内でNIHの研究助成金を最も多く受領している研究機関の1つであるUCSFにとって、大きな問題となるはずだ。「UCSFや主要大学病院に対する助成金の大幅削減で、大学の研究予算は完全に干上がってしまうでしょう」とBachは話す。

UCSFの運営管理者は、事業計画を進化させることによって、今後の状況を、より確かなものにしたいと考えている。ミッションベイで起工式が行われたとき、UCSFの本部から4km離れたミッションベイ・キャンパスは、「孤立して荒れ地になる」と一部の人々は警告した。しかし、更地からのスタートであったため、大学の研究室に隣接するように企業が入居する建物が建設され、これが、基礎研究の臨床への応用を加速して、企業の投資を呼び込んだのだった。

実際、事業計画はうまく進んでいるように見える。かつての操車場と倉庫の跡地には、7つの大きな研究棟と、バイエル社、ファイザー社など大手製薬企業9社の出先研究所、そして、大学での研究プロジェクトを発掘して、資金提供を目的とするベンチャー投資会社10社の出先事務所が建設された。

大学当局者の報告によれば、キャンパス発の新興企業群を合計すると、追加株式発行によって2億3000万ドル（約219億円）を調達し、約300人を雇用したという。「起業を支援し、バイオテクノロジー企業から権利使用料（ロイヤルティー）を受け取る事業は、大学にとって大きな利益を生み出してきました。これこそが、未来へと向かう波なのです」とプリンストン大学（米国ニュージャージー州）の医療経済学者Uwe Reinhardtは話す。

UCSFの運営管理者は、民間の慈善活動や団体にも依存している。例えばミッションベイの建設資金の約3分の1は、寄付金によってまかなわれている。新設される病院は豪華に設計され、しかも、先駆的治療法の開発研究が行われている研究室に近接している。こうした点が、資金提供者の気持ちを強く動かすはずだと運営管理者は話す。「臨床診療と革新

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

的な科学研究が連携すれば、資金提供者を含めて、多くの人々の心を躍らせることができるはずです」。こう話すのは、前立腺がん外科医で、現在のUCSFがんセンターの戦略的計画と臨床サービスの責任者Peter Carrollだ。

がんは、新しい医療センターに高い採算性をもたらす医学領域だ。その治療には、各種機器、外科手術、薬剤が関係し、数万ないし数十万ドルの費用がかかるが、高い収益がもたらされ、他の医学領域ほど収益が減る可能性は低い。その理由として、米国民の高齢化によって今後10年間にがん発生率が爆発的に上昇すること、また、難解な健康保険制度でがん関連医療と抗がん剤に支払われる保険金が高額であることなどが挙げられる。

どのような方法をとるにせよ、UCSFやその他の超一流の大学病院は、現在の米国経済の混乱を生き抜いて、研究活動を着実に進めていくだろう、と評論家は指摘する。こうした医療センターでは、他にない独自の専門医療が行われ、これに対しては、保険会社から十分な保険金が支払われる。また、地元の議員も、選挙区のコミュニティーにとって非常に重要な施設ととらえている。例えばUCSFは、サンフランシスコ市で2番目に大きな雇用機関なのだ。Reinhardtは言う。「問題点を克服せずに、巨額の収益を回復できた大学病院はないのです」。 ■

（翻訳：菊川要）

加速する「遺伝子解析」の医療利用

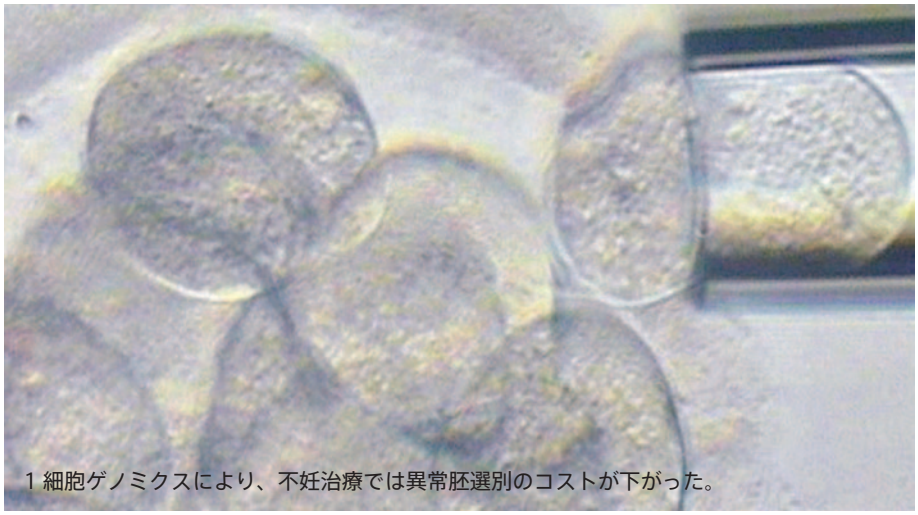
Gene sequencing leaves the laboratory

ERIKA CHECK HAYDEN 2013年2月21日号 Vol. 494 (290–291)

成熟期に入りつつある「ゲノム解読」技術は、
医療診断に使える十分な価格と精度を持つようになった。

2013年のゲノム生物学＆テクノロジー会議（Advances in Genome Biology and Technology、以下AGBT）が、2月20～23日にマルコ島（米国フロリダ州）で開催された。この会議では毎年、次世代シーケンシングに関する最新技術が発表される。

価格破壊が続いたゲノムの塩基配列解読コストは、ついに下げ止まったようだ。しかし、AGBTに出席した研究者らに不満はない。というのも、すでに、ヒトゲノムの解読コストは1回当たり5000～1万ドル（約47万～95万円）と安価になり、また信頼性も彼らにとって十分であることから、彼らは次のシーケンサー（解読機）を待たなくても、新しい医療応用へと進むことができるのだ。



TRACEY GRIFFITHS

1細胞ゲノミクスにより、不妊治療では異常胚選別のコストが下がった。

最近、そうした恩恵を受けて発展している医療がある。体外受精後の胚（はい）スクリーニングとメタゲノミック診断だ。メタゲノミック診断では、雑多な微生物の配列をまとめて解読し、1つ1つのゲノム情報を明らかにして、それら微生物がヒトの健康に有益か有害かを判定し、診断に用いる。ワシントン大学（米国シアトル）の遺伝学者Jay Shendureは、「この世界は成熟しつつあります」と語る。

昨年のAGBTでは、オックスフォード・ナノポア社（英国オックスフォード）が、DNA配列の解読をかつてない低コストかつ高速度で実行できるシーケンサーの詳細を発表して研究界に衝撃が走ったが、その機械はまだ発売されていない。そのうえ今年は、華々しい新技術の発表はないと予想されている。結果として、イルミナ社（米国カリフォルニア州サンディエゴ）のシーケンサー「HiSeq」が、市場の頂点に君臨し続けている（「価格がこなれたゲノム解読」参照）。コールド・スプリング・ハーバー研究所（米国ニューヨーク州）の定量生物学者Michael Schatzは、この分野の現状についてコンピューター回路の進歩になぞらえ、「長く続いた劇的な技術革新の後に来た調整期にあり、技術の微調整によって新しい用途を開拓しようとし

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

ている状況」と説明する。

今年のAGBTの目玉である「1細胞ゲノミクス」と関係する技術が注目されている。1細胞のゲノム配列を解読する場合、DNAの増幅が必要となるが、これまでの方法ではその操作によって配列に誤りが生じることがあった。しかし、この新しい増幅法を用いれば1つ1つの細胞から正確な配列が得られるため、例えばヒトの胚から取り出した貴重な細胞のゲノム解読に、大いに役に立つ。

今回のAGBTではこの技術について、オックスフォード大学（英国）のDagan Wellsが、体外受精で作られた胚の中から最も健康な赤ちゃんに育ちそうなものを選ぶ際にどのように有用であるかを説明する。

生殖医療の専門家はそうした胚の選定を以前から行っているが、すべての8細胞期胚から細胞を1つ取り出した後、染色体異常を検出するためのさまざまな検査を行って、胚の遺伝的異常を探し出す。その費用は1回の体外受精で1000ドル（約9万5000円）ほどと高額だ。

Wellsはそれに代えて、採取した細胞からDNAを抽出して増幅し、ゲノムの一部の配列を、イオントレント社製の高速シーケンサー「Personal Genome Machine」で解読している。イオントレント社（米国コネチカット州ギルフォード）は、2010年にライフテクノロジーズ社（米国カリフォルニア州カールズバッド）の傘下に入った企業だ。Wellsはこの方法で、染色体全体の重複や欠失（発生の初期段階で最も多く見られる異常）を1日以内で検出する。この技術で選抜した胚によってすでに複数の女性が妊娠しており、Wellsはさらに、今年の後半に大規模な臨床試験を計画している。この技術を使えば費用を従来の半分にまで抑えられることから、Wellsは検査を利用できる女性が増えることを期待している。

一方で、既存の技術に磨きをかけ、DNA鎖の平均リード（読み取り）長をさらに長くしようと試みている研究者もいる。市場を広く押さえている装置は、解読できるDNA断片がせいぜい数百塩基対と短いため、ゲノムの一部を見落としてしまう。そのため、例えば、近縁の微生物どうしを見分けるには、もっと長いリードが必要だ。腸や膣（ちつ）の中で何らかの微生物種が増えすぎることで、患者に下痢や早産といったさまざまな問題が生じやすくなっているかどうかを調べるには、重要な要件なのだ。

イルミナ社は、昨年の後半にモレキュロ社（米国カリフォルニア州サンフランシスコ）を買収した。モレキュロ社は、配列解読に用いるDNAの調製法を変えて読み出しに新しい分析ソフトウェアを導入して、リードを伸ばす技術を開発している。イルミナ社は、この技術を使ってシーケンサーで得られるデータをうまくつなげ、数千塩基という、これまでの10倍のリード長が得られるようにした。

また、パシフィックバイオサイエンス社（米国カリフォルニア州メンローパーク）のシーケンサーでも、人工ポリメラーゼを使用することにより、数千塩基に及ぶリード長が常時得られる。同社の初期のシーケンサーは信頼性に問題があったが、利用者によればそれは解消されたようだ。だが、パシフィックバイオサイエンス社の市場占有率はまだ、イルミナ社とライフテクノロジーズ社には遠く及ばない。そのライフテクノロジーズ社においては、イオントレントのシーケンシングシステムの販売が好調で、2013年の売上高は5%も増えるという見通しを2月に発表した。

配列解読の世界でも、買収話が起こる企業は投機の的として熱い視線を注がれる。「ライフテクノロジーズ社のシーケンス事業部が買収されるかもしれない」という噂が流れたとき、同社の株価はこれまでの最高値を記録した。一方、イルミナ社は最近、ロシュ社（スイス・バーゼル）による敵対的買収を逃れた。ロシュ社は、1月にその企てを正式に断念したのだ。そうした出来事はあったものの、根本的な状況はあまり変化していない。

主要企業のあらゆる再編は、次の激動期を待たねばならないだろう。そのきっかけとなるのは、ゆくゆくは「1000ドルゲノム解読」が1日で得られるとライフテクノロジーズ社がうたう、今まさに実験室に革命をもたらしている同社のイオンProton機のようなものかもしれないし、いまだに姿を現さないオックスフォード・ナノポア社のGridION機やMinION機のようなものかもしれない。

それはそうとして、Shendureは今年のAGBTについて、「派手さはなく、科学的なものになるでしょう。それでいいのです」と語った。■

（翻訳：小林盛方）

価格がこなれたゲノム解読

今回のAGBTでは、DNA配列解読の目玉となるような技術革新は報告されないが、現状の技術のコストと性能は、医療応用に現実味を与えるものだ。

名称	装置価格	リード長（塩基）	100万塩基当たりのコスト
イルミナ MiSeq	12万5000ドル（約1200万円）	500	14～70セント（約13～67円）
イルミナ HiSeq	69万ドル（約6600万円）	300	4～5セント（約4～5円）
パシフィックバイオサイエンス PacBio RS	69万5000ドル（約6700万円）	4575	2～17ドル（約190～1600円）
イオントレント PGM	4万9000ドル（約470万円）	400	60セント～5ドル（約57～480円）
イオントレント Proton	22万4000ドル（約2100万円）	200	1～9セント（約1～9円）

SOURCE: THE COMPANIES; TRAVIS GLENN

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

ヌタウナギが教えてくれる脊椎動物の進化

海に棲み、名前は「ウナギ」だがウナギではなく、ましてや厳密には魚類でもない。ヌタウナギには背骨がなく、顎もなく、鼻孔が１つしかない原始的な脊椎動物。進化形態学者、倉谷滋博士は、この動物に、ヒトにまでつながる進化と発生の謎を探っている。

――Nature ダイジェスト：机上のびんに入っているのが、ヌタウナギですか？

倉谷：そうです。時間を見つけては、顕微鏡で見たり、解剖したりしています。なぜ体のここに、こんな神経が走っているのだろうか、鰓孔がなぜここに開くのかとか―― ヌタウナギというのは不思議な形態の塊のようなもので、全く見飽きませんね。形態学は私の発想の原点ですしね。

―― ヌタウナギでどんな研究を？

まず、ヌタウナギとヤツメウナギの関係を明らかにしたいと思いました。ヤツメウナギはご存じでしょう？ 円口類といって、脊椎動物の初期の進化で重要な位置付けにある生物グループの一種です。このヤツメウナギとヌタウナギの系統関係には、同一グループか否かの２説があったのです。

古くからの形態学的な解析では、ヌタウナギは、ヤツメウナギも含めたすべての脊椎動物とは別のグループと見なされていました。いくつもの原始的な特徴があるからです。ところが、遺伝子レベルでの解析によると、ヤツメウナギとヌタウナギが近い関係にあり、顎を持った顎口類とは分かれて存在するらしい。私の主催するラボは形態学に重きを置いていますから、形態データと分子データになぜ齟齬が生じるのか、もし分子データが正しいのであれば、これまでの形態学者がなぜ見誤ったのか、それを探りたいと考えたのです。

世界を驚かせたヌタウナギの発生

―― 発生過程の研究が必要に？

問題の１つは下垂体（腺性下垂体）です。ヤツメウナギではこれは他の脊椎動物同様、外胚葉に由来します。ところが、ヌタウナギの下垂体が内胚葉に由来するという考えがあり、それがヌタウナギを脊椎動物以前の系統と見なす根拠の１つとなっていました。ですから、ぜひとも発生過程を調べる必要があったのです。

ところが、ヌタウナギの卵を実験室で発生させることは、まだ誰も成功していなかった。多くの人々が挑戦していましたが、みな失敗していたのです。19世紀の終わりに少しまとまった報告が一度あっただけでした。

―― 難問が立ちはだかっていましたね。

その難問に挑戦したのが、以前私の研究室にいた太田欽也研究員です。「運よく２～３匹でも生ませることができれば、世界が驚くだろうが、失敗する公算のほうが大きい」という私の言葉に、「やってみます」と言ってくれて……。私には、研究者のカンっていうのかな、片手間に「あわよくば」と研究するのではなく、100％それに集中すればうまくいくのではと、そんな予感めいたものがあったのです。

―― 本当に世界を驚かせましたね。

太田君は、日本近海で獲れる種類のヌタウナギをラボに運んできて、できる限り生息環境に似せた水槽で飼育し、産卵させました。ただし、この段階までなら多くの研究者が成功している。問題は卵を発生させることです。とりあえず気長に観察してみようと、待つこと５か月。

「先生、卵の中に何かいます」と言ったときの彼の声が震えていたことを今でも覚えています。多くの動物学者が100年以上追い求めていた胚がついに得られたのですからね[1]。パリ自然史博物館の古生物学者、フィリップ・ジャンヴィエー博士にメールで伝えたところ、10分後には世界中の研究者に知れ渡っていました。「ある意味、シーラカンスの発見よりも重要」という評価がうれしかった。

人を惑わせるヌタウナギ

―― 胚がとれた秘訣は何なのでしょう？

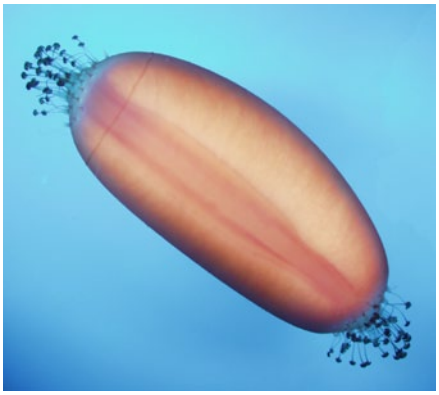
19世紀には、発生期間が２か月とされていたのですが、そもそもそれが人々を惑わせたのです。実際には、初期胚が見られるまで５か月かかった訳ですから、本当はおそらく１年以上かかる。孵化直後と思われる個体が産卵期の２か月後に見られたので、昔の学者は時間を誤認していたと思われます。

―― 結局、ヌタウナギの場合も外胚葉由来だと、どのように確認したのですか？

大学院生の大石康博君が丁寧に組織標本を作製し、切片から三次元的な構造を再構築してくれました。これまた大変な作

理化学研究所

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.


理化学研究所

ヌタウナギの卵。中に胚（咽頭胚）が見える。

業です[2]。その結果、ヌタウナギには確かに、形態学者の目を惑わせるような特別な構造があることがわかりました。

――それは、いったいどんな？

脊椎動物の口は、膜が二次的に開いてできる孔なのですが、その膜が外胚葉と内胚葉の境界となっている。だが、ヌタウナギの本来の口の前には、もう1つの膜があり、それが境界の膜だろうと人々は騙されていた。実際、口の位置を正しく同定するだけでヌタウナギの下垂体が外胚葉由来であるとわかりました。

――ヌタウナギがヤツメウナギと近縁だとわかると、どんなことが言えますか？

私たちヒトを含めた脊椎動物は顎を持ち、顎口類と呼ばれる系統に属します。一方、円口類は顎口類と姉妹関係にある系統で、今回は形態学的レベルで円口類共通の特徴を同定することができた。

本当のことを言うと、以前、古い文献を見ていたときに、ヌタウナギとヤツメウナギ胚の頭部が似ていることに気が付いて、そのときから当たりをつけていたのです。そして「単一の鼻孔」のような円口類に共通の特徴は、実は私たち顎口類の絶滅した祖先にも共有されているらしい。どうやら円口類の形態パターンは、脊椎動物の共通祖先の特徴でもあった。我々の頭部形態は、円口類に今でも残る原始的パターンを徐々に変更した結果もたらされたという訳です。

形態学は死んだ学問？

――昆虫標本が研究室に飾られていますが、昆虫少年だった？

子どもの頃は昆虫採集が好きでした。今から思えば、分類学にもうるさかった。幼稚園の頃、「カモノハシは両生類なのか」とか、映画で見たゴジラが火を吐くので、「恐竜も火を吐いていたのか」などと悩んでいた（笑）。そういえば、4年生のときには家でサバを解剖し、浮き袋がないことを自分で発見しましたよ。煮魚を箸で解剖するのも好きでしたね（笑）。

――生まれながらの比較形態学者だったのですね。

かもしれません。形態学や解剖学を本格的に勉強したのは、大学や大学院に入ってからですが。頭の中で思考実験して、発生過程のどこがどのようになったらこんな動物になる、背腹逆転したらどうなる、などと考えて楽しんでいました。

脊椎動物の頭部は、鰓が形を変えて顎を作ったり、口頭や耳を作ったりする。かたや昆虫では、付属肢が口器や触角を作る。どちらも、一連なりの同等の繰り返し分節が場所に応じて形を変え、機能を分化させている。このような仕組みが共通するのが私にとっては驚きでした。今でも取り組んでいる頭部分節の問題は、思えば20歳の頃からのつきあいです。

――当時は遺伝子や分子レベルの学問が台頭した時代ですね。

ミクロ対マクロという研究者間の対立図式が顕著でした。しかし形態学はというと、当時はマクロ系の人たちからさえもろくに相手にされなかったんですよ。「形態学なんて、もう死んだような過去の学問だろう、古いものを大切にしてるんだな」などと言われてね。

ですから、20～30代は自由ではあったけれども、その分不安でもありました。しかし、あるとき気が付いたのですが、人が知らず自分だけが知っていることが、ずいぶんたくさんある。これは、なかなか大事なことかもしれないと……。

たまたま時代もついてきました。形作りやボディプランの背景にある機構が、遺伝子レベルで読み解かれるようになってきたからです。そして、解剖学のイロハが突如として必要とされ始めた。「脊椎動物の分節性には2種類ある」とか、「末梢神経はいくつかの特定の型に分類できる」といった、自分にしてみればごく当たり前のことが、発生学の中で重要な概念になりつつあった。もし、若い頃から他者と張り合いながら、同じ実験手技の習得やデータの蓄積に汲々としていたら、疲弊しまくっていたでしょうね。

――今では「エボデボ」[*1]の旗手？

どうですかね。進化と発生学は昔から絡みがあったのだけれど、パターンの認識や相同性の発見だけではなく、分子の機能や細胞、遺伝子制御のダイナミズム、ゲノムの働きなど、すべて使って探っていきましょうというのがエボデボですね。もっとも、詩人ゲーテ[*2]が、動物の骨格を見たことが形態発生学の始まりですが、そのような形態学も、相変わらずエボデボの中に確実に命脈を保っていますし、ヘッケル[*3]の反復説もよみがえりつつある。進化発生学はまだ当分おもしろい分野であり続けるでしょう。

――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 evolutionary developmental biology
＊2 ドイツの詩人。比較解剖学者でもある。
＊3 ドイツの動物学者。個体発生は系統発生を繰り返すという反復説を唱えた。

1. Ota KG, *et al. Nature.* **446** : 672-675 (2007)
2. Oisi Y, *et al. Nature.* **493** : 175-180 (2013)

AUTHOR PROFILE

倉谷 滋（くらたに しげる）

理化学研究所発生・再生科学総合研究センター形態進化グループディレクター。1986年京都大学博士課程修了（理学博士）。琉球大学医学部助手を経て、88年 米国ジョージア医科大学、91年 米国ベイラー医科大学。2002年より理化学研究所チームリーダーを経て、05年より現職。

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

神経科学

塩味を感知するセンサー分子

Salty sensations

BERTRAND COSTE & ARDEM PATAPOUTIAN
2013年2月7日号 Vol. 494 (44–45)

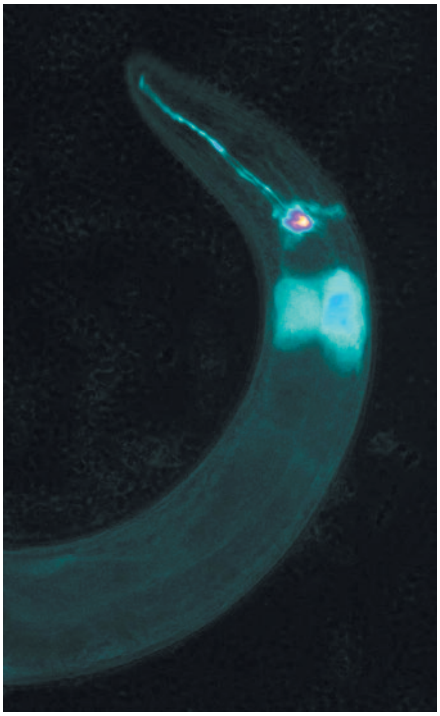
ヒトでは聴覚に関連するとされている TMC-1 というタンパク質が、
線虫では塩味の感知にかかわる受容体であることが示された。

塩は昔から最も一般的な調味料の1つである。また、甘味、苦味、酸味、うま味（食欲をそそる味）とともに、塩味は5つの基本的味覚を形作っている[1]。

塩は生存に必須の栄養素であるが、その摂取には注意が必要だ。過剰な摂取が、細胞内外のイオンバランスや血圧調節を損なうこともあるからである。多くの脊椎動物や無脊椎動物において、塩はその濃度によって、誘引物質（おいしいもの）にも忌避物質（まずいもの）にもなることが知られている。

マウスの場合、低濃度の塩味は誘引応答を引き起こし、その際、上皮性ナトリウムチャネルが必要であることがわかっている。しかし、高濃度の塩味は忌避応答を引き起こし、その際、このチャネルは使われないことが判明している[2]。このような例はあるものの、生物が塩の主成分である塩化ナトリウム（NaCl）を感知する仕組みについては、ほとんど解明されていない。したがって、*Nature* 2013年2月7日号95ページで、塩味を感知するセンサー分子の有力な候補が報告されたことは[3]、きわめて興味深い。

Chatzigeorgiou らの研究チームは、線虫（*Caenorhabditis elegans*）において、膜貫通チャネル様タンパク質-1（transmembrane channel-like protein-1; TMC-1）の機能を調べた。複数回膜貫通型タンパク質のTMCファミリーとしては、ヒトでは8つ、線虫では2つ（TMC-1とTMC-2）が知られている。TMC-1の変異は、ヒトとマウスにおいては難聴を引き起こす。また、マウスにおいて、聴覚系の有毛細胞のTMC-1とTMC-2を欠損させると、機械刺激への応答を示さなくなることもわかっている[4]。しかし、TMCが正真正銘のイオンチャネルであるのか、それとも、有毛細胞の機械的センサーシステムの一部品なのか、まだはっきりしていない。



TMC-1 を発現している化学感覚ニューロンを、蛍光タンパク質で染色した線虫。この TMC-1 が、線虫では塩味の感知にかかわっているようだ。

WILLIAM SCHAFER

今回、Chatzigeorgiou らは、線虫では、ASHニューロンを含む少数の感覚ニューロンの中で、TMC-1が発現していることを明らかにした。感覚ニューロンは、先端部への触覚刺激を回避したり（線虫が前進中に先端部が物体に接触すると、進行方向を逆転させる）、高浸透圧、重金属、酸、高濃度の塩のような有害刺激を回避したりするために、重要な働きをしている[5]。特にTMC-1は、ASHニューロンの感覚シグナル伝達部位である感覚繊毛に発現しており、センサー分子そのものであるかのようにみえる。

そこでChatzigeorgiou らは、*tmc-1* 遺伝子を欠失させた線虫を作り、その行動学的研究を進めた訳だ。その結果、TMC-1は塩の感知には関与しているが、グリセロールや銅などの忌避物質の感知や、先端部の接触などの機械刺激の感知には、全く関与していないことが実証された。また研究チームは、TMC-1を介する塩への忌避応答が、ナトリウムイオンに特異的であることも明らかにした。さらに、NaClを回避（感知）できない *tmc-1* 変異型線虫に対して、そのASHニューロンに外因性TMC-1を発現させると、NaClが回避できるようになることも示した。

これらの結果は、ASHニューロンにおけるナトリウム感知に、TMC-1が特異的に寄与していることを明確に示している。しかし、TMC-1だけで塩感受性を十分に説明できるのだろうか？　この疑

問に答えるために、Chatzigeorgiouらは、塩に対して非感受性であるASKニューロンだけに、TMC-1を発現させてみた。すると、このTMC-1は*in vivo*で塩感受性に寄与したのである。

さらに、注目すべきことに、線虫のTMC-1を4つの異なる哺乳類細胞株で発現させると、すべてのケースで、高濃度ナトリウムによってTMC-1が活性化され、ナトリウムイオンの透過性を高まった。この透過性の亢進が始まる閾値は、NaCl濃度が約140 mMのところだった。この値は、線虫、マウス[6]、ハエ[7]において忌避応答が誘導されるNaCl濃度と一致している。

TMC-1が誘導する陽イオン電流は、主にナトリウムに応答して生じる。そしてこれは、興味深いことに、アミロライド（上皮性ナトリウムチャネル阻害剤）には非感受性である[1]。アミロライドは、マウスにおいて、低濃度のNaCl（10～150 mM）による誘引応答を阻害するが、より高濃度のNaClによる忌避応答を阻害しないことが知られている[2]。

これらの知見とChatzigeorgiouらの研究チームのデータを合わせると、線虫においては、「TMC-1は、高濃度ナトリウムで活性化されるアミロライド非感受性イオンチャネルを構成している」と推論できる。ただし、哺乳類の味覚系におけるTMCタンパク質の役割については、まだ明らかになっていない。

では、線虫における遺伝学的研究から得られた今回のデータは、TMC-1とTMC-2が哺乳類の聴覚系における有毛細胞の機械的センサーシステムの一部である可能性（提案）[4]と、矛盾しないのだろうか？　Chatzigeorgiouらは、TMC-1については、線虫の機械受容応答には関与していないことを示した。また、NaClを回避できない*tmc-1*変異体では、*tmc-2*変異を加えてもNaClに対する応答に変化はなかった。そのため、TMC-2については、塩の検知には必要でないと考えられる。とはいえ、*tmc-2*の転写産物は機械受容器（機械的な刺激の受容器）に豊富に見られるので[8]、他の感覚系と同様、線虫の機械受容応答におけるTMC-2の役割については、詳しく調べる必要がある。

それはともかく、今回、Chatzigeorgiouらの研究チームは、TMC-1が、細胞外のナトリウムイオンによって活性化されるイオンチャネルを構成していることを実証し、感覚（信号）の伝達におけるTMCタンパク質の新たな役割を明らかにした。また、ヒト細胞に線虫のTMC-1を導入すると、ナトリウムによって活性化される電流を引き起こすことが可能であることも示された。このことを考えると、哺乳類のTMCタンパク質のクローニングを行い、特徴を明らかにすれば、このタンパク質の機能について、さらなる手がかりが得られるかもしれない。

残された課題もある。TMCタンパク質は、イオンチャネルの孔形成サブユニットなのだろうか。それとも、まだ同定されていないイオンチャネルの調整物質（モジュレーター）なのだろうか。その他、さまざまな種におけるTMCタンパク質の生理学的役割の解明が待たれる。■

（翻訳：三谷祐貴子）

Bertrand Costeは、CNRS－エクス・マルセイユ大学（フランス）、Ardem Patapoutianは、スクリプス研究所（米国）およびノバルティス研究財団ゲノミクス研究所（米国）に所属。

編集部註：マウスでは、高濃度の塩により、苦味および酸味を感知する経路が活性化されるという報告が、*Nature* 2月28日号に掲載された[9]。苦味および酸味を感知する経路を欠失させると、塩に引きつけられる誘引行動は障害されないものの、塩に対する忌避行動が消失した。著者らは、苦味および酸味という2つの主要な忌避性味覚経路を、本来の目的から「転用」することにより、有害となりかねない多量の塩を含む食べ物を退けているのだろう、と結論付けている。

1. Yarmolinsky, D. A., Zuker, C. S. & Ryba, N. J. *Cell* **139**, 234–244 (2009).
2. Chandrashekar, J. *et al. Nature* **464**, 297–301 (2010).
3. Chatzigeorgiou, M., Bang, S., Wook Hwang, S. & Schafer, W. R. *Nature* **494**, 95–99 (2013).
4. Kawashima, Y. *et al. J. Clin. Invest.* **121**, 4796–4809 (2011).
5. Bargmann, C. I. & Kaplan, J. M. *Annu. Rev. Neurosci.* **21**, 279–308 (1998).
6. Bachmanov, A. A., Beauchamp, G. K. & Tordoff, M. G. *Behav. Genet.* **32**, 445–457 (2002).
7. Wang, Z., Singhvi, A., Kong, P. & Scott, K. *Cell* **117**, 981–991 (2004).
8. Smith, C. J. *et al. Dev. Biol.* **345**, 18–33 (2010).
9. Y, Oka. *et al. Nature* **494**, 472–475 (2013).

nature

nature.asia/nature-toc

THIS WEEK
1週間の出来事を簡潔な文章で

NEWS IN FOCUS
話題の研究や科学関連時事について分析

COMMENT
読者や専門家の意見を掲載

CAREERS
キャリアパス構築の指針となる様々な分野を紹介

RESEARCH
論文や著者名などの情報をすぐに把握

nature publishing group npg

宇宙物理学

超新星爆発直前の質量放出をとらえた

Going supernova

Alexander Heger
2013年2月7日号 Vol. 494 (46-47)

質量の大きな恒星が超新星爆発を起こして死ぬとき、
それは非常に明るく、「宇宙の果て」からでも見ることができる。
しかし、元の星がどのようなものだったかは、はっきりしないことが多い。
今回、大質量星の超新星爆発の直前に起こった質量放出現象が観測され、星の生涯について知る新たな手がかりが得られた。

質量の大きな恒星が死ぬとき、激しい現象が起こる。太陽の約10倍よりも大きな質量を持って生まれた星は、超新星爆発や強力なガンマ線バーストを起こして、その生涯を終える。では、そうした大質量星は、死ぬ直前にどのような姿を見せるのか。ワイツマン科学研究所（イスラエル・レホヴォート）のE. O. Ofekらは、2010年8月に超新星爆発（SN 2010mcと呼ばれる）を起こした大質量星において、爆発のわずか40日前にアウトバースト（急激な増光現象）がみられたことをパロマー天文台（米国カリフォルニア州）の望遠鏡などを使って観測し、*Nature* 2013年2月7日号65ページに報告した[1]。このような貴重な観測は、大質量星の最期について、いろいろなことを教えてくれる。

1987年以前の天文学者たちは、大質量星は進化して赤色超巨星になり、それから爆発すると考えていた。しかし、1987年、私たちの住む銀河系（天の川銀河）に近い矮小銀河である大マゼラン雲に、超新星SN 1987Aが現れた[2]。これは17世紀初め以降、最も地球に近いところで起こった超新星だった。SN 1987Aは地球に十分近かったため、研究者たちはデータアーカイブを調べ、元の場所に何があったかを突き止めることができた。驚いたことに、その超新星の前駆天体は、赤色超巨星ではなく青色超巨星だった[3]。

しかし、SN 1987Aは地球に非常に近いという点で珍しい例だった。最近では、近くの銀河に現れる超新星とその前駆天体を調べるため、大規模な観測計画が常に行われている。その結果、例えば前駆天体は、これまでの予想よりも質量が小さいものが多いことが明らかになった[4]。しかし、前駆天体の詳しい姿や特徴については、多くのことがわからないままだ。特に、爆発を起こす直前についてはよくわかっていない。

恒星は、その内部で起こる核融合によってエネルギーを得ている。軽い元素は、核融合でより重い元素に変わっていく[5]。星の一生の大部分は、水素が核融合してヘリウムに変わっていく期間だ。その後、最も質量の小さな星を除くほとんどの星では、ヘリウムが核融合して炭素や酸素に変わり、この段階が星の一生の残りの時間の大部分を占める。太陽質量の約6～7倍以上の質量で誕生した星では、核融合はさらに続き、炭素が酸素やネオンやマグネシウムに変わる。そして、誕生時の質量が太陽質量の約8～10倍より小さかった星では、やがて星の中心部でも核融合が止まり、最後は白色矮星になる。

一方、もっと質量の大きな星では、中心核がさらに高温・高密度になって核融合過程が続き、ケイ素や硫黄が作られ、最後に周期表の鉄に近い元素ができる。鉄に近い元素の原子核は最も強く結合しているので、それらが核融合してもエネルギーは得られなくなる。この「灰」が星の中心に蓄積し、その星は最後は自身の重力のためにつぶれる。そして多くの場合、超新星爆発が起こり、後に中性子星かブラックホールが残る[6]。

しかし、最も質量の大きな星は、炭素を使い果たしたすぐ後に急速に収縮し、残りの燃料の多くをわずか数秒で燃やしてしまうことがある。この場合、残骸を残さない強力な爆発を起こすか[7]、星が死ぬ少し前に、超新星に似た爆発を複数回起こして球殻状に物質を放出し（脈動性の対不安定型超新星という）、その星を完全に崩壊させる可能性がある。引き続いて放出された物質の殻どうしが衝突する現象は、自然界における最も明るい現象となる場合がある[8]（図1）。

大質量星の燃焼の進んだ段階は独特のものだ。星は、そのエネルギーの大部分を、表面から発する観測可能な光の形ではなく、ニュートリノの形で失う。ニュートリノは高温の星の中心から逃げ、星を冷やす。その結果、こうした末期の段階は、数百万年という星の全寿命に比べれば短い期間で終わる。炭素燃焼過程は数百年続くが、ケイ素燃焼過程はわずか1週間ほどで終わるだろう。最近まで、こうした燃焼の進んだ段階を示す特徴が、星の外側から見えるようになるとは予想

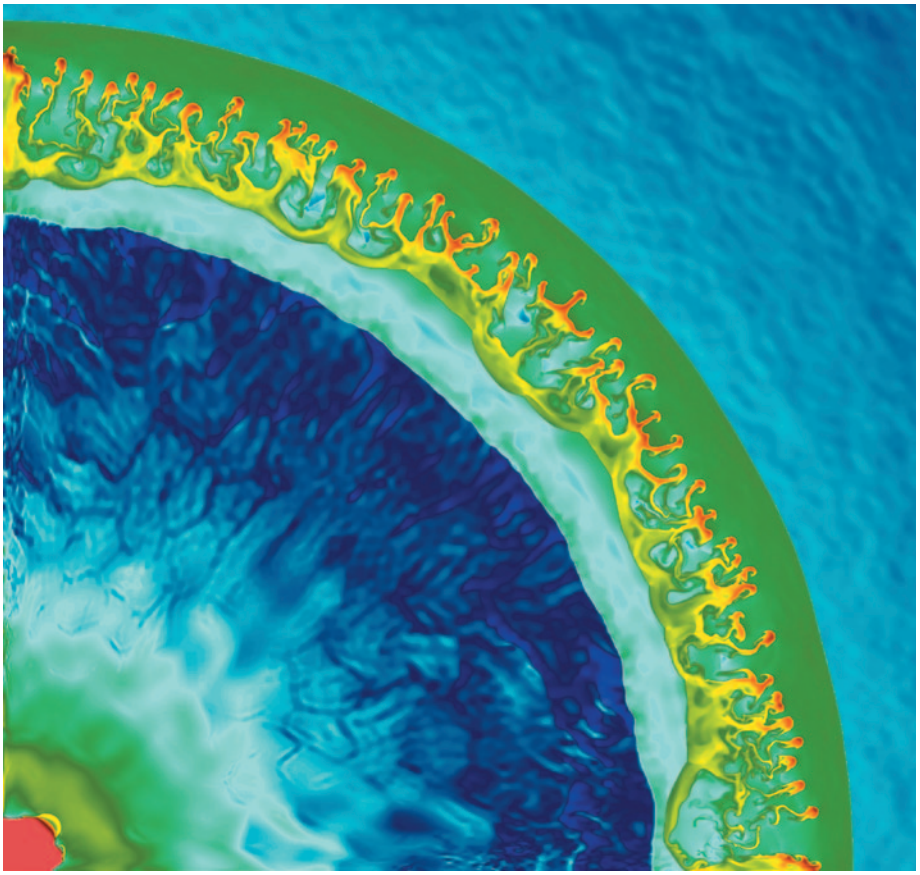


図 1　放出された球殻状の物質の衝突

この画像は、星が死ぬ少し前に、数年の間隔で起こった 2 回の脈動性対不安定型超新星爆発によって、大質量星から放出された物質の 2 つの殻どうしの衝突のシミュレーション結果を示している[11]。画像に示されているのは、現象の右上の断面。衝突でできた破片（赤いこぶ状のもの）を含む殻の半径は、地球・太陽間の距離の約 500 倍。色は、1cm^3 当たり 10^{-11} ～ 10^{-16} グラムのガス密度を示していて、赤は最も高い密度を、暗い青は最低の密度を示している（画像は米国のミネソタ大学物理天文学部の Ke-Jung Chen の厚意による）。

されていなかった。だから、進化の末期の段階で、星がどの段階にあるのかや、あとどれくらいで超新星爆発を起こすのかを知ることは不可能だった。放出されるニュートリノを測定すれば、この段階をのぞきこむ「窓」になるだろうが、それは、ベテルギウス（オリオン座にある地球から約600光年離れた星）など、地球に非常に近い大質量星であっても、現在は不可能ではないとしても、難しい[9]。

Ofekらは今回の研究で、大質量星が超新星爆発を起こすわずか約1か月前にこの星のアウトバーストを観測し、このアウトバーストで太陽質量の約100分の1の物質が放出されたと結論した。前駆天体は、太陽質量の約50倍というかなり質量の大きな天体だったとOfekらは見積もっている。さらに、統計的な考察に基づき、この物質放出が、続いて起こった超新星爆発と因果関係があるとOfekらは主張する。それが確かめられれば、この系は、かなり質量の大きな前駆天体の生涯の末期について、「追加の情報」が得られた数少ない例となる。それは、放出された物質の組成分析や超新星そのものから得られた以外の情報という意味である。

このような物質放出は、太陽質量の20～25倍よりも大きな初期質量を持つ星が起こすことがわかっている。その極端な例が、地球に近く、非常に大質量のりゅうこつ座イータ星（地球から約8000光年）が起こしたものだ。この星は、初期には太陽質量の150倍の質量を持っていたが、わずか数年間で太陽20個分の質量を放出したとみられる[10]。しかし一般に、大部分の大質量星の物質放出については、それがいつ起こるのか、何が原因で起こるのか、ほとんどわかっていない。

Ofekらは、このような物質放出に関するさまざまな理論モデルの枠組みの範囲内で観測データを分析した。そして、放出物のタイミングと性質は、核融合の最終段階での流体力学的不安定性に基づくモデルで最もよく説明できると結論した[11]。しかし、こうした物質放出をモデル化し、そのメカニズムを解明するためには、さらなる理論的研究が必要だ。

同じくらい大質量の星だが、核融合の最終段階にはないとみられる星で観測される物質放出現象がある。それと今回のアウトバーストが、どのように関係しているかを調べるのも興味深い。いったいどうすれば、さまざまなタイプの現象を、超新星が観測される前に見分けることができるのだろうか。Ofekらの観測は、最も大質量の星たちの進化の最終段階について、従来の私たちの理解を変えてしまうかもしれない。超新星SN 1987Aが、それほど大質量ではない星の進化の最終段階について、私たちの理解を深めてくれたように、である。■

（翻訳：新庄直樹）

Alexander Heger は、オーストラリア・ビクトリア州にあるモナッシュ大学数理科学部モナッシュ宇宙物理学センターに所属。

1. Ofek, E. O. *et al. Nature* **494**, 65–67 (2013).
2. www.cbat.eps.harvard.edu/iauc/04300/04316.html
3. West, R. M., Lauberts, A., Schuster, H.-E. & Jorgensen, H. E. *Astron. Astrophys.* **177**, L1–L3 (1987).
4. Smartt, S. J. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* **47**, 63–106 (2009).
5. Woosley, S. E., Heger, A. & Weaver, T. A. *Rev. Mod. Phys.* **74**, 1015–1071 (2002).
6. Heger, A., Fryer, C. L., Woosley, S. E., Langer, N. & Hartmann, D. H. *Astrophys. J.* **591**, 288–300 (2003).
7. Heger, A. & Woosley, S. E. *Astrophys. J.* **567**, 532–543 (2002).
8. Woosley, S. E., Blinnikov, S. & Heger, A. *Nature* **450**, 390–392 (2007).
9. Odrzywolek, A., Misiaszek, M. & Kutschera, M. *Nucl. Phys. B Proc. Suppl.* **221**, 380 (2011).
10. Davidson, K. & Humphreys, R. M. (eds) *Eta Carinae and the Supernova Impostors* (Springer, 2012).
11. Quataert, E. & Shiode, J. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **423**, L92–L96 (2012).

遺伝子診断を阻む壁

Data barriers limit genetic diagnosis

Erika Check Hayden 2013年2月14日号 Vol. 494 (156–157)

ゲノムの配列解読データの共有が進めば、
希少な難病と遺伝子変異とを結びつけるチャンスが増えるはずだ。
そのためのツールの開発が進められている。

Harrison Harkinsは脊椎の形態異常を持って生まれ、体重もその後いっこうに増えなかった。担当医たちにはその理由がほとんどわからず、特に手だてのないまま5か月が過ぎてしまった。しかし2011年11月に、ベイラー医科大学（米国テキサス州ヒューストン）の計算生物学者Matthew Bainbridgeが1つの手がかりを見つけた。Harrisonとその両親の遺伝学的データを解析して、この子が*ASXL3*という遺伝子に異常を持っていることを突き止めたのだ。

この変異が「真犯人」なのかどうか確かめるため、Bainbridgeはさらに、同じように*ASXL3*変異を持つほかの子どもの記録を入手しようとしたのだが、なかなかうまくいかなかった。そこで彼は、多くの科学者がやっているように「人脈」を利用した。その結果、オランダの研究チームが、*ASXL3*変異があって症状もHarrisonと似ている別の少年を治療中のドイツ医師団に、Bainbridgeを紹介してくれた。また、ベイラー医科大学の内部データベースでもさらに2つの症例が見つかり、これで*ASXL3*変異と症状の結びつきがはっきりしたとBainbridgeは思った。彼は、2月5日に発表した論文で、この4人の子ども全員に共通して見られる症状について記載し、これはおそらく*ASXL3*遺伝子の変異が原因だと報告した（M. N. Bainbridge *et al. Genome Med.* 5, 11; 2013）。

Bainbridgeが行ったような変異発見に要する時間は、現在、新しいツール類のおかげで短縮されつつある。医療用のゲノム配列解読技術の需要が高まり、希少難病の研究への資金投入が増えたこともあって、ゲノム塩基配列と症状（遺伝学的な言い方では「遺伝子型と表現型」）を結びつける作業は、ますます急がれるようになった。2013年4月に、国際希少疾患研究コンソーシアムの第1回会議がダブリンで開催されるが、その後のワークショップで、「データの共有を阻む障壁」への対処法が練られる予定である。「現在の研究界には、事態が好転しつつあるという、非常にいい感触があります」と、シャリテ・ベルリン医科大学（ドイツ）の計算生物学者Peter Robinsonは話す。

ゲノム塩基配列解読をしてもらった人の数は何千人にも上る。しかし、研究者や家族はプライバシーが侵害されることを懸念して（「『配列解読』に慰めを見いだす家族」参照）、有用なデータの所有権を放棄したがらず、これが研究成果を比較検討する際の妨げになるケースがよくある。また、データの多くは民間の遺伝子診断企業が保有しており、部外者は閲覧できない。この状況について、ワシントン大学（米国シアトル）の小児遺伝医学科の主任であるMichael Bamshadは、「診断サービスのために配列解読を行っている臨床検査室にとって、大きな難題となっています。もし、そうした検査室で1個の遺伝子に変異を見つけた場合、その変異が病気の原因だと知るにはいったいどうしたらいいでしょうか」と話す。

ISTOCKPHOTO

データ共有の拡大・強化によって最大限の利益を得られる立場にあるのは、希少で診断の難しい疾患を持つ患者だ。既知の7000種類の希少遺伝疾患のうち、遺伝的要因が見つかっているものは半数に満たない。それでも、どの病気か特定することで、親は子どもが将来どうなるか知ることができ、また、研究者は薬剤開発のための標的を定めることができる。

現在、いくつかの研究グループが、より充実したデータベースの構築とそれらの連携を実現させようとしている。例えば、国立生物工学情報センター（NCBI、米国メリーランド州ベセスダ）は2012年11月に、「ClinVar」というデータベースを開設した。ClinVarには、ほかの数十か所のデータベースの情報がプールされている。参加する検査室は、個々の患者に見つかった変異に関するデータをそこに登録できる（*Nature* 2012年11月8日号171ページ参照）。

しかし、多くの臨床検査室では、いまだにClinVarなどのデータベースとの情報共有がうまくいっていないと、レスター大学（英国）の遺伝学者Anthony Brookesは話す。彼はその理由について、そうした検査室で働く人が、データを登録するための時間を確保できないことや、そのための専門の技術を持っていないためであったり、またデータを登録することで、患者の個人情報が侵害されたり、自身の生計が脅かされることを恐

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

れている場合もあると説明する。「そこにデータを放り込んで研究者の好きにさせることは、彼らの職分を超えているのです」と彼は言う。

Brookesは現在、「Cafe Variome」というツールを使ってこの問題に取り組もうとしている。このCafe Variomeは、データベースというより「ショーウインドー」に近いと彼は説明する。臨床検査室はここに、「こんなデータを持っている」という情報を提出する。ユーザーは、このウェブサイトでどんなデータがどこの検査室にあるかを閲覧でき、関心があれば、そのデータを持つ検査室と連絡を取ることができる仕組みだ。こうすることで、臨床検査室は保有データの閲覧をコントロールすることができるし、またデータが使われた場合には、検査室の名前をクレジット表記してもらうことができる。「自分たちが保有するデータにアクセスするのが他の臨床検査室だけだとわかれば、もっと安心してデータを共有しあえるようになるはずです」とBrookesは説明する。

だが、もう1つ問題がある、とRobinsonは言う。データベースの所有者たちにデータを共有する意思がたとえあったとしても、表現型を記述するための「共通の言葉」がないのだ。彼は今、大規模解析のために表現型の定義を標準化する方法について研究中である。

こうしたツール類はまだ、Bainbridgeをはじめとする研究者にとって、使ってすぐに役立つところまではきていない。彼のチームがHarrisonの病状について最終的な診断を下すことができたとき、Harrisonはすでに生後9か月となっており、そのわずか1か月後の2012年3月にHarrisonはこの世を去った。「こうした病気を持つ子どもの親と15分でも一緒に過ごせば、すべての検査室がデータを共有すべきであるとわかってもらえるでしょう。データの共有は、少ない費用で多くの人を助けることができるのです」とBainbridgeは言う。■

（翻訳：船田晶子）

まれな結びつき

「配列解読」に慰めを見いだす家族

BRIAN MCGUCKIN

Harrison Harkinsは、最終的な診断が下された1か月後に、その短い生涯を閉じた。

遺伝学的な配列解読の威力をよく知っている医学研究者にとって、自分たち以外の人間がそれに気が付いていない（あるいは、その有用性を信じていない）ことは大きな驚きだろう。ライフテクノロジーズ社（米国カリフォルニア州カールズバッド）で配列解読技術の開発に携わっているTim Harkinsがそのことを知ったのは、病気で苦しむ息子の担当医たちに、「診断に役立てるためにゲノムの一部を配列解読してはどうでしょう」と提案したときだった。「彼らは、私の言っていることが全然わかっていませんでした」とHarkinsは振り返る。

そこで彼は、ベイラー医科大学（テキサス州ヒューストン）の遺伝学者たちに連絡をとった。そのチームは、Harrisonの*ASXL3*遺伝子変異を見つけてくれた。遺伝子診断は「計り知れない慰めをもたらしてくれました」とHarkinsは言う。彼にとって特に大きかったのは、13歳になる上の息子に、「この変異は突発的なものであって遺伝しない」と伝えられたことだ。「私は彼にこう言うことができました。君が将来、弟のような子を持つ確率は、雷に撃たれる確率よりも低いんだよ、とね」。

配列解読は、実際すでに費用がかなり安価になっているのに、いまだに、臨床に使うには高価すぎるうえに有意義な結果は得られないものとして扱われている、とHarkinsは話す。もちろん、それは誤った認識だ。Harkinsは自身の経験を語る。「配列解読による診断結果を知ることで、必要のない外科手術や治療を受けずに済みますし、これをしなくていいのか、あれはどうなのかと、当てずっぽうの推測をしなくてもよくなります」。

ドイツでは、配列解読に対する不安はもっと根深い。ハンブルクに住むChristian-Alexander Neulingと妻Mariaは、息子Ferdinandの*ASXL3*に変異があることを遺伝子診断で知り、少しばかりホッとした。Neuling夫妻は、Ferdinandのためにできることをすべてやっていると確信でき、安堵したのである。Ferdinandは現在、4歳になる。さらに、この遺伝子診断のおかげで、同じ病状の子どもを持つ米国の別の家族と連絡をとり合うこともできた。

しかしNeuling夫妻は、ドイツでは遺伝学的な配列解読に対して非常に懐疑的であると憂慮する。この国では、あらゆる遺伝子検査の実施に医師の許可が必要で、カウンセリングが義務付けられている。「この過程で交わされる議論は実に一方的なもので、遺伝子配列解読をしないように強い働きかけがあるのです」と、Christian-Alexander Neulingは話す。Neuling夫妻は、自分たちのケースによって、ほかのドイツ人の抱く「遺伝子配列解読は優生学やデザイナーベビーにつながる」という懸念を一部でも払拭できればと思っている。「親は地獄から救われ、病気の子どもに役立つものを見つけようという気持ちになれるのです」。E.C.H

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

遺伝学に波紋を呼ぶ環状 RNA

Circular RNAs throw genetics for a loop

Heidi Ledford 2013年2月28日号 Vol. 494 (415)

マイクロ RNA はメッセンジャー RNA と結合して
遺伝子発現を抑えることが知られているが、巨大な環状 RNA は、
このマイクロ RNA をスポンジのようにどんどん吸い取ってしまうらしい。

RNA分子の珍品コレクションに新たな一品が加わった。それは我々の体の中で自然に生じる環状のRNA分子であり、しかも遺伝子の発現に影響を与えるという代物だ。

3月21日号の*Nature*に掲載された2つの論文で、少なくともこのような環状分子の中には、ちょうどスポンジが水を吸い取るように、マイクロRNAと呼ぶ小さな遺伝子調節因子をどんどん吸着して、その作用を止めてしまうものがあると報告された[1,2]。

研究者たちは、この環状RNAには、ほかにも多くの機能があるのではないかと考えている。「未解明のRNA分子で構成された“異次元のRNAワールド”があるのです」と語るのは、一方の論文[1]の代表執筆者で、ドイツのマックス・デルブリュック分子医学センター（ベルリン）のシステム生物学者のNikolaus Rajewskyだ。

今回の発見は、RNAが、DNAからタンパク質へ暗号を伝える単なるメッセンジャー役をはるかに超えた存在であることを、改めて思い出させてくれた。この20年間、それまでの枠には収まらない多くのRNA分子が見つかってきた。意外なほど短かったり、驚くほど長かったり、また中には、常識に逆らって他のRNA鎖がタンパク質に翻訳されるのを阻害するものさえあった。

ただし、その大半は線状分子であった。一部、植物や動物で環状のRNAがみられたが、それらは偶然に生じたものか、実験による人為的な産物として片づけられてきた。そう語るのが、ノースウェスタン大学（米国イリノイ州エバンストン）の分子生物学者Erik Sontheimerだ。

だが、線状RNA分子が圧倒的に多いという話は幻想かもしれない。典型的なRNAシークエンス法では、特徴的な「尾部」を持つ分子だけが単離される。しかし、環状のRNAは両端が連結されているために特徴的尾部がなく、これまでは見逃されてきたからだ。

しかし、シークエンス法の進歩のおかげで、RNA塩基配列についての膨大なデータが集積されてきており、尾部を持たないRNAのデータも得られている。昨年、スタンフォード大学医学系大学院（米国カリフォルニア州）の分子生物学者Julia Salzmanたちが、環状RNAという異次元ワールドからの初めての便りを取り次いだ。従来の方法では見逃していた可能性のあるRNA分子を探す中で、大量のヒト環状RNAを発見したのである[3]。

またRajewskyたちは、データベースから環状RNA分子の情報を探索し、線虫、マウス、ヒトから何千もの環状RNA分子を発見した。「これらもまた、従来のやり方では見つからなかった重要なRNAで、こうした驚くべき発見が、いつになったら止まるのかわからないほどです」とSontheimerは語る。

Rajewskyのグループや、Thomas HansenとJorgen Kjemsをリーダーとするオーフス大学（デンマーク）のグループが注目したのは、ヒトとマウスの脳で発現している、約1500ヌクレオチドの長さの巨大な環状RNAである。両グループは、miR-7と呼ぶマイクロRNAの結合部位が、この環状RNAに約70か所も含まれていることを明らかにした。マイクロRNAというのは短いRNA鎖で、メッセンジャーRNAと結合してその翻訳を阻害することにより、遺伝子の発現を阻害する。なお、miR-7の標的配列は、がんやパーキンソン病に関係することが知られている。

Hansenたちは、環状RNAの発現によって、阻害因子であるマイクロRNAの働きが阻害されることに気がついた。おそらく、環状RNAがmiR-7を捕らえて不活性化した結果、miR-7の阻害活性が抑えられて、標的遺伝子の発現が亢進（こうしん）したのだろう。Rajewskyのグループは、環状RNAを発現させたり、miR-7を欠失させたりすると、脳の発生が変化することをゼブラフィッシュで明らかにしている。

さらに、環状RNAは細胞外からのマイクロRNAを吸着する可能性もある、とRajewskyは述べている。一部の環状RNAには、ウイルスのマイクロRNA（宿主の免疫応答を阻害する働きを持つ）の結合部位と思われる部位があるからだ。環状RNAがRNA結合タンパク質と相互作用する可能性さえ、Rajewskyは考えている。Salzmanもこの見方に賛同しており、「環状RNAは非常に豊富にあるので、おそらく機能的役割も多岐にわたるでしょう」と語っている。

ところで、RNAは他にどのような形をとる可能性があるのだろうか。「見逃している可能性のある分子の形と言っても、私は他には思いつきませんが、いずれ誰かが見つけるでしょう」とマサチューセッツ工科大学（米国ケンブリッジ）の分子生物学者Phillip Sharpは笑う。 ■

（翻訳：宮下悦子）

1. Memczak , S. *et al. Nature* **495**, 333-338 (2013).
2. Hansen, T. B. *et al.Nature* **495**, 384-388 (2013).
3. Salzman, J., Gawad, C., Wang, P. L., Lacayo, N. & Brown, P. O. *PLoS ONE7*, e30733 (2012).

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

幹細胞治療の規制に取り組み始めた日本

Unknown territory

2013年2月7日号 Vol. 494 (5)

実験的な幹細胞治療の規制に、日本が遅まきながら取り組んでいる。
明確に定められた法的枠組みによる患者の保護が必要だ。

日本には毎年、数百万人の外国人観光客が詰めかけ、豊かな文化遺産や歴史遺産を満喫している。ところが、そうした通常の観光コースを外れた、別目的の訪問客がいる。それが実験的な幹細胞治療を受ける人々だ。2012年12月22日付の毎日新聞は「韓国ソウルに本社を置くバイオテクノロジー企業RNLバイオと提携する福岡市博多区のクリニックで、毎月約500人の韓国人が幹細胞治療を受けている」と報じた。また、2013年1月29日付の朝日新聞の記事によれば、有効性の証明されていない幹細胞治療を宣伝するクリニックが日本国内で20か所以上見つかったという。

幹細胞ツーリズムが流行し始めた国々には、中国、コスタリカ、ウクライナなど、法規制が整備されていない国が含まれている。しかし、ここに日本も入っているのはなぜなのか。

そもそも、日本の幹細胞治療に対する規則は、整備が遅れているどころか、存在していない。しかも、日本は清潔さと信頼性で定評があるため、実証されていない治療法を正当化する場所として、まさに好都合なのだ。毎日新聞の見出しは、日本は「途上治療の楽天地」だった。これまで反応が鈍かった厚生労働省も、ついにこの問題に取り組み始めた。

1月30日には、厚生労働省の専門委員会が、幹細胞の臨床利用を監督するための新法に関する指針案の一部をインターネット上で公表した。2月には法案の最終案が作成され、今期の国会に提出されることになっている。その詳細は、現在のところ明確になっていないが、法案には、幹細胞治療法の承認が臨床試験を経た後に行われること、臨床試験は登録承認施設のみで実施されること、医療提供者は、治療中の事故によって被害を受けた患者に対する補償制度を創設することなど、重要な提案が含まれている。

このように明確に定められた規則の導入は、日本で通例となっている柔軟な指針とは対照的で、前向きな対応として歓迎される。この規則に定める指導指針は、幹細胞ツーリズムに困惑している福岡のような地方自治体の担当者にとって、特に役立つはずだ。

ただ問題なのは、この強力な規則が適用されるのが、3種類の幹細胞治療のうち、最もリスクの高いとされる分野、つまり胚性幹細胞（ES細胞）や人工多能性幹細胞（iPS細胞）を用いた治療法に限られる可能性が非常に高い点だ。しかも、これら幹細胞のリスク自体が明らかになっていない。

残り2種類の幹細胞治療については、指針において十分に記述されていないが、一般的に受け入れられ、安全と考えられている治療法、そして、ある程度予見可能なリスクを伴う治療法が含まれる可能性が高い。ある政府高官によれば、これら2種類の幹細胞治療を行うクリニックは、地元の治験審査委員会の承認を受け、後は、幹細胞治療のために開設することを関係官庁に届け出るだけでよいのだ。その後は、政府当局による積極的な監視は行われない。RNLバイオが提供する幹細胞治療法は、患者の脂肪組織から抽出した幹細胞を実験室内で増殖させるもので、規制の緩い種類のいずれかに分類されると考えられる。そうなると、RNLバイオやその他の企業が、日本の規制の緩さにつけ込んで患者に被害を及ぼす可能性をどう防止すればよいのか。

幹細胞治療ビジネスでは、クリニックによる自己監視に問題のあることが、すでに明らかになっている。米国には、厳しい規制制度があるが、幹細胞治療を監督する手本とは到底言えない。最近、テキサス州が、地域レベルの審査委員会による検査に合格した企業が幹細胞治療に参入できることを定めた規則を施行した。ところが、審査委員会の承認を受けた州内で最も知名度の高い幹細胞企業の義務違反が発覚し、最終的には、米国食品医薬品局による厳しい取り締まりが行われたのだ。

この問題は、全世界の規制当局が抱える難しい課題といえる。必死になっている患者は、可能性のある治療法なら何でも試したいと考えており、規制の強化はその権利を奪うものと感じている。また、一部の企業は、過剰な負担が有望な治療法の開発を断念させていると主張し、それにはある程度の正当性もある。日本は、米国やその他の国々の状況から学ぶべきで、実績のない治療法を市場に放置し、患者を危険にさらすような現行法の抜け穴には要注意だ。 ■

（翻訳：菊川要）

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

包括的核実験禁止条約を支える国際監視システム

Eyes and ears

2013年2月21日号 Vol. 494 (281-282)

2月12日には北朝鮮で地下核実験、15日にはロシア上空への隕石突入と、地球を揺らす大きな爆発が相次いで発生した。この2件の出来事は、国際監視システムの重要性を再確認させるものとなった。

2013年2月15日、ロシアのウラル山脈の町チェリャビンスクの上空を、隕石が猛スピードで通過した。発する光線で通勤客の目はくらみ、耳をつんざくような一連の爆発音とともに数千枚の窓ガラスが粉々になった。この様子は携帯電話や車載カメラで記録され、まもなくユーチューブにはロシア語解説のついたハリウッド映画ばりの“火の玉映像”があふれ出した。

この爆発を記録していたのは、地元住民だけではなかった。世界の十数か所に設置された監視ステーションでは、隕石が大気中で爆発した超低周波不可聴音信号をとらえていた。これらの監視ステーションは、より大規模なセンサーネットワークの一部であり、違法な核実験を検知する目的で建設された。この監視システムは、究極的には、全世界での核兵器研究を禁止する包括的核実験禁止条約(CTBT)の裏付けとなるものだ。

カナダと米国の科学者は、監視システムのデータを利用して、ロシア上空で爆発した岩石が、この1世紀以上の間に地球に到達した隕石としては、最大のものだったことをすばやく断定した。また、今回の隕石の爆発力は、大型の熱核弾頭に匹敵することも判明したが、爆発が起こった高度が十分に高かったため、幸い、衝撃波の大部分は大気に吸収されたこともわかった。

この出来事が、もし冷戦中でインターネットもなかった30年前に起こっていたとしたら、どうなったか。それを考えてみれば、この監視ネットワークの価値がよくわかる。チェリャビンスクから100km以内には、ロシアで最大級の核兵器製造・貯蔵施設がある。そこで予告なしの空中爆発が起こったわけだから、同国は最大級の警戒態勢をとり、一触即発の危機を迎えたのはほぼ確実だった。

現に、2月15日の隕石爆発の直後、右翼政党の国会議員ウラジーミル・ジリノフスキーは、「これは隕石の落下ではなく、米国による新兵器の実験だ」と主張した。ロシアの報道機関は、困惑気味に論評したが、もし別の時代なら、核戦争の引き金になったかもしれない発言だったからだ。

ロシアの隕石事件が起こる数日前、これより地味だが、政治的にはより重要性の高い事象が、CTBT国際監視ネットワークによって検知されていた。2月12日、北朝鮮が地下深部で3回目の核兵器実験を実施したのだ。CTBTネットワークの地震感知器は爆発を検出し、これまで北朝鮮で行われた核実験場所から数km以内の地点であることが突き止められた。別のデータ解析からは、核爆発の威力は数キロトンで、ロシアの隕石爆発よりかなり小規模なことも明らかにされた。

実は、北朝鮮での核爆発を検証する方法は、これ以外にほとんど存在しない。北朝鮮の朝鮮中央通信は、核兵器実験に関する声明文を報じたが、その信頼性は低い。米国、日本、韓国の感知器も核爆発による衝撃を検出したが、いずれも主権国家の保有する感知器であり、データがタイムリーに公開されることも、またそれを敵対国家が確認することも、普通はありえない。

CTBTネットワークの存在理由は、今回のような核実験の検知にある。このネットワークで核実験が見つかるということは、中国、米国、インド、パキスタンを含む8か国が条約批准に前向きならば、国際的な核実験禁止が実施可能であることを示している。CTBTは、1996年以降、批准を受け付けているが、残念なことに、近年は、条約発効への進展はほとんどない。

今回の隕石爆発のように、CTBTネットワークは、稼働開始以降、地震、津波、原子力事故の監視など、核実験以外の分野でも大きな成果を挙げてきた。国際センサーネットワークの建設と運営には、多額の費用がかかる。ウィーン(オーストリア)に本部を置くCTBT機構は、全世界に設置された321か所の監視ステーションと16か所の研究所、それにデータセンターとCTBT条約の支援活動に年間約1億米ドル(約95億円)の費用を費やしている。これらの資金はCTBT機構の加盟国(183か国)からの拠出金で賄われている。

この数年間で、数百人の科学者がCTBTデータを利用し始め、今後も数百人が新規利用登録をする可能性が高い。2月中旬の1週間の出来事は、たとえCTBT条約がなくても、CTBTネットワークが地球の居住安全性を高めていることを教えてくれた。■

(翻訳:菊川要)

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

Volume 495
Number 7439
2013年3月7日号

Podcast

特集：女性の仕事：科学研究の分野で構造的な性差別がまだ横行しているのはなぜなのか

WOMEN'S WORK: Why is science still institutionally sexist?

科学研究の世界では、いまだに「性差別」が至極平然と行われている。いくらか改善されたものの、依然として女性科学者は、男性科学者に比べて給与が低く、昇格の機会も研究助成金の獲得数も少ない。また、同程度の資格を持つ男女の比較においても、女性のほうが研究を辞める率が高い。この号では、このような男女差と、それを解消するためにどういったことが行われているかを詳細に検討した。この特集は、急逝した *Nature* 誌の編集者 Maxine Clarke を偲んで組まれた。彼女は、編集者として 28 年間最高の科学的水準を守り続けただけでなく、日常的に「女性が全然入ってないのはどういうわけ？」と抗議した唯一の人物であった。

宇宙：大マゼラン雲までの正確な距離

Accurate distance to our nearest-neighbour galaxy

食連星系の恒星の物理的性質は、2 つの天体間に緊密な相互作用があるので正確に決定することができる。こうした系からやってくる光の揺らぎを常時観測すれば、銀河系外の正確な距離測定が可能だ。今回この方法を使って、大マゼラン雲（LMC）までの距離を、これまでで最も正確に決定した。この較正手法に特に適した、長周期の晩期型食連星系 8 個のデータから、LMC までの距離を 2.2％の精度で測定することに成功し、ほぼ 49.97 キロパーセクであることが示された。LMC までの距離は、ハッブル定数決定のために重要な要素であり、宇宙の膨張速度を測る重要な物差しとなる。

神経科学：鳥を歌わせるのは何？

What gives birds the urge to sing

キンカチョウなどの鳴禽類（めいきんるい）の複雑なさえずりには、タイミングを正確に計った発声の制御が必要だ。そうしたタイミング合わせが成し遂げられる仕組みを説明する理論の 1 つは、さえずりの学習や実行に不可欠な脳部位である HVC のニューロンが運動のペースを決める「時計」信号を出しているというものだ。今回、それとは別のモデルを裏付ける証拠が示された。D. Margoliash らは、鳥類の鳴管の生物物理学的モデル化と就眠中あるいは覚醒している鳴禽からの記録とを組み合わせて、HVC の活動がさえずりと正確に同期していることを見いだした。この結果は、HVC ニューロンは時間をコードしているのではなく、さえずりについて予測的な「順」感覚運動モデルを実行していることを示唆している。

化学：メタノール経済を促進する触媒

A catalyst for the methanol economy

水素は、PEM（プロトン交換膜）燃料電池によって容易にエネルギーに変換できる。だが、輸送と貯蔵が難しいため、「水素経済」への関心は低い。メタノールを使えば、こうした問題を解決できるかもしれない。組成の 12.6％が水素のメタノールは、室温で液体なので取り扱いやすいのだ。M. Bellerra らは、ルテニウム錯体を触媒として用いた高効率水相メタノール脱水素化プロセスについて報告した。このプロセスでは、反応が 95℃以下でしかも常圧で進むため、PEM 燃料電池にメタノールを直接使用することができ、実用的な水素貯蔵・配送システムの基盤となりうる。

開発されたルテニウム錯体触媒の結晶。

材料：二酸化炭素分離に適した細孔特性

Pore performance good for energy storage

金属有機構造体は、多孔性結晶材料であり、クリーンエネルギー化のためのガス分離・貯蔵材料候補として広く研究されている。この分野では、ガスの取り込みを最大にするために可能なかぎり表面積が広い材料を開発しようとしてきた。今回、一連の金属有機構造体を作製して吸着実験を行った結果、表面積は考えられていたほど重要でないことがわかった。適切な化学的性質と結びついた細孔サイズのほうが、CO_2 に対する速やかな取り込みと強い収着に優れていることが示唆されたのだ。このような考え方に基づいて設計された材料は、水分が存在する場合でも、CO_2 に対して、窒素、酸素、メタン、水素よりも高い選択性を示した。

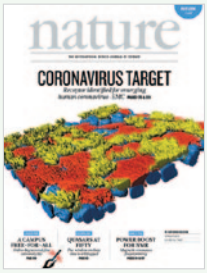
分子生物学：不適合コドンと時計機能

Time for non-optimal codons

多くの生物学的過程は、1 日の周期、つまり概日周期のリズムによって調節されている。通常、概日リズムを調節する遺伝子のような高度に発現されている遺伝子では、発現を効率的に行うことができるように適合したコドンが含まれているのが普通である。今回、C. Johnson と Y. Liu がそれぞれ率いる研究チームによって、2 つの研究成果が報告された。シアノバクテリアおよびアカパンカビ（*Neurospora*）の主要な概日タンパク質では、意外なことに、こうした翻訳条件に最適でないコドンが使われており、そのコドンを最適化すると、シアノバクテリアでは適応応答に変化が生じ、アカパンカビでは時計機能が障害されることがわかった。この結果は、適合コドンの使用頻度に対して予想外の選択が存在することを明確に示している。

関連したポッドキャスト（英語）を上記 QR コードから無料配信中です（iPhone™のみ対応）。

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.



Volume 495
Number 7440
2013 年 3 月 14 日号

Podcast

コロナウイルスの標的：新興ヒトコロナウイルス hCoV-EMC の受容体が見つかった

CORONAVIRUS TARGET: Receptor identified for emerging human coronavirus-EMC

コロナウイルス hCoV-EMC は、2012 年 9 月に見つかり、感染者は少数であるものの、これまでにその約半数が死亡している。今回 B. Haagmans らは、このウイルスが感染に利用する受容体を解明した。近縁のウイルス SARS-CoV はアンジオテンシン変換酵素 2 を受容体として使っているが、hCoV-EMC ではジペプチジルペプチダーゼ 4（DPP4）であった。このエキソペプチダーゼは下気道の非繊毛細胞上に存在し、多様な種で非常によく保存されているため、hCoV-EMC はコウモリの DPP4 も機能的受容体として使うことができる。今回の結果は、この新規ウイルスの宿主域と疫学的歴史に関する手がかりとなるばかりでなく、治療戦略の開発にも役立つ可能性がある。表紙は、気管支上皮初代培養細胞でのジペプチジルペプチダーゼ 4（赤色）の分布の様子。この酵素は非繊毛細胞に存在するが、繊毛細胞には見られない。

計測：NMR の能力を向上させる

Raising the profile of NMR

核磁気共鳴は、多くの分野で強力な解析手段として用いられているが、その能力のほんの一部が活用されているだけだ。つまり、ほとんどの測定が定性的で、調べられる特性の範囲は限られている。今回、磁気共鳴フィンガープリント法という、1 回の測定で得られる定量的情報の量を大幅に増やすことを狙った新しい方法が報告された。この方法では、調べる物質特性のデータを無差別に収集する方式と、対象となる「フィンガープリント（指紋）」をデータ内で探し出すパターン認識アルゴリズムとを組み合わせる。この方法によって、疾患の早期指標や物質の複雑な変化を検出し解析できるばかりか、磁気共鳴研究の感度や特異性、スピードの向上が実現するかもしれない。

地球：水と水素はマントル内で混合しない

Water and hydrogen don't mix in the mantle

これまで、地球マントル深部の水和流体内で水素分子（H_2）と水が共存する所では、両者は完全に混和できると考えられてきた。しかし今回、E. Bali らによる地球の深さ 50 ～ 80km を模した条件下での合成流体包有物を用いた研究から、水と水素は 2 つに分離して、混和しない相として共存することが示された。このような非混和性は、マントル内に存在すると考えられている謎の「超還元的領域」形成の原因になっている可能性があり、核形成直後の地球の上部マントルの急速な酸化機構になりうる。

神経科学：CALHM1 ATP アーゼは 3 つの味に関わっている

CALHM1 ATPase mediates three tastes

甘味、苦味、うま味の知覚は、味蕾（みらい）細胞からの非小胞性の ATP 放出に依存しており、ATP が神経伝達物質として働くことで、脳に味覚シグナルを送る神経が活性化される。今回、電位依存性イオンチャネル CALHM1 が、甘味、苦味、うま味の知覚に必要な電位依存性 ATP 放出チャネルとして働いていることが、ノックアウトマウスを使った実験で明らかになった。CALHM1 の欠失は、味の知覚だけを変化させて、味覚細胞の発生や完全性は損なわない。この結果は、このチャネルが末梢味覚系の重要な機能的要素であることを示している。

細胞：骨髄には複数の幹細胞ニッチが存在する

Multiple stem cell niches in bone marrow

ケモカインである CXCL12 は、造血幹細胞（HSC）の機能の維持に重要な役割を担っている。今回、互いに相補的な 2 つの研究で、骨髄ニッチ細胞候補での *Cxcl12* の条件付き欠失の影響が調べられた。両者は異なる *cre* と *Cxcl12* 対立遺伝子を用いて実験を行ったが、同様の結論に至った。L. Ding と S. Morrison は、成体マウス骨髄のニッチ構成細胞と考えられるさまざまな細胞で、CXCL12 発現のマッピングを行った。その結果、内皮細胞での *Cxcl12* 欠失は HSC 維持に影響を与えるが、*Lepr-cre* が標的とする血管周囲ストローマ細胞での欠失は維持に影響を与えないことがわかった。これらのニッチは重ならないので、骨髄微小環境内は区画化されているといえる。一方、D. Link らは、ニッチストローマ細胞集団候補で *Cxcl12* を欠失させた。オステリックスを発現しているストローマ細胞での CXCL12 発現は B リンパ球系前駆細胞を支持し、骨髄で造血前駆細胞を保持しているが、血管周囲領域のストローマ細胞での CXCL12 発現は HSC を支持することを見いだした。これらの結果は、造血系疾患発症の解明に役立つだろう。

構造生物学：カルシウムが筋細胞を駆動する仕組み

How calcium drives muscle cells

筋細胞の収縮と弛緩（しかん）は細胞質カルシウム濃度の増減によって制御されており、この過程は筋小胞体（SR）からのカルシウム放出によって開始され、SR の Ca^{2+}-ATP アーゼ（SERCA）によるカルシウム再隔離によって終了する。今回 2 つの論文が、サルコリピン（骨格筋の SERCA の調節を行う小型の膜タンパク質）が存在する状態での SERCA の X 線結晶構造を示した。この構造から、サルコリピンは SERCA をこれまで知られていなかった「開」状態にトラップすること、またこの開状態では 2 つの高親和性結合部位にカルシウムがまだ結合していないことがわかった。

関連したポッドキャスト（英語）を上記 QR コードから無料配信中です（iPhone™のみ対応）。

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

Volume 495
Number 7441
2013 年 3 月 21 日号

発展中の 3D 画像：モバイル機器に使え、眼鏡の要らない三次元ディスプレイ

3D ON THE MOVE: Glasses-free three-dimensional displays for mobile devices

特殊な眼鏡を必要としないグラスレス三次元（3D）ディスプレイは、データ可視化、医療トレーニングや娯楽などの分野に大変革をもたらす可能性があり、モバイル機器に適用されれば、その影響は特に大きいだろう。ホログラフィーは 3D を見るのに理想的だが、速度やコスト面での問題から応用に結びつかない場合が多い。別の方法として、さまざまな幾何光学的技法を使って同時に多方向から見ることができる 3D 像を作り出す「多視点方式」がある。ヒューレット・パッカード社研究所（米国パロアルト）では、特にモバイル機器に適した新しい多視点 3D ディスプレイを開発した。モバイル機器には、高い空間解像度と広角視域を持つ薄型ディスプレイが必要である。今回の新デバイスの中核となるのは、バックライト表面にエッチングされた色と視点の異なる一連の方向性グレーティングピクセルである。このディスプレイには、現在の液晶ディスプレイのスクリーンで使われているものと非常によく似た LED バックライトを用いた。研究チームは、透明タイプの携帯型試作品を作製し、127 ピクセル / インチの解像度で、最高で 6 つの異なる 200 視点画像からなる動画を表示させることに成功した。表紙は、受動変調バックライトからの 3D 画像。

宇宙：星形成銀河に焦点を合わせた ALMA 望遠鏡

ALMA focused on star-forming galaxies

明るく塵に富んだスターバースト銀河は初期宇宙に多く存在したが、こうした天体の完全な赤方偏移分布の測定は難しく、高赤方偏移では特に困難だった。チリの ALMA 干渉計が稼動を開始し、今回、星形成ガスが最もよく観測できる波長域であるミリメートル / サブミリメートル波長での高分解能画像が得られた。南極点望遠鏡による広域探査で見つかった、重力レンズ効果を受けた銀河からの一酸化炭素の輝線を重点的に観測した結果、$z > 4$ にある 10 個の天体が明らかになった。この数は、非常に高い赤方偏移で分光学的に確認された超高輝度銀河の数の 2 倍以上になる。$z = 5.7$ の 2 つの天体は、既知の中で最も遠方の超高輝度スターバースト銀河であり、ビッグバンの約 10 億年後の姿と考えられる。

神経科学：発話のための脳の構成

Brain organization for speech

発話を行うには、唇・顎・舌・咽頭を正確なタイミングで協調させて動かす必要がある。E. Chang たちは今回、この制御に関わる神経基盤を調べた。ヒトの感覚運動皮質から得た多点電極記録から、発話に関与する脳領域が、顔と声道の体部位対応的な表現に従って並び、多数の細胞からなる複数の細胞集団が特定の音声素性に対応していることがわかった。特に興味深いのは、腹側感覚運動皮質の最も背側の端にある、咽頭に対応するまた別の表現領域で、ここはヒト以外の霊長類には見られず、発話の制御に特化して独自に発達したと考えられる。

分子生物学：環状 RNA が miRNA を囲い込む仕組み

How circRNAs round-up miRNAs

環状 RNA（circRNA）は動物細胞で見つかっているが、その機能はわかっていない。今回、2 つの研究チームからそれぞれ報告がなされ、マイクロ RNA である miR-7 に結合する 1 つの circRNA の機能が明らかになった。この circRNA にはマイクロ RNA 結合部位が多数あり、1 つの circRNA 分子が多数の miRNA を結合できる「スポンジ」として機能していることがわかった。これらの研究は、circRNA が転写後調節に役割を担っていることを示唆している。

細胞：多能性の確立に NANOG タンパク質が果たす役割

NANOG protein role in establishing pluripotency

今回、TET ファミリーに属する 2 つの 5-メチルシトシン（5mC）ヒドロキシラーゼの TET1 と TET2 が NANOG と相互作用することが示され、多能性因子 NANOG の再プログラム化機構についての新たな手がかりが得られた。TET1 と TET2 は、自身の触媒活性に依存して再プログラム化を促進する。これは、ナイーブな多能性の確立に 5mC ヒドロキシラーゼが担う役割についての初めての報告である。

細胞生物学：オートファゴソームの起源の再検討

Autophagosome genesis revisited

損傷をこうむったり、機能を失ったりした細胞成分やタンパク質複合体のオートファジーによる分解は、細胞に不可欠だ。不要な物質はまず、リソソームに似ているが破壊酵素を持たない「オートファゴソーム」に取り込まれ、次にリソソームへと運ばれて分解される。今回、吉森保（大阪大学）らは、オートファゴソームは小胞体とミトコンドリアが接触している部位で形成され、形成には SNARE タンパク質の 1 つのシンタキシン 17 が必要なことを明らかにした。この結果を受けて、オートファゴソーム形成に関する互いに矛盾する 2 つの考え方、すなわち、オートファゴソームの起源は小胞体にあるとする説とミトコンドリアにあるとする説が、1 つにまとまりそうだ。

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

Volume 495
Number 7442
2013 年 3 月 28 日号

Podcast

特集：新しいページ：科学出版の変容

A NEW PAGE: The transformation of scientific publishing

この号では、現在起こりつつある科学論文出版の変容に注目し、それについて特集した。News Feature では、著者が費用を負担するオンラインでの論文出版が大幅な経費削減を可能にするという主張を評価・考察しており、複数の著者が、オープンアクセス出版の上手な利用の仕方について論じている。この特集では、出版のさらに広い側面について考察し、リアルタイムでフィルター機能を発揮するアルゴリズムが学術誌や論文という概念を無用にするという考えや、図書館もしくはそれに代わるバーチャルなシステムが将来どのようになるか、といったことについても検討している。

化学：結晶化不要の X 線構造決定

Crystal structure without the crystals

X 線回折は強力な解析手法だが、適用範囲が限られるという欠点がある。つまり、解析対象となる物質は結晶状態でなければならないのである。今回、猪熊泰英（東京大学）らが、試料自体の結晶化を必要としない新しい X 線解析の手法を報告した。この方法では、金属有機構造体という結晶性の「スポンジ」を使って、解析対象分子を含んだ微量のゲスト溶液を吸収させる。このスポンジは、吸収した分子を認識して規則正しい配列でそれらと結合する細孔を持っているため、ホスト骨格とともに、吸収したゲスト分子の X 線結晶構造解析が可能になる。この方法を使って、希少天然物ミヤコシン A の絶対構造が、たった 5μg という微量の試料で決定できた。

神経科学：RNA 代謝が神経変性と結びつく

RNA metabolism linked to neurodegeneration

哺乳類の RNA キナーゼである CLP1 が見つかったのは約 5 年前で、当初 *in vivo* でのその機能は不明だった。今回、花田俊勝（オーストリア科学アカデミー分子生物工学研究所）らによるノックアウトマウスを用いた研究から、CLP1 が運動ニューロンで機能することが明らかになった。不活性型 CLP1 キナーゼを発現するマウスでは、脊髄運動ニューロンが徐々に消失し、末梢神経の変性が見られ、運動機能障害が生じて最終的に呼吸不全が起こった。また、CLP1 活性の消失は、チロシン tRNA 前駆体の異常なプロセシングに由来する低分子 RNA 断片の蓄積を引き起こし、この tRNA 断片により、細胞は酸化ストレス誘導性の p53 活性化および p53 依存性の細胞死に対して高感受性となった。p53 を遺伝学的に不活性化すると、変異マウスは CLP1 不活性化による神経筋症状から救済された。この結果から、tRNA プロセシングとその結果生じる新しい RNA 種と、進行性の下位運動ニューロン消失との間の関連が明らかになった。

進化：バージェス頁岩で見つかったギボシムシ

Acorn worms in the Burgess Shale

腸鰓類（ギボシムシ類）は、潮間帯から深海までの砂泥中に生息する動物であり、群体を形成し棲管を築いてその中に生息する微小な翼鰓類（フサカツギ類）と近縁だが、両者の外見は全く異なっている。腸鰓類と翼鰓類はいずれも棘皮動物および脊索動物に近い。今回 J-B. Caron らは、カナダ・ブリティッシュコロンビア州のカンブリア紀の有名なバージェス頁岩で見つかった化石腸鰓類について報告した。この化石腸鰓類は、一部の現生腸鰓類とよく似ているが、棲管内にいるという点では現生翼鰓類に似ている。この化石は、バージェス動物相の多様性を高めるとともに、腸鰓類と翼鰓類の共通祖先がどんな姿だったかを知る手がかりとなり、また、脊索動物の祖先が自由生活性の蠕虫なのか、それとも固着性で群体生活をする動物なのかという議論をさらに激化させそうだ。

免疫：Trib1 タンパク質がマクロファージの機能に果たす役割

Trib1 protein role in macrophage function

マクロファージは、大まかに 2 つのタイプに分類される。M1 細胞は微生物感染に対して活動する免疫細胞であり、M2 細胞は組織修復、蠕虫感染、腫瘍プログレッションやさまざまな脂質代謝障害などの幅広い機能を持つ。今回、佐藤荘（大阪大学）らによって、COP1 ユビキチンリガーゼとの相互作用を介してタンパク質分解に関わっているアダプタータンパク質の Trib1（Tribbles homolog 1）が、M2 に似た表現型を持つ脂肪組織常在型のマクロファージの発生に不可欠であることが示された。Trib1 の欠損は、転写因子 C/EBPα の発現異常と脂肪組織機能の障害につながる。TRIB1 変異は、アテローム性動脈硬化や高脂血症などの脂質代謝異常と関係することが示唆されており、今回の結果はヒトの TRIB1 と脂質代謝異常との間の関係を裏付けるものだ。

ネイチャーからのご案内

nature video
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）

nature podcast
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）

関連したポッドキャスト（英語）を上記 QR コードから無料配信中です（iPhone™のみ対応）。

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

2013年12月24日までの期間に、*Nature*ダイジェストを**新規購読お申し込み**いただきますと、

抽選で毎月1名様に

Nature 年間購読を プレゼントいたします！

＋

で、

ますます科学が楽しくなる！

Nature ダイジェスト創刊10周年記念新規購読キャンペーンお申し込み
nature.asia/nd10

nature publishing group npg

EDITOR'S NOTE

動脈硬化は、心筋梗塞や脳卒中を引き起こす原因となる。この病態は、過剰なコレステロールによって生じ、食事を含め現代の生活習慣と大きく関係していると考えられている。しかし、運動量も豊富で、質素な食事をしていたと思われる古代人に、現代人と同程度の割合で、アテローム性動脈硬化が見られたというのは驚きだ（本誌3ページ）。一方、生活習慣を改善し、コレステロール値を下げることで動脈硬化を予防するという“現代医学の常識”も、実は正しくないことわかり、今年から米国の治療ガイドラインが改訂されるという（12ページ）。「過ちて改むるに、はばかることなかれ」は科学の基本だ（EM）。

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

4月号の「アンドロメダ銀河で見つかった不思議な平面」に誤りがありました。お詫びして訂正致します。
29ページ左段26行目、正しくは下記のようになります。
「今回、Ibataらが規則的な運動をしている薄い平面を発見し、伴銀河が組織化された分布をとることが、確かな証拠によって裏付けられた。伴銀河の平面的な分布構造が普遍的なものであることを示唆する証拠は複数ある。この問題は～」

nature publishing group npg

ネイチャー・パブリッシング・グループ
〒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

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group.
All rights reserved. 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：Antoine Bocquet
副発行人：峯村宏
編集：松田栄治、宇津木光代
デザイン／制作：村上武、中村創
広告：米山ケイト、藤原由紀
マーケティング：池田三智世、池田恵子
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。

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

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。

oneworld

ネイチャー・ダイジェスト
5月号

平成25年4月25日発行 第10巻 第5号
編集発行人：Antoine Bocquet

発行所：ネイチャー・ジャパン株式会社
東京都新宿区市谷田町2-37 千代田ビル

発売所：日本出版貿易株式会社
ISSN：1880-0556

定価 680 円

本体 648 円
Printed in Japan

雑誌 07271-05

4910072710539
00648