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
2011

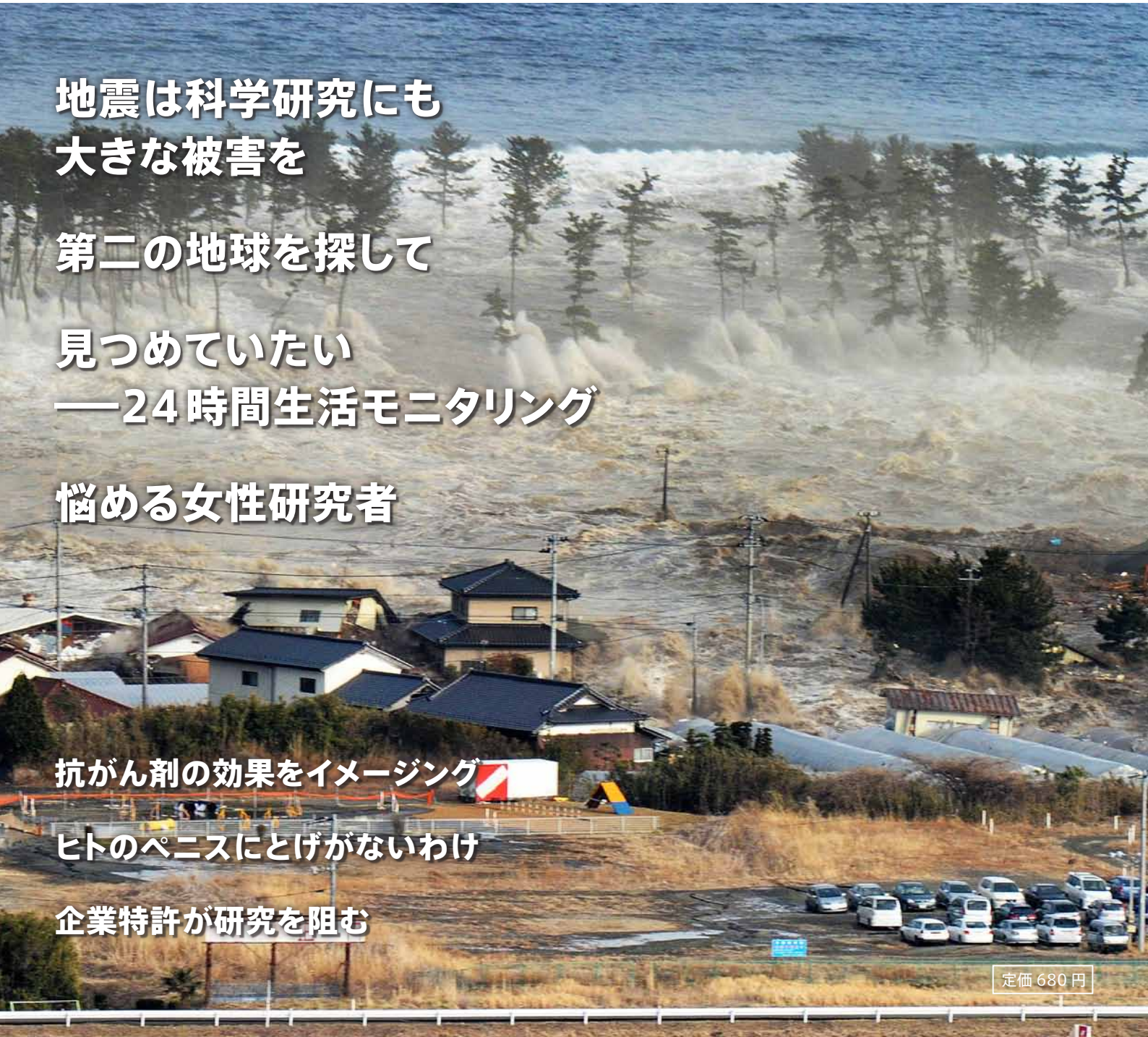
M9.0 が東日本を襲った

未知の放射線リスク

第三の光受容細胞

歩くサボテン!?

東日本を襲った大震災



地震は科学研究にも
大きな被害を

第二の地球を探して

見つめていたい
――24時間生活モニタリング

悩める女性研究者

抗がん剤の効果をイメージング

ヒトのペニスにとげがないわけ

企業特許が研究を阻む

定価 680 円

NEW FROM NATURE PUBLISHING GROUP:

2011年夏 創刊！

Scientific Reports は、自然科学（生物学、化学、物理学、地球科学）の
あらゆる領域を対象とした一次研究論文を扱う、
オープンアクセスの電子ジャーナルです。
本誌は、自然科学の特定分野の専門家が関心を持つような
研究論文を迅速に査読して出版できる環境を備え、
掲載論文への障壁なきアクセスを実現することを目的としています。

***Scientific Reports*では、論文を募集しています。**
ぜひ、ご投稿ください。

www.naturejpn.com/srep

npg nature asia-pacific

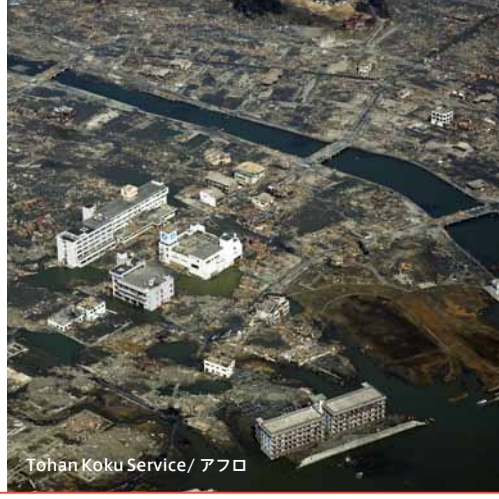
nature ダイジェスト

05
2011

2011 年 4 月 25 日発行

© 2011 年　NPG Nature Asia-Pacific
掲載記事の無断転載を禁じます。

www.nature.com/naturedigest


Tohan Koku Service/ アフロ

予想外の場所で発生した巨大地震 03

COVER IMAGE: 毎日新聞社 / アフロ

2011 年 3 月 11 日に発生した M9.0 の巨大地震。こんな地震が三陸沖で起こり、巨大津波が沿岸を襲うことは、全くの想定外であった。

NATURE NEWS

05 新方式のシーケンサー登場

07 ペニスのとげは
どうしてなくなったのか

08 「歩くサボテン」は節足動物の親戚

09 地球深部には珍しいタイプの
硫黄が存在

23 科学界の男女格差を調査

24 研究を妨げる企業ライセンス

NATURE FEATURE

20 第三の光受容細胞

NEWS & VIEWS

28 1 つにつながった老化の理論

30 細胞が外部に及ぼす力を
三次元で可視化

EDITORIAL

32 ヒトゲノム解読から 10 年
―― お楽しみはこれから

33 歴史的な科学資料の保存と
有効利用へ、ドイツの挑戦

JAPANESE AUTHOR

18 抗がん剤の効果を、
蛍光イメージング技術で可視化！
―― 宮脇 敦史

HIGHLIGHTS

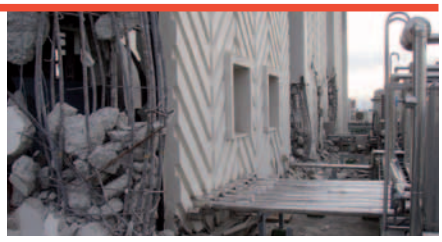
34 2011 年 3/3 ～ 3/31 号

英語で Nature

38 インフルエンザと戦う善玉細菌

02 日本の科学に激震

東日本大震災では、多くの尊い命が奪われ、市民生活が破壊された。その被害は、研究機関にも及んだ。研究者は今、必死で復旧、復興に当たっている。


TOHOKU UNIV.

04 予測できない放射線リスク

福島第一原子力発電所事故で、低レベルの放射性物質が大気中に放射されているが、長期的な影響は未知である。

SOURCE: CENTRAL INST. FOR METEOROLOGY AND GEODYNAMICS

10 もうひとつの地球はどこに

宇宙望遠鏡ケプラーは、これまでに多くの太陽系外惑星を発見している。特に地球型惑星の発見は、我々の夢をかき立てる。

NASA/JPL-CALTECH/R. HURT; SSC-CALTECH

14 見つめていたい

私たちは、毎日、呼吸や食事によりさまざまな物質にさらされている。こうした環境曝露（エクスポゾーム）を測定しようとしている研究者たちがいる。

ISTOCKPHOTO

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

東北大学の建物のいくつかは激しく損傷し、立ち入り危険と判定された。

TOHOKU UNIV.

日本の科学に激震

Quake Shakes Japan's Science

ICHIKO FUYUNO 2011年3月24日号 Vol. 471 (420)
www.nature.com/news/2011/110321/full/471420a.html

日本の研究者たちは、地震で破損した装置や寸断されたインフラと懸命に戦っている。

2011年3月11日、マグニチュード9.0の大地震と想定をはるかに超えた津波が東北地方と関東地方を襲った。東北大学大学院生命科学研究科の田村宏治（たむらこうじ）の研究室は、地震によりめちゃくちゃになった。本や顕微鏡、DNAシーケンサーやサンプルは床にたたき落とされた。幸いにも、田村が器官形成の研究に用いているヤモリ、アフリカツメガエル、ゼブラフィッシュは、地震には耐え、生き延びた。だが、今、ゆっくりと死に向かっている。断水により水槽の水がなくなる可能性があるからだ。「ここの動物たちが水なしでどのくらい生きられるかと思うと、不安です」と彼は言う。「けれども、多くの被災者が生きるために水を必要としている今、研究のことなど考えていられないのです」。

日本の多くの研究者と同じく、田村は、台無しになった研究計画について心配しながら、地震と津波によって2万人以上が命を落とし、50万人近くが住む家を失ったことに深い悲しみを感じている。現時点（3月21日現在）では、少なくとも大学および研究所の構内での犠牲者は報告されていない。しかし、地震発生から時間が経ち、被害の状況が明らかになるにつれ、研究者たちは、復興への道のりは長く、困難なものになると予想している。研究室やその他の施設の物理的な損壊に加えて、インフラが破壊され、東京を含む東日本の広い範囲で停電が発生しているからだ。

学術研究機関の中で最も大きな被害を受けたのは、東北大学である。東北大学は、材料科学、工学、生物医学研究が盛んだが、震源に近い仙台にあり、4月下旬までの休講が決まっている。現在、緊急チームが被害の調査を進めているが、電気、ガス、水道の供給が断たれているうえ、断続的な余震もあり、困難をきわめている。仙台より北方の沿岸部女川町にある同大学大学院農学研究科の女川フィールドセンターでは、建物が津波の直撃を受けた。メインキャンパスでも、6棟の建物が危険で立ち入りができないと判定された。

東北大学原子分子材料科学高等研究機構（WPI-AIMR）は、金属ガラス、ポリマー、ナノデバイスの研究で名高いが、山本嘉則（やまもとよしのり）機構長によると、今回の震災で10億円相当の機器が失われたことがわかっており、より詳細な評価が行われれば、被害額はさらに大きくなるだろうという。破損した機器の中には、世界最高レベルの電子顕微鏡や、表面の原子配列を調べるための装置も含まれている。

震源からもっと遠い茨城県の海岸にある大強度陽子加速器施設（J-PARC）も閉鎖されている。3基の加速器は損傷していないように見え、施設も津波による被害は受けていない。しかし、地震により水道が止まって水の供給が断たれ、周辺地域の道路はゆがみ、コンピューター・サーバーは損傷した。研究者らは、3月下旬から施設の電源スイッチを入れ、予備的な点検を始める予定である。

茨城県つくば市の高エネルギー加速器研究機構（KEK）の放射光科学研究施設（フォトンファクトリー）のシンクロトロンも損傷した。施設長の若槻壮市（わかつきそういち）は、3月15日に世界の研究コミュニティーに宛てて手紙を書き、「線形加速器はかなりの損傷を受けた」が、「5本あるタ

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

ンパク質構造解析用放射光ビームラインには大きな損傷は見られない」と報告している。

一方、福島第一原子力発電所をはじめとする複数の原子力発電所が操業を停止したことで、関東地方は電力不足に陥り、計画停電が毎日実施されている。関東地方にある多くの学術研究機関（その中には、東京大学や理化学研究所の一部の施設も含まれている）は、大幅な節電と、スーパーコンピューターなどの大型施設の閉鎖を余儀なくされている。

インフラの寸断と原子力発電所の事故という不測の事態に、日本在住の外国人の間には、西日本に移動したり、日本を出国したりする動きが広まっている。理化学研究所脳科学総合研究センター（埼玉県和光市）の Adrian Moore は、「これは重大な問題です」と言う。彼の研究室には外国人のポスドクが 6 人いるが、そのうちの 5 人が、事態が落ち着くまで日本を離れている。J-PARC では、すべての外国人研究者が、帰国するか、インフラがいくらか回復しているつくば市の寮に入っている。日本政府は、大学や研究施設の再建のために、緊急の資金提供を考えている。

重苦しい状況の中で、明るいニュースもあった。地震当日、青森県八戸港には、日本の地球深部探査船「ちきゅう」が停泊していた。世界最大級の掘削能力（海底下 7000m）を持つ「ちきゅう」は、八戸沖の海底下にある石炭層の掘削を行う航海に備えていたのだ。地震発生時、「ちきゅう」には見学に訪れた小学生 48 人が乗船していた。「ちきゅう」は地震発生から 30 分もしないうちに、この小学生たちを含む 200 人を乗せて港を出た。津波の際には、海岸にいるより、船に乗って海に出ているほうが安全なのである。沖合に出てまもなく、津波がやって来た。津波は、約 5 万 7000 トンもある「ちきゅう」を 2 回転半も回転させたが、けが人は出なかった。唯一の被害は、船の 6 基あるスラスターのうちの 1 基が壊れたことだった。石炭層生命圏掘削プロジェクトの航海主席研究者の 1 人、海洋研究開発機構の稲垣史生（いながきふみお）は、「犠牲者が出なかったのは、ほとんど奇跡でした」と言う。しかしながら、予定されていた航海は、当然中止になった。

東北大学副学長の北村幸久は、同大学の学生も教職員も、世界中から寄せられる応援メッセージに励まされているという。「我々はくじけません。復興に向けて情熱を取り戻しつつあります」と彼は語っている。■

（翻訳：三枝小夜子）

予想外の場所で発生した巨大地震

Giant Shock Rattles Ideas about Quake Behaviour

Richard Monastersky　2011 年 3 月 17 日号　Vol. 471 (274)
www.nature.com/news/2011/110315/full/471274a.html

ほとんどの専門家は、日本の三陸沖の地震帯がこれほど大きな地震を引き起こすとは思っていなかった。

ノースウェスタン大学（米国イリノイ州エバンストン）の地球物理学者で、大地震と津波の研究をしている Emile Okal は、「今回日本で発生した巨大地震は、我々専門家の理解がまだまだ不足していることを痛感させるものでした」と言う。3 月 11 日の地震のマグニチュードは 9.0 で、日本の観測史上最大のものだった。震源は三陸沖だったが、この場所の地震帯に巨大地震を引き起こす力があると思っていた専門家はほとんどいなかった。Okal らは、今回の地震が多くの専門家の予想をはるかに上回ってしまった理由と、それが日本やほかの国々の地震の危険性について何を意味しているかを知りたいと願っている。

今回の地震は、東日本が載っているオホーツクプレートの下に太平洋の海底がもぐり込む帯状の領域に沿って発生した（右図参照）。こうした過程は「沈み込み」と呼ばれ、1960 年のチリ地震（マグニチュード 9.5）や 2004 年のスマトラ島沖地震（マグニチュード 9.1）など、世界最大級の地震を引き起こしてきた。地球物理学者たちは、巨大な沈み込み帯地震は、新しい海洋地殻がマントルに無理やりもぐり込んでいく場所でしか発生しないと考えていた。古い地殻は低温で密度が高く、下にもぐり込むのがはるかに容易であるため、あまり大きな地震は起こらないと考えていたのだ。そして、日本の東北沖の海洋地殻は、約 1 億 4000 万年前に形成された、非常に古いものである。

仙台周辺の歴史は、この仮説を裏付けているように見えた。カリフォルニア工科大学（米国パサデナ）の地震学者金森博雄（かなもりひろお）は、「地震活動はありましたが、本当に大きな地震はなかったのです」と言

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

う。この数百年間、三陸沖の沈み込み帯ではマグニチュード8クラスの地震は何度かあったが、その30倍のエネルギーを放出するマグニチュード9クラスの地震は一度もなかった。

そんな歴史があったため、日本の地震学者たちは、仙台周辺で巨大地震が起こるとは考えていなかった。三陸海岸は日本で最も津波対策が進んでいる地域の1つで、沿岸のほとんどに高い堤防が築かれていたが、今回の津波には小さすぎた。高さ13～15mの津波が襲いかかり、この地方の海岸線に壊滅的な被害をもたらし、原子力発電所事故の誘因となったのだ。

実は、仙台の周辺地域で巨大地震が発生する可能性を示唆する手がかりはあった。Okalによると、スマトラ島沖地震は、「巨大な沈み込み帯地震は新しい海底でしか発生しない」とする仮説に疑問を投げかけるものだった。この仮説が正しいならば、古い地殻が沈み込んでいるスマトラ島沖で巨大地震が発生するはずがないからだ。また、日本全国で近年実施された測地調査の結果は、仙台の周辺地域が、万力で締めつけられるように、運動するプレートに圧迫されていることを示していた。その撓曲（とうきょく）は、太平洋プレートが、日本列島の下になめらかにすべり込むどころか、これに激しく衝突して、地殻をひずませていることを示唆していた。

地殻のひずみは地震でしか解放されない。そして、三陸沖でのひずみの蓄積は非常に早かったため、近年発生した地震の規模や頻度では十分にそれを解放することができなかった、とカリフォルニア工科大学の地球物理学者Thomas Heatonは言う。残っているひずみを解放したのが、3月11日の地震だった。Heatonによると、この地震は非常に大きかったが、蓄積されたひずみのすべてが解放されたわけではないかもしれないという。「マグニチュード9の地震が発生した今でも、この場所にはまだ謎が残っています」。

Okalは、三陸沖の沈み込み帯にこれだけ大きな地震を引き起こす力がたまっていたのだから、同じように古い海洋地殻があるほかの地域にもその可能性はあると指摘し、トンガとカリブ海北東部をもっとよく調査しなければならないと主張する。これらの地域には、めったに発生しない巨大地震の手がかりが隠されている可能性があるからだ。同じものは、三陸沖にもあったはずだ。

記録によると、仙台は西暦869年にも大津波に襲われている。東北大学（宮城県仙台市）の地球科学者である箕浦幸治（みのうらこうじ）らは2001年に、さらに古い時代の2つの津波堆積物の観察に基づき、仙台は800～1100年ごとに大津波に襲われているらしいと結論付けた（K.Minoura *et al.J.Nat.Disaster Sci.* 23,83-88; 2001）。彼らはその論文に、最後の大津波が襲来したのは9世紀だったので、「仙台平野が大津波に襲われる可能性は高い」と書いていた。■

（翻訳：三枝小夜子）

予測できない放射線リスク

Radiation risks unknown

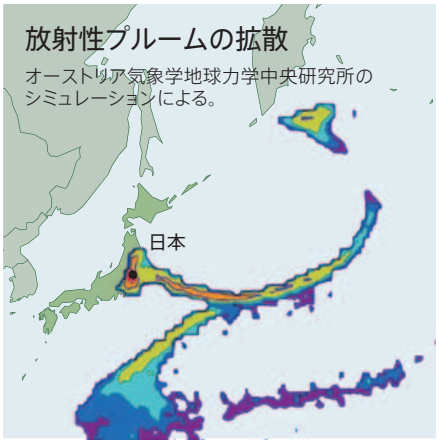
Gwyneth Dickey Zakaib 2011年3月24日号 Vol. 471 (419)
www.nature.com/news/2011/110322/full/471419a.html

科学者たちは、福島県で発生した低線量被曝の長期的影響を予測しようと努めている。

福島第一原子力発電所からの放射能漏れが人体に及ぼす影響につき、確かなことが1つだけある。その誘因となった3月11日の巨大地震や大津波がもたらした壊滅的な被害に比べれば、小さなことだということである。それでも、専門家たちは全世界の放射線レベルを追跡して、この事故について理解し、健康に及ぼしうる影響を評価しようとしている。

原子力発電所から放出された放射性物質を含む蒸気や粒子は周囲に広まり、さらに卓越風※1に乗って太平洋をわたっていった（図参照）。福島県から放出された放射性同位元素を米国でいち早く検出した観測所の1つであるパシフィック・ノースウェスト国立研究所（ワシントン州リッチランド）の核物理学者Ted Bowyerは、「非常に大きいプルームです」と言う。彼はまた、米国に到達した放射性ヨウ素、セシウム、テルル、キセノン、ランタンは微量で、通常の自然放射線レベルよりもはるかに低く、健康に害をなすおそれはないと付け加える。ただ、検出された放射性同位元素の中には半減期が短いものもあり、少なくともその一部は、使用済み核燃料プールからではなく、原子炉格納容器の破損箇所から出てきたものだと考えられるという。

政府は、福島県と近隣の県で、原子力発電所の近くの海と食品および上水道の放射能汚染が確認されたと報告した。原乳や、ホウレンソウなどの葉物野菜のほ



SOURCE: CENTRAL INST. FOR METEOROLOGY AND GEODYNAMICS

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

か、水道水でも放射性ヨウ素131とセシウム137が検出されており、摂取許容レベルを上回るサンプルもあったという。マサチューセッツ工科大学（MIT；米国ケンブリッジ）環境健康安全室放射能防御プログラムのWilliam McCarthy副主任によると、そうした安全基準は、問題の食品を長期にわたり摂取することを前提にして策定されているという。「慎重を期するなら、その食品を食べないことですが、食べたからといって、ただちに健康に悪影響が出るわけではありません」。

当局は、福島県と茨城県産の原乳および一部の野菜を出荷制限とし、近隣の栃木県と群馬県産の一部の農産物についても同様の措置をとった（4月10日現在、福島県会津地方と茨城県全域の牛乳、群馬県全域の野菜は、出荷制限が解除されている）。短期的に問題になるのはヨウ素131である。この物質は甲状腺がんを引き起こすおそれがある。しかし、ヨウ素131の半減期は8日なので、放出さえ止められれば、ほんの数か月で環境からほとんど除去される。一方、同じく発がん性のあるセシウム137の半減期は30年で、はるかに長く残留する。ノースカロライナ大学チャペルヒル校（米国）の疫学者Steve Wingは、微量であっても環境に放射能が残留していると、長期的には重大な問題を引き起こすおそれがあると指摘する。「原子力発電所から遠くなれば、1人当たりの被曝量は少なくてすみますが、被爆する人の数ははるかに多くなります」。

MITの核工学者で放射線の専門家であるJacquelyn Yanchは、今回の原発事故が人体にどのような影響を及ぼすかを語るには時期尚早だと考えている。「このような状況のリスク評価は、行われていないからです。どれだけ被曝したら危険なのか、まだわかっていないのです」。

専門家たちは、福島第一原子力発電所の事故現場で戦っている作業員には、なんらかの長期間影響が出るおそれがあると認めている。政府は、緊急作業を続けさせるために、原発作業員の許容被曝量の上限を年間100ミリシーベルトから250ミリシーベルトまで引き上げた。これは、米国の放射線業務従事者の年間許容被曝量の5倍である。米国立衛生研究所（NIH）は、250ミリシーベルトという被曝量を、「放射線宿酔※2」の最初の症状が出現する被爆量の下限に当たると考えている。■

（翻訳：三枝小夜子）

※1 その土地に特徴的な風。
※2 嘔吐、倦怠感、めまい、食欲不振など、二日酔いに似た放射線障害

放射性ヨウ素により汚染されたホウレンソウを処分する茨城県の農家。

PHOTO BY THE ASAHI SHIMBUN VIA GETTY IMAGES

新方式のシーケンサー登場

Gene reading steps up a gear

HEIDI LEDFORD 2011年2月10日号 Vol. 470 (155)
www.nature.com/news/2011/110209/full/470155a.html

第三世代シーケンサーは、1個の分子を検出してDNA配列を解読するようになる。

「とってもすごいんですけど、絶対うまくいかないはずです」。ゲノミクスの専門家であるEric Schadは、2003年、新型のDNA配列解読（シーケンス）技術について、慎重な投資家から意見を求められたときにこう答えた。その装置はある会社が製作を進めていて、酵素がDNA分子をコピーするそばから配列を読んでいく仕組みにして、「この分野に革命的進歩をもたらす」という触れ込みだった。

最初は懐疑的だったSchadだが、今年（2011年）2月初めにマルコ島（米国フロリダ州）で開かれたAGBT（Advances in Genome Biology and Technology）学会では、この方法が成功したことを盛んに宣伝した。彼は今や、かつて自分が疑いの目を向けたパシフィック・バイオサイエンシーズ社（米国カリフォルニア州メンローパーク）の最高科学責任者なのだ。そして、同社初のシーケンサー（DNA配列解読機）がどんなふうに動くのかを学会で紹介するチームの一員だった。

全参加者の視線がこの装置に注がれた。この会社は、最高技術責任者のStephen Turnerが、2008年、当時丸々1か月かかっていたヒトゲノム配列の解読時間を、2013年にはわずか15分でできるようにする、とぶち上げた。高く掲げられた目標だったが、今年、研究者が1号機のデータを社外に発表すると、革命的進歩という話は、ニッチ用途での応用という議論に変質してしまった。

幾度かの延期ののち、顧客には、今年第2四半期の納入予定であることが伝えられている。しかし、この装置は、現在販売されている「次世代シーケンサー」

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

にないメリットを提供する可能性がある。新型機のユーザーは、先週、平均1500塩基対という長い配列が得られたことを明らかにした。これは、イルミナ社（米国カリフォルニア州サンディエゴ）の最新式シーケンサーで得られる長さの約10倍だ。こうした長い配列だと、DNA配列の断片をつなぎ合わせて連続したゲノム配列を作る作業が容易になる。

パシフィック・バイオサイエンシーズ社の装置には、迅速性という特徴もある。2010年12月にインターネット上で発表された論文で、Schadtの研究チームは、この装置を使って5系統のコレラ菌のゲノム配列を解読し、ハイチで流行していたコレラの発生源をたどった（C. S. Chin *et al. N. Engl. J. Med.* **364**, 33–42; 2011）。研究チームは、全5系統の配列を1時間足らずで解読した。イルミナ社のシーケンサーであれば、150塩基の配列解読を完了するのに1週間ほどかかる。

しかし、多くの研究者にとって、パシフィック・バイオサイエンシーズ社の装置の重要な進歩は、1分子のDNAの配列を解読できるという点にある。この装置では、小区画に封入された酵素がDNAをコピーし、DNA鎖に加えるとき、特定の色で光るよう蛍光標識された塩基を検知して、DNA配列を解読する。これに対して、現在販売されている最新式のシーケンサーが提示するのは、分子の集団から得た配列の平均値だ。

一分子配列解読であれば、希少な変異配列を分析できるようになり、配列を解読するためにDNA試料を増幅させる必要がなくなる。DNAの増幅という工程はエラーを誘発する可能性があり、特定のDNA配列の解読が全くできなくなることもあるのだ。ベイラー医科大学（米国テキサス州ヒューストン）でシーケンス技術を研究するMichael Metzkerは、「一分子解読は、シーケンス技術の未来形なのです。でも、まだ課題があります」と話す。

その主なものが、高いエラー率だ。実用化されているほかの方法では精度が99%を超えるのに対し、パシフィック・バイオサイエンシーズ社の装置のユーザーは、先週、精度が約85%であることを明らかにした。これについてSchadtは、同じ分子で繰り返し配列解読をすれば解決可能な問題だと主張する。

この装置の価格は、ユニット当たり70万ドル（約5600万円）もする。今秋イルミナ社が新発売するシーケンサーは12万5000ドル（約1000万円）未満だ。また、1回の操作で読み取り可能な配列数にも限界がある。そのため、この装置が近い将来にシーケンサー市場を席巻する可能性は低い。

現時点で言えるのは、この装置は、従来の技術では解読できなかったヒトゲノム領域に対して、その配列を明らかにするために利用される可能性がある、ということだ。また、この装置は、DNA上のある種の化学修飾を検出することができるため、急成長するエピジェネティクス分野でも有用と考えられる。ネイションワイド小児病院（米国オハイオ州コロンバス）で配列解読センターを統轄するPeter Whiteは、「1台導入したいが、一般に哺乳類ゲノムよりもはるかに小さい微生物ゲノムの分析に主として利用することになるでしょう」と語る。

今回の学会で、Turnerは、15分でヒトゲノムを解読するという約束を繰り返すことはなかった。そして、現在の装置には改善の余地がたくさん残されていることを強調した。「この技術はようやく生まれたばかりなのです」。■

（翻訳：小林盛方）

たちどころに光る

新型のDNAシーケンサーは、DNAポリメラーゼという酵素が蛍光標識塩基を利用してDNAを合成する場面を監視する。各塩基は、DNAの鎖に取り込まれるときに発する光の違いによって見分けられる。

FUSE/GETTY IMAGES

パンダは古木がお好き

Pandas Prefer Their Trees Mature

2011年1月20日号　Vol. 469 (268)

ジャイアントパンダは竹を好むことで有名だ。中国科学院（北京）のFuwen Weiらは、四川省の4908区画で1999年から2003年まで収集されたパンダの生息痕跡データを分析した。その結果、古木の森の存在が、パンダの生息の指標として、竹の存在と同じくらい有用であることがわかった。■

（翻訳：三枝小夜子）

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

ペニスのとげはどうしてなくなったのか

How the penis lost its spikes

Zoë Corbyn　2011年3月9日　オンライン掲載
www.nature.com/news/2011/110309/full/news.2011.148.html

ヒトはDNAを捨て、つるつるのペニスと大きな脳を手に入れた。

もし、チンパンジーやマカクザル、マウスなど、一部の動物のペニスに見られるような小さくて固いとげがヒトの男性にもあったら、ヒトにとってセックスは全く違う意味を持つものになっていただろう。

先頃、ヒトのペニスを明確に「とげなし」となるように進化させた分子的メカニズムが、スタンフォード大学（米国カリフォルニア州）のDavid KingsleyとGill Bejeranoをリーダーとする研究チームにより発見され、*Nature* 2011年3月10日号に発表された[1]。それによると、非コードDNAの中の特定のかたまりが失われることがその要因であるという。この領域は、ホルモンのシグナル伝達に関与するアンドロゲン受容体遺伝子の発現に影響している。

Bejeranoは、「ヒトに特異的な形質の進化において、これは小さなことですが興味深いところです。少なくとも数十年間にわたって続けられてきた議論に、分子的な観点が加えられたのです」と言う。

さらにこの研究では、ヒトがチンパンジーよりも大きな脳を進化させ、チンパンジーの顔にある小さな感覚毛を失った分子的メカニズムも示唆している。チンパンジーはヒトときわめて近縁で、DNAの96%が同じとされている。

一夫一婦制

ヒトがつるつるのペニスを進化させたのは、大昔の祖先と比べて一夫一婦制に近い生殖戦略を採用した結果だ、と長い間考えられてきた。ヒトの祖先は、ペニスのとげを利用して、女性との性交時にライバルの精液をかき出していたのかもしれない。しかし、その変化がどのように起こったかについて、本当のところはわかっていない。

研究チームは、別にペニスのとげを研究しようとしたのではなかった。実は、チンパンジーのゲノムにはあるのにヒトのゲノムからなくなってしまったDNAのかたまりを探し出し、それがどんな役割を持っていたのかを調べていたのだ。

今回の取り組みは、ヒトのゲノムに「あるもの」ではなく、「なくなってしまったもの」に着目したという点で、一般的な研究と異なっている、とBejeranoとKingsleyは説明する。「ヒトのゲノムからスタートしていたら、見るべきものは何もなかったでしょう」とBejeranoは話す。

スクリーニングの結果、チンパンジーにあってヒトにないDNA配列が系統的に510個発見され、その配列のほぼすべてがゲノムの非コード領域、つまり遺伝子と遺伝子の間の配列であることがわかった。その中でもまず研究チームは、おもしろそうに思われた2つの配列に狙いを定めた。1つは、アンドロゲン受容体遺伝子（*AR*）の近くの配列、もう1つは、腫瘍の抑制に関与する遺伝子（*GADD45G*）の近くの配列だ。

それらの配列をマウスの胚に導入したところ、*AR*の近くの配列により、一部の動物に見られる固いペニスのとげと感覚毛が同時に形成された。一方、*GADD45G*の近くの配列は、特定の脳領域の成長に対してある種のブレーキとして作用していることがわかり、ヒトはその機能を失うことで大きな脳を進化させたと考えられる。

「我々の目的は、ヒトの進化的形質の基盤となっている分子的損傷（喪失）を見つけ出し、さらに、一般に影響を及ぼすと考えられる近傍遺伝子の表現型とは異なる形態に作用するものを発見することでした」とKingsleyは話す。Bejeranoは、「どこでDNAが発現するのかを見るまでは、それが実際にどの遺伝子のスイッチを制御しているのかわからなかったのです」と付け加える。

ほかの分子生物学者たちは、今回の研究についてその巧妙なアプローチを称賛し、特にヒトの脳の進化研究に新たな手段を提示するものだろうと話す。ウィスコンシン大学マディソン校（米国）で動物の遺伝学と進化を研究するSean Carrollは、「まるで探偵の仕事です。彼らの研究は、進化の過程で情報の獲得と喪失がともに行われることをまざまざと思い起こさせてくれました」と語る。

マックス・プランク進化人類学研究所（ドイツ・ライプツィヒ）の遺伝学部長であり、最近ネアンデルタール人のゲノム配列を明らかにした研究チームの一員である、Svante Pääboは、こう語る。「あとから考えればほとんど当たり前に見えるなんてことは、非常によいアイディアにはよくあることです」。さらに、「この2つの配列が興味深いもの

ISTOCKPHOTO; アフロ

左には何かが欠けている…。

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

だったということは、まだ500個余りある未解析の失われた配列にも、おもしろいものがいくつか存在するに違いないと考えられます」と話した。実際、研究チームは、残りの508個のDNA配列の分析を進めている。

カリフォルニア大学サンタクルーズ校（米国）でヒトゲノムの分子進化を研究するDavid Haussleは、ヒトの祖先がペニスのとげを失ったのは、今の人類にとって幸いだった、と付け加える。「どのカップルも、この特別なDNA断片が失われたことに感謝していいはずです」。■

（翻訳：小林盛方）

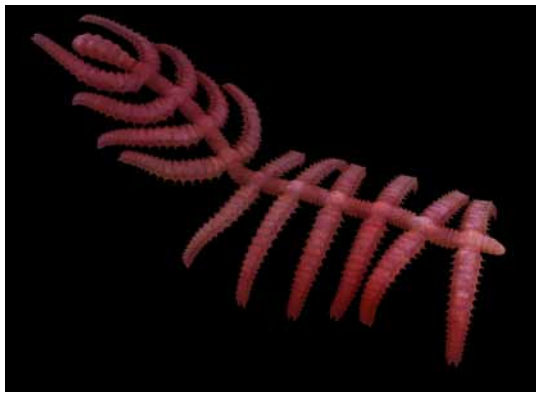
1. McLean, C. Y. *et al. Nature* **471**, 216-219 (2011).

「歩くサボテン」は節足動物の親戚

'Walking cactus' is arthropods' lost relative

Zoë Corbyn　2011年2月23日　オンライン掲載
www.nature.com/news/2011/110223/full/news.2011.121.html

昆虫やクモ類、甲殻類の関節肢がどのように進化したかを解明する手がかりが、新種の動物化石から得られた。



JIANNI LIU

節足動物は、無脊椎動物の大きな分類群であり、昆虫やクモ類、甲殻類など100万種以上が含まれる。この仲間の特色である、節に分かれた「関節肢」の進化を知るヒントとなる化石が、中国南西部で見つかった[1]。

この化石動物は、無数の棘（とげ）に覆われた姿から「歩くサボテン」というニックネームが付けられた。学名もサボテンにちなみ*Diania cactiformis*と命名され、古代に生息していた葉足動物に分類された。葉足動物は、付属肢をもつ蠕虫状（ぜんちゅう）の絶滅動物群で、現在の有爪（ゆうそう）動物に近縁と考えられている。しかし、今回見つかった「歩くサボテン」は、節足動物に典型的に見られる関節肢を備えていた。葉足動物でこの特徴を持つものは、これまでに見つかっていない。

「節足動物は葉足動物から進化した、という説はずっと以前から主流になっていました」と、西北大学初期生命研究所（中国西安市）の古生物学者で、研究チームのリーダーを務めたJianni Liu（現在はベルリン自由大学）は話し、こう続けた。「しかし、この説を裏付ける化石は実際には1つもありませんでした。今回、初めて、関節肢をもつ葉足動物の化石が見つかりました。今は、この『歩くサボテン』を手にしているのです。これは、葉足動物から節足動物への進化のミッシングリンクだと思われ、非常に重要な化石です」。

体よりも肢が先

「歩くサボテン」の生息年代は約5億年前で、体長は6cmほどだ。本体は細く柔らかい蠕虫状で、葉足動物に似ている。しかし、付属肢に関節がある点では節足動物に似ており、そうした肢が全部で10対ある。これらの肢の表面は硬く、甲殻類や昆虫類の関節肢の強固な表面と違わないと研究チームは考えている。

今回の発見によって、節足動物の進化についての理解が一歩進んだ。節足動物は、既知のすべての現生動物種の80％以上に相当する大きな分類群であり、生命系統樹のかなりの部分を占めている。「歩くサボテン」の存在は、節足動物が硬い体表を獲得する前に硬い肢を進化させたことを意味するのではないかと、研究チームは考えている。

ケンブリッジ大学（英国）の古生物学者Simon Conway Morrisは、この化石から、カンブリア爆発の期間中に、動物でさまざまな体制が出現し多様化したようすを知る重要な手がかりが得られると話す。カンブリア爆発とは、約5億3000万年前に主要な動物門の大半が、地質学的な時間スケールでみて「突然」出現した生命進化史上の出来事である。

この化石は、「実質的に軟体性の体構造から、関節でつながった外骨格への移行という重要な進化段階について、きわめて重要な情報を与えてくれます。この移行がブレイクスルーとなって、最終的に、カニやカマキリに見られるような生物学的デザインが登場したのでしょう」とConway Morrisは話している。

Liuによれば、関節肢の発達は、節足動物から葉足動物への進化過程にある3つの「重要段階」の1つにすぎないという。彼女は現在、節足動物の頭部と関節のある体の両方を備えた葉足動物の化石を見つけたいと考えている。■

（翻訳：船田晶子）

1. Liu J., *et al. Nature* **470**, 526-530 (2011).

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

地球深部には珍しいタイプの硫黄が存在

Rare sulphur dominates the deep

RICHARD A. LOVETT 2011年2月24日 オンライン掲載
www.nature.com/news/2011/110224/full/news.2011.124.html

ある種の珍しいタイプの硫黄が地下深部に多く存在しうることがわかった。これにより、初期地球に関する学説が塗り替えられるかもしれない。

ある形態の硫黄は、ラピスラズリの群青色の原因となる硫黄と似ているが、地表ではめったに見られない。しかし、地球の下部地殻や上部マントルでは多く存在している可能性がある。こんな論文が、*Science* 2月25日号に発表された[1]。

それは、三硫黄イオン（S_3^-）という硫黄原子3個からなるイオンであり、よく知られた硫酸イオン（SO_4^{2-}）や、硫化物イオン（S^{2-}）と全く異なっている。論文の第一著者で、ポール・サバティエ大学（フランス・トゥールーズ）の実験地球化学者 Gleb Pokrovski は、「S_3^-は中間的な形態なのです」と話す。

研究チームは、地下深部の硫黄を直接サンプリングしたわけではない。地殻の奥深くに存在するため、掘削して掘り出すことができないし、たとえ地表に取り出せたとしても、化学的に変化してしまうからだ。そこで、研究チームは、ダイヤモンドアンビルセルという装置を使って、硫黄を多く含んだ流体を地下10～100kmの温度と圧力になるようにした。そして、生成した物質の化学形態を赤外ラマン分光法でモニタリングし、そのような条件下ではS_3^-が最も安定な形態であることを見いだしたのだ。ダイヤモンドアンビルセルは地球化学研究でよく用いられるが、流体に利用するのは奇策である。「このような研究を行うグループは多くありません」と Pokrovski は言う。

学説に新風を吹き込む

今回の研究結果は難解に思えるが、初期地球の進化を理解するうえで重要になるかもしれない。従来の学説によると、光合成が行われる前の約24億～20億年前、地球の大気中酸素はきわめて少なかった。この学説は、一部、その時代の鉱床に見られる硫黄の4つの安定同位体（^{32}S、^{33}S、^{34}S、^{36}S）の比に基づいている。硫黄同位体比は大気中の酸素量の影響を受ける可能性があるため、酸素濃度を測る方法として役立つとされている。「しかし、これまでの硫黄同位体比の研究では、S_3^-による影響が考慮されていませんでした」と、Pokrovski は話す。

「硫黄同位体地球化学は、『高温では硫酸塩（または二酸化硫黄）と硫化水素の2つが、硫黄を含む重要な水溶性化学種である』という基本的仮定に基づいています」と語るのは、ペンシルベニア州立大学（米国）の地球化学者、大本洋（おおもとひろし）だ。「今回の研究は、その仮定が単純すぎることを示したのです。また、鉱床や火成岩に関する硫黄同位体データを正確に解釈するためには、H_2S、S_3^-、硫酸塩、SO_2の間で起こる硫黄同位体反応の速度論研究が重要であることを示唆しています」。

ラピスラズリ

GREG C GRACE/ALAMY

アリゾナ州立大学（米国）の生物地球化学者 Ariel Anbar も同意見だ。「硫黄同位体の変動は、古代地球大気中の酸素の時間的変化を評価する重要な手段でした。沈み込み帯においてS_3^-が重要な硫黄形態かもしれないという発見から、硫黄同位体変動の原因について、特に火山起源の硫黄について新しい説が生まれるでしょう」。

貴金属を溶かして運ぶ

カリフォルニア大学ロサンゼルス校（米国）の地球科学者 Craig Manning は、貴金属鉱石の研究者にとってもこの発見が役立つかもしれない、と付け加える。

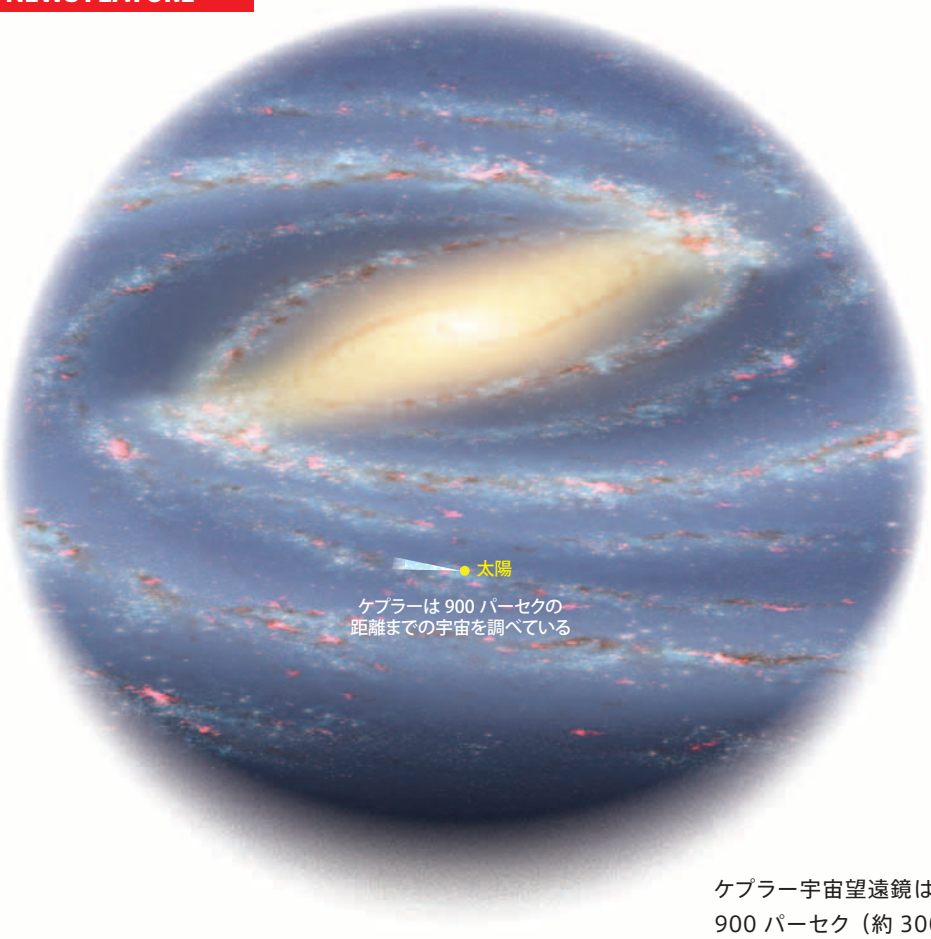
硫黄化合物は、金、銅、白金など、貴金属の高純度鉱石が形成される地質過程に不可欠である。鉱業会社はそのような金属がどこで見つかるかを知っているが、地球化学者はなぜそれらの鉱石が形成されるのかを十分理解していない、と Manning は言う。今回の発見によって状況が変わるかもしれない。「私たちは、常に金鉱石に関する問題を抱えています。これらの金属は地質流体にあまり溶けないのです。金を溶液に溶かす新しい方法を見いだすことは、大変重要なことなのです」。Pokrovski も、「今後、この新しい形態の硫黄が金属と結合して、金属を運搬できることを実証する必要があります」と話す。

Manning は、*Science* の同じ号でこの研究成果について解説している[2]が、その中でおもしろいことを言っている。「もし地表の真下をのぞくことができたら、美しい群青色の流体が見えるかもしれません」。■

（翻訳：藤野正美）

1. Pokrovski, G. S. & Dubrovinsky, L. S. *Science* **331**, 1052-1054 (2011).
2. Manning, C. E. *Science* **331**, 1018-1019 (2011).

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved



ケプラー宇宙望遠鏡は約900パーセク（約3000光年）の距離までの天の川銀河を調べている。

NASA/JPL-CALTECH/R. HURT, SSC-CALTECH

もうひとつの地球はどこに

Beyond the stars

EUGENIE SAMUEL REICH 2011年2月3日号 Vol. 470 (24–26)

宇宙望遠鏡ケプラーは、米国航空宇宙局（NASA）が太陽系外の惑星を探し出すために2009年に打ち上げた。そして当初の期待を上回る成果をあげている。でも、本当にもうひとつの地球の発見に近づいているのだろうか。

米国マサチューセッツ州ケンブリッジにあるハーバード・スミソニアン宇宙物理学センター（CFA）。取材に応じてくれた天文学者のDimitar Sasselovは、いつもはよくしゃべるのに、少し神経質になっているようだった。SasselovはNASAのケプラー惑星探索計画の共同研究責任者だ。この計画で発見された惑星候補の中で、どれが一番気に入っているかと尋ねると、彼はためらいを見せ、結局は質問に直接答えることを避けた。「私としてはすでにその段階を超えています。私の興味を引きつけるのはもはやひとつの惑星ではありません。見つかった惑星全体なのです」。

Sasselovが慎重になるのには理由がある。英国オックスフォードで2010年7月に開かれた「テクノロジー・エンターテインメント・デザイン（TED）2010年会議」での彼の講演内容に対して、研究チームの同僚から手厳しい批判を受けたからだ。彼は、見つかった惑星候補の数を研究チームが公式発表した数より多く言っただけでなく、不注意な言葉遣いをしたために、「地球に似た惑星を数百個発見」という不正確な見出しが躍る原因になったと非難されたのだ。

しかし、研究チームは今年2011年2月初め、昨年6月に発表した706個を上回る、全部で997個の惑星系の候補を発表したので、Sasselovの発言騒ぎは過去の話となった。惑星系の候補とともに、確認された惑星も多数報告された。最新の成果は、1月にNASAのウエブサイトにニュースとして掲載され（go.nature.com/aejd15を参照）、論文は*Nature*2011年2月3日号に掲載された[1]。

確認された惑星の中には、岩でできているが、親星のきわめて近くを回っているために、親星に照らされた側が溶岩の海になっているに違いないものもある。また、岩あるいは氷でできた大型惑星をいくつも含んだ惑星系もあり、これらの惑星の公転周期は地球の365日よりも1桁短い数十日である。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）の宇宙科学者でケプラーの共同研究責任者であるJack Lissauerは、この惑星系について「とてもエキサイティングで、私たちがこれまで見たことのないタイプの惑星系です」と話す。Lissauerは*Nature*に掲載された論文の主著者でもある。

にもかかわらず、ケプラー計画に加わっている科学者たちの大半は慎重であり続けている。ケプラーは約15万個の恒星からの光を監視し、光の強さが一時的に減少する現象を探している。それは、その恒星の前を惑星が通過している可能性を示しているからだ。ケプラーは、惑星の候補とみられる現象を見つける点では非常に優れている。しかし、「もうひとつの地球」はまだ見つけていない。この「もうひとつの地球」とは、岩ででき

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

た小型惑星で、数百日の公転周期を持つ軌道にあり、親星からの距離が液体の水が存在でき、生命が現れうる範囲（ハビタブルゾーン＝生命居住可能領域）にある惑星のことだ。実は、まだ見つかっていないのには理由がある。ケプラーが検出する光の強度のささいな減少からは、見つかった惑星の半径のみが得られ、質量がわからないのだ。つまり、通常は、惑星の密度と組成がわからない。

さらに、ケプラー計画の科学的目標は、地球に似た惑星の発見ではない。地球に似た惑星を持つ太陽とよく似た星がどのくらいあるのか、その存在比率を見積もることなのだ。これは、惑星系はどのようにできるのかという問題に対して、理解を大きく進めてくれるデータだ。NASA エイムズ研究センターの宇宙科学者でケプラーの研究責任者である William Borucki は、「研究者たちは、どの現象が本当に惑星に対応しているのかを決めるために、大半の時間を費やしています。連星が互いを隠し合うために暗くなっているケースを除外しなければなりません。『偽陽性』の候補から、本当に惑星であるケースを選り分けるのは骨の折れる大変な作業なのです」と話す。

食検出法

ケプラーが打ち上げられるまで、太陽系外惑星を発見するために使われていた検出方法では、小さな惑星よりも巨大な惑星が見つかる可能性が高く、サンプリングとしてはバイアスがかかった結果になっていた。この方法は、視線速度法（ドップラー分光法）と呼ばれ、恒星が惑星との重心の回りでふらつくために起こるスペクトル線の変化を見つけるというものだ。惑星が大きく、恒星に近いほど、地球に向かったり、離れたりする恒星の運動は速くなり、スペクトル線の変化が大きくなって検出が容易になる。実際、この方法で見つかったほぼすべての惑星は、木星よりも大きくて親星にとても近く、公転周期がわずか数日のものもあった。

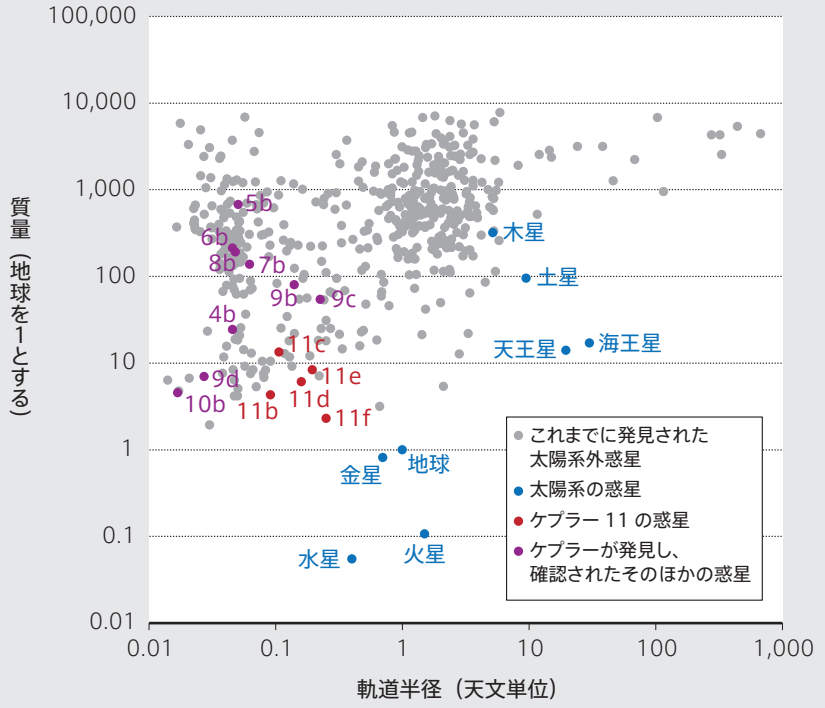
1999 年、これに代わる方法が実行可能であることが証明された。CFA の天文学者 David Charbonneau らは同年 9 月、コロラド州ボールダーの米国立大気研究センターの駐車場の小屋から、親星の前を横切っている惑星を観測した[2]。翌々月、別の研究グループも同様の観測を行った[3]。このとき両研究グループは、視線速度法で発見され、動きが予測されていた惑星 HD 209458b が、実際に恒星の前を通過することを確かめたのだった。

まもなく、恒星の前を惑星が通過する現象だけから、惑星を見つけることができるようになった。初期には、この方法でも見つかるのは大きくて親星から近い惑星だった。大きな惑星は、地球サイズの惑星よりも親星の大きな部分を覆い隠すので発見が容易だからだ。しかし、研究者たちは、宇宙望遠鏡なら地球と同様の軌道にある地球大の惑星の通過を検出できることに気付き、興奮した。そして、ケプラー計画が誕生したのだ。

ケプラーは開口部の直径が 0.95 m の宇宙望遠鏡であり、星からの光の変化を監視して太陽系外惑星を検出できるよう設計された。地上の大半の望遠鏡やフランス国立宇宙研究センター（CNES）の惑星探索用宇宙望遠鏡「コロー」は、目標を監視し続けられる期間が長くても数か月だったが、ケプラーは、同じ固定された視野を 3 ～ 4 年にわたって監視し続けるよう設計されたのだ。観測対象領域は、太陽に似た星が多いことから選ばれ、はくちょう座とこと座の 15 万個の星がここに含まれている。同じ視野を見続けることがケプラーの重要な特徴だ。発見した惑星の質量と組成は決定できないものの、公転周期が 1 年ほどの地球に似た軌道にある小さな惑星であれば、恒星の前の通過現象を 3 ～ 4 回にわたって繰り返し観測できる計算になる。

地球に似た惑星は未発見

ケプラーは地球とよく似た質量と軌道を持つ太陽系外惑星を探している。発見された太陽系外惑星の大半は、地球とは大きく異なっている。しかし、ケプラー 11 の惑星（質量などの推定値がグラフ上にプロットできるほど正確なのはそのうち 5 個）は、これまで見つかった中で最も地球に近いグループに含まれる。



SOURCE: NASA/KEPLER MISSION

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

ケプラーは2009年3月に打ち上げられ、2010年1月に、最初に発見した数個の惑星が発表された。サンノゼ州立大学（米国カリフォルニア州）の天文学者で、ケプラーの科学チーム副リーダーであるNatalie Batalhaは、「この時点では、最も明白な例を報告したにすぎませんでした」と振り返る。この時点では観測期間はまだ短く、巨大で公転周期の短い惑星の発見に有利だった。これらは生命が居住可能であるには親星に近すぎた。発表された惑星には、3.2日から4.9日の公転周期を持つ5つの巨大惑星が含まれていた[4]。

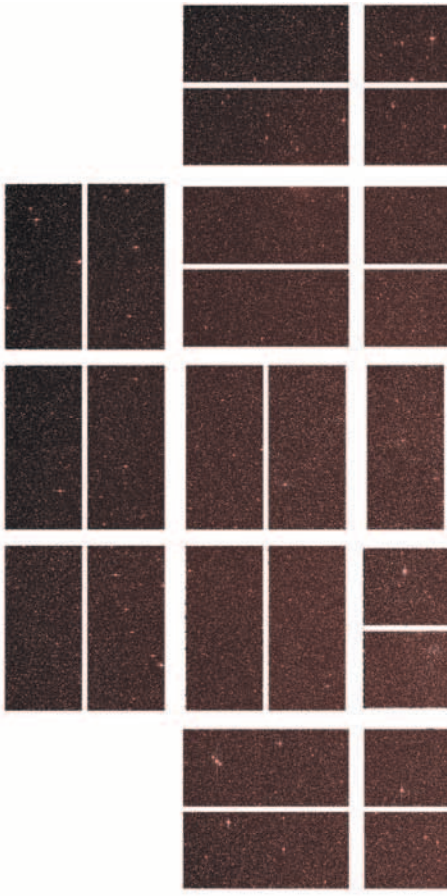
しかし、2010年6月に発表された706個の惑星系候補のうち、分析された306個の惑星系の惑星はこれらとは異なっていた。その大半は海王星ぐらいか、さらにもっと小さいとみられた。そのうちの40個近くは地球の大きさの2倍よりも小さかった[5]。うち5個は親星のハビタブルゾーンの中の軌道にあるだろう、とBatalhaは見積もっている。

しかし、「候補者」を「合格者」に変えるプロセスは煩雑だ。毎月、ケプラー宇宙望遠鏡から、目標の星からの光の強さの変化を示すデータがNASAエイムズ研究センターのコンピューターにダウンロードされる。次に、データは星からの光の強度が時間とともに変化する様子を示すグラフに変換される。ソフトウエアで光のカーブの中の2000個から3000個の減少現象に自動的に印を付け、Batalhaが委員長を務める検討委員会へ送られる。明らかな偽陽性（装置のノイズによるものなど）は却下され、残りは「ケプラー惑星候補天体」として番号を割り当てられる。研究チームは、ケプラー惑星候補天体の50％は本物の惑星だと見積もっているが、これまでに見つかった1235個のケプラー惑星候補天体のうち、確認できたのは*Nature*2月3日号に発表されたものを含めて15個だけだ（11ページグラフを参照）。

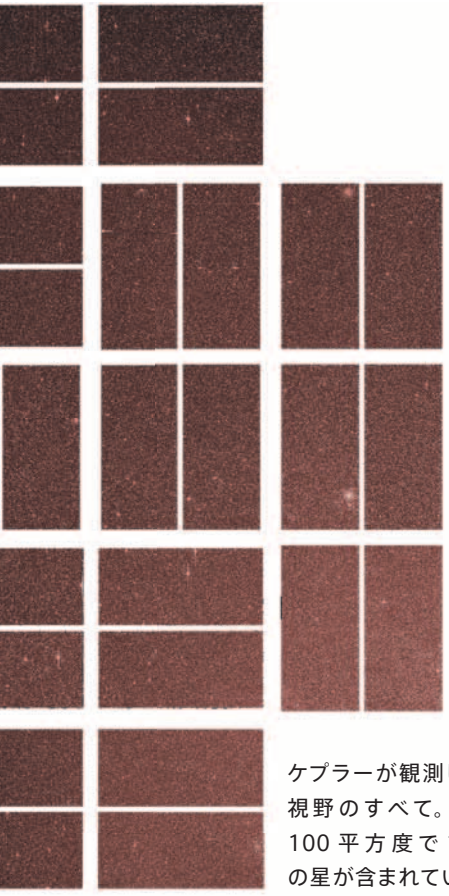
偽陽性を除外する最も確実な方法は、別の方法でその惑星を検出してみることだ。現在はケプラーの参加科学者の一人であるCharbonneauは、赤外線放射を観測できるNASAのスピッツァー宇宙望遠鏡を使ってケプラー惑星候補天体を詳しく調べている。スピッツァーは、「ブレンド」と呼ばれるタイプの偽陽性を除外するには理想的な望遠鏡だ。ブレンドとは、比較的暗い連星と同じ視線上にずっと明るい星があり、時折、1つの星がほかの星を隠すというケースだ。「ケプラーから見ると、ブレンドは木星の大きさの惑星が通過する時と同じように見える可能性があります」とCharbonneauは話す。しかし、スピッツァーならそんなことはない。なぜなら、3つの星は赤外線と可視光の波長域でスペクトルの構成比が異なっているはずだからだ。

候補が複数の惑星からなる惑星系の一部である場合は、ケプラーのデータだけで惑星だと確かめることができる。例えば2010年、同じ星をほぼ規則正しい間隔で通過する2つの惑星を含む惑星系が見つかった。CFAの宇宙物理学者で、ケプラーの研究チームの一員であるMatthew Holmanは、「この惑星系に特に注目したのは、恒星面を通過するタイミングが変化していることに気付いたからです」と話す。それは、惑星が本物であるというサインだった。複数の惑星が重力によって互いに相互作用しているとき、恒星面を通過するタイミングは1周期当たり数分も変化することがある。これは、太陽の周りの地球の公転周期が毎年数時間変化するのと同じ現象だ。この新しい惑星はケプラー9bとケプラー9cと名付けられ、半径はいずれも木星の約0.8倍、公転周期は19日と39日だった[6]。惑星の重力相互作用をモデル化することにより、研究チームは2つの惑星の質量が土星の質量に近いと推定した。惑星の質量と半径がわかったため、惑星の組成は水素とヘリウムに富んでいて、巨大ガス惑星である土星と木星によく似ていると推定された。

ケプラー9は、同じ恒星の前を複数の惑星が通過していることがわかった最初の惑星系だ。*Nature*2月3日号53ページの論文[1]は、同タイプの2番目の惑星系ケプラー11について報告している。この惑星系では6個もの惑星が同じ恒星の前を通過し、10、13、22、31、46、118日の公転周期と、地球の2.3倍から300倍以上までの質量を持っている。外側の4つは巨大ガス惑星だが、内側の2つは海王星のような巨大氷惑星である可能性がある。あるいはスーパーアース（巨大地球型惑星）である可能性もある。スーパーアースは地球よりも数倍大きいが、岩とガスの混合物でできている惑星だ。Lissauerは「私たちは、同じ星の前を6個もの惑星が通過していることを知って驚きました。しかも、内側の惑星の軌道は狭い範囲に詰め込まれていて、もしもそれ以上詰め込まれていたら、これらの惑星の軌道は安定ではなかったはずだ、ということがわかって、さらにびっくりしました。これは驚くべき惑星系です」と話す。



©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved



ケプラーが観測している視野のすべて。広さは100平方度で15万個の星が含まれている。

NASA/AMES/JPL-CALTECH

岩でできた惑星

ケプラー11bから11gまでの6惑星が報告されたのは、2011年1月のケプラー10bの発見の発表のすぐ後だった。ケプラー10bは太陽に似た星を回る密度の高い惑星で、公転周期は0.84日。ケプラー10bの場合、観測できる通過タイミングの変化はないが、親星に近いため、地上での視線速度測定で惑星と確認することができた。惑星の質量も視線速度測定でわかった。質量は地球の4.6倍だが半径はわずか1.4倍で、密度は高く、岩でできていることは間違いない。ただし、親星に近いため、その一方の側は常に岩が熱で溶けた状態になっているだろう。ケプラーチームは、親星の注意深い研究と1年分のデータの分析によって、惑星通過によって親星が暗くなる効果だけでなく、軌道を回る惑星が地球に昼の側を見せるときと夜の側を見せるときとで、光が明るくなったり、暗くなったりする効果も検出することができた。「こうした微妙な効果が検出できたのは驚くべきことです」とBatalhaは話す。この研究は、ケプラーの観測によって予想もしなかったことがわかる可能性を示している。「この惑星は、岩でできた惑星を研究した最初の例となるでしょう。とても意義のある成果でした」とBatalhaは話す。

ケプラー計画で発見された惑星には、質量を決定できないものもある。一例がケプラー9dで、ケプラー9bやケプラー9cと同じ惑星系にあるスーパーアースだ。CFAの天文学者Guillermo Torresらによるコンピューターシミュレーションで、ケプラー9の後方か前方に連星があるために光が変化していると仮定した場合の光の予想カーブよりも、親星であるケプラー9の前をスーパーアースが通過していると仮定した場合の予想カーブの方が、観測結果に合うことがわかったのだ。

*The Astrophysical Journal*に発表されたこの研究チームの論文は、ケプラーで見つかった惑星候補のいずれにも応用できる一般的な方法を示したものであり、それを使って惑星であることを確かめた最初の例だという。「恒星面通過のタイミングに変化がなく、視線速度法を使って調べるには親星から遠すぎる場合にも応用可能」だとしている[7]。Torresは「惑星である確率は偽陽性である確率よりも高い。統計学的な根拠があるのです」と話す。この方法は、ケプラー11の6番目の惑星候補、ケプラー11gが惑星であることを示すのにも使われた。ケプラー11gは、すでに述べたように118日の公転周期を持つ巨大ガス惑星だ。ほかの惑星から遠く、恒星面通過タイミングの変化はわずかで観測できなかった。

ケプラーの贈り物

親星から地球と同様の距離にある惑星を繰り返し観測するには時間がかかる。ケプラー計画の研究者たちが、宇宙における惑星の存在比率を推定できるまでには何年もかかるだろう。しかし、ほかの科学者たちが予備的な見積もりをすることは可能だ。例えばカリフォルニア大学バークレー校の天文学者Andrew Howardが率いる研究グループは2010年、視線速度法で見つかった惑星の大きさの分布を調べ、質量の小さい惑星の存在比率を外挿法で推定した。その結果、恒星の約22%は地球大の惑星を従えていることがケプラーの観測で判明するだろうと予測した[8]。

この結果にBoruckiは懐疑的だ。「Howardらは外挿法を使っています。はなからダメとは言いませんが、それに近いと思います」と彼は話す。しかし、Lissauerはもっと楽天的だ。「最終的には、視線速度法による観測結果は惑星の前面通過による観測結果と組み合わせることができます。その結果、岩でできた地球型惑星からガスでできた木星型惑星まで、さまざまな大きさ、質量、組成の惑星の存在比率を、観測結果に基づいて得ることができるはずです」と話す。そのデータは、天の川銀河のいたるところでの惑星系の起源と進化を理解するうえで、貴重なものになるだろう。「そのように研究を進めれば、価値ある研究がたくさん行えるはずです」とLissauerは言う。

Batalhaは「ケプラーは、徹底的に研究する価値のあるたくさんの天体のリストを将来の世代に残してくれることは間違いありません。それがケプラーの贈り物です。人々はこのデータを数十年にわたって使うことになるでしょう」と話している。■

（翻訳：新庄直樹）

Eugenie Samuel Reichは米国マサチューセッツ州ボストンのネイチャー記者。

1. Lissauer, J. L. *et al. Nature* **470**, 53–58 (2011).
2. Charbonneau, D., Brown, t. m., Latham, D. W. & mayor, m. *Astrophys. J.* **529**, L45–L48 (2000).
3. henry, G. W., marcy, G. W., Butler, R. P. & Vogt, S. S. *Astrophys. J.* **529**, L41–L44 (2000).
4. Borucki, W. J. *et al. Science* **327**, 977–980 (2010).
5. Borucki, W. J. *et al*. Preprint at <http://xxx.lanl.gov/abs/1006.2799> (2010).
6. Holman, m. J. *et al. Science* **330**, 51–54 (2010).
7. Torres, G. *et al. Astrophys. J.* **727**, 24 (2011).
8. Howard, A. W. *et al. Science* **330**, 653–655 (2010).

太陽系外惑星のさらに詳しい情報は、go.nature.com/ibz7ftをご覧ください。

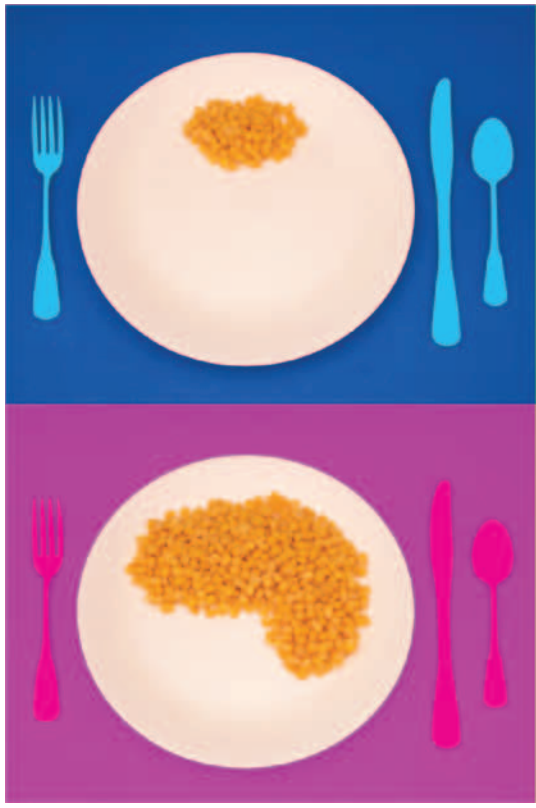
©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

見つめていたい

Every Bite You Take

Brendan Borrell 2011年2月17日号 Vol. 470 (320–322)

食事に関する研究では、被験者が食べるものをすべてスナップ写真に撮ることができれば、あやふやな記憶に振り回されずにすむはずだ。研究者たちは今、人間の生涯にわたる環境曝露（エクスポゾーム）を測定するべく、ハイテク装置の開発に力を入れている。



今から10年前、心理学者のTom Baranowskiは、食事に関する研究の一環として、前日に食べたものをすべて思い出すように言われた。「夕食はチキン」と、彼は自信をもって答えた。なにしろ、妻のJaniceと一緒に料理をしたのだから。ところが実際には、チキンを食べたのは、その夜のことではなかった。あとになって、自分1人でハンバーガーにかぶりついていたことを思い出したのだ。

ベイラー医科大学（米国テキサス州ヒューストン）で子どもの食事について研究しているBaranowskiでさえこんな調子なのだから、一般の人々の食事に関する記憶がどれほど頼りにならないかは推して知るべしである。Baranowskiは、被験者がある日に食べたものを観察し、翌日にその内容を思い出してもらった結果、子どもは自分が食べたものの約15%を忘れていて、食べたと言っているものの30%以上が空想の産物であることが判明した。成人についても同様の傾向が見られた。「食事の評価には、たいへんな誤りがあるのです」と彼は言う。

こうした誤りは、人間の記憶がどれほど怪しいかを物語っているだけはでない。それ以上に危惧されるのは、現代の医学的疫学の基礎をむしばむ可能性があるということだ。医学的疫学の研究者は、ある人の過去の出来事や経験を、後々にその人の身に起こったがんなどの疾患等と関連付ける。しかし、最初の記録が不正確だったら、こうした関連は弱くなったり、誤解を招いたりするだけでなく、完全に間違ったものになってしまうことさえあるのだ。この問題は食事の研究で最も問題になるが、それ以外にも、運動、ストレス、公害、喫煙など、面接やアンケートでの自己申告に基づいて被験者の曝露量を推定するすべての研究にかかわってくる。インペリアル・カレッジ・ロンドン（英国）の環境疫学者Paolo Vineisは、「これは疫学の弱点です」と言う。

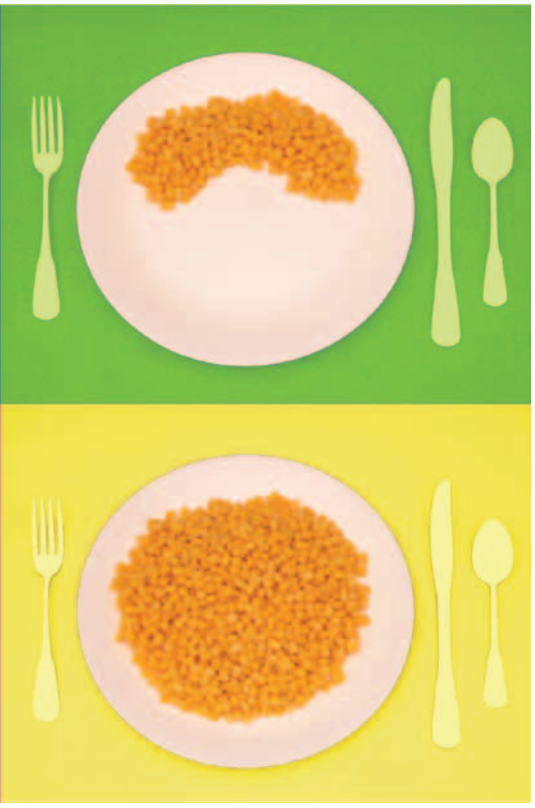
BaranowskiやVineisをはじめとする保健学研究者たちは、アンケートよりも正確かつ客観的に環境曝露を測定する方法を開発しようと努力している。ある研究者は、血液検査を利用して個人の曝露プロフィールを作成しようとしている。またある研究者は、被験者の体にセンサーを取り付けて街の中を歩かせ、被験者の運動を把握し、昼食のスナップ写真を撮影し、呼吸する空気をサンプリングしようとしている。米国立環境保健科学研究所（ノースカロライナ州リサーチトライアングルパーク）の曝露生物学プログラムマネージャーのDavid Balshawは、「我々は現在、50万人の被験者に、毎晩チャージできる携帯電話サイズの測定装置を持ってもらう調査を考えるところまで来ています」と言う。

研究者の中には、1人の被験者の全環境曝露（「エクスポゾーム（exposome）」と呼ばれている）を追跡できるようになる日が来ると考えているものもいる（16ページコラム「すべてを測定する方法」参照）。とはいえ、それが可能になるのは、ずっと先のことだろう。*Nature*は今回、エクスポゾームの3つの主要な要素である大気汚染物質、身体活動、食事について、測定する試みを報告する。こうした試みにより、エクスポゾーム研究は一歩ずつ現実に近づき、欠点の多いアンケート調査は一歩ずつ絶滅に追い込まれるであろう。

すべての呼吸を

その装置は、子どものリュックサックにやっとおさまる大きさだった。絡み合った緑色のビニールチューブ、フィルター、ポンプ、回路基板、さらに重さが約3キログラムもある大きなバッテリーから構成されており、スイッチを入れると、ブーンと低い音を立てて空気を吸い込んでいく。そして、ブロンクスのアパートに住む子どもが家を出て、ニューヨークの地下鉄に乗って学校に行き、帰宅するまでにさらされるすべての粉塵

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved



N. ISLAM/H. DADABHOY/BAYLOR COLLEGE OF MEDICINE

が、この小さなフィルターに連続的に記録されていく。

この装置は、コロンビア大学ラモントドハティー地球観測所（米国ニューヨーク州パリセード）の地球化学者 Steven Chillrud の研究チームが、2004 年に開発したものである。彼らは、曝露生物学の未来はここにあると信じている。それまで、米国の環境科学者たちは、ビルの屋外に設置したセンサーのデータの分析に基づいて、そこに住む人々の空気中の汚染物質への曝露量を見積もってきた。しかし、2005 年に発表された重大な研究により、多くの危険な化合物の濃度は屋外よりも屋内のほうが高いことが示され、このアプローチに欠点があることが明らかになった[1]。以前からニューヨーク市民の汚染物質への曝露について考えていた Chillrud は、これはもっともなことだと思った。「人は、ビルの上に住んでいるわけではないのですから」と彼は言う。

ところが、Chillrud の測定装置は、ニューヨーク市警察（NYPD）からテロ行為と関連付けられてしまった。2005 年 7 月 7 日にロンドンで起こった地下鉄とバスの同時爆破テロの後、NYPD はニューヨークの地下鉄で無作為に捜索を行うようになっていた。そこで Chillrud は、地元の警察署を訪れ、自分が計画している研究について説明した。それを聞いた警察官たちは、あっけにとられてしまった。Chillrud 自身も認めているとおり、当時の装置は何とも物騒な外見をしていたからだ。今、その装置を見せながら、彼は当時を振り返る。「たいへんな苦労をして作った装置でしたが、警察は、これを使った研究を許してくれませんでした」。けれども警察は、進むべき道を示してくれた。「装置を小さくしてウォークマン程度の大きさにすることができれば、研究目的で使用してもよいと言われたのです」。

その後、Chillrud は共同開発者とやりとりを重ね、2010 年 11 月、ついに最初のウォークマンサイズの環境センサーを手にした。新しい装置には 2 つのフィルターが付いており、被験者が「自宅」ビーコン（無線標識）から遠ざかるとフィルターが切り替えられて、自宅での曝露とそれ以外の場所での曝露を区別できるようになっていた。また、全地球測位システム（GPS）により、通勤・通学時間の曝露と、それ以外の時間の曝露を区別できる。この装置を数日間使用した後、フィルターの化学分析を行い、黒色炭素（ブラックカーボン）やその他の化学物質がどこからきているかを識別するのだ。小さくなった測定装置は、襟の近くに吸気口がついている特製のベストにきれいに入るので、NYPD も満足だろう。

この装置を用いて行う最初の保健学研究では、受動喫煙について、より正確な測定を行うことを目標にしている。Chillrud は、50 人の成人と数人の子どもに携帯型センサーを持たせ、Avrum Spira が開発した手法により、ブラシを使って鼻孔内から払い落とした細胞の遺伝子発現の変化を調べて、タバコの煙への曝露量を測定するつもりである[2]。Spira は、ボストン大学医学系大学院（米国マサチューセッツ州）の肺の専門家であり、タバコの煙への累積曝露量をより正確に測定することで、一部の喫煙者（全員ではない）が肺がんや慢性閉塞性肺疾患（COPD）になる理由を特定できると考えている。「我々の研究では、曝露量だけでなく、曝露に対する反応も測定するのです」と Spira は言う。

すべての歩みを

カリフォルニア大学サンディエゴ校（米国；UCSD）無線集団健康管理システムセンターの所長 Kevin Patrick は、なにやら色とりどりの点がプロットされたサンディエゴ市の地図を作成した。ぱっと見ただけでは、その意味はよくわからないだろう。まず目に付くのは、左側の青い太平洋と、それに接する海岸だ。街は、灰色のハイウェイやビル、緑の公園のパッチワークのように見える。その上に、緑色、黄色、オレンジ色、赤色の点が散らばっている。点は、さまざまな時刻での被験者の心拍数を表している。心拍数が低いときには緑色、高いときには赤い点が、30 秒ごとに記録される。自動車通勤時には、安静状態にあることを表す緑色の点が広い間隔を空けて並び、オフィスで仕事をしているときには、やはり緑色の点が同じ地点に重なっていく。そして、崖に沿ってジョギングやサイクリングをしているときには、心臓が激しく鼓動していることを表すオレンジ色や赤色の点がびっしり並ぶ（17 ページ図参照）。

Patrick によると、これまでの研究では歩数計とアンケートにより被験者の身体活動を測定してきたが、この新しい地図により、もっと正確な測定が可能になるという。「我々は、人々がどれだけ活動しているかだけでなく、どこで活動しているかも知る必要があることに気付いたのです」と Patrick。このようなモニタリングは、都市における公園や丘陵、高層建築物の配置が、市民の身体活動、ひいては公衆衛生に及ぼす影響を解明するのに役立つだろう。

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

Patrick は、2007 年に身体活動に関する地図作成プロジェクトを立ち上げた。このシステムは、心拍計、GPS 受信機、加速度計を組み合わせて被験者の体の動きを詳細に記録するもので、身体活動位置測定システム（Physical Activity Location Measurement System：PALMS）と呼ばれている。すでに 1500 人以上の被験者が、60 ドルの装置を身につけて 1 日を過ごした後、どこで何をしていたかを研究者に報告している。さらに Patrick は、コンピューター科学者と協力して、さまざまな活動を自動的に区別するパターン認識システムを開発したいと考えている。

現在、PALMS を健康管理に応用する最初の実験として、米国立心臓・肺・血液研究所などが運営するヒスパニックコミュニティー保健学研究 / ラテンアメリカ系研究において、サンディエゴ在住の被験者の身体活動を測定することが計画されている。Patrick はまた、外部からの介入（都市の道路ではなく公園で多くの時間を過ごすように奨励するキャンペーンなど）の効果も測定しようと計画し、UCSD のソフトウェア・エンジニア William Griswold が率いる CitiSense というプロジェクトにも参加している。これは、Chillrud の測定装置に似たものを用いて、身体活動と大気中の汚染物質を測定しようとするものである。このほかにも、サンディエゴの自転車愛好家たちにこの装置を持たせて、サイクリングの最中に呼吸する空気の質をリアルタイムで教えようと考えている。

Patrick は、研究者が収集するデータを、ソーシャルネットワーク、心理学、遺伝学のデータと結びつけて、これらの要因の組み合わせが疾患に及ぼす影響を解明できるようになる日を楽しみにしているという。「そう遠くない未来に実現すると思っています」。

すべての食事を

食事について調べることなくして、人間の環境曝露の研究を完成させることはできない。12 月のある雨の日の午後、Baranowski はフラットスクリーン・モニターに映し出された画像をしげしげと見ていた。画像は全部で 8 種類あり、いずれも青いテーブルの上の同じ位置に、トウモロコシを盛りつけた皿が載っている。違いはトウモロコシの量で、スプーン数杯分からカップ数杯分までである。「子どもたちに画像を見せて、自分が食べた量に最も近いものを選ばせるのです」と Baranowski は言う。

すべてを測定する方法

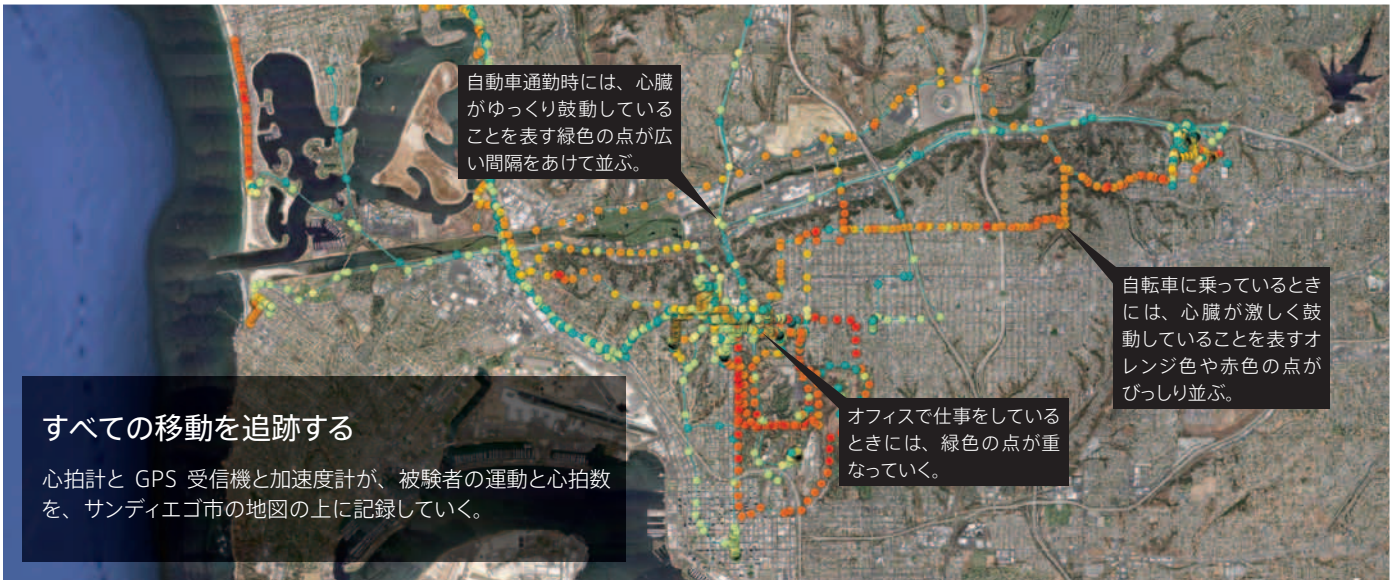
1998 年の映画『トゥルーマン・ショー』では、巨大な映画セットのあちこちに隠された数千台のカメラを通じて、主人公 Truman Burbank の受胎のときから人生のすべてが放送されていた。やがて彼は、それに徐々に気付いていく。そのシュールな映像に加えて、Burbank が呼吸する空気や口にする食物や水の化学分析の結果、彼の腸内細菌叢のサンプル、血液検査による内分泌攪乱物質、重金属、代謝産物の分析結果も表示されると考えれば、エクスポゾームの圧倒的な情報量をいくらか実感することができるだろう。それは、1 人の人間の生涯にわたる環境曝露を完全にカタログ化したものなのだ。

このカタログを作成することができれば、どの物質への曝露が将来かかる病気に関係しているかを明らかにすることができる。このように、エクスポゾームの概念は圧倒的だが、それと同じくらい技術的に困難だ。世界保健機関（WHO）の国際がん研究機関（フランス・パリ）の長官で、2005 年に「exposome（エクスポゾーム）」という造語を提案した Christopher Wild は、「そんな複雑なものを実現するのは不可能だと思われるかもしれません」と言う。

被験者の体に取りつけたセンサーは、「体外」のエクスポゾームの一部を記録することができる。しかし、カリフォルニア大学バークレー校（米国）の環境保健生物学者 Stephen Rappaport は、「こうした装置が我々の理解に役立つのは数 % 程度でしょう」と言う。彼らが「体内」のエクスポゾーム、すなわち、食事や毒素などの曝露要因の影響を明らかにする生体分子のプロフィールを記録する方法を模索しているのは、そのためだ。例えば、殺虫剤 DDT への曝露から 20 ～ 30 年も経過している人の血液中から、その代謝産物が検出されることもあるのだ。とはいえ、研究者が統一的なアプローチにより数万種類の化合物のプロフィールを作り、そこから生涯にわたる環境曝露歴を解き明かせるようになるのは何年も先のことである。これに関しては、食事の変化への代謝応答が人によって全く違っている可能性があることなども問題となる。

現在、一部の研究者は、既存の曝露データを徹底的に調べて、特定の疾患との関連を見つけ出そうとしている。例えば、1999 年から、米国疾病管理予防センター（ジョージア州アトランタ）は、問診、診察、数百種類の化学物質の血中バイオマーカーからなる国民健康栄養調査を実施している。昨年は、スタンフォード大学医学部（米国カリフォルニア州）のバイオインフォマティクス研究者にして小児科医でもある Atul Butte が、これらのデータを利用して全環境関連解析を行い、2 型糖尿病と 266 種類の環境要因との相関を明らかにした。なかでも意外だったのは、ある種のビタミン E が糖尿病のリスクを高めるという発見だった [5]。 **B.B.**

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved



すべての移動を追跡する

心拍計と GPS 受信機と加速度計が、被験者の運動と心拍数を、サンディエゴ市の地図の上に記録していく。

SOURCE: PALMS PROJECT, UCSD/CALIT2

ここ数年、Tom Baranowski と妻の Janice は、小児栄養研究センターの 3 階の「代謝」キッチンで調理された食べ物の写真を撮影している。朝食用シリアルからチキンナゲットやブドウまで、合計 1 万 5000 枚ほどになる。写真撮影は、Baranowski 夫妻が開発した食物摂取記録ソフト Automated Self-Administered 24-hour Dietary Recall（ASA24）を改良して子どもが使用できるようにするために行っており、米国立がん研究所から研究資金が提供されている。撮影された食べ物の写真は、子どもたちが食べたものの量を自ら思い出すためのヒントになる。Baranowski が子どもたちにこのソフトを試してもらったところ、彼らは自分が食べたものの量を約 60% の正確さで見積もることができたという。Baranowski の目標は、食事日記の代わりに利用できるようなウェブベースのツールを構築して、ほかの研究者が、食習慣、遺伝子サイン、疾患リスクなどと食事内容を関連付けられるようにすることにある。

一方、ピッツバーグ大学（米国フィラデルフィア州）の電気工学者 Mingui Sun は、自己申告を完全になくそうとしている。彼は、首かけ式の汎用型曝露生物学測定装置を製作した。この装置は、GPS 受信機、音声レコーダー、加速度計、毎秒 2 ～ 5 枚の写真を 1 週間にわたって撮影するようにプログラムしたデジタルカメラなど、5 ～ 8 種類のセンサーを搭載している[3]。画像処理ソフトは、食べ物が載った皿や牛乳が入ったコップを自動的に認識することができ、ビデオストリームを分割して、あとで栄養士が食事内容や調理手順をチェックできるようになっている。Sun によると、この装置は近いうちに、肥満者のカロリー摂取と身体活動レベルを見積もる予備的研究に使われることになっているという。

同じく食環境を研究している Vineis は、10 か国が共同で実施している「欧州がん・栄養前向き研究」の一環として、Sun らとは大きく異なるやり方で食品への曝露を測定している。2010 年 11 月、彼のグループは、研究が行われている 7 年の間に大腸がんになった 24 人の参加者の血漿の分析データと食事の評価を、23 人の健康な対照群のデータと比較する原理証明論文を発表した[4]。その中で、食物繊維を消化する腸内細菌が作り出す安息香酸の誘導体が、食物繊維の摂取および大腸がんのリスクの低さと相関するバイオマーカーであることを見いだした。このように、ある物質への曝露量を測定すると同時に、その物質への曝露による疾患を予測できるようなバイオマーカーを発見しようとする方法を、Vinies らは「歩み寄りアプローチ」と呼んでいる。

しかし、人体は既知および未知のさまざまな環境にさらされており、食物繊維はその 1 つにすぎないし、大腸がんは、食物繊維への曝露の少なさが引き起こす多くの影響の 1 つにすぎない。広範にわたるエクスポゾームが得られるのは何年も先のことになるだろう。だから Vineis は、現時点では、一度に 1 種類の曝露を測定する方法がもっと改良されることしか望んでいない。「アンケートが完全に不要になるとは思えません」と彼は語っている。■

（翻訳：三枝小夜子）

Brendan Borrell は、ニューヨーク在住のフリーライター。

1. Weisel, C. P. *et al. J. Expos. Anal. Environ. Epidemiol.* **15**, 123-137 (2005).
2. Spira, A. *et al. Proc. Natl Acad. Sci. USA* **101**, 10143-10148 (2004).
3. Sun, M. *et al. J. Am. Diet. Assoc.* **110**, 45-47 (2010).
4. Chadeau-Hyam, M. *et al. Biomarkers* **16**, 83-88 (2010).
5. Patel, C. J., Bhattacharya, J. & Butte, a. J. *PLoS One* **5**, e10746 (2010).

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

抗がん剤の効果を、蛍光イメージング技術で可視化！

細胞内の微細な構造や分子などを蛍光で標識し、可視化する「蛍光イメージング技術」。分化や発生などの基礎生物学領域から、創薬、がんの診断や治療といった医療分野まで、幅広い応用が期待されており、研究開発が急速に展開している。この分野の第一人者である理化学研究所の宮脇敦史（みやわきあつし）チームリーダーは、このほど、独自の細胞周期プローブを使って、がん細胞の増殖動態を可視化することに成功。抗がん剤の濃度に依存した細胞応答の特性を、単一細胞のレベルで明らかにした。

宮脇（みやわき） 敦史（あつし）

細胞周期を可視化する Fucci

―― Nature ダイジェスト：一貫して蛍光イメージングを研究テーマにされていますね。

宮脇：発端は、医学部の学生時代に、蛍光のエネルギー移動（FRET）に関する総説に出会ったことです。当時、蛍光色素を用いた分子ラベルは一部の研究者に限られていた感じでした。私は FRET に憧れ、タンパク質を自在に蛍光でラベルしたいと夢見ていました。その後、1990 年代に、アメリカのダグラス・プレーシャーらが、オワンクラゲ GFP の遺伝子をクローニングしました。そして 1997 年に、私が、GFP の変異体を用いて、FRET を使ったカルシウムセンサーを開発することに成功しました。

図 1．細胞周期と Fucci の蛍光シグナル。細胞周期は、分裂期（M 期）、複製前準備期（G1 期）、DNA 複製期（S 期）、分裂前準備期（G2 期）からなる。Fucci は、G1 期の核を赤く、S 期～ G2 期の核を緑色に蛍光標識することができる。

以後、蛍光プローブやバイオイメージング技術の開発を進め、また沖縄の海で採集したサンゴ類を材料に、新規蛍光タンパク質の単離も行ってきました。細胞内のカルシウム濃度を色分けして可視化できる「カメレオン」、特定の波長の光を照射して蛍光の特性を可逆的に変えられる「ドロンパ」、不可逆的に変えられる「カエデ」、励起波長と蛍光波長が飛躍的に離れている「ケイマ」などの蛍光プローブを開発しています。

―― 今回は、どのようなことをされたのでしょう？

Fucci という細胞周期プローブを開発し、抗がん剤にさらされた培養細胞の細胞周期変化を観察しました。阪上 - 沢野朝子研究員が中心となって行った研究の成果です。Fucci プローブが含む赤と緑の蛍光タンパク質は、私たちが沖縄で採集したサンゴに由来しています。すでに、Fucci プローブの遺伝子を導入した細胞株やマウスも開発済みでした。

細胞は、分裂期（M 期）、複製前準備期（G1 期）、DNA 複製期（S 期）、分裂前準備期（G2 期）を 1 サイクルとし、細胞周期を回しています（分化を終えた細胞は、G1 期から休眠期（G0 期）に移行すると考えられている）。細胞周期の進行は、さまざまなポイントで止まるように制御されています。Fucci は、分裂後から DNA 複製前の時期（G1 期）にある細胞の核を赤色に、DNA 複製から分裂前の時期（S 期～ G2 期）にある細胞の核を緑色に標識します。つまり、「G1 から S への移行のタイミング」をはっきりと可視化することができます（図 1）。

増殖のさかんな細胞に Fucci 技術を適用すると、赤と緑の蛍光がシーソーのように交互に現れます（S 期突入の境目では黄色になる）。一方、筋肉や神経細胞のように分化して増殖を停止した細胞（NMuMG 細胞）に用いると、核は赤いままとなります。今回は、がん細胞の代表といえる HeLa（ヒーラ）細胞とマウス由来の良性腫瘍細胞（NMuMG 細胞）に Fucci を用い、それぞれの細胞に「エトポシド」という抗がん剤をさまざまな濃度で投与して、細胞周期進行のようすを可視化してみました。エトポシドは、G2 期から M 期への移行（G2 チェックポイント）を止めることが知られています。

抗がん剤に抵抗する実態が見えた

―― その結果、どのようなことがわかったのでしょう？

培養皿上やヌードマウスの皮下で、悪性の HeLa 細胞は「赤→黄→緑→赤…」の変化を限りなく繰り返し、増殖の制御機構が破綻していることがよくわかります。一方、NMuMG 細胞は、培養皿一面に広がると増殖を止め、赤い核を保持したままとどまりました [1]。

次に、NMuMG 細胞にさまざまな濃度のエトポシドを加えたところ、興味深い現象が観察されました。まず、約 0.1μM までの濃度では、細胞周期が G2

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

で停止し、緑色の状態にとどまっていました。約 1μM では、M 期への突入とともに核が分断する状態が見られました。ところが 10μM 以上になると、細胞は M 期をスキップしたまま DNA 複製を繰り返す、すなわち「細胞が分裂しないまま、核の色が赤と緑の間の往復する現象」がみられました（図 2）[2]。臨床的に、がん細胞が核内 DNA を倍増させることによって抗がん剤への耐性を獲得してしまう現象が知られています。今回、こうした現象が起こる過程を目撃することができたといえます。なお、同様にして HeLa 細胞にもエトポシドを投与したところ、こちらは低濃度でも高濃度でも、細胞周期が G2 で停止しました。

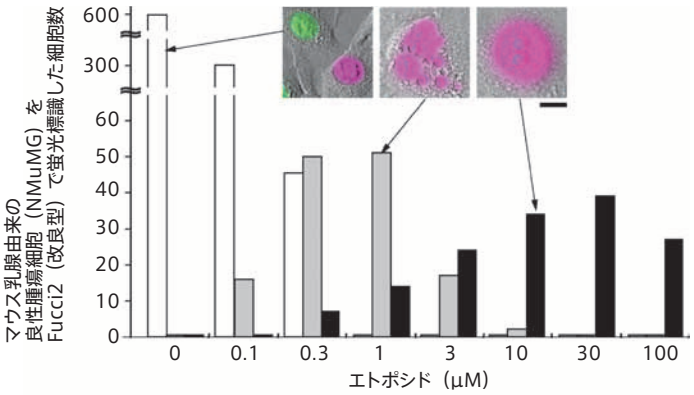


図 2．さまざまな濃度のエトポシド投与による NMuMG の数と蛍光反応。0.1 μM までの濃度では、ほとんどの細胞は分裂を停止し、緑色に蛍光したままになった。1 μM 付近では、M 期への突入とともに核が分断する状態がみられた。10 μM より高い濃度では、細胞は M 期をスキップしたまま DNA 複製を繰り返す現象がみられた。こうした DNA 増幅ががん細胞で起きることで、エトポシドへの耐性獲得をもたらすと考えられる。

―― 成果は、医療や産業での応用が可能でしょうか？

はい。抗がん剤のスクリーニングや評価に使えます。現在のやり方は、何万個もの細胞を扱う FACS 技術が中心です。具体的には、抗がん剤投与後のがん細胞の核内 DNA 量を解析するのですが、これだけでは細胞が見せる多様な応答をしっかりカバーできません。個々の細胞の細胞周期の位相情報を加えることができれば、倍化する細胞を感度よく検出できるはずです。

私たちの方法は、FACS 技術と相補することで、きわめて有用性の高いものになると期待されます。すでに、がんの研究者や製薬企業など、さまざまな方面から技術提供や共同研究のオファーを受けており、汎用化に努めたいと考えています。さらに、胚発生、器官形成、血球・リンパ球の動態、iPS 細胞のモニタリング、組織幹細胞の同定など、さまざまな分野で使ってほしいと思っています。

蛍光イメージング技術の可能性

―― 今後の課題と目標は？

Fucci 技術の展開として、「DNA を 3 色に色分けする」、「S 期から G2 期への移行を可視化する」ことが可能なプローブをめざして改良を加えています。また、ゼブラフィッシュのような透明なモデル生物に Fucci 技術を適用する実験も進めており、形態形成における増殖と分化の協調を解析したいと考えています。

一方で、生物界に蛍光タンパク質を探索するプロジェクトも続けたいと考えています。「なぜ蛍光を発するのか」という疑問を突き詰めると、40 億年にわたって、あらゆる生物が太陽光の影響を受けながら進化してきた事実に行き当たり、わくわくします。私の研究室には、生化学のバックグラウンドをもつ者が多いのですが、自分の得意分野を持ちつつ、学際的にリーチアウトすることを私は勧めています。

新たなプローブとしては、細胞死に向かう様相をとらえるものを開発中です。Fucci イメージングと組み合わせて、細胞の死生観とでもいうべき問題に迫ってみたいですね。そう遠くない未来に、蛍光イメージング技術が、ヒトにも応用できるようになっていることと思います。

また、生命科学だけでなく、材料科学分野においても、蛍光タンパク質の研究成果を活用したいと思っています。例えば、カエデを使うと、特定の波長の光照射で色が変わる機能材料が開発できます。このような応用研究を支えるのは、蛍光タンパク質の構造・機能に関する基礎的研究です。私たちは、蛍光タンパク質の発色団にある「パイ電子の心」をつかむべく、毎日奮闘しているのです。

―― ありがとうございました。 ■

聞き手は西村尚子（サイエンスライター）

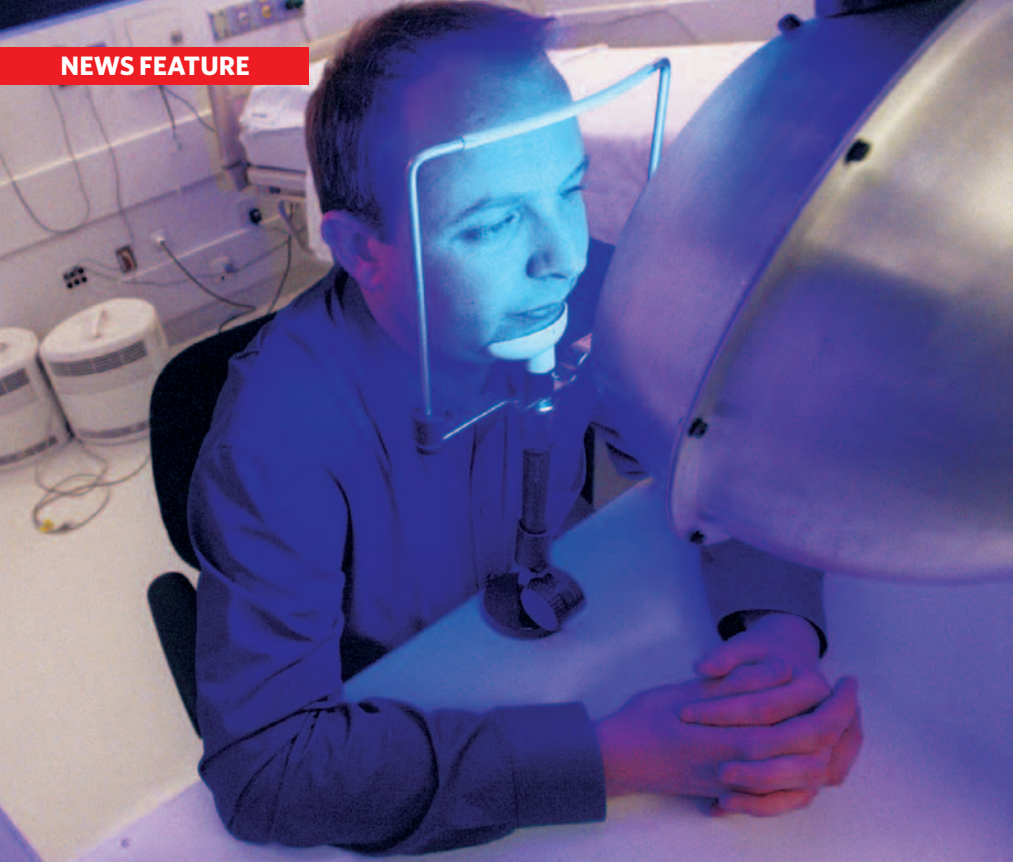
1 Sakaue-Sawano, A., *et al. Cell* **132**:487-498 (2008).
2 Sakaue-Sawano, A., *et al. BMC Cell Biology* **12**:2 (2011)

AUTHOR PROFILE

宮脇　敦史

独立行政法人 理化学研究所 脳科学総合研究センター副センター長、独立行政法人科学技術振興機構 ERATO「生命時空間情報」プロジェクト研究総括。1991 年、大阪大学医学部大学院医学研究科博士課程修了、医学博士。日本学術振興会特別研究員ののち、1993 年 4 月より東京大学医科学研究所助手。1995 年 10 月よりカリフォルニア大学サンディエゴ校博士研究員。1999 年 1 月から、独立行政法人理化学研究所脳科学総合研究センター先端技術開発グループ細胞機能探索技術開発チーム チームリーダー。2004 年 1 月、同センターグループディレクター、2008 年 4 月、同センター副センター長。2006 年 10 月より独立行政法人科学技術振興機構 ERATO「生命時空間情報」プロジェクト研究総括。

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved



K. SNIBBE/HARVARD UNIV.

第三の光受容細胞

Seeing without seeing

Corie Lok 2011年1月20日号 Vol. 469 (284–285)

眼の光受容器といえば、10年前までは桿体細胞と錐体細胞だけだった。
ところが第三の光受容細胞があることがわかり、
いま、視覚における知識革命が起こっている。

Russell Fosterは、最初の被験者となった87歳の女性のことを今も鮮明に覚えている。彼女は、光を感じる視細胞である桿体と錐体が遺伝疾患のために変性し、50年前に失明していた。彼女自身、自分は何も見えないと信じていた。その日は、暗室内に座って、バックライトで照らされた曇りガラスに顔を向けてもらっていた。そして暗室内の光を青色に変化させたとき、彼女は少しためらった後、「何か光を感じます」と答えたのだ。

「これには心底びっくりしました」と、オックスフォード大学（英国）で神経科学研究に携わるFosterは打ち明けた。この知見は2007年に論文として報告され[1]、彼はその代表著者の1人となった。

Fosterの研究チームは、この女性患者に対して失明治療をいっさい行っていなかった。彼女が光に気付いたおかげで、新しい種類の光感受細胞を2002年に発見することができたのだ。それ以来、この内在性光感受性網膜神経節細胞（ipRGC）と呼ばれる細胞群の研究から、多くの意外なことが明らかになっている。

当初、これらの細胞は視覚には関与しておらず、代謝や行動の24時間周期を設定する概日時計を、昼夜の光量変化に同期させているだけだと考えられた。ところが最近の研究で、ipRGCの働きはそれだけでないことが示唆されている。ipRGCは、図形パターンの識別やまぶしさの調整（輝度変化への対応）といった視覚にもかかわっている可能性があり、また、周囲の光が学習や記憶などの認知過程に影響を及ぼす現象にも関係しているようだ。

桿体細胞も錐体細胞もないマウス

過去100年の間、視覚研究の対象は、主として桿体と錐体という2種類の光受容細胞に絞られてきた。こうした事情もあって、第三の光受容細胞の存在を示す最初の証拠を見つけたのが、視覚とは畑違いの概日生物学を研究していたFosterだったのだ。1990年代初め、Fosterはバージニア大学（米国シャーロットビル）の自身の研究室で、時間とともに変性していく網膜を持つ変異マウスを用いて、概日性の光に対する反応を調べていた。そして、このマウスは、正常な網膜を持つマウスと全く同じ反応を示し、両者の違いが区別できないことに気付いた。一方で、眼を摘出したマウスでは、これらとは異なり、体内時計に対する光の影響は皆無だった[2]。

この知見に対して、最初は懐疑的な意見が強かった。Fosterは、話しかけた相手に立ち去られる経験を何度もしたという。批判派は、実験に使った変異マウスには一部の桿体細胞や錐体細胞がおそらくまだ残っていて、そのせいで体内時計を調整できたのだろうと主張した。そこで1999年に、すでにインペリアル・カレッジ・ロンドンに移っていたFosterは、錐体細胞を欠失させた遺伝子操作マウスと、桿体細胞が変性・退化した変異マウスを交配し、どちらの光受容細胞も持たない仔マウスを作った。そ

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

の結果、マウスに「眼」があるかぎり、正常な概日リズムが見られることが明らかになったのだ[3,4]。

翌2000年、大学院生時代にFosterの指導を受け、現在はバージニア大学(米国）にいるIgnacio Provencioが、マウスと霊長類の眼の神経節細胞層で、光感受性分子であるメラノプシンを発見した[5]。当時、この細胞層は、桿体細胞や錐体細胞から脳へ信号を単に中継する網膜細胞ネットワークにすぎないと考えられていた（右下図参照）。しかし、メラノプシンという「光感受性色素」が存在するという事実は、神経節細胞層の一部の細胞が光も感じ取っており、第三の光受容細胞として働いている可能性を示唆していた。そこで、これらの細胞を単離して、桿体細胞や錐体細胞からの入力がなくても光に反応して活性化することを示そうと、研究者たちはしのぎを削ることになった。

この競争は2002年に終わった。ジョンズホプキンス大学（米国メリーランド州ボルチモア）の神経科学者Samer Hattarの研究チームが、マウスの神経節細胞層にある細胞の1%が、青色光に最も感受性のあるメラノプシンを発現していることを見つけたのである[6]。また、ブラウン大学（米国ロードアイランド州プロビデンス）の神経科学者David Bersonの研究チームは、これらの細胞、すなわちipRGCは、独自に光を感知しており、脳内ペースメーカーである視交叉上核まで軸索を伸ばしていることを明らかにした[7]。これら2つの論文は懐疑派を納得させるのに多いに役立った、とワシントン大学（米国シアトル）の神経科学者で眼科医のRussell Van Gelderは話す。「2002年になって、ようやく本格的な研究に踏み出せたのです」。

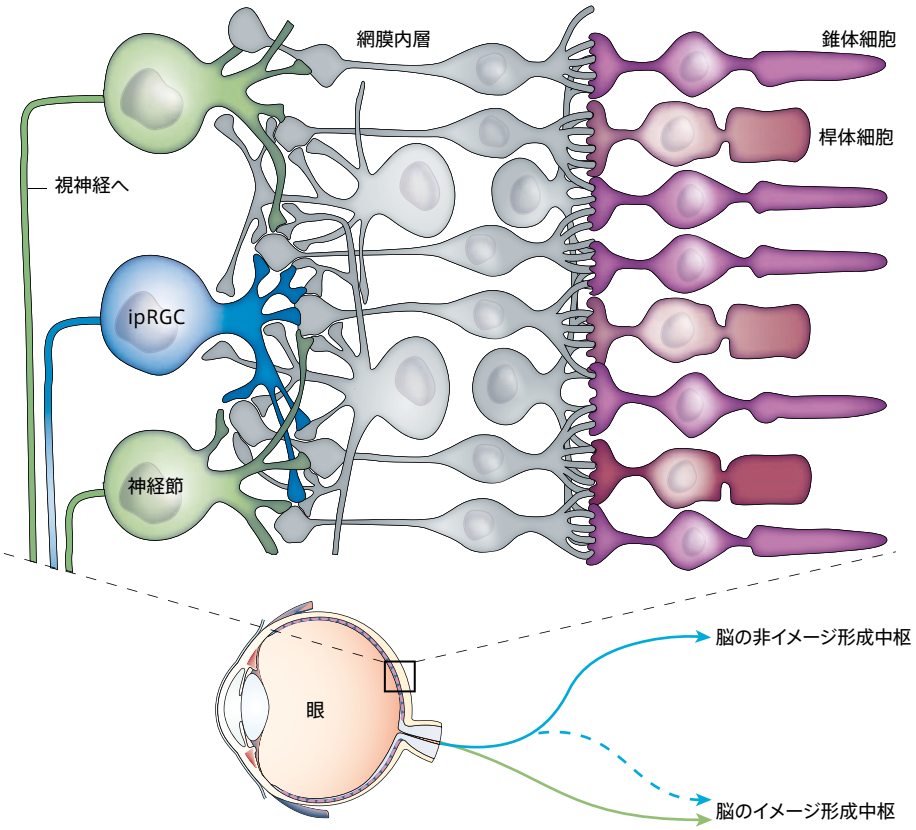
研究者たちは、眼にある3種類の光受容細胞がそれぞれどのような役目をしているかを調べるため、各細胞からの入力を選択的にブロックできるモデルマウスの開発に取りかかった。しかし、これらの細胞は種類ごとに仕事をきれいに振り分けているわけではなく、さまざまな条件下で役割を交代しているようにみえる。

低光量の条件下では桿体細胞が体内時計をセットできることが明らかになったが、一部の研究グループによれば、異なる条件下では錐体細胞が同じ仕事を行えるという。それよりも意外だったのは、ipRGCが視覚に関与している可能性があるとわかったことだ。Hattarの研究チームは、マウスでipRGCに蛍光標識して、これらの細胞が脳へ伸ばした軸索を追跡した。その結果、ipRGCは予想以上に広い脳領域へ軸索突起を伸ばしており、その領域には視覚情報処理に関与する中枢部分、すなわち外側膝状体背側核（LGN）と上丘も含まれていることがわかった。また、機能する桿体細胞と錐体細胞を持たないがipRGCは損なわれていないマウスが、視覚試験でいくつかの模様を見分けられることも示された[8]。

これは不可解な話だ。光量の変化に対するメラノプシンの反応は秒単位のゆっくりしたものであり、変化の速い空間情報を伝えるには限りがある、とマンチェスター大学（英国）の神経生物学者Robert Lucasは言う。彼の研究チームは、メラノプシン遺伝子を欠失して光感受性のないipRGCを持つマウスでは、LGNにあるニューロンのほぼ半数で、光に対する反応が損なわれていることを見つけた。このマウスは、特に日中の光量範囲に当たる背景の光量差を、見

光をとらえる細胞層

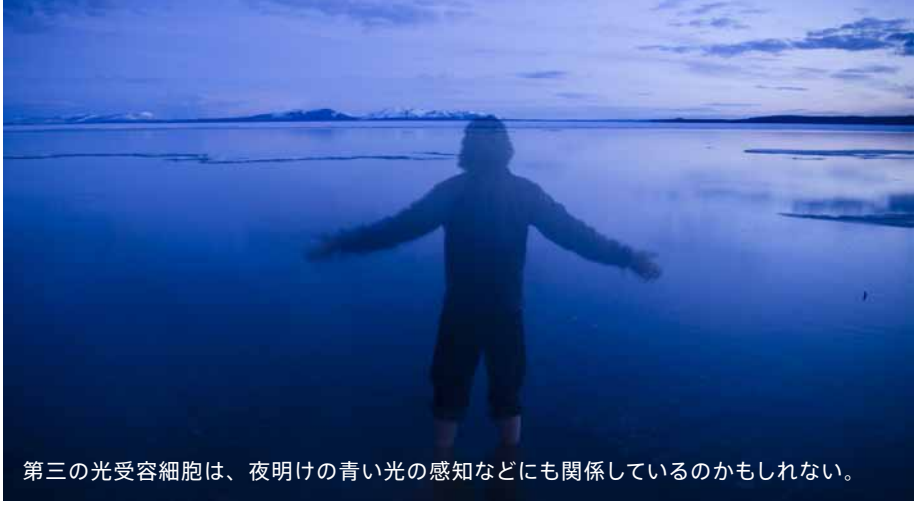
眼に入った光は、神経節細胞層や網膜内層の細胞を通り抜けて、主要な光受容細胞（桿体細胞と錐体細胞）に到達する。これらの細胞が視覚情報を神経節細胞に送り返すと、神経節細胞はそれを脳の視覚中枢や視覚以外の中枢へと伝える。内在性光感受性網膜神経節細胞（ipRGC）と呼ばれる一群の神経節細胞は、光感受性色素であるメラノプシンを含んでおり、光に関する情報を、直接符号化して伝達することもできる。



©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

分けることができなかった。したがって、ipRGC は輝度（単位面積当たりの明るさの程度）に関する情報を符号化できるのではないかと考えられた[9]。

現在は、ipRGC と桿体細胞が補い合って、広範な輝度のレベルに眼や脳が対応できるよう協力していると考えられている。この 2 種類の光受容細胞が、こうした特殊な方式で仕事を分担している理由はよくわかっていない。例えば、ipRGC の青色光に対する感受性のおかげで、夜明けや夕暮れの訪れを察知するのにより適するようになっている可能性もある。



第三の光受容細胞は、夜明けの青い光の感知などにも関係しているのかもしれない。

ISTOCKPHOTO

青色光の利用への懸念

ipRGC は、視覚や概日リズム以外の生体現象にも影響を及ぼしていると考えられている。睡眠、片頭痛、季節性の不調といった多くの生理反応は、光と関連することがわかってきており、近年、これらの反応が ipRGC の活動とも関係することが示されている。「生理活動全般が、多かれ少なかれ光の影響を受けているのでしょう」と Provencio は話す。

学習能力や記憶能力が特定の光条件下で向上する可能性もある。Provencio の研究チームは、2010 年、恐怖学習のモデルマウスに対する光の影響を示すデータを公表した。マウスには、弱い電気ショックと音の合図を組み合わせて恐怖の条件付けをした。光がある中でこの恐怖を学習したマウスは、暗闇で条件付けしたマウスよりも、合図の音に反応してより長い時間、体をこわばらせていた。この増強効果は、遺伝子操作で桿体細胞と錐体細胞を欠失したマウスでは見られなかったが、メラノプシンを欠失したマウスでは見られたため、桿体細胞と錐体細胞が、光で増強される学習を促進していると考えられる。しかし、Provencio たちは ipRGC の関与の可能性をまだ排除していない。ipRGC は、眼から視覚にかかわらない脳中枢部へも情報を伝えており、そこには恐怖反応にかかわる領域も含まれているからである。

Hattar の未発表データでは、マウスの睡眠・覚醒サイクルのさまざまな時点でメラノプシンを光で活性化すると、たとえマウスが正常な概日リズムを持っていても、学習や記憶が損なわれることが示唆されている。これは、体が想定していない時間帯に光に当たると混乱が生じることを意味していると思われる。さらに、マウスに比べて ipRGC の割合が少ないヒトに関しても、これらの細胞が生理や行動にどう関与しているかが明らかになり始めている。ブリガム・アンド・ウィメンズ病院（米国マサチューセッツ州ボストン）の神経科学者 Steven Lockley の研究チームは、健康な被験者 16 人に青色または緑色の光を 6.5 時間当てたときの反応時間を調べた。ある音が聞こえたら報告するという課題では、青色光を当てた被験者のほうが反応時間は短く、注意力の欠如も少なかったのだ[10]。

Lockley によれば、こうした各種の研究は、最終的に、特定の波長や強さの光、さらには図形や模様を用いて脳内経路を活性化したり、気分、睡眠、知的能力を改善・向上させたりするような「より健康的な光」を生み出すのに役立つだろうという。「この研究によって、光治療の分野はもちろんのこと、一般的な光の利用に関しても、全く新しい分野が切り開かれるはずです」と Lockley は話す。

特定の周波数の光は、有用な効果を及ぼすこともあるが、健康を害する可能性もある。Lockley は、光工学および神経科学の研究者や眼科医からなる「青色光グループ（Blue Light Group）」という名のチームとともに研究を続けている。彼らは 2010 年の夏に、安全性の問題、特に青色光に関する問題を議論するために初めて集まった。青色光を過剰に浴びることが、黄斑変性症として知られる一種の失明状態にかかわってくるのではないか、という見方があるからだ。発光ダイオードはエネルギー効率の高い優れた発光技術だが、その大半は青色光を多く含んでいる、とリーダー役のカリフォルニア大学デービス校（米国）の材料科学者 Charles Hunt は指摘する。発光ダイオードが広く使われるようになると、健康問題が生じる可能性も捨てきれない。

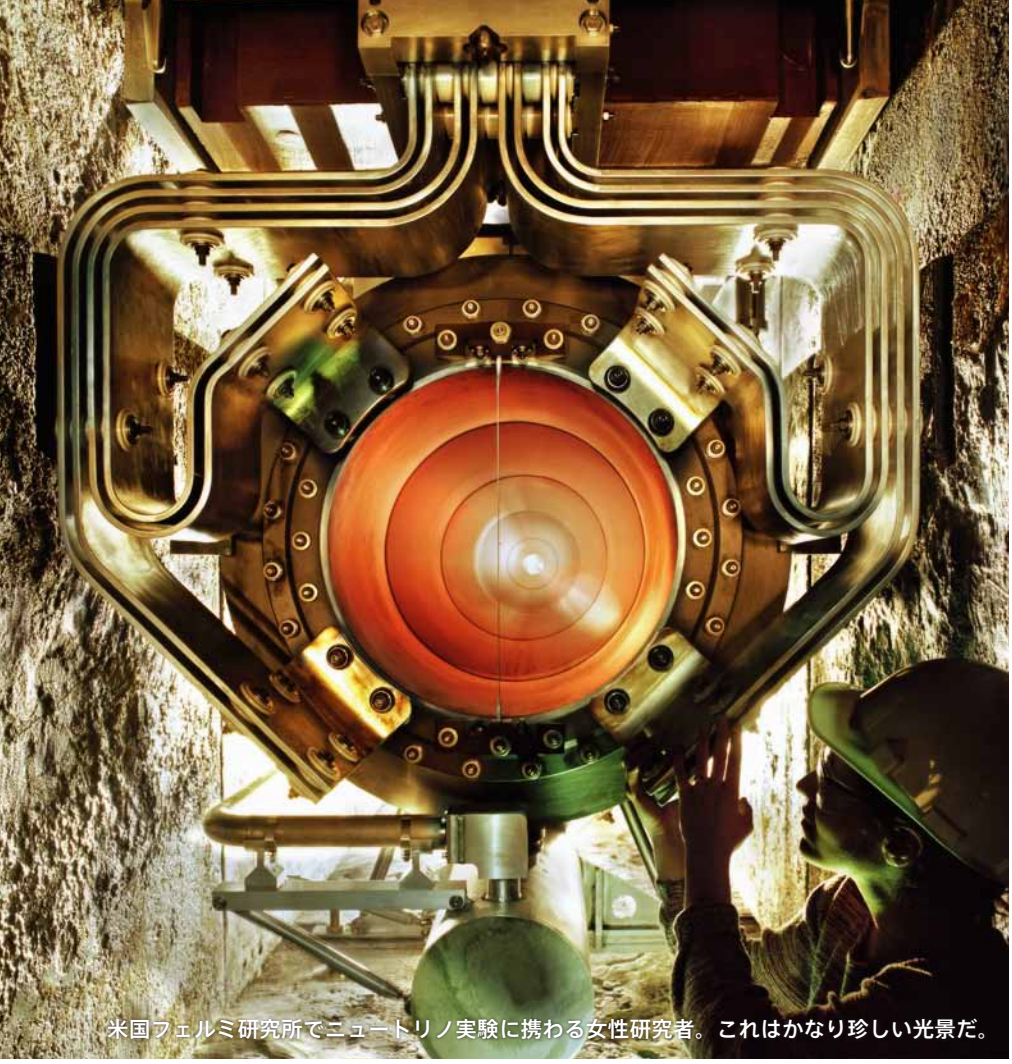
ヒトは自然光の下で生活するよう進化してきたのだ、と Van Gelder は話す。「我々は、進化の過程で接したことのない波長の光を世界に持ち込み、その利用を広げることで、自身の健康に何らかのダメージを与えつつあるのではないでしょうか」と彼は問いかける。Hunt は、新しい種類の照明の登場を考えると、とにかく真実を突き止めることがまず大事で、「早急に答えを出す必要があります」と語った。 ■

（翻訳：船田晶子）

Corie Lok は、*Nature* のリサーチハイライト担当編集者。

1. Zaidi, F. H. *et al. Curr. Biol.* **17**, 2122–2128 (2007).
2. Foster, R. G. *et al. J. Comp. Physiol. A* **169**, 39–50 (1991).
3. Freedman, M. S. *et al. Science* **284**, 502–504 (1999).
4. Lucas, R. J., Freedman, M. S, Muñoz, M., Garcia-Fernández, J. M. & Foster R. G. *Science* **284**, 505–507 (1999).
5. Provencio, I. *et al. J. Neurosci.* **20**, 600–605 (2000).
6. Hattar, S., Liao, H.-W., Takao, M., Berson, D. M. & Yau, K.-W. *Science* **295**, 1065–1070 (2002).
7. B erson, D. M., Dunn, F. A. & Takao, M. Science 295, 1070–1073 (2002).
8. E cker, J. L. *et al. Neuron* **67**, 49–60 (2010).
9. B rown, T. M. *et al. PLoS Biol.* **8**, e1000558 (2010).
10. Lockley, S. W. *et al. Sleep* **29**, 161–168 (2006).

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved



米国フェルミ研究所でニュートリノ実験に携わる女性研究者。これはかなり珍しい光景だ。

GETTY IMAGES

科学界の男女格差を調査

Science gender gap probed

GWYNETH DICKKEY ZAKAIB 2011年2月10日号 Vol. 470 (153)
www.nature.com/news/2011/110209/full/470153a.html

科学界では、あからさまな男女差別はめったに見られなくなったが、
女性に対する社会的障壁はまだ残っている。

男女差別は、「ガラスの天井」や「男だけの同窓会」という言葉にたとえられ、その解消が進められてきた。しかし、現在の科学界で女性が直面する困難を最もよく表している言葉は、「目に見えないクモの巣」である。このクモの巣は、社会、女性の生物学的特性、研究組織など多数の「糸」からなっており、女性研究者はこれらの糸に縛られて、男性と同じ量や速さで業績を上げるのが非常に難しくなっているのである。

これは、物理学やコンピューター科学、工学といった数学が重要な分野で、女性研究者が未だに少ない理由を調べた研究によって導き出された結論だ。研究によると、女性研究者が同等の資質や条件の男性と競った場合に、雇用や論文掲載、助成金受託などの機会が奪われるような公然とした差別は、ほとんど過去のものであるという。それよりむしろ、成果が常に求められる一方で出産・育児のために研究の中断を余儀なくされるという状況、青年期の職業選択に影響を与える社会的要因や「女性」に対する社会的・生物学的期待によって、一部の研究分野における女性の少なさをうまく説明できるというのだ。

全米科学財団が2008年に行った全米の大学の調査では、物理科学分野においてPhDを取得した研究者のうち女性の割合は30%未満だった。上級職でみた場合、物理学関連の分野で正規雇用の教授の女性は10%にすぎない。しかし、コーネル大学（米国ニューヨーク州イサカ）で心理学研究に携わるStephen CeciとWendy Williamsが、過去20年間の研究についてよく調べたところ、学術ジャーナルの論文審査員、研究助成組織、雇用委員会については、性差別が続いていることを示す証拠はほとんど見つからなかった。2011年2月7日に公表された彼らの解析結果（S. J. Ceci and W. M. Williams *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **108**, 3157-3162）は、あからさまな男女差別が未だに大きな問題であるとするほかの報告とは対照的である。「これらの場で女性が性差別を受けているとする主張が、裏付けもなく常に叫ばれてきました。今回我々は、そうではないことを決定的に示したのです」とWilliamsはいう。

女性研究者は男性研究者に比べて社会的に果たす役割の種類が多いので、仕事の達成度という点で男性に遅れをとってしまうのだ、とCeciとWilliamsは結論付けている。そしてこの問題のほとんどは、突き詰めると、結婚・出産・育児に関連する外的要因に行き着くという。女性研究者が子どもをもつと、同等の能力をもつ男性に比べて研究職を選ぶ率が低くなったり、学生指導の負担は大きいが勤務時間が一定である大学教員の職を選んで研究時間を犠牲にしたりするようになる。CeciとWilliamsは、大学のテニュア（終身雇用資格）の厳しい時間スケ

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

ジュールそのものが、女性の育児と両立しえないことも指摘している。「女性に幼い子どもがいる時期は、多くの場合研究職についてから5～6年後で、テニュアの候補になる時期に重なると考えられます。これは、実質的に乗り越えられない障害となるのです」とWilliamsは話す。

ただし、このような制約は、すべての科学分野で研究に従事する女性に存在し、これだけでは数学の重要な分野で研究者数の男女格差が最大となっている理由は説明できない。CeciとWilliamsは、別の要因があると指摘する。その1つが、選択する研究分野に男女で差があることで、そうした違いは個人の適性とは無関係の社会的な影響を受けている可能性がある。

一方、ワシントンD.C.に本部を置く米国大学婦人協会（AAUW）の主任研究員、Christianne Corbettは、「あからさまな男女差別が減ったことはほぼ確実ですが、性別によって応募者の判定に差を付けることが過去のものになったと考えるのは、いささか単純すぎます」と言う。AAUWの2010年度報告書（CeciとWilliamsが今回の研究の中で批判している）では、論文審査には男女差別が存在し、雇用には「女性応募者に対する体系的な過小評価」が見られると述べられている。

CeciとWilliamsは、男女差別にばかり焦点を当てていると、格差の真の原因に目が届かないのではないかと危惧する。例えば、審査や雇用を検討する委員会では、もはやジェンダー配慮の研修の必要はなく、幼い子どもをもつ女性のために柔軟なテニュア制度を進める方向に努力していくべきだと彼らは言っている。教育プログラムによって女性の大学院生に十分な情報を提供することで、出産・育児とキャリアに関する決断を助けることもできるだろう。

マサチューセッツ工科大学（MIT；米国ケンブリッジ）の教職員で、男女不平等に関する画期的調査を率いたこともある分子生物学者のNancy Hopkinsは、行動するのをあきらめてしまったら、男女平等の歩みは後退してしまうだろうと警告している。彼女の見るところ、すでにMITでは、幼児のいる教職員が利用できる大学内託児所の設置など、家庭をもつ研究者に優しいいくつかの変革が行われつつある。Hopkinsは、「我々MITは、男女平等な環境という目標までの道のりの約3分の2まで来ています」と話す。だがその一方で、「多くの研究機関は我々よりずっと遅れています」とも指摘している。■

（翻訳：船田晶子）

研究を妨げる企業ライセンス

Licence rules hinder work on rare disease

Erika Check Hayden　2011年2月17日号　Vol. 470 (318-319)
www.nature.com/news/2011/110216/full/470318a.html

女児がかかる希少疾患のレット症候群。研究に必要な動物モデルの入手を阻むのは、企業が保有する超複雑な権利関係書だ。

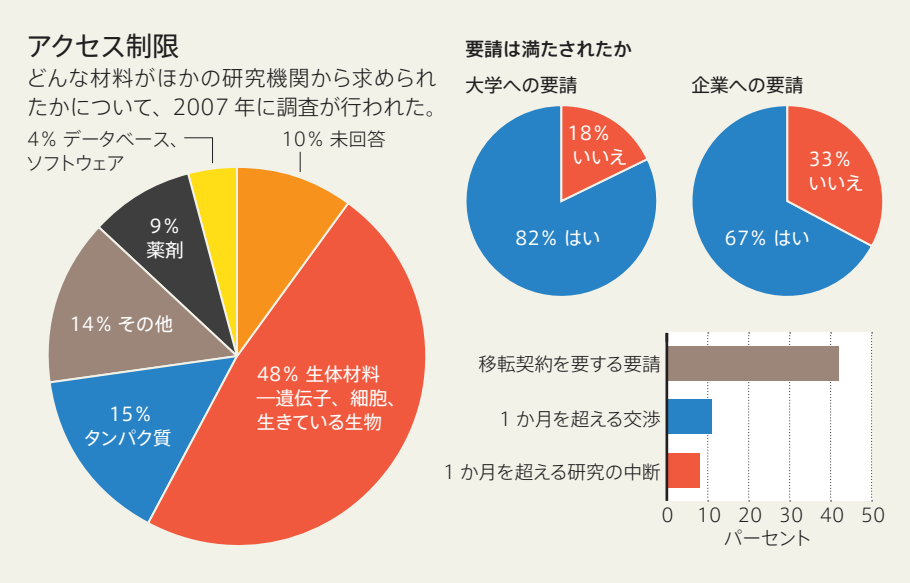
Etienne Jolyがのどから手が出るほど欲しがっているマウス胚は、ケンブリッジ（米国マサチューセッツ州）の冷凍庫のどこかに秘蔵されている。

トゥールーズ（フランス）の免疫学者であるJolyは、レット症候群に強い関心を持っている。この病気は、消耗（衰弱）性の不治の病で、患者のほとんどは女児だ。ノバルティス・バイオメディカル研究所（米国ケンブリッジ）の研究チームが開発したこのマウスは、レット症候群で変異している遺伝子が蛍光で標識されている。Jolyによれば、それは、レット症候群に関してJolyが持っているアイディアを試すのに完璧なツールなのだという。しかし、複雑に絡み合った法的な制約のために、そのマウスはノバルティス社外の人間の手には届かないようになっている。その縛りは、同社の研究者がレット症候群の研究でそのモデルを使用しなくなっても続くのだ。

その規制に対する手紙書きキャンペーンを開始したJolyは、「研究者と家族が求めているのは、この疾患を調べて、理解を深めようとする権利です。そこにツールがあることがわかっているのに、それを手にすることはできないと法律家に言われて、怒らないはずがないでしょう」と話す。知的財産権問題に詳しい専門家や科学者は、これについて、やっかいな許諾規則が研究材料の分譲を支配するために、いかに科学が阻害されるかを示す具体例だ、と指摘する。

レット症候群の女児は、出生時は健康だが、成長するにつれて、正常に話し、動き、食べ、呼吸する能力を失っていく。この疾患は症例が少なく、女児1万～2万人に1人しか発症しないため、製薬会社にとって魅力的なターゲットではない。しかし、大学の研究チームがこの無風状態に風穴をあけ、*MECP2*遺伝子の異常がレット症候群の原因であることが1999年に発見されて、現在では治療法の臨床試験が行われるなど、急速な進展を見せている。

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved



しかし、その変異がどのように疾患を引き起こすのか、まだ明らかではない。薬理学・構造生物学研究所で研究を進めている Joly は、数年前、自ら「やや新しい」と考えるアイデアを思いついた。それは、レット症候群の遺伝子が中枢神経系の免疫反応を調節する役割を担っているのではないか、というものだ。この仮説を検証するには、その遺伝子が発現している場所を追跡できる動物モデルが必要だった。

2008 年、Joly は問題の遺伝子組み換えマウスの存在を知った。分子生物学者の Cecile Blaustein を中心とするノバルティス社の研究チームが、マウスの *Mecp2* 遺伝子のコピーに増強型緑色蛍光タンパク質（EGFP）を作る遺伝子のコピーをつなぎ、この遺伝子の活性を脳全体および全身で追跡できるマウスを作り出したのだ（R. S. Schmid *et al. Neuroreport* **19**, 393–398; 2008）。

しかし、3 年間がんばったものの、Joly もほかのレット症候群研究者も、そのマウスを手にすることができていない。分譲を願い出ると、Blaustein やその同僚は、ぜひともお分けしたいのだが、GE ヘルスケア社から得た EGFP に関するノバルティス社のライセンス条件のためにそれができない、と答えるのだった。

ノバルティス・バイオメディカル研究所のスポークスマンである Jeff Lockwood によれば、ノバルティス社がそのマウスに関する研究プロジェクトを終了しているにもかかわらず、そのマウスを分譲する方法について両社は協議することができていないのだという。

レット症候群研究トラスト（米国コネティカット州トランバル）の常任理事である Monica Coenraads が、そのマウスの分譲契約を取りまとめようと動いた。その過程で、GE 社とノバルティス社は、米国立衛生研究所（NIH；米国メリーランド州ベセスダ）に対し、変異マウス地域資源センターを通してそのマウスを配給するよう要請した。しかし、同資源センターに出資している NIH 国立研究資源センターで技術移転を担当する上席顧問の Lili Portilla は、「GE が分譲に関してあまりにもやっかいな条件を課していたために、NIH は最終的に手を引いたのです」と説明する。Portilla によれば、例えば、研究者が成果を NIH と共有することが認められていないのだという。

GE 社のスポークスマンである Conor McKechnie は、EGFP タンパク質の権利を GE 社に提供した「第三者」がめんどうな許諾要件を課したからだと非難する。しかし、世界中の研究者にマウスを提供しているジャクソン研究所（米国メーン州バーハーバー）の専属弁護士である David Einhorn は、GE 社の主張に首をかしげる。EGFP 遺伝子を組み込んだマウスモデルはほかにも多く作製され、GE 社からも、EGFP を最初に発見して特許を取得した研究所からも、問題なく分譲されているからだ。

資源の分譲をめぐっては、何十年にもわたってトラブルが起こっており、事態は年々悪化しているように見える。例えば 2007 年の研究では、研究材料に関して大学からほかの大学研究機関に出された要請の、18％が応じられていないことが明らかにされている（左図参照）。これは、1990 年代の調査の 2 倍近くになる。産業界へとなると、大学からの要請の 3 分の 1 が断られている（J. P. Walsh, W. M. Cohen and C. Cho *Res. Pol.* **36**, 1184–1203; 2007）。

アルバータ大学公衆衛生学部（カナダ・エドモントン）の法律家である Tania Bubela は、自社の資源の分譲を望まない企業は、それについて論文を出さないのが普通だ、と語る。発表することによって事態が変わってしまうからだ。「発表すると、他者が結果を再現できるようにするために、データや材料を公開しなければならなくなるのです」。

解決の糸口が見いだせないなか、そのマウスモデルの再作製に打って出る研究所が現れた。エディンバラ大学ウェルカムトラスト細胞生物学センター（英国）所長の Adrian Bird によれば、同研究所ではすでにそのマウスが再作製されており、コロニーが十分に成長したらすぐに、ジャクソン研究所などのリポジトリーを介して配給する予定だという。

Bird をはじめ多くの人は、レット症候群に関する研究の遅れが余儀なくされ、すでに使えるようになっているはずのモデルをコストをかけて作り直さなければならないのは、まさに不幸なことだと話す。

「この病気で苦しんでいる人の家族に聞けば、1 分でも惜しいと答えるでしょう」と Bird は言う。 ■

（翻訳：小林盛方）

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

若い人たちと一緒に「夢作り」をしたい

松永　是（まつなが　ただし）
東京農工大学学長。1979 年東京工業大学大学院総合理工学研究科電子化学専攻博士課程修了。工学博士。東京工業大学資源化学研究所助手、東京農工大学工学部助教授を経て、89 年東京農工大学工学部教授に就任。94 ～ 96 年同大学共同研究開発センター長、2001 ～ 07 年同大学工学部長、07 ～ 11 年同大学理事・副学長（学術・研究担当）。電気化学会会長、マリンバイオテクノロジー学会会長、(社) 日本化学会バイオテクノロジー部会部会長を歴任。生物工学会賞、繊維学会賞、日本化学会学術賞、カーネギー財団カーネギーセンテナリー教授賞など受賞多数。ヘリオット・ワット大学（英国）名誉科学博士。

東京農工大学　松永是　新学長に聞く

2011 年 4 月 1 日、東京農工大学では、松永是副学長（工学研究院生命機能科学部門 教授）が第 12 代学長に就任しました。任期である 2015 年 3 月 31 日までの 4 年間の目標、若手研究者へのメッセージを松永新学長に聞きました。

大学の基本理念「持続発展可能な社会の実現」をさらに推進

―― まず抱負をお聞かせください。

東京農工大学は、農学部と工学部から成る科学技術系の大学で、もともと大学院生の数も多く、さらに研究指向型の大学を目指します。大学の基本理念は「持続発展可能な社会の実現」であり、環境やエネルギーの領域を中心にしたグリーンイノベーションに全学で取り組みます。

―― グリーンイノベーションは、今年 4 月からの第 4 期科学技術基本計画でも取り上げられ、注目されています。とくにどんな分野に力を入れるのですか。

グリーンイノベーションは、東京農工大学が創立以来、成果を上げてきた得意な領域ですし、今の時代にますます重要視されています。ですから、これからは「強い分野をもっと強くする」ということですね。

工学分野では、グリーンイノベーションの研究を通じて、社会の「安全･安心･快適」を作っていく研究に力を入れています。例えば、これまでも自動車の安全性の研究を続けて成果を上げてきましたが、これをエコカーの安全性や耐久性の研究につなげたい。電池の発火の予防、快適な乗り心地など、従来の自動車と同様の、あるいはエコカーならではの研究の要素がたくさんあります。また、高性能リチウムバッテリーやキャパシタ、LED（発光ダイオード）、レアメタルの回収、バイオ燃料、居住空間からの細菌やウイルス、花粉の除去技術、なども有望だと考えています。

また、農学分野では、連合農学研究科という組織を通じて、全国の国立大学の農学部のネットワークを作りアグロイノベーションに取り組んでいます。獣医学の分野では、口蹄疫や鳥インフルエンザに対応するために動物の感染症研究のためのセンターを立ち上げました。

どんな研究領域でも、学際的になってきていますし、東京農工大学にない医薬系学部や理学部とは意識的に連携するようにしていきます。すでにスタートしている静岡がんセンターをはじめとする「富士山麓先端健康産業集積（ファルマバレー）プロジェクト」との連携、早稲田大学生命医科学専攻と設置した共同先進健康科学専攻では、研究や教育がスムーズに進んでいます。

―― 産学連携にも積極的ですね。

産学連携には歴史があり、教員 1 名あたりの民間企業との共同研究の受け入れ件数、受入金額とも日本一です。また、大学が受ける外部資金の比率もトップ 5 に常に入っています。この傾向はここ 20 年間ほど､ほとんど変わっていません。

これには、教員の約 4 割が民間企業等での勤務経験がある、学閥がない、さまざまな大学の出身者が集まっているといった東京農工大学の文化が影響してい

グリーンイノベーションに全学で取り組む

ます。共同研究は、研究そのものを促進させるだけでなく、教育にも役立つという共通理解があるのです。

これからはさらに連携を強め、個々の民間企業だけではなく、東京農工大学を中心に、いくつかの企業や研究機関をまとめたコンソーシアムを設立して、オープンイノベーションを行いたいと考えています。また、欧米や中国、韓国とのグローバルな共同研究の展開も進めていく予定です。

若手や女性研究者への支援も強化していく

―― 若手研究者や女性研究者への支援はどうでしょうか。

東京農工大学では、若手研究者を採用して、独立して研究してもらう体制が充実していると考えています。先に述べたように、民間企業から優秀な人材がポストを得るという歴史もありますし。

文部科学省が2006年度に始めた『若手研究者の自立的研究環境整備促進「若手人材育成拠点の設置と人事制度改革」』の取り組み、いわゆるテニュア・トラック制度でも第一期から採択され、22名の准教授を誕生させました。このメンバーの科学研究費補助金の採択率は約73％で、全国平均が約48％ですから、いかに先進的で革新的な研究テーマに取り組み、実績を上げているかがわかると思います。そして、この22名のうち19名が、外部の委員も入れた評価委員会を経て、准教授として正規雇用の教員になりました。若手のポジションを用意しているのです。東京農工大学では一般の運営費交付金を用いたテニュア・トラック制度もスタートしており、既に4名の准教授を採用しました。さらに2名を現在選考中です。

男女共同参画でも、文部科学省『女性研究者養成システム改革加速「理系女性のキャリア加速プログラム」』の採択を受けていますし、積極的に女性研究者に研究室を持ってもらうようにしています。出産に際しては、博士研究員をつけ、周りのサポートと本人のがんばりで成果を上げています。また、今年6月から小金井キャンパス内に設置した保育園が稼働し、大学の教職員や地域の方々のお子さんを預かり、研究に専念できる環境をサポートします。

研究者のバックグラウンドや年齢などがバラエティに富んでいると、学生にも刺激になり、教育効果も大きい。若手研究者や女性研究者にチャンスを与え、伸び伸び研究できる環境をさらに整備してきたいと考えています。

―― どんな学生さんや研究者に育ってほしい、来てもらいたいと考えていますか。

グリーンイノベーションを進める、やる気のある学生さんや研究者の方に来てもらいたいですね。

私自身、恩師の鈴木周一先生（東京工業大学資源化学研究所元所長）に「研究者として、フォロワーになるな」と言われて育ち、これが身に染みついています。これは資源化学研究所の初代所長でフェライト磁石の発明者であった加藤與五郎先生、ノーベル化学賞の白川英樹先生から脈々と伝わってきた言葉です。

新しい発見はどこにでも転がっているわけではなく、一生懸命研究しても出て来ないということは、私自身が嫌というほど経験しています。しかし、その繰り返しのうちに、新しい発見が生まれるのです。研究者は、真実を知ることができ、自らが新しいものを生み出せる仕事です。何をしたいかが明確でオピニオンリーダーになる意識を持つ人たちとともに、新しい価値観を生み出す「夢作り」をしながら、一緒に育っていきたいと願っています。

国立大学法人
東京農工大学

東京農工大学　戦略企画室
http://www.tuat.ac.jp/
TEL：042-367-5944
FAX：042-367-5946
E-mail：senryaku@cc.tuat.ac.jp

この記事広告に関するご意見をお寄せください。ご協力いただいた方には、抽選で NPG ジャーナル無料購読プレゼント！詳しくは下記の URL をご覧ください。
http://nature.asia/tuat-survey2

※本アンケートは、東京農工大学依頼のもと、NPG ネイチャーアジア・パシフィックが運営しています。

細胞生物学

1つにつながった老化の理論

Ageing theories unified

Daniel P. Kelly 2011年2月17日号 Vol. 470 (342–343)

老化はさまざまな細胞成分に障害が起こる複雑な過程である。
最新の研究成果によって、よく見られる老化関連疾患の発症原因とされている
細胞老化についての統一的機構が示唆された。

老化は気付かないうちに進行し、体に多種多様な影響を与え、多くの臓器の機能が徐々に低下していく。よく知られている老化の理論では、核とミトコンドリアという2つの細胞小器官で起こる「損傷」が関与しているとされる。しかし、この一見異なる多数の細胞過程の間につながりがあるのかどうかについては、よくわからなかった。このほど、細胞老化についての統一的機構が、Sahinらによって*Nature* 2011年2月17日号に報告された。

年をとるにつれて、染色体の損傷は増加する[2]。しかし通常、染色体の損傷は、テロメア（染色体末端の特徴的な繰り返し配列のDNAと核タンパク質からなるキャップ様構造）により防止されている。このような損傷防止機能が働かなくなると、標準的な細胞応答が開始し、DNA修復装置が活性化される。この細胞応答には、p53タンパク質が関与しており、p53によってDNAの複製や他の細胞増殖過程が停止する。そして損傷を修復できない場合には、損傷を受けた細胞にアポトーシスを誘導することで細胞死を引き起こす。このように老化のテロメア理論は、テロメア機能が徐々に失われることで慢性的にp53が活性化され、そのために細胞増殖が停止し、細胞死が引き起こされるというものだ。この理論によれば、血液細胞のような細胞交替率の速い細胞では、老化は有害な影響をもたらすと考えられる[3]。

ミトコンドリアは主要なエネルギー産生細胞小器官で、いわば細胞の「発電所」である。1つの細胞に何百個も存在することがあり、ミトコンドリアDNAには、ミトコンドリアRNAやミトコンドリアタンパク質の一部がコードされている。老化のミトコンドリア理論とは、ミトコンドリアDNA内に変異が徐々に蓄積して発電所が機能できなくなり、「停電」が引き起こされるというものである[4,5]。これにより、心臓や脳のように再生能がほとんどない臓器（静止組織）の非増殖細胞では、特に老化により深刻な影響を受けると予測される。最近の研究[6]からも、ミトコンドリアの機能や数を調節する主要な因子の活性が老化とともに低下し、さらにミトコンドリア機能を障害することが示唆されている。

今回、Sahinら[1]は、核の老化過程とミトコンドリアの老化過程の間に興味深いつながりがあることを明らかにした。これまでの研究[7]から、テロメアの機能が徐々に低下するように遺伝子操作したマウスでは、増殖細胞での老化が原因とされる多くの障害が見られることがわかっている。Sahinらは、このマウスには、核内での過程による老化の特徴に加えて、ミトコンドリアの機能不全も観察されると報告している。これは、ミトコンドリア機能を調節する主要な因子、PGC-1αおよびPGC-1β[8]の活性が低下した結果であると考えられる。さらに、テロメア機能が異常なマウスでは、心不全や肝機能障害など、ミトコンドリアの老化が原因とされる多くの特徴も認められた。PGC-1因子の不活化が静止組織でのミトコンドリアの老化の一因となることが強く疑われており[9]、Sahinら今回の報告は妥当なものだと考えられる。

それなら、核でのテロメアの異常がどのようにミトコンドリアのPGC-1タンパク質を不活化するのだろうか？どうやら、テロメアの機能異常によるp53の活性化[10]が関与しているようだ。Sahinらは、テロメア機能が異常なマウスでは、p53の活性化が*PGC-1*遺伝子の発現を直接抑制することを発見した。また、このマウスでp53の発現レベルを低下させると、テロメア機能の異常に関連したPGC-1抑制が回復することもわかった。そのうえ、p53の発現レベルが低いと、代謝性心筋症における心機能不全が改善し、肝臓の代謝能が上昇することが明らかになった。これらの興味深い結果から、核の老化に伴う変化がミトコンドリアの機能不全を引き起こすという統一的機構が示唆される。この機構は、増殖組織だけではなく、心臓のような静止臓器にも当てはまる（図1）。しかし、興味深い発見には、多くの疑問がつきものである。

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

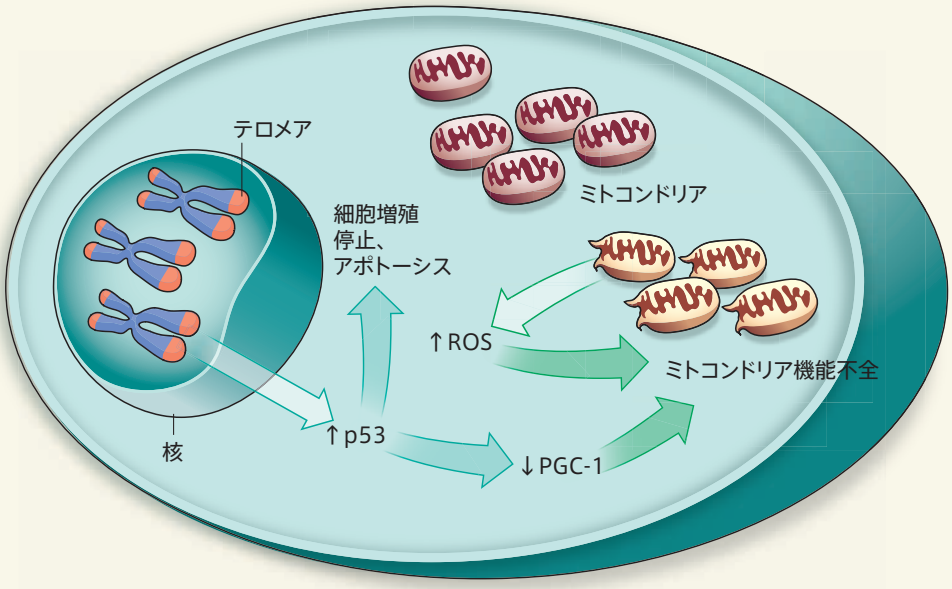


図 1　核、ミトコンドリアおよび老化　年をとるにつれて核のテロメアが損傷し、さまざまな作用を持つ p53 の活性化が引き起こされる。増殖細胞では、p53 は細胞増殖と DNA 複製の両方を停止させ、さらにアポトーシスを誘導することで細胞死を引き起こすと考えられる。Sahin ら[1] は、p53 がミトコンドリアの PGC-1 の発現を抑制することで、ミトコンドリアの機能低下や数の減少を引き起こし、ミトコンドリアが豊富な静止組織の老化に伴う機能不全を引き起こすことを報告している。これとは別に、PGC-1 活性の喪失によるミトコンドリアの異常は、活性酸素種（ROS）などの毒性のある中間産物の産生閾値を低下させる可能性がある。ROS はミトコンドリア DNA に損傷を与えることで、さらにミトコンドリアの機能を障害するという悪循環に陥らせると考えられる。

例えば、p53 はミトコンドリアの機能を高めることも知られている。あるがんでは、p53 の欠損はミトコンドリア機能の低下と関連しているのだ[11]。この知見は Sahin らの発見と矛盾しないのだろうか？　あるいは、p53 がミトコンドリア機能に与える効果は細胞種によって異なるのだろうか？

また、これらのデータは細胞老化についてのミトコンドリア理論（ミトコンドリア DNA に生じる変異が老化の最初の出来事であるとする理論）にどのようにかかわっているのだろうか？　現在の研究からは、この「核が先か、ミトコンドリアが先か」という「にわとりの卵」問題に決着をつけることはできないが、老化の問題からミトコンドリア DNA の損傷を除外することはできない。PGC-1 機能の障害によって毒性のある活性酵素種の産生が引き起こされる可能性があり、活性酸素種によってミトコンドリア DNA に変異が引き起こされるとも考えられるのだ（図 1）。

さらに、今回見つかった[1] テロメアとミトコンドリア応答との関係は、生物の環境への適応応答であるのか、それとも逆に不適応な応答であるのだろうかという疑問もある。一見すると、ミトコンドリア機能の低下は生物に有害な応答と考えられる。しかしながら、機能不全に陥ったミトコンドリアを機能させ続けると、逆に細胞損傷や細胞死が引き起こされるかもしれない。そこで、PGC-1 因子の不活化により、ミトコンドリアが「休止状態」になるとは考えられないだろうか？　つまり、休止状態にすることで、細胞が老化ストレスを原因とするさらに悪い結末である「死」に至ることを防いでいるのではないだろうか？　今後、論理的な概念実証研究によって、心不全、インスリン抵抗性および神経変性疾患などの老化関連疾患を防止する方法が開発されれば、この疑問の答えが見つかるにちがいない。■

（翻訳：三谷祐貴子）

Daniel P Kelly、サンフォード・バーナム医学研究所（米国）。

1. Sahin, E. *et al. Nature* **470**, 359–365 (2011).
2. Hastie, N. D. *et al. Nature* **346**, 866–868 (1990).
3. Lee, H.-W. *et al. Nature* **392**, 569–574 (1998).
4. Balaban, R. S., Nemoto, S. & Finkel, T. *Cell* **120**, 483–495 (2005).
5. Wallace, D. C. *Annu. Rev. Genet.* **39**, 359–407 (2005).
6. Finley, L. W. S. & Haigis, M. C. *Ageing Res. Rev.* **8**, 173–188 (2009).
7. Wong, K.-K. *et al. Nature* **421**, 643–648 (2003).
8. Lin, J., Handschin, C. & Spiegelman, B. M. *Cell Metab.* **1**, 361–370 (2005).
9. Arnold, A.-S., Egger, A. & Handschin, C. *Gerontology* **57**, 37–43 (2011).
10. Chin, L. *et al. Cell* **97**, 527–538 (1999).
11. Matoba, S. *et al. Science* **312**, 1650–1653 (2006).

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

生物物理学

細胞が外部に及ぼす力を三次元で可視化

Push It, Pull It

Pascal Hersen & Benoit Ladoux 2011年2月17日号 Vol. 470 (340-341)

移動する細胞は、環境に対して機械的な力を及ぼし、またそこからの力も受けている。
今回、2つの技術を組み合わせることによって、
こうした細胞と環境との相互作用のようすを詳しく調べることが可能になった。
観測・測定の結果、細胞の「押し引き機構」によって、
水平面内だけでなく鉛直方向にも力が及んでいることが初めて明らかになった。

メカノバイオロジー（機械生物学）は、生きている細胞が環境の機械的・物理的な刺激を感知し、それに反応する仕組みを解明しようとする新しい研究分野である。水滴のような受動的なものとは対照的に、生きている細胞は、移動しながら環境に力を及ぼして、能動的に環境を探索している[1]。そうした力は、細胞の変形といった物理的・機械的な事象を引き起こすだけでなく、細胞－環境間の接着シグナル伝達や細胞骨格の再編成のような細胞内の過程をも誘発する。このような文脈の中で、機械的な力が、細胞の移動、がんの進行、幹細胞の分化など、多くの生物機能において主要な役割を果たしていることが示されている[1-3]。

しかし、こうした力が空間と時間の中でどのような特性を示すのか、これまで正確には記述されてこなかった。今回、Delanoe-Ayari らが *Physical Review Letters* に発表した顕微鏡技術は、まさにそれを明らかにする手段である[4]。

1980年代初頭の Harris らの重要な研究により、外力を受けてたわむことができる二次元の基質上に細胞を置くと、細胞がこれに力を及ぼして変形させることが実証された[5]。それ以来、細胞の牽引力（粘着摩擦力）による弾性基質の変形をマッピングするため、さまざまな技術が開発されてきた[1]。こうした顕微鏡技術は、分子レベルから多細胞レベルまで、細胞－基質間相互作用の調節過程についての理解を深めた[6-8]。しかし、つい最近まで、この技術は水平面内の力の計算にしか用いられていなかったため、細胞内の力に関係する生体要素は、大半が二次元表面と平行な方向にあると仮定されることになってしまった。つまり、基質に対して垂直な方向の要素は、無視できるほど小さいと仮定されていた（図1a）。

ところが近年、細胞は環境の三次元的な形状を探索し、それに反応する際も、すべての次元で活動していることがわかってきた[9,10]。Delanoe-Ayari らは、基質に接着する細胞が生成する三次元の力のパターンを正確にマッピングする方法を考案した[4]。その手法は、基本的には Dembo と Wang が開発した牽引力顕微鏡技術の拡張版で[11]、細胞から力を受ける基質の弾性特性と、その表面付近に埋め込んだ蛍光ビーズの動きから、基質の変形と細胞の牽引力を測定する。この手法を、ビーズの動きを三次元的に追跡する技術[12]と組み合わせることで、今回、細胞の牽引力の空間的・時間的な分布を、三次元すべてで正確に決定することができたわけだ。

具体的に述べよう。著者らは、力学的特性を容易に制御できる柔らかいゲル基質の上に、土の中に生息するアメーバ状の粘菌キイロタマホコリカビ *Dictyostelium discoideum* の細胞を置いて、この手法で観察・測定した。驚いたことに、蛍光ビーズはゲルの内部にランダムに分布していたにもかかわらず、光の焦点をゲルの上面に合わせて観察すると、ちょうど細胞がいる場所に、蛍光シグナルの「ブラックホール」が現れた。これは、細胞が蛍光ビーズをゲルの内部に押し込んだため、顕微鏡の焦点からはずれて見えなくなったことを意味する。実際、基質から細胞を取り除くと、蛍光ビーズは平衡位置に戻って、再び蛍光シグナルが現れた。

さらに、観察された三次元の力のパターンは、粘菌の細胞が「押し引き機構」によって柔らかい基質との相互作用を調節していることを明示していた。すなわち、粘菌細胞は、核の下の部分ではゲルを真下に押し、外縁部では細胞の中心に向かって斜め上に引っ張っているのだ（図1b）。全体の力はゼロになる理屈なので、垂直方向に引く力と押す力はちょうど釣り合っている。

Delanoe-Ayari らは、鉛直方向の力が存在しているだけでなく、その強さが水平面内の力と同程度であることも証明し

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

た[4]。これは、生物機能における細胞－基質間相互作用の役割を調べる際に、垂直方向の力も調べる必要があることを教えている。これまでの研究から、哺乳類の組織細胞も、粘菌とほとんど同じように環境を変形させることがわかっている[13,14]。このことと考え合わせると、著者らの今回の知見は、あらゆる種類の接着細胞において、三次元の力を考慮することが重要であることを示している。同時に、押す力と引く力の間の力学的な釣り合いについて、新しい明確な説明を与えたものと言える。

基質の弾性が、細胞の運命を決定することもある[3]。したがって、機械的な力が及ぼす細胞－環境間相互作用と遺伝子発現の関わりを理解することは、メカノバイオロジーの主要課題の 1 つなのだ。観察された力のパターンを見ると、細胞の核と細胞質部分との間の物理的結合について、疑問が生じる[15]。著者らは、核より柔らかい基質の上で細胞を培養しており、細胞が基質と接触するとき、基質の方が核よりも大きく変形するようになっている。では、細胞を硬い基質の上に置いたとき、押す力が核の変形を引き起こすのだろうか。細胞の運命を再プログラミングするかどうかも含めて、今後の研究課題だ。

哺乳類の組織細胞は、硬い基質の上ではより大きな力を及ぼし、基質の表面に大きく広がって、核をいっそう圧縮することが知られている（図 1c）。それゆえ、基質の硬さが増すことで、水平面内の力が大きくなり、鉛直方向の力が相対的に小さくなる可能性がある。著者らの技術がさまざまな硬さの基質にどこまで適用できるかは、まだわからない。

細胞機能と機械的刺激との相互作用が完全に解明されるのは、ずっと先のことであろう。しかし、Delanoe-Ayar らは、細胞の牽引力（粘着摩擦力）が、水平面内だけでなく鉛直方向でも重要であり、全体の理解に不可欠であることを明確に示したと言える。■

（翻訳：三枝小夜子）

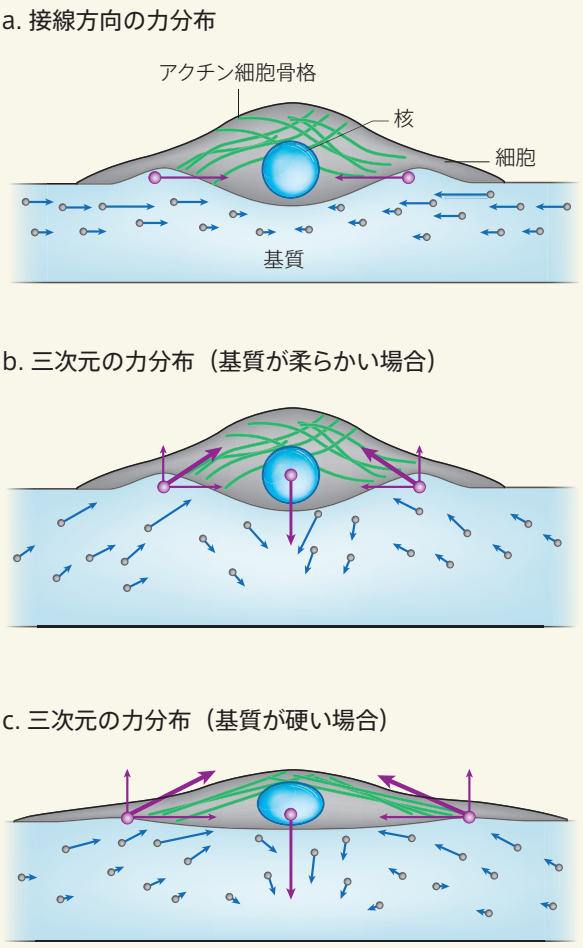


図 1　細胞接着に関与する機械的な力

a. 牽引力顕微鏡技術の古典的な表現。蛍光ビーズ（灰色の点）を変形可能な基質の中に埋め込み、その上に細胞を置く。細胞が基質に及ぼす力によって、蛍光ビーズが移動する（青い矢印）。これに基づいて、接線方向の牽引力（紫色の矢印）を求める。

b. Delanoe-Ayari らは、上の技術を拡張して、細胞が柔らかい基質に及ぼす牽引力を 3 次元で正確に決定できるようにした[4]。彼らは、細胞－基質間相互作用が「押し引き機構」により調節されていることを発見した。細胞は、核の下の部分では基質を真下に押し、外縁部では細胞の中心に向かって斜め上に引っ張っている。紫色の細い矢印は、斜めに引っ張る力を接線成分と垂直成分に分解したもの。

c. 硬い基質の上に置いた細胞は薄く広がるため、細胞のアクチン細胞骨格（緑色の細い線）の張力により、核が大きくひずむ可能性がある。

Pascal Hersen と Benoit Ladoux は、パリ・ディドロ大学（フランス）および CNRS の材料複雑系研究所とシンガポール国立大学メカノバイオロジー研究所に所属。

1. Discher, D. E., Janmey, P. & Wang, Y.-L. *Science* **310**, 1139-1143 (2005).
2. Paszek, M. J. *et al. Cancer Cell* **8**, 241-254 (2005).
3. Engler, A. J., Sen, S., Sweeney, H. L. & Discher, D. E. *Cell* **126**, 677-689 (2006).
4. Delanoe-Ayari, H., Rieu, J. P. & Sano, M. *Phys. Rev.Lett.* **105**, 248103 (2010).
5. Harris, A. K., Wild, P. & Stopak, D. *Science* **208**,177-179 (1980).
6. Beningo, K. A. & Wang, Y.-L. *Trends Cell Biol.* **12**,79-84 (2002).
7. Balaban, N. Q. *et al. Nature Cell Biol.* **3**, 466-472 (2001).
8. Trepat, X. *et al. Nature Phys.* **5**, 426-430 (2009).
9. Vogel, V. & Sheetz, M. *Nature Rev. Mol.Cell Biol.* **7**, 265-275 (2006).
10. Ghibaudo, M. *et al. Biophys.J.* **97**, 357-368 (2009).
11. Dembo, M. & Wang, Y.-L. *Biophys.J.* **76**, 2307-2316 (1999).
12. Weeks, E. R., Crocker, J. C., Levitt, A. C., Schofield, A.& Weitz, D. A. *Science* **287**, 627-631 (2000).
13. Hur, S. S., Zhao, Y., Li, Y. S., Botvinick, E. & Chien, S. *Cell. Mol. Bioeng.* **2**, 425-436 (2009).
14. Maskarinec, S. A., Franck, C., Tirrell, D. A. & Ravichandran, G. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **106**, 22108-22113 (2009).
15. Mazumder, A. & Shivashankar, G. V. J. R. *Soc.Interface* **7**, S321-S330 (2010).

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

ヒトゲノム解読から10年 ── お楽しみはこれから

Best is yet to come

2011年2月10日号　Vol. 470 (140)

ヒトゲノム塩基配列の解読結果が発表されて10年が経過した。しかし、発表時に寄せられた期待は、まだ実現されていない。興奮しすぎた面は素直に反省し、成果を真に活かす努力を重ねていきたい。

当時、ビル・クリントン米国大統領は、ヒトゲノム塩基配列の解読結果を「人類が作り出した最も重要かつ驚くべき内容の地図」と呼び、トニー・ブレア英国首相は、「人類はフロンティアを越え、新しい時代を迎えた」と語った。また、英国科学大臣デイビッド・セインズベリーは、「医学に期待していたことすべてに実現可能性が生まれた」と話した。*Nature* 2001年2月15日号に掲載された「ヒトゲノムの初解読と解析」という全62ページの論文を読むと、世界が興奮に包まれた理由がわかる。

しかし、やや興奮しすぎていた面があったかもしれない。*Nature* の編集者Henry Geeは、当時の新聞に寄稿し、2099年までに「我々は、ゲノミクスによって、生物全体を原形をとどめないほどに変えて、我々のニーズと好みに合わせることができ、……人間の姿も考えられる限りの形状に変化させられるようになるだろう。望んだ数の手足を持ち、飛ぶための翼も持てるかもしれない」と予測した。

Nature 論文の筆頭著者だったブロード研究所（米国マサチューセッツ州ケンブリッジ）のEric Lander所長は、*Nature* 2011年2月10日号の187ページで、「ヒトゲノムには、情熱を駆り立て、行き過ぎを誘発する傾向が確かにあった」と認め、10年を経た今でもこのパターンが続いており、「10周年に関する新聞のトップ記事は、ほとんどの疾患を治癒できていないことに対して、ゲノム科学者をたしなめる論調になっている」と記している。

2001年に発表された塩基配列は、医療改善をめざした行程の一里塚であり、目的地ではない。国際的なヒトゲノムプロジェクトとCelera Genomics社（現・米国カリフォルニア州アラメダ）がそれぞれ解読したゲノム塩基配列が *Nature* と *Science* に発表されてから10周年を迎えたことも、また新たな一里塚であり、これまでの進歩を振り返るよい機会である。

この10年間に、明らかにいくつかの変化があった。*Nature* 2001年2月15日号の社説では、ゲノム塩基配列に寄せる科学的・医学的期待ではなく、営利を追求するゲノミクス企業が収集した情報の一般公開という課題を議論した。その後、公的部門と民間部門の手法の違いをめぐる厳しい対立はなくなり、今や、懸念はプライバシーの問題へと焦点が移っている。

「医学の進歩は10年前に期待されたほど速くなかったのか」という点に関連して、米国立ヒトゲノム研究所（メリーランド州ベセスダ）のEric GreenとMark Guyerが、ゲノム医療の見通しについて、最新の見解を示している。「大きな変化が急速に起こることは珍しい。ゲノミクスによってすでに改良され始めた診断法と治療法の数は少なく、医療の有効性が大幅に改善されるという期待が現実的になるまでには、まだ何年も必要」であって、そのためには研究だけでは不十分で、国際的な取組みや新たな政策も必要だ、と述べている。

ヒトゲノムの塩基配列決定は、科学にとっての勝利だったが、いろいろな意味で、技術にとっての勝利でもあった。関係する技術は、この10年間に発展を続け、ワシントン大学ゲノムセンター（米国ミズーリ州セントルイス）のElaine Mardisは、198ページ以下の論文で、「配列決定技術の注目すべき爆発」と表現している。

大量並行塩基配列決定法を用いると、「これまでにない速さと分解能で」疑問点を調べて、答えを出すことができ、「塩基配列決定技術の継続的な進歩により、医療における診断法と治療法の改善をめざした臨床応用が可能になっている」とMardisは言う。有益な実例の1つが、全ゲノム関連解析の手法の開発で、これによって一部のありふれた疾患の根底にある遺伝的状況を調べられるようになった。

10年以上前、ヒトゲノムプロジェクトに参加したウェルカムトラスト（英国）の当時の理事長Michael Dexterは、ヒトゲノム塩基配列について、月面着陸や車輪の発明よりも重要な人類史上の卓越した成果、という位置付けをした。現在のところ、そのような歴史を書き残すことは時期尚早であろう。真の成功とするには、より大きな成果を上げられるような環境作りも必要だ。■

（翻訳：菊川要）

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

歴史的な科学資料の保存と有効利用へ、ドイツの挑戦

Preserve the past

2011年2月3日号　Vol. 470 (5-6)

歴史的な科学資料のコレクションが、ヨーロッパ各地の大学でほこりをかぶっている。
このままにしておいてよいわけがなく、具体的で実行可能な提案がドイツから出された。

1832年に死去した著名な解剖学者アントニオ・スカルパは、自分が所属していたパビア大学（イタリア）に大規模な解剖標本コレクションを遺した。このコレクションには、スカルパ自身の頭部標本も含まれており、厳重に守られた博物館の中で、しかめっつらをして彼の遺産を見守っている。

現在、ヨーロッパの大学では、植物標本から鉱物標本にいたる大量の歴史的な科学資料が失われ、朽ち果てており、悩みの種になっている。こうした大学の多くは、自治組織であるため、政府からの指示はできない。また、ほとんどの大学は、財政難に苦しんでおり、過去より未来を指向する傾向が強い。歴史的な科学資料は、現役の研究者との間で空間と資源を奪い合う関係にあり、優先的な扱いを受けることもほとんどない。

そんな中で、このジレンマから脱するための方法がドイツで打ち出された。2011年2月初め、ドイツ学術審議会が、潜在的な研究価値の認められる科学資料を、研究基盤として取り扱うべきとする詳細な提言リストを発表したのだ。その中で、「危機的状態」にある科学資料を保存し、学内外の研究者に公開し、必要に応じて教育プログラムに組み入れることが各大学の義務だと明言した。

この提言には、具体的な方法も詳細に示されている。すなわち、各大学は、ドイツ国内の研究博物館や代表的研究助成機関であるドイツ研究振興協会（DFG）と協働して、個々のコレクションの科学的メリットを評価するための基準を作成する。この基準は厳格に適用され、メリットの少ないものは閉鎖、あるいは他所に移動される。一方、有用なコレクションには、必要なスペースを配分し、そこには、研究者が科学資料を用いて研究を進めるための研究室や一般公開用の展示室も整備する。

こうした取り扱いは大切だ。歴史的な資料が、予想に反して、最先端の研究に大きな価値を持つことも多いからだ。例えば、古い骨の標本が良好な状態で保存されていれば、DNA解析技術を駆使する現代の古生物学者にとって宝の山となる。古い植物標本もしかり。また、歴史的な科学資料は、科学史研究者のまたとない情報源だ。

ドイツ学術審議会が優れているのは、科学者だけでなく、連邦政府、州政府の代表者によって構成されていることで、その提言は非常に強い影響力をもつ。系統的な手続きも定められ、徹底的な分析も行われている。また、委員が予算確保に疑問を持つような提言はなされていない。ただし、実施にはある程度の時間は要する。

ドイツ学術審議会は、連邦政府に対して、各大学での学内コレクション保存作業がうまく調整できるよう、5年プロジェクトの提言をしている。ドイツの大学は、運営資金を州政府から受け取っており、連邦政府から基盤整備資金を得ることは憲法で禁止されている。そこで、こうしたコレクションの更新、修復や公開を行うために、大学の科学者が研究機関や研究財団から短期助成金を獲得し、それを大学としてプールして、科学資料の長期的管理を確実に実行するための費用を計上する方法が提案されている。ドイツ学術審議会は、こうした費用がそれほど多額にはならないと考えている。

今回の提言は、突然生まれたものではない。2004年にDFGが、ドイツの大学に保管されている科学資料コレクションの内容確認と目録作成を行うための5年プロジェクトを支援したのだ。ここで1000件以上のコレクションについて内容確認が行われ、そのうちの約300件が紛失あるいは廃棄されていることが判明した。多くの国ではなお、各大学に埋もれた「宝物」に関する全国レベルの目録がない。特にそうした国々の科学者から、DFGのプログラムは高い称賛を受けたのだ。

今回のドイツ学術審議会の提言は、今後、論争が起こることが確実視される。例えば、もし新たなスペースを得ることが本当にできないなら、科学資料コレクションのためのスペースを確保すべきだと言ってみても、あまり役に立たないからだ。しかし、この論争は容易に克服できると考えられる。他国の研究団体も、ドイツ学術審議会の例にならうことができるかどうか検討を開始すべきだ。■

（翻訳：菊川要）

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

Volume 471
Number 7336
2011 年 3 月 3 日号

Podcast

ヒトの一生から学べること：65 年間続けられて世界最長となり、今も進行中の人間の成長に関するコホート調査

LESSONS OF A LIFETIME: The world's longest-running study of human development turns 65

1946 年 3 月、英国で、特定の 7 日間にイングランド、ウェールズ、スコットランドで生まれたすべての赤ちゃんを対象とした追跡調査が開始された。この調査は現在も継続されており、人間の健康と成長に関する調査として世界最長のものの 1 つとなっている。1946 年出生コホート（調査対象集団）は成人後も続いて調査対象となっており、小児期の健康状態や家庭環境、および一生にわたる社会的環境が成人期の健康状態や経済状態にどのように影響するかを調べることを可能にしている。今週、このグループの人々は 65 歳の誕生日を迎える。65 歳は、英国では多くの人々が退職する年齢であり、この調査組織である National Survey of Health and Development は現在、老化の研究を行っている。本号では、この調査にかかわった研究者と調査対象となったメンバーに、この調査への参加が科学研究の不滅のデータとして残ることへの感想を尋ね、また、蓄積されたデータの価値について考察している。

生態：大量絶滅はもう始まっている？

Mass extinctions: are we there yet?

古生物学では、化石記録から、5 回の大量絶滅事象が知られており、最も年代の新しい白亜紀の大量絶滅は約 6500 万年前に終結した。過去数千年の間に消滅したことがわかっている生物種は多数あり、それを踏まえて、一部の生物学者は、6 回目の大量絶滅が目下進行中であると考えている。Barnosky たちは今回、そうした主張の根拠を再検討し、近年の生物種の喪失は急激で深刻なものだが、まだ大量絶滅の範疇には入らないと結論している。大量絶滅は一般に、「地質学的に短い期間に地球上の生物種の 75% 以上が失われる」ものと定義される。ただし Barnosky たちは、現在「重大な絶滅の危機に瀕している」とされる生物種が消滅すれば、世界が程なく 6 回目の大量絶滅に向かうことを示す、明らかな兆候が見られるようになるだろうと述べている。

細胞：iPS 細胞に見られた遺伝学的異常

Genetic abnormalities in iPS cells

体細胞のエピゲノム的な再プログラム化を行って作り出される人工多能性幹（iPS）細胞は、治療に有用となる可能性が高く、重要な疾患モデルの基盤にもなると考えられる。だが、iPS 細胞の再プログラム化や *in vitro* 培養によって遺伝学的およびエピジェネティックな異常が引き起こされうることが最近報告され、このような異常が iPS 細胞の臨床応用に及ぼす影響が懸念されるようになっている。今回発表された 3 つの研究成果を統合してみると、iPS 細胞には染色体レベル、染色体領域内レベルおよび一塩基レベルで異常が蓄積していることが確認された。Hussein たちは、iPS 細胞株の培養継代回数が少ないものと中程度のものについてコピー数変動を比較し、再プログラム化に関連してコピー数変動のレベルが高くなることを報告している。ただし、通常の長さの培養期間中に iPS 細胞は選択を受け、変異は胚性幹（ES）細胞で見られるのと同程度まで減少する。Gore たちは、5 つの方法によって再プログラム化した 22 株のヒト iPS 細胞株でタンパク質をコードする領域内に見られる点突然変異について報告している。その一部は体細胞に元来存在したものだが、その他は再プログラム化に関連する新規な突然変異だった。Lister たちは、ヒト ES 細胞株、iPS 細胞株および体細胞前駆細胞株の全ゲノム DNA メチル化プロファイリングを用いて、iPS 細胞ゲノムで異常な再プログラム化を受ける「ホットスポット」を明らかにしている。

気候：南極の雪の量は局地的に決定される

Antarctic snows locally determined

グリーンランドと南極の氷床コアから得られた過去の気温の記録は、長期の時間スケールで全球の気候システムを解明するために重要である。ミランコヴィッチ理論によれば、南極の氷床コアに記録されている氷期・間氷期の気候変動は、北半球高緯度域における夏季の日射、すなわち地球の表面が受ける太陽放射の量によって支配される。今回、南極の雪の堆積が南半球冬季に偏っており、北半球の影響には依存しておらず、局地的な日射の変動だけで説明できる可能性が示された。この結果は、ミランコヴィッチ理論を完全に否定する証拠となるには至っていないが、南極氷床コアの記録だけでは、ミランコヴィッチ理論に対する十分な裏付けとはならないことを示している。

物理：ボソンのスピン－軌道結合

Bosonic spin-orbit coupling

スピン－軌道結合は量子粒子のスピンとその運動量との相互作用を記述し、スピントロニクスから量子スピンホール効果、トポロジカル絶縁体までの多くの物理分野で重要である。しかし、極低温中性原子系には原子のスピンと重心運動の間の結合は存在しない。Lin たちは、レーザーを使って、中性原子のボーズ・アインシュタイン凝縮体におけるこのようなスピン－軌道結合を操作し、任意のボソン系に対してこの結合を初めて実現した。今回の成果は、フェルミオン中性原子系のトポロジカル絶縁体の実現につながると考えられる。

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）。

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

Volume 471
Number 7337
2011 年 3 月 10 日号

Podcast

Video

神経ネットワークを解きほぐす：電子顕微鏡によって明らかになった視覚神経回路の三次元ナノスケール構造

UNTANGLING NEURAL NETS: Electron microscopy reveals nanoscale 3D architecture of visual circuits

神経回路が行う機能的計算の基盤は接続性だが、ニューロン間の配線の複雑な構造を個々の細胞の機能と結びつけるのが非常に難しいことはよく知られている。今回 2 つの研究グループが、機能的画像化法を、これまでにないスケールでの三次元連続電子顕微鏡による再構築と組み合わせて、マウスの視覚系で単一細胞レベルの接続の詳細を明らかにした。D Bock たちは、一次視覚野の接続性を調べて、抑制性ニューロンがさまざまに機能の異なる興奮性ニューロンからの入力を受け取ることを見いだした。これは、マウス皮質の最近の生理学的研究から得られた予測と一致している。K Briggman たちは、方向選択にかかわる網膜神経節細胞とスターバーストアマクリン細胞の樹状突起の選択する方向性が逆の場合、この 2 つの間に形成されるシナプスの数が多くなっていることを明らかにしている。このことは、網膜神経節細胞の方向選択性がアマクリン細胞との接続の非対称性から生じることを示唆している。

物理：長寿命の量子状態

Quantum states with a prolonged life

現在、巨視的力学系で量子効果を観測しようという試みが盛んになっているが、それは量子限界測定に関する新しい知見が得られる可能性があるだけでなく、巨視的スケールでの量子物理学ではあり得ない帰結に関する基本的疑問を検証するのに使えそうだからである。寿命が十分長い力学状態を得るための通常の方法は、共振器中で機械的振動子と電磁共振を結合させることである。Teufel たちは、こうした系を新しく設計し、太鼓のような、自立型でフレキシブルなアルミニウム膜を超伝導回路を特徴とする共振器に組み込み、これまで達成された値より 2 桁大きい結合強度を実証している。この方法は、数百マイクロ秒間存続しうる長寿命量子状態の観測方法を示している。

気候：エルニーニョの今と昔

Then as now for El Niño

解像度が粗い古気候代理指標による証拠から、500 万～ 300 万年前の鮮新世温暖期（PWP）は、永続的エルニーニョ状態を特徴とし、赤道太平洋は一様に温暖だったことが示唆されているが、これは「寒冷舌」が南米から西へ延びるという現代の状態とは違っている。しかし、化石サンゴから今回新たに得られた高解像度の気候代理指標データによって、この主張に疑問が投げかけられた。フィリピンで発見された、明瞭な年輪をその骨格に含む、保存状態のよい鮮新世温暖期の化石サンゴは、その時代の西太平洋の海洋の状態が現在見られるものと似たエルニーニョ変動を特徴とすることを示している。

がん：B 細胞リンパ腫での *CREBBP* と *EP300* の突然変異

***CREBBP* and *EP300* mutations in B-cell lymphomas**

B 細胞リンパ腫の 3 つのサブタイプで、*CREBBP* および *EP300* の遺伝子の体細胞突然変異が原発腫瘍に頻発しており、また再発時にも変異が生じていることが報告された。これらの遺伝子は、近縁関係にある 2 つのアセチルトランスフェラーゼをコードしており、このような酵素は主として、ヒストンなどの転写調節因子のアセチル化による遺伝子発現調節を行っている。突然変異によってこれらの活性が不活化され、遺伝子発現のクロマチンレベルでの調節や細胞増殖、またおそらくは抗がん剤に対する応答にも変化が生じることがわかった。これらの研究は、B 細胞リンパ腫の一部に対してヒストンデアセチラーゼ阻害剤を用いることの根拠になると考えられる。

医学：不整脈の新規モデル

New model for arrhythmias

ヒト心臓の不整脈の疾患モデルとして遺伝子操作が容易なマウスなどの動物を用いることは、心筋細胞収縮の機構がマウスとヒトで異なるために難しい。ティモシー症候群は自閉症、免疫不全および心臓の不整脈を特徴とする疾患だが、この疾患の患者 2 人から得た繊維芽細胞を再プログラム化して樹立した人工多能性幹（iPS）細胞の分化により作出した心筋細胞が、不整脈研究のための新規モデルとなることが今回報告された。ティモシー症候群患者に由来する細胞で見られる電気的特性およびカルシウムシグナル伝達特性の異常は、薬剤ロスコビチンによって正常化した。この薬剤は、カルシウムチャネルの一種でティモシー症候群の患者で障害されている Cav1.2 の電位依存性不活性化を促進することが知られている。

医学：グルテン不耐症の発症機序

Gluten intolerance mechanism

ビタミン A の代謝産物であるレチノイン酸は、サイトカインであるインターロイキン 15（IL-15）と相乗的に作用して、腸の樹状細胞による IL-12p70 産生を誘導し、それによって食物抗原に対する炎症性 T 細胞応答を促進することが明らかになった。IL-15 はセリアック病患者の腸で発現量が増加しており、この新たな研究は、IL-15 とレチノイン酸が、グルテンに対する炎症性免疫応答の促進にこれまで知られていなかった役割を持つことを示している。

関連した動画を上記 QR コードから無料配信中です。（一部の機種を除く）

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

Volume 471
Number 7338
2011 年 3 月 17 日号

Podcast

受精能力を作り出す：女性ホルモンのプロゲステロンは受胎の際に、精子の尾にあるイオンチャネルに作用する

MAKING SPERM COUNT: Female sex hormone progesterone targets sperm-tail ion channel at conception

卵巣および胎盤で産生される女性ステロイドホルモンのプロゲステロンは、性質が十分に解明されている核内プロゲステロン受容体に対する作用を介して妊娠と胚形成を維持している。しかし、卵を取り囲む細胞から遊離されるプロゲステロンもファロピウス管中で精子細胞を刺激し、その授精能を増強するが、プロゲステロンのこちらの作用の機序はよくわかっていない。今回 2 つの研究グループが別々に、プロゲステロンが精子鞭毛の主要な Ca^{2+} チャネルである CatSper を強力に活性化することを報告する。彼らのデータによると、CatSper チャネルあるいは CatSper チャネルと直接結合する膜タンパク質が新たなプロゲステロン受容体として機能し、精子細胞膜レベルでのプロゲステロンの迅速な非ゲノム作用を仲介しているらしい。この結果は、精子におけるプロゲステロンと CatSper の生理的役割を明らかにし、新たなタイプの非ホルモン性の避妊薬の開発につながるかもしれない。

物性：個々の原子のスピンパターンを制御する

Spinning a pattern in individual atoms

個々の原子のスピンを新しいレベルで制御できることが実証された。これは、光格子中の強相関量子系でのコヒーレントなスピン操作を、単一原子および単一格子サイトの分解能で初めて実現したものだ。光格子中の極低温原子を使えば、量子多体系の基本特性を調べる汎用的手段が得られる。今回は、レーザービームとマイクロ波場を使って、光格子の特定サイトに存在する個々の原子のスピンを反転させるという最も基本的なレベルの制御が実証された。この手法を用いれば、エントロピー輸送やスピン不純物の量子ダイナミクスに関する研究、新規冷却方式の実現、量子多体相の設計やさまざまな量子情報処理への応用が可能になるだろう。

医学：失明に関係する DICER1 活性

Blindness linked to DICER1 activity

加齢性黄斑変性症の一種で、網膜色素上皮の細胞死が原因で起きる地図状萎縮に、DICER1 の活性喪失が関係していることが、今回明らかになった。DICER1 はマイクロ RNA プロセシング酵素の 1 つだが、網膜上皮の細胞死にマイクロ RNA プロセシングはかかわっていない。DICER1 の欠乏は、病原性を持つ *Alu* 反復配列 RNA を蓄積させるのである。DICER1 は *Alu* RNA に結合して分解し、網膜の変性を防いでいる。この研究によって、失明の重要な原因の 1 つに関して新しい治療標的が示された。

地球：テクトニクス的な弱点の種

The seeds of tectonic weakness

プレートテクトニクス理論でずっと以前からの謎となっていることは、一見したところ弱い特定の領域が激しい地質活動が繰り返し起きる場所として発達する理由である。もっと簡単に言うと、山脈はなぜそこに存在するのかということだ。今回、大陸岩の中で最も弱い鉱物である石英の地殻中存在度が主要な要因となる可能性が報告された。地震学的レシーバー関数法と、重力および地表の熱流量測定を用いて、米国西部の大陸地殻の厚さと地震波速度の比 v_P/v_S が見積もられ、地殻の低 v_P/v_S 比が、リソスフェアの高温とコルディレラ山系の大きな変形の両方と相関しているという予想外の結果が得られた。このことから彼らは、地殻中の石英存在度が大陸の温度と変形に強く影響を与えるフィードバック機構をもたらしている可能性があると推測している。

細胞：染色体のストレス解消

Stress relief for chromosomes

染色体複製の際には、親 DNA に沿って複製フォークが進むにつれ、ポリメラーゼの前方に DNA が過剰に巻かれたトポロジカルストレスが生じる。現在のモデルでは、真核生物の線状の染色体はトポロジー的に複数の領域に分割され、ストレスはトポイソメラーゼの働きによって解消されると考えられている。C Sjögren たちは、複製ストレスが 1 つの染色体全体にわたって存在し、長い染色体では、トポイソメラーゼだけでなくコヒーシン / コンデンシン類似の Smc5/6 複合体の活性によってストレス解消が促進されることを明らかにした。Smc5/6 が、複製フォークの後方で生じる姉妹染色分体の絡み合いを減少させるように働くと考えられている。

構造生物学：MecA–ClpC の構造と作用基盤

Unfolding story of MecA–ClpC

ATP 依存性プロテアーゼは生きている細胞すべてで見つかり、タンパク質の品質管理にかかわっている。Clp/Hsp100 タンパク質アンフォールディング酵素は、ATP 依存性シャペロンの AAA+ スーパーファミリーに属し、タンパク質をプロテアーゼ複合体のタンパク質分解チャンバーへと送達する。ClpC タンパク質のアンフォールディングユニットは、ClpCP プロテアーゼ複合体の活性化と、そこへの基質ターゲッティングにアダプタータンパク質の MecA を必要とする。今回、MecA–ClpC 複合体の構造解析と生化学解析が行われ、この重要な分子機械を動かす構造原理が明らかになった。

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）。

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

Volume 471
Number 7340
2011 年 3 月 31 日号

Podcast

太古の時代に花を開いた植物：被子植物の爆発的進化が 1 億 2500 万年前に起こっていたことを明らかにした化石

BLOOMING EARLY: Fossil find reveals burst of angiosperm evolution 125 million years ago

被子植物の初期の歴史については異論が多いが、中国の白亜紀初期層から化石が着々と発掘されていることで、我々の知識の空白部が埋められ始めている。最新の発見は、白亜紀前期の義県累層からの化石で、これは 1 億 2440 万～ 1 億 2290 万年前のものとされ、特別に有益なものである。それは、この被子植物の化石が、現在の被子植物の大半が属する「真正双子葉類」という比較的派生的な群のものであり、キンポウゲ科に属するものと考えられるからだ。この化石によって、この時期に真正双子葉類が存在したことが確認され、初期の被子植物の爆発的進化が立証される。

宇宙：星震学で探る赤色巨星

Kepler-based asteroseismology sorts red giants

NASA のケプラー計画は、その主要な役割である太陽系外惑星の発見と特徴付けという点で、実に実り多いものだった。こうした観測は、多数の主系列星について、それらの前面を横切る惑星によって生じる周期的な光度変動を監視することにより、間接的に行われる。しかし、光度変動の監視に使われた高精度の測光は、これらの星自体を研究するのにも理想的である。Bedding たちは、ケプラー計画で得られたデータを用いて、赤色巨星の内部構造を探った。そして、これらの星のコアでの重力モードを詳細に測定し、「比較的不活発な」コアを取り巻くシェルの中で水素を燃焼している星とヘリウムを燃焼している星を区別することができた。

細胞：免疫シグナル伝達における SHARPIN タンパク質の役割

SHARPIN protein role in immune signalling

ユビキチン結合系は、免疫応答を仲介する古典的な核因子κB（NF-κB）活性化経路を制御している。直鎖状ポリユビキチン鎖は、ユビキチンの C 末端グリシンが別のユビキチンのアミノ末端メチオニンのアミノ基に結合されており、直鎖状ユビキチン鎖形成複合体（LUBAC）と呼ばれる独自のユビキチンリガーゼ複合体により生成される。LUBAC は、HOIL-1 および HOIP と呼ばれる 2 つの RING ドメインタンパク質から構成される。今回、岩井一宏（いわいかずひろ）（大阪大学）の研究室などが報告した 3 つの相補的研究により、LUBAC 複合体の新たな構成成分として SHARPIN が同定された。SHARPIN は、TNF と CD40L の活性化後に形成される受容体シグナル伝達複合体に動員される。SHARPIN を含む LUBAC 複合体は、*in vitro* および *in vivo* で直鎖状ユビキチン鎖の形成を促進し、NF-κB シグナル伝達の活性化に必要である。

神経：禁煙薬の標的

Anti-smoking drug target

遺伝的関連解析からは、神経型ニコチン性アセチルコリン受容体（nAChR）のα5 サブユニット遺伝子 *CHRNA5* の変異と、タバコ依存性、肺がん、慢性閉塞性肺疾患の感受性との関連が示されている。しかし、この遺伝子と行動の間をつなぐ機構はまだよくわかっていない。今回、ノックアウトマウスとレンチウイルスベクターを介するその救済、RNAi によるノックダウンラットを使って、α5 サブユニットの発現量を操作すると、ニコチンに対する欲求が変化し、特に高用量の場合にそれが著しいことが示された。脳で、このサブユニットの発現量が多い手綱核 – 脚間核路の活動レベルを変化させると、ラットのニコチン消費量も変化した。この結果は、α5 サブユニット含有 nAChR が禁煙治療の有力な標的候補となることを示している。

気候：ニュー・イングランドの冬があれだけ寒い理由

Why New England winters are so chilly

アジアと北米の東北域の冬が、同じような緯度の西側地域よりもはるかに寒いことはよく知られている。広く受け入れられている説明は、気象システムが標高の高い地形や暖かい海流上の卓越した大気循環の動きの影響を受けているというものだ。今回、海洋が実際に、気温の違いの重要な原因であることが示されたが、この現象の機構は予想外のものであった。逆説的だが、気候モデリングからは、メキシコ湾流の暖かい海水が原因で生じているのがヨーロッパの暖かさではなく、北米の相対的な寒さであることが示唆された。北米の海岸近くを流れるメキシコ湾流の暖かい水（およびアジアの太平洋岸近くの同様に暖かい海水）が、冷たい北方の空気を、海流の西側の大陸域に引き寄せる大気波動を生み出すのである。

お詫び

3 月 11 日に発生した東日本大震災の影響により、*Nature* 3 月 24 日号の HIGHLIGHTS は日本語翻訳を制作できませんでした。何卒ご理解くださいますようお願い申し上げます。

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

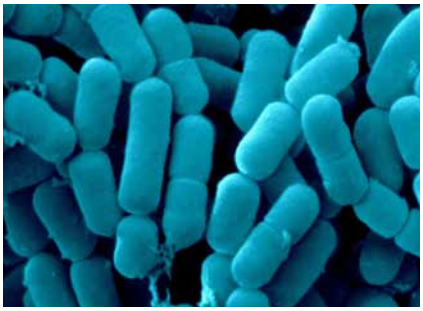
Web: www.nature.com/nature/podcast

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）

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

私たちは腸に、約 100 兆個の細菌を飼っていると言われています。これらの細菌の種類や構成によって、私たちの体調は左右されます。今回、ご紹介する研究成果は、腸内細菌がインフルエンザウイルスに対する免疫応答を始動させるというものです。そうだとすれば、感染初期には薬に頼らなくても自己免疫で治すことができ、薬剤耐性菌の出現を抑えることもできるかもしれませんね。



腸内の善玉細菌の 1 つ、乳酸菌。

MEDICAL-ON-LINE/ALAMY

nature news

語数：**560 words**　分野：医学・微生物学・ウイルス学・免疫学・疫学

Published online 14 March 2011 | Nature | doi:10.1038/news.2011.159

http://www.nature.com/news/2011/110314/full/news.2011.159.html

Friendly bacteria fight the flu

Microbes trigger immune response that suppresses infections.

Amy Maxmen

1. Helpful bacteria don't just aid digestion; they also fend off the flu, according to a report published today in the *Proceedings of the National Academy of Sciences*[1].

2. A research team led by Akiko Iwasaki, an immunologist at Yale University in New Haven, Connecticut, found that mice treated with neomycin antibiotics were more susceptible than control mice to influenza viruses. It turned out that neomycin-sensitive bacteria naturally present in the mice's bodies provided a trigger that led to the production of T cells and antibodies that could fight an influenza infection in the lungs.

3. The bacteria kick-started the flu-fighting pathway by activating 'inflammasome' protein complexes in the immune system. The inflammasomes then pushed precursors of an immune protein — the cytokine interleukin-1β — into a chemically mature state. Mature interleukin-1β triggered dendritic immune cells to migrate to lymph nodes in the lungs, where they initiate a potent attack on influenza viruses. When antibiotics eliminated the bacteria, inflammasomes failed to launch and the virus multiplied.

4. "This is a landmark paper that opens up new avenues of research and suggests new possibilities for ways to treat and prevent viral infections," says Sarkis Mazmanian, a microbiologist at the California Institute of Technology in Pasadena.

Gut feeling

5. Microbiologists have known that microbes inhabiting mammals interact with the immune system since the 1950s, when they found that eliminating bacteria in newborn mice prevented them from developing a normal immune system[2].

6. In the past decade, research has focused on how bacteria regulate immune pathways relevant to the health of the host's gut, where the bulk of the body's roughly 100 trillion 'commensal' — harmless or beneficial — bacteria reside. For example, an imbalance in the proportions of certain harmful and beneficial gut bacteria seems to over-activate inflammation-inducing cells, possibly fuelling inflammatory bowel disease[3].

7. A handful of detailed reports in the past five years have hinted that helpful microbial interactions don't stop at the gut[4], but Iwasaki's study is the first to pinpoint how bacteria combat infections in the lungs.

8. "This study contributes to a growing body of literature showing that signals from commensal bacteria can have an impact on immune cells in multiple tissues," says David Artis, an immunologist at the University of Pennsylvania in Philadelphia. "If certain antibiotics have an effect on our ability to mount a response against a viral infection, it means that people should be careful to only take antibiotics when they are absolutely needed — particularly in the flu season."

9. In addition, says Artis, the findings "suggest that our diet might affect our ability to fight viruses by influencing the composition of our commensal bacteria".

10. But Iwasaki cautions that "we don't yet know enough about which bacteria trigger what pathways to make health recommendations". Her team has not identified the bacteria responsible for the immune response, but Iwasaki suspects that effect is caused by *Lactobacillus* species residing in the gut. After antibiotics, the populations of these bacteria were significantly diminished in the mice's guts but not in their nasal cavities.

11. Mazmanian says, "the question is, do bacteria intentionally induce this process in order to protect their hosts from flu infections? Or is the inflammasome non-specifically activated by the bacteria, and one consequence of inflammasome activation just happens to be flu control?"

12. Either way, "it's become clear that our immune system has evolved to act like an interface for microorganisms to send signals to our body".

Reference

1. Ichinohe, T. *et al. Proc. Natl Acad. Sci. USA* doi:10.1073/pnas.1019378108 (2011).
2. Smith, K. , McCoy, K. D. & Macpherson, *A. J. Sem. Immunol.* **19**, 59-69 (2007).
3. Round, J. L. & Mazmanian, S. K. *Nature Rev. Immunol.* **9**, 313-323 (2009).
4. Clarke, T. B. *et al. Nature Med.* **16**, 228-231 (2010).

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

TOPICS

炎症（inflammation）とインフラマソーム（inflammasome）

炎症は、外的刺激や異物の侵入、外因性または内因性の損傷などによって免疫応答が発動し炎症性サイトカインが放出されて生じる、生体の局所的な防御反応で、発赤、発熱、腫れ、痛みなどが主な症状。炎症性サイトカインには、TNF-α、IL-1、IL-6、IFNγ、IL-8、IL-12、IL-18 などが含まれる。

インフラマソームは、タンパク質複合体で、Apaf-1（アポトーシスプロテアーゼ活性化因子 1）様タンパク質ファミリー（NOD ファミリーとも呼ばれる）、ASC（アダプタータンパク質）、カスパーゼを含んでいる。NALP1 や NALP3、Ipaf などの Apaf-1 様タンパク質が病原体などの異物に特異的な分子を認識すると、そのシグナルが ASC に伝わり、カスパーゼが活性化される。すると、カスパーゼ 1 によって、IL-1β や IL-18 の前駆体から成熟型の IL-1β や IL-18 ができる。

大腸菌を飲み込もうとするマクロファージ。異物を貪食すると、内部のインフラマソームが異物の特異的分子を認識して、炎症性サイトカインが放出される。

EYE OF THE SCIENCE/SPL/PPS

インフラマソーム研究の歴史は新しく、その活性化機構についてはまだ不明な点も多い、近年、いくつかの自己炎症性疾患において、インフラマソームの変異が報告され、注目が集まっている。

SCIENCE KEY WORDS

タイトル **bacteria: 細菌、バクテリア**
分類学上、真正細菌と呼ばれるもので、大きさは 1 ～ 10μm 程度。核膜を持たず、ゲノム DNA は核様体として存在。

タイトル **flu: 流行性感冒、インフルエンザ**

リード **microbe: 微生物**
肉眼では見えない小さな細菌やカビ、ウイルス、プランクトンなどの総称。

リード **immune response: 免疫応答**
外部から侵入した異物や内因性の抗原（死んだ細胞やがん細胞など）を認識して、除去しようする生体防御システムを免疫系（immune system）といい、その一連の反応を免疫応答という。

リード **infection: 感染**

2. **neomycin: ネオマイシン**
抗生物質の 1 つで、抗菌範囲が広い。

2. **antibiotic: 抗生物質**
微生物が生合成する化学物質で、ほかの微生物や細胞の増殖を阻害する。

2. **influenza : インフルエンザ**

2. **virus: ウイルス**
タンパク質の殻と DNA または RNA からなる。自分の持つ遺伝情報だけでは自己複製できず、別の生物の細胞に侵入して、その細胞のタンパク質合成や代謝機構などを利用して自己複製する。

2. **T cell: T 細胞**
リンパ球の一種。骨髄で産生され、胸腺で教育される。機能に応じて、ヘルパー T 細胞、細胞傷害性 T 細胞、レギュラトリー T 細胞などに分けられる。

2. **antibody: 抗体**
骨髄由来のリンパ球の一種、B 細胞が産生するタンパク質。

3. **precursor: 前駆体**
化学反応や生体反応で、ある目的の物質が生成される前の段階の物質のこと。

3. **cytokine: サイトカイン**
細胞から分泌される、情報伝達を担うタンパク質で、免疫や炎症、細胞増殖や分化に関係するものが多い。

3. **interleukin -1β: インターロイキン -1β（IL-1β）**
インターロイキン（IL）は、白血球の分化、増殖、活性化に関与するサイトカイン。インターロイキン -1β は、マクロファージや内皮細胞などから産生され、強い炎症反応を起こさせ、抗体産生を促したり、血管透過性を増加させたりする。

3. **dendritic immune cell: 樹状細胞（dendritic cell）のこと**
周囲に突起を突き出した免疫細胞で、自分が取り込んだ異物の抗原を細胞表面に提示して、ほかの免疫細胞に伝える。

3. **lymph node: リンパ節**
リンパ管の途中にあり、リンパ液中に存在する細菌や異物をチェックして、免疫応答を動員する「関所」のような機能を持つ。

6. **gut: 腸、消化管**

6. **commensal: 片利共生生物、片利共生的**
共生とは、異なる生物種が相互関係を保ちながら共に生活していることをいい、片方のみが利益を得てもう一方には害にも利益にもならないものを、片利共生という。

6. **inflammatory bowel disease: 炎症性腸疾患**
下痢や血便が長期にわたって続く病気。潰瘍性大腸炎やクローン病など。

10. ***Lactobacillus*: 乳酸菌**
糖代謝により乳酸を生成する細菌の一群。一般に動物の腸などに寄生しているか植物に付着している。

WORDS AND PHRASES

1. **fend off:「(～の）発生を防止する」、「(～を）避ける」**
2. **susceptible to ～ :「～に感受性がある」**
2. **turn out that ～ :「(結局）～ということが判明する」**
3. **kick-started:「始動する」、「再活性化させる」**
3. **migrate to ～ :「～に移動する」**
3. **potent:「強力な」**
3. **eliminate:「 除去する」**
3. **launch:「始める」、「乗り出す」**
4. **avenue of research:「研究方法」、「研究手段」**
5. **inhabit:「生息する」**
6. **relevant to ～ :「～に関連する」**
6. **the bulk of ～ :「～の大部分」**
6. **fuel ～ :「 ～（の発生）を促進させる」**
7. **stop at ～ :「 ～にとどまる」**
8. **literature:「文献」**
8. **mount:「開始する」**
10. **reside in ～ :「～に生息する」**
10. **nasal cavity:「鼻腔」**

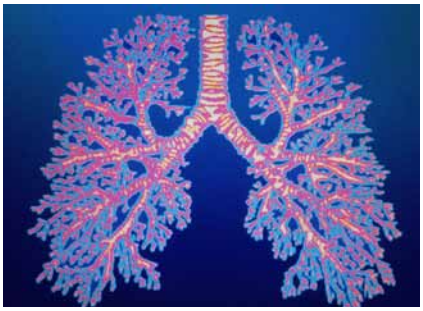
©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

参考訳

インフルエンザと戦う善玉細菌

マウスのウイルス感染を抑制する免疫応答の引き金を引いたのは細菌だった。

エイミー・マックスメン



PASIEKA/PRS/PPS

ヨーグルト効果を超えて：善玉細菌は肺のウイルス感染との戦いにも役立つ。

1. 哺乳類の体内に生息する有用な細菌は、消化を助けるだけでなく、インフルエンザ感染とも戦うことが、今日、*Proceedings of the National Academy of Sciences* に掲載された論文[1]で報告されている。

2. エール大学（米国コネチカット州ニューヘブン）の免疫学者、岩崎明子の率いる研究チームは、抗生物質ネオマイシンを投与されたマウスのインフルエンザウイルスに対する感受性が、対照マウスよりも高くなることを見いだした。マウスの体内に自然に存在しているネオマイシン感受性細菌が、肺のインフルエンザ感染と戦う T 細胞や抗体の産生に至る過程の引き金を引いていることが明らかになったのだ。

3. 細菌は、免疫系の「インフラマソーム」というタンパク質複合体を活性化させることで、インフルエンザと戦う経路を始動させていた。活性化したインフラマソームは、免疫タンパク質（インターロイキン -1β というサイトカイン）の前駆体を化学的に成熟させる。成熟したインターロイキン -1β が、樹状細胞という免疫細胞を肺のリンパ節に移動させると、そこでインフルエンザウイルスに対する強力な攻撃が始まる。一方、マウスに抗生物質を投与してこの細菌を除去してしまうと、インフラマソームは活性化せず、インフルエンザウイルスが増殖した。

4. カリフォルニア工科大学（米国パサデナ）の微生物学者 Sarkis Mazmanian は、「この画期的な論文は、新しい研究方法に道を開き、ウイルス感染症の治療法と予防法に関して新たな可能性を示唆するものです」と言う。

直感

5. 哺乳類の体内に生息する微生物が免疫系と相互作用することは、微生物学者の間では 1950 年代から知られていた。当時の研究で、新生児マウスの体内細菌を除去すると、正常な免疫系の発達が妨げられることが判明したのだ[2]。

6. 私たちの体内にいる約 100 兆の片利共生細菌※の大半は、腸内に生息している。ここ 10 年間は、細菌が宿主の腸の健康状態にかかわる免疫経路を調節する過程に研究の焦点が当てられてきた。例えば、ある種の有害な腸内細菌と有用な腸内細菌の比率にアンバランスが生じると、炎症誘導細胞が過剰に活性化して、炎症性腸疾患を引き起こす可能性がある、と考えられている[3]。

7. また、過去 5 年間には、いくつかの詳細な研究報告において、微生物の有用な相互作用が行われる場所は腸内に限られないことが示唆されていた[4]が、細菌が肺の中で感染症と戦う過程を突き止めたのは、今回の岩崎の研究が初めてだ。

8. ペンシルベニア大学（米国フィラデルフィア）の免疫学者 David Artis は、「片利共生細菌からのシグナルが、複数の組織の免疫細胞に影響を及ぼしうることを示す文献が増えています。今回の研究も、それに寄与するものです」と言う。「ある種の抗生物質が、ウイルス感染に対して免疫応答を開始させる私たちの能力に影響を及ぼすようなら、抗生物質はどうしても必要なときにだけ服用するようにするべきでしょう。インフルエンザが流行する季節は特にそうです」。

9. Artis はさらに、今回の知見は、「私たちの食事が体内の片利共生細菌の構成に影響を及ぼす結果、私たちがウイルスと戦う能力にも影響が及ぶ可能性があることを示唆しています」と付け加える。

10. けれども岩崎は、「どの細菌がどの経路を開始させるのかはまだ十分にはわかっておらず、健康情報として勧告を行えるまでには至っていません」と釘をさす。岩崎の研究チームは、この免疫応答の引き金をひく細菌をまだ同定できていないが、岩崎は、腸内に住む乳酸菌が、こうした効果を引き起こしているのではないかと推測している。マウスに抗生物質を投与したところ、腸内では乳酸菌の個数が激減したが、鼻腔ではそのようなことはなかったからだ。

11. 「細菌は、こうした過程を意図的に誘発して、宿主をインフルエンザ感染から守っているのでしょうか？　それとも、インフラマソームは、この細菌によって非特異的に活性化して、たまたまその効果の 1 つとしてインフルエンザを制御したのでしょうか？」と Mazmanian は問いかける。

12. いずれにせよ、「私たちの免疫系は、微生物が宿主の体にシグナルを送るためのインターフェースとして機能するように進化してきたことが明らかになったのです」。

（翻訳：菊川要）

※編集部註：原文は、harmless or beneficial「無害か、または有用な」となっているが、正しくは、「片方のみが利益を得てもう一方には害にも利益にもならない」ものを片利共生という。

©2011 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

「Natureダイジェスト」新規定期購読キャンペーン　2011年5月31日まで

NHKスペシャル
「宇宙飛行士はこうして生まれた ～密着・最終選抜試験～」DVDプレゼント！

2011年5月31日までの期間に、下記専用サイトから
Natureダイジェスト新規定期購読お申し込みの方の中から
抽選で3名様に、プレゼントいたします！

宇宙飛行士になるという夢を抱き続け、選抜試験に全力で挑んだ人々を追った密着ルポ！

(2011年5月27日発売)

2009年2月25日、10年ぶりに2人の日本人宇宙飛行士の候補者が誕生した。宇宙航空研究開発機構が実施した選抜試験に挑戦したのは過去最多の963人。8か月かけて、パイロット、技術者、医師など、各界で活躍する10人が勝ち残った。ここから2人を選び抜く最終試験の過程をNHKは初めて撮影することができた。

定価　¥3,800(税込¥3,990) ／ 発売元：NHKエンタープライズ

※ 当選者の発表は、商品の発送をもってかえさせていただきます。発送は、6月上旬の予定です。

「NHKスペシャル 宇宙飛行士はこうして生まれた ～密着・最終選抜試験～」DVD抽選プレゼント
Natureダイジェスト新規定期購読お申し込みについて　【2011年5月31日まで】

www.naturejpn.com/dvd

EDITOR'S NOTE

3月11日の巨大地震（M 9.0）に伴う大津波は、膨大な人命や建築物を押し流し、福島第1原子力発電所の事故まで引き起こしました。本誌で冬野いち子さんが報告しているように、東北大学をはじめ研究機関も多くの被害を受けました。死者・行方不明者数はもちろん、東日本大震災による被害の全貌は1か月を過ぎてもまだよくつかめていません。気になったのが「情報」という言葉です。被害の情報がわからないと伝えられるとき、①伝達経路が遮断されている、②現地でも実態が把握できていない、という2つの理由が考えられます。原発事故を見るまでもなく、誰もわからない状況、実質情報が存在しないことがあるのです。神ではない人間をそのときに支えるもの、それが経験・知識と推察・思考だと強く感じました（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。

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

© 2011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

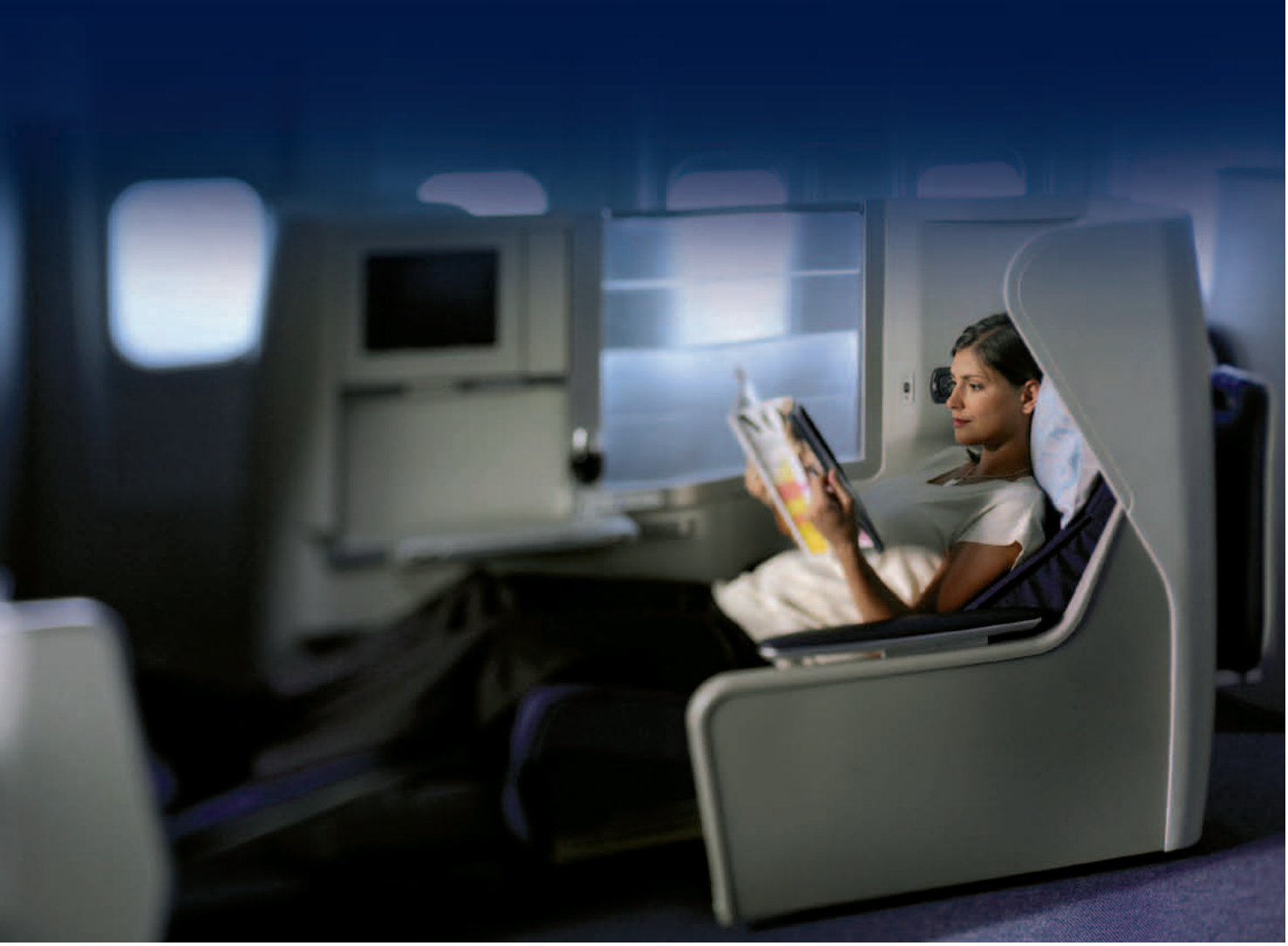
「Natureダイジェスト」へのご意見やご感想、ご要望をメールでお寄せください。
宛先：naturedigest@natureasia.com
（「Natureダイジェスト」ご意見係）
掲載内容についてのご意見・ご感想は、掲載号や記事のタイトルを明記してください。今後の編集に活用させていただきます。皆様のメールをお待ちしております。

BRITISH AIRWAYS
自分だけの時間

oneworld

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。



ネイチャー・ダイジェスト
5月号

平成23年4月25日発行 第8巻 第5号
編集発行人：David Swinbanks

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

4910072710515
00648