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
2012

Y 染色体は消滅しない

ゴリラのゲノム解読

光メモリーで集積チップ

氷河期の花が咲いた

南極氷底湖に到達！

地球サイズの
系外惑星見つかる

クラゲの大発生を探る

思慮に欠ける日本の
研究所統廃合計画

WHO、H5N1 論文は
全文掲載が妥当と判断

チューリング
生誕100年に思う

FROM 日経サイエンス

4万4000基の電波望遠鏡アレイ

好みのうるさいランと菌

定価 680 円

Nature Photonics は、

急速に進歩する光を使ったアプリケーションの

最先端をお知らせしています。

www.naturejpn.com/nphoton

nature asia-pacific

nature ダイジェスト
05
2012
2012 年 4 月 25 日発行
©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.
掲載記事の無断転載を禁じます。
www.nature.com/naturedigest

南極の氷底湖についに到達 08

表紙画像：ARCTIC AND ANTARCTIC RESEARCH INSTITUTE PRESS SERVICE/ ロイター / アフロ

ロシアの掘削チームが、南極の氷床下に眠るボストーク湖に到達。湖までの氷の厚さは実に 3769.3m。掘削孔内に採取された湖水は、来シーズン、掘り出される予定だ。

NATURE NEWS
02 Y 染色体消滅説に反論
03 ついにゴリラのゲノムを解読
05 マリファナが記憶を障害する機構
09 SEVEN DAYS | プーチンに贈られた黄色い水
17 NASA が本命視する原子力宇宙船
18 思慮に欠ける日本の研究所統廃合計画
26 RESEARCH HIGHLIGHT | 虹色キンモグラの秘密

NEWS FEATURE
14 クラゲ大襲来

NEWS SCAN
06 4 万 4000 基の電波望遠鏡アレイ
06 好みのうるさいランと菌

NEWS & VIEWS
12 放射性炭素 14 の超高感度測定法

JAPANESE AUTHOR
20 シナプスの活動を一括して調べることで、神経回路の緻密な配線メカニズムに迫る！ ── 池谷 裕二

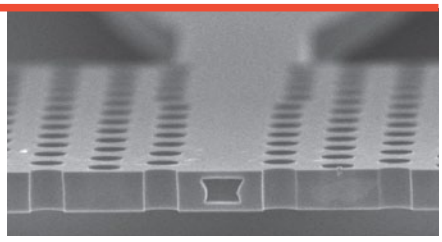
EDITORIAL
27 インフルエンザウイルス論文は、全文掲載が当然
28 チューリング生誕 100 周年

HIGHLIGHTS
29 2012 年 3/1 ～ 3/29 号

英語で Nature
34 アイスマンの DNA 分析から健康上のリスクや系統関係に関する情報が得られた

04 光メモリーの集積チップ実現へ

低消費電力でデータ保持時間の長い光メモリーが開発され、集積化にも成功した。今後より高速な通信に役立つだろう。



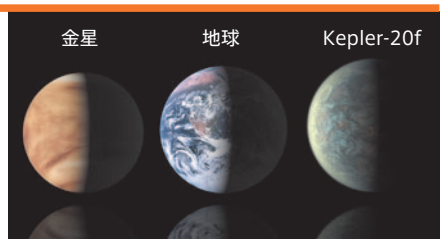
07 3 万年前の花が咲いた

氷河期のジリスが隠していたナデシコ科の植物の種から、植物体が再生され、可憐な花が咲いた。

S. YASHINA *ET AL. PROC. NATL ACAD. SCI. USA*

10 地球サイズの惑星が見つかった

地球から 1000 光年の地点に、地球とほぼ同じ大きさの惑星が 2 つ見つかった。ただし、親星との距離は、太陽と水星よりも近い。



NASA/AMES/JPL-CALTECH

22 異端を正統に変えた女性科学者

タンパク質の折りたたみ異常は疾患の原因となる。だが、Susan Lindquist は、それが進化を推進させる場合もあると考えている。

SAM OGDEN FOR *NATURE*

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

Y 染色体消滅説に反論

The human Y chromosome is here to stay

EWEN CALLAWAY 2012 年 2 月 22 日 オンライン掲載（doi:10.1038/nature.2012.10082）

ヒトの Y 染色体は、2500 万年間でたった 1 つの遺伝子を失っただけだった。

雄という性別を決定する Y 染色体では徐々に遺伝子が消失しており、Y 染色体の消滅は避けられない運命であるという考えに疑問が投げかけられた。ホワイトヘッド生物医学研究所（米国マサチューセッツ州ケンブリッジ）の遺伝学者 David Page の研究チームが、ヒトとアカゲザルの Y 染色体を比較し、Y 染色体は消滅しないだろうという報告をしたのだ[1]。

論文によると、ヒトの Y 染色体は、ヒトとアカゲザルが分岐した 2500 万年前から、たった 1 つの遺伝子を喪失しただけだという。論文筆頭著者の Jennifer Hughes は、「この結果によって、最終的には Y 染色体は消滅するという説は葬り去られるでしょう。2500 万年という年月は、ヒトの Y 染色体の歴史の大部分を占めているからです」と言う。

Y 染色体の略歴

Y 染色体は、ほとんどの哺乳類の共通祖先において約 2 億～3 億年前に出現した。*SRY* と呼ばれる遺伝子が、近縁遺伝子 *SOX3* から進化し最初の Y 染色体となったのだ。そして、Y 染色体ともとと対になっていた、*SOX3* が存在する染色体が X 染色体となった。それまでにもすでに雌も雄も存在していたが、性別は温度などの環境要因によって決定されていた。だが、Y 染色体の出現により、性決定機構は一変した。

常染色体の対と同様、初期の X 染色体と Y 染色体は遺伝物質を交換していた。その後、Y 染色体は何百個もの遺伝子を徐々に喪失し、X 染色体と組み換える能力の大部分を失って崩壊していった。現在、性染色体間では、その DNA の末端部でのみ組み換えが起こっている。

男性たちよ、心配することなかれ。Y 染色体は消滅せぬ。

ISTOCKPHOTO

そして 2002 年、Y 染色体の崩壊率から、Y 染色体は約 1000 万年後には消滅するだろうという発表があった[2]。すでに、モグラレミングやアメリカトゲネズミなど、数種の哺乳類は Y 染色体を喪失しており、性決定遺伝子はほかの染色体にある。

サルについての研究から

2010 年、Hughes と Page らは、チンパンジーとヒトの Y 染色体間に大きな違いがあることを見いだした[3]。チンパンジーの Y 染色体は、ヒト系統と分岐したおよそ 600 万年前から、多くのタンパク質コード遺伝子を喪失していたが、ほかの部分では何度も重複が起こっていた。Hughes は、このような遺伝子増幅によってチンパンジーは精子産生に関与する遺伝子の余分なコピーを獲得し、これが妊娠可能な雌と多数の雄が交配する雑婚種のチンパンジーにとって有益な形質であったとの理論を展開している。「精子をうまく産生できれば、それ以外の遺伝子を失っても問題にならないでしょう」と Hughes は言う。

今回、研究チームはアカゲザルの Y 染色体を解読した。アカゲザルは、ヒトとチンパンジーの共通祖先で、約 2500 万年前に分岐した。Hughes は、アカゲザルも雑婚であるため、Y 染色体はいくつかの遺伝子を喪失しており、精子の産生に関与する遺伝子の重複があるだろうと予想した。ところが、アカゲザルの Y 染色体はヒトが喪失したたった 1 個の遺伝子が多いだけだった。この遺伝子は Y 染色体の特に不安定な部位に存在していた。ヒトの Y 染色体とアカゲザルの Y 染色体の遺伝子は、ほぼ同じだったのだ。

「今回の結果から、5000 万年後にも、Y 染色体は存在していると確信しました。Y 染色体は消滅しません」と、ストワーズ医学研究所（米国ミズーリ州カンザスシティ）の遺伝学者 Scott Hawley は言う。Hawley は、Y 染色体の遺伝子がなければ男性は不妊になってしまうので、存在し続けるのだと主張している。

一方、ラ・トローブ大学（オーストラリア・メルボルン）の遺伝学者で、2002 年の論文でヒト Y 染色体の消滅を予測した研究者の 1 人である Jennifer Graves は、この新しい成果を称賛しているが、それでも Y 染色体が長期間維持されるという予測に疑問を持っている。ヒトの Y 染色体では、活性のある遺伝子と破壊された遺伝子の両方を含む、DNA の逆位重複が多く見られる。Graves は、こうした重複は染色体の「断末魔の叫び」であると考えている。「常染色体に別の性決定遺伝子が出現したら、Y 染色体は明日にも消滅するでしょう」と、Graves は語っている。■

（翻訳：三谷祐貴子）

1. Hughes, J. F. *et al. Nature* **483**, 82-86 (2012).
2. Aitken, R. J. & Graves, J. A. M. *Nature* **415**, 963 (2002).
3. Hughes, J. F. *et al. Nature* **463**, 536–539 (2010).

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

ついにゴリラのゲノムを解読

Gorilla joins the genome club

Kerri Smith 2012年3月7日 オンライン掲載（doi:10.1038/nature.2012.10185）

ゴリラのゲノム塩基配列が解読された。
人類進化の道筋を解明するための新たな手がかりとなるだろう。

SAN DIEGO ZOO

カミラの全ゲノム塩基配列解読は、人類の進化史の解明に役立つだろう。

米国カリフォルニア州サンディエゴに暮らすカミラは、黒いファーコートを身にまとった35歳の女性。失礼ながら、体重は136kg。彼女は、ゲノムの全塩基配列が解読された初めてのゴリラである[1]。

すでに、ヒトに近縁な現生霊長類として、チンパンジー[2]やオランウータン[3]のゲノムが解読されている。これらの遺伝情報カタログを読み解くことで、人類が霊長類の仲間から分岐した時期や、ヒトと類人猿の相違点など、人類進化の道筋について多くのことを明らかにできる。

ゴリラはチンパンジーの次にヒトに近縁な現生動物である。「ゴリラ系統が分岐したのは、ヒト系統とチンパンジー系統が分かれた時期より少し前のことでした」と、この研究を主導したウェルカムトラスト・サンガー研究所（英国ヒンクストン）のAylwyn Scallyは話す。

マックス・プランク進化人類学研究所（ドイツ・ライプチヒ）のWolfgang Enardは、「新たにゴリラ系統のゲノムが加わることで、人類進化の解明に重要な大局的視点が得られます」と語る。彼は今回の研究には参加していない。

今回の研究では、カミラのゲノムと別の3頭のゴリラから得られた部分的な塩基配列との比較解析も行われた。3頭のうち2頭は、カミラと同じニシローランドゴリラ（*Gorilla gorilla gorilla*）、残りの1頭は別の亜種のヒガシローランドゴリラ（*Gorilla beringei graueri*）である。

総合的なデータから、ゴリラの系統は約1000万年前にヒトおよびチンパンジーとの共通祖先から分かれたこと、また、その分岐から約400万年後に、チンパンジーとヒトの系統が分かれたことが示唆された。この結果は、これら3系統の大型類人猿の進化に関する謎の解明に役立つ。「化石から得られる年代値と遺伝学で推定される年代値は、長年にわたって一致しないままでした。遺伝学的な推定年代（DNAに変異が蓄積される速度をもとに逆算）だと、種分化の時期が化石の年代値よりも後になってしまうのです」とScallyは説明する。

新たな謎

一方、今回のゴリラゲノム解読によって意外な疑問も出てきた。通常考えられている大型類人猿の系統樹では、ヒトとチンパンジーは、それぞれがゴリラに対するよりも、お互いどうしのほうが近縁だとされている。その理由は、チンパンジーとヒトがゴリラよりも後に分岐したからである。ところが、ヒト遺伝子の15%は、チンパンジーよりゴリラの対応遺伝子に似ていたのだ。これら遺伝子の多くは、ゲノム内のタンパク質をコードしていない部分に存在している。

研究チームは、機能を持つ遺伝子の変化にも目を向けた。すると、聴覚や脳の発達に関与するものを含む特定の遺伝子群が、ゴリラとヒトの両系統で予想以上に急速な変化を起こしていたことがわかった。こうした変化の中には不可解なものもあった。例えば、*LOXHD1*遺伝子はヒトでは聴覚にかかわっており[4]、そのため発話能力に関与していると考えられていた。ところが、この遺伝子はゴリラでもヒトと同程度に進化が加速していることがわかったのだ。「ご存知のように、ゴリラどうしが話をすることはありません。もし話せるのだとしたら、彼らはよほどうまく隠してきたことになりますね」とScallyは話す。Enardは、この結果によって*LOXHD1*と言語の結びつきの可能性は弱まったとし、「ゴリラでの*LOXHD1*の役割が明らかになれば、この考えは完全に消えます」と言う。

ゴリラゲノムの塩基配列解読は、ゴリラの保護にも影響を及ぼすだろう。「保護にゲノム情報を生かして、動物の適応度（個体当たりの子どものうち、繁殖年齢まで成長できた子どもの数）に関連しそうなゲノム領域の探索が行われるかもしれません」と、英国ロンドン動物学会の霊長類研究者Harry Marshallは話す。

では、次にゲノムを解読されるのはどの動物だろう。霊長類は数百種いるが、理想としてはそのすべてのゲノムを解読したいとEnardは考えている。しかし、行動や生理に関するデータがなくては意味がない。「表現型のデータもぜひ欲しいですね」と彼は語った。■

（翻訳：船田晶子）

1. Scally, A. *et al. Nature* **483**, 169–175 (2012).
2. The Chimpanzee Sequencing and Analysis Consortium *Nature* **437**, 69–87 (2005).
3. Locke, D. P. *et al. Nature* **469**, 529–533 (2011).
4. Clark, A.G. *et al. Science* **302**, 1960–1963 (2003).

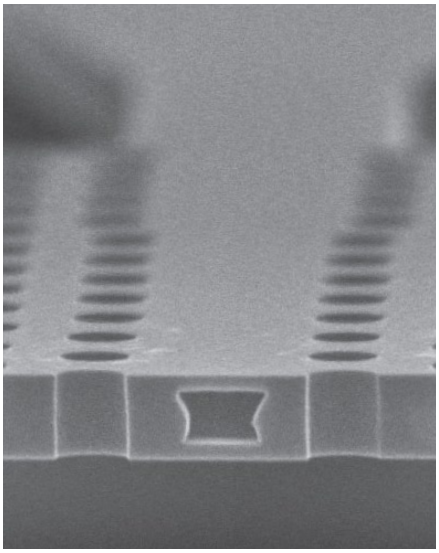
 ©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

光メモリーの集積チップ実現へ

Optical memory could ease Internet bottlenecks

Katherine Bourzac 2012年2月26日 オンライン掲載（doi:10.1038/nature.2012.10108）

消費電力が少なく、データ保持時間が長い光メモリーの集積チップ化で、ネットワークの律速段階をクリアできるかもしれない。



光メモリーチップを使えば、通信のエネルギー効率がよくなるかもしれない。

インターネットで伝送されるデータビットは、光信号路と電気信号路を行き来している。データを効率よく伝送するために光信号が利用されるが、処理するためには電気信号に変換されているのだ。だが、このためにエネルギー効率が悪くなる。電気信号を使わない全光ルーターがあれば改善されるであろうが、十分な光メモリーデバイスがないため開発が進んでいない。このたび、NTT先端技術総合研究所のフォトニクス研究所と物性科学基礎研究所の共同研究チームが、消費電力が少なくデータ保持時間が長い小型光メモリーデバイスを開発し、インターネットの高速化・高エネルギー効率化への道を開いた[1]。

研究チームの光メモリーデバイスは、光透過状態と光遮断状態を切り替えてデジタル信号を生成する光共振器を利用している。研究チームは、数年にわたってこうしたデバイスを研究してきたが、これまでのデバイスは消費電力が大きく、また、データを十分な時間保持することができなかった。今回の光メモリーセルでは、消費電力はわずか30ナノワットという従来設計の300分の1以下であり、そのうえデータ保持時間も10秒以上である（従来記録は約250ナノ秒だった）。「これは処理をサポートするのに十分な長さのデータ保持時間です」と、研究チームを率いた納富雅也（のうとみまさや）は言う。

研究チームは、InP（インジウム－リン）の薄いスラブの中央に、長さ約4μm、幅約300nmの光学材料InGaAsP（インジウム－ガリウム－ヒ素－リン）を埋め込んだ。このInGaAsPがメモリーセルとして機能する。InPにはエッチングでナノスケールの孔が開けられ、特定波長の光のみを透過する構造体となっているが、出入りする光を導くためセルの中央を通る経路にはエッチングを施していない。

情報の読み出しと書き込みにはレーザー光が用いられている。特定波長の光をセルに照射すると材料の屈折率が変化して、光パルスを透過または遮断する。それぞれ「1」「0」の状態に対応するが、別の光パルスによって逆も可能になる。また、バイアスと呼ばれる一定のバックグラウンド光となる第二のレーザーは、メモリーセルの状態維持に役立っている。

さらに研究チームは、4つのメモリーセルを同一チップ上に集積化した。納富は、そのようなセルを100万個組み合わせて消費電力30ミリワットのデバイスを作製することが可能と考えている。従来のフラッシュメモリーは、平均50ミリワットの電力を消費する。研究チームは現在、光メモリーの読み出しと書き込みに必要なレーザーと光検出器を同一チップに搭載する研究をしている。

納富によれば、最初のターゲットは、ネットワークルーターやサーバーのメモリーだという。高いデータレートでは光信号のほうが電気信号よりはるかに効率がよいし、光信号と電気信号の相互変換が不要になればエネルギーの浪費が抑えられるからだ。その後、高速コンピューターのランダムアクセスメモリー（RAM）を光RAMに置き換えたいと、考えている。

しかしながら、非営利研究コンソーシアムSemiconductor Research Corporation（米国ノースカロライナ州ダラス）の特別プロジェクトリーダーVictor Zhirnovは、光RAMデバイスが将来コンピュータープロセッサーに使用できるかどうかについては懐疑的だ。光メモリーセルよりも電子メモリーセルのほうがはるかに小さいし、フラッシュなどの既存技術は数十年というデータ保持時間を誇っている、とZhirnovは言う。

一方、カリフォルニア大学バークレー校（米国）のConnie Chang-Hasnainは、「今回のデバイスは比較的長いメモリー保持時間を示しただけでなく、集積化も実証されており、大変おもしろいですね」と話す。「インターネットのデータ混雑はどんどんエスカレートしています。携帯電話からフェイスブックのデータセンターへ送られてくる猫の動画であろうと、コンピューターからサーバーに送られるネットバンキングの情報であろうと、将来、光メモリーがデータルーティングの一部を担う必要が出てくるでしょう」。■

（翻訳：藤野正美）

1. Nozaki, K. *et al. Nat. Photonics* advance online publication http://www.nature.com/doifinder/10.1038/nphoton.2012.2 (2012).

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

マリファナが記憶を障害する機構

How marijuana makes you forget

Mo Costandi 2012年3月1日 オンライン掲載（doi:10.1038/nature.2012.10152）

マリファナがどのように短期記憶を障害するのかが明らかに。

マリファナは、作業記憶（短い期間、情報を保持および使用する能力）を障害する。ボルドー大学（フランス）の神経科学者 Giovanni Marsicano とオタワ大学精神衛生研究所（カナダ）の Xia Zhang は、このごく一般的な副作用が、ニューロンと非神経細胞のアストロサイトとの間のシグナル伝達機構によって起こることを発見した[1]。こうした機構は、これまで知られていなかった。

アストロサイトは、長い間、ニューロンを保護する単なる支持細胞であると考えられていた。「この成果は、アストロサイトがニューロンと記憶を制御する有力な証拠になります。脇役が主役になったのです」と Zhang は言う。

マリファナの向精神性成分はテトラヒドロカンナビノール（THC）である。今回、麻酔下のマウス脳に微小電極を埋め込むことで、THC が海馬のシナプスを減弱することがわかった。シナプスの構造は記憶形成に重要な役割を果たす。

記憶を消去する過程

研究チームはまず、脳で THC と相互作用する CB_1 受容体を欠損させた2種類のマウスを作製した。1つは、神経伝達物質グルタミン酸を合成する海馬ニューロンで CB_1 受容体を欠損させたマウス、もう1つは、神経伝達物質 GABA を合成する海馬ニューロンで CB_1 受容体を欠損させたマウスである。

実験の結果、どちらの CB_1 受容体欠損マウスでも、野生型と同様に、THC は海馬のシナプスを減弱した。Marsicano は、THC の効果はアストロサイトの CB_1 受容体によって仲介されるに違いないと推論した。そこで、アストロサイトで CB_1 受容体を欠損するマウスを作製して THC を投与してみると、海馬のシナプスには何の影響も見られなかった。

さらに、培養ディッシュでのシナプス形成に関する別の実験から、THC によるアストロサイトの CB_1 受容体の活性化によって、AMPA と呼ばれる化合物の受容体がニューロンの細胞膜から除去されることが明らかになった。これまでの研究から、AMPA 受容体の除去はシナプスを減弱させ、逆に挿入は増強させることはわかっていたが、アストロサイトがそれを制御できることは知られていなかった。

最後に研究チームは、これら3種の変異マウスで、水迷路に水没しているプラットホームの位置を記憶しなければならない作業記憶テストを行った。その結果、THC は、グルタミン酸および GABA を合成するニューロンで CB_1 受容体を欠損するマウスの行動を障害したが、アストロサイトで CB_1 受容体を欠損するマウスの行動には影響を与えなかった。

マリファナによる記憶障害の機構がわかれば、副作用の少ない薬剤の開発に役立つかもしれない。

ISTOCKPHOTO

「齧歯類（げっしるい）の成果からヒトの機構を推定することは、常に難しいのですが、マリファナは両者の作業記憶を障害するので、私はヒトでも同様の機構が関与していると思います」と Marsicano は言う。

因果関係

レディング大学（英国）の薬理学者 Ben Whalley は、今回の研究はアストロサイトのシグナル伝達と認知機能の間の注目すべき因果関係を示していると言う。「今後、アストロサイトが、正常および疾患のある脳での内因性カンナビノイドシグナル伝達に与える影響について調べることに、興味をそそられますね」。

Marsicano は、今回の知見が、最終的には、アストロサイトではなくニューロンに発現する CB_1 受容体を特異的に標的とする THC 関連薬の開発につながるかもしれないと言う。そうした薬剤は、例えば、作業記憶に影響を与えない鎮痛剤として有効かもしれない。

だが、Whalley は注意を促す。「まだニューロンとアストロサイトの CB_1 受容体の異なる効果は明らかになっておらず、ニューロンの CB_1 受容体を標的とする治療効果の可能性については、結論は下されていません」。

2010年に発表された研究[2]では、高濃度のカンナビジオールを含むマリファナ品種を喫煙する人には、記憶障害が見られないことが示された。このような品種を医療目的に利用することが、現状では最もよいのかもしれない。■

（翻訳：三谷祐貴子）

註：日本では、医療用目的であっても、マリファナの保持・使用、ならびに輸入は、法律で禁じられている。

1. Han, J., *et al. Cell* **148**, 1039–1050 (2012).
2. Morgan, C. J. A., Schafer, G., Freeman, T. P. & Curran, H. V. *Br. J. Psychiatry* **197**, 285–290 (2010).

 ©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

4万4000基の電波望遠鏡アレイ

ETも探す大型電波望遠鏡が完成する

4万4000基を超える無線受信アンテナが、近々インターネットを介してつながり、これまでで最も大掛かりな電波望遠鏡が構築されることになる。その使命は、これまでほとんど未探索だった無線周波数を調べ、宇宙で最初に生まれた恒星や銀河を探すこと、そして、もし存在するなら地球外生命体の信号を探し出すことだ。

このアンテナアレイは、低周波の電波を検出するように設計されている。重要な発生源の1つは、いわゆる「宇宙の暗黒時代」に宇宙の大半を占めていた冷たい水素ガスからの非常に弱い信号だ。後に最初の星々が誕生して輝き始めたとき、この水素にその痕跡を残したと考えられ、このガスからの電波信号が時とともにどう変わったかを解析すると、最初の銀河がどのように生まれたのかについて、さまざまなことがわかってくる。

この低周波干渉計LOFARは、オランダとドイツ、フランス、スウェーデン、英国の48か所の基地局にある多数のアンテナで構成され、それらすべてが光ファイバーケーブルで接続される。これら基地局からの信号を1台のスーパーコンピューターが組み合わせ、これまでで最も複雑で多用途の電波望遠鏡を作り出す。国際LOFAR望遠鏡の責任者Heino Falckeはそう説明する。

アンテナ群の建設は今年半ばまでに終わる予定で、北天全体を45日で調べる能力を備える。全体で口径1000kmの望遠鏡に匹敵する解像度を持つことになる。さらに、設計は拡張可能であり、後からいつでも基地局を追加できると、LOFARを運営するオランダの天文学研究組織ASTRONのMichael Wiseは言う。

またLOFARは非常に高速で、わずか50億分の1秒の事象を測定できる。さらに、LOFARは基本的に多数の異なる電波望遠鏡をつなぎ合わせたものであり、例えば3つの異なる科学プロジェクトを同時に実行できるとWiseは言う。要するに、柔軟な運用ができるという利点を持っているのだ。

今後数年間、LOFARは地球外知的生命体探査（SETI）の一環として、過去のSETIミッションでは調べていなかった低い周波数領域で無線信号を探すことになっている。■

（翻訳協力：鐘田和彦）

好みのうるさいランと菌

菌根菌との敏感な関係が、ランの成長を左右する

ランが珍重される理由は、美しさとそのはかなさにある。南極を除くすべての大陸に生息するが、多くが絶滅の危機にあり、環境変化にとても敏感だ。野生のランの種子は非常に小さく、菌根菌という菌類が栄養分を与えないと成長しない。

これらの菌根菌についてはほとんどわかっておらず、多くは名前さえない。わかっているのは、菌根菌がランの根に入り込み、ランはそれを消化して必要な栄養を得ているということだけだ。最近、4年がかりの研究から、菌根菌が成長する場所と、どんな条件だとランが発芽するのか、新たな手がかりが得られた。*Molecular Ecology*電子版1月24日号に発表された成果は、希少品種の保護に役立つはずだ。

メリーランド州にあるスミソニアン環境研究センターの生態学者Melissa McCormickが率いる研究チームは、米国内に自生する3種のラン（いずれも東部に自生し、絶滅が危ぶまれている）を6か所の試験サイトに植えて成長を観察した。試験サイトのうち3か所は樹齢50～70年の木が生える若い森で、残り3か所は樹齢120～150年の古い森だった。ランを植えた区画の地面をそのままにするか、落ち葉または腐敗中の木のいずれかで覆い、各区画の半分にランの成長を促進することが知られている菌をまいた。

また、それぞれの森に元から存在する真菌を特定した。この真菌は子実体がなくて見つけにくいため、土壌中のDNAを調べて、どこにどれだけの菌がいるかを特定した。その結果、古い森にはランを助ける菌類が若い森の5～12倍も存在し、菌の種類も古い森のほうが多様なことがわかった。

成長に必要な条件はランの種類によって異なった。小さな白い花をつける*Goodyera pubescens*の場合、成長に十分な菌類が存在するのは古い森だけだった。若い森に菌類をまいても、腐食中の木と菌類を組み合わせても、このランの種子は発芽しなかった。一方、小さな薄紫色の花をたくさんつける*Tipularia discolor*を好む菌は、若い森にも古い森にも同様に広く見られたが、腐敗中の木の上でないと発芽は促されなかった。さらに*Liparis liliifolia*（スズムシソウ）を助ける菌は野生環境では少なかったが、その菌を人工的に与えると発芽した。

現在のラン保護計画では、こうした菌類の多少など考慮していない。菌類を識別する技法と知識が整っていないからだ。McCormickは、今回の技術によって、どんな環境条件が菌類に影響するか、解明が進むのを期待している。■

（翻訳協力：粟木瑞穂）

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

3 万年前の花が咲いた

Wild flower blooms again after 30,000 years on ice

Sharon Levy 2012 年 2 月 23 日号 Vol. 482 (454)

太古の昔、ジリスが隠した小さな実。すっかり忘れ去られて
永久凍土の中に眠っていたその実から、先史時代の植物がよみがえった。

氷河期の地球。北方地域には、冷たく乾燥した草地マンモス・ステップが広がり、マンモスやケサイ、ジャイアントバイソンが闊歩(かっぽ)していた。だが、マンモス・ステップ生態系は約 1 万 3000 年前に消滅し、現在、同様の生態系は存在しない。

このほど、マンモス・ステップ生態系の構成要素であった植物の 1 種が、ロシアの研究チームにより現代によみがえった。約 3 万年前ジリス（地上に住むリス）が地中に埋め、永久凍土の中にずっと保存されていた果実や種子を掘り出し、発芽させて開花させることに成功したのだ[1]。今回花を咲かせた植物は、復活させることができた古代植物の中でも古さが際立っている。これまで最も古い復活古代植物は、約 2000 年前での種子から育ったナツメヤシだった。

ジリスの穴は、シベリア北東部のコルイマ川下流の岸辺で発見され、全部で 70 個にのぼった。それらは現在のツンドラの表面から深さ 20 ～ 40m のところにあり、周囲からはマンモスなどの動物の骨が見つかっている。そして、一部の穴には果実や種子が数十万個貯蔵されており、そのうえ、低温で乾燥した環境のために保存状態がきわめて良好だった。

この大昔のジリスの穴にあった種子から植物を育てようという試みは、今回が初めてではない。カヤツリグサ、ギシギシ、クマコケモモ、スガワラビランジ（*Silene stenophylla*）といった草本の種子の育成が試されてきた。しかし、これらの植物は、発芽はするのだが、じきに生育が止まって地上部が枯れてしまい、育てることができなかった。

凍結した組織からよみがえった先史時代の植物。

S. YASHINA ET AL. PROC. NATL ACAD. SCI. USA

こうした厳しい状況を打開しようと、ロシア科学アカデミーの土壌科学物理化学生物問題研究所（プーシチノ）の David Gilichinsky は、別の方法で発芽を試してみることにした（惜しくも Gilichinsky は、今年 2 月 18 日に他界した）。Gilichinsky の研究チームは、スガワラビランジの未成熟の果実から胎座組織を採取し、組織培養したのだ。植物の胎座は、種子の成熟過程を通じて種子に接している部分で、形態形成因子などが存在し、栄養素の輸送にかかわり、盛んに代謝が行われていると考えられる。例えば、ピーマンの内側の白い部分がそれにあたる。

ほどなく、培養組織からシュート（苗条：茎とそれに付いている葉をひとまとめにした単位）が形成された。研究チームはそれをもとにして植物体を増やした。

さらに、このナデシコ科の植物は花を咲かせ、発芽能力のある種子が得られた。すでに繁殖能力を持つ 2 代目の植物体が育っている。成育した古代のスガワラビランジは、コルイマ川の岸辺に見られる現代のスガワラビランジよりも多くのつぼみをつけた。だが、根の広がり方はゆっくりだった。このことから、昔のスガワラビランジの表現型は現生のものとは異なっており、氷河期の極端な環境に適応していたのだろうと考えられる。

「とうとう、氷河期の植物の復活に成功したのです。なんてすばらしいことでしょう」。こう話すのは、ユーコン古生物学プログラム（カナダ・ホワイトホース）の Grant Zazula だ。Grant はこれまで、古代種子を発芽させたといういくつかの報告を調査・検討してきた経験を持つ。「絶滅した植物種が、永久凍土に保存されていた種子から現代によみがえるというのは、十分にありうる話です」。

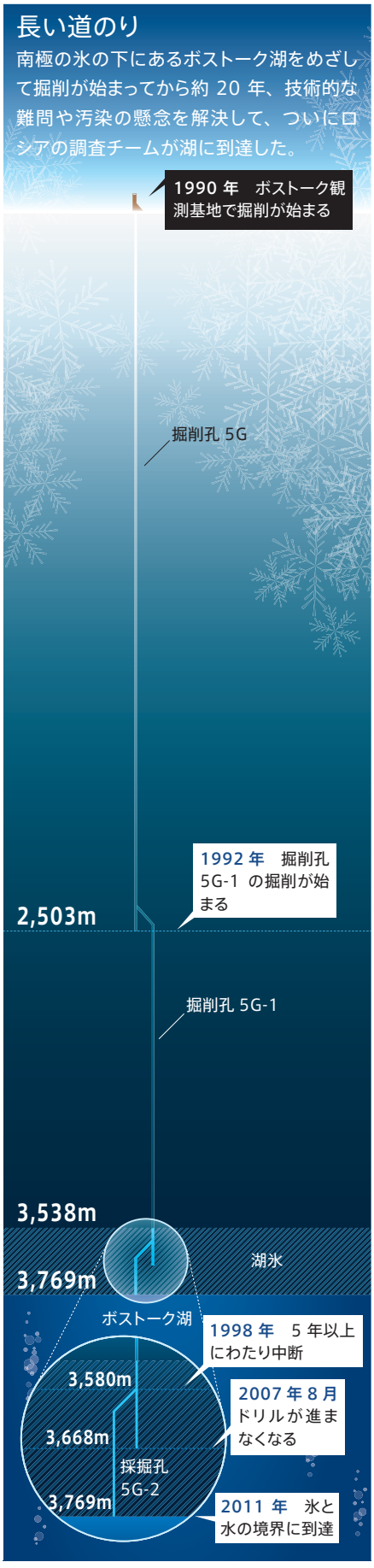
確かに、マンモス・ステップ生態系を構成していた植物の中には、現代まで永らえているものもある。しかしながら、氷河時代のマンモスの胃の中や凍ったリスの食物貯蔵穴から発見されている、彼らが生きた時代のものと全く同じカヤツリグサや野の花などの組み合わせは、今ではどこにも見られない[2]。だが今後、さらに古い年代（数十万年前）の植物の生きた組織を復活できる可能性はある。そうなれば、もっと長い時間スケールの進化的変化が明らかになり、氷河期などの失われた生態系のようすが解明されるかもしれない、と Zazula は考えている。■

（翻訳：小林盛方）

1. S. Yashina *et al. Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **109**, 4008–4013 (2012).
2. B. V. Gaglioti *et al. Quatern. Res.* **76**, 373–382 (2011).

*PNAS is not responsible for the accuracy of this translation.

 ©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.



SOURCE: REF. 2

南極の氷底湖についに到達

Russians celebrate Vostok victory

Nicola Jones　2012 年 2 月 16 日号　Vol. 482 (287)

南極の氷の底にあるボストーク湖をめざして 1990 年代から掘削を進めてきたロシアチームが、とうとう、この湖に到達した。

極寒の地で 20 年にわたって続いた掘削作業と激しい議論の末、ロシアの調査チームが、ついに南極の厚い氷床の底にあるボストーク湖に到達した。ボストーク湖は、南極の氷底湖の中で最も大きく、最も深いところに埋もれている。この湖は、何百万年もの間、外界から隔離されてきたので、そこに微生物がいれば、特別に適応した仕組みを持っている可能性が高い。ロシアの研究チームと交流のあるモンタナ州立大学（米国、ボーズマン）の南極研究者 John Priscu は、「彼らは今週、ウォッカを飲み続けるに違いありません」と言う。

ロシアの南極調査プログラムの責任者である Valery Lukin によると、ドリルが氷床の表面から 3769.3m 下にある湖水に到達したのは、現地時間 2 月 5 日午後 10 時 25 分のことだった（『長い道のり』参照）。すでに南極の夏は終わり、気温が急激に低下してきていた。気温が下がりすぎると、飛行機が安全に飛べなくなってしまう。したがって、ボストーク湖に到達した翌日には、もう科学者たちは現地を後にした。「本当にぎりぎりでした。この 2 週間ほど、本当にハラハラさせられました」と Priscu は言う。

ロシアの科学者はサンプルを採取したが、それは湖のすぐ上にある水たまりのものであった可能性が高い（サンプルが入った容器の 1 つは、華々しいファンファーレとともにウラジーミル・プーチン首相に贈呈された）。したがって、彼らが間違いない形でボストーク湖の氷のサンプルを採取するには、2012 年 12 月まで待たねばならない。また、凍っていない水のサンプルを採取するのは、2013 ～ 14 年のシーズンとなるだろう。「ボストーク湖への到達は技術的な偉業です。ただ、ここから科学的な成果が得られるのは、まだ何年も先のことなのです」と、南極研究科学委員会の Mahlon Kennicutt は言う。

ボストーク湖掘削プロジェクトは、もともとは、古代の気象条件を調べるための氷床コアの掘削として始まった。しかし、1990 年代半ばに、ボーリング孔の下に巨大な湖が潜んでいることが確認され、その水のサンプルを採取できれば、そこに古代の生命の徴候が見つかる可能性があると期待されるようになった [1]。

ところで、長期にわたって掘削を続けるためには、掘削孔に灯油やフロンを満たして、それを維持する必要があるが、灯油は殺菌されていない。1990 年代末になると、研究コミュニティーの中で、掘削液がボストーク湖を汚染することはないという確証が得られるまで、掘削を進めてはならないという合意が形成された。そして新しい計画に基づいて掘削が再開されたのは、2005 年のことだった。この計画では、ドリルが湖に近づいたら、熱プローブつまり、氷を溶かしながら掘り進んでいく先端部品と交換する。また、清浄なシリコーン油を栓として使うことにより、そのより上方にある灯油が湖の水を汚染するのを防いでいる [2]。

ロシアの調査チームが実際に熱プローブとシリコーン油を使用したかどうかは不明だが、おそらく、湖を汚染するのは

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

避けられたと思われる。ドリルが氷を掘り抜いて湖に到達した途端、掘削孔の底から水が30～40mも上昇してきて、最上部から1.5m^{3}の掘削液があふれ出たという。「彼らの言うとおりのことが起きたのであれば、ボストーク湖から出てきた液体はあっても、入っていった液体はなかったはずです」とKennicuttは言う。

掘削孔に入ってきた湖水はそのまま凍りつくので、研究者らは次のシーズンにそれを掘り出す計画を立てている。底に近い数百mの氷は、氷河ではなく、ボストーク湖の湖水が凍った「湖氷」であり、これまでの調査では、その湖氷のサンプル中から細胞が発見されている[3]。ただし、これが「汚染」によってもたらされた可能性は、排除できていない。掘削孔に新たにできた氷の栓も、この問題に決着をつけるものとは言いがたい。なぜなら、そのサンプルを地表に引き上げる際に、どうしても掘削液の灯油の中をくぐってこなければならないからだ。Kennicuttはそう指摘するとともに、さらに、湖水が凍結する過程で、そこに含まれていた微生物が外に出てしまったり死んでしまったりする可能性もある、と語っている。

ロシアチームは2013～14年シーズンに、各種のプローブ、カメラ、採水器を密封容器に入れて掘削孔に下ろし、湖の探査を実施する予定である。プローブには、湖の水温や酸性度などの物理的条件を測定する機器や、分光計を使って水中の有機化合物を調べる装置も入っている。

一方、英国と米国は、ロシアより1年早い2012～13年のシーズンに、南極の別の氷底湖から水と堆積物のサンプルを採取しようと計画している。どちらのプロジェクトも、氷河の融解水を加熱して氷を溶かすという方法で、一気に湖まで掘り進めていく。氷を溶かした孔は24時間後にはふさがってしまうので、ロシアのプロジェクトよりも環境に優しく、短時間ですむという長所がある。英国チームはこの方法で3.1kmの氷床を掘り進み、わずか3日でエルズワース湖という氷底湖に到達する予定である。もっとも、この方法は、ボストーク湖には使えなかった可能性が高い。ボストーク湖は、エルズワース湖よりも厚い氷床の下にあり、温度も低いため、湖に到達するには莫大な量のエネルギーが必要となるからだ。

Kennicuttは、ロシアチームのボストーク湖、英国チームのエルズワース湖、アメリカチームのウィランズ湖のプロジェクトが先駆けとなって、今後、南極に数百個ある氷底湖から広くサンプルが採取される時代が来ることを期待している。「南極の氷底湖は、地球上で最も圧力が高い場所でも、温度が低い場所でもありません。しかし、栄養分とエネルギーが非常に制限されているという意味で、きわめて重要な場所なのです」とKennicuttは言う。今後、このような過酷な環境に生物が生息していることが確認されたら、「次は、微生物たちはそこでどうやって生きているのか、という問題と取り組むことになるでしょう」。■

（翻訳：三枝小夜子）

1. Kapitsa, A. P., Ridley, J. K., Robin, G. de Q., Siegert, M. J. & Zotikov, I. A. *Nature* **381**, 684-686 (1996).
2. Lukin, V. & Bulat, S. *Geophys.Monogr.Ser.* **192**, 187-197 (2011).
3. Karl, D. M. *et al. Science* **286**, 2144-2147 (1999).

SEVEN DAYS

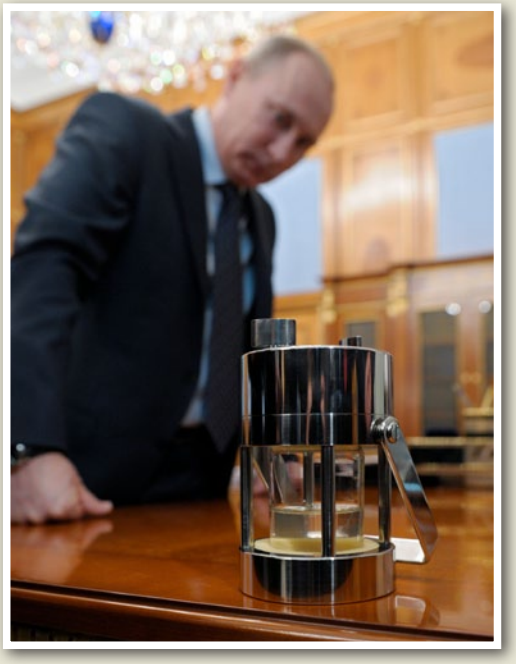
プーチンに贈られた黄色い水

Putin's subglacial sample

2012年2月16日号　Vol. 482 (280)

2012年2月8日、ロシアの北極南極研究所（サンクトペテルブルク）は、科学者が南極の氷床を3769mも掘削し、ついに氷河の底にあるボストーク湖に到達したことを確認した。研究所によると、調査チームが氷底湖に到達したのは2月5日のことだったという。2月10日には、ロシアのウラジーミル・プーチン首相がこの偉業を称賛し、黄色い水のサンプル（写真）を贈られる様子が国営テレビで放送された。この水は、実際にはボストーク湖の湖水ではなく、掘削孔の底にあった融解水だろうと考えられている。ロシアの掘削チームはすでに掘削現場から退去しており、12月になって南極に夏が訪れたら、掘削現場に戻り、さらなる分析を進める予定である。

（翻訳：三枝小夜子）



代表撮影/AP/アフロ

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

太陽系外惑星

地球サイズの惑星が見つかった

An Earth-sized duo

Didier Queloz
2012年2月9日号　Vol. 482 (166–167)

地球とほぼ同じ大きさの太陽系外惑星がついに見つかった。この惑星は太陽とよく似た星の周りを回っており、地球とよく似た生命を育んでいる惑星の発見へとつながっていくはずだ。

太陽系外惑星が初めて見つかってから約20年がすぎた[1,2]。今では、私たちの住む銀河系（天の川銀河）のかなりの数の星が惑星を伴っていることがわかっている。当初見つかった惑星の大半は、巨大で質量も大きさも木星に似た星たちだった。しかし、ドップラー偏移法（視線速度法）という地上からの惑星探索技術の進歩[3]と、トランジット法（食検出法）を用いるケプラー宇宙望遠鏡の打ち上げにより、状況は一変した。小さくて低質量の惑星からなる惑星系が次々と見つかり、銀河系では、こうした惑星系がありふれたものであることがわかってきたのだ[4]。

そして今回、ハーバード・スミソニアン宇宙物理学センター（米国マサチューセッツ州ケンブリッジ）のFrancois Fressinらが、ついに、ケプラー20という星の惑星系に、地球とほぼ同じ大きさの2つの惑星が存在することを見つけ、*Nature* 2012年2月9日号195ページに報告した[5]。今回の発見は、系外惑星探索の目標が、地球よりも小さな天体へと移りつつあることを示している。

ケプラー20は太陽に似た星で、地球から約300パーセク（約1000光年）のところにある。ケプラー宇宙望遠鏡のトランジット法による観測で、海王星より少し小さい3個の惑星（ケプラー20b、ケプラー20c、ケプラー20d）と、地球ほどの大きさの2個の惑星候補（ケプラー20e、ケプラー20f）が、この星の周りを回っていることが明らかになった[6]。公転周期は順に3.7、10.9、77.6、6.1、19.6日で、ケプラー20eの半径は地球の0.87倍、ケプラー20fは1.03倍と見積もられている。この5つの惑星と親星の距離は、水星と太陽の距離よりも近いが（図1）、このように惑星が密集しているケースは、太陽系外惑星系では珍しいことではない。

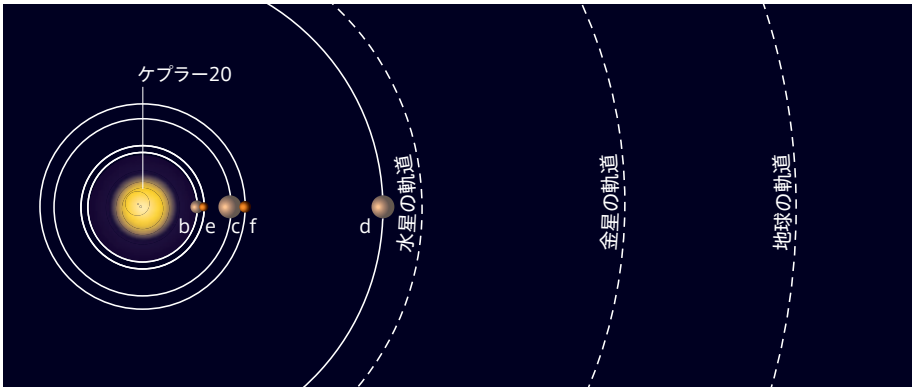


図1　ケプラー20の惑星の軌道配置
Fressinらが発見した地球とほぼ同じ大きさの惑星、ケプラー20eとケプラー20fは、5つの惑星（b～f）が密に集まっている惑星系の一部である[5]。これらの惑星は親星ケプラー20の周りを回っており、親星との距離は、太陽と水星の距離よりも近い。なお、ここでは惑星の大きさは距離と同じ縮尺では描いていない（宇宙関連ニュースサイトSpace.comのK. Tateによる図を改変）。

2006年、HD 69830という星の周りを、海王星ほどの質量の3個の惑星が密集した軌道で回っていることが発見された[7]。それ以来、同様に軌道配置が密集した惑星系が、ドップラー偏移法で多数見つかっている。軌道を回る惑星の重力によって親星が引っ張られるため、親星の光は小さなドップラー偏移を起こす。ドップラー偏移法とは、この変化を測定して惑星を探し出す方法のことだ。最も密集した惑星系としては、HD 10180を回る7個の惑星系と[8]、ケプラー11の前を通過する6個の惑星系が見つかっている[9]。

密集した惑星系では、その軌道に関連した力学的効果によって互いに影響を及ぼし合う場合がある。この現象のために惑星の軌道が乱され、親星の周りを一周して同じ場所に戻ってくるタイミングがわずかに遅れる。これは、惑星が親星の前面を通過するタイミングのずれとして検出することができ、トランジット（前面通過）タイミング変動と呼ばれている。

ドップラー偏移とトランジットタイミ

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

ングの測定によって惑星が親星に及ぼす力学的効果を観測し、これとトランジット観測（惑星が星の前を通過するときに星が暗くなる現象を観測する）の結果とを組み合わせると、惑星の平均密度が計算できる。その結果、惑星の構造、つまり巨大ガス惑星なのか岩石惑星なのかといったことがわかる。

しかし、質量が土星規模よりも小さい惑星で、密度のわかったものはほとんどない。親星が暗く、惑星候補も小さい場合は、ケプラーなどの宇宙望遠鏡で惑星の前面通過は観測できても、ドップラー偏移による地上からの追跡観測では正確な観測ができないことが多いからだ。トランジットタイミングの検出もすべてのケースでできるわけではなく、特定配置の惑星系にのみ限定される[9]。

理想を言えば、星の前を通過する惑星候補が確かに惑星であることを確かめるには、惑星が親星を重力で引っ張る現象の検出が必要だ。しかし、ほとんどの場合、ケプラーが発見した惑星候補について、この力学的効果を検出するのは難しい。互いに覆い隠し合う２つの星からなる連星系など、ほかの天体でも惑星の前面通過と似た信号が得られる可能性があり、そうした天体ではないことを確かめるには、補足の観測と統計的分析をしなければならない。

Fressin らは今回、まさにそれを実行した[5]。これまでのケプラー宇宙望遠鏡の観測を統計的に分析し、惑星の前面通過とみられる信号が実際に惑星によるものであることを示し、地球とほぼ同じ大きさの２つの惑星（ケプラー 20e とケプラー 20f）を発見したのである[6]。

Fressin らは、今回の２つの新しい惑星をより広い視点から位置付けるため、すべての既知のスーパーアースについて、質量と半径の分布図を作成した[5]（図 2）。スーパーアースは、地球から海王星までの質量を持つ惑星であり、その内部構造はいろいろなものがありうる。その分布図を見ると、この質量領域の惑星がいかに多様であるかがよくわかる。

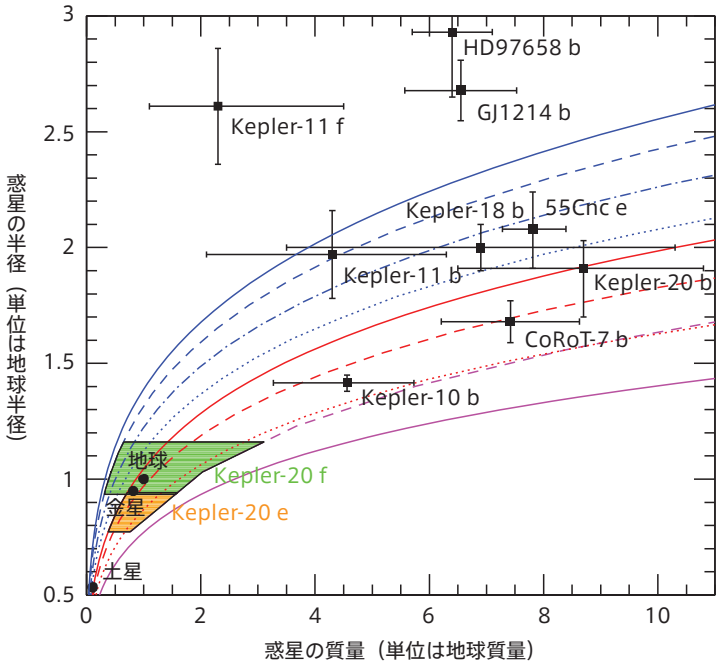


図 2　質量と半径の関係

これまで観測されている小型の惑星（スーパーアース）について、その質量と半径の関係をまとめたもの。ケプラー 20e と 20f の質量推定値と観測半径の範囲が、左下隅に示してある。なお、色の実線は、構成成分が均一組成の場合の関係で、それぞれ、水でできた氷（青色）、$MgSiO_3$ ペロブスカイト（赤色）、鉄（紫色）である（Fressin らの論文の 197 ページ図 3 を再録）。

同じ質量の天体でも、巨大ガス惑星もあれば鉄の中心核を持つ密度の高い惑星の場合もある。そうした多様性がどうして生まれるのか、惑星形成モデルで説明するのは今後の課題であろう。

地球に似た惑星は、この質量・半径分布図の中で、質量も半径もいちばん小さい左下隅にある。ケプラー 20e とケプラー 20f の質量はわかっていないが、Fressin らは、この２つの惑星も間違いなくこの領域に位置していることを示した[5]。ただ、質量がわかっていないので、その組成をはっきりと決定することはできない。しかし、興味深いことに、質量の大きなケプラー 20b とケプラー 20c の組成については、少しだけわかっている。その情報は、この２つの惑星によって引き起こされるドップラー信号の検出とその上限から得られた[6]。ここから、ケプラー 20b とケプラー 20c を構成している可能性のある物質は、ケイ酸マグネシウムから水の氷まで幅広いことがわかったのだ。あるいは巨大ガス惑星である可能性もある[6]。

新たな惑星系は着実に発見されており、その数は増えている。ケプラー 20e やケプラー 20f のような小さな惑星群は、そのリストの中でカギとなる重要な天体だ。太陽系では、太陽の近くには小さな岩石惑星があり、遠くには巨大ガス惑星があるのに、これら太陽系外惑星の軌道位置には、明らかな階層性は見られない。太陽系外惑星研究の次なる重要な課題は、これらの小さな惑星が親星に及ぼす力学的効果を検出し、惑星の質量を決定することだ。■

（翻訳：新庄直樹）

Didier Queloz はスイス・ソーベルニーのジュネーブ天文台に所属。

1. Wolszczan, A. & Frail, D. A. *Nature* **355**, 145–147 (1992).
2. Mayor, M. & Queloz, D. *Nature* **378**, 355–359 (1995).
3. Udry, S., Fischer, D. & Queloz, D. in *Protostars and Planets V* (eds Reipurth, B., Jewitt, D. & Keil, K.) 685–699 (Univ. Arizona Press, 2007).
4. Pepe, F. *et al. Astron. Astrophys.* **534**, A58 (2011).
5. Fressin, F. *et al. Nature* **482**, 195–198 (2012).
6. Gautier, T. N. III *et al. Astrophys. J.* (in the press); preprint at http://arxiv.org/abs/1112.4514v2 (2011).
7. Lovis, C. *et al. Nature* **441**, 305–309 (2006).
8. Lovis, C. *et al. Astron. Astrophys.* **528**, A112 (2011).
9. Lissauer, J. J. *et al. Nature* **470**, 53–58 (2011).

REF.5

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

分析化学

放射性炭素 14 の超高感度測定法

Ultrasensitive radiocarbon detection

Richard N. Zare 2012 年 2 月 16 日号 Vol. 482 (312–313)

炭素 14（^{14}C）は微量の放射性同位体で、大気中の炭素の 1 兆分の 1 しか存在しない。
今回、このさらに 25 分の 1 という低濃度でも検出できる光学的方法が開発された。
新たな研究手段としても、期待が高まっている。

放射性炭素 14 による年代測定は、考古学などの分野できわめて重要な技術であり、炭素含有試料であれば、約 5 万年前までの年代を推定することができる。これまで、試料中の炭素 14 の量は、高エネルギー加速器による質量分析によってのみ、測定可能であった。しかし、その質量分析計は大きくて扱いにくく、高価でかつ複雑だった。

こうした現状の中で、イタリア・フィレンツェにある国立光学研究所（INO）の Iacopo Galli らは、「光学的方法による放射性炭素濃度測定法」[1] を開発し、その詳細を *Physical Review Letters* 2011 年 12 月 30 日号で報告した。彼らの新しい方法は、現在抱えている課題を解決するとともに、年代測定だけでなく、体内で有機化合物を追跡するトレーサーとして炭素 14 を利用するなど、応用範囲を大きく広げていく可能性がある。ちなみに同位体分析の分野では、現在、質量分析の代わりに光学的手法を使うという技術革新が進行中で、今回の成果もその一例といえる [2-4]。

地球上には、自然界に存在する炭素同位体は 3 種類ある。最も豊富で 99％を占めるのが炭素 12（^{12}C）で、残りのほとんどは炭素 13（^{13}C）だ。炭素 14（^{14}C）もわずかに存在しているが、その割合は地球大気中の全炭素の 1 兆分の 1（0.0000000001％）にすぎない。3 つの中では炭素 14 のみが放射性であり、半減期は約 5730 年で、放射標識として使えるため、さまざまな分野での応用が期待されている。

炭素 14 は、主に地球大気中の窒素分子が宇宙線に照射されて生成する。植物は光合成の際に大気中の二酸化炭素を取り込む（固定する）ので、植物、そしてその植物を食べた動物が死んだときの炭素 14 濃度は、その当時の大気中の炭素 14 濃度とほぼ等しいことになる。死んだ生物の炭素 14 量は放射性崩壊によって減少するため、炭素が固定された年代（つまり、生物が死んだ年代）は、化石の中の炭素 14 量を測定すれば推定することができる。具体的には、試料中の炭素 14 原子の個数とほかの炭素原子の存在比を測定すればよい。これが放射性炭素年代測定の原理であり、考古学の発掘場所から見つかった化石の年代を推定するうえで、きわめて有効な技術となっている。

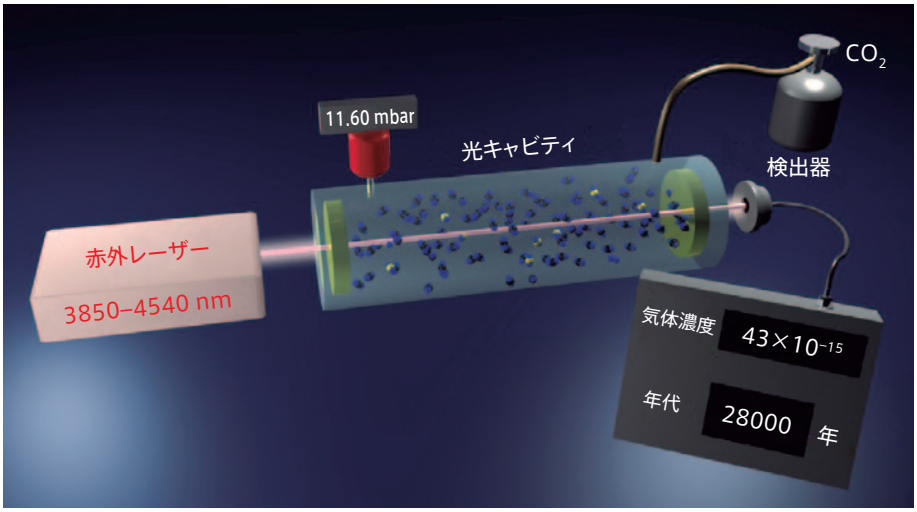
ただし、炭素 14 がごく微量であるため、放射性炭素による年代測定は技術的には難しい。通常、同位体比の測定は質量分析法によって行われる。これは、イオンが真空中の電場や磁場、あるいはその両方の中を飛ぶときの軌跡を測定して、質量を測る方法である。しかし、標準的な質量分析計の分解能では、最もありふれた窒素の同位体である窒素 14（^{14}N）と炭素 14（^{14}C）の質量の違いを区別することができない。両者の質量差は非常に小さく、また窒素 14 が大量に存在するために、炭素 14 からの信号が覆い隠されてしまうことが多いのだ。

この問題は高エネルギー加速器質量分析を使うことで解決できる。高エネルギー加速器質量分析では、まず、試料を一連の化学変化を通して固体炭素（グラファイト）にする。そして、グラファイトにセシウムイオンをぶつけて負に帯電した炭素イオンを作り、数百万 V の正電圧で加速する。

この炭素イオンを光速の数％まで加速し、次に、気体あるいは薄い金属薄片でできた電子ストリッパー（はぎ取り装置）で正に帯電したイオンに変えて、最終的に、その正イオンの質量を決定する。窒素原子は安定な負イオンを作らないので、この方法であれば、窒素の影響を受けないデータが得られることになる。このように、高エネルギー加速器質量分析計は強力な道具である。しかし、装置を作製・維持するには数億円規模の費用がかかるため、国立研究機関にしかないケースが多いのだ。

これよりもはるかに単純な方法として、試料を完全に酸化し、あらゆる炭素原子を二酸化炭素に変えてしまう方法がある [3]。炭素同位体の異なる二酸化炭素は、赤外スペクトルがわずかに異なるため（つまり、わずかに異なる振動数の赤外光を吸収するため）、それぞれを区別することが可能なのだ。逆に言え

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.



P CANCIO *ET AL.*/INO-CNR/LENS

図 1　年代測定のための飽和吸収キャビティリングダウン分光法

試料の年代を決定するための飽和吸収キャビティリングダウン分光法は、非常に安定な赤外レーザーを用い、高反射率反射鏡で作った光キャビティ内で二酸化炭素分子を励起させる。赤外光源をさえぎると、閉じ込められた光は、試料中の炭素 14 の量に依存する速度で光キャビティの中でリングダウン（減衰）する。

ば、ある二酸化炭素試料中の炭素同位体比を決定するには、気体試料中のそれぞれの炭素同位体に対応する赤外吸収スペクトルの強度を、正確に測定すればよい。幸いなことに、水蒸気や窒素などのほかの化合物と、炭素の赤外吸収スペクトルとが干渉することはない。これらの化合物の赤外スペクトルは、二酸化炭素と異なっているか、赤外遷移が“許されて”いない。つまり、赤外領域でのエネルギー遷移が量子力学によって禁じられている。

この光学的方法はすでに、炭素 12 と炭素 13 を含む二酸化炭素の炭素同位体比を決定するために用いられている[3]。しかし、炭素 14 については、含有量がごく微量であるため、測定するのが非常に難しかった。今回、Galli らは、飽和吸収キャビティリングダウン分光法[5]という超高感度の技術を使って、炭素原子全体に占める炭素 14 の比率が自然界の存在度を大きく下回る場合にも、その濃度を測定することに成功した[1]。

Galli らが使った方法[1]（図 1）では、2 枚もしくはそれ以上の数の高反射率反射鏡を用意して、光キャビティ（光共振器）を作り、その中に気体試料を置いた。光キャビティに入射した赤外光は、反射鏡の間を何度も行ったり来たりする。この結果、光の光路長が長くなり、従来の吸収実験をはるかに超える感度で、気体による赤外光吸収が検出できるようになった。

光キャビティのもう 1 つの重要な点は、赤外光源がさえぎられると、光キャビティに蓄えられた放射エネルギーがリングダウン（減衰）、つまり、時間とともに減少することだ。Galli らは、強力な赤外線レーザーを使うことで、赤外吸収に対応する二酸化炭素の振動－回転遷移を飽和させ、このリングダウン速度を、光キャビティ内の吸収物濃度に関する非常に精密な絶対尺度としたのである（この方法自体は、すでに赤外分光に関して報告されていた方法である[5]）。Galli らがリングダウン速度から得た測定結果は、約 1000 兆分の 43 の検出限界の濃度まで、試料の濃度に応じて線形に変化した。

このように優れた分解能を持つ飽和吸収キャビティリングダウン分光法は、炭素含有試料の放射性年代測定に非常に適している。それだけでなく、陽電子放射断層撮影（PET：医療分野で体の断層撮影に使われている画像撮影技術）にも応用できる可能性がある。PET では、人工放射性同位体である炭素 11（^{11}C）で標識された二酸化炭素を使うことが多い[6]。

Galli らによると、この測定装置に必要な面積は約 $2m^2$ にすぎず、典型的な加速器質量分析計の約 100 分の 1 だという。さらに、この装置の製造には約 40 万米ドル（約 3300 万円）しかかからず、これは加速器質量分析計の製造にかかる費用の数分の 1 でしかない。それでも、この赤外光技術が広く使われるためには、導入費用をさらに 5 分の 1 か 10 分の 1 程度にまで減らす必要があるとみられている。

赤外光で同位体比を測定する今回の方法は、多くの分野に応用される可能性を秘めており、まさに革新的な発明といえる。なお、質量分析では、試料のイオンは測定で中性化されてしまうので 1 度しか分析できない。一方、今回の方法は非破壊的であるため、繰り返し分析できるのも強みであろう。

今後この赤外分光法は、さらに改良が加えられ、炭素だけでなく、多くのありふれた元素の同位体比の測定にも使われるかもしれない。コスト削減が実現すれば、同位体比の測定技術は、物質の起源を決定する手段として、環境モニタリングから医療研究まで、幅広い分野で使われることになるはずだ。■

（翻訳：新庄直樹）

Richard N. Zare は、スタンフォード大学（米国）化学科に所属。

1. Galli, I. *et al. Phys. Rev. Lett.* **107**, 270802 (2011).
2. Crosson, E. R. *et al. Anal. Chem.* **74**, 2003–2007 (2002).
3. Zare, R. N. *et al. Proc. Natl Acad. Sci. USA* **106**, 10928–10932 (2009).
4. Kasyutich, V. L. & Martin, P. A. *Infrared Phys. Technol.* **55**, 60–66 (2012).
5. Giusfredi, G. *et al. Phys. Rev. Lett.* **104**, 110801 (2010).
6. Kasyutich, V., McMahon, L. A., Barnhart, T. & Martin, P. A. *Appl. Phys. B* **93**, 701–711 (2008).

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

巨大なエチゼンクラゲ（*Nemopilema nomurai*）の大発生は、日本の漁業者の悩みの種だ。

提供：読売新聞社

クラゲ大襲来

Attack of the blobs

Mark Schrope　2012年2月2日号　Vol. 482 (20–21)

クラゲの大発生は、海が病んでいるせいだ ── と警告する生物学者たちがいる。すでに手遅れなのだろうか。

昨年の夏、フロリダ東岸に命知らずのサーファーたちが集結した。沖合にはハリケーンが連なり、浜辺には次々と大波が打ち寄せていた。だが、サーファーたちは、岸に向かって迫り来るもう1つの危険な怪物は予想もしていなかった。それは、毒のとげを持つミズクラゲ。中には大きさが自転車の車輪ほどのものもあった。ゼラチンの塊のようなクラゲの群れは密度がきわめて高くなっていて、取水口が詰まる危険性が出たため、フロリダ原子力発電所が操業を一時停止したほどだった。

同じ年、フロリダに先立って、イスラエルやスコットランド、日本でも、同じようなクラゲの群れの襲来によって発電所の停止を余儀なくされている。日本近海に押し寄せた巨大なエチゼンクラゲ（*Nemopilema nomurai*）は、重さが200kgにもなるものもあり、漁業の妨げになるばかりか、船を転覆させるなど、近年この海域で被害を続出させている。さらに、チュニジアやアイルランドでは、クラゲが養魚場の魚に損害をもたらしており、地中海などでは、クラゲの群れが侵入しないよう、当局がネットを設置している。

一部の科学者や環境保全論者は、「人類が海の生態系のバランスを壊して世界中でクラゲを激増させている」と主張しており、実際、近年世界各地で増加しているクラゲの大発生は、こうした警告を裏付けているようにもみえる。（ちなみに、「クラゲ」というのは、典型的な刺胞動物のほか、有櫛動物〈クシクラゲ類〉や被嚢動物といった浮遊性生物を含めた約2000種の総称だ。）しかし、多くの海洋生物学者は、クラゲが海を支配し始めたという考え方には、懐疑的な姿勢をとっている。

今年2月、ある研究チームが、クラゲの個体数に関して、おそらくこれまでで

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

最も包括的に検討し、前段階ではあるが得られた結果を発表した[1]。それによると、世界的に増加傾向にあるクラゲの個体数に関して、現在導かれている結論は、どれも容認に至るほど十分な裏付け証拠はないという。この研究の中心となったドーフィン・アイランド海洋研究所（米国アラバマ州）の海洋学者、Robert Condon は、「今はまだ、こうした主張を行う時期ではありません。我々はこうした論理が形成された経緯を調べたのですが、実は確かなデータや徹底的な分析に基づいていなかったのです」と語る。

研究チームによれば、クラゲは研究対象としては非常にやっかいな生き物で、そのために海洋生物学者の注目を集めることがほとんどなかったのだという。クラゲの生活環や集団、自然海洋学的サイクルに対する応答に関しては、全くといってよいほどデータがないのだ。しかし、クラゲは海の健全性を表す重要な指標として利用することができるため、クラゲ研究のデータベースの構築と、クラゲの新たな追跡法の探求が進められている。

南ミシシッピ大学海洋科学科（米国ダイヤモンドヘッド）の学科長 Monty Graham も、10 年以上前にはクラゲの増加に警鐘を鳴らしていた。Graham は現在、クラゲの増加に関する理論に疑問を投げかけている。

1996 年にドーフィン・アイランド海洋研究所に加わった Graham は、米国海洋大気庁が、メキシコ湾のミズクラゲ（*Aurelia aurita*）とアトランティックシーネットル（*Chrysaora quinquecirrha*）に関して、ほとんど未解析の長期個体数データを持っていることを見つけた。そのデータはまさに掘り出し物だった。こうした長期的な記録はほとんど存在していないからだ。Graham は、1985 年から 1997 年にかけて湾内の複数の場所でこれらのクラゲの生息域が拡大して個体数が増加していることを発見し、人類が生態系に手を加えたことが原因である可能性を示唆した[2]。

似たような知見が彼の説を後押しした。数年以上の追跡記録がある海域はごく限られているが、その 1 つであるベーリング海でも、クラゲは 1990 年代に増加している。そして、それを予測していた海洋学者からは、人類が海洋環境を悪化させて生態系を変化させているせいで、大型の魚類が減り食物網下位の生物が増えている、という警告が発せられた[3,4]。一方で、その恩恵を受けているのは、藻類や有毒のプランクトン、それにクラゲだろう。いわば、海がヌルヌルドロドロになろうとしているのだ。

寄せては返す

海洋環境の悪化とクラゲとの関係は、生物学的にありうる話だ。海洋の富栄養化はクラゲへの食物供給量を増加させ、魚の獲り過ぎはクラゲの生存競争相手を減少させる。また、ある種のクラゲでは海水温の上昇が生殖の引き金になると考えられている。

論文発表でヌルヌルドロドロ説が勢力を拡大する中で、メキシコ湾では奇妙な現象が発生していた。1997 年以降、湾北部のクラゲが数年にわたって減少し、その後増加に転じたことを、Graham 研究室の大学院生 Kelly Robinson が発見したのだ（2 月 2 日現在、その研究成果は発表されていない）。

2011 年にはイスラエルの発電所がクラゲの被害を受けた。写真は取水口に引っかかるクラゲ。

J. GUEZ/AFP/GETTY

やがて、メキシコ湾やベーリング海のクラゲを調査している研究者は、長期的な自然の気候サイクルがクラゲの個体数の制御に重要な役割を担っている、と考えるに至った。今では Graham も、「クラゲをたくさん見たって何もわかりませんよ」と話す。「皆、『なんていうことだ！世界はもう終わりだ！』と言いますが、クラゲは真っ盛りです。繁栄するべくして繁栄しているのです」。研究で難しいのは、正常な変動と人間に責任がある変動とを区別することだ。

Graham をはじめとする研究者は、研究を後戻りさせることにした。2009 年、カリフォルニア大学サンタバーバラ校生態学分析総合センター（米国）は、Graham、Condon、および地中海高等研究所（スペイン・マリョルカ）の海洋生態学者 Carlos Duarte に資金を提供して作業グループを設立させた。数十人の研究者が参加するこの作業グループは、クラゲに関する世界中の科学的データをすべてまとめあげた。さらに、予備調査を行い、世界的にクラゲが増えているという結果を支持することはできない、と結論付けた[1]。その理由は、綿密な監視が行われている海域はわずかしかなく、その海域でさえデータが十分でないためだ。

クラゲが多くの研究者たちに見向きもされてこなかったのは、取り扱いがあまりにも大変だということが一因だった。普通の網ではクラゲをずたずたに引き裂いてしまうため、無傷でクラゲを集めるには思い切った手段が必要なのだ。また、広島大学の海洋生態学者、上真一（うえしんいち）によれば、大相撲の力士よりも重いクラゲすらおり、小さな調査用ボートが転覆しないよう注意深く操作して、ようやく標本が 1 体、手に入るのだという。

さらに困ったことに、クラゲの仲間の多くは生活環が複雑だ。ミズクラゲをはじめ、いくつかの種は、有性生殖で生じた幼生が海底に根付き、イソギンチャクのようなポリプという姿になる。条件がそろうとポリプは芽を出し、1 つのポリプから浮遊性のクラゲ 20 体が作られる。

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

一方、条件が合わなければ、ポリプはポリプのまま数を増すか、さもなければ悪環境や環境変化に強いシストを形成し休眠状態になる。やがて環境が好転すると、ポリプは満を持してクラゲの大群を送り出すため、どこからともなくクラゲが侵略してきたかのように見えるのだろう。

ワシントン大学フライデーハーバー研究所（米国）でクラゲを研究しているClaudia Millsによれば、一握りの例外を除き、巨大クラゲの大発生をもたらすポリプのコロニーは「実に発見しづらい」のだという。Millsは、上述のクラゲ増加に関する理論の検討グループの一員であり、地球規模の大発生の可能性を調べたさきがけの1人だ。Millsによれば、大発生の引き金は季節的な温度変化と結びついているといい、海水温上昇がクラゲの個体数の急激な増加の原因である可能性があると発表している[5]。

一方で、クラゲの爆発的発生という考え方に疑問を投げかけている研究者の多くは、大発生が常態化してきている可能性や、少なくとも部分的には人間のせいである可能性も排除できないと考えている[6]。例えば日本では、長期的な記録から、2000年以前には40年程度の間隔でしか大発生が起こっていなかったと考えられるが、今ではほとんど毎年のように生じている[7]。さらに、大発生の源と考えられている中国近海では、水産資源の乱獲によってエチゼンクラゲの主な生存競争相手が著しく減少している。

だがそれ以外では、傾向がはっきりしないことが多い。そこで、作業グループの研究者たちは、2010年にクラゲデータベースイニシアチブ（JEDI）を発足させ、クラゲに関するあらんかぎりの科学的記録をかき集めて、そのリソースを継続的に拡張しようと試みている。また、一部の研究者は、一般からの力も借りようとしている。モンテレー湾水族館研究所（米国カリフォルニア州）が開設したJellywatch.orgというウェブサイトは、研究者と市民がクラゲの目撃情報を報告し、JEDIのデータベースの充実に貢献できる。政府間の地中海科学委員会（モナコ）も、関係海域で同様の活動を開始した。

隠されたデータ

長期的な研究は行われていないが、重要な問題の一部に関しては答えられるだけの証拠があると考えている研究者もいる。ブリティッシュ・コロンビア大学（カナダ・バンクーバー）で漁業生物学を研究する大学院生のLucas Brotzと指導教官のDaniel Paulyは、地元の人たちや研究者のインタビューといった、1950年以降の大発生パターンに関するマスコミ報道やその他の非科学的データを分析した。Brotzらは、情報量と情報の信頼性を組み合わせるランキングシステムというファジー論理を利用して、研究には理想的とはいえないデータセットに見られる傾向を明らかにした。その結果、検討の対象とした45海域のうち31海域で、クラゲが増加していた。「我々のデータからも明らかに、マスメディアによる報道や未確認の混沌としたあやふやな情報は、実は科学的データと突き合わせることが可能で、本当にクラゲが増加しているのかどうかを確かめることができるのです」と、Paulyは胸を張る。この手法については、Grahamやほかの研究者たちも高く評価はしているが、やはりそうした情報は適切でないと主張する。

今年2月、クラゲ増加の検証チームは、JEDIの全データベースの分析を開始した。これは、研究者が漁業者と協力してクラゲの集団を監視しているペルーや日本などで、活動が進展していることに触発されたものだ。しかし、それでも研究者たちは、地球全体の状況を把握するためには、さらに多くの監視活動を開始させる必要がある、と警告する。

こうした活動が実施されれば、研究者たちはクラゲの包括的なデータセットを利用して、海がどのように変化しているのかを明らかにすることができるだろう。クラゲは、これまで人間がほとんど相手にしてこなかったため、環境の理想的な指標になる、とGrahamは語る。「クラゲは海、そして海の健全性の偉大なる証人なのです」。■

（翻訳：小林盛方）

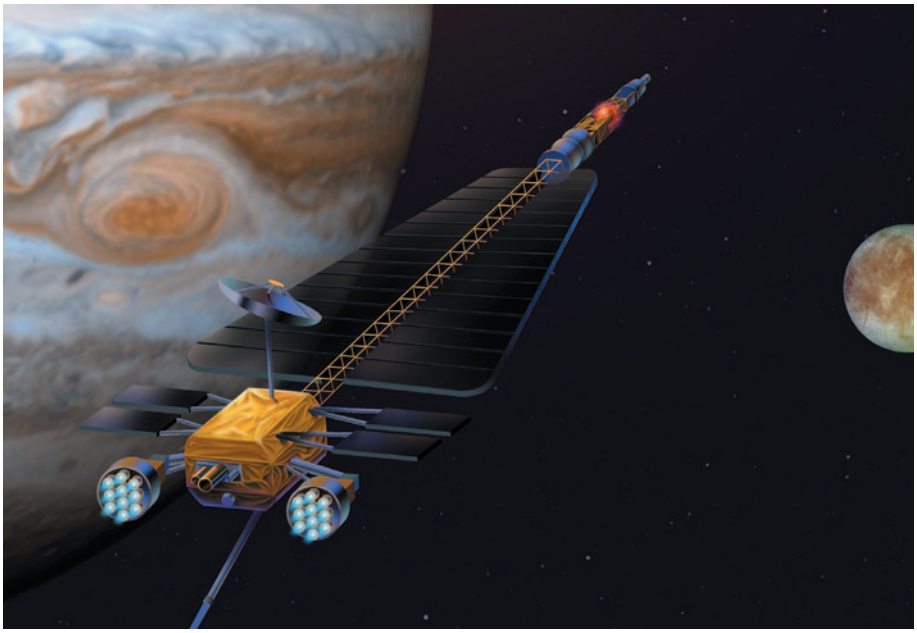
ISTOCKPHOTO

単独や少数では、とても幻想的で美しさえも思えるミズクラゲ。だが、その体には毒を持つトゲがある。近年、日本近海でも大発生が見られ、漁業者を刺したり、漁網を破損したりなどの被害が出ている。

Mark Schropeは米国フロリダ州メルボルン在住のフリーランスライター。

1. Condon, R. H. *et al. BioScience* **62**, 160–169 (2012).
2. Graham, W. M. *Hydrobiologia* **451**, 97–111 (2001).
3. Pauly, D., Christensen, V., Dalsgaard, J., Froese, R. & Torres, F. Jr *Science* **279**, 860–863 (1998).
4. Jackson, J. B. C. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **105**, 11458–11465 (2008).
5. Mills, C. E. *Hydrobiologia* **451**, 55–68 (2001).
6. Purcell, J. E. *Annu. Rev. Mar. Sci.* **4**, 209–235 (2012).
7. Uye, S. *Plankton Benthos Res.* **3**, S125–S131 (2008).

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.



NASA/JPL

木星の大きな氷衛星を探査するNASAのミッション「プロメテウス計画」は、2006年に中止になってしまった。この計画では、原子炉による発電が採用される予定になっていた。

NASAが本命視する原子力宇宙船

Fission power back on NASA's agenda

ERIC HAND 2012年2月9日号 Vol. 482 (141)

米国学術研究会議は、NASAが優先すべき宇宙技術開発分野について報告書を作成し、原子力宇宙船の実現を最優先課題の1つとした。

Michael Houtsは、宇宙飛行士を原子炉に乗せて火星に行かせたいと考えている。彼は、少量のウラン235（そのエネルギー密度は、液体ロケット燃料の100万倍にもなる）の核分裂により生成する熱で、軽量の水素推進剤を加熱・噴射させると、効率のよい動力源ができると確信している。NASAのマーシャル宇宙飛行センター（米国アラバマ州ハンツビル）の原子力研究部長であるHoutsは、宇宙での原子力発電や原子力推進の可能性にゆるぎない信頼を寄せているが、その技術開発のための資金提供に関しては、一貫性を持って進めてくることができなかった。

彼が率いる原子力推進プロジェクトは、今年は300万ドル(約2億5000万円)の予算を獲得したが、これは、NASAが2012会計年度に宇宙技術の研究開発に費やす13億ドル（約1100億円）に比べれば微々たる金額だ。「時々、研究資金がゼロになることもありました。そんなときには、チームも研究の勢いもなくなってしまうのです」とHoutsは言う。

2012年2月1日に米国学術研究会議が発表した報告書『宇宙技術のロードマップと優先事項』は、こんなHoutsの運命を一変させる可能性がある。この報告書は、技術コミュニティーがNASAの宇宙技術部門の優先事項を決定する初めての試みとして作成された。報告書作成委員会は、1年を費やして産業界と学界の両方の意見をとりまとめ、320の候補の中から16の最も重要な技術開発分野を選び出し、優先順位をつけた。そして、原子力発電と原子力推進が、このリストの上位に入ったのである。「宇宙探査のあり方が、すっかり変わってしまうでしょう」と、報告書作成委員会の委員長であり、ロッキード・マーチン・アストロノーティクス社（米国コロラド州デンバー）の前社長であるRaymond Colladayは言う。

報告書作成委員会が、原子力より高い優先順位をつけた技術もある。例えば、宇宙望遠鏡を使って太陽系外惑星を探す場合に、遠方の恒星の光をさえぎって、その周囲をまわる惑星のかすかな光をとらえられるようにするスターシェード（「日よけ」ならぬ「恒星光よけ」）やコロナグラフの開発だ。また、長期間にわたってミッションに従事する宇宙飛行士を自然放射線から保護する方法の開発も優先事項とされた。

その一方で、報告書作成委員会は、「小型核分裂炉が、有人・無人の太陽系探査に革命を起こすだろう」と予想しているのだ。原子炉は、惑星表面で長期にわたって続ける実験に電力を供給するだけではない。太陽系外縁部へのミッションでは、太陽からの距離が遠すぎて、最も効率のよい太陽電池をもってしても十分な電力を供給することはできない。そんな場合でも、この技術であれば、電力を十分に供給することができるのだ。

有人宇宙探査が始まれば、原子力推進システムは、小惑星や火星への数年にわたる旅に欠かすことのできないものとなるはずだ。原子炉の効率は化学燃料の2倍もあるため、原子力宇宙船は、宇宙飛行士をより遠くまで連れていけるだけでなく、これまでにない高速で進むことも可能になるからだ（『各種の動力源の比較』参照）。これによって、宇宙飛行士が曝露される宇宙線量を減らすこともできる。

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

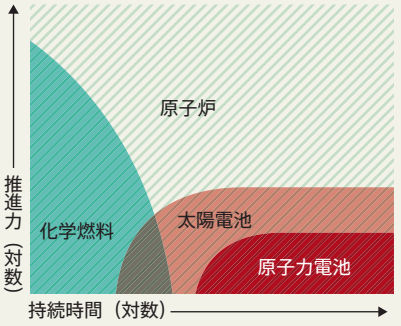
NASA の主任技術者である Mason Peck は、将来、資金配分を決定する際に、この優先事項リストを指針として使うつもりであると言う。しかし、原子力宇宙船の開発には、資金だけでなく政治的意思も必要だ。原子力宇宙船が発射台の上や軌道にのる途中で爆発したらどうなるかという不安は、その開発を強く引きとめている。Houts は、原子炉はシステムが軌道にのってから始動するため、万が一事故が発生した場合にも、放射性物質が地球を汚染するおそれは無視できるほど小さいと主張する。

にもかかわらず、この技術を実証しようとする過去の試みは、いずれもつまずいている。2003 年には、NASA が木星探査機に原子炉を搭載して、その電力でイオンエンジンを駆動する「プロメテウス計画」に着手した。このプロジェクトは、2005 年には 4 億 3000 万ドルもの資金提供を受けたが、その 1 年後に NASA の方針が変わって月への有人飛行が優先されることになり、中止になってしまった。目的地が月であれば、原子力推進など必要ないからだ。

プロメテウス計画は消滅したが、この研究が基礎となって、現在、新しい原子力電池（核分裂を利用せず、プルトニウムの崩壊により自然に発生する熱を利用して発電を行う装置）という形で実を結んでいる。先進スターリング原子力電池（ASRG）は、従来のスターリング原子力電池よりも軽量で、効率もよい。宇宙技術報告書は、この技術が「転換点」になるとする見解を示している。ASRG は、飛行試験を行う準備がほぼできている。NASA は現在、ASRG を利用するミッションを 2 つ提案している。1 つは、土星の衛星タイタンの炭化水素の海をボートで探査するミッションで、もう 1 つは、彗星から彗星へと飛び移るミッションである。

各種の動力源の比較

現在あるロケット推進システムのうち、推進力が大きく、かつ持続時間が長いのは、原子炉を動力源とするものだけである。



SOURCE: IAEA

Houts は、放射性同位体をこれらのミッションの動力源に用いることは、政治的には大して問題にならないだろうと考えている。1997 年に初期の原子力電池を搭載したカッシーニ - ホイヘンス土星探査機が打ち上げられたときは激しい論争が起きたが、今日では状況は全く違っている。Houts が学術的な講演を行うとき、まず最初に、「NASA が 2011 年 11 月に打ち上げたマーズ・サイエンス・ラボラトリー（火星に巨大なローバーを送り込むミッション）に、プルトニウムが搭載されていることを知っていましたか」という質問から始めることが多い。聴衆の約半数は、知らなかったと言う。「こんな言い方をするとおかしいかもしれませんが、私にとってはよい知らせです」と Houts は言う。「原子力電池が当たり前の技術になろうとしている、と感じ取ることができるからです」。■

（翻訳：三枝小夜子）

思慮に欠ける日本の研究所統廃合計画

Japan plans to merge major science bodies

冬野 いち子　2012 年 2 月 2 日号　Vol. 482 (19)

研究開発系独立行政法人の統廃合計画は、
支出削減はかけ声だけで、改革の意味さえ明確ではない。
屋上屋を架すで官僚主義が助長され、研究の質が低下するおそれがある。

景気低迷に苦しむ日本政府が、研究開発制度を抜本的に改革して経費節減を進めるという名目のもと、日本屈指の研究機関を一緒くたに統合しようとしている。

1 月 20 日の閣議で了承された計画によれば、基礎科学技術に関する総合研究所である理化学研究所、物質・材料研究機構（NIMS）、海洋研究開発機構（JAMSTEC）、防災科学技術研究所（NIED）、それに、公的研究資金を配分する科学技術振興機構（JST）などを統合するという。

「支出のむだは削っていかなければなりませんので、できるだけコンパクトにしながら中身を重視する必要があります。世界をリードする科学技術分野を確立したい。そんな期待からこのような結論になりました」。文部科学省の奥村（おくむら）展三（てんぞう）副大臣は、1 月下旬に行われた記者会見でこう語った。今後、これら 5 つの研究機関を 1 つの傘下に入れて統括管理する組織が新設される可能性が高く、5 機関の間で研究資源と管理組織の共同利用が促進され、役員数は削減されることが予想される。

しかし、これはあくまでも机上の政治論理にすぎない。統廃合の実施時期、経

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

費節減の規模、改革の真の意味といった詳細情報が完全に欠如しており、逆に、研究資金の大幅削減や官僚主義の肥大という「改悪」に大義名分を与えてしまう危険性のほうが高い。憂慮の念が研究者の間に広まっている。

日本の科学技術政策の最高決定機関である総合科学技術会議の元議員で、京都大学に所属する分子生物学者の本庶佑（ほんじょたすく）名誉教授は、次のように語る。「この計画は、研究開発体制をよくしようという視点から出てきたものではないと思います。統合の候補となっている研究機関の組み合わせから見て、本質的に統合するのは非常に難しいのでは……」。

これに対して、科学技術振興機構の中村道治（なかむらみちはる）理事長は、今回の変革を楽観視している。「新たに生まれる組織は、日本でのイノベーションを主導するうえで中心的な役割を果たすことが期待されています。我々は、統合後の研究資金配分過程の独立性を維持する一方、学界や産業界との協力関係を強化するためにできるかぎりの努力をしていきます」と彼は話す。

今回の計画には、5法人統合とは別に、放射線医学総合研究所（NIRS）と日本原子力研究開発機構の統合も含まれている。日本政府は、これによって、福島原発事故の影響を軽減するという政府公約の実行が迅速化、強化され、原子力安全対策の改善にも役立つとする見解を示している。

民主党が政権を奪取した2009年以降、首相を議長とする行政刷新会議（GRU）は、予算に目を光らせ、政府系事業と政府系機関の再評価によって予算節減の余地を検討してきた（*Nature* http://doi.org/bs75dv; 2010参照）。しかし、歳出削減は思うように進まず、それでも増税を断行したい日本政府が、独立行政法人の統廃合の一環として今回の統廃合計画を持ち出し、国民の支持を得ようとしたふしがある。

「行政刷新会議で統廃合の話が出てきたのはここ1か月くらいで、ほとんど議論もせずに計画を押し通したのです」。こう明かすのは、科学政策の専門家で、政策研究大学院大学（東京都）の角南篤（すなみあつし）准教授だ。統廃合を実施するための法案は、今期の通常国会に提出され、議会で可決されれば、2014年4月にも統廃合が実施される予定だ。今後の国会での議論次第では、統廃合計画の対象機関が増える可能性もある、と複数の政策専門家は話している。

JIJI PRESS/AFP/GETTY IMAGES

世界最速のスーパーコンピューター（上）を運営する理化学研究所も、新たに作られる機関の監督を受けるようになるかもしれない。

日本政府は、独立行政法人の管理体制と業績の評価をさらに厳格に行うため、第三者機関による監査制度の創設も意図している。しかし、物質・材料研究機構の潮田資勝（うしおだすけかつ）理事長は、ガバナンスの強化という発想全体に危惧を感じている。「現在、物質・材料研究機構の理事長には、十分な権限が与えられていて、意思決定のプロセスは迅速に進められています。理事会の直後に新たな施策が実行されることも多くなっています。しかし、もし既存の機関の上に新たな管理組織が加わるとなると、意思決定が遅くなり、ダイナミックな対応をとることが難しくなると思います」。■

（翻訳：菊川 要）

nature
climate chang

SCIENCE
POLITICS
SOCIETY
ECONOMICS

Nature Climate Change は
気候変動がもたらす全球的な
影響についてだけではなく
経済や政策、そして世界全体に
どう関わるかについても
取り上げます。

naturejpn.com/nclimate

npg nature asia-pacific

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

シナプスの活動を一括して調べることで、神経回路の緻密な配線メカニズムに迫る！

言語、記憶、感情などの高次機能を発揮する脳の回路。その回路を構成する膨大な神経細胞は、混線やロスなく確実に情報をやりとりするとみられている。高精度な配線と回路編成は、いったいどのようにして行われるのか。東京大学大学院薬学研究科の池谷裕二准教授は、シナプス活動を一斉に観察できる手法を開発し、その解析により、緻密な回路編成の仕組みの一端を明らかにした。

池谷 裕二

―― Nature ダイジェスト：脳神経系の回路に興味を持たれたきっかけは？

池谷：大学院の修士課程までは、古典的な電気生理学の手法で研究していました。神経細胞に電極を刺し、シナプス電位や活動電位を記録する、というものです。これだと、電極を刺した細胞についてはよくわかるのですが、脳全体のことはいっこうにわかりません。しだいに、脳回路全体の活動を記録し、シンフォニーとして理解したいと考えるようになりました。

そこで、2002 年にコロンビア大のラファエロ・ユステ准教授のラボに留学しました。ユステ准教授はイメージング研究の第一人者で、神経細胞の活動を一括して記録しようと試みていました。脳のスライス標本に蛍光色素を取り込ませ、神経細胞の振る舞いを一気に記録するというものです。私は留学先で手法の改良を試み、帰国後も同じ研究を続けました。

入出力端子が 1 万個もある神経細胞素子

―― そもそも脳神経系の回路はどのようなものでしょうか？

脳回路は「複数の神経細胞による情報のやりとり」です。実際には、1 つの神経細胞が複数の部分回路に組み込まれ、脳機能を兼担しています。1 つの神経細胞は、約 1 万個の上流の神経細胞から入力を受けており、自らもまた約 1 万の下流の神経細胞に情報を出力します。つまり、神経細胞どうしのつなぎめ（シナプス）が、入力用に 1 万個、出力用に 1 万個あるわけです。個々の神経細胞は、それぞれが膨大な情報を集積し、その演算結果を分配する素子といえます。神経細胞においては、入力用の神経線維を「樹状突起」、シナプスにある受信機を「スパイン」と呼びます。出力用の神経線維は「軸索」、送信パーツは「シナプス終末」といいます。

―― 樹状突起からの情報入力に注目されたのですね。

はい。樹状突起はその名前のとおり、大樹のように枝分かれしています。古典的な理解では、「樹状突起の枝上の点（スパイン）で集められた情報が細胞体で統合され、ある一定以上の強い情報が集積したときに、軸索に向けて強い信号（スパイク）を送り、出力する」とされていました。ところが、1990 年代後半に、樹状突起の一部に強い電流を注入すると、出力には結びつかない「局所的スパイク」が観察されることがわかりました。一方で、局所的スパイクは人工的に不自然な状態だから生じたのだという見方も少なくありませんでした。そこで私は、自然な状態で局所的スパイクが生み出すような大きなシナプス入力が本当にあるのかを検証しようと考えて、スパインへの入力のようすを観察することにしました。

―― イメージング手法も独自に開発されたのですか？

既存の「カルシウムイメージング法」に独自の改良を加えました。カルシウムイメージング法は、神経細胞が情報を出力したときに上昇するカルシウムイオンを光でとらえる手法で、広く使われています。これを出力ではなくて、入力（つまり、スパインのカルシウムをとらえる）へ応用しようと考えたわけです。ただし、問題もありました。強いレーザー光を当てるために、観察中に神経線維が痛んでしまうのです。試行錯誤の末、光の毒性を下げるために抗酸化剤を適用しながら、照射するレーザーを可能なかぎり小さくするとともに、微弱な光を着実にとらえる超高感度な CCD カメラを用いることにし、「大規模スパインイメージング法」を開発することができました[1]。

用いる試料も工夫しました。通常、脳を数百 μm の厚さに切った脳スライスを用いるのですが、これでは神経線維は切れてしまっています。そこでスライスのまま培養することにしました。すると神経線維が伸びてつながり、再び回路を作るようになります。こうして「数万個の神経細胞からなる回路（マイクロサーキット）」を構築させたうえで大規模スパインイメージングを行ったのです。こうすると、スパインへ情報が入力された際に入力部位が光り、そのようすを回路全体で観察できます。この手法は、これまで可能だった同時観測数を一気に 2 桁も増やすことになり、世界に大きなインパクトを与えました。

クラスター入力は LTP を介して形成

―― 樹状突起の入力はどうなっていたのでしょう？

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

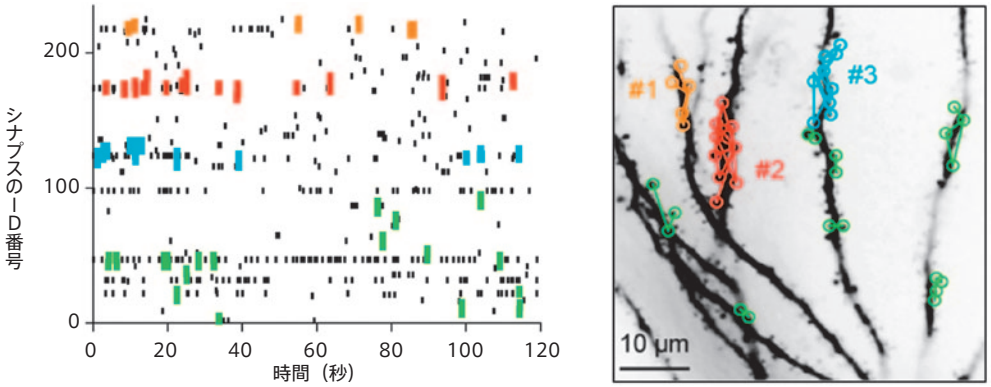


図 1　大規模スパインイメージング法で得られた、樹状突起への情報入力データ（右）。シナプスの位置を 3 次元に再構築したところ、近傍のシナプスが同期して活動していることがわかった（左）。

ラット由来の脳スライスを対象に、前述のようなマイクロサーキットを構築し、海馬の神経細胞の樹状突起からの入力についてイメージングしてみたところ、確かに、複数のスパインから同時に情報が入り、局所的に大きな入力が起きていることがわかりました。8μm 以内の近傍のスパインがグループ化し、同期して蛍光を発していたのです[1]。その後、脳スライスではなく、成体のマウスの大脳皮質でも同じように近傍のスパインが同調していることが、東京大学大学院医学系研究科の喜多村和郎准教授との共同研究で確認できましたので、局所同期のルールには普遍性があることがわかりました。そこで私たちはこの現象を「クラスター入力」と呼ぶことにしました。

―― クラスター入力はどのようにもたらされるのでしょうか？

まず、神経細胞のグループ化は遺伝的に決まっているわけではなく、あるルールのもとに自然と起きる自己組織化現象だと考えました。生物における自己組織化の例としては、シマウマの模様などが知られています。

次に、複数の情報をまとめる際に、互いに近い場所へ集まる入力のほうが安定化するだろうと考えました。つまり、複数の神経細胞がランダムに活動し、その情報がスパインにランダムに送られたとしても、「たまたま近傍で同時に入力された情報が好んで選択され、ほかが削除されるような機構」があれば、自然にクラスター入力が生まれるのではないかと考えたのです。そこで目をつけたのが「長期増強（LTP）」という現象です。記憶や学習においては、特定の神経細胞どうしの情報伝達が長期にわたって高いレベルで維持される LTP が重要だとされていますが、クラスター入力は LTP を介して形成されるのではないかと仮説を立てました。

状況証拠として、記憶や学習が進行していない「生まれたばかりのラット」では、クラスター入力が観察されないという事実がありました。そこで、誕生まもないラットの海馬スライスを、特殊な薬剤を与えて LTP が起きないようにしたところ、予想どおり、成体になってもクラスター入力がないままであることがわかりました[1]。さらに、京都大学（次世代研究者育成センター白眉プロジェクト）の松尾直毅准教授に、「LTP が起きたスパインを光らせてラベルできる遺伝子改変マウス」を供与いただき、マウスが学習した後の海馬を調べたところ、やはり近傍のシナプスで LTP が起きやすいことがわかりました。つまり、学習をすると、LTP によってクラスター入力が効率よく作られるのだと推測できたわけです。

脳回路が疾患・障害に関与する？

――クラスター入力は、脳神経系の疾患や障害にも関与しているのでしょうか？

検証はこれからですが、可能性は大きいと考えています。実際、ある種の精神遅滞がスパインの形成異常と関与しているとの報告がなされています。また、初期の認知症は MRI などの画像診断では目立った異常が検出できないことがあるのですが、もしかしたらクラスター入力などのミクロレベルで変化が始まっているのかもしれません。将来は、創薬や診断、教育などにもつながる研究へと展開できれば嬉しいです。

―― 最後に、今後の目標や課題についてお話しください。

私は、今やっている研究から次のインスピレーションを得るタイプのようです。最近は、「神経細胞、血管、グリア細胞の三者が一体となって脳機能を作り出しているようだ」との感触を得ていて、それぞれの回路が独自に機能しつつもゆるく作用し合う仕組みを解析したいと考えています。最終的には、「脳回路学」と呼べる新学問を確立できたら嬉しいです。

―― 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. Takahashi *et al. Science* **335**:353-356 (2012)

AUTHOR PROFILE

池谷裕二（いけがや・ゆうじ）
東京大学大学院薬学系研究科 薬品作用学教室准教授。1993 年 3 月に東京大学薬学部卒業、1998 年 3 月に薬学博士を取得。その後、大学院薬学系研究科の助手、講師を経て、2007 年 8 月より現職。途中、2002 年 12 月から 2005 年 3 月までコロンビア大学生物科学部門に留学。

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

R. KRISHNAN/S. LINDQUIST

異端を正統に変えた女性科学者

Outside the fold

Bijal P. Trivedi

2012年2月16日号　Vol. 482 (294–296)

折りたたみ方を誤ったタンパク質は、疾患発症の原因となる。
それはまた、進化の推進力となる場合もある。
Susan Lindquist のこうした考え方は、まさに既存の常識に挑戦するものだった。
彼女の挑戦は続き、それに対する批判もやまない。

1992年の冬のある冷え込んだ日、当時シカゴ大学（米国イリノイ州）で生物学を研究していたSusan Lindquistは、抗がん剤に関する新しいアイデアについて相談するため、雪の中を歩いて大学キャンパス内の知的財産課に向かった。彼女が研究していたHsp90というタンパク質は、誤って折りたたまれた別のタンパク質を、正しい立体構造に戻すよう介添え役を務める分子である。ところがHsp90は、この能力を、腫瘍細胞の折りたたみ異常のある変異タンパク質にも発揮してしまい、異常タンパク質を活性化させて、がんの進行を助けてしまうのだ。そこでLindquistは、Hsp90を阻害すれば、がんを阻止できるのではないかと考えた。

しかし、酵母の実験に基づくLindquistのアイデアは、応対に出た知的財産課の担当者から「ばかげている」と一蹴されてしまった。彼女はその「あざ笑うような言い方」を今も忘れられない。「それは、私が研究職に就いてから経験した中で最も侮辱的な言葉の1つでした」。これが一因で、彼女はHsp90に関するがん研究を10年間にわたって封印することになる。ところが現在、10社を超える製薬会社が、このタンパク質の阻害剤をがん治療薬として研究開発中なのだ。今なら、こんな不当な扱いは受けずにすむはずだ。

Lindquistの過去20年にわたる研究は、進化、遺伝、そして地味でちっぽけな酵母について、常に既成の常識に挑戦するものだった。彼女の努力もあって、「プリオン」と呼ばれる感染性の折りたたみ異常タンパク質が酵母で遺伝の法則を覆すことや、この酵母プリオンをヒト疾患のモデル作製に使えることが明らかになった。彼女はまた、封印されていた変異を解放することで、生物が飛躍的に進化する仕組みを提案した。有名なホワイトヘッド生物医学研究所（マサチューセッツ州ケンブリッジ）の初めての女性所長となり、過去5年の間に10個余りの賞や勲章を受けている。*Nature* 2012年2月16日号に掲載された論文では、彼女の研究チームは、野生酵母のプリオンが、劣悪条件下での生存や薬剤耐性などにおいて、具体的な利益をもたらしていることを明らかにした[1]。

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

SAM OGDEN FOR *NATURE*

Susan Lindquist の研究は、「熱ショック」に応答して作られるタンパク質から始まり、そこから広く大きく展開した。

Lindquist に驚かされるのは、これだけ異論の多いテーマに自信を持って取り組んでいるにもかかわらず、批判に対しては敏感なところだ。シカゴ大学の知的財産課でアイデアを拒否されたときに味わった痛みは、もう薄れたはずだ。そうではなく、彼女は今、現在の科学研究において、彼女が無礼だと思うことが増えつつあることを、悲しく思っているのだ。それは、一種の卑劣さであり、彼女はそれを、科学の進歩を脅かすものだと見ている。「今、研究の世界はますます品性下劣になり、競争が行きすぎて殺伐としていると思います」と彼女は言う。

熱ショックタンパク質の虜に

Lindquist は 1971 年に、ハーバード大学（マサチューセッツ州ケンブリッジ）の Matthew Meselson 研究室で研究生活をスタートさせた。Meselson は、遺伝子情報が複製されて継承される仕組みの解明に尽力したことで知られる生化学者である。「彼はすばらしい科学者でした」と Lindquist は言うが、彼女が研究生活に入った頃、Meselson は時間のほとんどを連邦政府の生物兵器禁止法案のロビー活動に費やしていた。「そのため、彼は全く研究室に来ませんでした」。

彼女は、研究初期の日々に指導教官がいないことで、強いストレスを感じた。「その状態が恐ろしく、辞めそうになったことも 2、3 度ありました」と彼女は話す。Lindquist は事実上 1 人で研究し、当時何人かが調べていた「熱ショック応答」と呼ばれる不思議な現象を探ろうと決心した。ショウジョウバエの幼虫を高温下に置くと、その染色体の特定領域が膨らむようにほどけ、それらの部位にある遺伝子から RNA が盛んに生成される。Lindquist は、培養したショウジョウバエの細胞を高温にすると、熱からの保護のために Hsp90 などの熱ショックタンパク質を作り出す緊急応答を引き起こせることを示した[2]。この研究は、彼女の PhD 取得につながり、最終的に研究業績の大枠を形作ることになる。

Lindquist がこのデータを公表すると、「大勢の人が、こんなのはナンセンスだと言いました」と彼女は打ち明ける。同じ分野の研究者たちは、熱でタンパク質が変性した人為的な結果にすぎないとして、この知見に取り合わなかった。研究成果が掲載されたのは一流の学術誌だったが、こうした批判が出たことで Lindquist はショックを受けた。彼女の当時の研究室仲間であり共同研究者で、親しい友人でもあった Steven Henikoff（現在はワシントン州シアトルのフレッド・ハッチンソンがん研究センターに在籍）は、「まともな人間は、この分野で

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

は生き残っていけないのではないか」と思ったという。

取得したてのPhDを携え、Lindquistは1976年にシカゴ大学で博士研究員となった。その2年後、同大学は彼女に終身在職資格（テニュア）コースに乗る地位を与えた。Lindquistは酵母の熱ショックタンパク質に関心を持つようになったが、その理由の一部は、彼女にとっては酵母のほうがショウジョウバエより遺伝子操作が簡単にできたからだ。教室員の1人は、テニュアを得るまでは研究対象の生物を変えないほうがよい、と忠告してくれたが、Lindquistはその助言を無視した。どっちみちテニュアを得るチャンスはほとんどないと考えていたからだ。「当時、女性が科学分野でテニュアを得るのは、ものすごく難しかったのです」。そこで、自分が最もミステリアスで魅力的だと感じるテーマを追求することにしたのだった。

最近の若手研究者には、こうした思い切りのよさを欠く人が少なくない、とLindquistは嘆く。彼女は学生や博士研究員を説得して、リスクのある研究をさせようと四苦八苦してきた。ところが、そうすることを決意した彼らを、なんと研究室の仲間がばかにしていたのだ。「それを知ったときはショックを受けました」とLindquistは言う。彼女自身、自分が間違っているのではないか、と常に考え続けてきた。そして、そうしたおそれが何度も何度も実験を繰り返すことにつながった。しかし、「新しいアイデアを追いかけることについては、心配などしたことはありませんでしたから……」と言う。

Lindquistが発展させた新しいアイデアは、ほとんどが抵抗に遭った。1993年の後半に、Hsp104という熱ショックタンパク質がタンパク質の凝集塊を解きほぐして分解する可能性を提案したとき、*Nature*は最初、その論文を却下した。大多数の人が、彼女のアイデアはばかげたものだと攻撃したという。「この内容について私が話をしたとき、懐疑的な人から全く信じない人まで、反応はさまざまでした」。この研究は結局、翌年になって*Nature*に受理・発表されることになる[3]。

いったん却下された論文原稿を見ていたとき、当時イリノイ大学シカゴ校のSusan Liebman研究室にいたポスドクのYury Chernoffから電話が入った。それは、酵母の一部の株に見られる奇妙な色に、Hsp104が影響することを見つけたという知らせだった。1965年、英国のリバプール大学にいた遺伝学者Brian Coxが、［*PSI*$^+$］と呼ばれるこの酵母の色の形質を最初に報告していた[4]。酵母の白い株と赤い株とを交配した場合、従来の遺伝学理論では、その子孫は赤と白の株の両方が入り交じるはずだが、実際には白い株しかできないことにCoxは気付いた。1つの仮説は、この色の形質が、遺伝子によってではなく、自己複製する病原性プリオンのように働く「折りたたみ異常タンパク質」によって継承されていく、というものだった。病原性プリオンは、クロイツフェルト・ヤコブ病などの致死的な神経疾患を引き起こすことが知られている。

酵母プリオンの研究を開拓

プリオンは集合して長い「アミロイド」繊維を形成する。LindquistはChernoffとともに研究を進め、Hsp104がSup35というタンパク質からなる繊維をばらばらにすることで、酵母の［*PSI*$^+$］形質を制御する仕組みを明らかにした[5]。これらのSup35繊維の短い断片が娘細胞に受け継がれ、これが鋳型となってさらにSup35繊維が形成されるのだ。Lindquistは、「酵母のプリオンが親細胞から娘細胞へと受け渡されるようすは、まるで魔法を見ているようでした」と話す。しかも、この研究結果は、単純な酵母細胞が、ヒト神経変性疾患を起こすプリオンタンパク質の研究に使える可能性を示していた。しかし、この新しいアイデアもまた、容易には受け入れられなかった。

その後15年にわたって、Lindquistは酵母プリオンの研究を充実・展開させてきた。現在、学術誌*Prion*の編集長を務め、ジョージア工科大学（アトランタ）を研究拠点にするChernoffは、酵母プリオンの研究に現在使われている生化学技術や分子的手法の多くはLindquistが開拓したものだ、と指摘する。そして、異論の多い彼女の仮説もまた、この研究分野を前進させる議論のきっかけとなり、新しい実験の誘い水になったという。例えばLindquistは、酵母プリオンが広く存在していて、水溶性の活性状態と繊維状の不活性状態の間を行き来できるため、場合によっては研究に役に立つのではないかと示唆したのだ[6]。

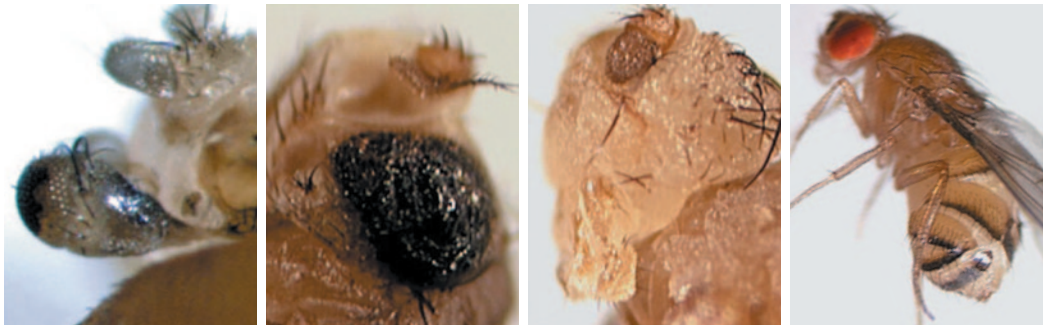
大方の研究者は、Lindquistが観察した酵母プリオンは、強制的な実験培養技術によってタンパク質を不自然な方法で人工的に作り出したものにすぎない、と見なした。しかし、Lindquistは最も新しい論文[1]で、調べた700ほどの酵母株のうちの約3分の1に、プリオンが存在することを明らかにした。そのうちのほぼ半数で、プリオンは有益な形質をもたらしているように見える。例えば白ワインから分離した株は、酸性環境や抗菌剤フルコナゾールに耐性がある。また、ワイン用ブドウ品種ランブルスコから採取した酵母株は、DNA損傷剤に耐性がある。そして、これらの株からプリオンを除去すると、こうした有用な形質が消えてしまうのだ。

Hsp90が生物進化に関与する？

LindquistはHsp90に関する研究も続けている。1990年代に彼女がショウジョウバエでHsp90を作る遺伝子の両コピーを欠損させたところ、そのハエは死んでしまった。しかし、片方のコピーのみを欠損させると不思議なことが起こった。縮小した眼や四角い眼、縮んだ翅や曲がった脚など、変形した身体部位を寄せ集めたようなハエが生まれたのである[7]。

Lindquistは、Hsp90が有害な変異を含むタンパク質に付き添い、機能する形状になるよう助けることで、変異の有害な影響を封じ込めているのだと考え

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.



REF. 7

これらのショウジョウバエの形態異常を引き起こした変異は、正常な外見のハエにも存在しているが、そうした影響は通常、「シャペロン」タンパク質によって封じ込められている。

た（こうした折りたたみの介添え役をするタンパク質をシャペロンと呼ぶ）。だから、Hsp90の半分を除去すると、全体に行き渡るだけのHsp90がなくなって、タンパク質が正しく折りたたまれなくなり、封じ込められていた変異すべての有害な影響が表に現れたのである。Lindquistは、これと同じことが、飢餓などの自然の危機的状態や、温度またはpHの変化に際して起こるのだと考えた。環境の激変はタンパク質の折りたたみ異常を増やし、こうしたタンパク質に利用可能なHsp90が動員されてしまい、誤った折りたたみのタンパク質が余分に残されて、これらが新しい形質を進化させるのだと考えられる。この折りたたみ異常の大半は有害なものだろうとLindquistは言う。しかし、そのどれかが、新しい環境条件によく適応した細胞を生み出せば、生き延びて繁栄できる可能性が生まれる。

LindquistはHsp90を、進化上の変化を起こすための「コンデンサー」だと考えている。Hsp90は、電気エネルギーを蓄えるコンデンサーと同様に、隠れた変異をゲノム内にため込んでいく。環境のストレス要因がそのスイッチを入れると、ため込まれていた変異が一気に解き放たれるというわけだ。Lindquistは、植物のシロイヌナズナ（*Arabidopsis thaliana*）でも同様の作用を見つけた。熱ショックタンパク質系をストレス条件下に置くと、上向きの根や余分な根、風変わりな渦巻き状の葉、黒っぽい色などが現れたのである[8]。Lindquistは、この現象を調べることで、植物に隠れている変異を見つけ出したり、耐乾燥性や耐塩性などの形質の基盤を解明したりするための、強力な方法が得られるのではないかと考えている。

ただ、こうしたアイデアがまさか研究界を混乱させるとは、Lindquist自身は思ってもいなかった。進化生物学者の多くは、進化はゆっくりと狭い歩幅で進むという説を支持し、彼女が提案したような大きな爆発的進化は支持していなかったのだ。エディンバラ大学（英国）の進化遺伝学者Nick Bartonは、必要となったときにシャペロン系が「有用」な変異を解き放つという考え方には、議論の余地があると言う。「シャペロンが適応的な役割を示すことについて、証拠が十分あるとはとても思えません」。

一方で、彼女の仮説をもう少し受け入れている研究者もいる。ニューヨーク市立大学大学院センターの進化生物学者で哲学者のMassimo Pigliucciは、この仕組みを進化理論に組み込むべきだと話す。彼によれば、Lindquistは実験に基づいて、以前からあった説を肉付けしたのだという。ただし彼は、「生物の各系統の進化に、これらがどの程度重要なのだろうか」と問いかけ、それを解明するには20年はかかりそうだと話している。

神経変性疾患の研究へ

2001年8月、Lindquistはシカゴ大学からホワイトヘッド生物医学研究所に移り、所長に就任した。名誉ある地位だったが、疲れる立場でもあったため、所長を務めたのはわずか3年間だった。彼女は、ホワイトヘッド生物医学研究所と、そのゲノム研究センターとの切り離しに立ち会った。同センターは、ヒトゲノムプロジェクトのために多くのデータを提供し、塩基配列解読の推進役の1つとなった。所長の地位は資金繰りに悩まされる面倒な役職であり、その間彼女は、科学研究、なかでも疾患関連の研究に注力したい気持ちをずっと抱いていた。

彼女は開発に直接かかわったことはないが、Hsp90阻害剤はすでに有望性をある程度見せ始めている。20件以上の臨床試験で、それら阻害剤のがんでの効果が調べられているところだ。「これは現在、注目の話題です」と言うのは、20年前に最初のHsp90阻害物質を見つけた、国立がん研究所（米国メリーランド州ロックビル）のがん生物学者Len Neckersである。これらの阻害剤は、免疫系の働きが低下している人に致死的感染症を起こす薬剤耐性真菌も標的にできるかもしれない[9]。

Lindquistのタンパク質折りたたみに対する深い造詣は、神経変性疾患の研究へと結びついた。アミロイド繊維は、アルツハイマー病やパーキンソン病、ハンチントン病でも見られる。Lindquistはこうした病態でのHsp90の作用を調べるモデルとして、酵母を考えた。2011年に発表した研究[10]で彼女は、アルツハイマー病の特徴の1つであるアミロイド-βタンパク質の凝集体が酵母でも毒性を持ち、増殖を遅くさせることを明らかにした。次に、酵母モデルを使って、この毒性に影響を及ぼしそうな遺伝子を見つけるために、5000個の酵母遺伝子をスクリーニングした。このやり方は成

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

功し、40 個の遺伝子が見つかった。そのうち 12 個はヒトにも相同遺伝子があり、1 個はアルツハイマー病のリスク因子として知られるものだった。また別の 2 個は、既知のリスク因子と相互作用する因子だった。

彼女の今の望みは、アルツハイマー病のアミロイド形成につながる最初の段階を、酵母で突き止めること、そして、アミロイド形成を防ぐ薬剤を見つけ出すことである。しかし、こうしたやり方に驚く人は、依然として少なくない。「多くの人は、まさかアルツハイマー病やパーキンソン病などの疾患を酵母でモデル化できるなんて、思ってもいませんでした。酵母は単細胞ですし、寿命も短く、もちろん脳などありませんからね」と、ペンシルベニア大学（フィラデルフィア）の神経遺伝学者 Nancy Bonini は話す。

健全な科学研究体制に戻れ!

彼女が出した助成金交付申請書は、賛否両論の入り乱れた評価を受けたと Lindquist は語り、「寛容な表現で言えばですが……」と言い添えた。彼女によれば、優秀なアイデアを持つ多くの勤勉な研究者であっても、いまや研究企画案が却下されているという。そして、資金獲得が難しい現在の状況が、助成金や論文審査の評価に関して、むきだしの激しい議論を助長しているのではないかと懸念する。「優秀な研究者たちは疲れ果て、うんざりし、不機嫌になっています。そんな彼らが論文を審査しているのですよ」。彼女はいったん言葉を切り、身を正してから、きっぱりとこう言った。

「我々は立ち止まってこう言うべきだと思います。ダメ。こんなことをしちゃいけません。誰かがあなたに意地悪をしたからといって、ほかの誰かに意地悪をしてはいけません、とね」。

恩師の Meselson は彼女に、倫理にかない、血の通った科学研究の重要性をしっかり教えてくれたと Lindquist は話す。彼女も Meselson にならって、指導する実習生にそのことを伝えようと努力してきた。2010 年後半に彼女は、「私にとって重要な 3 つの全く異なること」という題名の短いコメンタリーを書いた[11]。その 3 つとは、「広く考え、広く鍛えよ」「優しく寛大であれ、誰かをつぶそうなどと思うな」、そして「信念を持て」である。

1 つ目は彼女の研究姿勢、2 つ目は成功した彼女に対する研究仲間の人物評、そして 3 つ目は彼女自身から、それぞれ出てきた言葉だ。「教え子たちの将来について考えると、本当に心配の種が尽きません」と彼女は言う。世界中で見られる環境、社会、経済、政治上の不幸な出来事を次々と挙げていくうちに、彼女の目は潤んでいった。「これから私は講義に行きますが、そこで私は、誰かが立ち上がって自身の研究について話すのを聞くのです。彼ら若者はすばらしい仕事をしています。私はこの職業に身を捧げ、希望をもらっているのですよ」。■

（翻訳：船田晶子）

Bijal P. Trivedi はワシントン DC 在住のフリーランスライター。

1. Halfmann, R. *et al. Nature* **482**, 363–368 (2012).
2. McKenzie, S. L., Henikoff, S. & Meselson, M. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **72**, 1117–1121 (1975).
3. Parsell, D. A. *et al. Nature* **372**, 475–478 (1994).
4. Cox, B. S. *Heredity* **20**, 505–521 (1965).
5. Chernoff, Y. O., Lindquist, S. L., Ono, B., Inge-Vechtomov, S. G. & Liebman, S. W. *Science* **268**, 880–884 (1995).
6. Alberti, S., Halfmann, R., King, O., Kapila, A. & Lindquist, S. *Cell* **137**, 146–158 (2009).
7. Rutherford, S. L. & Lindquist, S. *Nature* **396**, 336–342 (1998).
8. Queitsch, C., Sangster, T. A. & Lindquist, S. *Nature* **417**, 618–624 (2002).
9. Cowen, L. E. & Lindquist, S. *Science* **309**, 2185–2189 (2005).
10. Treusch, S. *et al. Science* **334**, 1241–1245 (2011).
11. Lindquist, S. *Mol. Biol. Cell* **21**, 3804 (2010).

RESEARCH HIGHLIGHT

虹色キンモグラの秘密

Glad rags for a blind mole

2012 年 2 月 9 日号　Vol. 482 (134)

UNIVERSAL IMAGES GROUP LIMITED/ALAMY

キンモグラ類の毛皮には青緑色の光沢が見られるが、こうした虹色に輝く体色は哺乳類では珍しい（キンモグラはモグラの仲間ではない）。アクロン大学（米国オハイオ州）の Matthew Shawkey たちは、キンモグラ類 4 種で、虹色に光る上毛と虹色にならない柔らかい下毛を初めて詳細に調べた。すると、虹色の上毛は平たくつぶれた形をしており、その表面にある鱗状のキューティクルが、下毛よりずっと細かいことがわかった。上毛のキューティクルは、明暗の異なる層が交互に重なって多層を形成しており、おそらく、光がそれらの層を通過する際に多層薄膜干渉を起こして虹色に光るのだろう。

4 種のキンモグラはどれも目が見えないので、こうした虹色の毛が異性に見せるための装飾として進化したとは思えない。とすれば、地中に穴を掘る際に、毛皮の摩擦を小さくして耐久性を持たせるよう適応した副産物ではないか、と研究チームはみている。

Biol. Lett.

http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2011.1168 (2012)

（翻訳：船田晶子）

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

インフルエンザウイルス論文は、全文掲載が当然

Flu papers warrant full publication

2012年2月23日号　Vol. 482 (439)

今後も議論を重ねる必要があるものの、インフルエンザウイルスの研究データを公表することによって得られる利益は、これまで指摘されているリスクを上回る。

インフルエンザと公衆衛生の専門家が、2月16～17日に世界保健機関（WHO）本部（スイス・ジュネーブ）に集まり、*Nature* と *Science* によって受理されながら掲載されていない論文の問題について議論した（go.nature.com/uyr1uu参照）。会議では、今回の問題の理論的根拠は、米国バイオセキュリティー科学諮問委員会（NSABB）の Paul Keim 委員長代行による見解だけであることが明白になった（本誌2012年4月号9ページ参照）。

こうした問題を系統的に審査するために設立された機関が、世界中でNSABBだけであるという点に関しては、米国政府とNSABBの功績といえる。NSABBは、関係するすべての政府部署（情報機関と安全保障機関を含む）の職権上の代表者に加えて、独立した立場の研究者によって構成されている。NSABBの助言は、今回の研究の影響と規制可能性に関する公開の議論における重要な第一段階となった。第二段階が今回のWHO会議で、WHOは、NSABBと同様に、勧告を行う権限しか持っていない。

論文掲載をめぐる問題点を考えるうえでは、背景事情を知ることが重要だ。2003年に *Nature* とその他多くの論文誌の出版母体が集まって、公衆衛生や科学に利益をもたらす反面、バイオセキュリティー上の危険性を伴う可能性のある論文について、その掲載を審査する際の編集手順を定めた（*Nature* **421**, 771; 2003参照）。この会議で採択された声明では、掲載することで生じる危険性が利益を明白に上回る論文については、不受理とする可能性を視野に入れていた。*Nature* では、これに従って、独立した立場の顧問を起用し、今回の論文を検討したが、ほとんどの顧問は全文掲載を勧告した。バイオセキュリティー上の理由から誌上掲載を差し止める勧告のあった論文が *Nature* 系論文誌に投稿されたのは、これが初めてだった。

NSABBの意見が示されたこともあり、*Nature* と *Science* の双方は、単に投稿論文を不受理とするのではなく、もう1つの選択肢、つまり、重要な方法とデータを省略した編集版を掲載することを検討した。ただし、この選択肢が成立するためには、公衆衛生上の理由でこの研究結果を入手する必要のある者やこの科学研究をさらに進めることのできる者に対しては完全版を頒布する方法が存在する、というのが条件になると思われる。*Nature* と *Science* の両誌は、それに対応して完全版と編集版を作成した。

WHO会議に参加した者は、厳しい秘密保持義務を条件として、2編の論文の完全版と編集版を検討した。すでにブログやニュース報道では、この研究で新規の方法が用いられておらず、一方の論文が公開の会議で発表されていることから、編集版には意味がないという見解が示されていた。WHO会議参加者の1人は、「完全版と編集版を読んで初めてわかりましたが、編集版は何の役にも立たないと思います」と話す。

もう1つ、未発表データからもわかったことだが、哺乳類における感染力の脅威がこれまで考えられていた以上に大きいだけでなく、現存する鳥インフルエンザウイルスには、今回の研究で同定された変異の一部が存在しているのだ。つまり、ヒトに対する差し迫った危険が、すでにかなり高い程度に達している。また、WHO会議では、新たなデータを入手することがインフルエンザの監視にとって貴重であり、ウイルスの感染力の根底にある機構とH5N1感染者の高い死亡率を解明するために、今回の研究成果に基づいてさらなる研究を進めるべきだという結論が示された。

編集版では十分な機能は発揮されないこと、また全世界の公衆衛生に対する差し迫った危険を考えると、バイオセキュリティーを理由とした反対論は、研究論文の掲載や今後の研究を差し控えることの論拠としては、あまりにも一般論で、仮説的だと思われる。また、NSABBの勧告とWHO会議での勧告（go.nature.com/ky2skc参照）に関して言えば、それぞれの勧告に至るまでの議論で、問題となっている安全保障面、社会面と研究面の利害が十分には検討されていない。この点の議論を続けることが非常に重要だ。

今回の論文については、バイオセキュリティーやバイオセーフティー上の危険性が見つからないかぎり、最終的には全文掲載すべきだ、というのが *Nature* の考え方である。■

（翻訳：菊川 要）

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

チューリング生誕 100 周年

Turing at 100

2012 年 2 月 23 日号　Vol. 482 (440)

今年はアラン・チューリングの生誕 100 周年にあたる。
人類史上最高の知性の 1 人と見なされる彼の多くの業績を、これを機会に再確認したいと思う。

この夏、ロンドンオリンピックが開催されるが、人類史上最高の知性の 1 人とされるアラン・チューリングが、優れたマラソン・ランナーであったことを知る人は少ない。コンピューターのパイオニアで、第二次世界大戦中は暗号解読に従事した博識家のチューリングは、1912 年 6 月 23 日にロンドンで生まれた。もしけがをしていなければ、1948 年のロンドンオリンピックにマラソンの英国代表として出場していた可能性が高い。彼の自己最高記録は 2 時間 46 分で、その年の金メダリストと 11 分しか違わなかったからだ。

彼の誕生日から 100 年と 1 か月後の今年 7 月、ロンドンで再びオリンピックが開催される。このエピソードは、知の巨人とその科学的業績について、改めて見直してみるよい機会であることを教えている。それが、*Nature* が 2012 年 2 月 23 日号でチューリングの特集を組んだ理由でもある（455 ページ以下のチューリング特集と www.nature.com/turing 参照）。

チューリングのマラソン記録は彼の身体能力の高さを定量的に示す。しかし、彼のたぐいまれな科学的才能と功績を測るとなると、そう簡単にはいかない。チューリングの伝記を執筆したオックスフォード大学の数学者 Andrew Hodges は、同号 441 ページで、そのことを指摘している。コンピューターの開発においてチューリングが果たした役割については議論があるが、チューリングの知性の普遍性と多様性については、科学の世界では万人が認めるであろう。

チューリングの業績は並外れて広い。数学の分野では、ダフィット・ヒルベルトによる決定問題（*Entscheidungsproblem*）に答えを出した。暗号作成者と歴史家の間では、ナチスドイツの「エニグマ」暗号を解読して、第二次世界大戦の早期終結に貢献した人物として知られる。工学分野では、デジタル時代と人工知能の生みの親と見なされ、生物学では形態形成の理論の提唱者、物理学では非線形力学のパイオニアとなった。ただ、哲学の分野では、論理と直観の限界に関する指摘から、眉をひそめる人も少なくない。1947 年のロンドン数学会における講演で、チューリングは「機械に完全無欠を求めるなら、その機械は知的にはなり得ない」と言い切った。

チューリングは、自分自身が直接行った実験結果、鋭い観察、厳密な理論と実用的な応用を組み合わせることに抜群の能力を発揮した。彼の分野横断的な研究手法だけを見ても、*Nature* に論文を書いていておかしくないと思う。しかし、純粋数学、コンピューター科学、人工知能などに関する最高の論文が *Nature* には 1 つも残されていない。我々はそれを残念に思う。

チューリングの功績を調べ、一連の Comment 論文（同号 459 ページ以下）を執筆してくれた研究者も同じ思いだろう。これらの解説論文は、それ自体が示唆に富むだけでなく、チューリングの原著論文（例えば、B. J. Copeland (ed.) *The Essential Turing*; Clarendon, 2004）への橋渡しになるはずだ。チューリングの論文は、知的概念を深く厳密に突き詰めながらも、なお読みやすさと明快さを備えており、まさに論文のお手本と言えるものだ。そして、物理学と生物学における対称性の比較、知能におけるランダム性、組織化されていない機械における学習など、さりげないコメントが宝石のようにちりばめられている。

チューリングの知性は、まさに彼独特のものであり、それが彼の人生の悲劇の一因となった。彼は、同性愛を理由に英国当局から迫害され、41 歳のとき、青酸を使って自殺した。

今年 2012 年は、全世界でチューリングの記念行事が数多く行われる（例えば、www.turingcentenary.eu 参照）が、その大部分はボランティアによって進められている。これは 2005 年の世界物理年と対照的だ。あのときは、アインシュタインが 4 編の画期的な論文を発表した「奇跡の年」の 100 周年を讃えるためにドイツ政府が支援した。

2012 年のアラン・チューリングの年は、どう名付ければよいのだろうか。*Nature* は、「インテリジェンスの年」としたい。最も優れたタイプのインテリジェンス、すなわち、人間の知能・人工知能・軍事情報活動という分野において、まさに世界を変える貢献を果たしたのは、多分チューリングだけと思われるからだ。■

（翻訳：菊川 要）

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

Volume 483
Number 7387
2012 年 3 月 1 日号

Podcast

失われた世界：ニューヨーク州の太古の化石森林で見られた生態学的複雑性

LOST WORLD: Ecological complexity in New York's ancient fossil forest

1920 年代にニューヨーク州立博物館の展示で有名になった「世界最古の化石林」は、ギルボア・ダム（米国ニューヨーク州スカハリー郡）の建設用採石場で発見された。古生物学者の Winifred Goldring は、高木である *Eospermatopteris* の根株について、科学的記述と図解を試み、その意味を推測した。この Goldring の原著論文は、地球規模の動態や絶滅も含めて、森林生態系の起源について、今なお影響力を持っている。採石場は埋め戻され、90 年間にわたって立入禁止となっていた。しかし、2010 年に W. E. Stein たちが元の古代林の土壌面を特定し、その一部について地図を作製した。樹木は 1 種類ではなく 3 種類あったこと、樹木の間隔、意外なほど多様な植物形態間の相互作用など、さまざまな証拠も発見された。こうした知見は、断片的な化石をもとに初期の森林を解釈するうえで、大きな影響を与えるはずだ。表紙は Victor Leshyk による復元図。

宇宙：地球の照り返しを使って太陽系外惑星を調べる

Exoplanets studied by Earthlight

地球照は、太陽光が地球によってまず反射され、さらに月によって再反射されて地球に戻ってくることで生じる現象で、太陽系外惑星の大気や表面に関心を持つ天文学者にとって、よいモデルになる。今回、反射面全体で積分した地球照の直線偏光スペクトルを使って、雲や海洋表面の地球照への寄与の割合が決定された。この測定法は、見えている植生面積については、地球反射面の 10％程度まで感度がある。このようなスペクトルは、太陽系外惑星の大気成分、平均的な雲の高さや地表面を分析する際の基準となり、地球のスペクトルや大気に関するほかのモデルと比較して改良を進めることができる。

ESO/L. CALÇADA

地球：大陸衝突が減速する仕組み

How continental collisions go slow

プレートテクトニクス理論の基本は、プレート運動を制御しているさまざまな力である。一般に、大陸地殻の変形と厚化は、2 つの大陸プレートの衝突を減速させる原因になると考えられている。しかし M. Clark は、インド亜大陸のユーラシア大陸への進入速度が、プレートの衝突以来、指数関数的に低下していることを明らかにしており、これはチベット全体の収縮ひずみが、衝突の期間を通して一定であったことを示唆している。このことはマントルリソスフェアの変形を反映しており、応力と強度が一定という条件下では、変形する大陸リソスフェアは、地形の進化とは無関係に、プレート運動に影響を及ぼす粘性抵抗を生み出すと Clark は推論している。

進化：Y 染色体の運命

The fate of the Y chromosome

哺乳類の性決定に関与する X および Y 染色体は、一対の常染色体（性染色体ではない普通の染色体）から進化したが、遺伝子の崩壊が起こった結果、ヒト Y 染色体の雄性特異的領域には、元の常染色体遺伝子の 3% だけしか残っていない。今回、アカゲザルの Y 染色体で雄性特異的領域の塩基配列が解読され、アカゲザル、ヒト、チンパンジーの Y 染色体の分析によって、その領域の進化の軌跡が復元された。その結果、最初に急激な遺伝子喪失が起こり、その後は純化選択によって残りの遺伝子が厳重に保存されていることがわかった。これは、ヒト Y 染色体は消滅が避けられない運命にあるという考えとは正反対の結果である。

認知：記憶回路を再配線

Rewiring the memory circuits

学習と記憶にはニューロン結合の物理的および機能的変化が関与すると考えられているが、行動についてはよくわかっていない。今回、2 つの新たな研究によって、学習および神経可塑性の基盤になると考えられる物理的変化や機序の一部が明らかにされた。C. S. W. Lai たちは、恐怖回路に関与するニューロンを解析し、恐怖学習は樹状突起棘（きょく）の減少を引き起こすこと、また、恐怖が消えると同じ領域に棘突起が再伸長することを明らかにした。M. Fu たちは、運動学習で特定の回路を反復的に活性化させると、新たな樹状突起棘クラスターの形成が誘導され、それらが長時間の学習を通して維持されることを示した。

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）。

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

Volume 483
Number 7388
2012 年 3 月 8 日号

瓦礫の中から立ち上がる：日本の津波から 1 年、大災害から得られた教訓

RISING FROM THE RUBBLE: One year on, the lessons of Japan's tsunami disaster

巨大地震と津波で多くの人命や施設・建物が失われてからもうすぐ 1 年になる。今週号の特集では、自然災害と原子力災害を受けた地域社会の立て直しに、日本がどのように取り組んでいるかを報告する。また、日本を含む多くの国々では、今回の大震災を教訓に、原子力の経済学をはじめ、地震や津波の早期警報システムなどについても、大幅な見直しが進められており、その状況についても報告する。表紙は、津波からは残ったが、塩害を受けて枯れた陸前高田の「希望の松」を 2012 年元旦に撮影した写真。

生理：力を感知するピエゾイオンチャネル

Piezo ion channel feels the force

多くの生体組織は、機械力を感知して応答することができ、この機械感受性は接触、痛み、聴覚喪失、高血圧といった生物学的過程や疾患と関係する。この機械的力の生物学的シグナルへの変換、つまり機械シグナル伝達には、特殊化されたカチオンチャネルが関与すると考えられている。A. Patapoutian の研究グループは 2 つの論文で、動物から植物、原生動物の間で保存されている大型の膜貫通タンパク質である「ピエゾ（Piezo）」ファミリーが、長年探されてきた機械力によって活性化されるイオンチャネルであることを立証している。まず B. Coste たちは、キイロショウジョウバエ（*Drosophila melanogaster*）のピエゾタンパク質が、ヒト胎児腎臓細胞で機械刺激によって活性化されてカチオン電流を生じることを示し、これが機能的に保存されていることを確認した。マウスとショウジョウバエのピエゾタンパク質が誘発する、機械刺激によって活性化される電流の比較から、小孔が独特の特徴を持つイオンチャネル活性が明らかとなり、ピエゾが真のイオンチャネルであることが示唆された。S. E. Kim たちは、ピエゾがショウジョウバエで機械的痛みの感知に必須であることを示し、ピエゾが *in vivo* で生理的な機械受容器に相当することを初めて実証している。

計測：分子の動きに追いつく

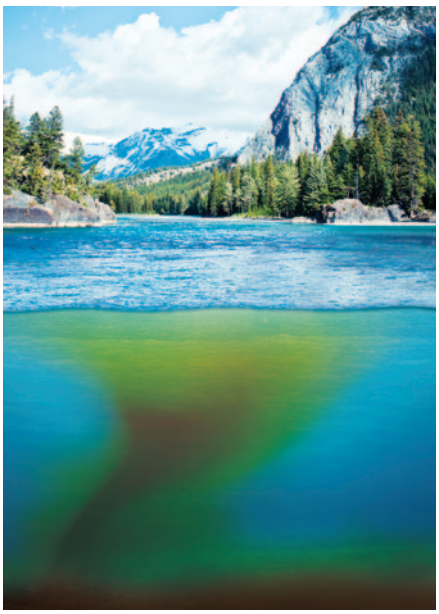
Catching up with molecular dynamics

分子の画像化、つまり分子内の原子の位置を決定することは、物理学や化学、生物学における重要な技術である。しかし、最新の技術によれば、単なる構造決定にとどまらず、構造変化を起こしつつある生体分子や凝縮相系の超高速スナップショットを撮ることまで可能になるかもしれない。その 1 つに、レーザーイオン化によるコヒーレント電子波束の放出を利用して親分子構造を自己解析する方法がある。今回、C. I. Blaga たちは、このレーザー誘起電子線回折（LIED）法を用いて、イオン化に対する酸素分子と窒素分子の構造応答をマッピングしている。約 5 フェムト秒の時間間隔で起こる酸素結合長の 0.1 Å の変化を測定することによって、LIED がこれまでにない時間および空間分解能で気相分子を画像化するのに有望な方法であることが実証された。

地球：堆積層中の炭素と鉄の存在との関連

Sedimentary carbon linked to presence of iron

固体鉄相が土壌中に有機炭素を貯蔵できることはよく知られているが、大量の有機炭素を堆積物中に貯蔵できるかどうかについては、よくわかっていない。Y. Gélinas たちはさまざまな淡水堆積物と海洋堆積物について調べ、こうした堆積物中の有機炭素の約 4 分の 1 は反応性鉄相と直接結合していることを見いだした。さらに、海洋表層堆積物中の全有機炭素のほぼ 22％が鉄との結合で貯蔵されていると推定され、反応性鉄相は、有機炭素の長期貯蔵において重要な要素であると考えられる。この「鉄分に富んだシンク」は炭素、酸素、硫黄の全球的循環に関連している。



ERIC LAMONTAGNE

進化：恐竜もノミに悩まされていた？

Keeping dinosaurs up to scratch

ノミ類は、寄生昆虫や疾患媒介動物としてよく知られているが、その系統学的な類縁関係ははっきりしていない。その理由は、哺乳類や鳥類の血を吸うように適応して高度に特殊化した形態のせいだけではない。ノミ類は、シリアゲムシ類に近いのではないかと長い間考えられてきたが、ノミ類の化石はすべて現生の科に属するものであるため、シリアゲムシ類と現生ノミ類の間の形態的移行が謎となっていた。今回、恐竜時代の古いノミ類の化石が発見されたことで、状況が変わりそうだ。これらの化石昆虫は跳躍するための脚を持たず、シリアゲムシの祖先の形質を複数備えている。また体が大きく、体長が 2 cm を超えるものもある。このような巨大なノミ類は、羽毛を持つ恐竜の外皮を利用するように進化したのかもしれない。

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）。

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

Volume 483
Number 7389
2012 年 3 月 15 日号

Podcast

ディラック作用：極低温原子を使ってグラフェン中の未知の領域をマッピングする

DIRAC ACTION: Using ultracold atoms to map uncharted territory in graphene

ある種の固体の電子構造が「ディラック点」を示すようになると、興味深い特徴が現れることになる。例えばグラフェンでは、ディラック点によって、電子は質量がゼロのディラックフェルミオンとして振る舞うようになり、光速度で進むことが可能になる。今週号では、このディラックフェルミオンの性質を制御する 2 つの異なる方法が報告されている。従来型の固体では材料物質の電子構造を変えることができないため、ディラックフェルミオンが制御される仕組みを明らかにするのは難しい。この制約を避けるため、L. Tarruell たちは、調整可能なハニカム光格子内に、極低温量子気体という調節可能な系を作製した。このモデルでは、電子の役割を原子に担わせて、物性物理学的性質をシミュレートする。ディラック点を移動させたり、融合させたりできるため、トポロジカル絶縁体やグラフェンのようなエキゾチック物質の物理学的性質を調べることができる。表紙は、2 個のディラック点の交差を含む人工グラフェンのバンド構造。

進化：脊椎動物の脳の進化的起源

Evolutionary roots of the vertebrate brain

脊椎動物の脳は複雑な構造をしており、こうした脳がもっと単純な神経系からどのように進化したのかはよくわかっていない。脊椎動物に最も近縁な無脊椎動物であるホヤやナメクジウオなどの脳は、はるかに単純な構造であるため、脊椎動物の脳は脊椎動物で独自の進化を遂げてきたと広く考えられてきた。しかし、C. Lowe たちの新たな研究から、ギボシムシの前端部を指定する遺伝的プログラムが、脊椎動物のものと非常によく似ていることが示された。半索動物であるギボシムシは系統分類的に脊椎動物とかなり離れており、むしろヒトデなどの棘皮動物に近縁である。この結果は、脊椎動物の脳を指定する遺伝的プログラムが、動物体前端部の発生のためにより汎用化した一連の指令群として始まったことを意味している。これに関与する諸経路はナメクジウオやホヤでは失われているか、もしくは著しく変化しているため、当初のような解釈の混乱が生じたのだろう。

ARIEL PANI

化学：酵素を使わないスピロアセタール合成

Non-enzymatic synthesis of spiroacetal

オリーブミバエで見つかった性フェロモンのオレアンは興味深い性質を持っていて、鏡像体の一方は雄を、もう一方は雌を誘引する。オレアンにキラリティーを与えている唯一の要素はスピロアセタールで、これは 2 つの環が連結したアセタール（同一炭素原子上に 2 つの酸素 – 炭素単結合を持つ分子）からなる天然物である。この種のキラルアセタール中心を合成するという酵素の離れ業は、これまで模倣することができなかった。しかし、今回、選択的スピロアセタール化を触媒できる新しいキラル酸の設計と合成が報告され、著しく高い選択性でオレアンを合成する方法も示されている。この人工触媒の重要な特徴は、きわめて狭いキラルポケットであり、天然酵素の特徴によく似ている。

地球：新原生代の炭素循環を解明する

Uncovering the Neoproterozoic carbon cycle

炭酸塩岩や堆積有機物に含まれる炭素安定同位体の記録は、地球史における主な気候事象や生物事変のいくつかを垣間見せてくれる。新原生代中期のキオゲニアンの氷河休止期（7 億 1700 万年前から 6 億 3500 万年前）の間の、モンゴル、ナミビア北部、カナダ北西部にある層序断面の分析が今回行われ、大きな負の同位体異常が明らかになった。このような偏差は、表層の炭素循環に対する一次擾乱（じょうらん）の結果と考えられる。これは、より還元的で生物学的に単純な原生代の世界（25 億年前から 5 億 4200 万年前）から、現在我々が生息している、もっと酸化的で生物学的に複雑な顕生代の世界（5 億 4200 万年前から現在）への、一連の失敗した遷移を反映している可能性がある。

生理：肥満のためのシグナル

A signal for obesity

G タンパク質共役型受容体 GPR120 は遊離脂肪酸に対する受容体で、脂肪細胞の産生や食欲調節のような恒常性維持機構に関与している。今回 GPR120 を欠損するマウスを高脂肪食で飼育すると、肥満、耐糖能低下および脂肪肝が起こることが明らかになった。またヒトでは、脂肪組織での *GPR120* 遺伝子発現が肥満者で大幅に上昇していることが示された。さらに、GPR120 のシグナル伝達活性を阻害し、ヨーロッパ人の肥満リスク上昇と関連のある変異も見つかった。

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

Volume 483
Number 7390
2012 年 3 月 22 日号

銀粒子の働き：金属ナノ粒子が量子サイズ領域で示す輝き

SILVER SERVICE: Metallic nanoparticles shine in the quantum size regime

表紙は、Kate Nichols が製作した大規模なガラス芸術作品、「Through the Looking Glass」の細部を示したものである。この作品は、銀ナノ粒子を「塗料」として使っていて、その色は金属粒子中の電子の振動、つまり局在表面プラズモン共鳴によって生じている。このようなプラズモニック特性は、画像化、センシング、再生可能エネルギー技術など、さまざまな分野で関心を集めている。一方、直径 10 nm 未満のナノ粒子のほうも、多くの自然系や人工系と深いかかわりを持っている。粒子が小さくなって量子領域に近づくと、プラズモニック特性がどう変化するかは、あいまいになってくる。今回、J. Scholl たちは、量子サイズ領域の銀ナノ粒子ひとつひとつについて、そのプラズモニック特性を調べた。そして、電子顕微鏡法と分光法を使い、直径 20 nm から 2 nm 未満の粒子について、粒子のサイズ・形状とそのプラズモン共鳴とを関係付けた。今回の結果は、微小金属ナノ球の量子力学的性質を明らかにするとともに、それら微粒子が、触媒活性ナノ粒子や生体関連ナノ粒子として直接応用可能であることを示している。

進化：ハナアブ類の擬態が不完全な理由

Why hoverflies create a poor impression

ベーツ型擬態をする生物種は、有毒だったり食味が悪かったりする被食種に姿を似せて、捕食者から身を守っている。ベーツ型擬態種では、擬態を向上させる方向に強い進化圧がかかると予想されるが、意外にも、かなり中途半端な擬態が見られる例が多い。新しい研究で、毒針を持つ膜翅（まくし）目種（ハチ類）をさまざまな完成度で擬態するハナアブ類について、形態解析および系統解析が行われた。その結果、いくつかの仮説が否定された。例えば、擬態の不完全さは人間から見てそう感じるだけにすぎないとする仮説も、不完全な擬態を行う種は実際には複数の膜翅目種を同時に模倣することで危険を分散しているとする仮説なども、正しくなかった。その代わりに、不完全な擬態と小さい体サイズの間に相関関係があることがわかった。この事実が物語るのは、要するに、不完全な擬態をするのは、単に強い選択圧を受けていないから、ということだ。

HENRI GOULET

物理：集団運動の物理学

The physics of collective motion

自発的な集団運動は、動物の行動から細胞の動態まで、多くの科学分野で関心を集めている。基質に結合した分子モーターによって ATP の存在下でタンパク質フィラメントを駆動する実験系を使うと、運動の基本的な物理を調べることができる。住野豊（すみのゆたか）（愛知教育大学）たちは、基質表面に結合したダイニンによって微小管を駆動する実験を行い、微小管が自己組織化して大きなスケールの渦を作ることを観察した。この過程は、1 本の微小管の滑らかな動きと局所的な相互作用（衝突に伴って、高い確率で整列する）のみに基づく、意外なくらい単純な数理モデルで説明することができた。今回の成果は、生体系を理解することに結びつくだけでなく、集団運動やアクティブマター現象について、新しい普遍的なクラスが存在する可能性を示唆している。

構造生物学：コレラ病原体のヌクレオシド輸送体の構造

Cholera pathogen's nucleoside transporter

濃縮型ヌクレオシド輸送体は膜内在性のタンパク質であり、ヌクレオシドおよびヌクレオシドに由来する抗がん薬や抗ウイルス薬が、細胞へ選択的に取り込まれる過程に関与している。今回、コレラの原因菌である *Vibrio cholerae* 由来の濃縮型ヌクレオシド輸送体の 1 つについて、ウリジンと複合体を形成した状態の X 線結晶構造が初めて示された。この構造から、この種の輸送体の全体的な構造と、ヌクレオシドおよびナトリウムが結合する際の分子的決定要因が明らかになった。

細胞：硫化水素を寄せつけないようにする

Keeping hydrogen sulphide at bay

硫化水素と硫化水素イオン（H_2S/HS^-）は、嫌気性細菌が増殖する際の代謝産物であり、原始生命の出現に重要な役割を果たしたと考えられている。しかし、これらは高濃度では細胞毒性を示すため、何らかの放出機構が必要となるはずだが、そのようなチャネルは長い間不明であった。今回、B. Czyzewski と D-N. Wang は、遺伝学的、生化学的、構造生物学的手法を使って、病原体である *Clostridium difficile* の硫化水素イオンチャネルを同定するとともに、その特性を明らかにした。このチャネルは、ギ酸－亜硝酸輸送体ファミリーに属しており、多特異性で、硫化水素イオン、ギ酸、亜硝酸の輸送を促進している。さらに、このチャネルの開口確率が低いところも、細胞における生理的役割とよく一致している。

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

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

Volume 483
Number 7391
2012 年 3 月 29 日号

Podcast

系統間の差異：がん細胞培養系の大規模スクリーニングは個別化抗がん治療への道をひらく

BETWEEN THE LINES: Large-scale screening of cancer cell lines paves the way for personalized therapy

がん細胞株は、反応機序や治療に関するてがかりを得るための前臨床モデルとして広く使われている。今回、ヒトがん細胞株の大規模な遺伝学的また薬理学的な特徴分析が、2 つのグループによって行われた。数百の細胞株について、異なるプラットフォームと分析法を用いて解析が行われ、多くのヒトがん細胞株が、対応するがんの遺伝的多様性を表現していることが確認された。得られた知見の中には、薬剤感受性や薬剤抵抗性の複数マーカー候補の同定などがある。例えば M. J. Garnett たちは、ユーイング肉腫でよく見られる *EWS-FLI1* 遺伝子転座と、ほかのがんに対する臨床試験が現在進行中の PARP 阻害剤類に対する感受性の間に関連があることを報告している。また、J. Barretina たちは、*SLFN11* 発現とトポイソメラーゼ阻害薬に対する感受性の間に関連があるらしいことを報告している。表紙は分裂中の繊維肉腫細胞。

地球：南極氷床の崩壊と海水準変動

Antarctic ice-sheet collapse and sea-level changes

最終氷期の終わり頃の、メルトウォーターパルス 1A と呼ばれる事象の期間に、急速な海水準上昇が起こった。しかし、正確な規模と時期がはっきりせず、気候強制力とその結果起こる氷床の応答はわかっていない。P. Deschamps たちは、タヒチで行われた大規模な珊瑚礁掘削計画により、メルトウォーターパルス 1A が 1 万 4650 年前から 1 万 4310 年前の間に起こり、急激な温暖化の時期と一致することを実証した。海水準は 14 ～ 18m 上昇し、このような大きな上昇は、南極における氷床崩壊が一因となった可能性を示唆する。

進化：違う歩き方をしていたヒト族の仲間たち

Fellow travellers: walking with hominins

最近エチオピアで発掘された 340 万年前のヒト族の足の部分的な骨格が、興味深い疑問を投げかけている。この年代で知られているヒト族はアウストラロピテクス・アファレンシスのみであり、彼らは完全な二足歩行で、足の形は基本的に現生人類と同じだった。ところが、今回の新たな足の標本には、対向可能な母趾（ぼし）を示す証拠が認められた。これは、現生類人猿や、アファレンシスより 100 万年古い時代のアルディピテクス・ラミドゥスというヒト族に近い特徴である。鮮新世には、歩行様式の異なるヒト族が共存していたのかもしれない。

光学：電子－正孔を超高速光変調で引き裂く

Tearing holes in ultrafast light modulation

高調波の発生は、レーザー物理学でよく知られた現象であり、X 線源を得るために広く利用されている。この過程では、まず高強度レーザーによって原子から電子がはぎ取られる。放出された電子は振動し始め、次いで帯電した元の原子と再衝突する。この再衝突によって元の周波数の「高次」倍数の周波数を持つ一連の高エネルギー光子が放出される。今回 B. Zaks たちは、これによく似た意外な効果を実証している。こちらの場合には、励起子を構成する電子と正孔が、赤外レーザー場によって引き離された後、再衝突させられる。この再衝突の結果として、レーザー周波数の周りに複数の側波帯が発生する。今回の成果は、光通信分野における超高速光変調の新しい機構を示唆している。

細胞：iPS 細胞作製におけるクロマチンの制御

Chromatin in iPS-cell formation

ヒト繊維芽細胞から誘導多能性幹（iPS）細胞への再プログラム化におけるクロマチン修飾酵素の役割についての研究から、これらの酵素はエピジェネティックなリモデリングの促進因子としても、またそれを阻む障壁としても働く場合があることが示唆された。G. Daley たちは、DNA やヒストンのメチル化経路にかかわる 22 個の遺伝子を選び、それらのノックダウンを行って、iPS 細胞作製における正と負の両方の調節因子を同定した。特に、H3K79 ヒストンメチルトランスフェラーゼである DOT1L の抑制は、再プログラム化を亢進（こうしん）させ、再プログラム化用の混合液に必要な 2 つの因子 KLF4 と c-Myc の代わりになった。DOT1L 抑制のこうした影響は、再プログラム化因子である NANOG と LIN28 の増加に関連しているらしい。この研究結果は、特定のクロマチン修飾因子を制御することで、より効率的に、より少ない外来性転写因子の導入で iPS 細胞を作製できることを示している。

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）

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

アルプス氷河で見つかったミイラ、アイスマン。現在は、イタリア・ボルツァーノの南チロル考古学博物館の特製冷凍庫に保管されています。今回、初めてゲノム DNA が解析され、新たに目の色や血液型などが判明しました。そうした科学的な興味はもちろんですが、彼はどんな暮らしをしていたのか、誰にどうして殺されたのかといった、背後のエピソードにも好奇心をかき立てられます。

MARKA/ALAMY

アイスマンの復元モデル。

nature news
語数：**488 words**　分野：人類学・人類考古学・DNA 考古学
Published online 28 February 2012| Nature | doi:10.1038/nature.2012.10130

Iceman's DNA reveals health risks and relations

Ötzi's genome hints at heart disease, bacterial infection and common ancestry with modern-day Sardinians.

Ewen Callaway

1. The world's most famous frozen corpse has had his genome sequenced. An international team has today published the almost complete DNA sequence of Ötzi the Tyrolean Iceman in Nature Communications[1], and has found clues as to the whereabouts of his closest living relations.

2. Hikers discovered Ötzi's 5,300-year-old body in the Alps near the Italian–Austrian border in 1991. It was well preserved, and has become one of the most studied cadavers in science. Researchers have already discovered that Ötzi suffered from hardened arteries and tooth cavities, bore tattoos and gorged on ibex before dying with an arrow lodged in his back — but there is still more information to be gained from his body.

3. "We would like to know as much as possible about his living conditions, about himself and also his cause of death. We really tried to reconstruct a crime scene as much as possible," says Albert Zink, head of the Institute for Mummies and the Iceman in Bolzano, Italy, and leader of the sequencing study.

4. In 2008, scientists reported[2] the complete sequence of DNA taken from Ötzi's cellular mitochondria. It contained mutations not found in present-day populations, and led to speculation that the iceman had belonged to a people that has vanished from Europe. To get a better picture of Ötzi's ancestry and a look at some of his genetic traits, Zink's team sequenced the DNA from the nuclei of cells taken from a sliver of the iceman's pelvic bone. The sequence accounts for around 96% of Ötzi's genome.

Genetic information

5. The data suggest that Ötzi had brown eyes and type-O blood, and was lactose intolerant. Zink's team also discovered gene variants linked to hardened arteries, which could help to account for calcium deposits found in scans[3]. "He wasn't obese, he was very active, he doesn't have strong risk factors for developing calcification of his heart," says Zink. "Perhaps he developed this due to a genetic predisposition."

6. Ötzi's genome also hints at other health problems: Zink's team found almost two-thirds of the genome of *Borrelia borgdorferi*, a bacterium that causes Lyme disease. Zink found no other telltale signs of Lyme disease in Ötzi's preserved tissues, but he speculates that tattoos on the iceman's spine and ankles and behind his right knee could have been an attempt to treat the joint pain that occurs when the condition goes untreated.

7. Zink's team also gathered information about Ötzi's ancestry. His Y chromosome possesses mutations most commonly found among men from Sardinia and Corsica, and his nuclear genome puts his closest present-day relatives in the same area. Perhaps Ötzi's kind once lived across Europe, before dying out or interbreeding with other groups everywhere except on those islands.

8. That makes sense, says Eske Willerslev, a palaeogenomicist at the University of Copenhagen. "Sardinians are a group that people have considered distinct from other Europeans, and in this regard it would be interesting if they were more widely distributed in the past."

Reference
1. Keller, A. *et al. Nature Commun.* **3**, 698 (2012).
2. Ermini, L. *et al. Curr. Biol.* **18**, 1687–1693 (2008).
3. Murphy, W. A. Jr *et al. Radiology* **226**, 614–629 (2003).

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

TOPICS

アイスマン（Iceman）

アイスマンは、1991 年、イタリアとオーストリア国境にあるエッツ渓谷で発見された約 5300 年前のミイラ。発見場所にちなんで「エッツィ」と呼ばれる。身長 160cm、40 代半ばの男性と見られる。銅製の斧、火打ち石製の短剣、火おこし道具、作りかけの弓と矢を装備し、樹皮繊維の外套（がいとう）、毛皮の帽子、革製の靴を身に着けていた。これまでの X 線撮影や CT スキャン、消化器内容物やミトコンドリア DNA の解析から、次のようなことが判明している。

- 関節炎に罹患（りかん）。
- 未治癒の肋骨（ろっこつ）骨折。
- 左肩に矢じり。これが肩甲骨を砕き、鎖骨下動脈を損傷して失血死。
- 鞭虫（べんちゅう）が寄生。
- 死ぬ 2、3 日前に穀物とアイベックスの肉を食べ、最後の食事はアカシカの肉と穀物。
- 毛髪中に銅とヒ素が見つかり、銅の精錬に関与していた可能性。
- 現代ヨーロッパでは消滅したヒト集団に属していた可能性。

今回、初めてアイスマンのゲノム DNA が解析され、血液型は O 型、目は褐色、乳糖不耐性症、心疾患のリスク、サルデーニャ人と共通の先祖を持つことなどがわかった。

だが、彼が、なぜ雪の残る晩春のアルプスに登ったのか、なぜ殺されたのかは謎に包まれたままである。

エッツィの遺伝形質を解明するために骨盤から核 DNA のサンプルを採取する研究者。

SAMADELLI MARCO/EURAC/DPA/PICTURE-ALLIANCE/NEWSCOM

SCIENCE KEY WORDS

リード **genome: ゲノム**
生物が保有する全遺伝情報。

1. **sequence: 塩基配列を解読（する）**
DNA を構成する 4 種類の塩基の配列を解析すること。

2. **hardened arteries: 動脈硬化**
動脈壁が肥厚して硬くなる疾患。詳細は、2011 年 2 月号の英語で nature 参照。

2. **tooth cavity: 虫歯**

2. **ibex: アイベックス**
山岳地帯に生息している野生のヤギ。体長約 160cm、体重約 100kg。長さが 1m にもなる筋の入った大きな角を持つ。

4. **mitochondria: ミトコンドリア、単数形は mitochondrion**
真核細胞の細胞小器官。酸素呼吸の場であり、エネルギー源の ATP を産生。2 つの脂質膜を持ち、内膜が陥入して櫛（くし）状のクリステという構造になっている。独自の DNA を持ち増殖する。

4. **genetic trait: 遺伝形質**

4. **nuclei: nucleus（核）の複数形、nuclear（核の）は形容詞**
真核細胞の細胞小器官。穴の空いた脂質二重膜の核膜に囲まれた内部に、DNA、RNA、核タンパク質などが含まれており、DNA から RNA へ遺伝情報が転写される。

4. **pelvic bone: 骨盤骨**

5. **lactose intolerant: 乳糖不耐症（lactose intolerance）の**
乳糖不耐性症は、小腸内の乳糖分解酵素の産生・分泌が不十分なために起こる、下痢や消化不良などの症状。

5. **gene variant: 遺伝子多様体**
同じ遺伝子でも、ヒトによって塩基が少し異なったりしていること。特定の疾患になりやすいなどの体質に影響する。

5. **calcium deposit: カルシウム沈着**

5. **obese: 肥満の**

5. **calcification: 石灰化**
カルシウムが本来存在しない場所に沈着して硬くなること。例えば、血管内に沈着すると動脈硬化になり、棘上筋（きょくじょうきん）（肩の筋肉の 1 つ）の腱（けん）に沈着すると痛みを引き起こす。

5. **genetic predisposition: 遺伝的素因**

6. **Lyme disease: ライム病**
マダニが媒介する *Borrelia borgdorferi* などのボレリアによって引き起こされる。初期はインフルエンザ様の症状だが、やがて、皮膚症状、神経症状、心疾患、眼症状、関節炎、筋肉炎など、さまざまな症状を呈する。

6. **tissue: 組織**

6. **spine: 脊椎、背骨**

6. **ankle: 足首**

6. **knee: 膝**

7. **Y chromosome: Y 染色体**
雄ヘテロ型性決定の性染色体の 1 つ。正常な雄に存在し、正常な雌には存在しない。

7. **interbreed with: 異種交配する**

WORDS AND PHRASES

リード **Sardinian:「サルデーニャ人」。サルデーニャはイタリアの島。**

1. **corpse:「遺体」**

1. **whereabouts:「所在」、「居場所」**

2. **cadaver:「死体」。特に解剖研究が行われる死体。**

2. **bear:「～を持つ」、「～を身に着ける」**

2. **gorge on:「～をガツガツ食べる」**

2. **lodge in:「～に引っかかる」、「～にとどまる」**

2. **gain from:「～から得る」**

4. **speculation:「推測」、「推論」、「憶測」 動詞は speculate**

4. **vanish from:「～から消える」、「～から消滅する」**

4. **to get a better picture of ～ :「～についての理解を深める」、「～についてさらに詳しく解明する」**

4. **a sliver of:「～の裂片」、「～の破片」**

4. **account for:「～を占める」、「～にあたる」**

5. **account for:「～を説明する」**

6. **telltale sign of ～ : 「～であることがわかる徴候」**

7. **Corsica:「コルシカ島」**

8. **make sense:「筋が通っている」、「つじつまが合う」**

8. **distinct from ～ :「～とは明らかに異なる」**

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

参考訳

アイスマンの DNA 分析から健康上のリスクや系統関係に関する情報が得られた

「エッツィ」のゲノムは、彼に心疾患と細菌感染があったことや、彼が現代のサルデーニャ人と共通の祖先を持っていたことを示唆している。

イーウェン・キャラウェイ

アイスマンの上半身。

SAMADELLI MARCO/EURAC/DPA/PICTURE-ALLIANCE/NEWSCOM

1. 世界で最も有名な凍結遺体のゲノムの塩基配列が解読された。本日、国際研究チームが、チロル地方で発見されたアイスマン「エッツィ」のほぼ完全な DNA 塩基配列を *Nature Communications* で発表した[1]。彼らは、エッツィに最も近縁な現代人の所在に関する手がかりも得ることができた。

2. 5300 年前に死亡したエッツィの遺体が、アルプス山脈のイタリアとオーストリアの国境付近でハイカーによって発見されたのは、1991 年のことだった。保存状態が良好だったエッツィは、科学的に最も詳細に研究された死体の 1 つとなった。これまでの研究から、エッツィには動脈硬化と虫歯があり、入れ墨をしていて、アイベックスをガツガツと食べた後に背中に矢を受けて死亡したことが判明していた。しかし、エッツイの死体からは、もっと多くの情報を引き出すことができる。

3. 「我々は、彼の生活状態、彼自身のこと、そして死因について、できるだけ多くのことを知りたいのです。実際に、事件現場を可能なかぎり再現することも試みました」。こう話すのは、ミイラ・アイスマン研究所（イタリア・ボルツァーノ）の所長で、今回の塩基配列解読研究チームのリーダーをつとめた Albert Zink だ。

4. 2008 年には、エッツィの細胞中のミトコンドリア DNA の完全塩基配列が報告された[2]。この塩基配列には、現代のヨーロッパ人集団には見られない変異が含まれていたため、エッツィがヨーロッパから消滅したヒト集団に属していたという推論が提唱された。今回、エッツィの祖先をさらに詳しく解明すると同時に、エッツィの遺伝形質のいくつかを調べるため、Zink の研究チームは、エッツィの骨盤の破片から採取した細胞の核に含まれる DNA の塩基配列を解読した。解読された塩基配列は、エッツィのゲノムの約 96％に当たる。

遺伝情報

5. この塩基配列データは、エッツィが褐色の目をしており、血液型は O 型で、乳糖不耐症だったことを示唆している。Zink のチームは、動脈硬化と関連する遺伝子多様体も発見しており、このことは、エッツィのスキャン結果から判明したカルシウム沈着を説明するうえで役立つ可能性がある[3]。「彼は肥満体ではなく、非常に活動的で、心臓の石灰化を引き起こす強力なリスク因子は持っていませんでした。それにもかかわらず心臓の石灰化が起きていたのは、もしかすると遺伝的素因があったからかもしれません」と Zink は話す。

6. エッツィのゲノムは、ほかの健康問題についても示唆している。Zink のチームは、ライム病の病原細菌である *Borrelia borgdorferi* のゲノムのほぼ 3 分の 2 を確認した。保存されているエッツィの組織には、これ以外に、ライム病に感染していたことを示唆する徴候は見られなかったが、Zink は、エッツィの背骨と足首の辺りと右膝の裏にある入れ墨は、ライム病を放置したときに生じる関節痛の治療を試みた痕跡かもしれないと推測している。

7. Zink のチームは、エッツィの祖先に関する情報も集めた。エッツィの Y 染色体には、サルデーニャ島とコルシカ島出身の男性に最もよく見られる変異があり、エッツィの核ゲノムは、彼に最も近縁な現代人がこの地方に居住していることを示している。もしかすると、エッツィが属していたヒト集団は、かつてはヨーロッパ全土に居住していたが、その後、サルデーニャ島とコルシカ島以外の土地では絶滅してしまったか、ほかのヒト集団と交配していったのかもしれない。

8. そう考えるとつじつまが合う、とコペンハーゲン大学（デンマーク）で古ゲノミクスを研究する Eske Willerslev は話す。「サルデーニャ人は、ほかのヨーロッパ人とは明らかに異なる民族だと考えられており、この点で、サルデーニャ人が今よりも広い範囲に居住していたのであれば、興味深い話だと思います」。

（翻訳：菊川 要）

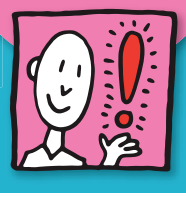
©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

nature ダイジェスト

Nature ダイジ
全国の書店、

NPG ネイチャー アジア・パシフィックのウェブサイトはもちろん

定期購読を始めたいな！



Fujisan.co.jp 雑誌のオンライン書店

当社サイト、Fujisan なら
バックナンバーの購入、
定期購読も可能です。

帰りに買いたい！

全国の書店・生協

全国の書店、生協で
扱っています*。

いつも利用しているAmazonで！

amazon.co.jp

A
最新号の予約

*詳しくは、www.naturejpn.com/bookstores をご覧ください。　Amazon および Amazon のロゴは、Amazon.com, Inc. またはその関連会社の商標です。

弊社のサイトからのお申し込みはこちらから
www.naturejpn.com/nd-sub

npg nature asia-pacific

EDITOR'S NOTE

3 月 31 日、内閣府の「南海トラフの巨大地震モデル検討会」が巨大地震による震度分布と津波高の推定結果を発表し、新聞・テレビは「最大で 34.4m の大津波」と騒ぎ立てた。1 日早いエープリルフール？と思った人も多かったのではないか。発表資料によれば、これは 3.11 地震のような 1000 年に一度起こる地震でもなく、「あらゆる可能性を考慮した最大クラスの地震」を単に推定したものという。要するに机上の空論だ。科学者がこんな発表をして許されるのか。最近この手の話が多い。だから 100 ベクレル /kg の新基準、原発の耐震性など、事実と向き合って科学する心を失い、存在しない“オバケ”を信じ込む病人が増えたのではないか。（YM）

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

npg nature asia-pacific

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

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific.
All rights reserved. 掲載記事の無断転載を禁じます。

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

編集発行人：David Swinbanks
副発行人：峯村宏
編集：松田栄治
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、藤原由紀
池田三知世
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。

©2012 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

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24年4月25日発行 第9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

4910072710522
00648