

nature DIGEST

ISSN 1880-0556

日本語編集版
OCTOBER 2009
VOL. 06, NO. 10

10



アポロ 11 号から 40 年

www.nature.com/naturedigest

優れたインパクトファクターを得る学術誌とは
求められている研究が多く掲載される学術誌だ



nature

31.434* 「総合科学」で1位



nature
chemical biology

14.612* 「生化学・分子生物学」で5位



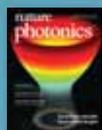
nature
materials

23.132* 「化学・物理学」
「材料科学」
「物理・凝縮系物理学」で1位



nature
nanotechnology

20.571* 「ナノサイエンス・
ナノテクノロジー」で1位



nature
photonics

24.982* 「光学」「応用物理学」で1位



nature
physics

16.821* 「総合物理科学」で3位



nature
geoscience

インパクトファクター
coming soon



nature
chemistry

インパクトファクター
coming soon

* 2008 Journal Citation Report, Science Edition (Thomson Reuters, 2009)

結果的に、より求められる研究成果が発表され、より求められる学術誌になっていく...
あなたの手元に置きたいパートナーだと思いませんか？

定期購読はこちらから：www.naturejpn.com/subscribe

 nature asia-pacific

HIGHLIGHTS

02 vol. 460 no.7258, 7259, vol. 461 no.7260, 7261

EDITORIAL

06 あふれ出る科学データに、いかに取り組むか

07 オバマ政権の科学技術政策

NATURE NEWS

08 がんの殺し屋をふるい分け

09 太陽黒点が雨を減らす

NEWS FEATURE

10 オゾン層破壊と地球温暖化

Quirin Schiermeier

RESEARCH HIGHLIGHTS

15 さらばルイジアナ

JAPANESE AUTHOR

16 気候変動科学とリスクコミュニケーション

— 江守 正多

冬野 いち子

NEWS

18 人類は再び月面に立てるか

Richard Monastersky

ESSAY

21 なぜ人類に宇宙飛行が必要なのか

Giovanni Bignami

RESEARCH HIGHLIGHTS

22 “のら” が教える “わんこ” の起源

NEWS

23 iPS 細胞からマウス個体を作製

David Cyranoski

RESEARCH HIGHLIGHTS

24 熱とガスで息の根を止める

NEWS

25 氷床コアも、マグロなみに保存したい

Rex Dalton

NEWS FEATURE

26 吉か凶か、大量のガスが溶け込んだ湖

Anjali Nayar

NEWS & VIEWS

30 一石三鳥— p53 の新たな機能

Franck Toledo & Boris Bardot

32 出生率は回復に向かうか

Shripad Tuljapurkar

英語で NATURE

34 Sugar hit triggers bug's drug slug

糖が腸内細菌の薬剤産生の引き金となる

www.nature.com/naturedigest

© 2009 年 NPG Nature Asia-Pacific
掲載記事の無断転載を禁じます。

09

NASA

18

NASA

21

D. PARKINS

25

L. AUGUSTIN/CNRS



Vol. 460 No. 7258
20 August 2009

バージェス頁岩という世紀の大発見：情報に富む頁岩層の発掘 SHALE OF THE CENTURY: Mining the rich seam of the Burgess Shale

古生物学という科学分野は、ちょうど 100 年前の今月、カナダのプリティッシュコロンビア州ユーホー国立公園の堆積岩でバージェス頁岩化石群が発見されたことに負うところが大きい。これは 5 億 500 万年前のカンブリア紀の海にいた多種多様な動物のすばらしい化石記録で、正しい評価を得て有名になり、S J Gould の『ワンドフル・ライフ』でさらによく知られるようになった。今週号では D Collins が、C D Walcott によるバージェス頁岩発見の物語を振り返っている。Walcott は、その当時の知識に基づいて自分の発見物の謎を解こうとして、手強い難問に直面することになった。誤った解釈もいくつかなされたし、これらの化石はその後数十年の間ほとんど忘れ去られていた。しかし、Walcott の功績は現在進行中の 100 年記念行事に十分値するものだ、と Collins は述べている。

Opinion p.952 参照

宇宙：LIGO で得られた背景重力波の上限

LIGO in the background

一般相対性理論では、加速しているあらゆる物体は電磁波に似た重力波を発生し、この重力波は、例えば降着を起こしているブラックホールのような、極度に質量の大きい天体で観測可能なはずだと予測している。このような重力波の存在は、間接的には推測されてきたが、物理学の重要な最終目標はその直接観測で、これに成功すれば、アインシュタインの理論を実証し、宇宙論の新たな領域が開かれると期待されている。今回、重力波探査を進めている複数の検出装置の 1 つ、LIGO (レーザー干渉計重力波検出器) の初期の観測結果から、宇宙論的起源の背景重力波の上限が導かれ、さらなる重力波探査に向けた出発点が得られた。このデータは、比較的大きな状態方程式パラメーターをもつ初期宇宙の進化モデルや、いくつかの弦理論モデルで支持されている比較的小さい張力をもつ (超) 弦理論モデルを除外するものだ。

Letter p.990, N&V p.964 参照

地球：インドの失われた水

India's lost water

水資源は、世界中の多くの場所で貴重なものとなっており、インドもその例にもれない。北西インドでは、地下水は自然に補充されるよりも速い速度で消失していることが、間接的な証拠から示されている。しかし、広域にわたる枯渇速度を地上観測から評価するのは難しい。今回、NASA の GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) 衛星の重力観測データと土地表面モデルを組み合わせ、インドにおけ

る地下水貯留量の時系列変動が得られた。この分析によって、2002 年から 2008 年の間に、北西インドでは地下水の枯渇が徐々に深刻化しつつあることが明らかになった。ラジャスタン、パンジャブ、ハリヤナというインド北西部三州の地下水の平均枯渇速度は、1 年間に 4.0 センチメートルであった。この原因は、灌漑などの人為的用途による地下水消費にある可能性が最も高い、と著者たちは考えている。

Letter p.999 参照

物理：アト秒の世界を見る

Attosecond sight

強いレーザー場中で起こる電子とその親子イオンとの再結合によって生じる高次高調波放射光からは、再結合が起こっている系の構造と動力学的なスナップショットが得られる。今回 CO₂ 分子を使った実験で、高次高調波干渉法により高調波放射の位相と振幅を測定することで、こうした構造情報や動的な情報を取り出せることが示された。その結果得られた、この過程にかかわる複数の分子軌道の「指紋」を使って、イオン化時の電子再配置の動力学など、その基盤となっているアト秒の多電子動力学を解明できる。この系から放射される光には、移動する電子の画像が含まれ、これを加工して動画にすることができる。高次高調波干渉法が、再結合電子のド・ブローイ波長に起因するオングストローム以下の空間分解能と、再結合現象の時間スケールに起因するアト秒の時間分解能で、多電子動力学を解像する有効な方法であることが、この発見によって確かめられた。

Article p.972, N&V p.960 参照

医学：パンデミックを起こしたウイルスの特徴

Pandemic virus characterized

ブタを起源とする H1N1 インフルエンザウイルスの一連の臨床分離株の解析から、現在のパンデミックを引き起こしたウイルスが、マウスやフェレット、サルなどの哺乳類モデル系では、季節性の H1N1 株よりも重い症状を呈することが明らかにされた。このウイルスはブタにも感染するが、臨床的な徴候はみられない。タミフルなどの調べられた抗ウイルス薬のすべてが、細胞培養系でこの新型ウイルスに対して有効であった。このことは、今回のパンデミックに対する最初の防衛手段として、これらの化合物が役に立つことを裏付けている。

Letter p.1021, Abstracts p.932 参照

植物：SNORKEL で雨季に打ち勝つ

SNORKEL beats the monsoon

アジアでは、雨季の洪水が広範囲にわたって稲作を壊滅させることがある。一部のイネ系統は、茎を急速に伸長する能力を発達させることにより、このような環境ストレスに適応してきた。この種のイネは通常、高さ 1 メートルくらいまで成長するが、洪水が起ると茎は短時間で大幅に節間を伸長させ、水位によっては数メートルにまで成長することがある。服部洋子たちは、浮イネの節間伸長を引き起こす遺伝子 SNORKEL 1 と SNORKEL 2 を同定した。この 2 つの遺伝子は、気体の植物ホルモンであるエチレンのシグナル伝達を調節する転写因子をコードしている。これらの遺伝子を高収量栽培品種に導入することで、洪水の多い地域のコメ生産量を増加させることができるかもしれない。

Letter p.1026, N&V p.959,
Making the paper p.932 参照

細胞：小胞体での Atlastin の役割

Atlastin's role in ER

真核細胞の小胞体は、膜の生合成、小胞輸送、タンパク質分泌をはじめとする多くの細胞機能に不可欠な小器官で、管状構造が相互につながり合って細胞内全体に広がる網状構造を形成している。この独特の構造を維持する仕組みはまだわかっていないが、GTP 加水分解に依存して起こる同型の膜の融合が、小胞体の生合成と維持に極めて重要であることが知られている。今回ショウジョウバエを使った研究で、同型膜の融合、ひいては小胞体の形成に、Atlastin とよばれる GTP アーゼが必要になることが明らかになった。これは、遺伝性痙性対麻痺患者で変異のみられるヒトの atlastin 1 の相同体である。

Article p.978 参照



Vol. 460 No. 7259
27 August 2009

息を吸っても大丈夫：毎日数千個もの菌類胞子を吸い込んでも免疫反応が起こらないわけ

BREATHE EASY: Why the thousands of fungal spores you inhale every day don't provoke an immune reaction

我々は毎日、多種多様な菌類から生じる何千もの微小な胞子（分生子）を吸い込んでいる。こうした胞子には抗原やアレルギーが含まれているが、これらの吸入によって我々の自然免疫細胞が継続的に活性化されたり、炎症反応が起こったりすることはない。免疫学的、生化学的、および遺伝学的な一連の実験により、その理由が明らかにされた。分生子の表面を覆っている、小型の桿状（ロッドレット）タンパク質からなる疎水性の層によって、これら胞子の免疫認識が妨げられているのである。この層が取り除かれると、胞子は免疫系を活性化する。このような防御層を備えた病原性胞子は、発芽に適した条件になるまで宿主防御を回避して、休眠状態を維持するのかもしれない。このロッドレットタンパク質のロバストな性質を治療法に活かせば、体内の特定の場所を標的とする分子を詰め込んだり、徐放性を最適化したナノ粒子の作製に利用できたりする可能性がある。 [Letter p.1117 参照](#)

発生： γ -グロビン発現への切り替え

Throwing the γ -globin switch

脊椎動物の発生では胚から胎児への移行時に、血中の γ -グロビンをコードする遺伝子の発現の入れかわりが起こり、またマウスとヒトでは、グロビン遺伝子の発現が発生過程で調節される仕組みに差異がある。今回、ヒトの β -グロビン遺伝子座をその周辺のDNA配列とともにマウスゲノムへ挿入した実験で、*BCL11A* 遺伝子がこうした違いの原因であることが示された。*BCL11A* タンパク質は、ヒトの γ -グロビンの発現抑制因子であることが、既に全ゲノム関連解析で同定済みである。進化の過程で起こった遺伝子発現変化のこの事例は、臨床的に重要なヒト胎児から成人へのヘモグロビンの入れかわり機構を解明する、新たな手がかりになると考えられる。 [Article p.1093 参照](#)

発生：個性的な脳を作り上げる

Shaping the individual brain

LINE（長い散在性反復配列）-1 とよばれるレトロトランスポズンは、*in vitro* の成体ラット神経前駆細胞（NPC）で、あるいは*in vivo* のマウス脳で、ゲノム全域にわたって移動できることが知られている。今回、ヒト胎児の脳から単離された NPC やヒト胚性幹細胞から誘導された NPC でも、改変されたヒト LINE-1 が *in vitro* でレトロ転位を起こせることが示された。成人の海馬などの脳領域における内在性 LINE-1 のコピー数は、同一個人の心臓や肝臓のゲノム DNA 中の内在性 LINE-1 のコピー数に比べて多くなっている。

この結果は、LINE-1 のレトロ転位が、個体の体細胞モザイク現象や脳での遺伝子発現の不均一性にかかわっている可能性を示唆している。 [Letter p.1127, N&V p.1087 参照](#)

細胞：p53 はがんと幹細胞性を関連付ける

p53 links cancer to stemness

転写因子 p53 は、がん抑制因子として機能することが知られており、p53 をコードする *TP53* 遺伝子にはヒトがんの 50% 以上で変異が認められている。今回 5 つの論文によって、p53 は誘導（人工）多能性幹（iPS）細胞を作出する障壁でもあることが示唆された。Hong たちは、iPS 細胞を作出するために一般的に用いられる 4 つの因子のうちの 1 つである Myc レトロウイルスがなく、また再プログラム化因子がゲノムに挿入されない方法を使った場合でも、p53 欠損細胞では多能性が誘導されることを示している。Li たちは、Rb 経路や p53 経路で使われる 3 つのがん抑制因子をコードする *Ink4/Arf* が、iPS 細胞への再プログラム化を律速しており、*Ink4/Arf* の抑制によって iPS 細胞の作出が促進されることを明らかにしている。彼らはまた、老化は *Ink4/Arf* の発現を上昇させ、老齢個体由来の細胞では、再プログラム化の効率が低下することも示している。川村晃久たちは、p53 をサイレンシングしておき、Oct4 および Sox2 の 2 つの因子のみを使って体細胞を再プログラム化した。p53 の過剰発現、あるいは p53 安定化因子の存在は、再プログラム化効率を低下させる。Utikal たちは、再プログラム化されない細胞で

p53 を欠失させると、iPS 細胞を作出する能力が回復し、また p53 を欠く不死化細胞株では、再プログラム化が高効率で起こることを示している。Marión たちは、p53 は、ある種の DNA 損傷をもつ細胞の再プログラム化防止に重要であることを明らかにした。DNA 損傷がある場合でも、p53 を除去すると効率のよい再プログラム化が可能となる。News & Views では、V Krizhanovsky と S Lowe が、これらの結果とこの非常に活発な分野で最近発表されたほかの論文を関連付け、がん細胞と iPS 細胞の薄気味の悪い類似性という問題に言及している。

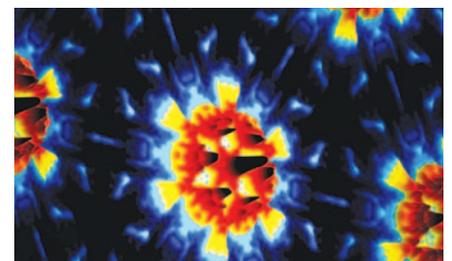
[Letters pp.1132, 1136, 1140, 1145, 1149, N&V p.1085 参照](#)

物理：人工グラフェンのもつスピン

Faux graphene takes a spin

トポロジカル絶縁体は、スピン - 軌道結合として知られる相対論的効果からバルクの絶縁性ギャップや、よく研究されている二次元カーボンシートであるグラフェンの相対論的粒子に似たディラック型の表面状態を生じる物質である。このような新しい二次元表面状態は、グラフェンの従来型ディラックフェルミオンとは対照的に、正味の固有角運動量あるいはスピンをもち、トポロジーから生じる散乱に対してこれらのスピンの保護されていることが理論によって示唆されている。これは、スピントロニクスや量子計算で強く求められていた特性である。今回 2 つの研究グループが、この予測の正しいことを報告している。Hsieh たちは、スピンと運動量を分解した分光画像法を使って、ピスマス系トポロジカル絶縁体のグラフェン型の状態がスピン分極性であることを確かめ、これを化学操作によってトポロジカル輸送領域へと調整できることを実証した。また Roushan たちは、走査トンネル顕微鏡と角度分解光電子放出顕微鏡を使って、原子スケールの強い無秩序性があるにもかかわらず、反対の運動量と反対のスピンをもつ表面状態間に後方散乱がないことを証明した。これは、スピントロニクスや量子計算の応用に有用となる特性である。

[Letters pp.1101, 1106, N&V p.1090 参照](#)





Vol. 461 No. 7260
3 September 2009

心臓の発生と進化の関係：爬虫類の心臓の発生過程によって二心室への進化を説明する

HEART TO HEART: Reptiles' cardiac development explains evolution of the divided ventricle

鳥類、哺乳類、ワニ類は、心室が2つに分かれており、それぞれ肺循環系と体循環系に血液を送っている。両生類は1つの心室しかもたないが、ほとんどの爬虫類では、心室の中間形成ははっきりしていない。今回、トカゲ（グリーンアノール）とカメ（アカミミガメ）を用いた新たな発生学的研究により、祖先型の一心室から二心室への分割は、T-box 転写因子 *Tbx5* の発現と関連することが示された。鳥類や哺乳類の胚では、*Tbx5* の発現は左心室の前駆体細胞に限られている。カメやトカゲでは、*Tbx5* は初めは心室全体で発現しており、カメではその後、心室の左側に限局されるようになるが、トカゲではこれが起こらない。つまり、完全な中間をもつ心臓を形成するよう胚のパターン化を進化させることは、多くのエネルギーを必要とする陸上生活への重要な適応要因であり、その駆動力が *Tbx5* 発現の変化であった可能性が高い。*Tbx5* の機能を欠失、あるいは過剰にしたマウスではっきりとした独自性をもたない単一の心室が形成されるのは、この考えと一致する結果である。表紙は、カメとトカゲの心臓の三次元描画。

Letter p.95, Abstracts p.9 参照

細胞：がん形成を促進する抗酸化物質

Pro-cancer antioxidants

in vitro および動物での実験では、抗酸化物質ががんの発生を抑制することを示唆する結果が得られているが、その効果を臨床的に示す決定的な証拠はほとんどない。ところが、ちょっと意外なことに、ある条件下では抗酸化物質が、がん細胞の生存と増殖促進を助ける場合があることが明らかになった。正常な上皮細胞は、その構造を保持する細胞外マトリックスから離脱すると死んでしまうが、乳がんの場合は、腫瘍形成能をもつ離脱細胞に ERBB2 などの発がん遺伝子が生存シグナルを送ることができる。Schafer たちは、細胞の離脱はやはり代謝障害を引き起こすが、ERBB2 および抗酸化物質のどちらもが障害を救済できることを明らかにしている。これらは、脂肪酸酸化を介して細胞のエネルギーレベルを上げるように作用しているらしい。この知見は、マトリックス環境の変化の中で、がん細胞が自らの生存を促進するために利用していると思われる、これまで知られていなかった機序の存在を示している。

Letter p.109, N&V p.44 参照

複雑系：臨界点の手がかり

Tip-offs for tipping points

生態系から金融市場や気候に至る複雑系には、閾値あるいは臨界点があり、その前後で、ある安定な状態から全く異なる状態への移行が突然起こることがある。このような臨界点をそこに到達する前に予測するのは極めて難しいが、幅広い分野での研究成果から、臨界点が迫っていることを知らせる共通の初期警戒信号が、さまざまな系に存在することがわかってきた。Scheffer たちは、今回の総説で楽観的結論を下している。つまり、重大な移行が起こりそうな状況下では、警戒信号に共通する特性から、大きな事象が生じる確率が上昇しているかどうかについての貴重な情報が得られる可能性があるというのだ。

Review p.53 参照

生化学：転移 RNA をあるべき場所におく

Keeping tRNA in its place

転移 RNA (tRNA) は、核で転写とプロセシングが行われた後に、翻訳が起こる細胞質へと送り出される。tRNA は、輸送受容体 Xpot により核膜の孔を通して運ばれるのだが、今回、Xpot の単独状態の構造と、tRNA および輸送に必要なまた別の因子である RanGTP の両方が結合した状態の構造が決定された。Xpot への tRNA の結合は大きな構造変化を引き起こし、Xpot は tRNA を包み込んで、その 5' と 3' 末端の両方と相互

作用するようになる。これによって、成熟していない末端をもつ、プロセシングを受けていない tRNA が核から運び出されるのを防ぐ、タンパク質合成における品質管理の重要な機構が説明される。 Article p.60 参照

細胞：iPS 細胞由来のマウス

Mice from iPS cells

2006 年に iPS (誘導多能性幹) 細胞が登場して以来、その特性は、模倣の対象である本物の胚性幹細胞を基準として評価されてきた。最近、iPS 細胞から生存能力のある成体マウスを作出したことが続々と報告され、今週号にはそのうちの 2 つが掲載されている。こうしためざましい技術的成果によって、iPS 細胞が実際に、すべての組織や器官の細胞を作り出す能力という点で胚性幹細胞に極めて近いことが示される。Zhao たちは、四倍体胚補完法とよばれる技術を使っており、この方法では、四倍体胚に注入した多能性細胞からキメラマウスが作製され、その胚組織は注入細胞のみに由来する。また Boland たちは、マウス胚性繊維芽細胞の誘導性遺伝的再プログラム化によって作出された iPS 細胞だけに由来する、生殖能力のある成体マウスを作製した。こうしたマウスは、iPS 細胞由来組織の基礎研究にも細胞置換治療への応用研究にも使える、新しい研究素材となるだろう。

Letters pp.86, 91 参照

考古：握斧がヨーロッパに到来した時期を見直す

Taking an axe to Europe

技術の歴史における重要な移行の 1 つは、初めて石を利用した人類が用いた単純な石器 (チョッパー) のような道具から、もっと精巧に加工された握斧 (ハンドアックス) とよばれる両刃の石器への遷移である。握斧は、アフリカで登場した時期とヨーロッパ最古の記録との時間差が約 100 万年と極めて大きく、このことは長い間古人類学上の謎となっていた。一般に、ヨーロッパで最初に出現した握斧は、約 50 万年前のものと考えられている。G Scott と L Gibert は、握斧が出土したスペイン南部の旧石器遺跡 2 か所の測定年代を再評価し、La Solana del Zamborino および Estrecho del Quipar の岩窟住居遺跡について、それぞれ 76 万年前、90 万年前という年代を算出した。これは、アフリカとヨーロッパの握斧出現の時間差を大幅に短縮するものである。 Letter p.82 参照





Vol. 461 No. 7261
10 September 2009

データの共有：研究結果共有のあり方を探る

DATA — WHAT DATA?: Learning to share your results

データの共有はよいことだが、自分のデータの共有となると話は別だ。そうなると事態は複雑である。今週号には、この異論の多い問題に注目した一連の記事が掲載されている。B Nelson は、善意からすることの妨げとなりかねない文化的また技術的障害について報告している。また、今年5月にトロントで開催されたワークショップの参加者たちが、データの早期発表に関する最新の方針について、それぞれの考えを述べている。この会議の出席者は、ゲノミクスやプロテオミクスの主要なデータセットを論文掲載前に迅速に公開することを支持し、この方針を化学構造やメタボロミクス、RNAi、組織バンクなどほかのデータセットへも拡大すべきだという考えに賛同した。同じく5月に、マウスの研究者たちは、データや資源の研究者共同体による0共有について討論するための会議をローマで開催した。この会議の出席者たちの多くは、データや資源の寄託に関する既存の方針には、もっと実効性のある強制力をもたせるべきであり、研究費提供組織や学術誌、研究者は協同して、データ共有問題に関する対策や活動を展開する必要があると感じていた。

News Feature p.160, Opinion pp.168, 171, Editorial p.145 参照

が明らかになった。この新しい理論は、意思決定過程に迷いや自己修正といった活動を導入するものだ。

Letter p.263, Abstracts p.144 参照

免疫：アポトーシス細胞が除去の標的となる仕組み

Apoptosis: how cells become target

アポトーシスは、正常な発生や恒常性維持の一部として、基本的にすべての組織で起きている。しかし、細胞の代謝回転が速い組織でさえ、アポトーシス細胞がみられることはめったにない。これは、アポトーシス細胞が「find-me (私を見つけて)」シグナルを放出して自身の存在を広く知らせて食食細胞を集め、速やかな除去を開始させるからだと考えられている。しかし、アポトーシス細胞がどのような find-me シグナルを放出し、また食食細胞がどのようにしてそれらを検知するのかはわかっていなかった。今回、アポトーシス細胞が ATP と UTP を放出し、それが find-me シグナルとして働き、P2Y₂ ATP/UTP 受容体を発現している食食細胞に対する誘引物質となることが明らかになった。

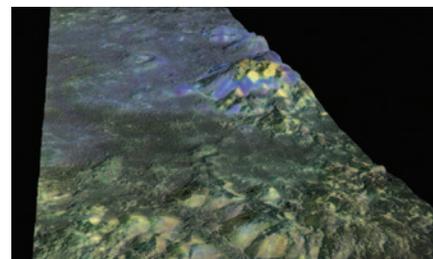
Letter p.282, N&V p.181 参照

宇宙：月で見つかった純粋な斜長岩

Pure lunar anorthosite

月の主要成分である斜長岩は、大部分が斜長石から構成されている火成岩である。その斜長岩の月サンプル分析から、月の高地の明るい色をした地殻は、斜長石が全球マグマオーシャンから結晶化し浮上してできたと考えられている。このような地殻ができた詳しいメカニズムについては、まだ決着がついていない。今回、日本の月探査計画セレーネの月周回衛星である「かぐや」からの分光分析データを使って、月の69か所における地殻組成が調べられた。得られたデータは、事実上純粋な、つまり斜長石が100%の斜長岩が広く分布していることを明らかにしている。これは、斜長石の体積分率が82~92%であるとした以前の推定値とは異なっており、月のマグマオーシャンの進化モデルに対して重要な制限を与えるものだ。

Letter p.236 参照



細胞：テロメア以外にもかわる TERT

Beyond the telomere

RNA を介した遺伝子サイレンシングの中には、一本鎖 RNA の二本鎖 (ds) RNA への変換によって生じる二次的な siRNA (低分子干渉 RNA) を必要とするものがある。この変換は、RNA 依存性 RNA ポリメラーゼ (RdRP) によって行われる。毎田佳子たちは、テロメラーゼの触媒サブユニット TERT が、ミトコンドリア RNA プロセシングエンドリボヌクレアーゼの RNA 成分 (RMRP) から dsRNA を生成できることを明らかにした。RMRP は、遺伝性の小人症である軟骨・毛髪低形成症で変異していることが明らかになっている。これは、哺乳類の RdRP 活性の初めての報告である。TERT が、テロメアを伸長する作用とは全く無関係に細胞生理に寄与していることを示す証拠が増えてきているが、今回の研究はその機序の1つを明らかにしている。

Article p.230 参照

化学：薄くなったゼオライト触媒

Zeolite: the thin of it

ゼオライトは、マイクロ孔をもつ結晶性アルミノケイ酸塩で、サイズ・形状選択的触媒として工業に広く用いられている。しかし、この触媒活性を実現するマイクロ孔自体が、拡散を制限する原因にもなっている。Choi たちは、二官能性界面活性剤の存在下でゼオライトを合成することによって、この問題を克服できることを示している。この界面活性剤

によって、マイクロ孔の形成が誘導されると同時に、ゼオライト結晶の成長が制限され、わずか1単位格子厚の「ナノシート」が得られる。この構造のために、超薄膜ゼオライトは、大きな有機分子の触媒変換に対して非常に高い活性を示すようになる。そして、メタノールからガソリンへの転換時のコーク析出と触媒不活性化が大幅に抑制されたことからわかるように、拡散の制限は最小限となる。

Letter p.246, N&V p.182,
Making the paper p.144 参照

脳科学：決断を変えるとき

Decisions, decisions

人はどのようにして気が変わるのだろうか。理論神経科学の研究領域では、「ノイズがあって」不明瞭なことの多い情報に基づいて脳が意思決定に至る仕組みをうまく説明できるモデルが、既に開発されている。しかしこうしたモデルは、いったん決定された意思が変わらないものだと思定している。今回、ノイズが入った視覚刺激を頼りに被験者がハンドルを2方向のどちらかに動かすという一連の実験が行われ、これをもとに、意思決定後にいつ、どのようにして、気が変わるのかを説明する新しいモデルが開発された。被験者が答えを選択する途中で気が変わった数少ない事例の解析により、脳は意思決定後でも、収集済みでまだ処理行程にある情報を処理し続け、最初の意思決定を覆したり、その正当性を確認したりしていること

社説

Information overload

あふれ出る科学データに、いかに取り組むか

Nature Vol. 460(551)/30 July 2009

米国の学術連合組織ナショナルアカデミーが発表した報告書で、ペタ (=1000 兆) バイト時代を迎えた大量科学データ問題への提言がなされた。

2003年、30億塩基対のヒトゲノム完全解読結果が発表されたが、遺伝学者はそのために10年以上の歳月を費やした。しかし、最新の高速シーケンサーを使えば、今では同じ解読が1週間でできる。今日、高速シーケンサーはフル回転状態にあり、全塩基配列が解読された生物種は増え続け、同じ生物種について複数の配列結果も得られている。一方、「スローン・デジタル・スカイ・サーベイ (SDSS)」というプロジェクトに参加した天文学者は、米国ニューメキシコ州に設置された望遠鏡を使って、2000年から2億個以上の天体に関するデータを集め、全天の約25%をカバーした宇宙地図を作成した。ところが2015年にパチョン山 (チリ) 頂上に完成予定の大型シノプティック・サーベイ望遠鏡なら、それだけの大量データを一晩で集められるようになる。

同じようなことが多くの研究分野で見られる。データ不足よりはデータ過多の方がよいに決まっており、研究にとっては喜ばしい状況といえる。しかし懸念材料は、データの扱い方に関する方針ないしは政策や慣行ができあがるまでに、既に研究者が大量のデータを収集してしまうことだ。とりわけ論文誌の編集者は、画像の改ざん、元データの保全、大規模データセットへの継続的アクセスの確保、アルゴリズムとコード共有方式の標準化といった問題と、真剣に取り組まねばならないことに気がついた。

こうした懸念から、2006年、科学系の多数の学会と *Nature* を含む研究論文誌数誌は、米国科学アカデミー (NAS) に問題の調査を依頼した。その結果、ナショナルアカデミー (The National Academies) に調査委員会が発足し、ネイチャー・パブリッシング・グループもスポンサーに名を連ねた。マサチューセッツ工科大学 (米国ケンブリッジ) のがん研究者 Phillip Sharp と物理学者 Daniel Kleppner が委員長を務め、7月22日に報告書が発表された (<http://tinyurl.com/datasteward> 参照)。

この報告書では、誠実性の原則、利用の原則、管理の原則という3つの主要原則を中心に据えて、11項目の提言がなされている。データの誠実性の原則では、研究者が作成するデータが真実であり、また正確であることを確保するために、研究者自らが最終的な責任を負う。研究者ひとりひとりとは、それぞれの分野におけるプロの基準に従わねばならず、関係機関は、それが実行できるよう、研究者に研修・訓練を確実に実施すべきである。

データ利用 (データアクセス) の原則では、公開の価値が強調されている。他の研究者による正確さのチェック、解析結果の検証、過去の研究成果に基づく研究の前進など、いずれも研究データの相互利用ができて初めて可能となる。したがって、研究者がデータ公開を差し控える十分な理由がないかぎり、それを公開して、他の研究者の意見を受け付けることが望ましい。できれば早めに、助成研究計画書の作成段階から、研究成果をタイムリーに一般公開するための準備に入るべきである。

データ管理の原則は、長期的な保存の必要性に対応する。科学系学会と科学コミュニティーは、どれが将来の解析のために保有しつづける価値のあるデータなのか、判定のためのガイドラインを定める必要がある。研究機関と資金提供機関は、こうしたニーズに取り組み、支援を行う必要がある。また、研究論文誌は、発表された記録の保存と上記ガイドラインの普及と実施に関して、一翼を担うことができる。さらに、責任あるデータ管理においては、データの専門家が決定的に重要であることを認識しなければならない。これまで、研究者がデータの専門家を支援するケースは少なかったが、これは改めるべきで、データの専門家はもっと尊敬されるべきである。

この報告書は、デジタルデータをめぐる複雑な問題について概観したもので、問題の解決法は提示していない。この点は執筆者も認めている。いま、研究機関、研究コンソー

シム、科学系学会がしなければならないのは、自らが置かれている分野と制約環境において、個別に有効な解決法を見つけ出すことである。資金提供機関はその責任を果たし、個々の助成金を手始めに、データの保全に対する投資

を増やさなければならない。科学活動において必要なのは、データの誠実性を通して一般市民と信頼のきずなを結ぶことだ。今こそ行動を起こし、そのきずなを強める時である。(菊川要 訳) ■

A change of tone

オバマ政権の科学技術政策

Nature Vol. 460(781)/13 August 2009

オバマ政権の科学に対する姿勢には、楽観視してよい十分な理由がある。

2009年1月、バラク・オバマが大統領に就任し、心地よい満足感が米国の首都ワシントンDCをほぼ覆いつくした。しかし夏になると、医療制度改革、金融規制といった論点をめぐって議会での与野党対立が行き詰まりをみせ、高揚感は薄れてしまった。

それでも積極的な施策が静かに実施されつつある。例えば8月6日には、科学技術担当大統領補佐官であるジョン・ホルドレン（大統領府科学技術政策局長官を兼務）が、大学と産業界の著名な研究者21人によって構成される大統領科学技術諮問委員会（PCAST）の初めての会議を召集した。

第1回PCAST会議は、委員の意気込みが大きかった反面、委員会の実効性を示す証拠は乏しかった。ただ新政権発足当初の会議であり、仕方のない面はある。ホルドレンには、核拡散防止とエネルギー問題に関する幅広い知識と経験を、今回の職責に生かすことが期待されている。彼は、新型インフルエンザ（H1N1）の世界的流行への政府対応策に関して、最初のPCAST報告書を数週間以内に公表すべく準備作業を進めている、と述べた。この会議では、医療記録の電子化や治療法の有効性比較研究といったテーマに関して活発な議論が行われ、PCASTの提言に大統領府が耳を傾けるよう各委員が大きき期待感をもっていることが垣間見えた。

また8月4日には、ホルドレンとピーター・オルザグ大統領府行政管理予算局長が、2011年度予算の概算要求の策定開始時期を迎えた連邦政府各部署の高官にあてて、オバマ政権の優先課題を概説したメモを作成、署名した。

このメモでは、景気回復、医療、エネルギー、気候などの優先課題において、科学技術が重要な役割を果たす点が強調された。そして、「政策決定は、健全な科学に基づいてなされるべきである」という殺し文句が付記された。

このような姿勢は、いつも科学を二の次にしてきたブッシュ前政権では、ほとんどみられなかったことだ。先週、共和党と民主党の元上院議員4人が2007年にワシントンDCで設立したシンクタンク「Bipartisan Policy Center」による報告書が発表されたが、そこでも、政治的意思決定に科学を正しく取り入れるために、多くのとるべき行動があることを指摘している。常識と思われる事柄が具体的に提言されており、例えば新設の規則を提案する際には、解明する必要のある科学的疑問点を明示しなければならないこと、科学諮問委員会に任命される者に適用される利益相反ルールを明確化すべきこと、などである。ブッシュ前政権時代には、科学的事柄に関する常識の欠如が頻繁にみられた。

今後、ホルドレンは数多くの課題に直面することになる。その中には、主要な科学技術予算案件の正当性に関する議会の納得を得るために支援を行うこと、そのような案件の成否を明確に説明する経過報告書を提出することも含まれる。ところが大統領府で彼を支えるチームは未完成状態だ。科学技術政策局次長は4人と定められているが、科学担当と国家安全保障担当が現在でも空席で、有能な人材をできるだけ早く任命しなければならない。それでも全体的にみれば、オバマ時代の科学助言体制は、好スタートを切ったといえよう。(菊川要 訳) ■

A screen for cancer killers

がんの殺し屋をふるい分け

Elie Dolgin doi:10.1038/news.2009.822/13 August 2009

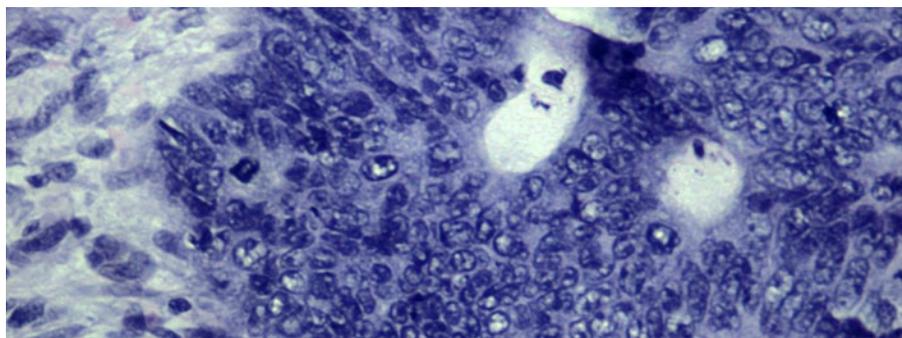
がん増殖の黒幕細胞を狙い撃つ薬剤を見つける方法が開発された。

NEWS.COM
がん幹細胞は、がんの増殖を開始させ維持する、がんの元凶となる細胞だと考えられている。このほど、がん幹細胞を特異的に攻撃する薬剤を見つけ出す新しい手法が開発され、今後、製薬会社や研究者のがんとの戦い方が変わるかもしれない。

「我々は、がん幹細胞を狙い撃つ薬剤を見つけ出せる、従来にはなかった体系的な方法を手に入れたのです」と話すのは、マサチューセッツ工科大学およびブロード研究所（米国、ケンブリッジ）の Piyush Gupta である。彼は、*Cell* 2009 年 8 月 21 日に掲載された研究論文¹の筆頭著者である。

Gupta たちは、この技術を使って、がん幹細胞を選択的に死滅させることができる化学物質の 1 つを初めて見つけ出した。この物質は飼料に添加され、ブタやニワトリにごく一般的に使われている抗生物質で、乳がんの化学療法で広く使われている薬剤を使った場合に比べて、乳がん幹細胞の比率を 100 分の 1 以下に減らすことができた。

たいていのがん治療では腫瘍細胞の大多数を除去するのだが、それではこの疾患の元凶であるがん幹細胞を取り除くことはできず、がんが再び猛烈に活発化することがよくある。そのため、がん幹細胞を選択的に狙い撃つ薬剤の探索が行われてきたが、これらの「再犯細胞」は非常に数が少ないため、候補となる化学物質のスクリーニングがこれまでほとんど不可能だった。そこで、マサチューセッツ工科大学の Robert Weinberg と Eric Lander が率いるこの研究チームは、ある裏技を使って、がん幹細胞に似た細胞を多数作り出し、本物の標的であるがん幹細胞をめがけて飛んで行く「分子ミサイル」を見つけようとした。



乳がん幹細胞を死滅させる薬剤が見つかった。

研究チームは、乳がん細胞の中のある特定遺伝子 1 つの発現を抑制することで、これらの細胞を、人体の大部分を構成する細胞種である上皮細胞から、幹細胞に似たさまざまな特徴をもつ間葉細胞へと転換させたのである。できた細胞はがん幹細胞と同じ分子の特徴を備えており、同様の薬剤耐性ももっていた。そこで、これらの細胞を使って約 1 万 6000 種類の化学物質をスクリーニングしたところ、32 種類の候補物質が見つかった。この候補リストをさらに絞り込んで得られたのが、家畜やペットの餌によく混ぜられている、サリノマイシンという抗生物質だったのだ。

薬探しの戦い

候補化学物質を手に入れた研究チームは、今度はそれを標的である乳がん細胞株の幹細胞でテストした。サリノマイシンと、進行性乳がん患者の治療に使われているパクリタキセル（商品名「タキソール」）との比較解析を行ったところ、サリノマイシンは再三にわたりがん幹細胞の比率を減少させたが、パクリタキセルでは逆の効果がみられた。「これは間違いなく一歩前進です」と、トロント大学（カナダ）でがん研究に携わる John Dick は

述べている。彼は今回の研究にはかかわっていないが、がん幹細胞の存在を初めて示した研究で知られる。

サリノマイシンががん幹細胞をどうやって根絶するのか、また、臨床で実際に使えるかどうかは必ずしもはっきりしていない、と Gupta はいう。研究チームは現在、さまざまな進行度の腫瘍にサリノマイシンを使って腫瘍形成の阻止効果を調べたり、がん幹細胞特異的に攻撃する候補物質をほかにも見つけようと、大規模なスクリーニングを行ったりしている。

ベイラー医科大学（米国、テキサス州ヒューストン）の乳がん研究者である Michael Lewis の話では、今回の論文により、製薬業界は、腫瘍形成の開始能を阻害する薬剤のスクリーニング法を再検討することになるだろうという。そして、「もし私が大手製薬会社の立場で、商品として抱える化学物質が 3 万種類あれば、それらをすべて試してみますね」と話している。ただ、今回の研究では、実際の腫瘍から採取した検体ではなく、がん細胞株でサリノマイシンの効果を調べており、これが唯一の弱点だと、彼は指摘している。（船田晶子 訳）

1. Gupta, P.B. et al. *Cell*, **138**, 645-659 (2009)

Sunspots stir oceans

太陽黒点が雨を減らす

Geoff Brumfiel doi:10.1038/news.2009.869/27 August 2009

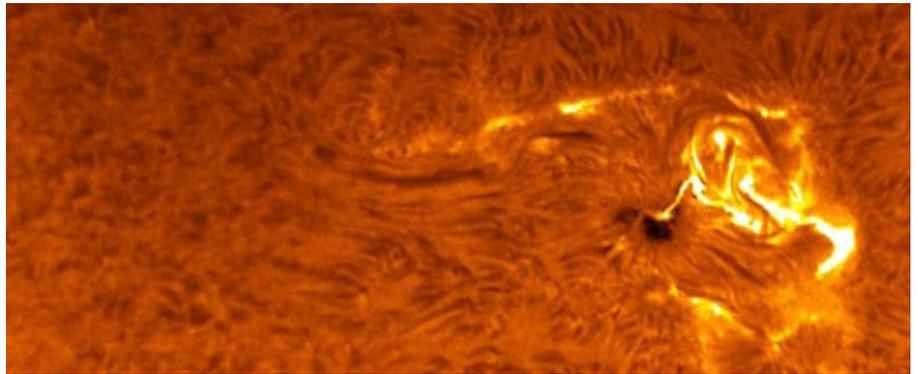
太陽の明るさの変化が太平洋の降水量に影響しているかもしれない。

太陽の明るさの小さな変化が、太平洋の天候にどのように影響しているかがコンピューターシミュレーションで解明されつつある。

観測によると、太平洋東部の降水量は太陽の明るさの変化とともに11年周期で変動する。今回のコンピューターシミュレーションの結果は、この観測結果とおおむね一致している。ただし、この気候モデルは太陽活動と過去100年間の地球の気温上昇との関連は示していない。

米国立大気研究センター（NCAR；コロラド州ボルダー）の気候モデル研究者で、今回の研究論文の筆頭著者であるGerald Meehlは、「これは地球温暖化と直接関係する話ではありません。しかし、この結果は、太陽活動の変化は地球の気候に測定できるくらいの影響を及ぼすことを示している」と話す。この研究成果は*Science* 2009年8月28日号で発表された¹。

太陽はほぼ一定の強さで燃え続けているが、磁場の変化のために、周囲より温度が低く、暗く見える黒点が太陽表面に発生することがある。太陽黒点の縁は、太陽表面のほかの部分よりもずっと明るい。太陽黒点の増減は11年周期で起こり、黒点の増加（太陽活動が盛んな時期）により太陽が放出する総光量はわずかに増加するだけだが、研究者たちは、地球の気候に影響する可能性があると考えている。例えば、1645年から1715年までの寒冷期は、太陽黒点が異常に少なかったことが原因かもしれないと多くの科学者たちは考えている。また、太平洋の降水パターンは11年の太陽黒点周期とともに変化し、太平洋東部の平均降水量は太陽活動が盛んな期間には減少するらしいということにも研究者たちは気づいていた。



太陽黒点は地球の天候に大きな影響を及ぼしている可能性がある。（NASA 提供）

2つの仮説

しかし、そのような小さな明るさの変化が、地球最大の海洋の天候にどのようにして影響を及ぼしているのだろうか。近年、2つの仮説が有力視されている。その1つは、太陽の明るさの増大に伴う紫外線放射の増加が、地球の高層大気の温度を変える、というものだ。高層大気の温度変化は熱帯地方の風のパターンを変化させ、最終的に太平洋東部の降水量の減少につながるとされる。

2番目の仮説は、太陽の明るさの増加により、太平洋が暖められるというものだ。この加熱により、一部の地域で海水の蒸発量と降水量が増えるが、太平洋東部では冷却効果のある風を発生させ、この風が太平洋東部で雨雲の形成を抑えるという。

「2つの仮説はそれぞれもっともらしいのですが、それぞれ個別に気候モデルに組み込んでも観測結果を説明できるほど十分な効果が得られませんでした」とMeehlは話す。そこで彼らは、ある1つのモデルに、同時にこの2つの効果を組み込んでみた。「案の定、気候モデルにずっと大きな反応がみられました」と彼は話す。

米国航空宇宙局（NASA）ゴダード宇

宙科学研究所（ニューヨーク市）の気候モデル研究者 Drew Shindell は、「今回の研究は気候モデル改良の重要な要素になるでしょうが、これで難問のすべてが解決されたわけではありません」と話す。2つの仮説を組み合わせれば、確かに太陽黒点周期の影響の大きさを再現するモデルになるようではあるが、シミュレーション結果の地域的な分布は、現実の観測結果と大きく食い違っている。「今回の研究は、気候モデル研究にとって一歩前進ではありますが、明らかに解明までの道のりはまだまだ遠いのです」とShindellは指摘する。

これに対しMeehlは、「我々は、問題を解決したと主張しているわけではありません」という。しかし、「明らかにこのモデルは、太平洋でみられる一般的傾向を再現しているのです」と主張する。来年には、大気科学者や海洋学者らが開発したそれぞれのモデルを組み合わせることになっており、モデルの予測能力は必ず向上していくはずだとMeehlは考えている。（新庄直樹 訳）

1. Meehl, G. A., Arblaster, J. M., Matthes, K., Sassi, F. & van Loon, H. *Science* **325**, 1114-1118 (2009).

著作権等の理由により画像を掲載することができません。

Fixing the sky

オゾン層破壊と地球温暖化

Nature Vol.460(792-795)/ 13 August 2009

オゾン層破壊の問題を解決すべく策定されたモントリオール議定書では、地球温暖化については考慮されていなかった。しかし、2つの環境問題は、複雑な形で密接に関連している。

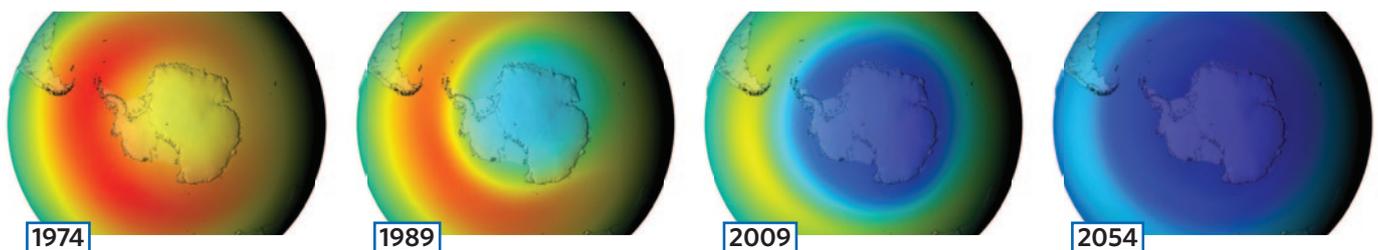
モントリオール議定書へ

8月下旬、南極大陸には忌まわしい現象が現れる。長い極地の冬が終わり、空に太陽が戻ってくると、成層圏にある塩素系化合物や臭素系化合物がオゾン層の一部を破壊しはじめるのだ。オゾン層には有害な太陽紫外線から地球表面を保護する「日よけ」の役目があるが、南極大陸上空で

は数か月にわたって大量のオゾンが破壊され、ついには穴があいてしまう。それがオゾンホールだ。

この現象は1970年代末から毎年、春がくるたびに起きていた。しかし、科学者がその生成パターンに気がつき、論文を執筆するまでには数年を要した。そして1985年、英国南極調査所の研究チーム

がオゾンホールに関する論文を *Nature* に発表したのを契機に¹、世界の関心がにわかになら高まったのである。同じころ、人間が大気中に排出する汚染物質によってオゾン層が破壊されやすいことも明らかになってきた。オゾンホールへの懸念は各国を動かし、1987年には、オゾン層破壊物質の製造を段階的に中止する道筋が定め



NASA のシミュレーションによると、塩素や臭素を含む汚染物質が規制されていなかったら、南極大陸を覆うオゾン層の希薄化(青色)はどんどん進行していたという。

られた。この「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」は、地球規模の環境問題に対する最も野心的な取り組みとして、今日も高く評価されている。

各国がモントリオール議定書に合意したことで、地球の日よけを修復する作業は大きく前進した。南極大陸上空に毎年出現するオゾンホールは相変わらず大きいものの、大気中の塩素の量は減少に転じている。また、南極以外の地域でも、穴があくほどではないが危険なほど薄くなっていたオゾン層に、回復のきざしがみえはじめている。

2つの地球環境問題

明るいニュースがいくつか出てきた一方で、いつになったら空が健康を取り戻せるのか、その大きな疑問への答えはまだ得られていない。10年前、研究者たちは、オゾン層は2050年までに完全に回復すると見積もっていた。しかし今日では、予測は簡単ではないことがわかっている。予想を困難にしている要因の1つが、温室効果ガスの存在だ。モントリオール議定書への署名から今日まで、温室効果ガスの影響によって大気の状態は多くの点で変化してきた。その中にはオゾン層の回復を早める変化もあれば、回復を遅らせる変化もある。

温室効果ガスの影響のうち、どれがオゾン層の回復に最も強く効いてくるかを検証するには、長期シミュレーションが必要である。その長期シミュレーションを実行するには強力なコンピューターがいる。しかし、十分な性能を備えたコンピューターが出てきたのはつい最近のことだ。シミュ

レーションによれば、オゾン層の一部は、従来考えられていた時期より数十年も早く回復するが、南極のオゾンホールの回復は、これまでの予想より数十年も遅くなる可能性があることがわかった。

気候変動がオゾン層に影響を及ぼすように、オゾン層の変化もまた気候に対して影響を及ぼす。南極大陸上空のオゾン層破壊は、南極半島の温暖化を助長し、いくつかの棚氷の崩壊を引き起こすなど、既に気候に影響を及ぼしている。また、オーストラリアでの干ばつと火災の増加の一因となっている可能性も指摘されている。

米国海洋大気圏局（コロラド州ボルダー）の大気化学者 Susan Solomon は、「成層圏オゾンと地表の気候の間には、さまざまな関連があります」という。「両者の相互作用は非常に興味深いものですが、その全容はまだ解明されていません」。

回避された最悪の未来

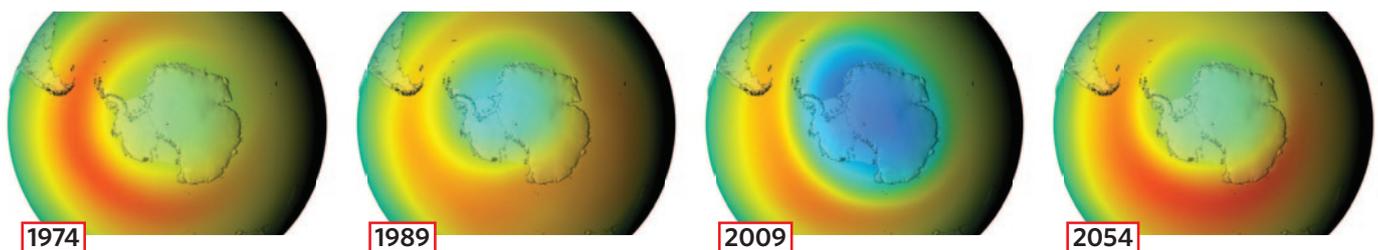
オゾンホールの存在が広く知られるようになる前から、科学者たちは、人間活動がオゾン層に及ぼす影響について心配しはじめていた。1974年には、カリフォルニア大学アーバイン校（米国）の化学者 Sherwood Rowland と Mario Molina が、大気中に放出されたクロロフルオロカーボン（CFC）類が成層圏に運ばれて分解されると、塩素原子が生じてオゾン層を破壊する可能性があることを警告した²。彼らはのちにオゾン層の化学の解明につながる先駆的な研究が認められて、マックス・プランク化学研究所（ドイツ、マインツ）の Paul Crutzen とともに1995年のノーベル化学賞を共同で受賞した。

地球規模のオゾン層の希薄化とオゾンホールに対する懸念から生まれたモントリオール議定書は、1987年に採択され、1990年に発効した後も数度の改正を加えられ、冷蔵庫、エアコン、発泡剤に使用されるCFC類や、消火器に使用されるハロン（臭素を含むフルオロカーボン）など、オゾン層を破壊する能力が高い物質の製造を禁止してきた。議定書の効果はすぐに現れ、成層圏のオゾン破壊物質の実効濃度は1990年代末にピークに達した後、減少している³。

実は、モントリオール議定書による規制は、地球温暖化対策としても有効である。CFC類をはじめとするフルオロカーボン類（フロン）は、二酸化炭素よりもはるかに強力な温室効果ガスだからだ。温室効果ガスの削減という観点に立てば、実はフロンを規制するモントリオール議定書には京都議定書の5～6倍の効果がある⁴。

「モントリオール議定書は、これまで策定された環境国際法の中で最大の成功をおさめたもの」とSolomonはいう。「交渉にかかわる人々は、温室効果ガスの規制をもっとうまくやる必要があり、それは可能です。この議定書が多くのことを教えてくれています」。

オゾン層を保護するための取り組みが始まっていなかったら、未来の地球はどうなっていただろう？ NASAゴダード宇宙飛行センター（メリーランド州グリーンベルト）の Paul Neuman とその同僚は、化学反応、大気の循環、太陽放射をシミュレーションするモデルを使って、オゾン層を破壊する物質の製造が規制されず、年

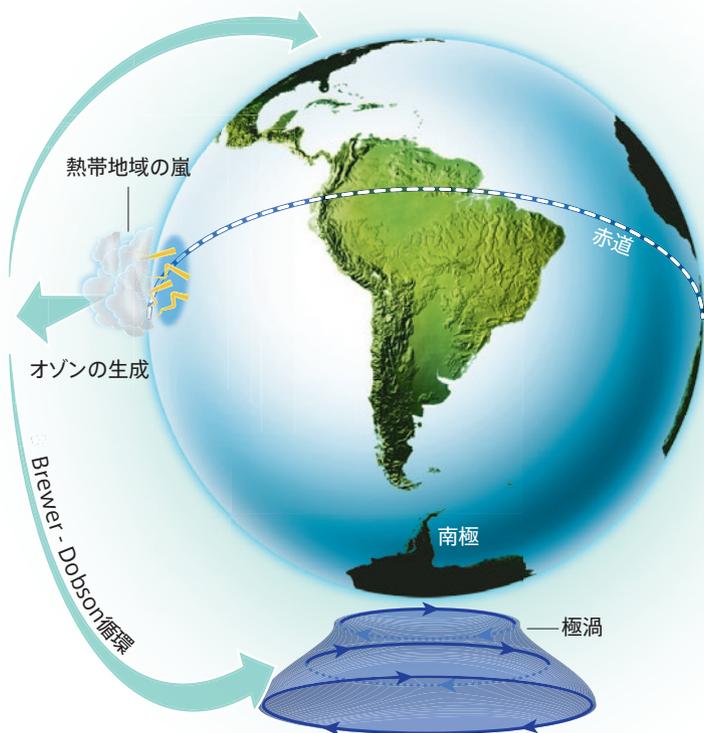


汚染物質の規制により、今世紀の後半にはオゾン層の回復がはじまると予測されている。

間3%ずつ増加しつづけた場合の未来を予測してみた。その結果は、2065年までに、極地だけでなく地球全体で、オゾンの2/3が破壊されるというものだった⁵。そして、フロンは今世紀の末までに地球のオゾン層をほぼ完全に破壊してしまう。ニューヨーク、ブエノスアイレス、東京をはじめとする中緯度地域（緯度が30°～60°の範囲にある温暖な地域）に住む人々は、強烈な紫外線にさらされるようになる。彼らは、日差しを5分間浴びただけで危険な日焼けを起こす。これは、今日の1/3の時間である。DNAに突然変異を引き起こす紫外線放射の強さは約6倍になり、皮膚がんの患者数が激増するだろう（p.14 コラム「オゾン層とがん」参照）。

オゾンの長い旅

オゾン分子は熱帯地域上空の成層圏で生成し、両極地域に運ばれて、成層圏下層に沈み込む。南極大陸の上空には気流が渦を作っていて（極渦）、冬から春にかけて極地の成層圏を孤立させる。ここに封じ込められた冷たい空気が、春のオゾンホール形成を促進する。



しかし、オゾン層保護条約のおかげで、私たちが住む今の地球は太陽から降り注ぐ恐ろしい紫外線から保護されている。ミュンヘン近郊のオーバーファッフェンホーフェンにあるドイツ航空宇宙センターの大気気候科学者 Martin Dameris は、「最悪の未来は回避されました」という。「けれどもそれは、モントリオール議定書を骨抜きにしようなどとは、ゆめゆめ考えてはいけないという警告でもあります」。

中緯度地域の現状と未来

環境保護団体が特に心配しているのは、農家が害虫駆除に使用する臭化メチルである。オゾン層保護条約の規定では、先進国は2005年まで、発展途上国はその10年後までに臭化メチルの使用が禁止さ

れることになっていた。しかし、農業団体によるロビー活動の結果、臭化メチルの禁止は回避され、今日も多くの先進国で使用されている。

事態を複雑にしているもう1つの要因は、旧型のアエアコンや消火器に大量に使われている塩素と臭素を含むフルオロカーボン類である。これらの大半も、やがては大気中に出ていく。塩素や臭素を含むこれらの物質は、CFCなどのオゾン層破壊物質が段階的に禁止されても、既に製造されている装置や機器から放出され続け、その後も数十年にわたって大気中に滞留し、オゾン層を分解し続けることになる。

現在、地球全体の成層圏のオゾン濃度は1964年～80年の平均値よりも約4%低くなっている。しかし、その減少幅は、南北半球によっても緯度によっても大きく異なる。熱帯地域では、オゾン濃度はあまり低下していない。これに対して中緯度地域では、オゾン濃度が低下した極地の気塊と混ざりやすいため、1980年のオゾン濃度に比べて、北半球では合計3%、南半球では6%も低下している³。

中緯度地域におけるオゾン層破壊は、毎年春に南極大陸で起こるオゾン層の大規模な破壊に比べれば軽度であるが、この地域には人口が密集しているため影響は大きい。地表に降り注ぐ紫外線量の増加は、全世界の皮膚がんの発症件数を毎年数十万件も増加させる可能性がある。さらに、その影響が完全に現れるのは数十年も先になるかもしれないのだ³。

しかし、中緯度地域には希望もある。この地域のオゾン濃度が上昇に転じる気配をみせているからである。「中緯度地域のオゾン濃度は、今後、上昇していくように思われます」と、ゴダード宇宙飛行センターの大気化学者 Richard Stolarsky はいう。彼によると、上昇傾向はまだ十分明確にはなっていないため、その原因を特定することはできないという。「けれども私たちは、大気中の塩素濃度の低下がオ

ゾン濃度の上昇に寄与していることに、かなりの確信をもっています」。

かつては中緯度地域のオゾン層が完全に回復するのは2050年になると予測されていたが、現在のモデルを使ったシミュレーションは、その時期が20年ほど早まることを示している。これは特に、南極のオゾンホールの影響をあまり受けない北半球に当てはまる⁶。皮肉なことに、このオゾン層の回復の早まりは、地球温暖化がもたらす恩恵とみることができる。温室効果ガスが大気圏下層に熱を閉じ込めると、その上にある成層圏の温度を下げて、オゾンを破壊する化学反応の速度を遅くするのだ。さらに、気候と大気化学のシミュレーションからは、オゾンを豊富に含む熱帯地域の大気が中緯度地域に運ばれる循環パターンが、地球温暖化によって加速され、中緯度地域のオゾン濃度が上昇すると示唆される。

極域の未来

しかし、地球温暖化が両極付近に及ぼす影響についての詳細は不明である。特に、南極のオゾンホールがどうなっていくかはわからない。南極大陸上空の非常に乾燥した成層圏の気温が -78°C 以下になると、極成層圏雲が形成され、この雲を構成する氷の粒子の表面で、3個の酸素原子からなるオゾン分子の酸素原子を1個はぎとる化学反応が起こる。したがって、南極大陸上空の成層圏の温度が下がれば、オゾン破壊は促進される可能性がある。

氷の粒子の役割は大きい。極地以外の成層圏では、塩素原子は平均すると数百個のオゾン分子を破壊したあと、亜酸化窒素などの気体分子と反応して活性を失う。しかし極地の成層圏では、氷粒子の表面が触媒として作用し、数万個のオゾン分子を破壊することができる。その反応は高速である。南極のオゾンホールの中心部では、地表から14~21kmの範囲にあるオゾンの3%が1日で破壊されてしまうこともある³。10月の初旬までに、極

成層圏雲はこの高度にあるオゾン分子をほとんどすべて破壊してしまう。

1992年、温室効果ガスによる温暖化がオゾン破壊を大幅に加速し、北極上空にもオゾンホールを形成させるという予測が発表された⁷。この論文の著者であり、地球物理流体力学研究所（米国、ニュージャージー州プリンストン）のモデル製作者であるJohn Austinによると、その研究では重要な効果を考慮していなかった。地球大気にはBrewer-Dobson循環という流れがある。これは、熱帯地域の空気を成層圏まで上昇させ、高緯度地域に運び、そこで大気圏下層に下降させる流れである（空気はこのとき圧縮され、温度が上昇する）。気候変動でこの周期が加速されるなら、極地上空で下降する気流も速くなる。その結果、下降する空気はより強く圧縮されて、その気温を上昇させる。特に北極では、成層圏の温度上昇はオゾンの破壊を阻止するとAustinはいう。

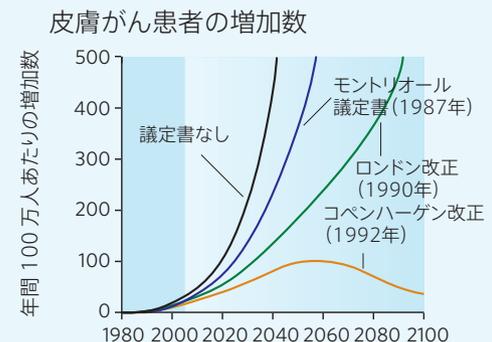
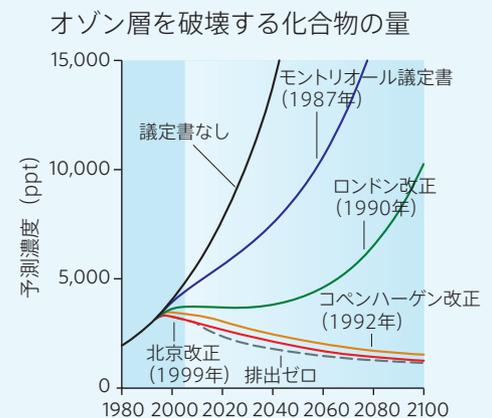
気候変動は、極地の成層圏の温度を上昇させる方向にも低下させる方向にも作用するため、どちらの効果が卓越するのか、研究者たちはまだ判断できずにいる。ジョンスホプキンス大学（米国、メリーランド州ボルティモア）の大気科学者Darryn Waughによると、その結果はモデルによってまちまちであり、かなりの不確実性が残っているという。

この分野の進展を妨げている要因の1つは、研究に要する時間の長さである。大気化学と気候の両方を再現できる複雑なモデルを、長期にわたってシミュレーションできるコンピューターはまだ少ない。Austinによると、プリンストン高等研究所で100年分のシミュレーションを行うためには、100台のプロセッサからなるシステムを使って3か月間連続で計算しなければならない。実験が中断しないよう「毎日見守らなければなりません」と彼はいう。「さもないと、3か月の予定が、すぐに4か月、5か月に延びてしまうからです」。

現時点では、南極大陸上空のオゾンホー

効果的だった条約

モントリオール議定書が採択され、数度にわたって改正されていなかったら、オゾン層を破壊する化合物の量は増え続け、皮膚がんの発生率は急増していただろう。



ルが回復するさざしはまったくみられない。2002年と2004年には比較的軽度だったが、2006年にはオゾン濃度は最低記録を更新し、その後も低いままである。ほとんどの科学者は、今後20年以内に回復が始まることはないと考えている。5年前の予想に比べると、回復時期は10年あまり遅くなったことになる。これは、大気中の化学物質の移動をシミュレーションしたところ、南極大陸上空の成層圏オゾン層破壊物質が、今後10年から20年間は飽和したままであるという結果になったからである。多くのモデルによると、極地でのオゾン層破壊物質の濃度が1980

年代の値よりも低くなり、オゾンホールがほぼ完全に消えて元に戻るの、2060年から2065年頃になるという。

最新のモデル実験の結果から、新たな複雑化要因の存在が明らかになった。それが既に述べた臭素系化合物の影響である。成層圏の臭素濃度がモデルの示唆する濃度より高いのは、予測よりも多くの臭素が成層圏に流入しているからだと考えられる。プリンストン高等研究所の研究によると、この傾向が続くなら、2065年以降も数十年にわたって、現在のオゾンホールの1/10程度の小さなオゾンホールが形成されつづけることになる。Austinは、この結果は予備的なものにすぎないと念を押したうえで、「今世紀の終わりになっても、オゾンホールは完全にはなくならないでしょう」という。

オゾン層破壊が気候変動を起こす

しかし、人間にとっても大部分の動植物にとっても、オゾンホールから余分に降り注いでくる紫外線は、あまり大きな問題にはならないかもしれない。オゾン層破壊がピークに達するのは早春であり、太陽の高度はまだ低いので、地表に届く紫外線はたいした量にはならないからだ。

「オゾンホールが1個なければならないのなら、南極大陸にあるのがいちばん都合がよいのです」とSolomonはいう。「オゾンホールが熱帯地域にあったら、生物に甚大な悪影響を及ぼしていただしょう」。

しかし、オゾンホールはわずかに多くの紫外線放射を入れてしまうだけでなく、狭い範囲の気候に間接的な影響を及ぼし、南半球の広い範囲で実感されるような大気の変化を引き起こす。そもそも太陽紫外線を吸収するオゾンは、成層圏にとっては巨大な熱源である。極地の成層圏の広い範囲でオゾン層が破壊されたことで、この領域は6℃近く低下している。Solomonは、この冷却効果が極冠の周囲を吹く西風の渦を強化し、南極大陸の封じ込めを助長していることを明らかにした⁸。

この発見から、南極大陸の気候が示すいくつかの不思議な特徴を説明することができる。強い極渦は、低温の空気を内陸の高原に閉じ込めることで、地球上で最も寒い地域を温室効果ガスによる温度上昇から保護している。南極大陸の大部分の気温は、この30年間に低下してきた。これは、地球温暖化を否定する人々がしばしば証拠として挙げる事実である。しかし、Solomonの研究は、南極大陸の内陸部

で温度が上昇していないことはオゾン層の破壊によって理解できることを示している。

南極大陸上空に封じ込められた冷たい空気が、大陸の縁を越えて外に流れ出すことは少ない。このことは、比較的穏やかな海洋性気団にさらされている南極半島が、地球上で最も急速に温暖化した事実を理解する助けになる。過去数年間に、南極半島では2つの大きな棚氷が離れ、南極海に巨大な冰山を送り出した。そのほか6つの棚氷が崩壊の徴候を示している。

今後、オゾンホールが縮小するにつれ、南極大陸上空に封じ込められていた空気は解放されていくだろう。「極渦はゆるくなり、内陸部の冷たい空気は、もっと頻りに南極半島に到達できるようになります」とSolomon。「これはよい傾向です」。

南極大陸の周囲、例えばロス海では、海氷に覆われている海面の割合が上昇している。Solomonは早い時期から、この一見不可解な傾向の背景にも、南極大陸の周囲で大気の循環が強くなったことが関係していると指摘してきた。実際、最近のモデル実験では、海氷の拡大と南極大陸全体の気候変化は、オゾンホールが大気の循環パターンを変えたことにより説明できることが確認されている⁹。

オゾン層とがん

過去30年間に地球のオゾン層が希薄化したことに伴い、皮膚がんの発生率が急増することが予想された。実際、増加は起きたようにみえる。米国では2009年、6万9000件の黒色腫が診断されると予想されているが、これは1975年の2倍にあたる数字である。黒色腫の発生率と死亡率が世界一高いオーストラリアとニュージーランドの一部の地域では、この数字は1994年か

ら50%も増加している。

しかし、皮膚がん患者の増加がオゾン層破壊に起因していると断定するのは難しい。なぜなら、皮膚がんの発生率は、オゾン層破壊以外の要因（例えば、生活様式、日焼け止めの使用、腫瘍の診断頻度など）にも依存し、これらはいずれも時代とともに変わってくるからである。また、紫外線に曝露してから皮膚がんを発症するまでには数十年かかる

ため、これまでのオゾン層の希薄化に起因する皮膚がんの増加のピークはまだ到来していないと考えられる。

世界気象機関と国連環境計画は、紫外線放射の予測増加量に基づき、オゾン層以外の要因が不変であると仮定して、皮膚がんの患者数は今世紀の中頃にピークに達し、1980年の水準に比べて年間100万人あたり100人あまり増加すると予測した。全世界では70

万人増えることになる。その後、患者数は1980年の水準に戻っていくという。

モントリオール議定書が採択されず、その後の改定も行われていなかったら、皮膚がんの患者数は2050年には4倍になり、その後も急激に増加していたと考えられている³（13ページの図参照）。

Q.S.

モナッシュ大学気象力学海洋学センター（オーストラリア、クレイトン）の James Risbey は、オゾン層の破壊は南極大陸以外にも影響を及ぼしており、オーストラリア南部での雨量の減少と干ばつの増加を引き起こしたと指摘する。彼によると、これまた南極大陸上空のオゾン層が破壊されたことで気温と気圧が低下し、極渦の風速が上がったことが原因であるという（12 ページの図参照）。その結果、雨を降らせる西風が南下し、オーストラリアから遠ざかってしまった。Risbey は、南極大陸上空のオゾン層破壊はオーストラリアの乾季の雨量を 20% 減少させたと推測している。

気候変動もまたオゾン層に影響する

「オゾンの化学と大気力学は相互に影響を及ぼし合います。そのため、どちらがどのような影響を及ぼしているかを分けて論

じることは困難なのです」と Dameris はいう。「多くはまだ推測の域を出ていません。今後、思いがけない発見もあるかもしれません」。

気候と大気化学をシミュレーションする彼のモデル実験は、熱帯地域の海面温度の上昇が Brewer - Dobson 循環を強化することを示唆している¹⁰。これにより、熱帯地域上空のオゾンが減少し、それ以外の地域のオゾンが増加して、中緯度地域のオゾン濃度が異常に高くなる可能性がある。増えたオゾンは人間を保護するのに役立つかもしれないが、成層圏の化学反応を変えたり、植物の成長を遅らせたりして悪影響を及ぼす可能性もあると Dameris は言う。

これまで、人間活動が空のオゾン濃度に及ぼす影響としては、塩素や臭素による反応が大きかった。長期的には、こうした汚染物質は空から除去されていくの

で、やがては温室効果ガスの影響が主役になっていく。それゆえ、「気候変動がオゾン層に及ぼす影響について考えている人はあまりいませんが、そろそろ目を向ける必要があります」。(三枝小夜子 訳) ■

Quirin Schiermeier はドイツに拠点を置く Nature の通信員。Richard Monastersky が追加報告を行っている。

1. Farman, J. C., Gardiner, B. G. & Shanklin, J. D. *Nature* **315**, 207.210 (1985).
2. Molina, M. J. & Rowland, F. S. *Nature* **249**, 810.812 (1974).
3. United Nations Environment Programme *Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2006* (UNEP, 2007); available at www.unep.ch/ozone/Assessment_Panels/SAP/Scientific_Assessment_2006/index.shtml.
4. Velders, G. J. M., Andersen, S. O., Daniel, J. S., Fahey, D. W. & McFarland, M. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **104**, 4814.4819 (2007).
5. Newman, P. et al. *Atmos. Chem. Phys.* **9**, 2113.2128 (2009).
6. Waugh, D. W. et al. *Geophys. Res. Lett.* **36**, L03805 (2009).
7. Austin, J., Butchart, N. & Shine, K. P. *Nature* **360**, 221.225 (1992).
8. Thompson, D. W. J. & Solomon, S. *Science* **296**, 895.899 (2002).
9. Turner, J. et al. *Geophys. Res. Lett.* **36**, L08502 (2009).
10. Deckert, R. & Dameris, M. *Geophys. Res. Lett.* **35**, L10813 (2008).

RESEARCH HIGHLIGHTS

Losing Louisiana

さらばルイジアナ

Nature Geosci. 2, 488-491 (2009)

ミシシッピ・デルタが水没しつつある。これを回避するため、ミシシッピ川の流れを変えて、海岸地域まで土砂を運搬・堆積させようという提案がなされている。しかし、新たな研究によれば、デルタを形成する河川が運搬している土砂の量は少なすぎ、予測されている海面上昇（右図）に対抗できないという。

ルイジアナ州立大学（同州バトンルーージュ）に所属していた Mike Blum と Harry Roberts は、河川が現在運搬している土砂の量は、デルタの形成時に必要とされた量よりも少ないことを



発見した。彼らは、地盤沈下と加速度的な海面上昇により、西暦 2100 年までに 1 万 ~ 1 万 3500 平方キロメートルの土地が水没すると予測している。

2 人の研究によると、デルタを水没

させないためには今世紀の終わりまでに 180 億 ~ 240 億トンの土砂が供給される必要があるが、ダムに堆積した土砂を排出させてもまだ足りないという。

(三枝小夜子 訳) ■

M. BLUM/NASA

気候変動科学とリスクコミュニケーション

江守 正多

国連気候変動枠組条約の締約国会議^{注1} (Conference of Parties: COP) を12月に控え、地球温暖化防止策についての議論が各国で熱を帯びてきた。今回は、1997年に批准された京都議定書に書かれていない2013年以降の目標を決定するという事で、特に注目が集まっている。コンピュータを使った温暖化予測の専門家である国立環境研究所の江守正多博士に、気候変動科学の客観性と政策との兼ね合い、社会とのコミュニケーションの重要性について話を聞いた。

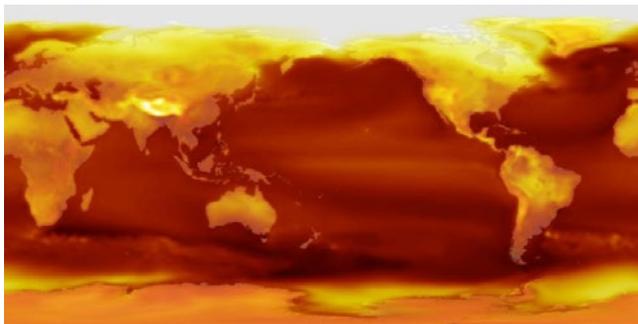
温暖化と偶然の事象

Nature Digest — ゲリラ豪雨など通常とは違う気象現象が起きると、人々はすぐ温暖化のせいだというようになりました。

江守 — 日々のイベントは偶然の変動や不規則性が大きくて、温暖化すれば起こる、しなければ起こらない、というものはほとんどありません。しかし、50年から100年くらいの長い期間のデータがたまると、トレンドがみえてきます。気象現象の頻度や強度に明らかなトレンドがあるかということと、それが温暖化の結果なのかということは、統計学的・科学的に議論することができます。

日本の大雨の場合は、この30年で結構増えているというグラフがありますが、現時点では温暖化との関連性をはっきりいうことはできません。しかし、今後数十年で気温が上昇すれば、大雨の頻度は増えることが予測されています。今後しばらくは10年当たり0.2℃程度の平均気温の上昇があると考えられており、これに対応した大気中の水蒸気量の増加の効果のみを考えた場合、降水強度（大雨と関係する指標）は10年当たり1.5%程度強くなると予測されています。このような前提で、社会が温暖化に備えたり危機感を共有したりすることは、論理的には間違っていない。

気温については、温暖化との関連性はもう少し明らかです。日本の年間平均気温は過去100年で約1℃上昇していますが、実は真夏日^{注2}の日数には明瞭な増加傾向はみられませ



シミュレーションによる、2100年ごろの気温上昇量分布。色が明るいほど大きな気温上昇を表す。地球の年間平均気温は1900年から2100年までに5度上昇することが予測された。2007年に発表されたIPCCの第4次評価報告書の作成において、世界で最も詳細な計算結果として大きく貢献した。

ん。一方で、熱帯夜は10日程度増加し、冬日は20日程度減少しています。つまり、夜間の最低気温が顕著に上がっています。ただし、この傾向には、ヒートアイランド現象も一部関係している可能性があります。

国際的な動向

ND — 「気候変動に関する政府間パネル (IPCC) ^{注2} の最新の研究プロジェクトは何ですか。

江守 — 1つは近未来予測です。100年後を計算する過程で10～20年後の計算もしていますが、温暖化のシグナルが自然変動のノイズに比べて十分ではなく、科学的な分析をしづらいという問題点がありました。しかし、データ解析の技術も進み、数十年で変動する大気海洋の現象など、偶然にみえる部分の一部は予測できるかもしれないという考え方が出てきました。IPCCでは、国際相互比較で研究しようということになっています。

もう1つは逆に、より長期の予測です。温暖化はいつか止めないといけなく皆思っていますが、どのくらい急いで止めるかという点でコンセンサスがなく、長く複雑な議論を経て具体的な話が少しずつ出始めています。

例えば、温暖化を2℃で止めるのと、2.5℃や1.5℃で止めるのでは、100年後はあまり変わらないようにみえても、200～300年後をみると大きく違うかもしれません。氷や海面、炭素循環など、長い時間をかけて変化する現象も考慮して、科学的によく調べておく必要があるのです。

ND — 12月のCOP15では、何らかの合意は生まれそうですか。

江守 — 先進国各国の負担の分担や、途上国の参加の仕方などが決まるべきことだろうと理解しています。科学的な根拠をもとに話し合いが進むのが望ましいのですが、そのとおりにいくかどうかは分かりません。

今は、国内では産業派と環境派、国際舞台では先進国と途上国が衝突している状態ですよね。それで交渉がすぐ硬直状態に入ってしまう。皆に同じ科学的な認識を認知してもらったうえでその先の話をしてもらわないと困るので、私はどちらの側の人とも話をできるようにしておかなくてはいけないと思っています。

懐疑的な意見

ND — IPCC が出したモデルが、本当に客観性があると言い切れるのでしょうか。

江守 — 地球は 1 つしかないので、実験室で繰り返し調べられません。そこでコンピューターモデルが必要なわけですが、モデルが完璧ではないことは、実際に使っている私たちが一番よくわかっています。今の認識や枠組みに満足しているということはありません。

しかし、シミュレーションは、程度の差こそあれ過去のデータによって実証・検証された法則群の組み合わせでできています。気候の場合、一部半経験的なものも含まれますが、「空想のような仮説」の組み合わせでシミュレーションが成り立っているという考えがあるとしたら、それは単なる偏見です。温室効果ガスが増えれば気温が上がること自体は、理論的によくわかっています。具体的に何℃上がるか、地域的な分布がどうなるか、ということに関しては、シミュレーションのとおりになるかはわからないので、不確かさの幅を含めて多数のシナリオを作っています。

また、気候シミュレーションは、現在の気候の地域的な分布や時間的な変動の特徴をかなりよく再現できるので、それが未来を予測できる十分条件ではないにしても、必要条件としての検証は相当になされています。過去にも、NASA のゴダード宇宙科学研究所の現所長である James Hansen 博士が 20 年前に行った地球平均気温のシミュレーションは、その後 20 年間の気温上昇傾向をおおむね正しく予測しています。

私は、科学的に健全な懐疑にはいくらでも議論しますが、私たちの研究をよく調べようとしない、あるいは知っているにもかかわらず曲解して私たちの方法論を不当におとしめる「不健全」な懐疑に対しては、「ここが間違っていますよ」と指摘するようにしています。

ND — シミュレーションはどの程度正しいといえますか？

江守 — 私は、一言でいえば「前提条件が正しければ、不確かさの幅の中に現実が入るだろう」という意味において、シミュレーションは『正しい』と表現しています。「前提条件が正しければ」というのは、火山の大噴火が起こったり、二酸化炭素が想定以上に増えてしまったり、地球の気候を支配する未知の法則が存在していたりしなければ、という程度の意味です。

リスクコミュニケーション

ND — 研究室の主なプロジェクトは何ですか。

江守 — 国立環境研究所としては、気候変化の予測と、それに伴う土地利用や農地、水資源などへの影響を組み合わせる研究をしています。

文部科学省では、地球シミュレータ 2 を使って、IPCC 第 5 次報告書への貢献に向けて近未来予測や超長期予測のプロジェクトを進めています。一方、環境省では、地球温暖化の



江守正多（えもり せいた） / 1970 年、神奈川県に生まれる。1997 年に東京大学大学院総合文化研究科にて博士号（学術）を取得後、国立環境研究所に入所。スーパーコンピュータ「地球シミュレータ」を用いて研究を行うために 2001 年に地球フロンティア研究システムに出向。2004 年に復職した後、2006 年より現職に就く。東京大学気候システム研究センター客員准教授を兼務。著書に『地球温暖化の予測は「正しい」か？ — 不確かな未来に科学が挑む』（化学同人）、共著書に『気候大異変 地球シミュレータの警告』（日本放送出版協会）等がある。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）にも貢献した日本の温暖化予測研究チームで活躍する、若きリーダー。

政策支援と普及啓発のためのプロジェクトに関わっています。私は特に、社会にとって有益で正確な情報を効果的に伝達するコミュニケーション方法論の確立を目指しています。

例えば、メディアの人は今の温暖化報道は「やや物足りない」と思っている。それに対して研究者は「やや大き過ぎである」と思っている。研究者は長期的な影響を伝えたいのに、メディアの人は短期的な現象に興味があるといった具合に、ギャップがあります。

リスクコミュニケーションには「相互信頼の重要性」というテーマがあります。時間はかかりますが、信頼関係がお互いできてくると、伝えるべきものが伝わるようになってくると思っています。

ND — 5 ~ 10 年後の目標は？

江守 — コミュニケーションの問題に本格的に足を突っ込んでみる可能性があります。防災や化学物質の分野で盛んなリスクコミュニケーションを、温暖化研究でも本格的に展開してみたいと思っています。

また、より広い問題群との融合にも関心があります。温暖化は、他のいろいろな問題が解決されないと、本当に解決されたとはいえません。水や食糧、エネルギー問題、貧困、高齢化、人口など幅広いことを含んだ視点で、温暖化問題を科学的に議論できるようになりたいです。

ND — ありがとうございます。 ■

聞き手は、冬野いち子（NPG ネイチャーアジア・パシフィック サイエンスライター）。

注 1: 締約国会議（Conference of Parties）：気候変動に関する国際連合枠組条約（UNFCCC）の交渉会議の場として、年に一回、各国の環境関連の大臣が集まり、同条約の成果と今後の目標について話し合う。第 15 回を迎える今年（COP15）は、12 月 7 日から 2 週間、デンマークの首都コペンハーゲンで開かれる。

注 2: 日最高気温 30℃以上が真夏日、35℃以上が猛暑日
日最低気温 25℃以上が熱帯夜、0℃未満が冬日

注 3: 気候変動に関する政府間パネル（IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change）: 1988 年に世界気象機関（WMO）と国連環境計画（UNEP）によって設立された世界中の科学者から構成された組織。人為起源による気候変化や影響などに関して、中立的な立場から包括的な科学見地を提供している。第 4 次評価報告書を公表した 2007 年に、ノーベル平和賞を受賞。この中で IPCC は、過去 100 年で地球の年間平均地表気温は 0.7℃くらい上がっており、それは人間の活動による可能性が非常に高いと指摘している。

Shooting for the Moon

人類は再び月面に立てるか

Nature Vol. 460(314-315)/16 July 2009

アポロ計画は多くの人々を科学の道に誘った。今日、科学者は有人宇宙飛行を支持する一方で、その費用にたじろいでいる。Nature が実施したアンケート調査の結果を Richard Monastersky が報告する。

NASA

1969年7月20日にアポロ11号が月面着陸を果たしてからの浮き立つような日々、数え切れないほどの子供たちが月世界飛行ごっこに興じた。手で口を覆い、「ヒューストン、こちら静かな海基地。『イーグル号』が到着！」と報告したり、ヒーローであるアームストロング、オールドリン両飛行士になって、地上を大またで飛び跳ねた。打ち上げ場面では「…3、2、1」とカウントダウンし、「ゼロ」で空に向かってジャンプした。それから数十年、子供たちの多くが科学分野の職業に就いていった。

月面着陸は、多数の科学者が現在の仕事を志すきっかけとなった点で称賛に値する。これは、過去3年間にNatureで論文発表をした約800人の研究者を対象としたアンケート調査から明らかになった¹。

6月に実施されたインターネット上でのアンケート調査では、回答した研究者の半数が、アポロ計画に触発され、天文学

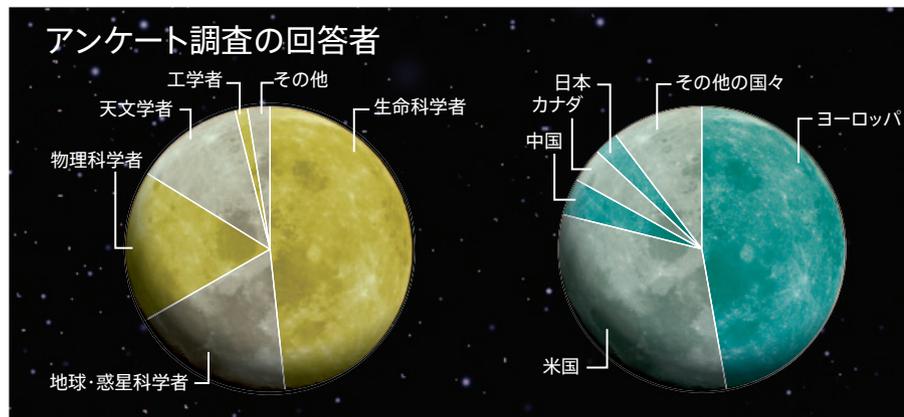
や惑星科学だけでなく科学全般を志すようになったと答えている (p.20「アンケート調査の回答者」参照)。ある生命科学者は、「私は完璧に宇宙狂となり、宇宙飛行士になろうと心に決めました。その後、関心は生物学に移りましたが、アポロ11号が私に与えた影響は今でも大きかったと思います」と書き記している。

このアンケートの目的は、科学者の態度を正確に測ることではなく、大まかな印象を把握することだったが、予想以上に有人宇宙探査を支持する研究者が幅広い層にわたることが判明した。調査対象となった科学者の約80%は、有人宇宙飛行の継続には科学研究の観点から正当性が認められると考えている。

また、80%を超える回答者は、生命科学、物理科学、工学、人間生理学のいずれもが、有人宇宙飛行からある程度の恩恵を受けてきたと答え、約90%は、若い



1972年のアポロ17号のミッションを最後に、人類は月面歩行をしていない。



世代が今でも有人宇宙飛行に触発されて科学を志すようになってきている、と回答している (p.20「アンケート調査の結果」参照)。回答者がこうした印象をもつには理由がある。2003年に米国学術研究会議(NRC)は、微小重力研究が、流体、燃焼、結晶成長の研究を含む物理科学のいくつかの分野に大きな影響を与えたと結論づけた²。1998年にNASAのスペースシャトル「コロンビア」の船内で実施された「ニューロラボ」実験は、宇宙での生命科学研究の極めつけとされ、これをもとに100本の論文が発表された、と元



月を夢見て

アポロ計画が実施されていたころ、私はまだ小さく、ニュージーランドの田舎に住んでいました。この注目すべき一連のミッションを支えた宇宙飛行士と科学者から、私は本物のインスピレーションを受けました。

地球・惑星科学者（オセアニア）

関係者の中に女性が見つからなかったため、初めての女性宇宙飛行士になりたいと思いました。少なくとも、女性も科学者になれることをみせたいと思いました。

生命科学者（米国）

ロボットを使えば、必要なことすべてを相当に低コストで実現できます。

地球・惑星科学者（ヨーロッパ）

有人宇宙船の月面着陸は、科学によって、ほぼ何でも実現可能であることを意味していました。

生命科学者（米国）

有人宇宙飛行がないと、宇宙探査は、ほんのわずかしかできません。

工学者（米国）

NASA では、やっぱりオタクがヒーローでした。元気が出ました。

物理学者（米国）

NASA 生命科学担当ディレクターの Joan Vernikos は話している。

空高く、さらに空高く

今回のアンケート調査に参加してくれた科学者は、基本的に、有人宇宙計画を支持している人々と考えられるが、米国人の62%とヨーロッパ人の83%は、有人宇宙飛行に対する本国政府の支出を「ほぼ適正」または「不十分」と答えた。ヨーロッパ人に有人宇宙計画の支持者が多いのは、ヨーロッパと米国での支出額に大きな差があることを反映しているかもし

れない。今年度、NASA は、緊急経済対策分を含めて97億ドル（約9200億円）を有人宇宙飛行関連活動に支出する。これは、NASA の総予算187億ドル（約1兆7800億円）の約半分にあたる。欧州宇宙機関（ESA）における有人宇宙計画関連予算は、総予算36億ユーロ（約4900億円）の約13%、4億8100万ユーロ（約650億円）にすぎない。

しかし支出先の優先順位を問う質問では、有人宇宙飛行への支持は薄れてくる。約80%が、支出先を有人宇宙飛行から無人宇宙ミッションへ変更することを歓迎

すると答え、70%は、有人宇宙飛行に対する予算の一部を他分野の科学研究に振り向けるのが望ましいと答えた。

ただし、「支出先の変更を望ましいと考える回答者は誤った前提に立っています。有人宇宙飛行の予算が、無人プロジェクトに差し替えられるわけではないからです」と、ESA の科学・ロボットミッション担当ディレクターの David Southwood は指摘する。実際、調査回答書には、有人宇宙飛行からの変更に対する反対意見も数人あった。また一部の回答者は、宇宙研究全般で予算が増えるという理由から有人

NASA

宇宙飛行を支持していた。

Nature の調査結果に見られる積極的な態度は、有人宇宙飛行が、単に科学研究のためのデータを生み出す作業を超えて、裾野の広い影響力をもっていることを示す。Southwood はこう説明し、パイロットで詩人の John Gillespie Magee による詩の一節を借りて、「有人宇宙飛行は、無愛想な引力の絆に縛られた人類に、それを断ち切る行為を身代わり体験させてくれるものだ」と語った。

アポロ計画の準備段階においても、科学者は、今回の調査結果とよく似た見通しをもっていた。1964年に米国科学振興協会(AAAS)が実施した研究によれば、当時の科学者は、全般的には人類の月面着陸という目標を支持する一方で、厳しい日程と極端に高額のコストには反対していた³。NASAの予算はそのとき、米国政府の予算総額の4.3%を占めていたが、現在は0.5%にとどまっている。また、当時、世間によく知られていた科学者の多くは、基本的に、今回の回答者よりも有人宇宙飛行に懐疑的だった。スミソニアン協会(米国、ワシントンDC)に所属する航空宇宙史の研究者 John Logsdon はこう指摘し、だから、「有人宇宙飛行を公然と支持した科学者は非常に少なかったのです」と話している。

一部の科学者にとって、宇宙飛行を支持したのは、極めて個人的な理由からだった(p.19「月を夢見て」参照)。約5%が宇宙飛行士に応募した経験を持ち、14%は地球軌道外への短期宇宙飛行なら1~5万ドル払ってもよいと回答している。

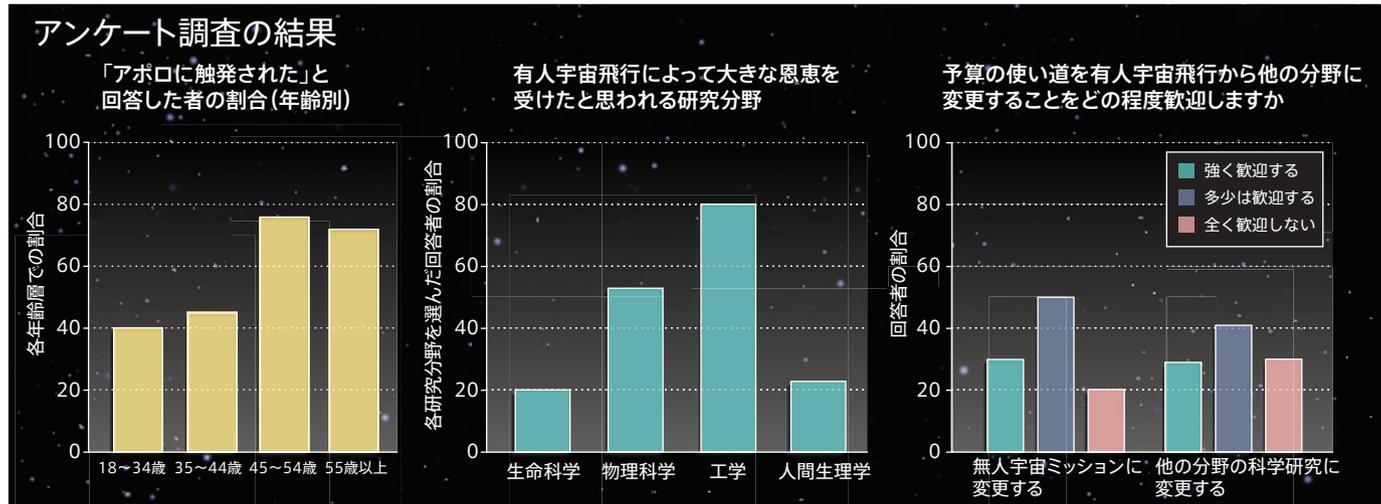
NASAの宇宙計画に対する熱意がこれからも続くかどうかは現時点ではわからない。8月には、バラク・オバマ米国大統領が招集する委員会が、2020年までに月面着陸の再開を目指す米国の計画に関する評価書を公表する⁴予定で、この計画が承認されるかどうかは全く不透明である。

地球低軌道を越えた最後の有人飛行は、アポロ17号のミッションだった。それから36年後に実施されたNatureのアンケートによれば、いまなお、月やその先にある惑星への壮大な宇宙飛行を支持する人々が多い。(菊川要 訳)

Sara Grimme がアンケート調査の作業を補助した。

1. www.nature.com/nature/newspdf/apollo_results.pdf
2. *Assessment of Directions in Microgravity and Physical Sciences Research at NASA* (National Academies Press, 2003).
3. Abelson, P. H. *Science* **145**, 539 (1964).
4. Hand, E. *Nature* **459**, 1038-1039 (2009).

nature DIGEST 9月号(7ページ)、Natureのアポロ特集(www.nature.com/apollo)参照。
(換算レートは、1ドル95円、1ユーロ135円)



Why we need space travel

なぜ人類に宇宙飛行が必要なのか

Giovanni Bignami Nature Vol. 460(325)/16 July 2009

科学に対する国民の支持と政治的支援を引き出すためには、地球軌道外への有人飛行を実現する必要がある。

ベテランの陸軍将校が、私の背中をポンとたたいて大声でいった。「まさに君たちのような科学者がいたからこそ、この偉業が達成された。それなのに、我々はいつも君たちのことを意気地なしとよんでいた。

そこは、イタリアアルプス山中に立つ小さな兵舎の一室。「将校クラブ」とよばれていたが、おんぼろテレビが1台置かれた殺風景な部屋だった。この陸軍将校は、イタリア陸軍の山岳戦専門のエリート歩兵部隊「アルピーニ」の大尉で、1969年7月21日の早朝、私と一緒にアポロ11号の月面着陸の白黒映像を見ていた。屋根の上にはアンテナ代わりに2本のピッケルが取り付けられていたが、受信状態が不安定でテレビの画面はぼやけていた。

当時の私は25歳の徴集兵。中国の文化大革命（1968年）に共感して危険なほど政治的に偏向していたが、物理学の学位をもつ強みで下級将校になっていた。

それから数か月後、私はミラノ大学に戻り、アルピーニの大尉よりもはるかに対応の難しい指揮官の下で研究を始めることになった。その名はGiuseppe Occhialini。学界の実力者の1人で、私にとっては半分神様のような存在だった。当時、Occhialiniは、30年間にわたる素粒子物理学の研究を経て、イタリアの宇宙科学を指揮するポストに就いたところだった。

私に対するOcchialiniの指示は素っ気なかった。第一に、北欧の霧の中のどこかで行われている宇宙天文学プロジェクトに参加すること。第二に、そこでの研究はすべて英語で行われること（当時の私は

英語をほとんど忘れていた）。そして第三に、特に重要な真実として、宇宙科学は本物の科学であるべき点に留意すべきこと。つまり、全世界にテレビ中継されたような、宇宙飛行士を使った半ば軍国主義的なおふざけであってはならないこと。

第三の指示は、偉大なOcchialiniが犯した数少ない誤りの1つだったが、それがわかったのは何十年も経った後のことだ。

一方で、アポロ計画は、ベトナム戦争のために確実かつ迅速に終わりに近づいていた。NASAにとって史上最大の支出だったアポロ計画が予算計上された時期と、米国が第二次世界大戦以降最大の軍事行動に取り組んだ時期は重なっていた。しかし今日では、このことに気づく人は少ない。人類初の月面着陸を果たした後のアポロ計画は、東西の緊張緩和を背景として、ソ連の有人宇宙船ソユーズ計画との不毛な付き合いを継続した。



その一方で、1972年から1975年にかけて、NASAは、米国に帰化したドイツ人物理学者Wernher Von Braunが開発したサターンV型打ち上げ用ロケットの残り数基を廃棄するという愚行を演じている。アポロを打ち上げたサターンV型ロケットは、史上最もパワーのある打ち上げ用ロケットだったが、今日、我々はもう一度それを発明する必要に迫られている。アポロ計画終了から6年という長い月日が流れ、1981年にスペースシャトルの時代が始まり、月面着陸を果たした米国の宇宙飛行士は、ようやく宇宙に向けて再出発を果たしたのだった。

当時の私は、Occhialiniが正しいと確信していたが、NASAの後戻りでその確信はますます強くなった。NASAが、10年以上の時間と天文学的な額の資金を無駄にしたからである。状況はまさに悪化の一途にあると思われた。スペースシャトルは科学とは無縁の代物で、宇宙ステーションの建造に必要な資材と宇宙飛行士を輸送する目的で設計された。宇宙ステーションは、当時のレーガン大統領支持派が「悪の帝国」ソビエト連邦を技術面からたたきつぶすために作り出した道具だった（フリーダム計画）のだが、科学研究を行う手段だという不誠実な宣伝がなされていた。

1980年代～1990年代前半のヨーロッパでは、米国の科学者に同調して、宇宙ステーション計画が貴重な宇宙科学研究の機会を奪っている、と声高に主張することが流行した。私も本気でこの動きに加わったが、1980年代後半になって疑いを

もつようになった。疑念のきっかけは、学問上の友人からの忠告だった。彼の謙虚さを尊重して、その氏名を明らかにすることは差し控える。

この人物は、私が1984年に欧州宇宙機関の顧問として勤務し始めた時のよき先輩だった。彼からは、いかなる政府も「科学研究」のみを目的とした宇宙科学プロジェクトには多額の予算を出さない、という考え方を吹き込まれた。そして、天文研究用の人工衛星のような宇宙科学プロジェクトに対して資金が投入されるのは、宇宙ステーションや宇宙飛行士といった政治家にとってわかりやすいプロジェクトになっているからだ、ということを教えてくれた。宇宙ステーションと宇宙飛行士という、ちょっと不恰好な装置さえ動き続ければ、宇宙科学研究は、ほとんど気づかれずに、その尻馬にうまく乗っていけるのである。

確かに、20年間は非常にうまくいった。

国際宇宙ステーション (ISS) の建設は1999年に実際に始まったが、私は21世紀に入り、それではもはや十分ではないと考えるようになった。数十年前の技術で未来の売り込みはできない。危機の時はなおさらである。人々の情熱に火をつけるには、火星への有人飛行といった新たなミッションが必要である。アルピーニの大尉がいったことは正しかった。科学の進歩を生み出すのは、科学研究を行うごく普通の人々なのである。科学と宇宙飛行士を対立的に位置づけた Occhialini は間違っていた。人類初の月面着陸から40年を経過した今、宇宙科学を前進させられるのは、ロボットと人間による新たな大いなる宇宙探査計画だけである。これが、電気通信用衛星からGPS航行衛星に至る、急速な実用化を生み出したみごとな

技術を改良し続けていくための唯一の方法なのだ。

宇宙飛行士と彼らに喝采を送る人々が我々を絶えず元気づけてくれなければ、宇宙応用研究と宇宙科学は、早々に忘却の彼方に葬り去られてしまうだろう。人類は、1972年を最後に地球軌道外への有人飛行をしていない。これが再開されないとするなら、今から40年後、宇宙活動は完全になくなってしまうだろう。(菊川要 訳)

Giovanni Bignami は、パピア高等研究所 (IUS) の教授で、アカデーミア・デイ・リンチェイ (イタリア、ローマ) の会員。欧州宇宙機関 (ESA) 科学諮問委員会委員長 (2003 ~ 2006年) を歴任。
関連サイト: www.nature.com/Apollo

RESEARCH HIGHLIGHTS

Stray genes

“のら”が教える“わんこ”の起源

Nature Vol.460(782)/13 August 2009
Proc. Natl Acad. Sci. USA doi:10.1073/pnas.0902129106 (2009)

人間の近くで暮らす野良犬では、その土地固有の犬の遺伝子と外部から持ち込まれた遺伝子が複雑に混じり合っている。こうした半野生の犬の遺伝子分析から、人間の最もよき友人である犬の起源が明らかになるかもしれない。

米国のコーネル大学 (ニューヨーク州イサカ) の Adam Boyko らは、アフリカの7地域の村で暮らす318頭の野良犬から、ミトコンドリアDNAと細胞核DNAを採集・分析し、それをプエルトリコの町に住む野良犬、米国の雑種犬、いわゆる血統書付きの126犬種と比較した。もう少し詳しくいうと、ア

リカ7地域の野良犬の遺伝子が、その土地固有の集団がもっていた遺伝子と、欧州などで品種改良された犬たちを祖先にもつ犬の遺伝子とが、どの程度混じっているかを決定した。

近年、犬の家畜化の起源は東アジアにある、という説が提案されている。Boyko らは、アフリカの野良犬のミトコンドリアDNAもまた、東アジア地域の犬と同様の大きな多様性をもっており、東アジア起源説の妥当性は詳しく検討されるべきだと述べている。

驚くべきことに、今回の分析結果から、これまでアフリカ起源とされて



きた犬種が、実はそうでないことも明らかになった。古代エジプトのファラオの墓に描かれた犬といわれる狩猟犬ファラオハウンドも、アフリカン・ライオンハウンドともよばれて猛獣狩りに使われたローデシアンリッジバックも、主要起源はアフリカではなかったのだ。(新庄直樹 訳)

Mice made from induced stem cells

iPS 細胞からマウス個体を作製

David Cyranoski | Nature Vol.460(560)/ 30 July 2009

人工多能性幹細胞（iPS 細胞）から、実際に完全な哺乳類個体を作製することに成功した。

中国の 2 組の研究チームが iPS 細胞から生きたマウスを作り出し、iPS 細胞から生物の完全な個体を発生させることができるのかどうかという、かねてからの疑問に答えを出した。

2006 年に京都大学の山中伸弥が初めて iPS 細胞¹を作り出して以来、iPS 細胞からも本当の胚性幹細胞（ES 細胞）と同じように完全な哺乳類の個体を作れるのかどうか研究界の疑問となっていた。今回、少なくともマウスに関しては、その答えがイエスだということ、Nature 2009 年 9 月 3 日号²と Cell Stem Cell 2009 年 8 月号³に発表された論文で示された。

Nature の論文では、動物のクローンを研究している動物研究所（中国、北京）の周琪（Zhou Qi）と上海交通大学の曾凡一（Zeng Fanyi）らが、まずウイルスベクターを使ってマウスの線維芽細胞に 4 つの遺伝子を導入するという山中と同じ方法で、iPS 細胞を作った。研究チームの狙いは、導入した因子が細胞を再プログラム化することにより、その細胞を体内のあらゆる種類の細胞に分化できるようにすることだった。

再プログラム化がうまくいったかどうかを確かめるために周と曾が最初に行ったのは、iPS 細胞が胚性幹細胞（ES 細胞）と同じ表面マーカーをもっているかどうか分析するなどの標準的な検査だった。次に、研究チームは、初期の受精胚の 2 細胞を融合させることによって「4 倍体」胚を作製した（右上の図を参照）。4 倍体胚は、胎盤と、発生に必要な細胞は発生す

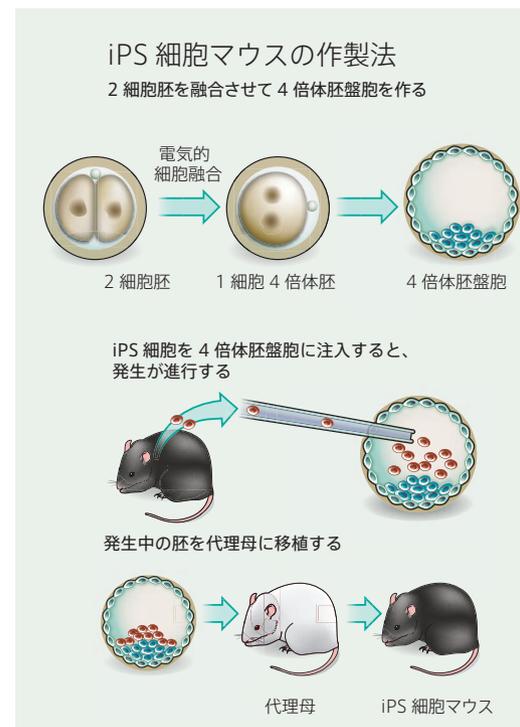
るが、将来個体になる胚細胞は発生しない。それは、いうなれば、運転手のいない自動車のようなものである。

この 4 倍体胚に作製した iPS 細胞を移植すると、発生が始まった（4 倍体胚補完法）。続いて、発生が進行している胚を代理母に移植したところ、20 日後に子マウスが生まれた。そのマウスは、iPS 細胞の作製に使ったマウスと同じく黒い体毛をしており、4 倍体胚の作製に使った白いマウスとは明らかに違う色だった。「小小（シャオシャオ）」と名付けられたそのマウスは、DNA 検査の結果、iPS 細胞由来であることが確認された。

マサチューセッツ工科大学（米国、ケンブリッジ）でクローン作製の研究を行っている Rudolf Jaenisch は、2007 年に同じ実験をしようとしたが、後期から先の胚を作り出すことができなかった⁴。Jaenisch は自分たちの失敗について「2 通りの可能性が考えられます」と語る。「iPS 細胞に多能性がないためにできなかったのか、我々の努力が足りなかったのかのどちらかでしょう。前者なら興味深いことになったかもしれませんが、後者が原因でしょうね」。

中国の研究チームの努力は Jaenisch らを上回っていた。培地を調整し、最初のマウスが生まれるまで発生中の胚を 250 個分析していたのだ。

論文には 27 匹が生まれたと書かれているが、最高の細胞株と最適の実験条件で行っても、注入した胚 624 個から生まれたのは 22 匹で、成功率は 3.5% だった。曾によれば、高い死亡率が認められ、わ



ずか 2 日で死んでしまったマウスのほか、詳細は伏せられているが、体に異常がみられるものもいたという。

その一方で、一部のマウスは最も基本的な健康検査に合格している。つまり、交尾させた 12 匹すべてが子どもを産み、生まれた子どもにも異常がなかったのだ。研究チームによれば、現在、2 代目のマウスが数百匹おり、3 代目も 100 匹を超えているという。組織的な検査を行ったわけではないものの、これらのマウスに腫瘍は認められていない。

Cell Stem Cell 掲載論文の研究チームのリーダー、北京生命科学研究所の高紹棠

(Gao Shaorong) も、成功には辛抱強さが必要だと考えている。曾、周らと同じ基本技術を使った高のグループは、4倍体の補完胚 187 個に iPS 細胞を導入し、生きたマウスを 2 匹だけ得ることができた(効率 1.1%)。ただし、1 匹は間もなく死んでしまった。「そうした細胞株が得られる確率は低いのですが、根気強く実験しました」と高は語る。高らは現在、生存したマウスを交配させようとしている。

現在、両グループが解明しようとしているのは、体の異常、高い死亡率、低い効率、そして多くの iPS 細胞株がマウスの作製に適していないらしいという現実が、iPS 細胞と ES 細胞とのどういった違いによるものなのかということだ。曾と周は、1 つの答えとして、タイミングが重要であることを発見した。短期間(14 日間)でコロニーを形成した iPS 細胞ではうまくいくが、コロニーの形成に 20 日または 36 日かかった細胞は使えなかったというのだ。高は、少なくとも効率の低さに関しては、「再プログラム化の異常」が原因なのではないかと考えている。

こうしたマウスでの研究は、ヒトの ES 細胞と iPS 細胞との根本的な差を解明するうえでもきつと役に立つだろう。既に 7 月、カリフォルニア大学ロサンゼルス校(米国)の研究チームは、通常の多能性検査に合格したヒト iPS 細胞が、遺伝子の発現の点で、ヒト ES 細胞と異なっていることを発表している⁵。このチームのメンバー、Kathrin Plath は、「iPS 細胞には ES 細胞と比べて一長一短がありそうですが、今の時点ではまだ、我々は、その答えにたどりついていないでしょう」という。今回の中国の研究については、ヒトの胚では 4 倍体補完法を行うことができないので、iPS 細胞の臨床応用に大きな意義をもつものではない、と同僚の William Lowry は付け加えている。

周と曾は、iPS マウスを従来法によるクローンマウスと比較することや、成体マウスでも同じ実験ができることを証明することなど、新たな道を模索している。(どちらの研究でも、iPS 細胞の作製に使われた線維芽細胞は、後期胚に由来していた。)これは、成体の DNA を再プログラム化

して遺伝的に同じ個体を作り出すもので、実質的に成体の哺乳類の新しいクローン作製法となるだろう。それは、異常の発生が従来のクローン作製法よりも少ない簡単な方法と考えられ、ヒトのクローンを作製するツールとして、倫理を無視してもクローン作製を行いたい者たちの関心をよぶかもしれない。最近、中国では、こうしたクローン作製を禁止する法律が強化された⁶。

「この技術が『再プログラム化を解明するための重要なモデル』として利用できるようになることを望んでいるのです。けっして、iPS 細胞を使ってクローン人間を作り出すための第一歩にすることをめざしているわけではないのです」と、周は語っている。(小林盛方 訳)

1. Takahashi, K. & Yamanaka, S. *Cell* **126**, 663-676 (2006).
2. Zhao, X.-Y. et al. *Nature* **461**, 86-90 (2009).
3. Kang, L. et al. *Cell Stem Cell* **5** 135-138 (2009).
4. Wernig, M. et al. *Nature* **448**, 318-324 (2007).
5. Chin, M. H. et al. *Cell Stem Cell* **5**, 111-123 (2009).
6. Cyranoski, D. *Nature* **459**, 146-147 (2009).

RESEARCH HIGHLIGHTS

Smothered by a swarm

熱とガスで 息の根を止める

Naturwissenschaften
doi:10.1007/s00114-0090575-0 (2009)



ミツバチがスズメバチを殺すときには、熱のほかにガスも利用することが明らかになった。ニホンミツバチ (*Apis cerana japonica*) にとって、オオスズメバチ (*Vespa mandarinia japonica*) は恐ろしい天敵だ。しかし、小さなミツバチは、巣を襲ってきたスズメバチの周囲に大勢で群がり、自分の体で「蜂球」という塊を作って

応戦、ものの数分でこの天敵を殺してしまう。蜂球内の温度は 46℃前後まで上昇するため、これまでは、スズメバチは蜂球内の熱によって死ぬが、熱耐性の高いミツバチは生き残れると考えられてきた。

ところが京都学園大学の菅原道夫と坂本文夫は、蜂球の外では、蜂球内と

同じ温度になってもスズメバチが死なないことを突き止めた。しかし、二酸化炭素濃度を高くすると、スズメバチの熱耐性は低下した。蜂球内の空気は約 3.7% の二酸化炭素を含んでおり、この気体中では、46℃の熱がスズメバチにとって致命的となるのだ。(三枝小夜子 訳)

Ice-core researchers hope to chill out

氷床コアも、マグロなみに保存したい

Rex Dalton

Nature Vol.460(786-787)/13 August 2009

「氷床コア」は極地や氷河の氷床から掘削・採取された氷の柱であり、過去の地球気候を知るうえで不可欠な研究試料である。この貴重な試料の保存には、上等なマグロの冷凍保存に使われるようなぜいたくな貯蔵施設が必要だ。こう欧米の研究者らが訴え、建設資金を求めている。

氷床コアは円柱形をしており、長さは数 km に及ぶものさもある。その採取には数百万ドルの費用がかかる。空気の小さな泡が内部に捕らえられているため、数十万年前の大気中の二酸化炭素濃度を測定することもできる。酸素や窒素の同位体含有比からは、過去の気温変動や、それが捕らえられた年代を決定することもできる。

しかし問題は、米国や欧州の既存の低温保存施設では、通常は $-20 \sim -30^{\circ}\text{C}$ で保存されていること。この温度だと、含まれている酸素が徐々に失われてしまうのだ (M. Bender, T. Sowers and V. Lipenkov *J. Geophys. Res.* **100**, 18651-18660; 1995)。

酸素は氷床コアの表面に向かってゆっくりと拡散し、空気中に漏れ出てしまう可能性がある。この結果、酸素に対する窒素の比率が高まり、試料から得られる分析結果を狂わせてしまう。日本の研究者たちは 2005 年、保存温度をもっと低くすれば、こうした気体の損失が少なくなることを明らかにした (T. Ikeda-Fukazawa *et al. Earth Planet. Sci. Lett.* **229**, 183-192; 2005)。この研究結果を受け、国立極地研究所 (東京都立川市) は、研究所の移転に伴い、高品質のマグロを -50°C で冷凍保存する技術を応用し、氷床コア保存施設を新規に建設した。

米国の研究者たちは今、米陸軍寒冷地研究・技術研究所 (CRREL; 米国、ニューハンプシャー州ハノーバー) の低温保存施設を改造するため、約 500 万ドル (約 4 億 8000 万円; 1 ドル = 95 円換算、以下同様) の予算を要求している。この改造が行われれば貯蔵容量も約 25% 増加する。同じくハノーバーにあるダートマス大学の材料科学者 Ian Baker が全米科学財団 (NSF) への改造予算申請の中心になっている。予算が認められれば改造施設は 2010 年までに完成し、管理はダートマス大学が受け持つことになる。

欧州の科学者たちも同じ問題に直面している。英国南極局 (ケンブリッジ) の Eric Wolff は「我々には欧州全体のための施設が必要です」と語る。2008 年に行われた欧州委員会の検討では、 -50°C を保つことができる新しい保存施設とそれに伴う研究室や教育施設の建設には、2500 万ユーロ (約 34 億円; 1 ユーロ = 135 円換算) が必要と見積もられた。アルフレッド・ウェグナー極地・海洋研究所 (ドイツ、ブレーマーハーフェン) の Frank Wilhelms は「予算が認められる可能性は低い」と話す。欧州には氷床コアの大型保存施設が 4 つあり、同研究所にその 1 つがある。18 か国の科学者、掘削会社、エンジニアらで組織する「氷床コア科学国際提携」(IPICS) も、氷床コアの傷みを防ぐには緊急の行動が必要だと訴えている。

一方、IPICS の運営委員会の一員である、スクリプス海洋研究所 (米国、カリフォルニア州ラホヤ) の Jeffrey Severinghaus は、「スクリプス海洋研究所など一部の研究所は、小さな設備を作



氷床コアは適切に保存しないと試料としての価値がなくなってしまう。

り、氷床コアの一部断片を -50°C に保つ計画を進めています」と話す。こうした保存設備は約 1 万 5000 ドル (約 140 万円) で建設できるが、それには冷凍庫の改造が必要で、改造すればもとの設備についていた修理・保守などの保証が無効になってしまう。また、氷床コアを断片に分けてあちこちに保存すると、研究者が利用しづらくなる懸念がある。

Severinghaus の研究室では、「西南極氷床・境界氷床コアプロジェクト」で昨年掘削・採取された氷床コアに含まれている酸素と窒素の比率を調べている。このプロジェクトは、米国の複数の研究グループが参加する共同研究計画。「1968 年に南極大陸西部で採取されたバード氷床コアと、昨年採取された試料とを比較した予備的な分析結果は、古い氷床コア中の酸素が保存期間中に失われたことを示しています」と彼は話している。(新庄直樹 訳)

著作権等の理由により画像を掲載することができません。

A lakeful of trouble

吉か凶か、大量のガスが溶け込んだ湖

Nature Vol.460(321-323)/ 16 July 2009

アフリカのキブ湖には大量のガスが含まれている。しかし今、そのガスのためにこの湖は危険であると同時に価値あるものになっている。災害を引き起こさずにガスを抜き出して利用することは可能なのだろうか。Anjali Nayar が取材報告する。

2001 年も終わろうとするころ、コンゴ民主共和国 (DRC) では、ニーラゴンゴ火山の活動が激しさを増していた。中央の火口からは噴煙が立ち上り、麓のゴマ市にいた火山学者たちは警戒を強めた。そして明けて 2002 年 1 月 17 日、とうとう山の南斜面にできた裂け目から溶岩が流れ出した。溶岩流は山の斜面をヘビのようにくねりながら下降し、家々を飲み込み、ガソリンスタンドや発電所を次々と爆発させ、ゴマ市街地を壊滅させた。夜には、溶岩流はキブ湖のそばまで進み、もうもうと立ち上った水蒸気が数日間にわたりキブ湖周辺を覆った¹。

この噴火で 100 人以上が命を落とし、およそ 30 万人が家を捨てて避難した。住む場所を失った人々が当然のこととして向かった唯一の避難場所が、キブ湖の岸辺だった。しかし、キブ湖それ自体にも危険が潜んでいた。その穏やかな湖面の下には、300 立方キロメートルの二酸化炭素と 60 立方キロメートルのメタンが含まれている。もっと大規模な噴火がさらに近くで起こるなどして湖内部が攪乱されれば、ガスの大量噴出が引き起こされ、キブ湖沿岸で暮らす約 200 万人の命が失われる恐れがあるのだ。しかし、そのリスクを数値化するのは難しい。数十年前から科学

者たちがこの湖について研究しているが、キブ湖とそこに含まれるガス類に関する基礎情報はまだかなり少なく、現状がどの程度危険なのかについては、今のところ諸説入り乱れている。

キブ湖には経済的な利益が見込まれるため、問題はさら複雑になっている。湖水に溶け込んでいるメタンは利用価値が高く、コンゴ民主共和国やキブ湖を挟んで隣接するルワンダと提携した複数のエネルギー会社どうして、「獲物の奪い合い」が始まっているのだ。その取り引き額は数億ドルに相当する。各企業は既にメタンを湖から吸い上げ始めており、なかには湖の

リスク評価をしている科学者と連携している企業もある。これらの事業を支持する人たちは、ガス抜き事業はガス大量噴出のリスクを低減させるはずだと主張しているが、一部の研究者は、メタン抽出計画によって湖内の平衡状態が乱された場合、今よりもっと危険な状況に陥るかもしれないと危惧している。

「これは前代未聞の大規模改善プロジェクトの1つとっていいでしょう。人命を奪う自然災害の影響を軽減すると同時に、電力を心底必要とする人々に供給できるのです」と、ミシガン大学（米国、アナーバー）で生物地球化学研究に携わる George Kling はいう。「ただし、もしプロジェクトが正しく行われたなら、ですが」。

膨らみゆく問題

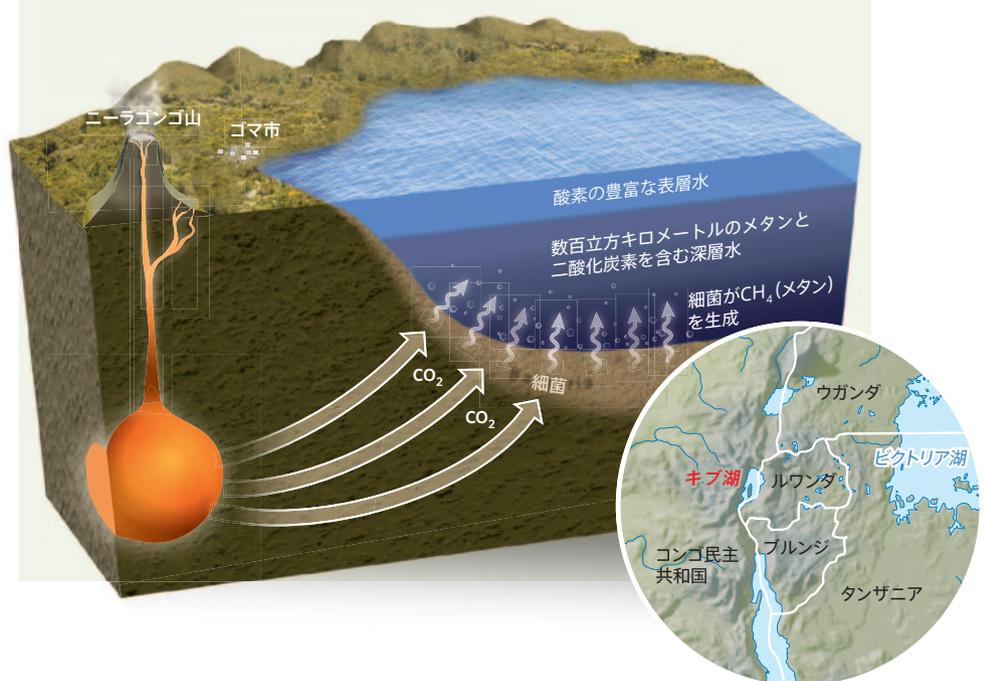
アフリカの大地溝帯では、地殻変動によってアフリカ大陸がゆっくりと東西に引き裂かれており、キブ湖はその中に位置する。この大地溝帯の運動によって、溶融した岩が押し上げられ、そこから放出される二酸化炭素がキブ湖の底部へ溶け出している。二酸化炭素の一部は細菌によってメタンへ変換され、また、深層水に含まれる有機物が他の細菌によって分解されることでもメタンが生成している（図を参照）。

キブ湖内部は久しく前からいくつかの層になっている。表層は淡水だが、その下には塩分が多く比重の大きい水の層がいくつか重なっている。水深約50～80メートル以下では無酸素状態となり、溶解している二酸化炭素やメタンの濃度は水深とともに増加していく²。各層の水は比重に差があるため垂直方向に混じり合うことはなく、そのため、溶解したこれらのガスは湖底に閉じ込められている。

キブ湖周辺の住民は、湖に溶解しているガスについて数十年前から知っていたが、それが危険だとは認識していなかった。そんな中1984年に、カメルーンのマヌーン湖周辺で、湖からの二酸化炭素の噴出により37人が死亡した。そして2

水面下の脅威

キブ湖の深層にたまっている溶存ガスが水面に噴出すれば、数百万人の命が危険にさらされるだろう。



年後、同じくカメルーンのニオス湖から0.3～1立方キロメートルの二酸化炭素ガスが噴出し、1700人以上が窒息死した。

Kling は、ガス噴出災害の数週間後にニオス湖を訪れた調査チームに加わっていた。「動物はすべて死んでおり、辺りには数千頭の牛の死骸が横たわっていました」と話す。Kling はその前年にニオス湖を訪れていたが、湖水表層の試料しか採集していなかった。「我々は、この湖の底にガス爆弾が潜んでいることをまるで知らなかったのです」と彼はいう。

調査によって、ニオス湖の深層水に溶け込んだ二酸化炭素が飽和状態に近かったことや、キブ湖と同様に上層水塊の水圧でガス類が溶解したまま保たれていたことが判明した。Kling は、地滑りによってニオス湖内の水の層がかき乱され、ガスを豊富に含む水塊が上昇したのだと考えている³。それをきっかけに一種の連鎖反応が始まった。水塊が上昇して水圧が低くなると、ちょうどシャンパンのコルク栓を抜

いたときのように、二酸化炭素が溶解できなくなって気泡が生じる。上昇する気泡は周囲の水も一緒に引きずり上げ、そうした水からもガスが気泡となって出ることになり、爆発的なガス噴出が起こるのである。この現象は湖水爆発 (limnic eruption) とよばれる。

二酸化炭素は空気よりも比重が大きいため、噴出後は地面をほうように広がり、ニオス湖から26キロメートルもの範囲を覆ってすべての動物を窒息死させた。その被害のあまりの大きさに、科学者たちは、ガスの大量溶解で知られるもう1つの湖として、キブ湖のリスク評価をせざるをえなくなったのである。

湖に潜む脅威

今までのところ、キブ湖で過去に湖水爆発があったという歴史的記録はない。しかし、湖底のプランクトン化石層の間には化石のない層が複数あることから、過去5000年の間にそうしたガス噴出が数回あった

ことがうかがわれる⁴。キブ湖はニオス湖の3000倍以上あり、ニオス湖の放出量の350倍を超えるガスを含んでいる。キブ湖の岸辺もニオス湖と同じく人口が密集している。「キブ湖はニオス湖の極悪な兄貴分といったところです」とKlingはいう。しかし、現段階でこの種の大災害が起こるリスクについての科学的な統一見解は、まだ得られていない。

スイス連邦水域研究所(Eawag; カスタニエンバウム)のMartin Schmidは、1974年に測定されたガス濃度と、2004年に行われた限定的な調査⁵から、過去30年間でキブ湖のメタン濃度は15~20%増加し、二酸化炭素濃度は10%増加したことがわかっている、と話す。もしこの傾向が続けば、キブ湖は21世紀中にガス飽和状態になり、ニオス湖と同様に、ちょっと攪乱されただけでも大噴出が起こる可能性がある。

現在、キブ湖内でガス密度が最も高いのは水深330メートル付近で、この辺りでは、ガスは飽和状態の約55%(二酸化炭素が10%、メタンが45%)程度水に溶け込んでいる。メタンはガス圧の大半を占めており、また二酸化炭素より水に溶けにくいので、噴出リスクには大きくかわる。しかし、Schmidによれば、大噴出が起こる見込みは低いという。モデル解析によれば、確かに、ガスが多く溶け込んでいる水深部分で非常に激しい噴出が1回起これば、湖全体が攪乱されてしまう可能性はありうる。ただ2002年の火山噴火では、溶岩がガスの多い水深まで達しなかったこともあり、湖の安定性はほとんど影響を受けず、平穏状態のまま保たれた。「今すぐに、爆発的なガスの噴出が起こるような大異常事態が起こる可能性は低いです。少なくとも私はキブ湖で泳ぐのが怖いとは思いませんね」とSchmid。

しかし、ナポリ第二大学(イタリア、カゼルタ)の火山学者で、国連向けにコンゴ民主共和国ニラゴゴ山噴火の危機

管理計画を作成しているDario Tedescoは、キブ湖の湖底で噴火が起こる可能性がある」と語る。Tedescoはキブ湖の水深測量研究を行っており、火山性の起源と思われる円錐状構造を見つけた。

この証拠は、ほかのいくつかの兆候と符合する。2002年のニラゴゴ山噴火の際に、キブ湖からわずか数キロメートルの位置の南斜面に複数の新しい裂け目が見えた。これらの裂け目から流れ出した溶岩は、組成的にもニラゴゴ山火口の溶岩湖のものとは異なっていた¹ことから、この区域にはマグマだまりがいくつかあり、そのうちいくつかは湖の下に伸びている可能性が考えられる。「ニラゴゴ山はまた噴火するでしょう。問題なのは噴火の場所です」とTedescoはいう。

Tedescoがキブ湖で行った調査から、問題の複雑さがよくわかる。キブ湖には湖盆が少なくとも5つあり、それぞれの特徴も対流の起こる確率も異なっている²。キブ湖の北西側の角にあるカブノ湖盆は、湖面からわずか12メートル下でもガスの濃度が高い。カブノで噴出が起これば、ニオス湖の少なくとも3倍以上のガスが放出されると考えられる。

研究者たちは自然災害を回避するためにキブ湖のガス圧を軽減することが重要だと考えており、また、国の景気刺激策でもそうした事業を前向きに進めようとしている。60立方キロメートルのメタンガスは、コンゴ民主共和国とルワンダ両国を合わせた年間の商業エネルギー需要にほぼ匹敵するのだ。エネルギー不足に悩むルワンダにとって事業は特に魅力的であり、キブ湖は同国の発電量増大計画において非常に重要な存在となっている。

キブ湖からのメタン抽出はアイデアとして新しいものではない。ルワンダのビール会社は、電力利用に切り替えるまで40年にわたって、この湖のメタンでボイラーをたいていた。しかし、メタンを使った発電に対する商業的な関心は近年になって急速に芽生えたもので、それにはルワンダ

が政治的に安定してきたことも一部起因している。2005年以降、約60社(そのほとんどが海外企業)が、キブ湖の利用を目的にルワンダ政府にアプローチしてきたと、ルワンダのエネルギー・水資源・公衆衛生大臣であるAlbert Butareは話す。

ルワンダは既に、合計して数百メガワット分のメタン採取権を5つの合併企業に振り分けており、その中には、ニューヨークに本社を置くエネルギー企業、ContourGlobal社との間で結ばれた、100メガワットで3億2500万ドル(約309億円; 1ドル=95円換算)という契約も含まれている。さらに今年6月には、ルワンダとコンゴ民主共和国は、キブ湖からさらに200メガワット分を採取する新たな合同開発計画を発表した。

メタン採取の具体的な方法は、基本的には、浮き桟橋を使って、ガスの豊富な水の層へ垂直にパイプを降ろすというものだ。まず小型ポンプで、湖底の水の一部を、ガスが飽和状態になって気泡を形成し始めるくらい水圧の低い層まで吸い上げる。そのあとは、ポンプを使わなくても気泡形成によって水がパイプ内を押し上げられる。この抽出機構は、制御された湖水爆発だといえる。

メタンは二酸化炭素に比べて水に溶けにくく、先に気泡となる。気泡となったメタンガスはパイプ内を通過して陸上まで上昇し、発電のために燃焼される。問題は、二酸化炭素がたくさん溶け込んだまま残された水をどう処理するかである。

安全性の観点からすれば、二酸化炭素も抽出して、ガス抜きした水をまた湖の深層へ戻せば、湖水の平衡を乱すこともなく理想的だろうとKlingはいう。しかし、二酸化炭素を除去した水は軽くなって深層にとどまりにくくなる。「水塊の下降や上昇は湖水の混合を引き起こすので、やりたくありませんね」と彼はいう。湖の最深層の水だけは、ガス抜き後に最深層へ戻しても大丈夫な比重だと考えられるが、それには莫大な費用がかかる。そのため

Kling は、二酸化炭素を湖水中に保持させる妥協策を提案している。

利害の対立?

地球物理学者で、ドイツのツェレに本社を置くコンサルタント会社、Physik-Design-Technology 社の取締役である Klaus Tietze によれば、キブ湖の二酸化炭素濃度は 10 年当たり 3% 以上の率で増加しており、「二酸化炭素をこのままにしておくのは、解決策として非常にお粗末です」という。彼は、メタンと二酸化炭素の両方をできるだけ早く抽出し、ガス抜きした水を湖の主要なガス蓄積層の上に戻せば、メタン資源を薄めることもないとして、この方法を強く推奨している。

しかし、Schmid はこの案を疑問に思っている。ガス抜きした深層水に含まれる栄養素が湖の上層に余計な負担をかけると考えられるからだ。

科学者の間でも意見の相違がかなりあり、特にガス抽出技術には疑問点が多い。このため、開発企業が今後とるべき最良の道ははっきりしていない。これまでのところ、4 メガワットの浮き桟橋 (KP とよばれる) 1 つのみが散発的に発電して、ルワンダの送電線網に電力を供給している。ルワンダ投資グループ (Rwandan Investment Group) という、もう 1 つのグループが投資する 3.6 メガワットのプロジェクトでは、昨年、発電開始予定の 1 週間前に浮き桟橋が沈んでしまった。この事故は、妨害工作だとか、手抜き工事だとかいった憶測をよんでいる。

状況をさらに複雑にしているのが、潜在的な利害の対立である。キブ湖の研究で災害の危険性に気付いた科学者のうち何人かが、現在、メタン抽出プロジェクトにかかっているのである。

例えば、サヴォワ大学 (フランス) を最近退職した物理学者の Michel Halbwachs は、20 年にわたってニオス湖とキブ湖の研究を行い、現在はルワンダ投資グループのプロジェクトで陣頭指揮



危機一髪：2002 年 1 月にニラゴンゴ火山から噴出した溶岩はキブ湖に流れ込んだが、湖水爆発を引き起こすほどの深さには達しなかった。しかし、次の噴火ではどうなるかわからない。

を執っている。彼は、キブ湖に関するこれまでの自分の研究は利害の対立には当たらず、むしろ研究によってガスの安全な抽出法について多くの貴重な知識を得ることができた、と話す。

Tietze は、数十年の研究歴があって「キブ湖の全体像がわかっている」少数の科学者のみに、メタン抽出プロジェクトを担当する資格があると述べている。実は彼も「ガス抽出ゲーム」に加わろうとしており、投資家を探しているところだ。

しかし、ほかの科学者たちは、ガスのリスク評価をしている研究者が商業目的のメタン抽出事業で働くことで、キブ湖の安全性が脅かされる可能性があるかと危惧する。キブ湖周辺の 200 万人住民にとって最大の利益が、途中でどこかに消えてしまうかもしれないと、Tedesco はいう。彼はメタン抽出計画を「純粋なビジネス」とよび、「これは状況の危険性とは何の関係もないのです」と付け加えた。

「今の状況は、誰かが金を道にばらまいて、みんながそれを拾い集めようと走り回っている光景に似ています」と Kling はいう。彼は、世界銀行や関係諸国とともに活動する国際チームに加わって、キブ湖のメタン抽出事業のルール作りをしている。このチームでは、現地の組織を介してすべてのプロジェクトを監視し、そうした組織から国際的な専門家集団へ報告が送られるようにしたいと考えている。「事業を運営する人間と事業をチェックする人間は別々であるべきです」と彼はいう。6 月中旬、チームは法案の第一草稿を発表した。これはルワンダおよびコンゴ民主共和国の議会に、今ごろ、支持を取り付けているだろう。

メタン抽出は理論的にはキブ湖の安全性を高めることになるはずだが、果たして災害の危険性が低減されるかどうかは依然として不透明である。ガス抜き計画が湖内部の安定性にどのような影響を及ぼすかは誰にもわからない。

大災害を回避しようとしても、科学者の制御がきかない要因や、湖を挟む両国政府の手に負えない要因もある。最近、コンゴ民主共和国の武装勢力がこの地域の 7 つの地震監視施設のうち 4 つを占拠し、火山学者がニラゴンゴ山の噴火を予測することが難しくなっている。また、過去数か月に農村部で起こった新たな戦闘で、何十万人もの難民が生じている。

ゴマ市の人口は、2002 年のニラゴンゴ山噴火のときからほぼ 3 倍の推定 120 万人に膨れ上がっている。利用できる土地という土地には掘って建て小屋がひしめき合い、その多くは最後の噴火で噴出した溶岩塊から作られている。科学者や開発企業がキブ湖のメタン資源を巡って争っている一方で、難民は、火山と武装勢力と湖水爆発の危険性のある湖に取り囲まれて、身動きがとれずにいるのだ。(船田晶子 訳)

Anjali Nayar は、Nature に籍を置く国際開発研究センターの特別研究員。

1. Tedesco, D. et al. *J. Geophys. Res.* **112**, B09202 (2007).
2. Tassi, F. et al. *Geochem. Geophys. Geosyst.* **10**, Q02005 (2009).
3. Kling, G. W. et al. *Science* **236**, 169-175 (1987).
4. Haberyan, K. A. & Hecky, R. E. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* **61**, 169-197 (1987).
5. Schmid, M., Halbwachs, M., Wehrli, B. & Wüest, A. *Geochem. Geophys. Geosyst.* **6**, Q07009 (2005).
6. Schmid, M. et al. *Acta Vulcanologica* **14/15**, 115-122 (2003).
7. Lorke, A., Tietze, K., Halbwachs, M. & Wüest, A. *Limnol. Oceanogr.* **49**, 778-783 (2004).

細胞生物学

Three birds with one stone

一石三鳥— p53 の新たな機能

Franck Toledo & Boris Bardot

Nature Vol.460(466-467)/23 July 2009

p53 タンパク質のコアドメインが、マイクロ RNA のプロセシングに影響を及ぼすことがわかった。これは p53 についてわかった第三の抗がん活性である。発がん性の p53 変異のほとんどはコアドメインに影響を及ぼしており、そのためにすべての腫瘍抑制機能が失われる可能性がある。

p53 タンパク質は重要な腫瘍抑制因子の 1 つである。このタンパク質をコードする遺伝子 (*TP53*) は、ヒトのがんのほぼ半数で変異がみられ、そのほかの腫瘍のほとんどでも p53 経路が変異以外の仕組みで不活性化していることがわかっていて¹。p53 は主に転写因子として働き、DNA 損傷などのストレスに応答して特異的な DNA 塩基配列に結合したり、アポトーシスや恒久的な細胞周期停止 (老化) を促す遺伝子を標的として活性化したりする。がんにもみられる *TP53* 変異の大半は、p53 のコア DNA 結合ドメインに影響を及ぼして、p53 の転写活性を失わせる¹。この DNA 結合ドメインを介して、いくつかのアポトーシス制御因子も p53 と相互作用するため、ここに変異があると「二重の打撃」となって、p53 の転写制御の働きと、それとは独立してアポトーシスを促進する働きの両方に影響が出てしまうという説が出されている²。今回、鈴木洋たちは *Nature* 2009 年 7 月 23 日号で、p53 の DNA 結合ドメインに第三の機能があることを報告した³。その機能とは、マイクロ RNA (miRNA) とよばれる低分子 RNA のプロセシングを制御することである。

タンパク質をコードしない 20 ~ 25 ヌクレオチドからなる非コード低分子 miRNA は、哺乳類の遺伝子発現における負の制御因子であり、がんに関与していることを示す証拠が現在集まりつつある⁴。miRNA は、タンパク質をコードするメッセンジャー RNA (mRNA) に塩基配列特異的に結合して、mRNA の安定性を低下させたり、タンパク質への翻訳を阻害したりして、そのタンパク質の発現を低減させる。成熟した miRNA は、次のような連続する 2 つのプロセシング反応によって生成する。まず miRNA 遺伝子の一次転写産物 (pri-miRNA) が、「はさみ」の役目をする Drosha マイクロプロセッサー複合体によって切断されてヘアピン型の中間体 (pre-miRNA) ができ、次にこの pre-miRNA が、別の「はさみ」の役目をするタンパク質 Dicer によるプロセシングを受けて、成熟した miRNA ができあがる。

ヒトのがん細胞では miRNA が広範囲にわたって減少していることが多い。そこで鈴木たちは、こうした減少は、腫瘍抑制因子経路と、miRNA をプロセシングするタンパク質複合体との間に直接的な関連性が存在することを意味するのではないかと考えた。これまでの研究から既に、p53 と miRNA の間に関連性があることはわかっていた。それは、p53 が miRNA 遺伝子ファミリーの 1 つである miR-34 ファミリーの転写を活性化し、アポトーシスや老化を促進する miRNA の産生を招くということである⁵。鈴木たち³は今回、DNA が損傷を受けると、p53 が Drosha 複合体と相互作用して、一群の pri-miRNA が pre-miRNA へプロセシングされるのを促すことを見つけた。さらに、p53 に制御されるこの新しいカテゴリーの miRNA を 6 種類見つけ、これらの miRNA のそれぞれをがん細胞で過剰に発現させると、細胞増殖速度が低下することも明らかにした。このデータは miRNA の過剰発現によるものだが、より生理的な条件下では、p53 による数種類の miRNA の控えめながらも協調した上方制御が、抗腫瘍応答に寄与していると推測できる。

鈴木たち³は、p53 の DNA 結合ドメインは Drosha と相互作用するために必要であることや、おそらく p53 が Drosha 複合体の p68 RNA ヘリカーゼ因子に結合することを示している。彼らは、p53 の DNA 結合ドメインに生じた、p53 の転写活性を失わせる 3 種類のミスセンス変異が、Drosha による pri-miRNA のプロセシングを低減させることを見つけた。そこで、変異型 p53 は pri-miRNA と Drosha 複合体タンパク質の相互作用を低下させるのではないかと考えた。さらに、変異型 p53 が p68 と結合すると、p68 と Drosha 複合体の結合が妨げられることを示唆するデータもある。興味深いことに、ヒト腫瘍に高頻度で見られる R175H や R273H などの変異型 p53 は、Drosha 活性の低下と関連しているが、まれにしかみられない変異型 C135Y は、Drosha に影響を及ぼさないようである³。ヒ

ト腫瘍に特異的な変異型 p53 の出現頻度と、その変異型が Drosha 活性に及ぼす影響の大きさの間に、逆相関関係があるかどうかをさらに調べるには、ほかの変異型 p53 の研究も進める必要があるだろう。

マウスから得られている有力な証拠⁶によれば、変異型 p53 の中には、腫瘍抑制因子としての正常な機能を失っているだけでなく、発がん特性までも獲得しているものがある。変異型 p53 が pri-miRNA と Drosha 複合体タンパク質の相互作用を低減させているのではないかという、鈴木たちの見解¹は、これまで予想もされていなかった、変異型 p53 ががんを引き起こす機構が存在する可能性を示唆するものだ。この知見を過去の研究^{1,2}と総合すると、ヒトのがんでは、p53 の DNA 結合ドメインに影響を及ぼす変異が、1 度に 3 つの腫瘍抑制機能に打撃を与え、実質的に「ハットトリック」を成功させてしまうのだと考えられる。3 つの腫瘍抑制機能とは、標的遺伝子の活性化、転写非依存性アポトーシスの誘導、一群の miRNA のプロセッシングである (図 1)。

そこで重要になるのは、鈴木たちが報告した機構において p53 によって上方制御される miRNA の顔ぶれを、すべて明らかにすることだろう。そうすることで、どの遺伝子産物の機能が抑制されて腫瘍形成が促進されるのかについて、手がかりが得られると考えられる。p53 ファミリーの別のタンパク質である p63 は、雌の生殖細胞における DNA 損傷応答の主要な制御因子だとみられている⁷。鈴木たちは、これについては調べていない。p63 が生殖細胞で miRNA のプロセッシングを制御しているのかも、大いに興味深い問題である。

TP53 は 9 種類の mRNA に転写され、ヒトのがんではそれらの一部が誤った制御を受けている⁸。これらの種類の異なる転写産物が、すべて高効率でタンパク質へ翻訳されるのかどうかについては、ほとんどわかっていない。しかし、これらの mRNA がコードするタンパク質は、p53 の DNA 結合ドメインの大部分を含んでいるはずであり、したがって、miRNA プロセッシングの制御に関与する能力を備えているはずである。最近、p53 経路のいくつかの遺伝子に一塩基多型 (SNP) が見つかった⁹ことで、話は一段と複雑になった。例えば、主要な p53 阻害因子をコードする MDM2 のプロモーターにある SNP は、p53 量を変化させて、特定腫瘍の発生年齢や抗がん治療後の患者生存率に影響を及ぼす¹⁰。この SNP は p53 の量を変化させており、miRNA のプロセッシングにも影響を与えている可能性は高い。このことから、ヒト集団内には miRNA のプロセッシング効率の差異が存在すると考えられ、これにより、がん発症の年齢や頻度、予後にみられる個人差を部分的に説明できるかもしれない。

p53 の機能と考えられるものは増えつつあり¹¹、鈴木たちが見つけた機構³は、DNA 損傷やがんに対する細胞の応答という領域を越えて、意義をもつ。変異型 p53 が p68 RNA ヘリカーゼ因子の Drosha 複合体への結合を阻害することを

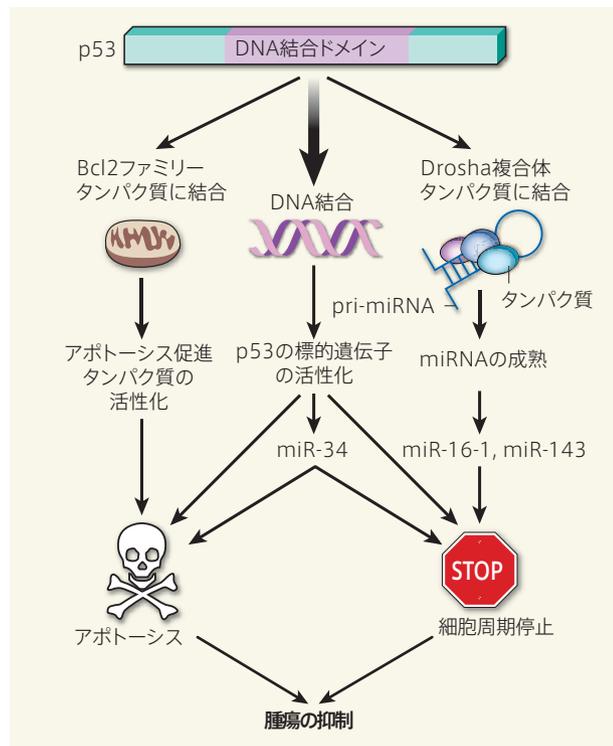


図 1 p53 の 3 つの抗腫瘍機能。DNA 結合ドメインは p53 のコア部分にあり、ここに 3 つの抗腫瘍機能が備わっている。第一に、DNA に結合して標的遺伝子 (miR-34 遺伝子ファミリーなど) を活性化し、アポトーシスや細胞周期停止を引き起こす。第二に、ミトコンドリアで Bcl2 ファミリーのタンパク質と相互作用してアポトーシスを促す。そして第三に、Drosha 複合体のタンパク質と相互作用して一群の miRNA のプロセッシングを促進する。この miRNA 群には、細胞増殖を抑制する miR-16-1 や miR-143 が含まれる。ヒトのがんにみられる p53 変異のほとんどは DNA 結合ドメインにあり、上記 3 つの機能すべてに影響していると考えられる。

示した今回の研究データは、とりわけ興味深い。なぜなら、p68 は RNA スプライシングにもかかわる転写補助制御因子だからである¹²。したがって変異型 p53 は、miRNA プロセッシングだけでなくほかの RNA 代謝も調節していると考えられる。p53 の「宇宙」は膨張を続けており、p53 と Drosha および p68 の相互作用による遺伝子発現の制御が、おそらく次なる「ビッグバン」となるだろう。(船田晶子 訳) ■

Franck Toledo & Boris Bardot, キュリー研究所およびピエール・マリー・キュリー大学 (仏)

- Toledo, F. & Wahl, G. M. *Nature Rev. Cancer* **6**, 909–923 (2006).
- Green, D. R. & Kroemer, G. *Nature* **458**, 1127–1130 (2009).
- Suzuki, H. I. et al. *Nature* **460**, 529–533 (2009).
- Ventura, A. & Jacks, T. *Cell* **136**, 586–591 (2009).
- He, L., He, X., Lowe, S. W. & Hannon, G. J. *Nature Rev. Cancer* **7**, 819–822 (2007).
- Lozano, G. *Curr. Opin. Genet. Dev.* **17**, 66–70 (2007).
- Suh, E.-K. et al. *Nature* **444**, 624–628 (2006).
- Bourdon, J.-C. et al. *Genes Dev.* **19**, 2122–2137 (2005).
- Whibley, C., Pharoah, P. D. P. & Hollstein, M. *Nature Rev. Cancer* **9**, 95–107 (2009).
- Vazquez, A., Bond, E. E., Levine, A. J. & Bond, G. L. *Nature Rev. Drug Discov.* **7**, 979–987 (2008).
- Vousden, K. H. & Lane, D. P. *Nature Rev. Mol. Cell Biol.* **8**, 275–283 (2007).
- Fuller-Pace, F. V. *Nucleic Acids Res.* **34**, 4206–4215 (2006).

人口統計学

Babies make a comeback

出生率は回復に向かうか

Shripad Tuljapurkar

Nature Vol.460(693-694)/6 Aug 2009

一部の豊かな国々では、出生率の低下による人口の減少が深刻な問題になっている。これまで、国が豊かになるほど出生率は低下すると考えられていたが、今回、経済や社会が一定の水準以上に発展した国々では、出生率が上昇に転じる傾向があることが明らかになった。これは、国の政策にも関係してくる驚くべき発見である。

日本、韓国、ドイツ、イタリアをはじめとする多くの先進国と、南欧および東欧諸国の大半で、出生率は人口置換水準（親世代の人口を維持するのに必要な数の子どもが生まれてくる水準）を大幅に下回っている。こうした国々の多くは、この不足を補うための移民の受け入れを行っていないか、移民を受け入れたがらない。そのため、今後25～50年にわたって人口が減少し、社会的な脅威となることが予測されている¹。出生率の低下は、子どもを産む女性の年齢が高くなり、また女性が生涯に産む子どもの数が減ることで起こる²。こうした現象は、一般に、教育、資産、健康の水準が高くなると、増える傾向にあることが知られている。したがって、多くの国々で出生率が低下し、それに関連した問題が生じるのは避けられないことだと思われていた。しかし、*Nature* 2009年8月6日号741ページ³で、Myrskylä、KohlerおよびBillariは、低下した出生率が上昇に転じる可能性を示唆する証拠を提示し、希望の光を投げかけた。

昔から、人口の減少は環境にとってよいことだといわれてきた。それならなぜ、出生率が低下して人口が減少し始めている国々は、現状を歓迎していないのだろうか？ それは、人口の減少は、長期的には好ましいことであっても、短期的には非常に困難な問題を引き起こすからだ。出生率が低下すれば、子どもの数が少なくなり、将来の労働人口が少なくなるため、インフラと社会支援体制を維持するために国民ひとりひとりが負担する費用が高くなる。そのうえ、寿命が伸びると、社会全体が高齢化し、それに伴って社会的・経済的な影響が出てくる。おそらく、労働人口の減少とともに、国内の経済活動は縮小するだろう。人口が減少すれば、政治的・軍事的な力や影響力も小さくなる。多くの豊かな国々が人口の減少を深刻な問題とみているのは、そのためだ。

Myrskyläら³は、出生率と、教育・収入・寿命の尺度である人間開発指数（HDI）との関係を調べた⁴。その結果、発展の初期段階にある国々では、HDIの上昇に伴って出生

率が低下していくが、開発水準が特に高い国々では、HDIのさらなる上昇とともに出生率が増加していくことがわかった。これは、イタリア、スペイン、オランダ、ドイツ、スウェーデンなどの出生率が、人口置換水準に向けて回復していく可能性を示唆する最初の証拠である。最も豊かな国々では、子どもをもつことがトレンドとなるのかもしれない。

出生率の低下と人口の減少をめぐる議論を理解するには、出生率が人口に及ぼす影響について考える必要がある。合計特殊出生率（TFR）は、各年齢の女性の出生率を足し合わせたものであり、1人の女性が生涯に産む子どもの数を表す。平均寿命の長い国では、TRFの人口置換水準は約2.1である。しかし、スペイン、日本、イタリアでは、2005年の統計では約1.3という低水準となった。そのほかの豊かな国々も多くが人口置換水準以下の出生率になっており、この記録的な低水準値に近づきつつある。こうした国々の出生率が将来も同じ水準にとどまれば、人口は1年に約1.5%ずつ減少することになる。毎年それだけの移民を受け入れれば、人口の減少を食い止めることができるが、それは外国生まれの居住者の急増につながり、移民の経済的・社会的・文化的同化という政治的問題を生じる。移民の同化は、長年、これに近い水準で移民を受け入れてきた米国でさえ、いまだに解決できていない問題なのである。

HDIは、教育・収入・寿命につき、最高値の何割まで実現されているかを評価し、これらを合わせて0から1までの間の数値で表したものである。スペイン、イタリアを含め、出生率の低い国のほとんどは、2005年のHDIが0.9以上だった。より広い視点から見ると、ほとんどの国のHDIは時間とともに上昇している。Myrskyläら³は、HDIが上昇してきて約0.86になるまでは、ほとんどすべての国でTFRが低下していくが、HDIが0.86を超えると、多くの国々（すべてではない）でTFRが上昇してくることを発見した。

Myrskyläら³は、HDIが高くなると（0.86以上）、女性に



ISTOCKPHOTO

愛の結晶、そして未来の納税者？

有利な変化が起きて、子どもを産みやすくなるのではないかと考えている。豊かな国で開発指数が高まるのは、女性が高い教育を受けられるようになり、労働力人口に女性が占める割合が高くなって、女性の収入が増大した結果である。こうした変化により、女性やカップルが子どもにかかる高額な費用を支払いやすくなると考えられる。また、いわゆる「人的資本」の重要な要素である高いスキルと職業経験をもつ女性なら、出産のために離職し、その後、子どもが学校に上がったから復職することも容易であると考えられる。

これらの結果は、人口減少への懸念をどこまで緩和することができるのだろうか？ HDIが0.01上昇すると、TFRは0.03以上増加することになり³、年間人口増加率は約0.06%上昇する。ならば、出生率の低下に悩む豊かな国々は、HDIをさらに上げていくことで、人口を維持できるようになるのではないかとされるかもしれない。しかし、HDIは定義上1以上になることはなく、出生率の低下に悩む国々の多くは既にHDIが0.93程度になっている。したがって、HDIの上昇から期待できるTFRの増加はせいぜい0.2であり、年間人口増加率も現在の低い水準から約0.4%上昇するだけなのだ。実際、スペインやイタリアなどの国々では、HDIを上げて出生率が人口置換水準を上回ることはないと思われ。しかし、社会的・政治的な懸念は別にして、人口を維持するために受け入れる移民の数はずっと少なくすむだろう。

今回の研究でMyrskyläら³は、TFRとHDIの関係に対する重要な例外を見つけた。日本、韓国、カナダなどの国々では、HDIが0.86以上になってもTFRが下がり続けているのである。こうした国々では、何が起きているのだろうか？ Myrskyläらは、アジアの国々に特有の社会的・文化的事情

により、HDIの上昇が、出産しようという女性の意思決定に結びつきにくいのではないかと考えている。確かにその可能性はある。しかし、それならカナダはどうしてなのか？

これらの不可解な結果は、研究にHDIを用いたことに起因している可能性がある。HDIをみても、人間開発のどの側面が特に女性に大きな影響を及ぼすのかはわからないからである。これに対して、ジェンダー開発指数(GDI)⁴は、男性と女性の人間開発の違いを表している。TFRとGDIの関係を調べて、日本やカナダのHDIとGDIの傾向に顕著な差があるかどうか検証することは有益であろう。

今回の研究で、もう1つの価値のある成果は、HDIが0.86を大幅に下回っている発展途上国の出生率が、経済・社会の発展とともに低下することを示していることだ。人口が爆発的に増加しているバングラデシュ、エジプト、インド、パキスタンなどの発展途上国が抱えている社会問題や環境問題は、こうした国々が人口置換水準を下回る低い出生率を達成し、それを維持することによってのみ解決できる。国家の強制により低い出生率を達成した中国でさえ、今後は、個人の選択によりそれを維持していかなければならない。こうした発展途上国では、さらなる人間開発（特に女性に利益となる開発）こそが、人口を抑制し、その状態を維持するための最も強力な民主的な方法なのである。（三枝小夜子 訳） ■

Shripad Tuljapurkar, スタンフォード人口研究センターおよびスタンフォード大学生物科学部 (米)

1. United Nations Population Division. *Replacement Migration: Is it a Solution to Declining and Ageing Populations?* (United Nations, 2002).
2. Lesthaeghe, R. & Willems, P. *Pop. Dev. Rev.* **25**, 211-228 (1999).
3. Myrskylä, M., Kohler, H.-P. & Billari, F. C. *Nature* **460**, 741-743 (2009).
4. United Nations Development Programme. *Statistics of the Human Development Report* <http://hdr.undp.org/en/statistics/indices> (2008).

最近、ヨーグルトなどから乳酸菌を取り入れて腸の働きをよくしましょう、といったフレーズをしばしば耳にします。ヒトの腸内には、乳酸菌をはじめ、さまざまな細菌が棲み着いており、食物の消化や栄養吸収を助けたり、逆に病気のもとになったり、私たちの生理活動に影響を及ぼしています。今回は、乳酸菌を遺伝子操作して大腸炎を治療する研究を取り上げました。実現すれば画期的な治療法となりますが、まだまだ課題はありそうです。

NEWS nature news

語数：545 words 分野：微生物学・免疫学・医学・生物学・薬理学

Published online 21 August 2009 | Nature | doi:10.1038/news.2009.848

http://www.nature.com/news/2009/090821/full/news.2009.848.html



遺伝子組み換え細菌は、大腸疾患の治療に役立つかもしれない。

ISTOCKPHOTO

Sugar hit triggers bug's drug slug

An engineered bacterium can deliver a therapeutic protein straight to the gut when fed with xylan.

Mico Tatalovic

1. A gut-dwelling bacterium has been **genetically engineered** to deliver a dose of therapeutic protein **on demand**.
2. Protein production in the engineered bacterium is switched on only when its host eats the complex sugar xylan. Tests on mice that had **colonies** of the bacteria in their guts showed that the expressed protein can successfully treat an **inflammatory bowel disease** called **colitis**.
3. The research, to be published in the journal *Gut*¹, has potential as an alternative method for delivering drugs to the **colon**. **Drugs taken orally** are often **broken down into** inactive forms before they reach their target in the **digestive system**.
4. In 2000, Lothar Steidler, then at the University of Ghent, Belgium, and his colleagues showed that *Lactococcus lactis* bacteria that were engineered to **secrete** mouse **interleukin-10 anti-inflammatory protein** were effective at treating colitis in mice². But those bacteria generated the protein non-stop, without the ability to regulate how much was produced.
5. Now, microbiologist Simon Carding of the Institute of Food Research in Norwich, UK, and his team have engineered the gut bacterium *Bacteroides ovatus* to carry a gene that encodes the therapeutic protein **keratinocyte growth factor-2**, which has a **crucial** role in maintaining and repairing the **intestinal lining**. Crucially, the protein is expressed only when the bacteria **are fed with** xylan.
6. The team found that the protein-expressing bacteria reduced **rectal bleeding**, accelerated healing of the gut lining and reduced gut **inflammation** in the mice. The protein could also prevent development of the disease **in the first place**. "There were no **side effects**, none at all. We were amazed how well it worked **given** the small amount of bacteria **administered**," says Carding.
7. Because *B. ovatus* is a **natural inhabitant** of the **mucus** within the colon, the team thinks that the protein is being delivered specifically to the damaged cells that line the gut. "A major goal of drug treatment for any disease is to target it to the site of disease activity and to be able to control its levels in the body," Carding explains.
8. "The system we have developed is a means of delivering proteins to the colon, and it could be used to deliver a variety of proteins for a variety of purposes, including vaccine **antigens**," adds Carding. His team is currently testing about a dozen bacterial **strains** that express different proteins, including one that limits tumour growth by restricting **blood-vessel** formation.
9. Gérard Eberl, a microbiologist from the Pasteur Institute in Paris, says that "it would probably be very easy to make this work in humans as well, since human and mouse intestinal bacterial communities are very similar".
10. Francisco Guarner, a gut researcher at the Vall d'Hebron University Hospital in Barcelona, Spain, is more cautious. Although there has been a lot of interest in the idea since Steidler's research was published in 2000, the field has not developed as quickly as expected, he says.
11. Promising studies have shown that *L. lactis* that are engineered to deliver therapeutic drugs could be safe in humans. But Guarner says that it may be difficult to **translate** gut research in mice **into** a human **clinical setting** — not least because of unknown effects from the **zoo** of other bacteria fighting for space in our guts.

References

1. Hamady, Z. Z. R. et al. *Gut* (in the press).
2. Steidler, L. et al. *Science* **289**, 1352-1355 (2000).
3. Braat, H. et al. *Clin. Gastroenterol. Hepatol.* **4**, 754-759 (2006).

TOPICS

腸内細菌 (intestinal bacteria)

腸内細菌は、動物の腸内に共生している細菌。ヒトの大腸内には、総数 100 兆個以上の細菌が常在しているといわれ、そのほとんどが偏性嫌気性菌（酸素があると増殖できない細菌）である。これらは、腸内細菌叢（腸内フローラ）とよばれる生態系を腸内で形成しており、宿主の食物の消化に補助的役割を果たすほか、外来の病原菌が増殖しないようにしている。腸内細菌叢は、消化管の部位によって異なり、宿主の健康、年齢、食事内容、疾病、ストレスによっても変化する。ヒト 1 人当たり 500 種以上の腸内細菌が生息するともいわれ、同定されていないものも多い。Clostridium、Bacteroides などには悪玉菌とよばれ、宿主の消化機能に直接影響を及ぼすだけでなく、アンモニアなどの腐敗産物、細菌毒素、発がん物質などの産物が宿主の腸管に障害を与える。一般にこれらの菌は、高肉食・高脂肪摂取のヒトの腸管に多い傾向がある。一方、Lactobacillus、Bifidobacterium、Lactococcus などの乳酸菌類は善玉菌とよばれ、プロバイ



ヒトの腸内細菌の一種、Lactococcus lactis（乳酸連鎖球菌）。

オティクス（腸内細菌叢を改善し、宿主に有益な作用をもたらす微生物）として、整腸作用はいうまでもなく、発がんリスクの低減、免疫活性の維持、血圧降下作用などのさまざまな疾患の予防面から注目を集めている。

SCIENCE KEY WORDS

リード **xylan: キシラン**

キシロース (C₅H₁₀O₅) が重合して形成された多糖類。細胞壁の構成するヘミセルロースの構成成分。

2. **colony(colonies): コロニー**

細菌やカビ類、細胞などを培養したときに形成される細胞集団のこと。

2. **inflammatory bowel disease: 炎症性腸疾患**

下痢や血便が長期にわたって続く難病。潰瘍性大腸炎やクローン病などがこれに当たる。原因不明で、根治治療が確立していない。

2. **colitis: 大腸炎、結腸炎**

大腸に炎症が起こる病気。急性と慢性がある。

3. **colon: 大腸、特に結腸**

大腸のうち、盲腸（小腸から続く部分）と直腸（肛門付近）の間にある部分を結腸という。大腸の大部分を占める。大腸といえば、結腸をさすことが多いので、ここでは大腸としている。

3. **digestive system: 消化器系、消化器官**

動物の食物摂取・吸収・貯蔵・排泄を行う器官のこと。いわゆる口、のど、胃、腸、肛門のほか、膵臓や肝臓、胆嚢なども含まれる。

4. **Lactococcus lactis: 乳酸連鎖球菌**

乳酸菌は、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。Lactococcus lactis は、主にチーズの作製に使用される。

4. **secrete: 分泌する**

分泌 (secretion) とは、細胞が代謝産物を排出すること。通常、代謝産物が、消化や情報伝達など、特殊な機能をもつ場合をいい、不要物を体外に出す「排出」と区別している。

4. **interleukin-10: インターロイキン-10 (IL-10)**

インターロイキンは、白血球で産生される、自分自身やその他の白血球の分化や増殖を制御するサイトカイン（主に免疫系に作用するホルモン様分子）。インターロイキン-10 は、主に II 型のヘルパー T 細胞（リンパ球の一種）から分泌され、炎症（下記参照）反応を引き起こすサ

イトカインの産生を抑制する。潰瘍性大腸炎やクローン病では、IL-10 の血中濃度が低下しているという報告もある。

4. **anti-inflammatory protein: 抗炎症タンパク質**

IL-10、チオレドキシニン 1 など、炎症反応を抑える効果のあるタンパク質。

5. **Bacteroides ovatus: バクテロイデス・オバツス**

バクテロイデス属に属する細菌の一種。動物の腸内に共生している。健康な人には害がないが、免疫力の低下した人は日和見感染を起こす。

5. **keratinocyte growth factor-2: ケラチノサイト増殖因子-2**

サイトカインの一種。表皮を構成する角化細胞（ケラチノサイト）の増殖を促す。

6. **rectal: 直腸の**

直腸 (rectum) は、大腸のうち、肛門からおよそ 20cm の部分。

6. **inflammation: 炎症**

有害な刺激や異物の侵入、外的な損傷などによって免疫応答が引き起こされて生じる、生体の局所的な反応。発赤、発熱、腫れ、痛みなどは典型的な症状である。

7. **natural inhabitant: 共生細菌**

「自然に棲み着いている生物」との意味だが、ここでは共生細菌の意味で使用されている。共生細菌とは、他の生物と相互関係を保ちながら共存している細菌。

7. **mucus: 粘液**

生物が分泌する粘性の高い液体。主な成分は、糖タンパク質、糖類、無機塩類。

8. **antigen(s): 抗原**

体内に入ると、免疫応答を引き起こす物質。アレルギー反応を起こす物質を特にアレルゲンという。

8. **strain(s): 株**

微生物や細胞を分離し、継代培養によって維持される系統。基本的には、単一の細胞のクローンであり、同じ遺伝子セットをもっている。

8. **blood-vessel: 血管 (blood vessel) の**5. **lining: 「内張り」、「裏地」、「内壁」、「内膜」**5. **be(are) fed with ~: 「feed ~ with... (〜に…を与える)」の受動態**6. **bleeding: 「出血」**6. **in the first place: 「そもそも」、「最初に」**6. **side effect(s): 「副作用」**6. **given ~: 「〜を考えると」、「〜を考慮すると」(接続詞)**6. **administered: 「投与された」**11. **translate ~ into...: 「〜を…で利用する」、「〜を…に結びつける」**11. **clinical setting: 「臨床現場」、「臨床」**11. **zoo: 「混沌としている集団」**

WORDS AND PHRASES

タイトル **slug: 「スラッグ弾」** 弾丸の一種。

リード **therapeutic protein: 「治療用タンパク質」**

リード **gut: 「腸」**

1. **genetically engineered: 「遺伝子操作された」**
リードの engineered も同義で使用されている。

1. **on demand: 「必要に応じて」**

3. **drug(s) taken orally: 「飲み薬」、「内服薬」**

3. **be (are) broken down into ~: 「〜に分解される」**

5. **crucial: 「極めて重要な」、「非常に重要な」。** crucially は副詞。

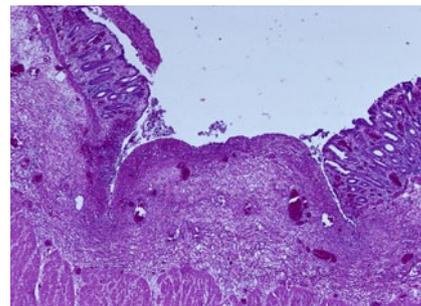
5. **intestinal: 「腸の」、** 名詞は intestine

参考訳

糖が腸内細菌の薬剤産生の引き金となる

遺伝子組換え細菌にキシランを投与するという方法で、治療用タンパク質を腸に直接送達することができる。

ミコ・タタロビッチ



潰瘍性大腸炎を起こしているヒトの直腸。

- 腸内に生息するある細菌が、遺伝子操作により、必要に応じて治療用タンパク質を送達できるように改変された。
- この遺伝子組換え細菌は、宿主がキシランという多糖類を摂取すると、タンパク質の産生を開始する。この遺伝子組換え細菌のコロニーを腸内にもつマウスを使った実験では、発現したタンパク質によって、大腸炎の1つである炎症性腸疾患を治療することに成功した。
- この研究成果は、論文誌 *Gut*¹ に発表される予定であり、薬剤を大腸に送達する方法の1つとなる可能性がある。現在用いられている内服薬は、消化器管内の標的に到達する前に分解されて不活化してしまうことが多いのだ。
- 2000年に、当時ベルギーのアントワープ大学に所属していた Lothar Steidler らは、遺伝子操作によりマウスの抗炎症タンパク質であるインターロイキン-10を分泌するようになった乳酸連鎖球菌 *Lactococcus lactis* が、マウスの大腸炎を効果的に治療することを明らかにした²。しかし、この細菌にはマウスのインターロイキン-10の産生量を調節する能力がないため、継続的に産生し続けてしまった。
- 今回、食品研究所（英国、ノリッジ）の微生物学者 Simon Carding らは、腸内細菌 *Bacteroides ovatus* の遺伝子を操作して、セラチノサイト増殖因子-2をコードする遺伝子を組み込んだ。セラチノサイト増殖因子-2は、腸の内壁の維持と修復に非常に重要な役割を果たす治療用タンパク質である。ここで重要なのは、この細菌にキシランを投与した時のみ、治療用タンパク質が発現する点である。
- 研究チームは、この治療用タンパク質を発現する細菌によって、マウスの直腸出血が減り、腸の内壁の治癒が早まり、腸炎が減ることを明らかにした。そしてこのタンパク質には、そもそも、こうした疾患を予防する効果があることも確認された。「副作用は全くありませんでした。投与された細菌の量が少なかったのに、その高い効果には驚きました」と Carding は話す。
- B. ovatus* は大腸粘液に共生している細菌であることから、この治療用タンパク質は、損傷した腸の内壁の細胞に特異的に送達される、と Carding の研究チームは考えている。「疾患活動性が認められる部位を狙い撃ちして体内での薬物濃度を制御することは、あらゆる疾患の薬物療法の主要な目標となっています」と Carding は説明する。
- 「我々が開発したシステムは、治療用タンパク質を大腸に送り込むための手段ですが、このシステムを利用して、ワクチン抗原を含むさまざまなタンパク質をいろいろな目的で送達することができるかもしれません」と Carding は付け加える。現在、彼の研究チームは、異なるタンパク質を発現する10数種の細菌株を使って実験を行っている。その中には、血管新生を抑制して腫瘍の増殖を制限するタンパク質も含まれている。
- パスツール研究所（フランス、パリ）の微生物学者 Gérard Eberl は、「ヒトとマウスの腸内細菌叢は非常によく似ているので、この方法はたぶんヒトでもうまくいくでしょう」という。
- バルデブロン大学病院（スペイン、バルセロナ）に所属する腸の研究者 Francisco Guarner は、もっと慎重だ。2000年に Steidler の研究が発表されて以降、彼のアイデアには強い関心が寄せられてきたが、期待されていたほどこの分野の研究は急速に進展していない、と彼はいう。
- 治療薬を送達できるように遺伝子操作された *L. lactis* が人体に安全である可能性については、いくつかの有望な研究で明らかになっている。しかし Guarner は、ヒトの腸内で「場所取り合戦」を繰り広げている他の細菌集団からの未知の影響などを考えると、マウスの腸での研究成果をヒトに臨床応用するのは難しい可能性がある、と話している。

（菊川要 訳）

地球の魅力 開拓中!

nature
geoscience



nature
geoscience

Nature Geoscience は、学術研究機関の各領域や公的研究機関、石油化学業界など、あらゆる部門で研究を行うさまざまな人々を対象としています。

www.naturejpn.com/ngeo

npg nature asia-pacific

「ネイチャー・ダイジェスト」へのご意見や感想、ご要望をメールでお寄せください。

メールをお送りいただく際には、お名前・ご職業・「ネイチャー・ダイジェスト」購読年数のご記入をお願いいたします。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。お寄せいただいた内容は、今後の本誌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。

宛先: naturedigest@natureasia.com (「ネイチャー・ダイジェスト」ご意見係)

nature

 グローバルな視点から「科学」を読む

Nature 定期購読なら、世界の最先端の科学関連ニュースを英文オリジナルコンテンツと、日本語翻訳でお楽しみいただけます。



国際ジャーナルを読む

グローバルな視点から、幅広い分野の情報と「世界の動き」をタイムリーに把握できます！

Nature 定期購読なら...

- **Nature Digest 無料定期購読**
(Nature Digest Online 無料アクセス含む)
- **Nature オンライン版**
(PDF、HTML)
フルテキストへの
無料アクセス



日本語編集版を読む

Nature 定期購読者には、Nature Digest を毎月無料送付します。Nature の中から、日本の読者に興味をもていただける記事を吟選して、日本語に翻訳した科学月刊誌です。

nature 翻訳・編集記事

- **HIGHLIGHTS** / 論文ハイライト
- **EDITORIAL** / 社説
- **NATURE NEWS** / 科学ニュース
- **NEWS & VIEWS** / 研究成果解説
- **NEWS FEATURE** /
読み物・注目の分野をあらゆる
側面から親しみやすく解説
- **COMMENTARY** / 論評
- **ESSAY**

オリジナル編集記事

- **JAPANESE AUTHOR** /
日本人研究者へのインタビュー記事
- **英語で NATURE** /
NATURE (印刷版およびオンライン版)
に掲載の記事から生きた英語を学ぶ



(本文 36 頁)

Nature・Nature Digest 定期購読お申し込みはこちらから

www.naturejpn.com/subscribe