

nature DIGEST

日本語編集版

APRIL 2007

VOL. 04, NO. 4

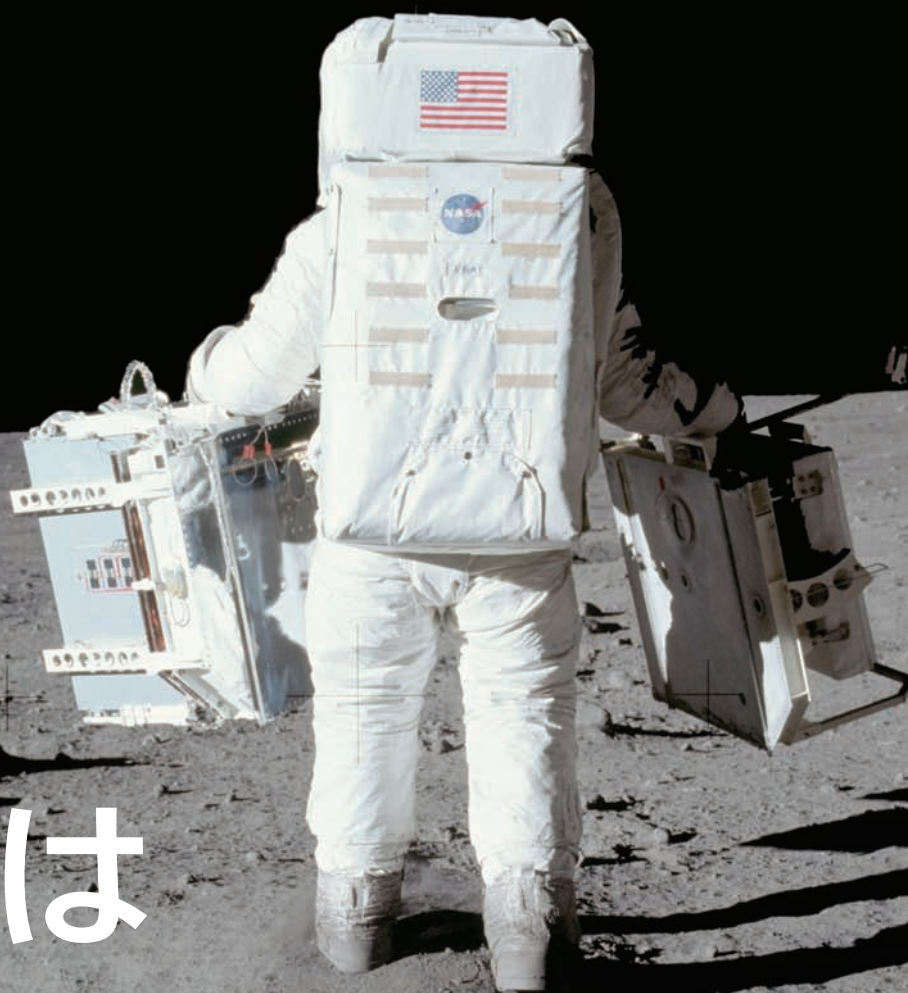
4

[http:// www.nature.com/naturedigest](http://www.nature.com/naturedigest)



nature asia-pacific

Established 1987 as Nature Japan K.K.



人類は 再び月へ行くのか？

2007年

4.12 OPEN!



研究者と技術者の転職／派遣情報

www.

研究職派遣.com



www.posdoc.jp

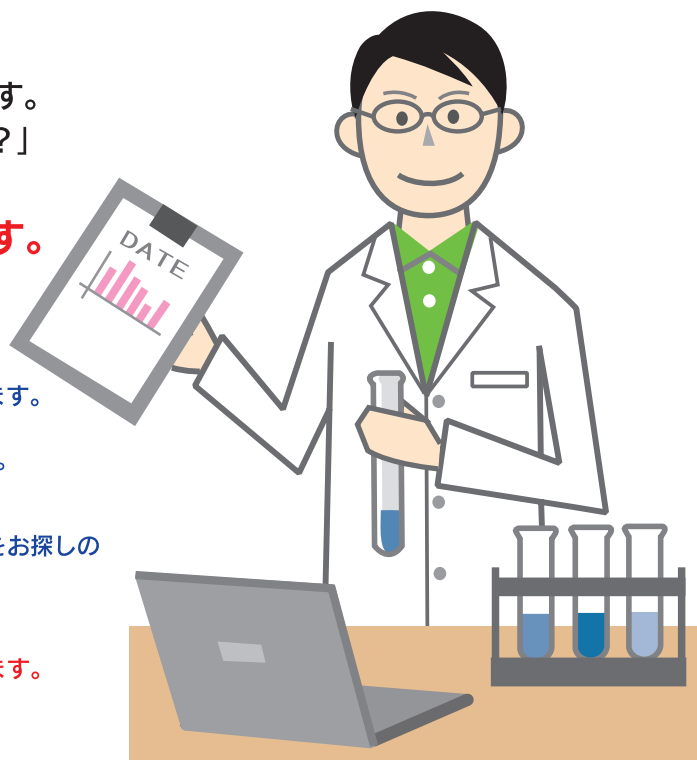
研究職をお探しの方へ、お仕事を提供し
キャリアパスの支援をさせていただくサイトです。
「研究職派遣で働くとどんないいことがあるの？」
「将来的にはどういう道があるの？」など
初めて派遣で働く方の不安を解決します。

派遣
登録

1. 研究所からのオファー可能性があります。
2. 匿名・無料ですので安心してご登録いただけます。
3. 忙しくても心配なし！
常に転職活動しているような状況になります。

転居
支援

住宅相談：本格的に転居をお考えの方で、住宅をお探しの
場合にはご相談をお受けします。
転居相談：つくばでのご就業、生活について
ライフプランをご提案します。
関西エリアでのご就業も承っております。



詳しくはホームページをご覧ください。

www.研究職派遣.com

検索

お問合せ → request@posdoc.jp



サイエンス・アライアンス・ジャパン
研究開発
支援
www.science-japan.com



S. XIAO



NASA/J. FRASSANITO AND ASSOCIATES



月本佳代美

nature DIGEST

04 volume 4 no.04
April
www.nature.com/naturedigest

© 2007 年 NPG Nature Asia-Pacific
掲載記事の無断転載を禁じます。

NEWS FEATURE

人類は再び月に行くのか？

表紙 : NASA AS11-40-5942

HIGHLIGHTS

02 vol. 445 no.7129, 7130, vol. 446 no.7131, 7132, 7133

AUTHOR

05 新しい分子マシンへの扉を開ける
— David Leigh

EDITORIAL

06 ドリーの遺産

RESEARCH HIGHLIGHTS

07 世界でいちばん大きな花のルーツ、大昔の胚の化石、
稲妻の NO_x 生成

NEWS

08 日本のテレビ番組がデータのねつ造を認める
David Cyranoski

NEWS@NATURE.COM

10 サルはハグしてけんかを避ける

NEWS & VIEWS

11 DNA 複製を開始させるスイッチの解明
Michael Botchan

NEWS FEATURE

14 人類は再び月に行くのか？
Geoff Brumfiel

JAPAN NEWS FEATURE

20 右脳と左脳、分子レベルでその非対称性を探る
西村尚子

JAPANESE AUTHOR

24 ダークマターの空間分布の測定に世界で初めて成功
— 谷口義明
北原逸美

英語で NATURE

26 Sea levels 'rising faster than predicted'
海面は「予測を上回るペースで上昇している」

発行人：デービッド・スウィンバンク
編集：北原逸美
デザイン/制作：村上武
広告：米山ケイト
マーケティング：吉原聖豪

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 Fax. 03-3267-8754

プラズマで速やかに加速**Quick off the mark**

プラズマを利用した粒子加速器は、従来の粒子衝突型加速器で用いられるものより数桁大きな加速場を作り出すことができるため、とりわけ魅力的である。スタンフォード線形加速器センターでの実験で、高エネルギー電子ビームを用いたプラズマ航跡場加速器の駆動に成功した。この種の加速器では、レーザーパルスなどの後に続く強い電位勾配すなわち「航跡場」を利用して、粒子を駆動する。今回は並外れた加速が観察され、入射電子のごく一部については、長さ3キロメートルの本格的なSLAC加速器で実現されたのと等価なエネルギー利得が、長さ1メートル未満で得られた。これは、高エネルギー物理学に应用できるプラズマ加速器の実現可能性の実証に向けた重要な一歩である。

15 February 2007 Vol.445 / Issue 7129

Letter p.741, N&V p.721 参照

進化の潜在能力を調べる**Staying power**

種が豊富に存在する地域、中でも固有種が多い地域は特に、保全活動の候補地となることは明らかのように思える。しかし、こういう見方をした場合、生態系内の動植物がもつ進化の潜在能力はほとんど考慮されない。地球全体の環境が急激に変化する公算が大きい現在、進化過程の保全が優先課題の1つであるとする認識はますます高まっている。南アフリカのケープ地区にある、よく知られている植物相の生物多様性ホットスポットが今回詳細に分析され、示唆に富む結果が得られた。それによると、種の豊富なケープ西部のほうが、あまり注目されていない東部よりも進化の潜在能力は低い。東部は西部より種数が少ないが、系統的多様性（生物多様性の指標の1つで、一群の種をつなぐ進化経路の長さを測る）は西部よりも大きいのである。この知見は、保全計画立案に重大な影響を及ぼすものだ。

15 February 2007 Vol.445 / Issue 7129

Letter p.757, N&V p.717 参照

暗黒物質の最も多い銀河**Darkest of the dark**

矮小楕円体銀河は、ほとんどが暗黒物質からなっていて、この銀河に分類されるものの中では、りゅう座やこぐま座の矮小銀河、アンドロメダIXが最も「暗黒度」が高い。このような銀河の形成を説明するために提案された既存モデルでは、これらの銀河が暗黒物質を予想外に大量にもつこと

や、ずっと大きな銀河の近傍にあることを説明できない。Mayerたちは今回、これらの銀河の前駆天体がおそらく大部分ガスからなる矮小銀河であって、ほかの矮小楕円体銀河よりも早く大銀河の伴銀河になったことを示すシミュレーションについて報告している。およそ100億年前に、潮汐衝撃波とラム圧が前駆天体からガスをすべてはぎとり、その後のわずかな星の成分がはるかに大質量の暗黒物質ハローの中に取り残され、これを我々が見ているのだ。

15 February 2007 Vol.445 / Issue 7129

Letter p.738 参照

超薄膜で分子を分けてみる**Trial separation**

生体分子を精製、処理、同定する手法は、ますます小型化と自動化が進んでいる。マイクロ流体系に容易に組み込むことのできる効率的なフィルター材料があれば、こうした改良努力に大いに役立つだろう。ロチェスター大学の研究チームが今回、孔径を制御できるシリコン超薄膜を開発し、この薄膜を使ってタンパク質を大きさや電荷の違いによって分別した。この薄膜は、濾過速度を最大限に高め、タンパク質の損失を最低限に抑えるために分子と同程度の15ナノメートルの厚さしかないにもかかわらず、極めて強靱である。この薄膜は安価に製造でき、シリコンを基盤にしているので、マイクロ流体デバイスでの使用に適している。

15 February 2007 Vol.445 / Issue 7129

Letter p.749, N&V p.726 参照

**HIVの隠された弱点：CD4結合部位の脆弱性
HIV'S HIDDEN WEAKNESS: Vulnerability at the CD4 binding site**

免疫不全ウイルス1型（HIV-1）は、免疫に対してカモフラージュを行う保護膜の働きにより宿主防御を免れる。しかし、b12抗体はこうした障壁を突破することから、b12とHIVのgp120エンベロープ糖タンパク質との相互作用は、ワクチンや薬剤設計の分野で関心を集めている。gp120のコンホメーションは可動的なため、分析は厄介だが、CD4と結合した状態で安定化したgp120分子を用いることでこの障害が克服された。この「固定状態の」gp120を用いた生物物理学的分析から、受容体との結合は、最初の「握

手」にあたる結合と、それに続いて起こる形状変化による「抱擁」といった感じの結合の2段階を経ることが示された。b12抗体がgp120の防御的形態変化をやり過ぎるのは、「握手」の段階でみられる予想外の「脆弱性」を利用することによっている。この段階では、HIVが効率的にCD4と結合するのにかなり速い結合速度を必要とするため、こうした脆弱性が生じるのだ。表紙のX線結晶解析画像は、b12抗体（緑）がこの新しく同定された脆弱部位（黄色）をひつつかんだ状態を捕らえたもの。

15 February 2007 Vol.445 / Issue 7129

Article p.732 参照

カケスは明日のことを思いわずらう**Tomorrow's world**

ヒト以外の動物が頭の中で時間的推移を想定し、予期される必要性を見越して将来の計画を立てられるかどうかについては、多くの議論がある。ある動物の行動がそのような時間的推移の考慮の結果によるものであると証明するのは困難であるが、アメリカカケスについて行われた研究によると、この鳥は確かにそれを行っているらしい。「朝食の計画」と「朝食の選択」という2通りの実験から、このカケスが将来の必要に対して備えをすることが明らかになった。カケスは、翌朝餌をもらえずに空腹になると学習した場所では好んで餌を隠して蓄えたり、ある種類の餌が翌日ももらえない場所ではその餌だけを特別多めに蓄えたりしたのである。この結果は、アメリカカケスが現在の動機とは無関係に、翌日の計画を自発的に立てられることを示唆している。

22 February 2007 Vol.445 / Issue 7130

Letter p.919, N&V p.825 参照

遺伝子でみる糖尿病**Diabetes in the genes**

食べ過ぎと運動不足は2型糖尿病の主な原因だが、それは遺伝的な素因をもつ人の場合に限られており、またこの糖尿病の遺伝的基盤は非常に複雑なことで悪名高い。しかし最近の研究で、2型糖尿病の発症リスクと関係がありそうな特定の遺伝子が複数報告された。さらに今回、遺伝子型決定用高密度アレイを使ったゲノム規模の分析により、糖尿病のリスク因子としてこれまで知られていなかった4つの遺伝子が同定され、また、既に知られていたTCF7L2遺伝子と糖尿病との関連が確認された。この5つの遺伝子を合わせると2型糖尿病発症リスクのかかなりの割合を占める可能性がある



※「今週号」とは当該号を示します。

り、この5つの機能を調べれば、糖尿病の発症機序が明らかになり、新しい薬剤標的が見つかると思われる。また、これらの遺伝子に変異があるとわかったら食事に気をつけることで、発症リスクを最小限に抑えられるようになるだろう。

22 February 2007 Vol. 445 / Issue 7130

Article p.881, N&V p.828 参照

氷底湖の発見とその役割

Subglacial lakes revealed

南極氷床の下では、氷底湖に水が集まり、水がさらに湖の間を移動して破壊的な流出を起こすことがあるのが知られている。それにもかかわらず、氷底湖が氷床の力学過程に影響を及ぼす仕組みはあまりよくわかっていない。人工衛星画像により、総面積がボストーク湖に匹敵する4つの氷底湖が、東南極のRecovery氷河が始まる場所に発見された。このことから、氷底湖は急速な氷の流れを開始させ維持している可能性が考えられ、この機構は今後の氷床の質量収支を考えるとときに考慮に入れる必要があるだろう。

22 February 2007 Vol. 445 / Issue 7130

Letter p.904, N&V p.830 参照

人為的災害? : インドネシアの泥火山をめぐる謎と窮状

UNNATURAL DISASTER?: Mystery and misery surround Indonesian mud volcano

表紙は、「Lusi」とよばれる泥火山から噴出した泥水に浸かった工場から製品をもち出そうと奮闘する現地住民たち。インドネシア東ジャワ地方のシダルジョにあるこの泥火山は、2006年5月29日に最初の泥噴出を起こした。その原因や周囲への影響に関する最近の報告によると、この泥火山は1日あたり7,000~15万 m³の泥を何か月にもわたって噴出し続け、噴出孔の少なくとも周囲10 km²の範囲には今後数年間人が住めず、11万人以上の人々が住む場所を永久的に失うと予測されている。今回の噴出の原因をめぐっては議論がある。その付近で2日前に起きた地震によって誘発された自然現象だとする見解に対して、地質学者たちが異議を唱えているのだ。地質学者たちは、泥噴出はほぼ確実に人間が引き起こしたものであり、近くで行われていた天然ガスの調査



用掘削作業の結果だと考えている。泥噴出とそれにより引き起こされた論争の現在の状況を、David Cyranoskiが報告する。

22 February 2007 Vol. 445 / Issue 7130

News Feature p.812 参照

やさしさタンパク質?

A niceness protein?

シグナル伝達に関与する膜貫通糖タンパク質CD38が意外な活性をもつことがわかり、このタンパク質が動物の行動において、これまで知られていない役割を果たしている可能性が出てきた。多くの免疫細胞の表面に認められるCD38は、無脊椎動物の卵の受精やHIV感染、がんや糖尿病に関与する。CD38は脳内に高濃度に存在し、そのことがこれまで少々不思議に思われていたが、今回マウスでこのタンパク質がオキシトシンというホルモンの血漿濃度を制御することがわかり、なるほどと思われる結果となった。CD38を欠損したマウスは、雌では養育行動が、雄では社会行動が損なわれる。このことから、CD38が神経発達障害の一因となっている可能性が考えられる。

1 March 2007 Vol. 446 / Issue 7131

Article p.41 参照

変速ギアで泳ぐ

Running through the gears

脊髄で予想外の機能的編成が見つかった。ゼブラフィッシュ幼生の脊髄の背腹軸に沿ったニューロンの位置は、そのニューロンの発火を引き起こす遊泳周波数と直接関連している。電気生理学的測定と*in vivo*画像法によって、より背側に位置する運動ニューロンと興奮性介在ニューロンは、より速い遊泳にかかわり、より腹側（脊髄の下半への方向）にあるニューロンは、より遅い遊泳で発火することが明らかになった。脊髄機能がこのようにはっきりと位置的に区分されていることによって、ゼブラフィッシュはいろいろな速さで効率よく泳ぐことができる。脊髄の初期発生は魚類から両生類、哺乳類へと高度に保存されているので、ほかの動物種でも同様の構成パターンがみられるのかもしれない。

1 March 2007 Vol. 446 / Issue 7131

Letter p.71 参照

ウイルスが作る丈夫な立方体

Tough cubes

感染性をもつ多角体を産生する昆虫ウイルスは広くみられ、重要である。この多角体は多数のウイルス粒子が封入された微結晶

で、安定性が著しく高いために感染性が持続して、例えばカイコの収繭量が減少したりする。今回、このような多角体微結晶の1つの分子構造が明らかにされた。このウイルスは、今まで原子構造の決定に用いられたタンパク質結晶のうちでも最小であることから、今回の構造決定はタンパク質の微小結晶X線構造決定分野における大きな技術的成果である。この研究によって、頑丈な多角体の構造が明らかになり、これを生物農薬の輸送用カプセルや、マイクロアレイなどのバイオナノテクノロジーに応用できる可能性がある。

1 March 2007 Vol. 446 / Issue 7131

Letter 97, N&V p.35 参照

原子を同定する：原子力間顕微鏡で表面の個々の原子を識別

NAME THAT ATOM: Individual surface atoms identified by atomic force microscopy

ダイナミックモード原子間力顕微鏡法は、原子間力顕微鏡 (AFM) の振動ティップと試料表面の間の相互作用力の検出によっているが、絶縁体、半導体および金属表面について真の原子分解能を実現できる程度にまで高性能化されてきた。今週号では、この技術を多元素系の個々の原子の化学識別に使うという画期的成果が報告されている。今回の方法では、対象原子とAFMティップの間の短距離化学結合力が正確に定量化されており、低温環境と室温環境のいずれにも適したロバストで汎用性のある認識手段となっている。表紙は、シリコン (111) 基板上のシリコン (赤)、スズ (青)、鉛原子 (緑) を均等な割合で含む表面合金のトポグラフィック画像である。この原子識別方法は、触媒反応、材料科学、半導体技術など、さまざまな研究分野に直接関連するものである。

1 March 2007 Vol. 446 / Issue 7131

Letter p.64, N&V p.34 参照



がん遺伝子の総ざらい

Cancer gene haul

がんの原因となる遺伝子については、マッピングやバイオアッセイといった既に確立した技術や生物学的に可能性の高い候補を探すという方法により、これまでに350個以上が見つかった。ヒトのゲノム配列が使えるようになった今、大規模な塩基配列

解説研究によって、さらに多くのがん遺伝子候補が見つかる可能性がある。プロテインキナーゼは多くの調節経路で重要な役割を担っていて、その機能異常は腫瘍形成のきっかけとなることが多い。そこで、200種を超えるがんから、それに関連する518のキナーゼ試料を選んで塩基配列を解説するという研究が行われ、腫瘍形成に関係のある、これまで知られていなかった変異が1000以上明らかになった。一部の変異はがんの形成に寄与せず、ただそこに居るだけのいわば「乗客」だが、100以上はがんの発生の原因となる「ドライバー」的変異である。このような遺伝子ファミリー研究は、がんの原因となる異常を見つけ出すだけでなく、分子レベルの診断法や治療法の新しい標的の発見にもつながるだろう。

8 March 2007 Vol. 446 / Issue 7132

Article p.153, N&V p.145 参照

火星にあまねく広がる水

Martian water goes global

火星のメリディアニ平原で探査車オポチュニティーが見つけた蒸発岩堆積物は、地下水面の変動があったことの証拠と見なされている。しかし、この解釈には問題がある。この領域には地形学上の盆地が存在せず、そもそも蒸発岩の存在を説明できないのである。この難問は、新たな水文学的モデルによって回避できそうだ。このモデルでは、火星全体にわたって地下水の湧出と蒸発が続いた結果として、閉じた盆地に水が集まらなかったとしても、メリディアニ平原で蒸発岩が形成された可能性があるとしている。

8 March 2007 Vol. 446 / Issue 7132

Letter p.163, N&V p.150 参照

地球の極まで

TO THE ENDS OF THE EARTH

表紙は、サウサンプトン大学のS A Johnsonが2006年に撮影した、東グリーンランド国立公園カイザーフランツヨゼフ・フィヨルドの漂流氷 (ice raft) である。およそ3350万年前の始新世から漸新世への移行の時期には大きな気候変化が起こり、世界は巨大な氷床がない温暖な状態から、南極大陸に現在の大きさに近い永久氷床がある状態へと変わった。しかし、北半球における早期氷河作用の歴史がどのようなものだったかについては議



論が続いている。今週号では、ノルウェー・グリーンランド海から採取された、始新世後期から漸新世初期の堆積物中 (3800万～3000万年前の間に堆積) に、地層学的に広範囲にわたる漂流岩屑が存在することが報告されている。これは、以前に報告されたよりも2000万年早い時期に、グリーンランド上に氷河が存在していたことを示唆している。国際極年2007～2008年は、この3月から始まる。それを祝って今週号には、次の氷床深層掘削計画や北極温暖化の最新予測などを取り扱う一連のNews Featureが掲載されている。

8 March 2007 Vol. 446 / Issue 7132

Letter p.176, Editorials p.109, News Features pp.126, 129, 133 参照

ヌクレオソーム構造変換

Nucleosome conversion

クロマチン構造の最小単位であるヌクレオソームはヒストンとDNAから形成されており、その構造変換はDNAがかかわる反応に重大な影響を及ぼすが、ヌクレオソームの形成・破壊機構はわかっていなかった。今回、ヒストンH3、H4と複合体を形成しているヒストンシャペロンの結晶構造が決定された。

15 March 2007 Vol. 446 / Issue 7133

Letter p.338 参照

ゆっくりすべり地震

Many a slip

大規模な断層帯の一部では、しばしば非地震性すべり、つまり「ゆっくりすべり」地震に伴う間欠的で継続時間の長い地震のような現象が観測される。この微動を引き起こす機構、およびその非地震性すべりとの関係はよくわかっていない。D Shellyたちは、四国地方の下で起きる微動が、沈み込み帯のプレート境界で剪断層運動として起きる小さな低周波数地震の群発活動として説明できることを示した。このことから、微動とゆっくりすべりは同一の過程が異なった形態をとって表れたものであると考えられる。

15 March 2007 Vol. 446 / Issue 7133

Letter p.305 参照

光子の生と死

Life and death of a photon

連続的に観測されている微視的な量子系では、トラップされた粒子の量子状態の急激な変化やジャンプは検出できるはずである。これは電子や分子など質量をもつ粒子

では行われているが、質量がゼロの光子子では今まで可能ではなかった。標準的な光検出器は光を吸収し、同じ光子を繰り返し測定できないためである。今回、光を吸収しない原子の流れを使って、超伝導共振器に蓄積されたマイクロ波光子を調べることによってこの障害が克服された。同じ状態に高度に相関した数百個の原子の列が、突然の状態スイッチングによって分断される。このような電信信号は、各光子のいわば誕生から、その一生、そして死までを記録する。この研究によって、1個の光子を箱の中に秒の長さで蓄積し、感度のよいはかり (この実験では原子の流れがそれにあたる) で評価するというアインシュタインの夢の実現が近づいた。

15 March 2007 Vol. 446 / Issue 7133

Letter p.297, N&V p.275 参照

リンネの遺産：300年にわたって世界に秩序をもたらした研究

LINNAEUS'S LEGACY: Bringing order to the world for 300 years

2007年はリンネの生誕300年記念祭が開かれるが、*Nature*もそれに加わって、系統ゲノム学の現状や絶滅危機種保護法の政策、アマチュア分類学者の役割に関する評価などが盛り込まれている特集を今週号で組んでいる。2本のCommentaryでは、生命科学の他分野の急速な進展にもかかわらず、リンネの分類体系の遺産を守り続けることの問題点と新たに命名された種名を広く知らせることのむずかしさが論じられている。S Müller-Willeは、『自然の体系』(*Systema Naturae*) の中で述べられている「ちょっとエロティックな」概念が、趣味としての分類学の人気を盛り上げてきた可能性について解説している。また、p.279とp.312の論文はリンネ色の濃いテーマを扱っており、これはリンネの権威が生物学研究の世界でまだちゃんと通用していることの証となる。その気になってよく探せば、おそらくほかにも同じような例が見つかるはずだ。

15 March 2007 Vol. 446 / Issue 7133

News Feature pp.246-256, Commentary pp.259, 261, Essay p.268, Review p.279, Letter p.312 参照



MAKING THE PAPER

David Leigh

Nature Vol.445(xi)/1 February 2007

新しい分子マシンへの扉を開ける



生物モーターは多くの細胞内過程を駆動している。すでに、これに似せた合成モーターがいくつも開発されており、ナノマシンとして機能している。しかしながら、天然の分子マシンと人工の分子マシンの間には大きな違いがある。例えば、筋肉の収縮に関与する生物学的モーターなどは化学系を平衡から遠ざけるように作用するのに対して、化学者が合成するマシンは平衡に近づけるように作用するものばかりだったのである。

英国エジンバラ大学のDavid Leighの研究室が新しい一歩を踏み出したのは、彼らが分子マシンの製作に取り組むようになってから10年が経過した頃のことだった。2003年のミーティングで、Leighは博士課程の学生だったEuan Kayに、生体分子モーターの仕組みについて理論物理学者がどのような提案をしているかを調べて発表するように依頼した。「彼は、理論物理学者が提案していたさまざまな機構を有機化学者にも理解できる言葉で説明するという離れ業をやったのけたのだ」とLeighは回想する。「彼の発表が終わる頃には、目からウロコが落ちたような気分になっていた」。自然に分布している粒子の位置を変えられる分子マシンを合成しようと彼らが思い立ったのはそのときだった。

彼らの分子マシンのデザインは、物理学者James Clerk Maxwellが140年前に提案した思考実験をヒントにしている。Maxwellは、気体が充滿した2つの容器の仕切りに開いた小さなドアを開けたり閉めたりする小さな魔物を考え出した。魔物は、右の容器から特に高速の気体分子がやってきた場合にのみ、ドアを開けてこれを左の容器に通すということをしている。ただそれだけで、左の容器には高速の気体分子が集まって温度が徐々に上がっていき、右の容器の温度は下がってくる。このように、外部からエネルギーを加えることなく自然に加熱と冷却が起こるなら、それは熱力学の

第二法則に反している。熱力学の第二法則にはいろいろな表現のしかたがあるが、その1つに、「外部からエネルギーを加えることなく系の秩序が増すことはない」というものがあるからである。

Leighのチームは、Maxwellの魔物のような動作により、粒子の相対的な位置に応じてこれを選別する分子マシンを設計した。この分子はロタキサンとよばれ、両端に大きなストッパーがついた直鎖状のパーツに環状のパーツが引っかかった構造をしている。直鎖状のパーツの左寄りの位置には「ゲート」があって、環状のパーツが左右に動き回るのを阻止している。

環がゲートの左側にあるときに光が当たると、環が受け取った光エネルギーがゲートに伝わり、ゲートが開く。そこで環が右側に移動すると、再びゲートが閉じる。逆に、環がゲートの右側にあるときには、ゲートからの距離が遠すぎるため、受け取った光エネルギーを伝えてゲートを開くことができない。その結果、粒子は右側に蓄積して、系の秩序が増すことになる。なお、この系には光エネルギーが加えられているので、熱力学の第二法則には反していない。

同研究室の博士候補のViviana SerrelliとポスドクのChin-Fa Leeは、この作業を遂行できるロタキサンを3年以上かけて構築した。チームはその間、小さなパーツをいくつも合成し、テストしては、そのデザインを洗練させていった。そしてついに、すべてのパーツを組み合わせた分子マシンが完成したのである。「最初に光を照射して、平衡状態にあった環の分布が変わっていくのを目にしたときには、畏敬の念に満たされた」とLeighはいう。

彼は今、生体膜に組み込まれているポンプのような機能をもつ分子モーターを合成しようと計画している。「私たちは、今日の分子マシンよりもはるかに進んだものを作り出したいのだ」と彼はいう。 ■

ドリーの遺産

Dolly's Legacy

Nature Vol.445(795)/22 February 2007



この10年間で哺乳類のクローン作製技術は前進したが、社会的に重要な諸問題は今もって解決されていない。それでも生殖目的のヒトクローン作製は不可避だと考えられる。

今から10年前、*Nature*から恒例の発表解禁日付きプレスリリースによって、ある論文掲載の予告を1週間前に受けた報道関係者たちは、久々の超ホットな科学ニュースに色めき立ち、報道の準備を進めていた。このプレスリリースには、ヒツジの成体細胞からクローン個体を作製したことが告示されていた。ところが英国の日曜紙 *The Observer* の記者が、このニュースをある映画制作会社から入手して、発表解禁日を待たずに報道してしまった。これに憤慨した他紙の編集部は、遅れまいとして緊急報道体制を敷いた。「クローン人間を作って大勢の独裁者を作り出す可能性があるのだから、最大級の注目が集まるはずだ」という見解を *The Observer* 紙は示し、実際その通りになった。報道から数日も経たないうちに、米国大統領、EC委員長、ローマ法王をはじめさまざまな人々が、全面禁止とまではいかないまでも、クローン作製研究に対する法的規制の見直しをよびかけたのである。

当時の世の中は、このような議論をするための準備がまったくできていなかった。その前年にはすでに、ヒツジで胚細胞からのクローン作製に成功したとする研究論文が *Nature* で発表されており、同じ号に掲載された News & Views の論評で Davor Solter は、成体細胞からのクローン作製技術の「使い方について検討を始めたほうがよさそう」と警告した。しかし他の研究者は、このような見解に否定的な態度を示すか、あるいはまだ何年も先の話だと予想した。

クローン技術でドリーを作製した研究チームは、その研究内容を外部に漏らさないようにしていた。しかし、胚細胞からのクローン作製に際したマスコミとの対応で教訓を得て、PR 会社を起用し、研究成果の公表後に放映するテレビ用ドキュメンタリーの制作に協力して取り組んでいた。このような対応は実を結ばなかったが、その姿勢は他の研究者にとって今でも手本となるものだ。研究者とその所属研究機関は、画期的な研究成果を発表する場合、幅広い層の受け手を想定し、その研究の背景と意義についての考え方をマスコミに伝え、なおかつウェブサイト上で発表する責任を負っている。本誌を始めとするジャーナル各誌も、このように研究の背景説明を伝えるうえで、より多くの貢献ができることは間違いない。

クローン作製研究は、その後どう推移してきたのだろうか。*Nature* 2007年2月22日号のp. 800で解説したように、多くの研究が体細胞核の移植と幹細胞技術を組み合わせることに重点を置くようになった。ドリーのニュースが発表された当

時、これが畜産に及ぼす影響についてはほとんど関心がもたれなかった。ところがその後、まさにこの分野で生殖目的のクローン作製技術が大きく進歩し、十数種の哺乳類のクローンが作り出された。研究の進展度をはかる尺度の1つが米国食品医薬品局 (FDA) によるリスク評価 (www.fda.gov/cvm/CloneRiskAssessment.htm 参照) で、現在、これについて公の協議が行われている。

FDA の報告書は、安全性については総じて楽観的だが、重要な1点について進展がみられないことを指摘している。それは、哺乳類のクローン作製の効率がいまだに低い点だ。基礎生物学研究にとっての課題が、ここに明確に示されている。研究分野の1つとして、例えばエピジェネティクスがある。これによって、クローン作製の場合にDNAについている化学的マーカーのどれが変化するのか、そして、クロマチン構造にどんな変化が生じ、それが通常の生殖とどのように異なるのかを調べる。この分野の研究の進展は期待していいだろう。また、米国の消費者はクローン動物の作製に不安を感じてはいるものの、動物クローン作製技術の応用に反対する可能性は低いと考えられ、ましてやこの技術のかかわった製品に対する反対などは起こりそうにない。

これに対し、全世界的に許されないと考えられているのが、生殖目的でのヒトクローン作製で、これはいうなれば「時間を隔てて生まれる一卵性双生児」を作り出すことである。これに関する議論の大半を占めているのが、尊厳と安全性という2つの問題である。クローン作製技術で生まれた子どもが、ある目的のための手段としてだけでなく、1人の人間としての権利を認められるのであれば尊厳は損なわれないという点では、意見の一致が得られている。しかし、クローン人間作製のリスクが倫理的に許容されるくらい十分に小さくなるまで十分にクローン技術の理解が進むか、という点では意見が分かれている。

この論争は、すばやい研究禁止措置によって封印されてしまったと思われるかもしれない。しかしエピジェネティクスや発生に関する研究の進歩は不可避であり、不妊や遺伝病への対処法としてクローン作製技術しか残されていない人々は、この技術の活用をより強く求めていくだろう。生殖目的でのヒトクローン作製は、全体として肯定的な倫理上の動機づけが得られれば、生物学的に何か未知の大きな障害となる問題が生じない限り、まず間違いなく実現されるだろう。 ■



J. HOLDEN

Flower finds its roots

世界でいちばん大きな花のルーツ

Science doi:10.1126/science.1135260 (2007)

直径が1メートルにも及ぶ世界最大の花（写真）を咲かせて腐肉臭を発する植物が、初めて記載報告されてからほぼ200年を経て、ようやく生物系統樹上の落ち着き先を見つけた。

ラフレシア (*Rafflesia arnoldii*) は、ラフレシア科とよばれる寄生植物の仲間である。この科の植物は通常の根や葉、茎がなく、これまで系統上の分類がなかなか確定できずにいた。植物の類縁関係を調べるのによく使用される葉緑体DNAでも、マーカー遺伝子の多くが失われていたり短かったりするために、手がかりが得られなかった。

この状況を打破すべく、ハーバード大学植物標本館（米国マサチューセッツ州ケンブリッジ）のCharles Davisの研究グループは、100種以上の植物でミトコンドリアDNAの約1万1500塩基対の配列を解析した。すると意外にもラフレシア科が、大半の種が小さな花をつけるトウダイグサ科の中に入れ子状態でおさまることがわかった。

Ancient embryos

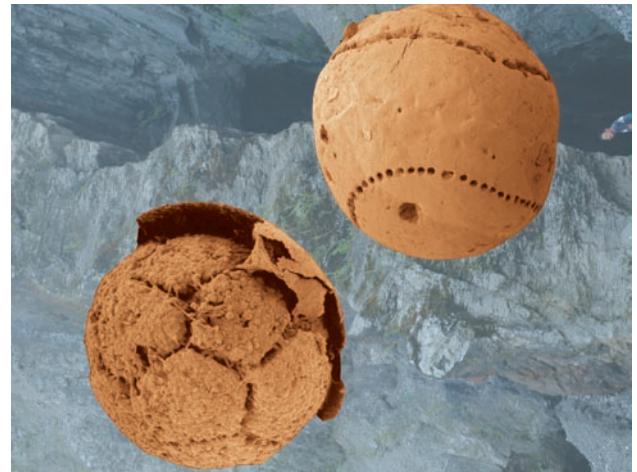
大昔の胚の化石

Geology **35**, 115.118 (2007)

中国と米国の古生物学者グループが、6億年前の発生初期段階の胚と見られる化石（写真）を発見した。

この微化石は中国南部で発見されたもので、その種はまだ同定されていない。ヴァージニア工科大学（米国ブラックスバーグ）のShuhai Xiaoたちは、マイクロフォーカスX線CT法を駆使して、胚の表面を包んでいる外被を仮想的にはがして胚を露出させた。胚は数百個の細胞でできており、3本の時計回りのらせん構造を形成していた。

この構造から、胚の親はチューブ状のサンゴ様動物であった可能性があるというXiaoたちは述べている。



S. XIAO



V. A. RAKOV

A flash of NO_x

稲妻のNO_x生成

Geophys. Res. Lett. **34**, L03816 (2007)

稲妻で生成する窒素酸化物の量が初めて直接測定された。実験は、銅線の長い尾をつけたロケットを雷雲に向かって発射し、稲妻を発生させて行われた。

稲妻は、大気中の窒素酸化物（NO_x）の主な供給源であり、その関与の程度を見極めることは、人間活動によって生じる環境汚染ガスの量を評価するうえで重要である。

ウプサラ大学（スウェーデン）のMahbubur Brahmanの研究グループは、実験で発生させた稲妻の一部を、地上に設置してある密閉した観測箱を通るよう迂回させた。解析の結果、稲妻が運ぶ電荷の1クーロンずつが、放電路1mあたり最大 3×10^{20} 個のNO_x分子を生成させていることがわかった。この数値は、雷雨の中を飛行する航空機によって測定されたデータに基づく推定値とほぼ一致する。

Japanese TV show admits faking science

日本のテレビ番組がデータのねつ造を認める

Nature Vol.445 (804-805) / 22 February 2007

David Cyranoski



納豆のダイエット効果をめぐってデータのねつ造を行った日本のテレビ番組が、非難を浴びた。

マスメディアに対し、自身の研究について話す機会のある研究者らにとって、日本で取り沙汰されている最近のテレビ番組のねつ造事件は教訓となりそうだ。関西テレビ放送は、番組の中で科学的実験データのねつ造があったこと、また、外国人研究者のコメント映像に実際の発言とは異なる内容の吹き替えを行っていたことを認めた。日本の他メディアからの非難を受けた同局は番組の打ち切りを決め、シリーズの過去520回すべての放送内容について現在、調査を行っている。

被害者の1人は、アメリカの大学で大豆の発酵について研究しているKim教授だ。ファーストネームや大学名を明かさない条件でNatureの取材に答えた。Kim教授が研究について関西テレビの取材を受けたのは2006年1月。だが今回、この2月に初めて番組の録画を見たKim教授は愕然としたという。教授のコメントが登場する回の放送では、味噌の健康効果が取り上げられた。「番組では、私のっていないことの多くがあたかも私の発言であるかのように作られていた。放送された私のコメントの約60%は、正確な内容ではない」と話す。

「発掘！あるある大事典II」は、週一度、10年間にわたりフジテレビ系列で放送されてきた人気の番組で、毎回の視聴率は15%ほど。研究者のインタビューを基に、科学ドキュメンタリー形式で食品や健康に関する話題を取り上げる趣向の番組だった。

ねつ造問題は、納豆を食べるとダイエット効果があるという1月7日の放送後にもち上がった。多くのメディアが疑惑を投げかけ、関西テレビは調査を開始。1月20日には、使用されたデータのほとんどでねつ造があったことを認めた。納豆でやせたとされる人物の写真は実験の被験者とは無関係のもので、減少したとされた中性脂肪値については、実際には測定さえ行われていなかった。

また、番組では、テンプル大学（米国、フィラデルフィア）の研究者Arthur Schwartzのコメント場面で実際とは異なる内容の吹き替えが行われていた。1月7日の放送では、大豆に含まれるイソフラボンは体内のデヒドロエピアンドロステロン（DHEA）値を上昇させる、とSchwartz教授がコメントしているかのようにみえる（DHEAは体内で自然に

分泌されるホルモンで、さまざまな健康効果があるとされている）。しかし、Schwartz教授の研究であるかのように紹介された実験は、実際には別の研究者のものであった。

Schwartz教授は、加齢に関連して起こる病気の進行を遅らせると考えられている、DHEAの効果について研究している。教授本人はNatureの取材に答えなかったが、大学の広報担当者は「(番組で放送された)コメントはSchwartz教授によるものではなく、研究内容も事実と異なる形で取り上げられている」と回答した。

その後、あるある大辞典で放送された過去の番組のいくつかについても疑惑がもち上がり、先述のKim教授のコメントにも不正な吹き替えがあったことがわかった。「番組を見ると、まるで私が、味噌にはダイエット効果があり、そのうえ、一定の神経的作用も認められるとコメントしているかのようだ」とKim教授はいう。しかし、実際に教授が説明していたのは、なぜ大豆は発酵させると消化しやすくなり、家畜の飼料としてよいか、という話だった。「私は半日がかりで研究所を案内し、研究の成果をみせま

した。私が何の研究をしているか、取材班も理解していました」。

科学データに関する不正は、番組の始まった当初にまでさかのぼる。例えば1998年、トリプトファンの睡眠作用を研究している千葉科学大学の長村洋一教授のところに、レタスを与えるとマウスが眠ってしまうかを確かめる実験を実施したいとの依頼があった。長村教授と関西テレビの番組制作担当者らは、何匹かのマウスにレタスのエキスを与え、その後2時間にわたって経過を観察した。「そのときはテレビに出演したいとも思っていたし、実験がうまくいってネズミが眠るといいなと考えていた」と長村教授はいう。しかし、結局マウスに変化はみられず、制作担当者もそう理解して帰っていったという。

そのため、番組で自分の研究所のマウスが紹介され、「眠ってしまった!」というテロップが流れるのを見た教授は驚いた。番組ではその後、実践女子大学の栄養学研究者である田島真教授が、野生種のレタスには睡眠効果のあるラクチュコピクリンという化学物質が含まれており、栽培もののレタスにも少量含まれていると解説している。「番組の最後には、レタスの葉を3枚食べるとすっかり眠たくなってしまうかのような印象が残った」と長村教授はいう。

田島教授は、自分自身でレタスを使った実験を行ったことはないが、提供したのは科学的文献から得た正しい情報だったと語る。他人の研究結果について話すことに「多少の違和感があった」ものの、それほど気にはかけなかったという。「我々はテレビタレントとして使われているのだ。だから指示通りにコメントする」と田島教授は話す。これまで500以上のテレビ番組に出演して栄養素について解説したという教授は、「もし私が出なければ、もっとひどい研究者を取材するだろう」と話す。

長村教授は、「あまりのばかばかしさ」に制作会社やテレビ局への抗議も行わなかったが、その代わり、学会や一般向けの講演でこの番組に対する懸念について話してきた。「多くの研究者たちがあるある大事典には不信感をもってしたが、今まではこのような騒ぎにならなかった」。

日本の新聞の社説欄では、「インフォテイメント（娯楽情報番組）」の人气が急速に高まっていることや、契約で番組制作を請け負う制作会社が、特に健康や美容関連の番組で高視聴率を稼ぐのに躍起になっていることなど、日本のテレビ文化の現状に疑問を投げかけている。

一連のスキャンダルを受けて、あるある大事典の放送は1月で打ち切れ、関西テレビは外部有識者から構成される調査委員会にシリーズすべての調査を依頼した。調査報告書は3月中旬にも出される予定だ。2004年放送の「顔やせの科学」や、脳を活性化させる小豆の力を取り上げた2001年の放送回が注目を集めているといわれる。

総務省地上放送課の竹内友宏係長は、関西テレビは厳密に言えば「事実の曲解」を禁じる放送法に違反しており、2月末を最終期限としている関西テレビからの内部調査結果の報告を待って、対応を決めるとしている。しかし、総務省の手にある方策は、放送免許の取り消し、もしくは行政指導のみ。免許の取り消しに関しては厳しすぎるという考え方が一般的で、今まで実際に発動されたことがなく、行政指導についても数件の前例があるのみだ。しかし昨年、別のテレビ局が、煎った白いんげん豆のダイエット効果をうたう内容の番組を放送し、その後視聴者たちが食中毒を起こすという騒ぎがあった際には、このテレビ局に対して行政指導がなされた。

このようなでたらめの情報番組を増やさないため、2月初めに総務相は、放送免許の取り消しと行政指導の間に位置づけられるような新たな対応策を追加できるよう、今国会で求めていく姿勢を示した。

群馬大学の栄養学者、高橋久仁子教授は、同じような問題は日本全体に広がっていると話す。2000年以降、健康と栄養学を扱う娯楽番組を追い続けてきた高橋教授は、誇張表現や危険な間違いがみられることに気がついていったという。「こうした番組はどれも疑ってみるべきだ」。しかし、提案されている法改正については、「何が正しく何が正しくないのかを



実際は眠りにつかなかったマウス。

政府に決められてしまう」として懸念を示す。「結局のところ我々視聴者は、業界の人々のモラル意識に頼るほかない」と高橋教授は話す。

1月26日、神経学者でもある日本学術会議の金澤一郎会長は、学術会議で定められた行動規範は、実験に携わるすべての者が守るべきもので、たとえその実験がテレビ番組向けのものであっても例外ではない、との声明文を発表した。ただし、金澤会長はテレビ局が規範に従うかどうかについては悲観的な見方をしている。「(テレビ局が) 目指しているのは科学的な正しさを伝えることではなく、いかに高視聴率を取るかだ。彼らには大きなプレッシャーがかかっている」。

あるある大事典のように極端な例はまれだとしても、科学的に完全に正確であるかどうかを無視してでも視聴者をあといわせたいと考えるテレビ番組は、日本以外にも存在する。昨年、Brainiac: Science Abuse というイギリスの人気番組は、セシウムとルビジウムを使って浴槽いっぱいの水を吹き飛ばす内容の番組を放送したが、実際に使われたのは従来の爆薬だった。この番組を放送したテレビ局 Sky One は、実験に際して科学者の協力は得たが、あくまで娯楽番組としての実験であることを重視したと説明している。「放送大学の授業を期待しているなら、チャンネルは別だ」。

Kim 教授と長村教授は、メディアには注意するようになったという。Nature の取材を受けるにあたり、Kim 教授は自分の発言がどのように引用されるのかを事前に確認することを条件とした。「これが今回、私が学んだ教訓だ」。

サルはハグしてけんかを避ける

Monkeys hug it out to avoid fights

抱擁がライバル間の緊張を緩和する。

doi:10.1038/news070219-3/21 February 2007

Michael Hopkin

WARDEN,JOHN / INDEX STOCK IMAGERY / NEWS.COM

「反社会的な行動や軽犯罪の解決には愛情が大切だ」とした英国の政治家 David Cameron の発言は、「ごろつきを甘やかす」といって冷笑されたものだ。しかし実は、その先達は動物の世界にいたのだ。メキシコにすむクモザルは、暴力を避けるために抱擁を行っていることが観察されているのである。

この発見をした英国の研究者によれば、抱き合うという行為によって、サルの群れどうしが出会ったときの緊張がおさまるのだという。逆にこうした抱擁をしなければ、事態は攻撃的な対立、さらには物理的衝突に発展することもある。

研究の対象とされたのは、中南米の森林に生息する野生のクモザル (*Ateles geoffroyi*) だ。このサルは基本的に大きな群れを作るが、食べ物を探して移動しやすいように、数匹単位での離合集散を繰り返す。

リバプール・ジョン・ムーア大学 (英国) の Filippo Aureli は、「ちょうど小さな村で皆が顔見知りのような状態で

す」と語る。「家族のように1つの集団で寝起きして朝食を共にする。その後は、それぞれが職場や学校のような別の小集団へと移動し、また別の集団で昼食をとる、といった具合です」。

こうした状況では、小競り合いも頻繁に起きる。特に、出くわしたサルをライバルだと見なせば、より大きなけんかにつながる危険性もある。この緊張を緩和する方法がどうやら抱擁であるらしく、最初に抱擁を行わないサルの間では、追いかけて回すなどの攻撃的な衝突の確率が高まる。

Aureli は、抱擁による平和的な出会いがなされる場合には、攻撃の確率ははるかに低いとする論文を、共同研究者の Colleen Schaffner (英国 チェスター大学) と連名で *Biology Letters* 誌に発表している¹。

出会いとあいさつ

「抱擁は、自分の体の弱い部分をさらけ出す行為であることから、サルどうしの絆を確かめる方法になっているのかもしれない」と Aureli は考えている。しかし、自分の群れの仲間と抱き合う習慣はなく、単に一般的な愛情を表現するための手段ではないようだ。

これまでの研究ではもっぱら、サルがけんかの後、どのようにして仲直りするのかに焦点が当てられてきた。Aureli によれば、野生の世界でけんかを回避するため事前に平和的行動をとることがあるかについては、ほとんど研究されてこなかったという。

人間が日常生活のなかで他人を追いかけてたり攻撃したりすることはあまり



クモザルにとって、抱擁は何を意味するのだろうか。

多くはないが、人間が交わす抱擁や握手と、サルが行う抱擁は、似た関係にあるのではないかと Aureli はいう。

Aureli はさらに、数日間遭遇していないため互いの関係の土台が不確かなサルの間で、抱擁の重要性がより高いのではないかと考えている。これもまさに人間が、何年も会っていない友人に出くわしたときにどう声をかけたらいいものか戸惑うのと同じような話である。 ■

1. Aureli F. & Schaffner C. M. *Biol. Lett.*, 10.1098/rsbl.2007.0041 (2007).



クモザルは小集団に分かれて食べ物を探す。

WARDEN,JOHN / INDEX STOCK IMAGERY / NEWS.COM

A switch for S phase

DNA 複製を開始させるスイッチの解明

Michael Botchan



真核細胞が分裂するには、あらかじめ DNA を複製しておかなくてはならない。DNA 複製を開始するには複雑な段取りが必要であり、そこにはさまざまなタンパク質がかかわっている。その主な段階の 1 つについて詳細が明らかになった。

Nature Vol.445 (272-274) / 18 January 2007

1992 年の *Nature* 誌上で Li と Alberts¹ は、同じ号に報告された創造的なある知見² について論評した。それは、DNA 上のスポットを認識して細胞周期の DNA 複製期を開始させるタンパク質因子を、出芽酵母 *Saccharomyces cerevisiae* で見つけたという知見だった。しかし、この「複製開始点認識複合体」を見つけ出すことは課題の 1 つにすぎず、DNA 合成を開始させる事実上のスイッチにいったい何がかかわっているのかを突き止めることが、もう 1 つの課題として残されていた。後者の課題の達成が *Nature* 2007 年 1 月 18 日号で、Zegerman と Diffley³ および田中誠司たちのチーム⁴ によって報告されている。この複雑に入り組んだ過程の核心部分は、Sld3 と Sld2 という 2 種類のタンパク質のリン酸化（つまり活性化）と、Dpb11 という名の第 3 のタンパク質の関与にある。

DNA 複製過程は細胞周期の早い段階に、核の分裂の最後とその次の G1 期に起こる出来事とともに始まる。続いて S 期に DNA 合成が開始し、この DNA 合成の最中には全ゲノムの完全なコピー 1 組が作られる。細胞周期を区切る期から期への移行はいずれも、ほかのタンパク質のリン酸化を制御するサイクリン依存性キナーゼ（CDK）類の活性化と不活性化によって制御されている。したがって、複製開始点認識複合体

が見つかったからは、S-CDK（G1 期から S 期へのスイッチ切り替えを促す CDK）の実質上の標的を見つけることが大きな目標となった。

このスイッチの仕組みを解明するには、DNA 上の正しい位置にほぼ完全な複製装置をもってくる複雑な経路を調べる必要があった。最初に明らかになったのは、G1 期中に行われる複製前複合体の組み立ての解明だった（図 1）。この組み立てには、複製開始点認識複合体および低量の CDK と相互作用するさまざまな因子類が必要である。ヘリカーゼ酵素の一種によって行われる DNA 鎖の巻き戻しは、間違いなく DNA 合成の最も初期段階の 1 つであり、そうした酵素の不活性型が、この経路の早い段階で複製前複合体のところにやってくる。複製開始点認識複合体ともう 1 つの「プレーヤー」である Cdc6 が 1 つの装置を作り上げ、これが G1 期の最中に他のタンパク質（ミニ染色体維持タンパク質; MCM）を DNA 複製の開始点へ動員する⁵。MCM は最終的に、S 期中に不可欠なヘリカーゼ活性の担い手となる。他の研究⁶ から、複製前複合体の成分が S 期促進因子類によって破壊され、そのおかげで DNA 合成を一度だけ開始できる仕組みがすでに明らかにされていた。だが、DNA 合成開始の実質的なスイッチは謎に包まれたままだった。

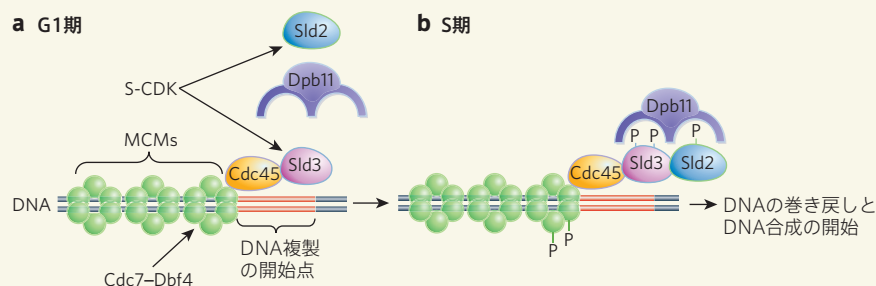


図1 DNA複製とG1期からS期へのスイッチ。 **a**, G1期中に、DNA複製の開始点近くで複製前複合体が組み立てられる。MCMタンパク質は、複製開始点認識複合体とCdc6（図示していないが、複製開始点認識複合体の上に位置する）の働きによって該当部位に乗かる。Sld3とCdc45は、まだよくわかっていない方法で、このDNA-タンパク質複合体と結びつく。**b**, DNA合成は、**a**で図示した2つのキナーゼ（S-CDKとCdc7-Dbf4）がここで表示してあるようにほかの因子類をリン酸化（P）した後、迅速に開始する。どちらのキナーゼも複製開始点認識複合体と相互作用し、複製開始点認識複合体はこれらのキナーゼを複製開始部位に向かわせる。修飾によってSld3とSld2はDpb11といっしょになる（Dpb11のBRCT反復配列を介する）。DNA複製開始点でこれらのタンパク質（そしておそらく他のタンパク質も）が組み立てられると、DNAの巻き戻し過程が開始され、続いて未知の仕組みでDNA合成が始まる。今回の新しい成果^{3,4}の要点は、Sld3とSld2がDpb11にドッキングすることが、複製開始スイッチを入れるのに必須の出来事だということだ。

Zegerman と Diffley³ および田中たちのチーム⁴は今回、分裂酵母でこのスイッチの構成成分、つまりS-CDKの標的にあたる成分を明らかにした。また両チームは、細胞がDNA合成を開始するためにG1期中に何を完了しておかなければならないかを驚くほど詳しく解明している。おそらくこのスイッチは、ポリメラーゼ（DNA合成を実質的に担う酵素）の基質を作り出すDNA巻き戻し過程の活性化に伴って登場し、Dpb11、Sld3、Sld2（略して11-3-2）を含んでいる。

荒木弘之たちによるこれまでの研究で、Sld2がS-CDKの非常に重要な標的であることや、Sld2とDpb11の間に遺伝的・生化学的な相互作用が存在することが明らかになっている。極めて重要なことに、リン酸化型のSld2はDpb11のBRCT反復配列という特定部分にしっかりと結合する。正常遺伝子のコピーに代わってリン酸化型類似の残基をコードする改変SLD2遺伝子を発現させると、機能は維持できたが、細胞はまだG1期通過と機能するS-CDKを必要とした。この知見は、S-CDKに他の標的が存在していることを実証したものではなく、あくまで暗示したものだった。Sld3にはCDK類によってリン酸化される部位が12か所あり、DPB11とSLD3に遺伝的相互作用があることから、実験のスポットライトがSld3に向けられた。

Zegerman と Diffley³ および田中たちのチーム⁴の新しい実験によって、Sld3の2つのアミノ酸残基およびSld2の1つのアミノ酸残基のリン酸化があれば、複製開始スイッチの作動に必要なものがすべて揃うことが明らかになったのである。重要なことに、リン酸化したSld2とSld3の2つのタンパク質はDpb11に結合しなければならず（図1）、この結合はおそらく、複製開始点認識複合体によってDNA複製開始点の印づけをなされた部位で起こっているのだろう。

この知識を武器に、2つの研究チーム^{3,4}はS-CDKS-CDKがS期を促す必要のない「バイパス」状態を作り出すことができた。そして、このおかげでS期への進行を決定する機構を解きほぐすことができたのである。その研究手法には、細胞をG1期で停止させる α 因子という酵母由来ホルモンが使われた。この因子を遺伝子操作技術と併用することで、S-CDK活性なしにS期に入ることのできる酵母株がどのような経緯をたどるかを調べられる。

S-CDK活性が必要でない条件下では、DNA複製が早まりG1期は完全に回避されると予想できるだろう。Zegerman と Diffley³によれば、S-CDKバイパス系を備えた細胞を α 因子により停止させると、わずかなDNA複製しかみられない。G1期は細胞にとって

忙しい時期であるし、もう1つの必須なキナーゼである Cdc7 の調節サブユニット Dbf4 は、最初のうちは分解されてしまい、G1 期に特異的な CDK 類がタンパク質分解装置を不活性化させた後に初めて臨界値に達する。DNA 複製で Cdc7-Dbf4 キナーゼの主な標的になるものとして、MCM タンパク質群がある⁷ (図1)。Zegerman と Diffley は、バイパス系が適所にあつて Dbf4 が適正に発現すれば、 α 因子による G1 期停止細胞での DNA 複製を増強できること、そして、予想されるように死に至ることを報告している。したがって、G1 期に時期尚早の DNA 複製が起こらないようにするには、Cdc7 と S-CDK 両方の活性の調節が必要であり、図1にあるような一連の段取りが進められることになる。このようにして、細胞周期の次の期に入るため、あるいは少なくとも DNA 複製を行うために必要十分な条件を整えるには、G1 期中にどんなことを完了しなければならないのかが大まかに捉えられたわけである。

現在探し求められているのは、11-3-2 複合体がどんなことをやって DNA 複製を開始させているのかを知るための機構上の手がかりである。その機能が何であれ、11-3-2 複合体は一過性の存在であつて、DNA

合成を推進する段階を過ぎると必要でなくなる⁸。Box 1 に現在の考え方の一部を紹介した。この話題はこれから大きな関心を集めるだろう。

ところで、15 年前に出されたコメントには私も共感を覚える。Li と Alberts は当時の News & Views で、複製開始点認識複合体を突き止めた成果を「聖杯」の発見に匹敵するものだと評価していたのだ。Zegerman と Diffley³ および田中たちのチーム⁴ が果たした今回の発見の重要性も、細胞生物学者や分子生物学者の立場からみれば 15 年前の言葉をそのまま当てはめて評価できると思う。 ■

Michael Botchan、カリフォルニア大学バークレー校 (米)

1. Li, J. J. & Alberts, B. *Nature* **357**, 114–115 (1992)
2. Bell, S. P. & Stillman, B. *Nature* **357**, 128–134 (1992)
3. Zegerman, P. & Diffley, J. F. X. *Nature* **445**, 281–285 (2007)
4. Tanaka, S. *et al.* *Nature* **445**, 328–332 (2007)
5. Randell, J. C. W., Bowers, J. L., Rodriguez, H. K. & Bell, S. P. *Mol. Cell* **21**, 29–39 (2006)
6. Blow, J. J. & Dutta, A. *Nature Rev. Mol. Cell Biol.* **6**, 476–486 (2005)
7. Sheu, Y. J. & Stillman, B. *Mol. Cell* **24**, 101–113 (2006)
8. Kanemaki, M. & Labib, K. *EMBO J.* **25**, 1753–1763 (2006)
9. Moyer, S. E., Lewis, P. W. & Botchan, M. R. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **103**, 10236–10241 (2006)
10. Pacek, M. *et al.* *Mol. Cell* **21**, 581–587 (2006)
11. Gambus, A. *et al.* *Nature Cell Biol.* **8**, 358–366 (2006)

11-3-2 複合体と分子の仲人

11-3-2 (Dpb11-Sld3-Sld2) 複合体が DNA 複製を開始させるために何をしているかを知る手がかりは、田中たちの実験⁴の一部から得られた。彼らが探したのは、バイパス型の Sld2 と高レベルの Dbf4 が発現した場合に死に至る変異体だった。スクリーニングで、ある型の CDC45 遺伝子が見つかった。この遺伝子は JET1 として知られ、DNA 複製に必須なことがわかっている別のタンパク質をコードしている。JET1 を SLD2 バイパス型遺伝子と一しょに発現させると、G1 期と DNA 複製

開始の連結も切り離される。Cdc45 は、複製開始点認識複合体や Sld3、Cdc6、ミニ染色体維持タンパク質 (MCM) といっしょに複製開始点に乗っていることがわかっている (図1)。しかしこのタンパク質集団のうち、DNA ポリメラーゼとともにこの部位から移動するタンパク質は、MCM (結合したヘリカーゼとともに) と Cdc45 のみである。

おそらく、ヘリカーゼの活性化に必須の段階は、MCM に他の因子類が結合することだろう。これらの因子類の正体として、「GINS」複合体

が考えられている。これは、それぞれが DNA 複製に不可欠な4つのタンパク質から構成されている。11-3-2 複合体はいうなれば、DNA ポリメラーゼに従う複製装置全体の組み立てを完了させる分子の「仲人」だと考えられ、JET1 はこの複製装置と GINS 複合体の結びつきを安定化させているのかもしれない。MCM、Cdc45、GINS 複合体を含む複合体⁹ は *in vitro* 条件下でヘリカーゼ活性を示し、また、こうした因子類は実際に DNA ポリメラーゼとともに移動する^{10,11}。 M.B.



Where 24 men have gone before

人類は再び月に行くのか？

Nature Vol.445 (474-478) / 1 February 2007

ジョージ・W・ブッシュ米大統領は3年前、米国の宇宙飛行士を月に再び送るようにとNASAに命じた。計画はどの程度、進んでいるのだろうか。Geoff Brumfiel記者が報告する。

1月中旬の霧雨の降る午後。ワシントンDCの中心部にあるスミソニアン航空宇宙博物館を観光客たちが見学していた。彼らはガラスと鉄でできた博物館の中庭を歩き、やがて、その中央にある旧式のカプセル型宇宙船へと徐々に引き寄せられていった。

9歳のJohn Kalmanと大叔母のJanetは、アポロ11号のコロンビア司令船の開いたドアの中を見つめている。月に人類最初の一步をしるした宇宙飛行士たちは、この司令船に乗って英雄的な旅をし、地球に帰ってきたのである。明るい色の髪をした少年は、今の時代にはみら

れない数百個のスイッチと計器のランプがぎっしりと並ぶパネルを見て、「すごい！」と叫んだ。「なんて小さいのかしら」と大叔母も少年にいった。「今の宇宙船とは全然違うわね」。

その通り。こうしたカプセル型宇宙船は1960年代に設計されたものであり、

現代の宇宙飛行士は1970年代に設計されたスペースシャトルで宇宙と地球の間を行き来している。しかし、明日の宇宙飛行士にとっては、コロンビア司令船は過去と同時に未来も垣間見せてくれる存在である。NASAの新しい宇宙政策では、アポロ時代のカプセル型宇宙船とよく似た、それよりもやや大きな宇宙船（「筋肉をつけたアポロ」とよばれている）が活躍することになっているのだ。この新しい宇宙船は、スペースシャトルに代わって2014年にも地球周回軌道へと宇宙飛行士を運び始めることになっている。NASAは2020年頃までに、この新しいカプセル型宇宙船などを使って月に再び宇宙飛行士を送り、月面上に前線基地を築くことを計画している。こうした計画を進めていくことにより、将来の火星へのミッションの技術的基盤が得られるだろうとNASAは考えているのである。

NASA内部ではしばしば「ビジョン」とよばれているこの新しい宇宙政策がジョージ・W・ブッシュ大統領によって初めて明らかにされたのは、2004年1月14日のことだった。「ビジョン」は、米国の有人宇宙飛行計画のまったく新しい方向性を指し示すものだった。NASAはここ20年間、おもに国際宇宙ステーションへの輸送のために、宇宙飛行士に低地球軌道までの間を往復させることに専念してきたからである。NASAのShana Dale副長官は、『「ビジョン」は、これまでの宇宙政策とは根本的に異なっている。これは、人類の活動領域を新たな世界へと拡大しようとするものだ』と話す。

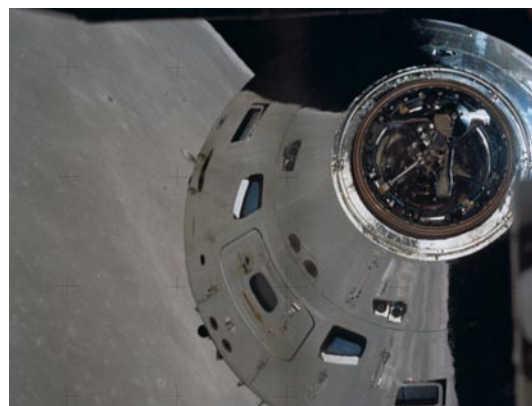
しかし、人類の活動領域を拡大するためには少なからぬ費用が必要である。NASAは当初、2018年までの計画に必要な費用を約1040億ドル（約12兆円）とはじき出した。この費用を捻出するため、NASAは2010年にスペースシャトルの飛行を終了し、そのときには完成しているはずの国際宇宙ステーションにかかる費用を削減することにした（次ページのグラフを参照）。NASAはまた、航空関連計画のほか、天文学、惑星科学、地球観測関連の宇宙科学ミッションを遅らせたり、中止したりする予定である。こう

した予算の再配分を、カリフォルニア州パサデナにある教育機関「惑星協会」は常に批判してきた。同協会常任理事であるLouis Friedmanは、「彼らは月探査の費用を作るために、そのほかの研究を犠牲にしているのだ」と非難する。

各方面から「ビジョン」にかかる費用を削減せよという圧力を受けているNASAは、人類が最後に月を歩いたときにまだ生まれていなかった人々（すでに現在の人口の半数を占めている）を熱狂させるという責務も負っている。しかし、その予算には限りがあるので、斬新なやり方をするわけにはいかない。先祖返りしたような宇宙船を使って、地道かつ着実に計画を進めていくのだ。「ビジョン」はNASAに、持続可能性を意識し、良識をもって、安全に配慮しながら、人々に夢を与えるような未来のフロンティアを提示することを求めている。

スペースシャトルの悲劇から

「ビジョン」を理解するためには、その起源を理解する必要がある。NASAの平穏な日々が終わりを告げたのは、ブッシュ大統領が演説をした2004年1月ではなく、その1年前のことだった。2003年2月1日8時54分。テキサス州ヒューストンの宇宙管制センターのエンジニアは、いつもの16日間の低地球軌道での作業を終えたスペースシャトルコロンビア号を地上基地へと誘導していた。音速の24倍の速度で飛行していたシャトルは、カリフォルニア州上空で、事前にプログラムされた減速のための操作を始めたところだった。そのとき、シャトルの翼は1300℃に熱せられた空気に包まれていた。突然、左翼の4個の温度センサーからの信号が途絶えた。「すべてが同時に失われたというのか?」。飛行管理者のLeRoy Cainが管制チームに尋ねた。「厳密に言えば、そうではない」という答えが返ってきた。「おそらく4、5秒間隔で次々と」。シャトルの翼は損傷していた。翼の周囲の高温に熱せられた空気は、翼の内部へと侵入を始めた。それからわずか数分後には、コロンビア号と7人の乗組員は、朝の空を、軌跡を描いて落下するいくつかの破片となっていた。



2つのコロンビア号：月有人探査の象徴であるアポロ計画の司令船（下）と悲劇に見舞われたスペースシャトル（上）。

翼の損傷の原因は、スペースシャトルの設計の基本的な欠陥にあった。大気圏再突入時に最も高温の空気にさらされるのは翼の前縁部であるが、打ち上げ時には、この部分は外部燃料タンクの下にある。だから、タンクから何かが落下すれば、この部分を損傷する可能性があったのである。コロンビア号の場合は、タンクから断熱発泡体が落下したことが損傷の原因となった。事故調査委員会は、この問題にもっと早く取り組むことを怠ったとしてNASAを厳しく批判した。

しかし、事故調査委員会のメンバーだったジョージ・ワシントン大学（ワシ

NASA

ントンDC)の宇宙政策専門家のJohn Logsdonによると、スペースシャトル計画の問題は、そうした技術的な落ち度があったことだけではなかった。宇宙飛行士が結果として生命をかけることになったミッションのつまらなさが、同じくらい問題になったのである。コロンビア号のこのときのミッションは、香水会社の宣伝のための実験を含む、いくつかの小規模の微小重力実験を行うことにあった。このミッションは、悲劇的な結末を迎えるまでは、ヒューストンの地方メディアの見出しにしかならなかった。「コロンビア号の任務は、宇宙飛行士を宇宙に送る危険性を正当化できるだけのものではなかったと私たちは考えたのだ」とLogsdonはいう。委員会は、NASAが有人宇宙飛行を行う理論的根拠を根本から再検討するように勧告した。

2003年の夏の終わりに、NASAとホワイトハウスは今後についての真剣な話し合いを始めた。NASAの歴史を研究しているGlen Asnerによると、当時のNASAの長官だったSean O'keefeは、月に行く用意ができるまでスペースシャトルを飛ばし続けるという野心的な計画を推していた。しかし、大統領の科学顧問であるJohn Marburgerと行政管理予算局(OMB)は、月と火星のロボット探査と月の有人探査に集中するという、もっと手堅い計画を望んでいた。結局、話し合いは妥協で終わった。彼らは、将来的には火星を目指すこと、当面は2010年代に月に行くことに集中すること、2010年までにスペースシャトルの飛行を終えることに同意した。「全員がなんらかの譲歩を迫られた」とAsnerはいう。

大きな一歩

しかし、この「ビジョン」が最終的に大統領によって発表されたときには、「太陽系における人類の活動領域を拡大する」という宣言は、遠く先を見据えた申し分ないもののように聞こえた。「過去30年間に、地球以外の世界に足を踏み入れた人間はいない。アメリカは次の一歩を踏み出す時期にきたのだ」。ブッシュ大統領はワシントンDCにあるNASA

本部でこう聴衆に話しかけた。聴衆とNASAの事情に詳しい人々のほぼ全員が、(ひょっとすると、うんざりするようなNASAの現状を変えてくれるならなんでもいいという理由からかもしれないが)この発表を歓迎した。NASAの元職員で、NASAの新しい宇宙政策に関する著作『ニュー・ムーン・ライジング(新しい月の出)』の共著者であるKeith Cowingは、「NASAはこの数十年間、人々を感動させるようなビジョンをもっていませんでした。NASAの目標は何かと10人に問えば、12通りの答えが返ってくるような状況だったのです」と話す。NASAは今、再び1つの目的をもったのだ。

それでアポロ計画時代の再現をとということになったわけだが、ブッシュ大統領はNASAの予算をアポロ時代のように急増させるつもりはないことを明言した。「ビジョン」の遂行に必要な莫大な費用は、スペースシャトルの飛行を取りやめ、宇宙ステーションのための支出をしないという「節約」によって捻出できるというのである。だから、「ビジョン」のための予算は、既存の計画の縮小に合わせてゆっくり増えていくことになる。NASAは、オリオンという新しいカプセル型宇宙船と、そのオリオンを軌道に投入するためのアレス1ロケットを2014年までに建造したいと考えている。そして2020年までに月着陸船と大型のロケットを建造して、月面へのミッションを行いたいとしている。

アポロの面影

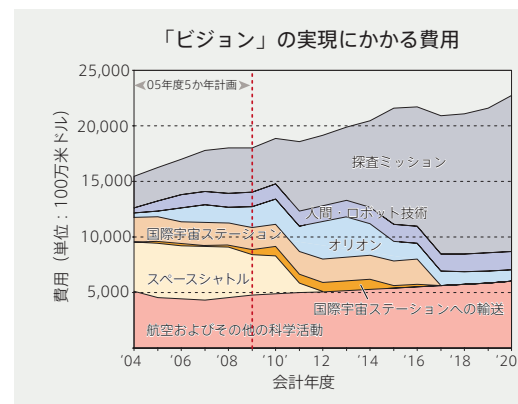
計画のゆっくりしたペースは、大統領が示した予算に端的に表れていた。NASAの年間予算総額はおよそ150億ドル(約1兆7000億円)であるが、大統領は当初、年間予算総額の7%にあたる額を5年間に分けて上積みするという控えめな予算案を提示していたのである。これは、月着陸の実現まで15年にかかることを想定した予算であり、助走なしのスタートから10年未満で月の「静かの海」に人間を送り込んだものの、その間にNASAの予算を300%も膨れ上がらせたアポロ計画とは対照的なものだった。

この穏やかなアプローチこそ、NASAの新しい仕事の進め方なのである。元宇宙飛行士でマサチューセッツ工科大学(マサチューセッツ州ケンブリッジ)の工学系教授であるJeffrey Hoffmanは、『「ビジョン」のキーワードは持続可能性だ』という。短期間で月に行くためにばく大な予算を使ったアポロ計画とは異なり、今回の「ビジョン」は財政を破綻させることなしにNASAを21世紀の宇宙開発へと導いていく、持続可能な取り組みでなければならない。

今回の「ビジョン」の中でNASAの戦略の変化を最もよく表しているのは、スペースシャトルを引退させるという決断である。NASAは1980年代から1990年代にかけて、ブースターロケットの補助なしに地球周回軌道に入ることができるよう後継宇宙船のアイデアをいくつかもっていた。その研究開発に数十億ドルの予算が使われたが、実際に使える宇宙船を作るにはさらに数十億ドルが必要だということを証明しただけに終わった。1段式で地球周回軌道に到達できる宇宙船の開発は極めてむずかしいのである。

オリオンの開発責任者であるScott Horowitzは、「私たちは奇跡的な新技術の開発をあてにしてはいません。今回の計画は、昔よりはるかに無理のないものになっています」という。カプセル型のオリオンは、翼や高度な推進方法を用いず、使い捨てのブースターロケットに完全に頼ることになる。オリオンとアポロは、円筒形の機械船の上に円錐状のカプセルが乗っているという外形が似ているだけではない。費用のかかる新規開発の必要性を減らすため、オリオンはアポロ

SOURCE: NASA



の基本的な構造を模倣した「拡大コピー」になっているのである。オリオンを搭載するアレスⅠロケットは、1段目にスペースシャトルと同じ固体ロケットブースターを使い、2段目にはアポロ計画時代のJ-2エンジンを使う。乗員脱出システムもアポロ計画時代のシステムに基づいていて、問題が発生したときにはすみやかにカプセルをロケットから切り離すことができる。そのため、(少なくとも打ち上げ時には)スペースシャトルよりも安全な乗り物になっている。

慎重さもNASAの戦略的計画立案の要であり、月探査計画は少しずつ、Dale副長官のいうところの「予算の範囲内で行く」方式で進められている。オリオンが完成したら、国際宇宙ステーションへの乗組員の輸送によって経験を積ませる。オリオンの次は、月着陸船と新しい大型ロケット(アレスⅤ)の開発に取りかかる。アレスⅠのペイロード(有効搭載量)は25トンだが、複数の固体ロケットとJ-2エンジンを組み合わせたアレスⅤは130トンのペイロードを地球周回軌道に運ぶことができる。これだけのペイロードがあれば、月着陸船とエンジンを打ち上げることも可能である。このエンジンは、地球周回軌道にあるオリオンと月着陸船を月周回軌道に投入するためのものである。ここに、1960年代の方法との違いがある。アポロ計画では月着陸船と司令船を1機のサターン5型ロケットで打ち上げたが、今回は1機目のロケットでオリオンを、2機目で月着陸船とエンジンを打ち上げて、それらを地球周回軌道上でドッキングさせるのである。これにより、多くの乗組員とペイロードを運ぶことが可能になる。

小休止

宇宙飛行士たちはまず、月着陸船とオリオンを使って、アポロ計画後期で行われたような月への1週間の旅を行う。そして、ミッションのたびに訪れることができる永住基地を月の北極か南極に建設するための資材を徐々に蓄積していく。エンジニアたちはこの前線基地で、地球外で活動する人々をサポートするための経験を積む。これにより、やがては火星へ



アポロの面影：アレスⅠロケット(右)はアポロ時代のデザイン(左)を受け継いでいる。

の野心的な遠征への道も開けてくるだろうと期待されている。NASAは、「ビジョン」の各段階の達成について明確な期限は設けず、毎年の予算に合わせて計画を調節していく予定である。

「ビジョン」の実現に必要な予算が控えめであることは連邦議会の承認を得るのに役立ち、関連法案は2005年に通過した。しかし、予算節約戦略のすべてが議員に評判がよいわけではなかった。O'Keefeの後任として2005年にNASA長官となったMichael Griffinは、設計が完全に検討される前の2006年8月に、ロッキードマーチン社(メリーランド州ベセスダ)との間でカプセル型宇宙船についての契約を結んだ。「2つの開発チームに設計案を競わせる代わりに1つの開発チームに設計を任せることで、経費を節減できるからだ」とHorowitzは説明する。しかし、最終的な設計案と経費が完全に評価される前に契約を結んだことは批判を招いた。共和党員であるSherwood Boehlert下院科学技術委員会前委員長は、2006年9月の意見聴取で「議会はこの計画に常に鋭い監視の目を向け続けなければならない」と警告した。「国際宇宙ステーションは技術的にあ



まりにも大がかりであり、費用ばかりが膨らんで、利用可能性はゼロに近いところまで縮んでしまっている。NASAにも国家にも、もう1つの宇宙計画をもつだけの余裕はない」。

NASAはすでに資金面でいくつかのむずかしい選択に直面している。ブッシュ大統領が表明した「年間予算総額の7%相当額を5年に分けて探査関連予算に上積みする」という計らいは、実際の予算では実現しなかった。ホワイトハウスの2007年度予算要求でもNASAの予算は増えなかった。「私が採点するなら、ブッシュ大統領の『ビジョン』自体にはAを、その遂行にはCマイナスをつけるだろう」とCowingは話す。さらに、最終的な予算決定権をもつ議会は、「ビジョン」が提案されて以来毎年、大統領の要求よりも少ない額の予算しかNASAに認めてこなかった。そんなNASAに追い討ちをかけるように、スペースシャトルの飛行再開と、2005年のハリケーン「カトリナ」被害で損傷した施設の修復のために、数億ドル(数百億円)という予想外の出費が生じた。NASAはハッブル宇宙望遠鏡の点検修理ミッションも予定しており、それに伴う費用も必要だ。そして今年、連邦議会で民主党が

NASA; NASA/MSFC

多数となったことから予算審議が影響を受けており、NASAの予算は要求よりも約5億ドル（約600億円）少なくなるのではないかとわれている（Nature2007年1月11日号130ページ参照）。

つぎはぎの計画

NASAの予算の総額を増やすことなく「ビジョン」の実現に向かって動き出すため、大統領が示した2007年予算では、宇宙生物学計画を半分に減らし、8億5400万ドル（約996億円）の航空関連予算の18%を削減することが求められ、全球降雨観測ミッション（GPM）など、いくつかの地球観測衛星計画が延期されることになった。火星表面からサンプルをもち帰るミッションや、近くの恒星を回る地球に似た惑星の探索など、期待が高く、NASAにとっても顔となるような科学研究も無期限に延期された。Friedmanは、「ハッブル宇宙望遠鏡や無人火星探査車などの夢のある科学ミッションは、NASAが国民の支持を得るための基盤となってきた。これらを引き継ぐ計画を中止することは、宇宙に対する人々の熱を冷ましてしまうことになるだ

ろう。ロケット計画1つで国民の支持を維持することはできない」と話す。

これに対してHorowitzは、「月の有人探査計画は、月面に関する研究など、新しい研究分野を開くだろう」と反論する。計画では、科学者が興味をもちている月面上のあらゆる場所に宇宙飛行士を送り込めるようにすることになっている。NASAは、科学者が月でどのような研究を行いたがっているのかを知るための勉強会も開いている。「つまり、科学研究関連予算に明記されていない科学研究にも月探査の資金を出すということなのです」とHorowitzは話す。

一部の科学者たちは、月面で研究できるという可能性に感激している。ジョンズ・ホプキンス大学応用物理学研究所（メリーランド州ローレル）の地質学者Paul Spudisは、「月について、アポロ計画からは知ることができなかったことはたくさんあります」と期待を示す。理論モデルからは、月はおそらく火星ほどの大きさの天体が地球と衝突したことで誕生したとされているが、月の起源となったこの大事件の詳細は謎に包まれている。月基地の近くの物質を調べ、そこから得られた情

報を周囲のあらゆる場所からの遠隔測定データと比較すれば、月の誕生と進化に関して多くの詳細が明らかになるだろう。

しかし、費用に見合うだけの科学的成果が得られるという主張については多くの研究者が懐疑的であり、月の有人探査を歓迎している研究者たちもその点では同じである。彼らは、大きな科学的成果が得られる可能性がほとんどない「ビジョン」を正当化するために科学が利用されていると感じているのだ。スタンフォード大学カブリ粒子宇宙物理学・宇宙論研究所（カリフォルニア州）の所長であるRoger Blandfordは、「国際宇宙ステーション計画での経験が、こうした不安の一因になっています」と指摘する。NASAはかつて、国際宇宙ステーション計画を立案する際にも、ステーションで行える研究課題を提案するよう科学者たちに依頼していた。けれども、このとき提案された研究課題は、たとえばすべてが実施されたとしても257億ドル（約3兆円。この計画に関連したシャトルの飛行にかかる費用は含まれていない）の費用を正当化できるようなものではなかった。しかも、現実に行われたのは、そうした研究課題

ごいっしょにいかが？

NASAは、単独で月に戻ることは望んでおらず、国際社会から手を借りたいと願っている。

NASAはすでに、月面に着陸するのに必要なロケット、カプセル型有人宇宙船、月着陸船の建造を主導することは決めているが、その他の部分、おそらくは月面移動車や月基地のモジュールなどについては、外国からの協力を期待している。NASAのShana Dale副長官は、「私たちは今、関係各国が月有人探査のどの部分を担いたがっているかを知るための協議を行っているところだ」と話す。

NASAは、「グローバル宇宙探査戦略」の一環として関係各国との協議を始めているが、す

べての国がその打診に納得しているわけではない。パリのアリアンススペース社のJean-Michel Desobeauは、「個人的には、少々失望している」という。ヨーロッパ最大の民間衛星打ち上げ会社の幹部であるDesobeauは、いちばんの注目を集めるロケットとカプセル型宇宙船の開発計画から外国勢を排除するというNASAの決定が、こうした国々の反感を買うかもしれないと考えている。「ヨーロッパ、ロシア、中国は、単なる下請け業者になることには満足しないだろう」と彼は話す。

地球の上空には、さらに大きな政治的障害が待ち受けている。国際宇宙ステーションである。

ヨーロッパとロシアと日本の有人宇宙飛行の中核をなす国際宇宙ステーションは、重要なモジュールが届くのをまだ待っている段階にある。NASAは2010年までに宇宙ステーションを完成させると約束しているが、2016年以降のどこかの時点で宇宙ステーション計画から手を引き、月探査に集中したいと考えている。しかし、国際宇宙ステーション計画に参加している残りの国々の中で人間を宇宙に運ぶ能力をもっているのはロシアだけである。アメリカが手を引いた後の宇宙ステーションに物資を供給し、乗組員を往復させ続けるのは容易なことではない。

米国が撤退するという見通

しは、残りの関連各国をいくぶん結束させることにつながった。ひょっとすると、NASAが主導するもう1つの計画への参加をためらわせることにもなるかもしれない。

スタンフォード大学（カリフォルニア州）のRoger Blandfordは『「ビジョン」を前進させるには、もう少し外交努力が必要になるだろう」と話す。彼は「ビジョン」ほど野心的な計画には、現代の粒子加速器や核融合実験装置のような国際協力が不可欠であると考えている。『「ビジョン」を経済的に成り立たせるためには、これを全世界の取り組みとしていくしかないのだ」と彼は話した。

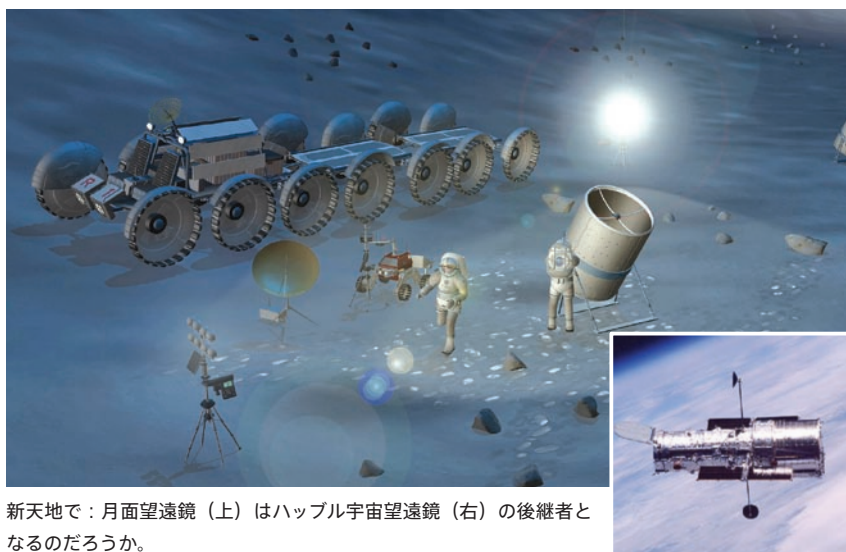
G.B.

の一部だけだったのである。多くの研究者が今、月ミッションの意義に賛同して研究課題を提案したところで、同じような結果になるのではないかと考えている。Blandfordは月面望遠鏡やその他の装置の計画を挙げて、「月面でできる研究はたしかにある。けれども実際には、宇宙科学研究の多くが月面以外の場所で行ったほうがよいものなのだ」と指摘する。

科学者たちの不安をよそに、これまでのところ「ビジョン」は順調に進んでいる。2006年8月にはオリオンの設計と建造に関する39億ドル（約4500億円）の契約が、NASAとロッキードマーチン社の間で結ばれた。2007年2月には、アレスIの第1段の契約も結ばれるとみられている（注：3月15日の時点で、契約に関する正式な発表はない）。NASAは、さらに大きな打ち上げ能力をもつロケットと新しい月着陸船の契約も目指している。「計画は極めて順調に進んでいる」とDale副長官はいう。

しかし、民主党主導となった連邦議会では、NASAや共和党主導だったときの議会ほど楽観的ではない可能性がある。テネシー州選出民主党議員で下院科学技術委員会委員長であるBart Gordonは、「『ビジョン』はNASAのほかの中核ミッションから金を移し替えるだけのものではないはずだ」と批判する。Gordonや彼の同僚は、「そのつど払い方式」のやり方にも懐疑的だ。このやり方は、将来のミッションにかかる総費用の長期的見積もりを困難にするからである。「回避できるはずの費用超過を議会が目に見るはずがない」とGordonはいう。

議会や宇宙政策の専門家たちは、短期的に見れば「ビジョン」に取って代わるものはないという意見で一致している。スペースシャトルを引退させるためには、比較的少ない費用で人間を宇宙に送れる新しいシステムを開発する必要があるからだ。「米国が有人宇宙飛行の能力を捨てることはないでしょう」とDale副長官はいう。米国が有人宇宙飛行の能力を維持するためには、オリオンを開発しなければならないのである。けれどもこのことは、火星への新たな挑戦はもとよ



新天地で：月面望遠鏡（上）はハッブル宇宙望遠鏡（右）の後継者となるのだろうか。

り、野心的な月基地建設計画の必要性にも必ずしもつながらない。Gordonは、「大統領は3年前に『ビジョン』を表明してから、それについてほとんど言及していません。『ビジョン』がわが国の優先事項でないのなら、現在の形で存続するように将来の政権や議会を説得するのはむずかしいだろう」という。

国民の支持を取りつける

今の「ビジョン」は、NASAとその契約企業が安全に仕事を進めるための新しい方式でしかない。これが米国の優先事項となるためには、国民に夢を与えるものになっていかなければならない。一部の専門家は、NASAはここで決定的な過ちを犯していると考えている。NASAは現実的になりすぎて、すでに探検した月よりも先が見えていないというのである。「『ビジョン』を実現していくためには、宇宙開発の全体像や長期計画を考えなければならない」とGordonは指摘する。彼の目は、明らかに火星に注がれている。「NASAはそのことがわかっていません。このままでは、『ビジョン』を取り上げられてしまうおそれがある」。Cowingは、「ビジョン」が縮小されて、地球と宇宙ステーションの間を往復するためのカプセル型有人宇宙船を建造するだけで終わる可能性もあると考えている。

けれどもDale副長官は、「ビジョン」には国民の想像力をかきたてるのに十分

な魅力があると考えている。NASAは今、この「ビジョン」をもっと効果的に伝えるための戦略を練っている。「私たちが国民や議会に向かってもっと語りかけるようになれば、『ビジョン』について私たちが感じているのと同じような興奮を彼らも感じてくれるようになるだろう」と彼女はいう。NASAが国民に語りかけ始めるのを3年も待っていた理由は不明である。ひょっとすると、すべてが机上の計画にすぎなかったような時期から国民を盛り上げていくのは気が進まなかったのかもしれない。

アポロ11号のカプセル型宇宙船の下に立つと、Dale副長官が正しいのかもしれないと思えてくる。9歳のJohn Kalman少年がNASAの新しい計画を知ると、その顔は輝いた。「ぼくは宇宙飛行士になりたい」。彼は興奮して宣言した。

しかし、Neil Armstrong船長が初めて月に足を下ろしたときに今のJohnより1歳年上だった大叔母のJanetは、感激するというよりは当惑しているように見えた。彼女は古い司令船を見つめて考え込み、「それではNASAは月ミッションをもう一度やろうとしているの？」と尋ねた。そして彼女は首を横に振った。「探検するならほかの場所にしないか。それはすでにやったのだもの」。

Geoff Brumfiel は、*Nature* のワシントン DC 駐在の物理科学担当記者。



右脳と左脳、 分子レベルで その非対称性を探る

西村尚子（サイエンスライター）

月本佳代美

一見、左脳と右脳は対称に見えるのに、なぜその役割や構造に差があるのだろうか？ 最近、ゼブラフィッシュの脳で、左右非対称な構造の発生過程が初めて解明された。また、マウスの海馬でも、シナプスの受容体や生理機能からのアプローチが進んでいる。分子レベルでの最新の研究成果を報告する。

世の中には眉唾ものの科学情報があふれているが、その1つに、「右脳人間」「左脳人間」というものがある。右脳人間なるものはひらめきや直感にすぐれ、左脳人間は理屈屋で理論的な思考を好むというものだ。言語機能を担う領域（言語中枢）が左側の脳のある領域に局在していることが知られるようになり、言語処理が不可欠な「理論だった思考」は左脳でなされ、それ以外のもの（つまり、直感的な認知やひらめき）は右脳でなされるとの勝手な解釈がひとり歩きした結果のようだ。

今、こうした俗説とは別に、左右の脳の構造や機能の違い、すなわち「脳の非

対称性」が生物学的なテーマとして検討され始めている。

自然界にあふれる対称と非対称

そもそも、脳はなぜ左右に分かれているのか？ 一見、左脳と右脳は対称に見えるのに、構造や機能になぜ非対称性が生じるのか？「こうした問いに、私たちは確固たる答えを何も見いだしていないが、脳が左右に分かれていることや機能が左右のどちらかに偏っていること自体は不思議なことではなく、ごく自然なことだと思う」。理化学研究所脳科学総合研究センター神経分化修復機構研究グループ・

グループリーダーの岡本仁博士と、東京大学大学院総合文化研究科助教授の酒井邦嘉博士は、ともにそうコメントする。

たしかに、ヒトの体には対称性と非対称性が混在している。目、耳、肺、脚などは左右対称に対を成すが、心臓は左側、胃は右側に偏っている。手は左右対称についているが、ほとんどのヒトでは、右手が利き手になっている。左右にこだわらずに対称・非対称についてみると、動物の体は、受精卵というたった1つの細胞が、自分とまったく同じ細胞2つに分かれる「対称分裂」と、自分と同じ細胞1つと自分とは異なる（分化した）細胞

1つに分かれる「非対称分裂」の両方を繰り返すことで作られることに気づく。

1980年代、こうした繰り返しと変形による体の発生プランが、生物種を越えて広く保存された特定の遺伝子群（ホメオティック遺伝子）によってもたらされるものであることが明らかにされた。現在では、左右の対称性と前後軸（どちらが頭で、どちらが尻かを決める軸）からなる基本プランが、さまざまな遺伝子の発現の度合いによって微調整され、対称性と非対称性を合わせもつ体を作り上げると考えられている。

対称性と非対称性が混在する傾向は、動物の体だけにとどまらない。例えば、アミノ酸の立体構造には、L体（Levorotatory form: 左型）とD体（Dextrorotatory form: 右型）があり、両者は互いに鏡に映した関係にある（ただし、生体内のアミノ酸のほとんどはL体で、D体はごくわずかしが存在しない）。アサガオの双葉は左右対称だが、つるは右巻きのみで、左巻きは存在しない。台風はほぼ円形の対称的な形をしているが、渦の巻き方は北半球では反時計回りだが、南半球は時計回りである。つまり、自然界全体に、対称性と非対称性があふれているといえるようなのだ。

脳の疾患に始まる非対称性の研究

左右の脳の非対称性は、19世紀半ば以降、ヒトの脳損傷や脳疾患と言語障害との関連をもとに研究され始めた。脳は大きく、大脳、小脳、脳幹に分けられるが、言葉通り大脳の容積が圧倒的に多く、その表面は神経細胞の層から成る大脳皮質で覆われている。大脳皮質はさらに前頭葉、側頭葉、頭頂葉、後頭葉に分けられ、それぞれが構造や機能のちがいに基づいてさらに細かい領域に区分される。まず、1861年にフランスの脳外科医であるブローカが、言語障害の患者の多くは左側の前頭葉付近に損傷を受けていることに気がついた。そして、そこに言語機能を司る中枢（ブローカ野）があるのではないかと考えた。

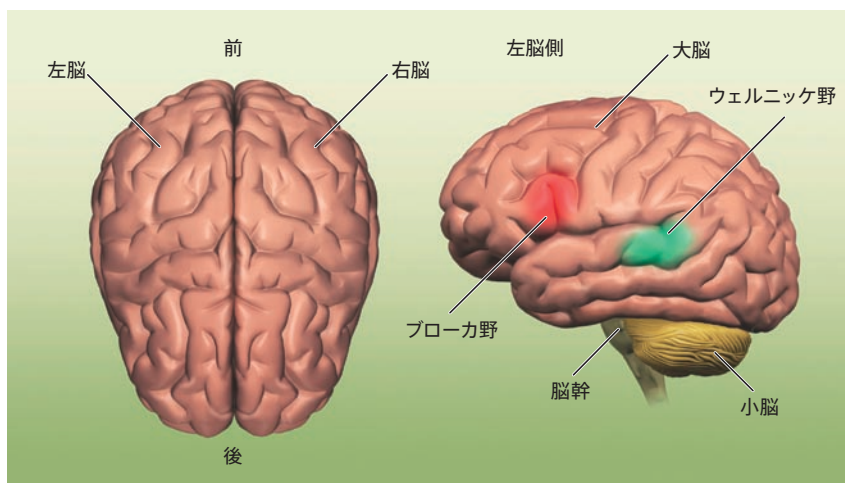


図1 ヒトの脳の概観。左は脳を真上から見た図で、右は左側の脳を側面から見た図である。脳は大きく、大脳、小脳、脳幹に分けられ、左側の大脳の前頭葉には、運動性言語中枢であるブローカ野と感覚性言語中枢のウェルニッケ野がある。

つづいて1874年、ドイツのウェルニッケが「言葉を発することはできるが、他人が話した内容を理解できない」という、それまで知られていたものとは異なるタイプの失語症が存在することに気づき、ブローカ野のすぐ後ろの領域（ウェルニッケ野）にも言語中枢があるのではないかと考えた。

こうした言語における左脳の優位性は、1960年代にアメリカのスペリーとガザニガが行った、てんかん患者に対する治療によって証明されることになった。スペリーらは、てんかんの発作が大脳の全体に及ぶのを防ぐために、左脳と右脳を結ぶ繊維を切断する手術（分離脳手術）を行っており、手術後、患者の右視野だけに何かを見せる、あるいは逆に左視野だけに見せる実験を試みた。すると、患者は、右目を見たもの（つまり左脳で処理される）の名前を、正確に、言ったり、右手で書いたりすることができたが、左目を見た場合（つまり右脳で処理される）には、表現があいまいになるなど、正確さに欠ける傾向を示した。

ゼブラフィッシュの手綱核を使う

スペリーらによって、言語中枢が確かに左脳に局在していることが示され、正常な場合、左視野の情報は右脳に入った後

で左脳に連絡され、左脳の言語中枢で処理されることによって言語化されることが明らかにされた。20世紀後半には、同様のことが、光トポグラフィーやfMRI（機能的核磁気共鳴画像）などを用いたイメージングによっても確かめられるようになった。

では、このような左右の脳の非対称性は、発生のどの段階で、いかにしてもたらされるのか？ 研究者はもちろん、こうした点をヒトで明らかにしたいと考えているが、ヒトの脳を使って発生や分化の実験を行うことは不可能である。よって、多くの生物学研究がそうであるように、今のところはモデル生物を使った研究が進められている。

岡本博士はゼブラフィッシュを用いている。対象とするのは、魚類からヒトにまで共通して存在し、大脳辺縁系の一部として知られる「手綱核」とよばれる領域である。手綱核は意欲や気分といった情動の中枢として知られ、ヒトの場合には、手綱核の異常が睡眠覚醒のリズム障害や薬物依存、統合失調症などに関与しているとの指摘もある。

「初めは脳の非対称性の研究を目指していたわけではなく、運動神経細胞の分化をテーマにしていた」と岡本博士はい

う。運動神経細胞は一定の集団（クラスター）ごとに特定の筋肉と結合し、どのクラスターがどの筋肉を認識するかが決まっている。1994年、岡本博士は発生初期に3個の運動神経しかもたないゼブラフィッシュの胚では、運動神経細胞内で発現する転写因子の組み合わせの違いが、どの筋肉を認識するかを決めていることを突き止めた。その後、研究対象を中枢神経にまで広げ、クラゲの蛍光色素を用いた神経回路の可視化技術の開発にも成功。「次の段階として、魚で最も高次な機能の神経回路を可視化してみよう」と思っていたところ、ちょうど理研脳科学研究センターのサマースクールに参加した相澤秀紀君がゼブラフィッシュの扁桃体（扁桃体も情動や意欲に関連するとされる領域）を研究したいと言ってきた。岡本博士は、非対称性の研究を始めるきっかけとなった相澤博士との出会いを、そう話す。

当時、魚には扁桃体がないと思われていたが、扁桃体と同じように辺縁系とながっている領域として手綱核の存在が

知られていた。魚は、餌か敵か見分けのつかないものを初めてみる時には右目を使う傾向をもち、一方で、不快な電気刺激を回避して餌にありつく方法などを学習できるが、こうした行動に手綱核の機能が関与している可能性が示唆されているという。「さっそく、手綱核で発現している遺伝子を調べてみると、私が運動神経の研究で対象にしてきた転写因子によく似たものが検出された。しかも、なぜか、その発現が左右で非対称だった」と岡本博士。

2003年、岡本博士は、正式に理研の研究者となった相澤博士とともに非対称性の研究を始めることになった。左右一対の手綱核は、外側の領域（外側垂核）と内側の領域（内側垂核）に分けられるが、独自の可視化技術を使って両者を染め分けたところ、左右の手綱核でそれぞれの大きさが著しく異なっていた。左側では外側垂核が大きいのに対し、右側では内側垂核の方が大きくなっていったのである。しかも、非対称なそれぞれの部位が、脳の中心にあるただ1つの結合標的部位（脚

間核）に結合することで、神経回路もまた、左右非対称に形成されていた。

「さらに調べると、外側垂核では *leftover* という遺伝子が、内側垂核では *righton* という遺伝子が発現しており、*leftover* は左の外側垂核でより強く、*righton* は右の内側垂核でより強く発現していることがわかった」と岡本博士。そして、これらの2つの遺伝子の発現の左右差は、以下の現象が要因となって生じることを突き止めた¹。第一に、発生初期には、神経幹細胞の分化活性を抑制するシグナル（Notchシグナル）の強さに左右差があり、できてくる左右の手綱核の神経細胞の数に差が生じていること。第二に、神経幹細胞から生まれる神経細胞の種類は、発生段階ごとに異なること、である。こうして、初期には、*leftover* 陽性の外側垂核の神経細胞が、左側で優先的に生まれる。その後、*righton* 陽性の内側垂核の神経細胞が、右側で優先的に生まれることになるという。

「手綱核の非対称性の程度は、Notchシグナルの強さの左右差に応じて変化するアナログ的なものだろう」。そうコメントする岡本博士は、こうしたアナログ的な制御が、生物種ごとに異なる脳の非対称性をもたらしているのではないかと考える。今後は、遺伝子組み換え技術を用いて、外側垂核だけ、あるいは内側垂核だけを壊したときの行動や学習の異常を調べたいとしている。

マウスの海馬を使う

もう少しヒトに近いほ乳類の脳では、どのような非対称性がみられるのか。九州大学理学研究院生物科学部門助教授の伊藤功博士は、マウスの海馬をターゲットに研究を進めている。海馬は、視床（間脳の一部で脳幹近くに位置する）を取り囲むような、弓の形をした領域で、左右の脳に一对ある。両者は神経の束（海馬交連）によって連絡されており、新たな記憶を短期間保持する「短期記憶」の獲得に関与する。

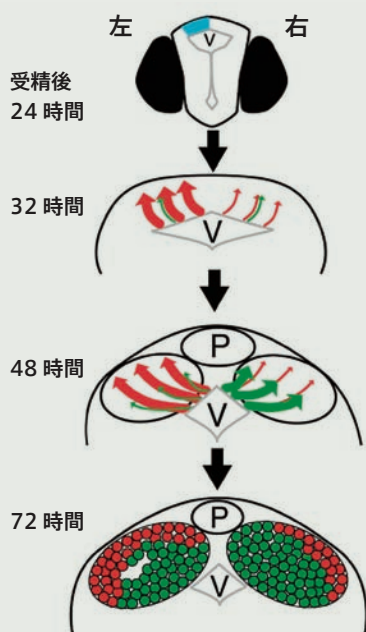
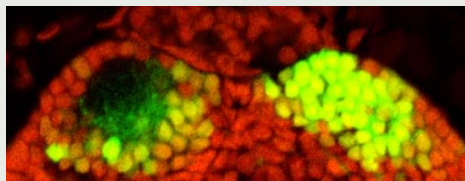


図2 ゼブラフィッシュの手綱核が左右非対称に形成される際に、神経細胞が誕生するタイミングを図解したものの。受精後24時間前後に左側の手綱核の原基で「特定の遺伝子（*Nodal*）」が活性化し、その後、外側垂核の前駆細胞（赤）と内側垂核の前駆細胞（緑）ができてくる。受精72時間後には、左右非対称な手綱核が形成される。

図3 クラゲの蛍光色素を用いて、ゼブラフィッシュの手綱核の神経分化を可視化した（黄緑色の部分）。神経細胞が、左右で非対称に生じているようすがわかる。



Elsevier 社の許可を得て、*Developmental Cell*, 12, Aizawa H. et al, Temporally Regulated Asymmetric Neurogenesis Causes Left-Right Difference in the Zebrafish Habenular Structures, 87-98, January (2007) より転載。

伊藤博士は、20年前にグルタミン酸受容体の生理機能に関する研究を始め、それまで知られていなかった「代謝調節型グルタミン酸受容体」を発見したり、その活性を特異的に高める物質（アゴニスト）を突き止めるなどの成果を上げてきた。「研究の一環としてNMDA型グルタミン酸受容体（NMDA受容体）というものを調べたが、偶然にも、マウスの海馬でNMDA受容体のサブユニットの分布が左右非対称であることに気がついた」と話す。

グルタミン酸は重要な神経伝達物質の1つで、約7種の受容体が知られている。こうした多様な受容体を区別するために、便宜上、それぞれの受容体に特異的なアゴニスト名が使われている。つまり、「特異的なアゴニストがN-メチル-D-アスパラギン酸（NMDA）である受容体」という意味で、NMDA受容体とよばれている。NMDA受容体は、脳の発生初期におけるシナプス形成、記憶の基礎になるシナプスの可塑性の調節、病的な環境での神経細胞死の誘導といった多彩な生理機能をもつことが知られており、発生段階や脳内の存在部位によって、その構造（サブユニット構成）を微妙に変化させることも示唆されている。

伊藤博士は、生きたマウスの海馬交連を切断し、左右の海馬の神経伝達が遮断されたマウスを作成。そのスライス標本を用いて電気生理学、薬理学、生化学的な解析を行った。その結果、海馬には「NMDA受容体の $\epsilon 2$ というサブユニットの分布が多く、生後早いうちに可塑性を発揮するシナプス」と「 $\epsilon 2$ サブユニットの分布が少なく、生後かなりたってから可塑性を発揮するシナプス」とが混在することを突き止めた。さらに、これらの2種類のシナプスが、左右の海馬に非対称に配置されていることも明らかにし、その情報入力モデルを作り上げた²。

伊藤博士は、まだ推論の域を出ないとしたうえで、「シナプス前終末やシナプス後細胞のスパイン（シナプスの形成を促したり、記憶の保持や学習のために機能す

るとげのような構造）の表面に、脳の左右や神経細胞の上下を提示するシグナル分子が存在し、それらのシグナルが相互作用した結果として、非対称なサブユニットの分布が生じるのではないかとコメントする。今後は、内臓の左右軸の形成に関わる遺伝子をノックアウトしたマウスの海馬を解析するなどして、非対称性が生じるしくみや、海馬の非対称性と脳機能との関連を明らかにしたいとしている。

脳の非対称性とヒトの言語機能

酒井博士は、脳のイメージングによる認知科学の手法を用いて母国語や外国語の習得、正しい文法の学習といった言語処理研究を進め、その一環として言語中枢の左脳優位性にも関心をもっている。「左右に分かれた脳の両方で同じ情報処理を行うのは非効率。同時並行で異なる機能を担っているのだろう。例えば左脳の言語中枢が機能しているときには、右脳がその機能を助けたり、抑制したりしているのではないかと話す。実際に、アメリカでは、右脳のブローカ野に相当する領域が損傷を受けた患者で、言語機能は障害されなかったものの、話し方が平坦になり、感情を込めることができなくなった例が報告されているという。

「言語機能は学術的にホットなテーマ。言語活動の一部では、大脳皮質の言語中枢とともに小脳が連動して機能することも報告されている。私は、左脳と右脳がもつ言語処理機能を明らかにするとともに、言語中枢が『人間らしさ』にどの程度関わっているかを知りたい」と話す酒井博士。言語中枢の研究は、病気やけがで脳に損傷を受けた場合のリハビリや、外国語を学習する必要にせまられた場合の学習法を考える重要なヒントになりうるものとしても期待されている。

脳や行動の非対称性と社会

脳機能の非対称性は、行動の非対称性を反映しているとの見解が一般的である。理由は未解明だが、右利きのヒトに言語

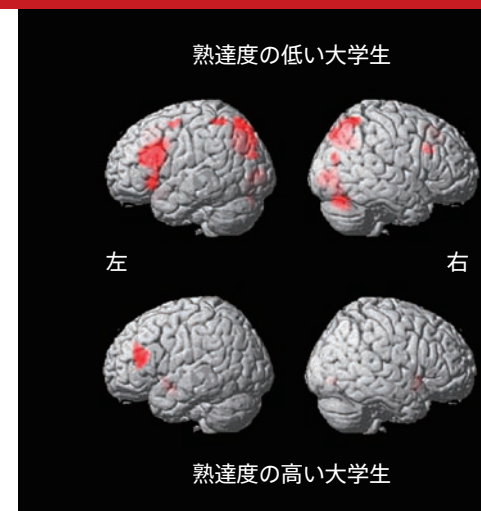


図4 言語機能を調べる指標として、英語動詞についての熟達度と脳活動の左右差をfMRIを用いて調べた。熟達度が低い人も高い人も、左脳の言語中枢での活動が優位に高まっていることがわかる。一方で、熟達度が低い人では左脳とともに右脳も活動し、熟達度が高い人では左脳のみ活動が集中していることも明らかにされた。酒井博士は、右脳における言語処理機能についても明らかにしたいと考えている。

機能の左脳優位性がみられるのも、その一例だと考えられる。京都大学大学院理学研究科教授の堀道雄博士らによると、アフリカのタンガニーカ湖には、集団で同じ向きに逃げるために、体がある一定の方向にねじれ、ねじれの向きが周期的に変わる魚がいるという。

つい先日には、堀博士の研究室に在籍する細将貴氏らによって、右巻きの殻をもつカタツムリを食べるヘビ（イワサキセダカヘビ）は、左下あごよりも右下あごの歯が多いこと（つまり右下のあごで捕食する）が報告された³。「集団として体や行動の非対称性の向きが一致することで、生存や種の保存が有利になる場合が多いのだろう」。岡本博士は、そうコメントする。

おそらく、ねじれた魚にも、右巻きのカタツムリにも、イワサキセダカヘビにも左右の脳の非対称性があるのだろう。対称性と非対称性にあふれた地球の一員である生物。その脳には、どのような対称性と非対称性が秘められているのか。今後の研究の進展に期待したい。

ダークマターの空間分布の測定に世界で初めて成功

谷口義明

愛媛大学大学院の谷口義明教授ら日米欧の研究チームが、宇宙空間におけるダークマター（暗黒物質）の3次元分布を世界で初めて明らかにした。銀河とよく似た分布が得られたことから、ダークマターが銀河の誕生と成長を促したという仮説を観測的に検証。宇宙進化の解明を大きく前進させるこの成果は*Nature* 2007年1月18日号で発表され¹、広く世界中に報道された。谷口教授に、発見の経緯やその意義、今後の展望などについて話を聞いた。

宇宙の目に見えない物質を重力レンズ効果で捕らえた

Nature Digest — ダークマターとは、どのような物質でしょうか？

谷口 — 質量はあるけれども姿は見えない正体不明の物質、それがダークマターです。つまり、星や銀河とは異なり光も電波も出さないため、直接には観測できない物質です。1980年代後半になって、宇宙にある無数の銀河は均一に分布しているのではなく、個数密度の高い場所や低い場所があって泡状の構造になっていることが明らかになりました^{2,3}。これを宇宙の大規模構造とよんでいます。この構造は、宇宙初期に生じた密度の小さなムラが成長することで進化したと考えられていますが、その構造ができるのに目に見える物質だけでは重力が足りず、時間がかかりすぎてしまうという問題点がありました。そのため、目に見える物質より数倍も質量密度の高いダークマターが存在し、ダークマターの密度のムラがまず濃くなっていくことで、ちりやガスがそこに引き寄せられて星や銀河が形成されたという仮説が生まれました⁴。

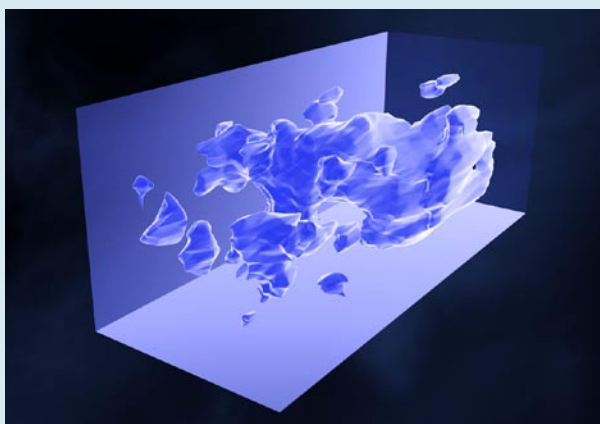


図1: COSMOS天域（ろくぶんぎ座方向）におけるダークマターの3次元マップ。左手前から右奥にいくほど地球から遠ざかり、最も右奥は約80億光年の距離にある。縦横は約2.4億光年。

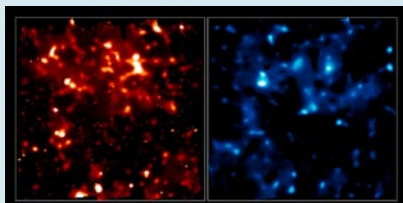


図2: COSMOS天域で見る銀河の分布（左）とダークマター（右）の分布。天球に投影した2次元分布だが、両者がよく似ていることがわかる。

ND — その見えないダークマターを今回、どのようにして捕らえたのですか？

谷口 — ダークマターの重力によって、その背後にある銀河の形がゆがんで見える重力レンズ効果^{*1}という現象を利用しました。ろくぶんぎ座の方向にある約50万個もの銀河について、ハッブル宇宙望遠鏡でその形態とゆがみ方をIバンドの波長帯（814nmを中心に100nm帯域をカバー）で詳細に観測することによって、ダークマターの質量を推定しました。一方、ハワイ島にある日本のすばる望遠鏡では可視光帯全域の観測を行い、それぞれの銀河までの正確な距離を測定しました。この結果をハッブル宇宙望遠鏡の結果と併せて解析すると、重力レンズ現象を引き起こしているダークマターまでの距離が推定でき、地球から80億光年先までのダークマター3次元マップを世界で初めて描くことに成功したのです（図1）。

ND — ダークマターもまた、大規模構造を形成していたのでしょうか？

谷口 — そうです。そして、そのダークマターと銀河の分布を比較した結果、ダークマターの密度の高い場所に銀河が集まっていることが確認されました（図2）。これまでの研究では、ダークマターの存在は局所的に推定できる程度だったのですが、今回は、前述のダークマターの中で銀河が育ってきたという銀河形成論を観測的に検証したことになります。これはハッブル宇宙望遠鏡の基幹プログラムであるCOSMOSプロジェクト^{*2}による初期成果となります。

成功のかぎはハッブルとすばるの合わせ技

ND — 画期的な成果が得られた要因はどこにあるのでしょうか？

谷口 — ハッブル宇宙望遠鏡とすばる望遠鏡という、2大望遠鏡のコラボレーションが功を奏した結果といえるでしょう。今回のプロジェクトでは、2平方度という9個分の満月がすっぽり入ってしまうほどの広い視野をカバーしなくてはなりません。ハッブルの高性能サーベイカメラは0.05秒角という高精度での撮像（地上望遠鏡の場合は0.5～1秒角）が可能ですが、視野がそれほど広くないので、観測は625回に分けて観測する必要がありました。そのため2003年から2年間にわたり、ハッブルのもつ観測時間の10%を使って観測が行われました。一方、すばるの主焦点カメラはハッブルの230倍という地上望遠鏡では最大の視野をもって、ハッブルの能力をうまく補うことができました。それでも、全部で30晩の観測時間を要する大規模な観測となりました。



谷口義明（たにぐち・よしあき）／愛媛大学大学院理工学研究科教授。理学博士。専門は銀河天文学。1954年、北海道生まれ。1978年、東北大学理学部天文学科卒業、1984年、同大学大学院理学研究科博士課程修了。1987年、東京大学東京天文台助手、1988年、東京大学理学部天文学教育センター助手。1991年、東北大学大学院理学研究科助教授を経て、2006年より現職。

1997年、欧州宇宙機関（ESA）の赤外線宇宙天文台（ISO）を用いて、人類初の中間赤外線（波長 $7\mu\text{m}$ ）帯でディープサーベイを成功させ、ダストに包まれた100億光年彼方の若い銀河を発見した。翌年には人類初のサブミリ波帯（ $850\mu\text{m}$ ）でのディープサーベイも成功させ、ダストに

包まれた銀河研究のブームを引き起こした。2003年には米国超長基線電波干渉計を用いて、電波銀河の中心核に巨大ブラックホールバイナリーを世界で初めて発見。2003年から2005年にかけて、すばる望遠鏡の主焦点カメラを用いて128.3億光年彼方の銀河を多数発見し、すばる望遠鏡を世界的に有名にした。主な著書に『宇宙を読む』（2006年中央公論社刊）、『暗黒物質の謎』（2005年講談社刊）、『キューサーの謎』（2004年講談社刊）などがある。

ND — 先生は、COSMOS プロジェクトの日本人で唯一の正式メンバーと聞いています。

谷口 — ええ。COSMOSの正式メンバーは世界各国から集められた39名の研究者たちです。代表はカリフォルニア工科大学のニック・スコビル教授で、日本からは私が参加し、すばる望遠鏡による観測を担当しました。このようなビッグプロジェクトの1員として仕事をするのは、たいへん光栄なことだと思っています。失敗は許されないというプレッシャーはありましたが、幸運にも天候に恵まれ、極めて順調に観測することができて、ありがたかったですね。今回、最終的にすばらしい結果が得られたわけですが、正直に言って、当初はこれほどうまくいくとは思いませんでした。重力レンズ効果を用いた測定はある意味CTスキャンのようなもので、原理的にはもちろんできるはずなのですが、予想以上の成果が得られたという印象をもっています。銀河形成論のような大きなパラダイムを観測的に実証するというのはとてもむずかしいことです。それをやってのけたのは、やはりCOSMOSプロジェクトのすごさなのでしょうね。

ダークマターの正体はあと数年で暴かれる

ND — COSMOS プロジェクトは今後、どのように進むのでしょうか？

谷口 — 今回はハッブルとすばるがメインで、主に可視光帯を測定しましたが、今、いくつかの望遠鏡を使ってX線から電波まで全波長帯でのサーベイが進んでいます。例えば、X線だとCOSMOS天域にある銀河中心の巨大ブラックホールの分布を見ることができ、ブラックホールの成長史から宇宙進化を研究することができます。プロジェクトのキーであるダークマターについては、すばるでの観測がまだ継続しています。フィルターバンドの枚数を増やすことによって、銀河までの距離の測定精度をさらに上げていく予定です。現在はまだダークマターの形がモコモコとしていますが、2年先くらいにはもっとシャープな画像となって発表できると思います。

ND — ダークマターの正体は何なのでしょう？

谷口 — ダークマターが実際にどんな粒子で、エネルギーや質量がどれくらいかという謎を解明するのは、素粒子物理学の研究分野になります。素粒子の性質を統一的に説明する理論から現在、有力候補として挙げられているのが、ニュートラリーノとアクシオン^{*3}とよばれる粒子です。その検出を目的としたさまざまな実験が、日本をはじめフランス、英国、アメリカなどで計

画されていて激しい競争となっています。実験の精度がかなり上がってきているので、私の予想ではあと数年で明らかになるのではないかと考えています。ところが実は、星や銀河など目に見える物質は宇宙全体を構成する物質とエネルギーの総量のわずか4%しか占めていないことがわかっています。ダークマターにしても約22%にしか過ぎません。残りの74%はダークエネルギーとよばれるこれまた仮想の存在です。ダークエネルギーは宇宙を加速膨張させる斥力を生み出すといわれていますが、その解明は極めてむずかしいようです。こちらの実体がかかるまでには、少なくともあと20～30年かかるでしょう。

ND — 最後に研究者をめざす若い人たちにメッセージをお願いします。

谷口 — 研究というビジネスは、たった2つの要素で成立していると考えています。1つは「これは何だろう？不思議だな」と感じる好奇心、研究活動のきっかけを与えてくれます。もう1つは集中力。関心の対象を理解するためには長時間集中して考える必要があるからです。それから私の場合、研究中に誰も知らないことを発見したり、面白いことを思いついたりする瞬間に気分が昂揚します。それはサイエンティフィックハイとよばれたりしますが、そんな瞬間瞬間の積み重ねが次の研究への推進力となっていると思います。

ND — ありがとうございます。

聞き手は北原逸美（Nature Digestのエディター）。

*1 重力レンズ効果

アインシュタインの一般相対性理論では銀河などの質量をもつ天体があると、その影響で時空がゆがむ。その背後の天体から電磁波がやってくると、そのゆがんだ時空を通過するため、電磁波の経路が変わる。これを観測者から見ると、電磁波がいろいろな方向から視線に入り込んでくるため、あたかも重力源（この場合は銀河）がレンズの役割を果たしているように観測される。

*2 COSMOS プロジェクト

COSMOSはCosmic Evolution Surveyの略で、宇宙進化を探るための観測プロジェクト。総勢39名の研究者から成る国際共同研究で、2003年から2平方度の広さの天域を、X線から電波までの多波長帯でディープサーベイ（深宇宙探査）している。ハッブル宇宙望遠鏡やすばる望遠鏡をはじめ、各波長帯で最高性能の望遠鏡だけを駆使するドリームプロジェクトである。

*3 ニュートラリーノとアクシオン

どちらも弱い相互作用しかない粒子（WIMP）である。ニュートラリーノは超対称性理論から予言されている超対称性粒子の1つで、電子の10万～100万倍も質量が大きいとされる。アクシオンは磁場の影響で光子に変わる性質がある極めて軽い粒子。電子の1000億分の1～1兆分の1程度の質量と考えられている。

1. Massey, R. et al, *Nature*, **445**, 286-290 (2007)
2. Kirshner, R. P. et al, *Astrophys. J.*, **248**, L57-L60 (1989)
3. Geller, M., & Huchra, J. P. *Science*, **246**, 897-903 (1989)
4. Blumenthal, G. R. et al, *Nature*, **311**, 517-525 (1984)

南の島でゆったり暮らしたり、バカンスを楽しんだりすることを夢みる人も多いでしょう。しかし、このまま地球温暖化の影響で海面が上昇しつづけたら、フィジーやモルディブのような海拔の低い島は沈んでしまうかもしれません。オセアニアのツバル諸島では、島民が「環境難民」として移住を迫られる日も、

そう遠くはないところまで来ています。

今回は、IPCC による「第4次評価報告書」発表（2007年2月2日）の前日に報道されたオンラインニュースを読んでみましょう。*Science* 誌などに掲載された2つの論文のデータをもとに、IPCC の予測を検証しています。

NEWS news@nature.com

語数：562 words 分野：地球・気候・海洋

Published online: 1 February 2007 | doi:10.1038/news070129-13

Sea levels 'rising faster than predicted'

Climate-change figures since 1990 offer test of IPCC projections.

<http://www.nature.com/news/2007/070129/full/070129-13.html>

Michael Hopkin



- Climate factors such as **sea-level rise** may be changing more rapidly than predicted, according to a new survey of **global trends** since 1990. The figures suggest that the **Intergovernmental Panel on Climate Change** (IPCC), which publishes a **fresh** assessment of climate change tomorrow, may have previously underestimated the changes that **lie ahead**.
- Researchers led by Stefan Rahmstorf of the Potsdam Institute for Climate Impact Research in Germany studied the most recent data for **atmospheric carbon dioxide**, global temperatures and sea level. They calculate that carbon dioxide levels are rising **in line with** predictions, but that temperatures are rising in line with the upper limit predicted by the IPCC, and that sea-level rises are **on the very edge of** the worst-case predictions of **climate models**.
- Satellite data show that, since the early 1990s, sea levels have been rising by an average of 3.3 millimetres per year. The IPCC's Third Assessment Report, published in 2001, predicted that the annual rise was likely to be around 2 millimetres.
- Global average temperatures have risen by 0.33 °C since 1990, which is **towards** the upper limit of the IPCC's predictions of the rate of global warming. The rise in carbon dioxide levels in the atmosphere has almost exactly followed its predicted **trajectory**.
- Looking back**
"We wanted to compile and document the most recent climate observations, mainly with those in mind who claim that the IPCC has been exaggerating the climate problem. The data so far suggest that **this is simply not the case**. **If anything**, the IPCC has been **conservative**," Rahmstorf says.
- The IPCC's projections used data to chart possible climate trends starting from 1990. Rahmstorf and his colleagues have now looked at the 16 years of subsequent data (from 1990 to 2006) to see whether those climate predictions are coming true. The results are published in *Science*¹.
- Rahmstorf and his colleagues calculate that sea-level rise over the past 20 years has been 25% faster than for any other 20-year period for more than a century. But they accept that this could be due simply to natural variations over **decadal** timescales. "Sea-level rise has been tracking along the uppermost limit for 16 years now, but it could still be **decadal variability**, so we don't predict that this will continue," Rahmstorf says.
- Another study published last month² suggests that sea-level rises during the twentieth century were indeed very variable. According to calculations by Simon Holgate of the Proudman Oceanographic Laboratory in Liverpool, UK, sea levels rose by an average of more than 2 millimetres per year in the first half of the century, but by less than 1.5 millimetres per year on average in the latter half.

9. John Christy, a climate-change researcher at the University of Alabama in Huntsville, says the data do not **span** a meaningful length of time. "You don't make climate judgements based on a 16-year period, and you don't do it in a 16-year period in which the **largest** volcano eruption **in modern times** occurred," he says. The huge eruption of **Mount Pinatubo** in 1991 **spewed out** a fog of dust that cooled the world until 1993. Temperatures then **bounced back** at a faster rate than would otherwise have occurred, he argues.
10. **It remains to be seen** whether this week's release of the IPCC's Fourth Assessment Report will contain elevated predictions of sea-level rise. "IPCC experts are well aware of those data," Rahmstorf says.

References

1. Rahmstorf S., et al. *Science*, doi:10.1126/science.1136843 (2007).
2. Holgate S. J., et al. *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1029/2006GL028492 (2007).

Topics IPCCとは？

Intergovernmental Panel on Climate Changeの略で、「気候変動に関する政府間パネル」のこと。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組織で、人為起源による気候変化、影響、適応および緩和方策に関して、科学的、技術的、社会経済学的な見地から包括的な評価を行うことを目的としている。組織としては、議長、副議長、3つの作業部会および温室効果ガス目録に関するタスクフォースで構成されている。2007年2月2日に第1作業部会による「第4次評価報告書」が発表され、地球温暖化への不安が科学的に裏づけられる結果となった（詳しくは<http://www.ipcc.ch/>参照）。

Words and phrases

1. **global trends** : 「地球全体の傾向」
「全球的傾向」という訳語は論文向き。生物系の文章に出てきたときは、より一般的な「全体的傾向」「全般的傾向」といった訳語がぴったりくる。
1. **fresh** : 「新規の」「新版の」
すぐに「新鮮な」という訳語を思いつくが、被修飾語がassessmentなので、訳語の選択に注意する必要がある。
1. **lie ahead** : 「前途に横たわる」
困難なこともすばらしいことも主語になりうるため、主語に合わせた訳語の選択が必要になる。
2. **atmospheric carbon dioxide** : 「大気中の二酸化炭素量」
2. **in line with ...** : 「～と一致している」「～に沿っている」
2. **on the very edge of** : 「限界ぎりぎり」
この記事の文脈では、最悪ケースの中でも最悪のもの、という意味になる。
4. **towards ...** : 「～近く」
4. **trajectory** : 「軌跡」「経路」
ここでは（二酸化炭素量の推移を示すグラフ上の）曲線の軌跡をイメージしている。

Science key words

1. **sea-level rise** : 海面上昇
海水温の上昇に伴って海水が膨張したり、南極大陸やグリーンランドの氷床などが溶けたりして、海面水位が上昇する現象のこと。IPCC「第4次評価報告書」によると、世界平均海面水位は1993年～2003年にかけて年平均3.1ミリメートルの割合で上昇した。第3次評価報告書では、2100年までに0.09～0.88メートルの上昇と予測されていたが、第4次評価報告書では0.18～0.59メートルに予測の幅が狭められた。海面上昇の影響としては、地下水が変質して利用しにくくなったり、地下水の水位上昇によって建物の基礎が浮き上がったりすることが挙げられる。
2. **climate models** : 気候モデル
生物圏、雪氷圏、雲量、大気組成、エアロゾル（大気中の微粒子）、大陸と海洋の分布、海洋循環など、地球表面の気候を支配するさまざまな要因の相互作用をコンピューターを用いて計算したもの。地球全体を覆う3次元の規則的な格子点における特定の時間の温度や風向、風速などのデータをもとに、物理法則に従って計算することで、その地点での将来の物理量が予測される。
9. **Mount Pinatubo** : ピナトゥッポ山
フィリピンのルソン島にある火山。1991年の大噴火の前は標高1745メートルだったが、噴火によって山頂にカルデラが形成され、現在は標高1486メートル。1991年の噴火は20世紀最大級の規模だったが、噴火の事前予測に成功したため、周辺地域から数万人を避難させることができた。しかし、火砕流や火山灰、火山泥流によって、数千戸の家屋が倒壊するなどの大きな被害を出した。また、噴火によってエアロゾルが成層圏へ大量に放出された影響で、地表に達する太陽光が最大で5%減少した。1992年と1993年には北半球の平均気温が約0.5℃下がり、地球全体でも約0.4℃下がった。また、噴火はオゾン濃度に重大な影響を与え、オゾン層の破壊率が大幅に上がった。

5. **this is simply not the case** : 「絶対に～ではなかった」
ここはthis is the caseの否定形で、simplyで強調されている。
5. **If anything** : 「しいていえば」「どちらかといえば」
5. **conservative** : 文脈によって訳語が異なる。この場合は、「控えめな」という意味。
7. **decadal** : 「10年間の」
deca-は「10、10倍」という意味の接頭語。decadeは「10年間」の意味。同じ段落の**decadal variability**は「十年変動」という意味。
9. **span** : 「～に及ぶ、～にわたる」
9. **the largest ... in modern times** : 「現代において最大の～」
9. **spewed out** : 「噴出した」
もともとは「嘔吐する」という意味の動詞句。
9. **a fog of dust** : a fog ofは「霧のような状態になっている」という意味で、このdustは「火山塵」の意味。
9. **bounced back** : 「跳ね返った」を意味し、文脈に応じて「回復する」「立ち直る」「値を戻す」とも訳す。
10. **It remains to be seen** : 「現段階ではわからない」
この表現は文脈によって日本語表現を工夫する必要がある。2006年1月号で解説したときは、今後の研究によって解明されるというニュアンスがあったが、ここではより単純に、今はわからないが発表されればわかるという意味合いである。

Published online: 1 February 2007 | doi:10.1038/news070129-13

海面は「予測を上回るペースで上昇している」

1990 年以降の気候変動の観測結果を使って IPCC の予測を検証する。

<http://www.nature.com/news/2007/070129/full/070129-13.html>

マイケル・ホプキン



1. このほど1990年以降の地球全体での気候の傾向を調べた研究が発表され、海面上昇といった気候要因は予測を上回るペースで変動している可能性が指摘されている。この論文に示された数値からは、気候変動に関する政府間パネル(IPCC) が公表してきた気候変動の予測が甘過ぎたかもしれないことが示唆されている。なおIPCCは、2月2日に気候変動に関する最新の評価報告書を発表する。
 2. ポツダム気候影響研究所(ドイツ)のStefan Rahmstorfが率いる研究グループは、大気中の二酸化炭素量、地球の気温、海面に関する最新データを検討した。そして計算を行った結果、二酸化炭素量は予測どおりのペースで増加している反面、気温の上昇はIPCC予測値の上限に沿っており、海面上昇は、気候モデルで予測された最悪ケースにわずかに引かかるほど速いスピードであることが判明した。
 3. 人工衛星データによれば、1990年代初頭からの海面上昇率は年平均で3.3ミリメートルとなっている。2001年に発表されたIPCCの第3次評価報告書では、海面上昇率は1年で約2ミリメートルである可能性が高いと予測された。
 4. 地球の平均気温は1990年から0.33℃上昇したが、これはIPCCが予測した地球温暖化率の上限値に近い。大気中の二酸化炭素量については、IPCCが予測した増加傾向にほぼ沿っている。
- 実際の結果を振り返る**
5. Rahmstorfは、次のように語る。「私たちがやりたかったのは、最新の気候観測結果を文書にまとめることで、主としてIPCCが気候問題を誇張していると主張している人々が念頭にありました。これまでに集まったデータからは、絶対に誇張ではなかったことが示唆されています。どちらかといえば、IPCCの予測は控え目なものでした」。
 6. IPCCの予測では、データを使って1990年以降の気候の傾向と考えられるものが図示された。今回の研究で、Rahmstorfたちは、その後16年間(1990~2006年)のデータを調べて、IPCCの気候予測が正しかったかどうかを判定した。その結果は、*Science* 誌¹ に発表された。
 7. Rahmstorfたちの計算によれば、過去20年間の海面上昇率は、過去1世紀以上のどの20年間と比べても25%高くなっている。ただ彼らは、これが単に自然の10年スケールでの変動によるかもしれないことも認めている。「海面上昇率は、過去16年間、予測値の上限に張りついた状態が続いていますが、それでも十年変動が原因である可能性があるため、私たちは、この傾向が今後も続くとは予測していません」とRahmstorfはいう。
 8. 1月に発表された別の論文²では、20世紀の海面上昇率に確かにばらつきがあることが示唆されている。プラウドマン海洋研究所(英国リバプール)のSimon Holgateが行った計算によれば、海面上昇率は20世紀前半に年平均2ミリメートルを超えていたが、20世紀後半は1.5ミリメートルを下回った。
 9. アラバマ大学ハンツビル校(米国)で気候変動を研究するJohn Christyは、データ期間が有意に長いとはいえないとする。「16年間のデータで気候に関する判断をするものではありません。ましてや現代において最大の火山噴火が含まれる16年間のデータで判断してはいけません」と彼はいう。1991年に大噴火したピナトゥポ山からは火山塵がもうもうと立ちこめ、1993年まで地球冷却化が続いた。その後、気温は通常よりも速いペースで上昇し、元のレベルを回復した、と彼は主張する。
 10. 今週発表されるIPCCの第4次評価報告書の予測で海面上昇率が上方修正されるかどうかは、今のところわからない。「IPCCの専門家たちは、これらのデータを十分に認識しています」とRahmstorfは話している。

nature がいつも身近に

日本語アブストラクト

今週の Nature の概要を
素早くキャッチ

Issue no. 7132 | 8 MARCH 2007

20th nature asia

今週のハイライト

創薬 | 苦い薬
Bitter pill
最近、創薬開発パイプラインを保護に進行中だった有望な新薬候補が結局失敗に終わるといふ悲劇的な事件が複数起り、その数の中には製薬業界も対策を講じるべきという声も聞かれます。この中で、パイプラインの生き残りには問題がある。この1つとなり、最新の生体分子の理解を深め、このままにその実現を目指し、製薬の道を歩むことにしています。

宇宙 | 火星にあまねく広がる水
Martian water goes global
火星のメリディアニ平原で探査機が検出した水は、火星の他の地域にも広がっていることが明らかになりました。これは火星の環境が地球に似ているという仮説を支持する重要な証拠です。

153 | 遺伝
ヒトのゲノムにみられる体細胞変異のパターン
Patterns of somatic mutation in human cancer genomes
癌は、増殖を有利にする一群の遺伝子の変異によって生じる。ヒトゲノムの塩基配列が明らかになったことから、系統立てて癌ゲノムの塩基配列を解析し直して変異を探せば、さらに多くの癌遺伝子が発見できると我々は考えた。今回、210の異なるヒト癌において、518個のプロテインキナーゼ遺伝子のコード領域のエキソンに相当する領域のDNA配列を解析した。

163 | 遺伝
メリディアニ平原
現象

nature 定期購読で様々な特典をお楽しみください。

Nature オンラインアクセス

- ◆ 英文フルテキスト (Current Issue)
 - ◆ 日本語アブストラクト
 - ◆ アーカイブ*
- *アーカイブにはアクセス制限があります。



nature DIGEST

プラス

nature DIGEST Online



News@nature.com アクセス

科学ニュースサイト (有料) にアクセス



日本語編集された nature DIGEST を毎月無料でお届けします。

nature DIGEST Online では、2004 年 1 月以降のコンテンツにアクセスできます。

Nature 定期購読お申込みはこちらから www.naturejpn.com/na-f



日本語で読む **nature**

nature DIGEST は、 ご好評につき、 刊行4年目に入りました!

月刊でお届けする『Nature Digest』は、Nature を日本の皆さまにより身近に親しんでいただけるよう日本語で編集した科学雑誌です。英国本社で作成されたNature本誌やNature オンラインニュースに掲載されている最新の科学ニュースや科学論説などの記事はもとより、日本オリジナルの企画編集記事も加え、充実した1冊となっています。

日本オリジナル記事

① Japan News Feature

鳥インフルエンザや地震、宇宙開発、幹細胞、プリオンなど、日本のさまざまな科学ニュースを独自取材し、わかりやすく紹介します。

② Japanese Author

Natureに論文を発表した日本人研究者にインタビュー。研究者をめざす人への有意義なメッセージをお伝えします。

③ 英語でNature

Natureの記事を英語で読むシリーズ。単語やフレーズの解説に加えて、どのように読んだらいいか、読解のポイントも紹介。科学英語を学ぶ教材としても使用できます。

Nature Digest 定期購読は…

ジャーナルなら月々670円(年間購読7,980円/1年)、オンラインのみの購読なら、月々550円(年間購読6,000円/1年・10,800円/2年)と、大変お求めやすい価格でご購読いただけます。

Nature Digest 購読はこちらから

www.naturejpn.com/digest-f07