

# nature DIGEST

日本語編集版

MARCH 2006

VOL.03, NO.3

# 3

<http://www.naturejpn.com/digest>

## はやぶさを 越えて



# はやぶさを越えて

## HIGHLIGHTS

02 vol. 439 no. 7074 no. 7075 no. 7076 no. 7077

## EDITORIAL

04 クローン論文掲載の基準を考える

NEWS@NATURE.COM

06 新米パパは恰幅がよくなる

07 幹細胞を増強するプリオン

## SPECIAL REPORT

08 科学論文誌はねつ造論文を取り締まるべきか?

Emma Marris

## BUSINESS NEWS

10 黄教授事件で韓国のバイオテクノロジー産業に打撃

冬野いち子

## NEWS FEATURE

11 はやぶさを越えて

冬野いち子

14 初期人類化石の宝庫、アワシュに行く

Rex Dalton

18 人間原理、とんでもなく幸運であること

Geoff Brumfiel

## NEWS &amp; VIEWS

22 X ラインの謎を解く

Götz Paschmann

## JAPANESE AUTHOR

24 遺伝子からワクチンまで、インフルエンザウイルス研究で世界をリードする——河岡義裕

小島あゆみ

## 英語でNATURE

26 Mars attack!

マーズ・アタック!

## NATURE GALLERY

28 遥かなる原始の大地、アラスカ

園原徹

発行人: デービッド・スウィンバックス  
 編集: 北原逸美  
 デザイン/制作: 村上武  
 広告: 浅見りの子  
 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

11

14

28

© 園原徹

# nature DIGEST

03

volume 3 no.03  
 March  
[www.naturejpn.com/digest](http://www.naturejpn.com/digest)



**爆発する葉巻****Exploding cigars**

陽子を一度に1個放出、あるいは2個放出する崩壊過程のどちらも起こり得る原子核の例が初めて見つかり、今週号に報告されている。

放射性原子は普通、その核からアルファ粒子、ベータ粒子あるいはガンマ線を放出して崩壊するとされる。しかし、不安定な原子核がばらばらになる過程はこれだけではない。例えば、陽子（正の荷電を持つ粒子）の比率が異常に高い核は、個々の陽子を放出して崩壊することができる。このような陽子の多い核は天然にはかなり稀だが、人工的に引き起こした核反応で作り出せる。中性子と呼ばれる中性の粒子が、陽子どうしを核の中で結びつけておく「糊」の役目を果たすと考えられるが、中性子が十分に存在しない場合は陽子が飛び出す可能性がある。

このような現象は1982年に初めて観測され、その20年後に、陽子を多く含む鉄の同位体が2陽子を放出して放射崩壊することが発見された。すなわち1個でなく2個の陽子が同時に放出されたのである。今回、I Mukhaたちは、1陽子放出および2陽子放出のどちらの過程によっても崩壊する原子核を発見した。

Mukhaたちは、この現象を銀の同位体<sup>94</sup>Agで観測した。この原子は2陽子を放出してロジウムの同位体<sup>92</sup>Rhに崩壊することができる。また、計算によれば<sup>94</sup>Agの陽子を多く含む核は球形から外れる度合いが極めて高くなる。これは、陽子と中性子との比率が異常であるために、核が葉巻型にゆがんでしまうからである。Mukhaたちは、陽子は葉巻の「両端」から放出されやすいと思われると述べている。2陽子放出型の崩壊の場合、両方の粒子が同じ端から放出されることも、あるいはそれぞれの端から1つずつ放出されることもある。

19 January 2006 Vol. 439/Issue 7074

Letter p.298, N&V p.279 参照

**人工スピンアイス：  
フラストレーションを設計する****ARTIFICIAL SPIN ICE: Frustration by design**

多数の相互作用が1つの系内部で競合すると、そのどれもが優勢になることができず、そのため「フラストレーションした」力をどう解消するかが系全体のふるまいを決める重要な因子になる。特に、磁気系におけるスピン間の幾何学的フラストレーションからは、「スピンアイス」のようなエキゾチックな効果が生じることがある。この状態では、原子磁気モーメントが氷中の水素イオン



位置のフラストレーションと似た状態になる。R Wangらは、リソグラフィ技術で作成したナノスケール磁石の配列を使って、人工スピンアイスを作った。この格子の磁気モーメントは、スピンアイスに特有な2-in 2-outの「アイスルール」に従う。このモデルによって、フラストレーションの極めて詳細な研究が可能になる。これは、強磁性素子が今まで以上に高密度に実装される磁気記録に直接関連してくる。表紙は、磁気力顕微鏡で撮った人工スピンアイスの磁化パターン像。平坦な部分と谷になった部分は、それぞれ逆向きに磁化された領域を示している。

19 January 2006 Vol. 439/Issue 7074

Letter p.303, N&V p.273 参照

**インフルエンザウイルスの内部構造が明らかに****Flu virus innards revealed**

インフルエンザウイルスの内部の詳細な観察結果が報告された。これは細胞内でウイルスが複製する仕組みを解明するのに役立つ。また、

以前からわかっていたことだが、インフルエンザウイルスのゲノムのRNAは8個に分かれてタンパク質とともにまとめられており、リボ核タンパク質複合体、すなわちRNPを形成している。これはヒトの染色体の凝縮に通ずるものがある。しかし、感染細胞中で新しいウイルス粒子ができる際に、これらのRNPがランダムに取り込まれるのか、選択的に取り込まれるのか、長く議論が分かれていた。

今回河岡義裕たちは、この謎を解明した。インフルエンザウイルスのRNPが中心の1個を7個が取り巻く独特なパターンをとっていることを、電子顕微鏡を使って明らかにしたのである。つまり各RNPはシグナルを発していて、複製の際にウイルスがRNPの完全な一揃いを選んで粒子に取り込めるよう助けていると考えられる。今回の発見で抗ウイルス薬の開発が早まるかもしれないと著者たちは述べている。

26 January 2006 Vol. 439/Issue 7075

Letter p.490 参照

**ドル紙幣の動きを疫学に活かす****Dance of the dollars sheds light on epidemiology**

ヒトが地理的にどう分散するかを解明するのに一風変わった手法を使った結果が今週号に報告されている。D Brockmannたちは、米国紙幣の行方を追跡するオンラインシステム(<http://www.wheresgeorge.com/>)に記録された、ドル紙幣およそ50万枚のたどった軌跡を解析した。そして、これらの解析に基づき、紙幣の分散（したがってヒトの旅行行動）が、たまに大きなジャンプがある、数多くの小さな

ランダムステップからなるプロセスによって記述でき、このプロセスには移動と移動の間の長い待ち時間もあるという結論に至った。

これらの知見は、感染症蔓延のモデル化に大いにかかわってきそうである。こうした疾患では、ヒトの旅行の動態特性や統計的特性を正確に把握することが、根本的な重要問題だからだ。今回報告されたヒトの行動パターンを踏まえると、モデル化にあたってはヒトが拡散的に拡がると単純に想定できないことになる。

26 January 2006 Vol. 439/Issue 7075

Letter p.462, N&V p.402 参照

**この惑星には生命が存在するか？：****地形に示される生命の徴候を探る****IS THERE LIFE ON THIS PLANET?: The search for a topographic signature of life**

地球の陸地表面の大部分は生命体により覆われており、それが地形の形成過程に大きな影響を及ぼしている。しかし、最近得られた画像から、火星の地形は地球とよく似ている点が目立つことが明らかになった。ここから、もし高解像度の地形図から生命によることが明瞭な痕跡を取り除いたら、地形だけから地球に



生命が存在すると判断できるだろうかという、興味をそそる疑問が生まれる。B DietrichとT Perronは、地形の形成と進化を支配する過程に生物相が及ぼす影響に関して、この問題が現時点でどのように考えられるかを論じている。その結論は、生命過程はあらゆる尺度で地形の特徴に影響を及ぼすが、生命の存在を示す独自の地形を選び出すのは不可能だろうというものだ。生命の存在しない地球の見た目は今と違っているだろうが、その違いはいくつかの地形的特徴の頻度分布に起因すると考えられる。表紙は、砂の移動で波状を呈する砂原に植生の塊によって不規則性が生じているようすが見られるチリでの光景。しかし、こうした状況は生命だけに依存して生じるものではない。

26 January 2006 Vol. 439/Issue 7075

Review Article p.411 参照

**冥王星より大きかった「10番目の惑星」  
'Tenth planet' bigger than Pluto**

太陽系に10番目の惑星があるという主張は、今週号に報告されている新発見によりますます支持を集めそう。去年夏に惑星ではないかと発表され、2003 UB<sub>313</sub>と命名されていた天体は、冥王星より大きいことがわかったのである。

※「今週号」とは当該号を示します。

2003 UB<sub>313</sub> は冥王星と同様に、海王星の彼方の、いわゆるカイパーベルトに集まっている氷天体の1つである。UB<sub>313</sub> は、太陽系で見つかっている最遠方の天体であり、その細長い軌道の半径は太陽・地球間の距離の97倍、冥王星の遠日点との距離のほぼ2倍にまで達しており、太陽の周りを一回りするのに冥王星の2倍の時間がかかる。UB<sub>313</sub> が太陽に最接近するには、西暦2257年まで待たねばならない。

発見されたとき UB<sub>313</sub> は、冥王星の反射率を用いて計算すると、少なくとも冥王星と同程度の大きさであると考えられた。しかし、UB<sub>313</sub> の反射率がわからなかったため、その大きさは正確に推定できなかった。F Bertoldi たちは今回、UB<sub>313</sub> が放射する熱量の測定を用いることでこの問題を解決し、UB<sub>313</sub> の大きさを決定した。放射熱量の測定と可視光観測を組み合わせれば反射率が決められるのである。そして UB<sub>313</sub> の直径を3,000 km であると推定したが、この値は直径2,300 km の冥王星より大きいことは疑いない。そうすると、UB<sub>313</sub> を惑星でないとするなら、冥王星を惑星だとすることはますます受入れにくくなる。

2 February 2006 Vol. 439/Issue 7076

Letter p. 563, N&amp;V p. 541 参照。

## DNA 複製の秘密が明らかに

### DNA duplication exposed

今週号の3つの研究で、細胞はどのように自身のDNAをコピーするのかという長い間解かれなかった秘密が明らかにされた。

細胞がDNAを複製するとき、二重らせん構造をとる2本の鎖がファスナーのように開き、フォーク型になった鎖にタンパク質で構成される装置が付着する。一方のDNA鎖上では、このタンパク質複合体が連続した相補的DNA鎖を合成するが、もう一方のDNA鎖上では、プライマーと呼ばれる短いRNA分子を作成して、付着させなければならない。そしてそこが、もう1つの相補鎖合成の開始点となる。

細胞は、新しく合成される鎖に損傷部位をコピーしないように、壊れたり損傷を受けたりしたDNAをどうやって処理するのか、その方法について科学者たちは頭を悩ませてきた。R Heller と K Mariani は、このタイプの損傷と同じようなものを作ってやることで、DNA合成装置がその損傷部位を迂回し、すき間を残すことを明らかにしている。そのすき間はおそらく損傷が修復された後に埋められるらしい。

A van Oijen たちは、2つのDNA鎖のそれぞれにおける新しいDNA合成を細胞がどのように協調させているかを調べた。彼らは、DNA複製複合体によって1分子のDNAがつくられていくようすを観察し、プライマーを作成する

タンパク質が、複合体全体の調和をとるための分子ブレーキとして機能することを示している。

また N Zenkin たちは、主に転写にかかわっているRNAポリメラーゼと呼ばれる酵素がRNAプライマーを作成する仕組みを調べた。彼らは、RNAポリメラーゼが、RNAとDNAを含む複合体を形成できることを示し、これと同じような複合体が転写を制御しているのではないかと考えている。

2 February 2006 Vol. 439/Issue 7076

Article p.557, Letters pp.617, 621, N&amp;V p.542 参照

## 球形ウイルスの構造：サルモネラファージでのDNAの詰め込みと注入

### SPHERICAL VIRUS STRUCTURE: DNA packaging and injection in a *Salmonella* phage

球状ウイルスの構造決定はこれまで、正二十面体対称構造を有するキャプシド構造のみなされていた。今回初めて、正二十面体対称を利用した平均化（イメージの再構築計算を平易にするために必須の戦略である）を行わずに、球状ウイルスの全体構造が決定された。対象としたウイルスは、イプシロン15バクテリオファージである。このウイルスは、ヒトの病原体である *Salmonella anatum* に感染することから、サルモネラ症の治療薬となる可能性がある。単粒子低温電子顕微鏡法により、60個の6量体と11個の5量体からなる正二十面体のタンパク質キャプシドの構造が明らかになった（表紙）。非正二十面体構造をとる構成要素は、キャプシドの12個の頂点の1つに集まっており、この頂点を通じてDNAのパッケージングと放出が行われる。ウイルスゲノムは同軸コイルの形で詰め込まれており、これまでに同定されていなかったタンパク質コアがDNAの末端周辺に巻き付いている。外殻構造はヘルペスウイルスなど、他のdsDNAウイルスと類似していることから、共通祖先の存在が考えられる。

2 February 2006 Vol. 439/Issue 7076  
Letter p. 612 参照

## 中国で見つかったティラノサウルス類の「鼻祖」

### Father of the tyrannosaurs found in China

あの恐ろしいティラノサウルス・レックスを含む恐竜分類群の最も原始的な仲間を中国の化石ハンターたちが見つけた。この全長（頭から尾の先まで）3 m の恐竜は中国北西部のジュンガル盆地で出土したもので、おそらく最古のティラノサウルス上科恐竜である。恐竜の進化には非常に不明瞭なところが何力所

かあるが、今回の発見により、その1つについてうかがい知ることができる。

この新種の恐竜の生息年代はT・レックスと異なり、およそ1億5000万年前のジュラ紀後期である。T・レックスは、ハリウッド映画の大ヒット作『ジュラシック・パーク』に登場したが、実際の生息年代はジュラ紀より新しい白亜紀後期だった。とはいえ、この化石について報告している Xu たちによれば、四肢のいくつかの特徴がもっと後の恐竜と共通していることから、この新種もやはり獰猛な肉食恐竜だったらしい。

この恐竜の頭蓋には、こうした原始的な動物には珍しい巨大な鼻陵があることも報告された。この構造はクジャクの尾羽やシカの枝角のような誇大な性的装飾の一種かもしれないと、Xu たちは推測している。

9 February 2006 Vol. 439/Issue 7077

Letter p.715, N&amp;V p.665 参照

## 家族の絆：マンモスと現生するゾウを結びつけるDNA断片

### FAMILY TIES: A scrap of DNA that links mammoths to living elephants

古代DNAの研究は大きく進んでいるものの、更新世後期の生物から回収できる連続した塩基配列の量はまだ限られている。マンモスや他の少数の種では約1000塩基対の配列片が再構築されているが、種間の類縁関係を調べるとなると、これでは足りない場合が多い。今回、PCR法をベースに塩基配列オーバーラップと多重増幅法をうまく使った新しい手法により、微量の骨から長いDNA塩基配列を復元することが可能となった。この方法で、永久凍土に保存されていた更新世のケナガマンモスのわずかに200 mg の骨から、ミトコンドリアゲノムの1万6000塩基対を超える全塩基配列が復元された。この塩基配列によって、マンモスの系統発生に関する積年の議論に終止符が打たれ、ケナガマンモスはアフリカゾウよりもアジアゾウに近縁なことがわかった。

9 February 2006 Vol. 439/Issue 7077  
Letter p. 724, N&V p. 673 参照

Nature Digest に一部誤りがありました。お詫びして訂正いたします。

2006年1月号 p.12「RNAが開く、ゲノムの新たな扉」の本文、右カラム上から9行め、

RNAはTのかわりにシトシン（C）をもっている。

↓

RNAはTのかわりにウラシル（U）をもっている。



# クローン論文掲載の基準を考える

## Standards for papers on cloning

Nature Vol. 439 (243)/19 January 2006

論説

黄教授のスキャンダルも覚めやらぬなか、各論文誌は査読工程の見直しに取り組んでいる。専門家による検討を受け、クローン関係の論文に対する *Nature* の考え方をここに示す。

核移植で細胞や生物のクローンを得るのは、時間と費用のかかるたいへんな作業である。発表された成果を再現するには、何年という単位の時間がかかることもある。だがその一方で、クローン化実験の正否は、作業工程の中で集められた組織のDNAを調べることによって、比較的容易に判断できる場合が多いという特長をもつ。これは科学の世界では珍しいことだ。

査読の目的は結果の信頼性を評価することだが、虚偽を見破るのは一般的にまず不可能である（ただし *Nature* では現在、画像の改ざんに関して要領の見直しを行っている）。そして今後の査読も、基本的には信用の上に立って行うしかないが、いったいどのようなデータをチェックすれば、クローンであることが十分に証明されるのだろうか。黄教授のスキャンダル以前は、ある動物が核移植でクローン化されたものかどうかを判断するには、そのクローンと核ドナーに関する核DNAフィンガープリントの同一性検査をもって、最終的に結論されていた。他方、クローンのミトコンドリアDNAは核ドナーと一致しないはずなので、これを調べることで試料の誤操作や不正行為は明確に排除される。

今回の事件全体をふまえ、クローンに関する *Nature* 投稿論文の著者には今後、核に加えてミトコンドリアDNAのフィンガープリントも示すよう求めることを考えている。しかし、場合によっては、そうしたデータの解釈には混乱要因がありうることに留意する必要がある。たとえば、核ドナーのミトコンドリアの貢献度は、種により、あるいはそれが種間雑種かどうかにより、さらには用いた核移植技術により、さまざまだと考え

られる。また、新たな胚性幹細胞株を作製したことを発表する論文の場合、試料の誤操作（意図的であるにせよ、偶発的であるにせよ）やほかの細胞株による汚染をはじくため、その株の核DNAフィンガープリントを示して既存の株と比較することが必要となる。

論文投稿時には、どれだけのデータを提示すべきだろうか？ クローンに関する論文の著者は、クローン化の手順を論理的に示すため、またその効率性を示すため、そのつど十分なデータが求められる。これに加えて *Nature* では、査読者や編集者による確認のために、必要に応じて生データの提供を求める場合がある。これにより、論文に記載されたデータは生データを正確に解釈したものであるかどうかを確認でき、査読の過程で疑問が生じた場合、別段階での追加検証作業を行うことができる。

### 第三者試験

黄教授を取り巻いた異例の状況を考慮して、*Nature* では第三者の科学者に委託してイヌのスナッピー（B. C. Lee *et al.* *Nature* **436**, 641; 2005）が実際にクローンなのかどうかを検証した。スナッピーと核ドナーの血液試料から得たDNAフィンガープリントを分析したところ、結果は肯定的なものだった。現在、その結果は発表に向けて査読を受けている。しかし、2～3人の科学者から、クローンの論文を掲載するときには常にこのような第三者試験を条件にするべきだという指摘があった。

*Nature* ではこの指摘を慎重に検討してきたが、クローンの分野に対してそうした基準を掲載の条件として課すのは過剰反応であり、種々の複雑な問題が避けられ



なくなるという結論に達した。たとえば、誰が試験の費用を負担するのか、試料の誤操作をどう回避するのか、検証試験は負担の大きい特別作業となるが、担当する科学者はどう報われるのかなどの問題である。さらに、不正行為が起これるのはクローンの分野だけとは限らず、ならば掲載論文すべてに第三者の検証が必要だということにもなるが、それは現行システムでは無理な話である。過剰すぎる検証で本来掲載されるべき論文が掲載されないことになれば、めったにない不正行為を検出することのメリットは意味を失ってしまう。

**「傑出した主張には特別の証拠が必要なのだという原則にのっとり、場合によっては、*Nature*ではそれを要求する。」**

しかし、*Nature*では科学に対して最大限の寄与をすべく、画期的なクローン研究に取り組む研究者に対し、研究者自らが第三者による検証を求めるとともに、最初の論文投稿時にその結果を添付することを推奨する。そして、傑出した主張には特別の証拠が必要なのだという原則にのっとり、場合によっては、*Nature*ではそうした第三者検証を要求していく。

*Nature*をはじめとする多くの科学誌では、関連する試薬類を科学界に提供できるようにすることを論文掲載の条件として著者に求め、細胞株および変異体を確実な貯蔵場所に保管するよう勧めている。しかし現在では、各誌がさらに踏み込んだ対応を取り、重要な試料は米国基準培養株コレクション (ATCC) のような貯蔵場所に保管し、論文の発表後にほかの研究者が低コ

ストで迅速に利用できるよう要求すべきだとの指摘がなされている。*Nature*では、そのようなことが要求できるかどうか検討しており、要求すべきかどうか、するとすればどのような形が最適か、広く意見を求めたい。

画期的なものとなるかもしれないクローン研究に取り組む科学者は、貯蔵場所がどこであれ、重要な試料は後日の検証のために間違いなく適切に保管するようにしてほしい。この作業の一環として、核ドナー、卵母細胞ドナー、および作製された動物または幹細胞株の細胞は、当該研究に関与しない第三者の科学者によって入手、保管される必要がある（または実際に保管されているかを監視する必要がある）。この予防措置はヒトドナーの場合、特に重要となる。後日、検証用として被験者から組織を入手し直すことができない場合も考えられるからだ。資金拠出機関による資金の提供は、後日の試料検証を保証する措置を前提に行われるべきである。また、研究機関においても、内部の調査委員会が研究を承認する段階で確実な試料保管を要求するべきだ。

黄教授の事件を受け、科学は本来、多分に自己修正的なプロセスであり、科学者、編集者、査読者、ジャーナリスト、資金拠出機関、および研究機関がそれぞれ重要な修正機能を担っているのだということが改めて思い起こされた。今回の論文ねつ造は異常ともいえる事態だったが、紋切り型の反応や魔女狩りには用心したい。それでは何も変わらない。*Nature*では、再発防止のために工程と基準を精査していくことを約束し、この取り組みに対する読者からの意見を歓迎する (e-mail の送信先は、authors@nature.com)。

# 新米パパは恰幅がよくなる

## Expectant dads get chubby

パートナーが出産を控えている雄ザルは、ヒトの場合と同じように太ることがわかった。

doi:10.1038/news060130-6/1 February 2006

Helen Pearson

もうすぐ父親となる男性は、太ってベルトがきつくなることがあるという。パートナーの妊娠期間中、雄ザルの体重が増加したという報告は、そうした現象の生物学的基盤を裏づけるものとなるかもしれない。

パートナーが妊娠中の男性には、体重の増加、吐き気、背中痛みといった、女性の妊娠に伴う症状とよく似た症状が広くみられる。しかし、クーバード症候群ともよばれるこうした現象は、心理的な問題だとして見過ごされることが多く、詳細な実験的説明もない。

だが、ウィスコンシン大学マディソン校で霊長類を研究する Toni Ziegler 率いるグループの報告によると、2 種のサルで妊娠期間中にヒトと同様な現象がみられた。

Ziegler たちは、14 頭の雄のコモンマーモセット (*Callithrix jacchus*) を

5 か月間、11 頭の雄のワタボウシタマリン (*Saguinus oedipus*) を 6 か月間、それぞれパートナーが妊娠している間、体重を測定した。これらのサルは一夫一婦制で、一部のヒトの父親と同じように、雄ザルが子の面倒を母親と同じか、もしくはそれ以上に熱心に見るという理由から研究対象に選ばれた。測定の結果、雄ザルたちは当初より体重が 20% も増えた。研究の結果は *Biology Letters* に報告されている<sup>1</sup>。

### 準備せよ

体重増加は、子が生まれた後のたいへんな数週間を雄ザルが耐えられるよう、引いてはそうすることで子の生存率を高めるようにするためだと思われる、と Ziegler は語る。「太ることで準備する」というわけです。

今回得られた結果から、パートナーの妊娠期間中に体重が増えるヒトの父親についても、その理由の一端が、来たる過酷な日々と眠れない夜に対する準備にあるものと考えられる。「昔はこうした準備が有利に働いたのではないか」と Ziegler は話す。

他の研究では、わが子の誕生を待つ父親たちに、プロラクチンやテストステロンなどのホルモン、またストレスホルモンであるコルチゾールの量の変化が見られることが報告されている。ホルモン量の変化は体重増加につながる可能性があるが、この仮説を検討した研究はほとんどない。

### 男らしくあるために

人生の大事業を前に、食欲や休息時間が増す傾向にあるパートナーの行動に



「重い」問題：パートナーが妊娠するとなぜ男性は太るのか。

合わせるうちに、男性の体重が増すということも当然考えられる。また食料が十分にあり、肥満傾向の著しい西洋社会では、父親になる男性にとって体重増加が有利となるかどうかを判断するのはむずかしいところだ。

さらに、男性のホルモン量がパートナーの妊娠・出産時に上昇することには、日常習慣の変化やストレスなど多くの理由が挙げられると、まもなく子どもが生まれる男性のホルモン変化を研究しているクイーンズ大学（カナダ、オンタリオ州）の Katherine Wynne-Edwards は指摘する。「継母がやってくると、男性のホルモン量が増えることもあるのです」と Wynne-Edwards は話している。

1. Ziegler T.E., et al. Biol. Lett. doi:10.1098/rsbl.2005.0426 (2006).



# 幹細胞を増強するプリオン

## Prions give boost to stem cells

二面性をもつプリオンタンパク質の、隠れた役割が明らかになってきた。

doi:10.1038/news060130-1/30 January 2006

Helen Pearson

脳疾患を引き起こさない、正常型のプリオンタンパク質の役割を示す手がかりが得られた。プリオンタンパク質は、どうやら、一部の幹細胞の増殖を促しているようだ。プリオンタンパク質は、正常型と、異常に折り畳まれた型の2つの形状をとる。異常型のプリオンは、狂牛病として知られるウシ海綿状脳症(BSE)や、ヒトの変異型クロイツフェルト-ヤコブ病(vCJD)など、一連の消耗性脳疾患の原因と考えられている。

一方で研究者たちはこれまで、正常型プリオンの働きに頭を悩ませてきた。正常型プリオンは哺乳類の体全体にみられることから、その重要性は明らかである。だが、プリオンタンパク質を欠くように遺伝子操作を施したマウスも、一見したところ健康なままなのだ。

そうしたなか、ホワイトヘッド研究所(マサチューセッツ州ケンブリッジ)のHarvey Lodishたちが、分裂して新たな血液細胞を作り出すマウス幹細胞を研究する過程で、ある答えにめぐり合わせた。観察した多くの幹細胞の表面全体にプリオンタンパク質が付着していたのだ。そして研究グループは、正常型プリオンが、骨髄由来の幹細胞による新しい血液細胞の産生を促していることを明らかにした。

### 幹細胞に異常あり

このことを明らかにするためLodishたちは、マウスの骨髄の幹細胞を、貧血であったり大量の血液を失ったりしたヒトと同程度に枯渇させる実験を行った。まず、放射線の照射を受けて骨髄が失われたマウスに骨髄の幹細胞を移植する。そうすると、移植された細胞が骨髄およ

び血液を分裂させ、それを補充していく。次に、こうして作られた新しい骨髄細胞を回収し、別のマウスへ移植するというプロセスを繰り返していった。

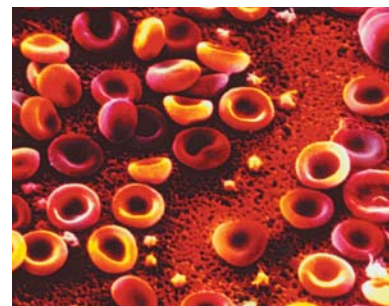
その結果、プリオンタンパク質を欠く幹細胞は、正常型プリオンをもつ幹細胞と比較して寿命が短く、また、新しい細胞を作ることができなかった。「この結果は、正常型プリオンの役割を示す初めての手がかりだ」とLodishは語る。研究結果は、*National Academy of Sciences*に報告された<sup>1</sup>。

### 保護者プリオン

プリオンがどうやって幹細胞の増殖を促すのか、その正確なところはまだわからない、とLodishは語る。正常型プリオンは、幹細胞を骨髄内部に留まらせることで、または幹細胞にホルモンを作用させることで、その分裂を間接的に促しているのかもしれない。プリオンは脳細胞でも同様の役割を果たしている可能性がある、とLodishはいう。

別の考え方もある。ワシントン大学(セントルイス)でプリオンを研究するHeather True-Krobは、プリオンは幹細胞を損傷から保護しているのだと考えている。この仮説は、プリオンが脳内で神経細胞をストレスや細胞死から保護していることを示す、過去のいくつかの研究結果に見合うものだ。

プリオンタンパク質をもたないマウスが概して健康にみえるのはおそらく、その機能を補うバックアップシステムを備えているからで、Lodishの実験のように、細胞が過度のストレスにさらされたときにのみ、問題が現れるものと考えられる。



正常型プリオンが、骨髄由来の幹細胞による新しい血液細胞の産生を促していることが判明した。

### 研究の展開

この仮説が正しければ、vCJDなどの疾患でプリオンが異常をきたした場合に、そこで何が起きているかがわかってくるだろう。脳細胞の保護が失われて、死滅し始めることに問題があるのかもしれない。異常なプリオンが増加して、有害なタンパク質の塊として蓄積するという事実も疾患の発症と関連していると思われる。

正常型プリオンの役割が明らかになれば、最終的には、プリオン異常を原因とする疾患の解明にもつながるだろうとTrue-Krobは語る。たとえば、正常型プリオンに代わる、脳細胞保護分子が見つかる可能性もある。

いずれもホットな研究分野であるプリオン研究と幹細胞研究がこのように交差したことに驚いたとLodishは語る。「だからこそ科学はおもしろい。ある分野を研究していたら突然、別の研究をしているなんてことがあるのだから」。

1. Zhang C.C., et al. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0510577103> (2006).



# Should journals police scientific fraud?

## 科学論文誌はねつ造論文を取り締まるべきか？

Nature Vol.439(520-521)/2 February 2006

科学論文誌の編集者たちは、査読で意図的な研究結果のねつ造を発見できるとは考えていない。しかし、スキャンダルは続いており、論文誌はねつ造論文を見つける方法を模索している。Emma Marris が取材した。

これまでも繰り返されてきたねつ造がまたもや発覚し、科学界は意気消沈している。韓国の黄禹錫（ファン・ウソク）ソウル大学教授の、ヒトの体細胞から胚性幹細胞を作ったという研究がねつ造であることが判明した後も、ノルウェーではがん研究でのねつ造が、日本ではRNA研究に関するねつ造疑惑が発覚した。

こうした世間の耳目を集める事件は、論文誌（そして科学界全体）の信頼を揺るがす。論文誌の編集者がこうした事件を防ぐためにできること、すべきことはあるだろうか。

発表された論文がねつ造だとわかると、編集者は、ピアレビュー（同領域の専門家による査読）では不正な論文を見つけることはできない、というのが常である。最近、ランセット誌に発表されたノルウェーの研究が架空の患者データに基づくものだったことが明らかになったが（*Nature* **439**, 248-249; 2006 参照）、編集者の Richard Horton は「私がオスロに飛んでコンピューター入力をすべてチェックする以外に、この不正を見つける方法は存在しない」と指摘している。

ほかの人たちも、ある論文がねつ造か真実かを決める責任は、論文誌にあるわけではないという意見のようだ。こうした意見の背景には、たいいていの論文誌がボランティア的に運営される学会によって出版されており、スタッフの数や資金もまちまちであることがある。米国保健社会福祉省（DHHS）が管轄する研究規範局（メリーランド州）の学外研究部長である Mary Scheetz は「学会誌の編集部には、（不正をチェックするための）十分な人材や資金、高度な専門知識はない」と話す。研究規範局は、米国立衛生研究所（NIH）が研究資金を出した研究について、倫理的不正を調査している。

さらに、論文誌は罰則を与える権限をほとんどもっていない。論文誌ができることは、論文の掲載を拒否するか、論文撤回を発表することぐらいだ。全米科学財団（NSF）で不正行為の調査を担当している James Kroll は「不正疑惑の調査責任は、おもに研究所や研究に資金を出した機関にある」と指摘する。

しかしここ数年、論文誌の編集者たちは、より事前に不正行為に対処できるよ

うな方法を考え、手持ちの人材や費用の範囲内で何ができるかを模索してきた。

投稿されたすべての論文について不正がないかを調べることは、ほとんど不可能な話だ。米国医師会誌の副編集長である Drummond Rennie は「それは天文学的な費用がかかる、たいへんな作業になる。何か月もの時間がかかり、費用は数十万ドル、場合によっては数百万ドルにのぼる」と話す。

ロンドン大学公衆衛生学・熱帯医学大学院の統計学者 Stephen Evans は時おり、生データの疑わしい論文を分析することがある。人間の数字の好み、つまり、0 や 5 になるよう数字を切り上げたり、切り捨てたりする傾向を探したり、データの分散を調べたりするのだ。だが、「ばらつきが自然なデータをでっち上げるのは、とてもむずかしいことだ」という Evans もまた、すべての研究をチェックすることは、時間と費用の面から「とても無理だ」と話す。

そうした方法の代わりに、論文誌は、提出されたデータをコンピューターで自動的に検索する方法の可能性を調べている。この方法なら、追加でかかる時間と労力を最小限に抑えて、査読プロセスに組み入れることができるかもしれない。今注目されているアイデアは、疑わしい画像操作を見つける技術の導入だ。編集者たちは、盗用を見つけ出すことができる文書比較ソフトの導入も検討している（*Nature* **435**, 258-259; 2005 参照）。

「IT 技術がさらに進化すれば、論文審査の過程で新技術を導入する論文誌はもっと増えると思う」と Scheetz は話す。

もうひとつの変化は、論文誌の編集者たちが、疑わしい論文をただ黙って拒絶するのではなく、積極的に調査しようとし始めていることだ。ロンドンにある出版倫理委員会（COPE）の代表である Harvey Marcovitch によると、疑わしい論文に対するこれまでの対処法は「それを掲載しないいいわけを探すこと」だった。しかし、COPE が提唱



データの山：ねつ造データは統計的なチェックで発見できるかもしれないが、すべての投稿論文を調べるのは不可能だ。

する対処方針を採用する約 200 誌にのぼる論文誌は現在、今後はより積極的に不正に対応する姿勢を表明している。Marcovitch はその方針について、「ある論文について確信が得られず、その論文を受理しない場合でも、編集者はそれを調査する絶対的な義務をもつ。もし、編集者が著者の回答に満足できないのなら、その研究所へ行き、調査を依頼する絶対的な義務をもつ」と説明する。

これには多くの人が同意するだろうが、現実的な問題もある。たとえば、英国では名誉棄損に関する法律が厳しく、誰かの不正を指摘することは裁判ざたになる可能性があるため、編集者は特にやりにくいものと思われる。「何かが明らかになることを狙って、次々に説明を求めるケースが多くなるだろう」と Marcovitch は話す。よくある手段は、生データの提出を求めることだ。しかし、これは論文誌側にとって困った問題になる可能性がある。「ある論文が疑わしいと考えて、研究者にデータを提出するように求め、段ボール 25 箱分の資料と 4 枚の CD を手に入れたとする。しかし、その分析に生物統計学者を 3 か月雇わなければならないとなったら、どうしますか」と Marcovitch はいう。

### 「すべての投稿論文を調べるには、天文学的な費用がかかる」

ひとつの簡単な方法は、論文の投稿規定に不正に関する方針を含めておくことだ。Scheetz によると、意外なことにこれが実行されている例はほとんどないという。「もし疑わしい論文があった場合、この規定があれば、論文誌の立場はもっと強いものになる。編集者が研究者に生データの提出を求めることも、規定にその権限があると書いてあれば容易になる」と Scheetz は説明する。

論文誌はまた、研究者たちが論文の提出前に自身でチェックを行うことを求めている。たとえばネイチャーは、ある種のクローニングに関する論文の場合は、第三者による検証結果を論文に含めるよう著者にアドバイスしている。米国医師会誌は、企業が資金を出した臨床試験の場合は、独立した機関によるデータの分析を受けることを要請している。

論文誌は、COPE のようなプログラムを通じて、あるいは世界医学編集者協会（本部・イリノイ州シカゴ）などのグループが作成した編集方針を採用するなどして、共通の編集方針を作ることが多くなっている。米国科学編集者協

議会（本部・バージニア州レストン）は現在、出版倫理に関する報告書を作成中だ。また、ネイチャーの米国上級編集者 Linda Miller は、ネイチャー、サイエンス、セルの 3 誌で、共通の編集方針を作ること検討しているという。

だが、たとえ論文誌が不正の証拠を見つけたとしても、最終的な調査はその研究者の所属する研究所か、研究資金を出した機関に依頼するしかない。それには、そうした研究所や機関が調査を行う意思と権限をもっていることが必要になる。しかし、たとえばブリティッシュ・メディカル・ジャーナル誌は、インドのモラダバードにあるハルドバグ病院・研究所の心臓病専門医 Ram Singh の研究についての調査を考えたが、不正の有無について判定を下してくれる研究所や科学団体を見つけないことができなかった。Singh はその後、よく似た研究結果をランセットに発表した。両論文誌は結局、懸念を表明したものの、論文の取り消しには至っていない。また、多比良和誠・東京大学大学院工学系研究科教授の RNA 研究に関する疑惑についても、東京大学は十分な調査を行う権限をもたず、疑いのあるデータがねつ造かどうかについては、白黒つけられぬまま幕が引かれようとしている。■

# 黄教授事件で韓国のバイオテクノロジー産業に打撃

冬野 いち子

成長を始めたばかりの韓国のバイオテクノロジー産業にとって、2005年は、年末の論文ねつ造事件が表面化するまではかなりよい年だった。韓国政府は生物医学研究に潤沢な資金を注ぎ続けていたし、ベンチャー企業向けの株式市場「コスダック」は、バイオテクノロジー企業が株式を公開しやすくする制度を導入した。

しかし、12月になり、国立ソウル大学の幹細胞研究者、黄禹錫（ファン・ウソク）教授を襲ったスキャンダルが大きさが明らかになると、事態は一変した。12月初め、ゲノム研究用のツールとサービスを提供しているマクロゲン社など、幹細胞に直接関係ない企業でさえ、株価は大きく下落した（グラフ参照）。大部分の企業が、12月だけで株価の時価総額の5分の1から半分を失った。

バイオテクノロジー産業に精通した人によると、こうした企業が大きく影響を受けた理由の一部は、黄元教授の研究が一現在はその大部分が信用されていないもの—これまでこの産業の成長に大きな役割を果た

してきたことにある、という。試薬と薬品開発ツールを製造しているバイオニア社（本社・デジョン）の最高経営責任者 Han Oh Park は「黄元教授の研究は（バイオテクノロジー産業の初期の成長に）心理的影響を与えた」と話す。

また、韓国政府が黄元教授の研究に投じた研究資金は少なくとも合計3000万米ドル（約35億円）に達するとみられ、投資家たちは、韓国の生物医学研究が大きな結果を生むだろうという確信を強めていた。黄元教授の影響を受け、多くのバイオテク企業は幹細胞研究に多大な関心を持ち、企業がその研究への参入を表明すると、その株価も上昇した。

韓国開発銀行傘下のベンチャーキャピタル会社である「KDB キャピタル」の Jung Seob Shin は「12月の株価暴落は、バイオテクノロジー産業の基本的な見通しが変化したことを示すものではない」と主張する。Shin はここ数年間、バイオテクノロジー産業の将来見通しはよくなり続けており、多くの企業の株価は2006年1月前半にはおおむね元の水準に戻ったと指摘する。

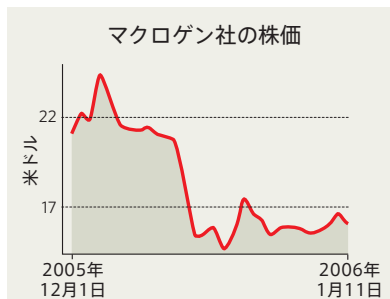
ソウルにある「韓国バイオベンチャー協会」の Se Jong Park 会長は「今回の事件は、個々の企業が投資に値するかどうかの判断を磨く必要性を投資家に思い出させた。だから、バイオテクノロジー産業の成長にとっては、長期的にみればよい影

響を与えた」と主張する。「2006年に起こるのは（優良な企業とそうでない企業の）選別だろう」と彼は予測する。韓国にある約600社のバイオテクノロジー企業のうち、長期に生き残るのはわずか50社だろう、と Park は見積もる。

そして、韓国のバイオテクノロジー産業の将来性をまだ投資家は信頼していることを示す証拠がある。ソウルを拠点とする遺伝子治療関連企業であるバイロメド社と、バイオニア社、タンパク質結晶化のプラットフォームを製造しているクリスタルゲノミクス社の3社は、12月末から1月初めにかけて株式を公開した。3社は合わせて7200万米ドル（約84億円）の資金を調達した。バイオニア社の Park は「黄教授事件の影響をとて心配していた。しかし、乗り越えることができたようだ」と話す。

しかし、どの企業もこれほどうまくいくと期待できるわけではない。ソウルのベンチャーキャピタル会社、インターベスト社でバイオテクノロジー企業への投資を担当する Jason Lim は「一部の企業にとっては、資金調達はもっとむずかしくなるだろう」と話す。

韓国のバイオテクノロジー産業界にとって目下の懸念は、韓国政府が今後、コンピューター科学やナノテクノロジーなどのライバルの研究分野に研究資金を振り向けるかもしれないことだ。韓国政府は、生物医学研究にあてる年間予算を、2001年の約3800億ウォン（約460億円）から、2005年は7000億ウォン（約850億円）を超える額に増やした。韓国科学技術省は今のところ、バイオ研究にあてる研究予算を減らす予定はないとしている。 ■





# A shot in the dark?

## はやぶさを越えて

Nature Vol. 439(132-133)/12 January 2006

小惑星「イトカワ」の上に、はやぶさの影が小さくみえる（中央）。はやぶさの任務は岩のサンプルを集めることだった。

日本の小惑星探査機「はやぶさ」は、遠く離れた小惑星のサンプルを地球に持ち帰る計画だった。しかし、サンプル回収という面では失敗に終わりそうだ。日本の宇宙開発は苦闘の途上にある。今回の経験は、日本の宇宙開発にどのように影響するのだろうか。冬野いち子が報告する。

この種の計画は常にハイリスクだ。旧ソ連の探査機が1970年代に月の土を持ち帰って以来、太陽系の天体からサンプルを無事に持ち帰った宇宙機はいまだかつてない\*。2005年11月25日、日本の宇宙航空研究開発機構（JAXA）のチームは、探査機「はやぶさ」を小惑星「イトカワ」のでこぼこした表面へ降下させた。このとき管制室のだれもが緊張した。はやぶさが小惑星の360メートル上空に達すると、着陸命令が出された。JAXA広報部の寺菌淳也副主幹は、「管制室にいた全員が、はやぶさに乗って一緒に降りているような感じだった」と思い出す。寺菌ははやぶさの降下に合わせ、写真や実況の最新版をウェブサイトに乗せるのに奔走していた。

はやぶさが累計20億キロメートルを旅し、3か月をかけて長さ540メー

ルの岩の撮影などの科学観測を終えると、旅のみやげも地球に持ち帰ってくれるだろうという期待が高まった。11月26日の朝、小惑星の表面の破片を跳ね上げるように設計された極小の金属球を、はやぶさが発射したという信号がはやぶさから届いたとき、管制室には歓声が響いた。

しかし、その喜びは長くは続かなかった。わずか数日後、JAXAは、金属球は発射されず、サンプルも採取できなかった可能性が高いと発表した。はやぶさには7月に機械の不具合が見つかった。その後も不運なトラブルに見舞われ、その状態はイトカワに着陸した直後にさらに悪化した。12月上旬、はやぶさとの通信がついに途絶えた。プロジェクトマネージャーの川口淳一郎教授は、

はやぶさを回復させる時間の余裕を作るため、はやぶさの地球への帰還を当初予定の2007年から2010年へと、3年間遅らせることを決めた。しかし、無事に帰還できる可能性は低い。

すべてがうまくいっていたら、はやぶさは日本の宇宙開発の「打開の1年」を締めくくっていたことだろう。日本の宇宙開発は、高価な人工衛星とロケットの失敗が続く一方、予算削減が続く苦しい時期を経験した。そして2003年10月に既存の3つの宇宙機関が統合された。

それらは、日本の主たるロケット・人工衛星の開発を担う宇宙開発事業団（NASDA）、科学研究のミッションを遂行する宇宙科学研究所（ISAS）、小規模の航空宇宙技術研究所（NAL）だ。この統合はコスト削減と、1970年代から1980

年代にかけて力強く出発したものの、道に迷ってしまった日本の宇宙開発の底力をよみがえらせることが目的だった。

### ロスト・イン・スペース

現在、設立から2年を経たJAXAは、今後20年間のビジョンを策定し、多くの野心的な宇宙開発計画を盛り込んだ。2006年度の予算は、数年ぶりの増額が認められ、前年同期比で2%増えることになった。しかし、日本の宇宙開発の状況が好転するか否かは、その高い目標に向かい続ける不屈の精神を殺すことなく、実績を改善する道を見つけれられるかどうかにかかっている。

日本は少ない予算であまりに多くのことをやろうとしすぎている、と指摘する専門家もいる。JAXAの予算(2006年度は1800億円)は米航空宇宙局(NASA)の10分の1であり、欧州宇宙機関(ESA)の半分未満である(グラフ参照)。はやぶさ計画の予算は120億円で、NASAのスターダスト計画の約半分にすぎない。日本は多くのミッションを実行する予算的余裕がないため、新技術を実地に試す機会が少ない。そのため、1回の打ち上げに可能な限りのアイデアを詰め込むことになる。はやぶさも、実際に使われるのが初めてのハードウェアを多数搭載していた。このうち、はやぶさを小惑星へ運ぶのに使われた、日本製のイオン推進エン

ジンなどはうまく作動した。一方、小型の探査ロボット「ミネルバ」を小惑星へ投下することには失敗した。

### 2003年の悪夢

はやぶさの科学チームの一員であるジョンズ・ホプキンス大学(メリーランド州ボルティモア)の惑星科学者Andrew Chengは「日本は、予算や人員に比較してあまりに多くのことをやろうとすることがある。果敢な決定を下したり、困難なミッションに挑戦することはすばらしい。それはたいへんよいことだ。しかし同時に、そうした決定やミッションが毎回失敗されては困る」と話す。

はやぶさが打ち上げられた2003年は、日本の宇宙ミッションに特にトラブルが続いた年だった。10月、環境観測技術衛星「みどり2号」からの通信が途絶えた。11月、日本の代表的なロケットであるH2Aの打ち上げに失敗、途中で指令破壊された。12月、1998年以来トラブルが続いていた火星探査機「のぞみ」の火星周回軌道への投入をついに断念した。2005年夏には、X線天文衛星「すざく」に搭載した日米共同開発の主要なX線観測装置が使えなくなり、ブラックホールなどの詳細な研究手段が減ってしまった。

こうしたトラブルにもかかわらず、日本の宇宙開発の専門家の多くは、日本は単に欧州や米国に追いつこうとす

るのではなく、独自の道を切り開くべきだと考えている。宇宙開発委員会の井口雅一委員長は「野心的な夢を抱くのはよいことだ」と話す。宇宙開発委員会はJAXAの予算を管轄する文部科学省に設置されており、日本の宇宙開発を調査・審議する。しかし、井口は「日本は、その目標に向かって着実に進むべきだ。エベレストに登りたいのであれば、小さな山に登りたいのであれば、いずれにしても一步一步進む必要がある」と警告する。井口はまた、失敗から学ぶことが重要だという。「JAXAはそれを理解していると思う」。

2003年に失敗が続き、宇宙開発の実績を改善しなければならないというプレッシャーを受けて、日本の政治家たちは、米国と欧州の宇宙機関のトップを含む外部の専門家に助けを求めた。JAXAは2004年、内部の抵抗にもかかわらず、「開発基本問題に係る外部諮問委員会」を設置した。この委員会はDaniel Goldin元NASA長官が委員長を務め、2005年3月に報告書を発表して21項目からなるJAXA改革の提言を行った。

Goldin率いる委員会は、JAXAが技術的責任をプライム企業(とりまとめ企業)に移し、企業との連携を強化することを提案した。これまで日本の宇宙開発は、機関本体が大部分の設計の決定について権限を保持し、製造企業との役割分担は限られていた。より多くの責任を負うことにより、日本企業が世界の人工衛星市場で競争するのに必要な高度な専門技術を身につけることも期待された。

もう1つの重要な勧告は、目標達成のための最適システムを構築すること、すなわちシステムズエンジニアリングを強化することだった。2005年10月に設置された「チーフエンジニア・オフィス」を統括する向井利典は「システムズエンジニアは計画に必要となるものを決定し、潜在的なリスクを見つけることにより、計画のスタート時に重要な仕事を担う」と説明する。また、向井はそうすることにより、プロジェ



虚しかった期待：川口淳一郎教授(中央)らのチームは、小惑星に降下するはやぶさからの信号を熱心に待った。

クトのライフサイクル全体を通して潜在的リスクの軽減を目指していると話す。新しい体制では、チーフエンジニアはプロジェクトマネージャーから独立した立場にいる。プロジェクトマネージャーには、プロジェクトの進捗状況を、これまでよりオープンにほかの人たちと共有することが求められる。

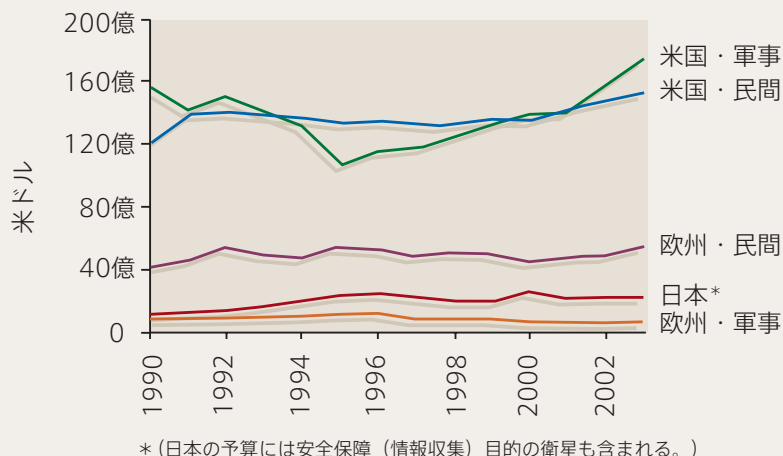
しかし、チェックが常に行われ、リスクに神経質になりすぎること、職員の士気を落とすのではないかと一部のJAXAの職員は心配する。「失敗にどう備えるかが日々の仕事になりつつある。私は、これは間違っていると思う」と川口は話す。日本は冒険を恐れない姿勢を維持しなければならないと川口は考えている。日本の宇宙開発の専門家の多くは、中国の宇宙計画がとっている手法を採用することには慎重だ。中国は有人宇宙飛行を2回成功させたが、用いた技術は既存のものだった。日本の専門家の多くは「中国の有人宇宙飛行に革新的な技術はない」として片づけている。

JAXAは、NASAやESAのように用心深くなるだろうと心配する専門家もいる。「少なくとも宇宙船の設計哲学や宇宙計画の実施においては、ESAはJAXAよりもっと保守的だと思う」とChengは話す。日本がリスク嫌いにならないことをChengは望んでいる。2005年4月にJAXAが発表した、今後20年間を見据えた「JAXA長期ビジョン」をみる限り、そのきざしはない。この20年計画は、月の探査と利用や有人宇宙飛行を視野に入れた野心的なもので、現在のJAXAの予算規模とは不釣り合いにみえる。日本の宇宙予算は1999年のピーク時に比べて20%減少しているのだ。

### 風穴は開いたか

Goldin率いる委員会を含め、専門家たちは以前から、日本の宇宙計画に戦略的ビジョンが必要なことを主張してきた。つまり、日本の宇宙計画における優先事項設定の基礎となり、また、JAXAを構成する3機関の統合をさらに進めるようなビジョンが必要だということだ。

### 10年間の宇宙予算



この3機関は統合されてもそれぞれの文化を大部分維持し、さらに一体化を進めることに抵抗してきた。ジョージワシントン大学(ワシントンDC)で宇宙政策を専門とするJohn Logsdon教授は「JAXA長期ビジョンは、最初の重要な一歩だ。JAXAは今、硬直した組織を再編成しつつあり、それには時間がかかる」と話す。

文部科学省の岩瀬公一宇宙開発利用課長は、有人宇宙飛行と月基地に関する決定がすぐに行われるわけではない。だから、JAXAはロケットの信頼性の向上などの当面の優先事項に集中できると話す。岩瀬は、2005年2月に1年3か月ぶりに行われたH2Aロケット打ち上げの成功は、より綿密に打ち上げ前試験を行った成果によるところが大きいという。

次にはやぶさをどう扱うことになるにせよ、小惑星への降下前にはやぶさが送ってきたデータと映像の分析だけで、川口のチームは何か月も忙しいはずだ。1500枚を超える高解像度画像から、小惑星の表面には岩屑(がんせつ)がなく、ごつごつしていることがわかった。これは、NASAの小惑星探査機「ニア・シューメーカー」が2001年に小惑星エロスを訪れたとき、エロスの表面では風化が進んでいたこととは対照的だ。

はやぶさは、JAXAが期待したすべてを達成できたわけではないが、その工学的・科学的業績を疑問視するものはほとんどいない。はやぶさの米国のプロジェクトサイエンティストである、NASAジェット推進研究所(カリフォルニア州パサデナ)のDonald Yeomansは「最終的に小惑星のサンプルを地球に持ち帰ることに成功してもしなくても、この計画は科学的観点からは成功だ。日本の飛行管制チームは、予期しないはやぶさの異常や奇妙な岩だらけの小惑星の表面にうまく対応し、任務を果たした」という。

JAXAが今回の経験から学んだことは、今後10年のJAXAの成功を左右するだろう。JAXAの的川泰宣執行役は、「全体として、明るい雰囲気はできてきたが、まだ(停滞状態から)完全に脱却はしていない。」と話す。「はやぶさは、風穴を開けられる十分なミッションだった。本当に風穴を開けたかどうかは、これからわかるだろう」。

冬野いち子はNatureのアジア・パシフィック特派員。

\* 記事掲載後の2006年1月15日、NASAの無人探査機「スターダスト」が彗星のちりを地球に持ち帰ることに成功した。





# Awash with fossils

## 初期人類化石の宝庫、 アワシュに行く

Nature Vol.439(14-16)/5 January 2006

エチオピアのアファール地方には、最古の人類の痕跡があちこちに残っている。次なる発見をめざして、文字どおり命をかける献身的な専門家チームに、Rex Dalton が同行取材した。

エチオピアには、辺境の地アファールについて格別の言い習わしがある。それは、「すべての始まり」という言葉だ。厳しい環境のこの地域にぽつんと立つ低い丘から、多数の化石が見つかり、人類の始まりに光が当てられたのである。

2005年12月初旬のこと。赤道近くの照りつける太陽の下、古人類学者の国

際調査チームがこの丘で化石の骨や歯、石器類を探し求めて堆積層を調べていた。このチームは、ここで20年以上にわたって調査を続けている。今から5年前、彼らは有望な土地としてAsa Issie、「赤い丘」とよばれる遺跡を見つけた。それは季節はずれの激流のせいで、調査チームがその地域に足止めを余儀なくさ

れたときのことだった。そして彼らは昨年、夏の雨で近くのアワシュ川が増水したあと、地表に化石が露出していないかを見るため再びその遺跡を訪れた。

前かがみになったり腹ばいになったりして、地面にびっしり転がっている石ころに絶えず目を配りながら、調査チームのメンバーたちが峡谷にゆっくりと散らばっていく。そのかたわらには地元民がいる。目が利き、独自の知識を備える彼らは、調査を成功させるために不可欠な存在だ。

最初に見つけたのはサイの仲間(Ceratotherium)やネジツノレイヨウ族(Tragelaphini)の骨の化石で、この地域が以前どんな環境だったかを知る手がかりとなるものである。そうこうするうち、昼下がりの風の中に、大きな叫び声が響いた。「犬歯だ！」

たくさんの白い小石が散らばる中から、約400万年前のヒト科動物の、クリーム色をした歯が見つかったのだ。1か月におよぶフィールド調査の開始から、まだ3日めのことだった。この発見により、調査チームは13年連続でヒト科の化石標本を見つけたことになる。やがて西の山並みの向こうに日が沈むころ、チームリーダーの1人であるTim White(米国カリフォルニア大学バークレー校)が私に話しかけてきた。「こんなところは世界のほかのどこにもない。特別な場所だよ」。

Whiteたちのような調査チームもまた、ほかにはない。ミドルアワシュ・プロジェクトは最重要級のヒト科化石を毎年のように発見してきた。最古のホモ・サピエンスの1つや、580万年前のアルディピテクス・カダバも彼らの発見だ<sup>1-3</sup>。ほかの古人類学者たちが、より古いヒト科化石やそうした発見がもたらす名声を追い求めるなか、ミドルアワシュ調査チームのすばらしいところは、類人猿から人類への進化の軌跡を具体的に示すようなヒト科動物の特徴を新たに見つけてきたことである。

こうした成功の秘けつとして、プロジェクトがもつ国際的な側面が挙げら

れる。プロジェクトには、学術的に最高の能力が集まっている。アフリカの科学者たちは海外の一流大学で博士号を取得し、その後母国に戻って研究を行い、プロジェクトを育ててきた。海外からきた White のような科学者たちは、チーム内では少数派だ。White 以外に、この調査チームでリーダーを務めるロスアラモス国立研究所（米国ニューメキシコ州）の地質学者 Giday WoldeGabriel、アディスアベバにあるエチオピア国立博物館の理事で古人類学者の Berhane Asfaw、政府機関の考古学者 Yonas Beyene はみなエチオピア人である。Asfaw と同様にパークレー校で博士号を取得したチームの主要メンバー、Yohannes Haile-Selassie は、ヒト科研究の拠点である米国オハイオ州のクリーブランド自然史博物館で自然人類学の学芸員をしている。

調査チームに参加しているポスドクや学生たちは、フランスやレバノン、トルコ、米国からやってきている。全員が同じテーブルで食事をとり、チームリーダーもほかのみんなと同じく、ショベルをもって土を掘る。White はチームを「こき使う」が、若手研究者たちもまた、White からの意見を心待ちにしている。ある夜など、ポスドクの Michael Black（ヒト科の生体力学の専門家と、キャンプの太陽光発電担当者の2役をこなす）は、White のその日最後の指示を長い時間待ち過ぎたせいか、夕食のテーブルで眠ってしまった。

今回ヒト科の歯を見つけたのは、Ferhat Kaya だった。トルコのアンカラ大学の卒業生で、非常に小型の哺乳類を研究している。米国の博士課程プログラムに進むため英語力を懸命に磨いている Kaya は、White とあいさつ代わりにハイタッチ（頭上で互いの手を打ち合わせる）をして、「よくやった」といわれて顔を輝かせていた。また、今回の調査で最初にヒト科化石を発見した Kaya が、訓練を受けた科学者としてはチームで唯一のイスラム教徒だったことに誰もが喜んだ。「すばら

しいことだ」と Asfaw はいう。「チームの国際性をよく表しているよ」。

ミドルアワシュ調査チームは毎年、11月か12月にフィールド調査に入る。この時期の天候が、化石を探すのに最も適しているからだ。しかし、まだ雨が降る時期でもある。かつてフランス人の研究者が増水に遭い、雇ったアフール族に彼を乗せた筏をアスファルト舗装の高速道路まで引っ張らせて、何とか逃げ出したこともあったという。

このプロジェクトは政変にも脅かされてきた。1980年代には、エチオピア国内の混乱や新しい古文化財保護法によってほとんどのフィールドワークが中断した。今回、調査チームにはサンフランシスコ・クロニクル紙の David Perlman と私が合流したが、1981年にこの調査が開始して以来、ジャーナリストの同行が許されたのはこれが初めてのことだ。

化石が散らばるアフール地方は、エチオピアのほぼ中央の高地にあるアディスアベバから北東にわずか250キロメートルほどにある（地図参照）。しかし、ミドルアワシュの発掘現場へ下る3日間の行程は、厳しく危険なもので、調査チームはブーリの丘にたどり着くのに道なき道を進まねばならない。

### アフールの景観

この乾燥した土地には、粗末な小屋の並ぶ小さい村が点在している。牧夫が新しい草を求めて移動し、村を放棄することもよくあるという。私の目には、これらの小さな村落はずっと前の時代からほとんど変わっていないように思えたが、現在のアフールの生活スタイルは「カラシニコフ銃のある新石器時代」とも形容されるらしい。確かにほとんどの牧夫がこのロシア製のライフル銃を携えていて、なかには携行式ロケット弾で武装した者もいた。

アフール族は、もう1つの部族であるイッサ族と対立している。イッサ族は、放牧地を探してソマリアから北へと進出してきた部族だ。そうした部族間



の銃撃戦に出くわすことのないように、古人類学者たちは日々、情報収集を怠らない。調査チームには常に武装した警官が付き添っており、アフール族の族長や指導者も随行している。族長の Hamed Elema 自身、熟練した化石探索者となっているくらいだ。調査チームは1年前、銃撃戦の恐れがあったために、新しいヒト科化石の年代調査を断念しなければならなかったという。

12月、重い荷物を積んだ総輪駆動トラック9台がアディスアベバを出て北東に進み、アワシュ川を經由して「ブーリ半島」（遺跡を見つけるのに使われた衛星画像の形から「半島」とよばれる）へ向かった。このドライブ道中の白眉は、アフリカ地溝帯に沿ったテクトニクス活動で作られた山々が連なる壮大な景色だ。この地溝帯はアフリカ東部を縦に走るもので、アフール地方では、アラビア・プレートとソマリア・プレートの2つがヌビア・プレートから東向きに引き離され、地殻の巨大な塊の移動が起きている。

ブーリ丘陵に立ち、地溝帯の縁を西向きに眺めると、その山並みは巨大な階段のようにも見える。地殻変動によって隆





収集品の運命：Tim White（右）が見つけた多数の化石は、エチオピア国立博物館に新設される古人類学棟（左）に収められることになっている。

起したのち、断面が崩れ落ちたのである。北を向くと、地殻の塊が移動したり重なり合ったりしたあとの複雑な稜線を描いている。南には、水をたたえワニやカバでいっぱい、のヤルディ湖がある。

雨が山脈の端を洗い流し、さまざまな年代の化石を露出させる。しかし、これらの化石の年代を調べるには手間もかかるし、たいへんだ。地球化学的な検査を行うための試料を採取するのに、何週間もかけて難儀なハイキングをすることさえある。ある化石の年代を突き止めるためにいちばん古くからある最上の方法は、その化石の上か下にある火山性凝灰岩の層の年代測定をすることだ。だが、凝灰岩が気候や時間経過によって変性していると、年代測定が可能な痕跡は得られなくなる。そうなれば地質学者たちは、年代がすでにわかっている遠方の堆積層と、化石が見つかった地層との関係づけをしなければならない。

たとえば、WoldeGabriel と Haile-Selassie はアルディピテクス・カダバの化石標本の年代を決定するのに数年かかった<sup>4</sup>。「地質学はまだ発達途上にある。もっと複雑な断層も、これから調べていかないといけない」と WoldeGabriel はいう。

辺境の徒歩旅行は、エチオピア人であっても命の危険を伴うものだ。1990 年代、Haile-Selassie と

WoldeGabriel が宗教上の聖なる村に近い地域を探索していたところ、怒ったアフール部族民に追い立てられたことがあった。「彼はカラシニコフ銃を構えていた。こちらがエチオピア人かどうかなんて、おかまいなしだった」と WoldeGabriel は回想する。

とはいえ、この調査にはそれだけの価値があった。彼らの 2001 年の研究論文では、(当時、知られるうちで最古のものだった) このヒト科動物が、従来考えられていたようにサバンナで暮らしていたのではなく、樹木の多い環境にいたことが報告されている。

「ブーリ半島」では、ほんのちょっと車を走らせるだけで、興味深い堆積層に行き着く。この丘では初期のホモ・サピエンスが見つかった。ブーリ村近くでは、100 万年前のホモ・エレクトゥスが発見されている<sup>5</sup>。ハイエナが洞窟にすみついていて、調査チームが探索を開始するといっせいで出てくることから、「ハイエナ・コンドミニウム」ともよばれる場所だ。また、250 万年前のアウストラロピテクス・ガルヒは、この丘がちょうどアワシュ川に向かって低くなるところで見つかった<sup>6</sup>。この遺跡は、非常に早い時期からアンテロープの骨を石器で切っていた痕跡を示す証拠が見つかったことでも知られる。さらにこの川を渡るとマカ遺跡があり、ここで調査チームは、最初の主要な研

究成果の発端となった、340 万年前のアウストラロピテクス・アファレンシスを発見している<sup>7</sup>。

ところで、1974 年にルーシーの名で知られるアファレンシス骨格化石が発見された<sup>8</sup>ことで有名なハダール発掘現場と、ブーリはまったく違う。ブーリから北にちょうど 70 キロメートル行ったところにあるハダールでは、ヒト科化石が多数見つかっているが、それらの年代はみな一様に 300 万～350 万年前である。これに対してブーリの化石は年代も種も多様で、古人類学者が人類の進化の特徴を解明するのに役立つ。

こうした材料すべてを拾い出して調べるため、ミドルアワシュ調査チームはすぐれた収集法をいくつか編み出した<sup>9</sup>。その 1 つが「腹ばい法」だ。まず、化石のありそうな区画に測定の糸で印をつけ、その区画を研究者たちが肩を並べて端から端まで腹ばいで進み、見つけた化石をすべて拾い上げていく。その後の手順は「メンテナンス」とよばれるもので、同じ調査地点のどこかでまた浸食が起きていないかをチェックするため、いろいろな時間間隔をおいてそこに戻ってみる。地表に露出した化石は、すぐに見つけないとばらばらに崩れてしまうからだ。

フィールド調査に費やす時間は貴重であるため、White は調査現場を監視するのに最も効率よい方法を見極めよ



うと、ある実験を行っている最中だ。彼は、200 個の化石標本雄型をアワシュのとある場所に植え込んだ。今後「メンテナンス」のため、調査クルーがここを定期的に訪れる予定である。いったい何個の雄型が見つかるかを調べて、見逃しをゼロにするにはどのくらいの頻度で訪れる必要があるかを判断したいと White は考えている。

こうした姿勢を見れば、この調査チームが長期的な視点に立って取り組んでいることがよくわかる。White は、彼がいうところの「人類化石の宝探し」を嫌う。短期間で人類化石をすばやく手に入れて、ニュースの主役になろうとするような行為は、彼にいわせれば邪道だ。

この調査チームにとって、動物化石の一覧作成はヒト科化石の保存と同じくらいの価値がある。2004 年のフィールド調査のシーズン中、チームはおよそ 1400 個の脊椎動物化石を収集した。その中身はゾウの骨から小型哺乳類の歯までさまざまで、見つけた化石はワックスを付けた針先に保存された。すべての化石は洗浄されて、約 1 万 5600 点の脊椎動物化石を収蔵するアディスアベバの国立博物館に保管されている。エチオピア政府は博物館のために新しく 350 万ドル（約 4 億 2000 万円）の研究施設を建設中で、1 棟まるごとが古人類学の収蔵物保管にあてられる予定だ。

こうした保管庫があれば、どの調査チームにとっても発見したヒト科化石の研究の助けとなる。たとえばフランスの古人類学者 Michel Brunet は、チャド産で最古のヒト科にあたるサヘラントロプス・チャデンシスの年代を調べるのに役立てた<sup>10</sup>。エチオピアの収集化石のうち、同年代に生息していたブタの仲間 (*Nyanzachoerus syrticus*) を使ったのだ。このブタ種はおよそ 570 万年前に姿を消したことがわかっており、そのため Brunet が発見した「トゥーマイ」という名のヒト科化石も、少なくともそのくらい古いものとわかった。

Brunet の調査チームの元メンバー、Jean-Renaud Boissarie (カリフォル

ニア大学パークレー校) は、現在、ミドルアワシュで動物の化石記録、特にカバ類の記録を充実させようと探索している。これらの動物は、年代や古生物地理学に関してかなり詳しい情報をもたらす可能性がある。カバ類は水の中にすむが、河川の流域間で種が違っている。Boissarie が探しているのはカバの頭骨や歯で、それらから炭素同位体試料を抽出して、その動物の食餌や環境について知ることができる。

### 調査には苦渋の選択がつきもの

「では、君はどの年代を調べたい?」と、プーリヘ向かう車の中で White は Boissarie に問いかけ、いくつかの選択肢を並べた。Boissarie は 250 万年前を選んだ。ということでチームはまず、アワシュ川に近いルバカ地区に向かい、そこをうろつくライオンに注意して目を配ることになった。

ルバカ地区の低い丘は化石標本の年代測定に使われる火山性凝灰岩でできていて、そのためにほとんど植物がない。Boissarie の目的以外にも、今日はこの場所にもう 1 つのお目当てがある。石器である。ガルヒの化石標本は、切断の痕跡があるアンテロープの骨といっしょに見つかったが、石器はなかった。White と Asfaw はこのヒト科化石と石器類を結びつけないと考えている。

暑い中を 1 時間半歩いたあと、Boissarie は目的をとげることができた。チームメンバーの Kampiro Krantu が、峡谷の中で地表に露出していた、歯の付いた立派なカバの顎を見つけたのだ。Krantu は調査チームの化石探し名人の 1 人である。学術的な訓練は受けておらず、チームには彼が話すコンソ語を話せる者もない。それでも、彼の化石を見つけ出す才能は語り草になるほどにすごいという。

チームリーダーたちは今回、あまり運に恵まれなかったようだ。White は、とある山腹で黒い玄武岩製のチョッパーを見つけた。しかし、その石器のあった堆積層には本来の場所から洗い

流されてきたことを示す証拠があったため、彼はそれをあきらめた。本来あるべき場所にある石器を見つけるには、また別の日を待たねばならない。

フィールド調査が始まって 1 週間。チームは低木の茂みを抜ける新しい道を切り開き、トラックの往来をしやすくした。また、南の地溝帯の縁に向かって、見込みのありそうな丘陵地帯を探索し始めた。だが、ゾウガメの化石しか見つからず、ヒト科化石への期待感は徐々にしぼんでしまった。

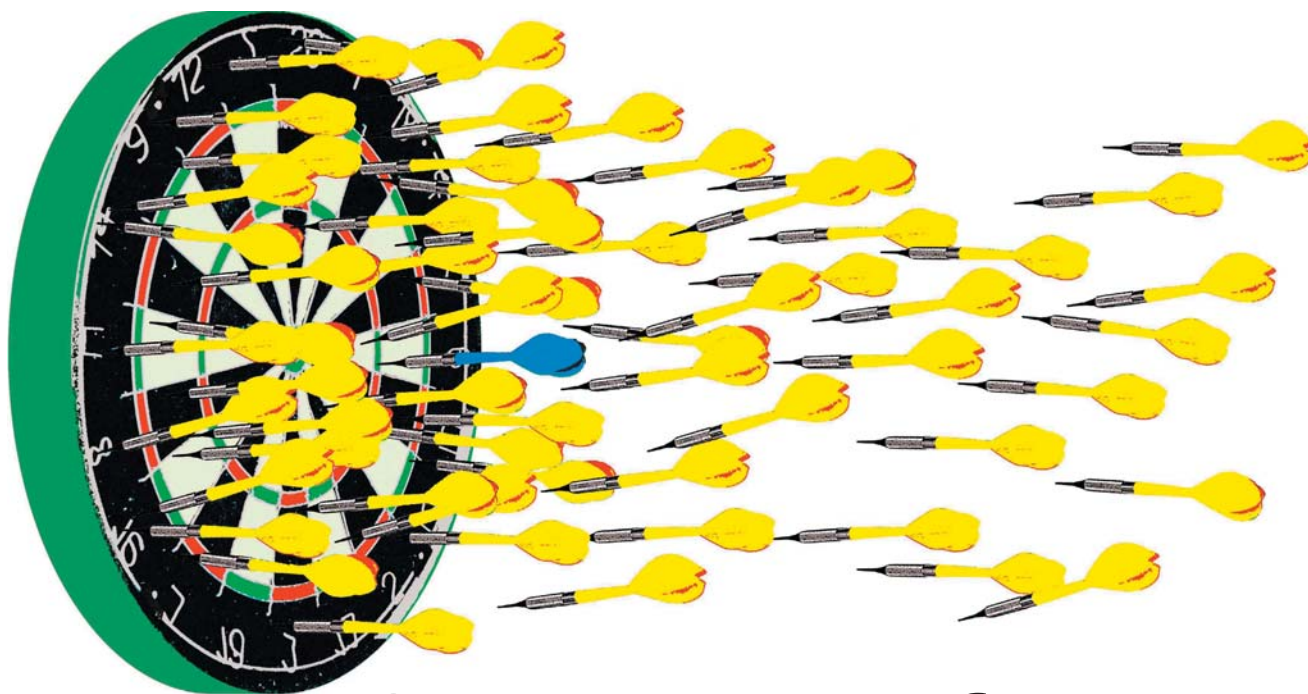
トラックに戻ると、アフール族の少女がレンガのようなゾウの歯をもって我々を待っていた。White は冗談めかして、我々を護衛する警官に彼女を逮捕するふりをさせ、彼女に化石をもとの場所に返すようにいった。彼らがこうした品々を持って帰ると、それを見た他の地元民が周辺の土地から化石を持ち去るようになって、貴重な地質学上の情報が破壊されてしまうことを White は懸念しているのだ。

その 1 週間後、調査チームは新たな化石が露出してないかを確認しに現場に戻った。そして、ゾウの歯の発見地点近くで、チームの熱気をさらに高めるものを見つけた。ヒト科の歯の破片が 1 個あったのだ。

歯の残り部分がないか、その破片の周囲の、大量の土をふるいにかけることになる。次に、凝灰岩の年代測定をしてから、発見現場の「メンテナンス」にかかる。研究論文の発表はまだ何年か先のこともかもしれないが、いま一度いおう。アフールには間違いなく、「すべての始まり」がある。 ■

Rex Dalton は *Nature* の西海岸地区特派員。

1. White, T. D. et al. *Nature* **423**, 742-747 (2003).
2. Haile-Selassie, Y. *Nature* **412**, 178-181 (2001).
3. Haile-Selassie, Y. et al. *Science* **303**, 1503-1505 (2004).
4. WoldeGabriel, G. et al. *Nature* **412**, 175-178 (2001).
5. Asfaw, B. et al. *Nature* **416**, 317-320 (2002).
6. Asfaw, B. et al. *Science* **284**, 629-635 (1999).
7. White, T. D. et al. *Nature* **366**, 261-265 (1993).
8. Johanson, D. C. & Taieb, M. *Nature* **260**, 293-297 (1976).
9. White, T. D. C. R. *Palevol* **3**, 341-351 (2004).
10. Brunet, M. et al. *Nature* **418**, 145-151 (2002).



# Outrageous fortune

## 人間原理、とんでもなく幸運であること

Nature Vol.439(10-12)/5 January 2005

J. MAGEE

私たちの宇宙の様相について「偶然の産物に近い」と考える宇宙論やひも理論の研究者が増えてきている。これは、たわいのない思考実験なのか、それとも科学自体への挑戦なのか？ Geoff Brumfiel が探った。

「なぜ私たちはここにいるのか？」これまで、哲学者や神学者、あるいは酒に酔った人々が頭を悩ませてきた問題だ。これに対して理論物理学者は、より本質論的な問題提起をする。「そもそも、ここに何かが存在するのはなぜか？」という具合に。

物ごとを大きくとらえる研究分野である宇宙論の研究者たちは、ここ 20 年の間、その方程式における予測不能な数学的変動に苦しんできた。ビッグバン以降の宇宙の成長を制御する数値がわずかでも大きすぎると、宇宙の膨張速度が大きくなりすぎ、陽子と中性子は互いに結合して原子を形成できる距離に近づけなくなる。逆にわずかでも小さすぎると、宇宙は十分に膨張しなくなり、あらゆるも

の温度が過度に高いまま保持され、原子核が 1 つも生成されなくなる。素粒子の観測質量と基本的な力の強さについても、同様の問題がある。

別のいい方をすると、世界一流の宇宙論の研究者たちが示す方程式が正しいとするなら、現在の宇宙の様相が偶然によってもたらされた、つまり、莫大な数の中からある特定のたった 1 つの数に遭遇するような確率で今の状況にある、という可能性は極めて低いことになる。「(その偶然とは)  $10^{120}$  の部分に分けられたダーツボードの中心的にダーツを命中させようとするようなもので、まったくばかげた確率だ」と、スタンフォード大学 (米国カリフォルニア州) でひも理論を研究する Leonard Susskind はいう。

### 途方もなく稀なこと

物理学者はこれまで、私たちの宇宙はまったくの偶然でできたのではない、という態度で臨んできた。これらの定数の値を設定する、未知の根本的な要因があるにちがいないというのが、物理学者の考え方である。「根本となる原理が未解明であり、だからこそ研究を強化する必要があるという考えだ」。ノーベル賞を受賞した理論物理学者で、ケイヴィル理論物理学研究所 (カリフォルニア州サンタバーバラ) の所長 David Gross はそう話す。

ところが、ここ数年で状況が変わった、とロンドン大学クイーンメリー校 (英国) の天文学者 Bernard Carr は語る。ひも理論や宇宙論の研究者たちが

次々に、「偶然だ」という説明のしかたをし始めているのだ。この考え方が正しいとすると、自然界の各種定数には意味がないことになる。「これまで多くの人々が、このような考え方には、ほぼ猛反対の態度をとってきた。それは科学として適切なこととは思われなかったからだ。しかし、最近になってその姿勢に変化が生じている」と Carr はいう。

こうした姿勢の変化は、私たちの宇宙が唯一の宇宙でない可能性を示す研究が出てきたことを発端にして現れ始めた。1980 年代前半から一部の宇宙論の研究者は、ビッグバン以前の宇宙の膨張期に、複数の宇宙が形成されたと主張してきた。その後、ひも理論の研究者たちは、 $10^{500}$  個の宇宙が存在する可能性があるという計算結果も発表している。この数値は、私たちに観測可能な宇宙で存在している原子の数をはるかに超えるものだ。そしてこの仮説にしたがうと、私たちの宇宙に似た宇宙がほかにもいくつも存在すると考えることの合理性が高まるのだ。「これは、ものすごい数のダーツを、手当たりしだいにダーツボードに向かって投げつけるようなものだ。もちろん、いくつかのダーツが的に確実に命中するだろう」と Susskind はいう。そして、私たちが、私たちの宇宙に存在しているのは、ほかの宇宙では存在できないからにほかならない。

しかし Gross は、「これは興味深い理論だが、1 つだけ致命的な問題がある。この理論の正誤を立証する方法がないことだ」と話す。私たちの宇宙とは、その定義からほとんど明らかなように、私たちが観測可能であるすべてのものを意味している。そのため、私たちが実は複数の宇宙によって構成されたコスミック・ランドスケープ (cosmic landscape) の中で存在しているのか、それとも私たちの宇宙が唯一無二の宇宙なのか、という点を確認できる明白な測定法は私たちの宇宙の中には存在していないことになる。理論の正誤を立証する方法がない以上、これは科学

ではない。少なくとも、従来のいかなる定義によっても科学とはいいがたいと Gross は話す。Carr は「Gross はこの理論について、宗教的特質を一部帯びた科学だととらえていると思う。信仰や美といった事柄が議論の要素になりつつあることから、彼のその考えはある意味で正しい」という。

それでも、宇宙論とひも理論が重なり合う研究分野では、複数の宇宙によって構成されたランドスケープ、という考え方が支配的な見解になりつつある。「将来は、これよりもすぐれた考え方が生まれることを心から期待している。しかし現時点では、このランドスケープ論が最善の考え方だ」と、プリンストン高等研究所 (ニュージャージー州プリンストン) でひも理論を研究する Juan Maldacena は、この研究分野の多数の研究者の見解をまとめるように、そう話した。これは現在の物理学が大きな賭けともいえる状況にあることを示している。ひも理論の研究者は、正しさを検証できない理論を研究するなんてことは無謀な行為だと受け取られる危険性を理解しているが、かといって意味がないかもしれぬ一連の数値に意味を見つけようとする研究にも納得していない。

### ケプラーの誤り

このジレンマの核心にあるのが、「人間原理」という考え方だ。これは、現在の世界がこのような様相を呈しているのは、それを観測する人間が宇宙の特別な条件下に生存しているからだ、とする考え方である。この概念自体は新しいものではないが、従来は科学というよりも哲学としてとらえられてきた。

しかし一部の科学者は、観点を变えて物ごとを考えるうえで、この人間原理が役に立つという。「このような考え方を考慮に入れることは非常に重要で、さもなければ、宇宙に関してまったく誤った結論に達してしまう。たとえば、私たちの太陽系は典型的なものだと考えられているかもしれないが、宇宙において典型的なものとは、銀河間の空間で星が 1

つも見えないような地点をいう」。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) で宇宙論を研究する Max Tegmark はこのように主張する。

観測地点を考慮しなかったことで痛い失敗をした研究者は、過去に少なくない。16 世紀のドイツの天文学者ヨハネス・ケプラーは、太陽系の惑星がそれぞれ、太陽から幾何級数的な間隔で配置されている理由を解明しようと何年も研究を重ねた。彼は、惑星の配置に理由を見いだそうとした。それは彼が、私たちの太陽系こそが唯一の太陽系だと考えていたからだ。しかし現代の科学者は、私たちの太陽系は、同じ銀河系に存在すると推定されている数十億個の太陽系のうちの 1 つにすぎないことを理解している。こうなると、惑星の配置に見られる間隔は、ほとんど偶然の産物であると考えの方が合理的である。

ケプラーが惑星の軌道について苦慮していたのとはほぼ同様に、現代の宇宙論研究者は、宇宙の膨張速度を記述する宇宙定数の値に頭を悩ませている。観測される宇宙定数の値は、既存の理論が示唆する数値よりもかなり小さい。だが、それは観測結果によって正確に説明されるものであるため、理論系研究者たちは、実際の宇宙定数について、より深遠な理由を見いだそうと努力している。また、すべての現象を説明できるような偉大な統一理論を探し求めている研究者も数多い。

その一方で、実は現代の物理学者は、ケプラーのように意味がないものについて意味を見いだそうとしているのではないかと考え始めた研究者もいる。「最近になって、自然の法則は宇宙誕生時の初期条件によって決まってきたのではないかという思いを強くしている」と Susskind はいう。彼は、この主張を展開した一冊の本を書き終えたところだ (L. Susskind *The Cosmic Landscape: String Theory and the Illusion of Intelligent Design*. Little Brown, 2005)。Susskind は、我々が存在している以外にも数多くの宇宙が存在し、



自然界で定められている数値はそれぞれの宇宙で異なるものと考えている。人類が水のある惑星でしか進化できなかったように、そもそも人類は、原子が形成されるような条件下の宇宙にしか生まれてこなかったというのだ。

最近まで、Susskindのような考えをする者は少数派だった。ただし、複数の宇宙が存在する可能性は、すでに宇宙論的学説の1つであるインフレーション理論によって示唆されていた。インフレーション理論は初期宇宙に関する代表的な学説で、初期宇宙における急速な膨張によって、現在のような平坦で均質な宇宙ができあがったとする考え方である。1980年代前半に提唱されたインフレーション理論の1つでは、ビッグバン以前にインフレーションが起こっていたとされる。この理論によれば、膨張する宇宙は泡沫状でエネルギーに満ちあふれたものだったという。テキサス大学オースチン校（米国）の研究者 Steven Weinberg は、「たまたま宇宙の一部が膨張し、ビッグバンとなる。そしてそれぞれのビッグバンで、基礎定数の値が異なっているのだ」と話す。

### ひも理論

1987年に Weinberg は、結果的に人間原理に基づいた宇宙のあり方を裏づけるような予測をした。予備的観測結果では、宇宙定数がゼロと示されていたケースにおいて、Weinberg は、宇宙定数が人間原理によって説明できるものならば、宇宙定数は銀河や恒星、惑星の形成を妨げない小さな値をとるはずだが、基本的にはランダムなために必ずしもゼロにはならないと考えた。「この予測が正しかったことは、その後の超新星やマイクロ波背景放射の観測によって確認された」と Weinberg は語る。だが当時は、彼自身もこの考え方に転向することになり気ではなかったという。

複数の宇宙が存在することを示す状況証拠は、ひも理論によって示されている。ひも理論とは、極めて小さなひもが時空構造の中で振動することで、巨

視的宇宙における数多くの粒子や力を作り出しているという考え方である。ひも理論は、実験的裏づけがないのにもかかわらず幅広い関心を集めているが、それはひも理論がすべての事柄を説明できる一大理論の構築への道すじを示しているように思われるからだろう。これまで相いれなかった、相対性理論と量子力学を統一的に説明できる理論へと発展させる可能性を秘めているのだ。

しかし、理論系研究者たちがひも理論を展開していく過程において、方程式に複数の解が得られ、しかもそれぞれの解が物理的性質の異なる宇宙を表すことが判明した。「では、なぜそのうちの1つの解が我々の宇宙として選ばれたのか。それを解明することが常に目標となっていた」と、ケイヴィル理論物理学研究所でひも理論を研究する Joe Polchinski はいう。しかし20年にもわたって最大限の努力がなされたにもかかわらず、理論系研究者たちは、方程式から得られる100万通りの解、つまり、100万個存在するかもしれない潜在的宇宙を前に立ち往生したままなのである。

このように複数の解が存在するランドスケープが研究者の間で知られるようになり、やっかいであると同時に興味深い存在となった。一方で、この学説から私たちの宇宙に似た単一の解が得られることは決してなかったものの、一部の研究者は、それこそが宇宙定数がランダムにみえる理由のだと主張し始めた。もし、この数多くの解が実際に数百万個の宇宙の存在を表しているのであれば、そのうちの1つがたまたま人類にぴたりだったとする考え方も、さほど突飛なものではなくなる。

### わからないほうが幸せ

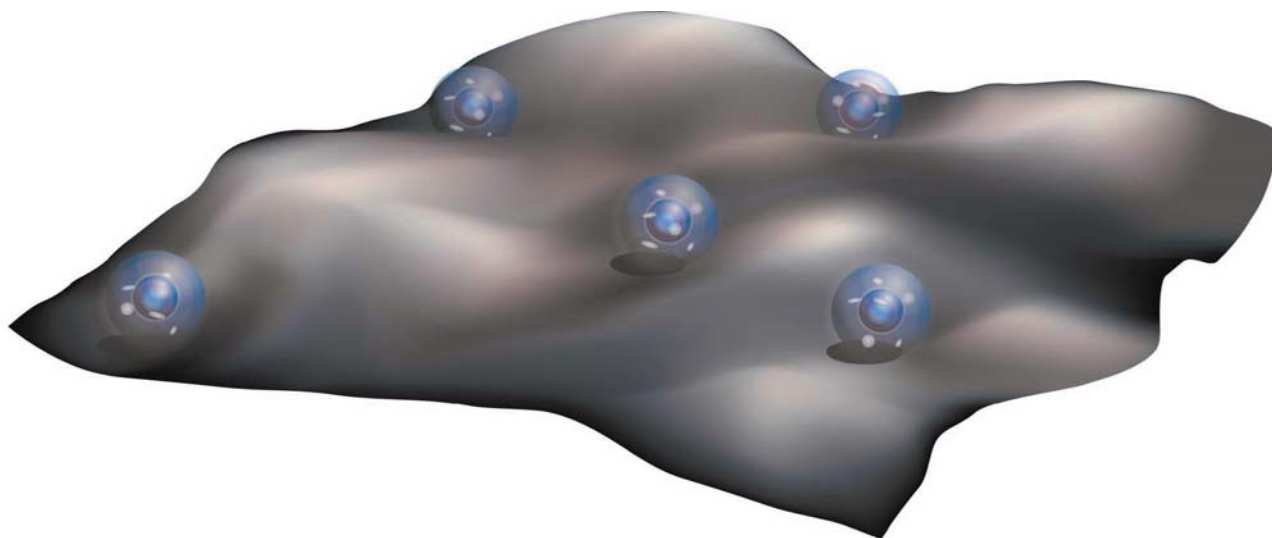
思わぬ問題となったのは、我々の宇宙が存在するためには、その背景にある宇宙の数が100万個でも不十分だったことだ。完璧に調整された宇宙定数を説明するためには、最低でも  $10^{60}$  個の宇宙が必要だと Polchinski はいう。そして2000年に、彼とローレンス・バー

クレイ国立研究所（カリフォルニア州バークレー）の Raphael Bousso は、100万以上の相当数の種類の解が存在しうることを示す計算結果を発表した。「この計算は位相的にかなり複雑なため、 $10^{500}$  個の宇宙が導き出される可能性がある」と Polchinski はいう。これほど多くの解があれば、一見、人類の生存に合わせて作られたかのようにみえる宇宙に、私たちが生まれてきたのも偶然の結果だと考えやすくなる、と Weinberg は話す。

確かに考えやすくなるだろうが、それが正しいと証明するのはむずかしい。他の宇宙は、私たちの宇宙から原理的に切り離されているため、私たちの宇宙が唯一の宇宙なのか、それとも数多く存在する宇宙のうちの1つなのかを判断するのは不可能なのである。ほとんどの科学者は科学の本質という観点から、この状況を憂慮している。生物に合わせて微調整された宇宙という考え方は、あるインテリジェントな力によって進化が決定されたと主張するインテリジェントデザイン論の支持者をすでに引きつけている。科学定数の値が偶然によって生じたものかどうかを判断する方法がないのであれば、それは神の行いの証拠であると考えればよいではないか、というのがインテリジェントデザイン論に賛同する者の主張である。

複数の宇宙によって構成されるランドスケープという概念の背後にある人間原理の考え方には、別の観点からも気がかりな点があると Gross はいう。通常の科学理論は、理論上の予測と適合した観測結果が発表されるたびに力を増すものである。ところが、人間原理にとっては本来、偶然が主たる要素となっている。通常の科学理論にとっては礎石となるパターンや相関といったものは、人間原理をむしろ弱体化させてしまう。「この原理は、何もわかっていない領域においてこそ、最も力を発揮する」と Gross はいう。

いくつかの問題点を残しつつも、人間原理の考え方を裏づける測定作業の



可能性のランドスケープ：ひも理論の構造から、最大  $10^{500}$  個の宇宙が予測されている。

準備は着々と進んでいる。2007年にはヨーロッパのCERN素粒子物理学センター（スイス、ジュネーブ）で大型加速器の運転が始まり、これまでに観測されたことのない粒子エネルギーが調べられることになっている。この加速器を使うことで、いわゆる超対称性粒子を検出できるかもしれない。超対称性粒子については、これまでに一部の研究者によって、強い力と弱い力、それに電磁力の3つを統一する手段としてその存在が予測されていた。これら3つの力に重力を加えた物理学上のすべての力を、1つの理論によって統一的に説明するための重要なステップになると期待されている。

これと同時に、私たちのすむ宇宙が、数多く存在する宇宙の1つなのかどうかを判断するためのヒントが超対称性粒子から得られるかもしれない、とハーバード大学（マサチューセッツ州ケンブリッジ）のひも理論研究者Nima Arkani-Hamedはいう。大型加速器によってある特定タイプの超対称性粒子が検出されれば、宇宙で、弱い力と重力の比の微調整という別の微調整が行われていることが明らかになるというのだ。人間原理でも同じことが論じられている。もし、数値がわずかに $10^{30}$ 分の1でもずれていれば、人類は今、ここでこんな議論はしてい

ないとされるほど微妙な調整なのだ。

第2の完璧に調整された数値が検出されれば、ますます議論が激しくなるだけのようにも思えるが、Arkani-Hamedは逆の効果があると主張する。宇宙定数は、宇宙論研究の内部においてすら論争があったのに対し、この第2の微調整は物理学の標準モデルになると考えられており、ほとんどの物理学者も、これまで構築・検証されてきた物理理論のどれよりも完全なものになると考えているのだ。その発見は、特定の基礎定数に任意性があるとする学説を補強するものになるだろう、とArkani-Hamedは話す。そして、「この測定値によって、ランドスケープ論の正しさ、もしくは誤りが直接証明されるわけではないが、この考え方を大きく推進する役目を果たすと思う」という。

#### 無条件に信じてはいけない

それでもなお、数多くの科学者は人間原理の考え方に不信感をもっており、今でも別の説明のしかたを探し求めているのも事実である。ハーバード大学のLisa Randallもその1人だ。Randallは、複数の宇宙が存在するという見解は、ひも理論で使用される方程式が精緻化されていないために生じた妄想だと考えている。「このような過激な考え方を信じ込む前に、別の考え方を探す

ことのほうが重要だ」と彼女は主張する。また、Grossも他の宇宙を検出する方法がない現状では、1つの考え方を無条件に信じるべきではないと考えていて、「現時点で到達すべき結論としては、やや極端だと思う」と語る。

Susskindもまた、人間原理を検証する方法がないことを「非常に危惧」している。しかし、人間原理を否定するわけではない。「何が科学で、何が科学でないのかを定める判定基準に合わないからという理由で、正しいかもしれない答えを捨てるのは非常に愚かなことだと思う」と彼はいう。

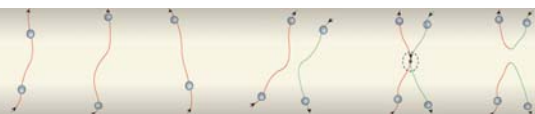
複数の宇宙が存在するという考え方が科学に登場した背景には、微調整された宇宙の数値を説明しようとしてきた理論系研究者たちの20年間の苦闘がある、とGrossは考えている。「ひも理論の研究者たちは、私もそうだが、これだけの年月をかけて研究を行ったのに理論の予測能力が高まっていない現状に大きなフラストレーションを感じている」とGrossはいう。しかし、だからといってそれは「奇怪な科学」を利用する際の免罪符にはならない、「それは危険なことだ」とGrossは警告している。

Geoff Brumfiel は *Nature* のワシントン特派員（物理科学担当）。

# Breaking through the lines

## X ラインの謎を解く

Götz Paschmann



プラズマ中の磁力線は自発的に再編成を起こし、磁気エネルギーを粒子の運動エネルギーに変換する。太陽風中で得られた観測結果から、こうした現象の規模が従来考えられていたよりも大きいことが示された。

Nature Vol. 439(144-145)/12 January 2006

プラズマとして知られるイオン化したガス中で起こる磁場のリコネクションは、魅力的で不思議な現象である。リコネクションによって磁場の形状が変わり、磁場に蓄えられていたエネルギーはプラズマを構成する荷電粒子の運動エネルギーに変換される。太陽大気中での爆発的なエネルギーの放出から核融合炉での突発的なプラズマの崩壊に至るさまざまな場面で、この現象の存在を示す直接的・間接的な証拠が得られている。Nature 1月12日号で、Phan たちは太陽風（太陽から連続的に放出されるプラズマの流れ）における磁気リコネクションに関する最新の観測結果について報告し、この過程を支配する空間スケールと時間スケールを明らかにした<sup>1</sup>。

プラズマは、宇宙空間では主に陽子と電子から成り、その中に磁場が広がっている。プラズマと磁場は、あたかも一緒になって凍結しているようにふるまう傾向がある。すなわち、プラズマ粒子は磁力線のまわりを旋回することで磁力線の物理的形状を借りていて、粒子が動くとき磁力線も粒子とともに動くのである。このことから、ボールに入ったスパゲティをかき混ぜたときの1本1本のスパゲティにいくぶん似た感じで、同じ磁力線は、絶えず位置と形状を変えてはいても、同じプラズマ粒子を常に結びつけているということになる（図1a）。

しかし、プラズマの動きが逆方向に向いている2つの磁力線を引き合わせたら、何が起こるだろうか。凍結描像では、どんなに強く押しつけられても、すべての粒子は対応する磁力線上にとどまるであろう。しかしこの描像は近似にすぎず、現在未解明のある状況では、磁力線はプラズ

マに対してすべり、分裂して「Xポイント」で交差し結合する（図1b）。こうなると、磁力線は鋭く湾曲し、ゴムで石を飛ばすパチンコのような働きをして、蓄えられているエネルギーを粒子に分け与え、粒子を高速ではじき出す。これが磁気リコネクション（磁力線のつなぎ変わり）として知られる現象である<sup>2,4</sup>。

隣接した面内にある磁力線もつなぎ変わる可能性があり、その結果、多数のXポイントを結びつける「Xライン」ができる（図1c）。つまるところ、これが、太陽風が地球の磁場に遭遇するときに起きている現象である。太陽風は太陽の磁場を惑星間空間に運ぶので、凍結原理が守られるならば、太陽風は地球磁場内に侵入できない。しかし、直接的・間接的な観測によって、凍結状態は太陽風と地球磁場を分ける磁気圏界面で破れることが示されている<sup>5,7</sup>。このため、地球の磁力線は太陽の磁力線と直接結びつくようになり、太陽風のプラズマは結合した磁力線に沿って地球の磁気圏に流れ込むのである。

しかし、リコネクションは太陽風の中でも起こりうるのだろうか。太陽表面の近くの状態は空間的・時間的に複雑に変動しているため、太陽風の密度と速度は急激に変化し、これに伴って太陽風の磁場の方向が回転する。凍結原理が破れなければ、このような遷移の両側にあるプラズマが混じり合うことはないであろう。凍結原理が破れれば、必然的に磁気リコネクションが起こる。太陽風内に配置された宇宙機は、プラズマと太陽風の急激な特性変化だけではなく、リコネクションに特有の高速プラズマ流によっても遷移領域の通過を調べられると考えられる。NASAのACE



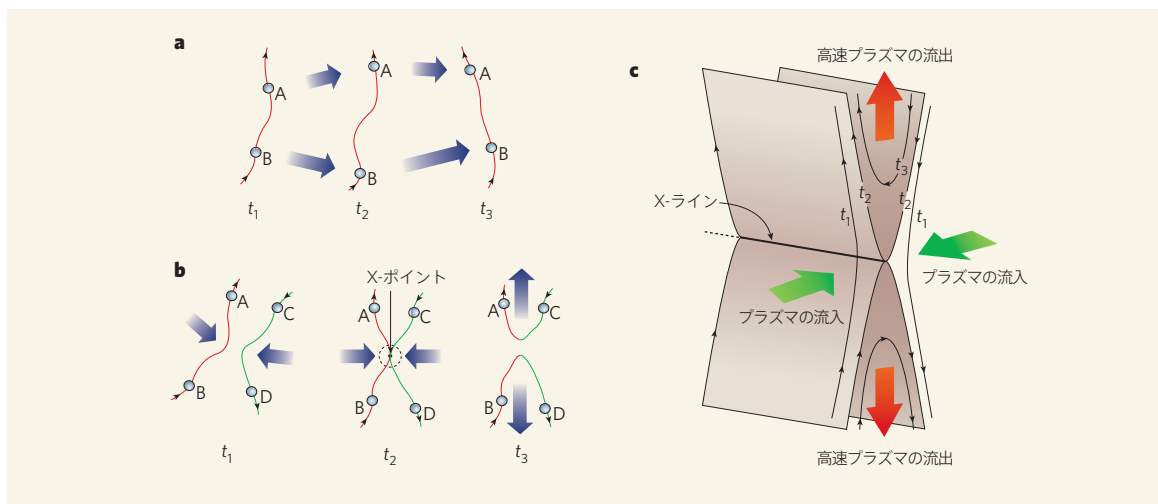


図1 磁気リコネクションの詳細。a. 磁力線は通常プラズマの流れ（青線）の中に凍結しているので、時刻  $t_1$  で磁力線によって結びつけられた2つの荷電粒子AとBは、その後も同じ磁力線によって結びつけられたままである。b. それぞれが粒子AとBおよび粒子CとDで識別される反対方向を向いた2本の磁力線は、時刻  $t_1$  で互いに近づく方向に動いている。時刻  $t_2$  で接触すると、いわゆるXポイントで2本の磁力線は分裂し、交差して結合（リコネクト）する。その結果、時刻  $t_3$  で粒子AとC、および粒子BとDが結びつけられる。大きく曲がった磁力線はパチンコ（ゴムを利用して石を飛ばす道具）のような働きをし、プラズマが高速でこの領域から流れ出る。c. Xラインに沿ってリコネクトした磁力線の透視図（緑の矢印がプラズマの流入、赤の矢印が高速プラズマの流出を示す）。時刻  $t_1$  から  $t_3$  は、図bで示される過程の同じ段階に対応する。Phan たちは太陽風中のXラインの長さを調べた。

衛星（Advanced Composition Explorer）は最近、まさにこのような現象を観測した<sup>8,9</sup>。

しかし、それはACE衛星1機のみによる観測だったため、プラズマ流を発生させるXラインの長さは測ることができなかった。また、リコネクション層が太陽風の速度で宇宙機を通り過ぎるのに要する時間は数分間だが、リコネクションが活動的であった時間がこれより長かったのかどうかは明確にはならなかった。Phan たち<sup>1</sup>は、3機の宇宙機（NASAのACE衛星とWind衛星、そしてヨーロッパ宇宙機関の4つのクラスター衛星のうちの1つ）が思いがけない配置をして、広いベースラインでの測定が可能なることを利用し、これらの未解決問題に取り組んだ。2002年2月2日、3機の宇宙機は次々とリコネクション層の通過を記録したが、これらの宇宙機によって観測された特徴は基本的に同一であり、特にプラズマと磁場の正味の変化とプラズマ流に関してはまったく同じであった。

観測されたプラズマ流は、リコネクション層の前後での磁場の変化と局所的なプラズマの密度に基づく理論予測と定量的に一致していた。Phan たちは簡単な幾何学的な検討によってXラインの方向を推測し、Xラインの長さは少なくとも250万km、地球の直径のほぼ200倍になるはずだと算定した。さらに、3機の宇宙機を通過した時間の間隔から、リコネクションは爆発的ではなく、少なくとも2時間半は安定して起きていたことが明らかになった。

磁気リコネクションの空間的・時間的特性についてのPhan たちの観測結果<sup>1</sup>は、この現象が何に似ているのか、この現象によって何が起こるかといったことについての、時として加熱しがちな議論を刺激することになるであろう。さらに、2006年後半に打ち上げ予定のNASAのSTEREO衛星によって、より広いベースラインが利用できるようになり、太陽風リコネクションの研究がより大きなスケールで展開できると期待されている。最も小さなスケールの現象については、2013年打ち上げ予定のNASAのMMS（Magnetospheric Multi-Scale）衛星によって、凍結した磁場を崩壊させてリコネクションを起こすXライン近傍における運動論的なプラズマ過程を調べることができよう。磁気リコネクションの本質、小さなスケールの現象と大きなスケールの現象を結びつける能力、そしてさまざまな宇宙環境で果たす大きな役割が最終的に解明されることに、大きな期待が寄せられている。■

Götz Paschmann、マックス・プランク地球外物理研究所（独）

1. Phan, T. D. *et al.* *Nature* **439**, 175–178 (2006).
2. Dungey, J. W. *Phys. Rev. Lett.* **6**, 47–48 (1961).
3. Petschek, H. E. in *AAS–NASA Symp. Physics of Solar Flares* (ed. Hess, W. N.) 425–439 (NASA, Washington DC, 1964).
4. Sonnerup, B. U. Ö. *J. Plasma Phys.* **4**, 161–174 (1970).
5. Paschmann, G. *et al.* *Nature* **282**, 243–246 (1979).
6. Sibeck, D. G. *et al.* *Space Sci. Rev.* **88**, 207–283 (1999).
7. Phan, T. D. *et al.* *Space Sci. Rev.* **118**, 367–424 (2005).
8. Gosling, J. T. *et al.* *J. Geophys. Res.* **110**, A01107 (2005).
9. Gosling, J. T. *et al.* *Geophys. Res. Lett.* **32**, L05105 (2005).

# 遺伝子からワクチンまで、 インフルエンザウイルス研究で世界をリードする

## 河岡義裕

東京大学医科学研究所の河岡義裕教授は、インフルエンザウイルスの研究で世界をリードしている。1999年にインフルエンザウイルスの人工合成法を開発し、つい最近では、インフルエンザウイルス増殖時の内部構造について発表した。日本とアメリカ、カナダを股にかけて活躍する河岡教授に、インフルエンザ研究の現状と今後についてうかがった。



河岡 義裕（かわおか・よしひろ）／東京大学医科学研究所感染免疫部門ウイルス感染分野教授、同感染症国際研究センター長。D.V.M., Ph.D.、獣医学博士。1955年、神戸市生まれ。1978年、北海道大学獣医学部を卒業、1980年、同大学大学院修士課程修了。鳥取大学農学部助手を経て、1983年、北海道大学大学院博士課程修了後、米国セント・ジュード・チルドレン・リサーチ・ホスピタルに留学、1996年、同リサーチ・ホスピタル教授研究員。1997年、ウィスコンシン大学獣医学部教授、1999年より現職。

インフルエンザウイルスを人工合成するリバース・ジェネティクス法という技術を開発して世界の注目を集め<sup>1</sup>、続いてA型インフルエンザウイルス強毒株が病原性を示すメカニズムの解明<sup>2,3</sup>にも成功。A型インフルエンザウイルス増殖時の内部構造を詳しく観察し（図参照）<sup>4</sup>、小児患者におけるタミフル耐性香港ウイルスの出現を証明<sup>5</sup>するとともに、鳥インフルエンザH5N1型のタミフル耐性株を確認した<sup>6</sup>。

### \* 1 DNA ウィルスと RNA ウィルス

ウィルスは、ゲノムにDNAをもつかRNAをもつかで2種類に大別される。DNAウィルスのもつポリメラーゼは、宿主細胞の核でほぼ正確に自分のDNAを転写・複製するが、RNAウィルスのもつポリメラーゼは、RNAを転写・複製する際にDNAウィルスの1000～1万倍も高い割合で間違いを起こすため、変異ウィルスが生まれやすい。

\* 2 赤血球凝集素（hemagglutinin:HA）とノイラミナーゼ（neuraminidase:NA）  
インフルエンザウイルスの表面にある接着タンパク質で、赤血球凝集素は15種類（HI～H16）、ノイラミナーゼは9種類（NI～N9）の亜型がある。例えば、HAがH3、NAがN2のA香港型ウイルスはH3N2のように表される。

### \* 3 P4 実験室

P4のPは“physical containment”（物理的封じ込め）の略で、4は4段階で最高レベル。対象となるウィルスの種類とレベルは異なるが、海外ではBSL(biosafety level)の4段階で表されることが多い。日本には1981年にP4レベルの実験室が作られたが、現在まで実際には稼働していない。鳥インフルエンザウイルスの研究にはWHOの勧告にしたがって、P3実験室で行われている。

## 変異を繰り返し、ヒトに感染しやすくなる A 型インフルエンザウイルス

**Nature Digest** — 高病原性鳥インフルエンザの大流行が懸念されています。このインフルエンザウイルスはどのように誕生するのですか？

**河岡** — インフルエンザウイルスには核タンパク質の抗原性の違いによって、A型、B型、C型に分類されますが、ヒトで大流行する新型インフルエンザはA型だけです。インフルエンザウイルスは、もともと水鳥に常在していて、水鳥には病原性を示しません。しかし、ニワトリで、あるいはニワトリから感染したブタで増殖を繰り返したり、ヒトのウィルスとハイブリッドウィルスを作ったりすると、新型インフルエンザウィルスとなって流行を起こします。

私たちは遺伝子の解析から、鳥のウィルスとヒトのウィルスのハイブリッドウィルスが1983～85年の間にヨーロッパのブタで生まれ、93年にオランダの子どもに感染したことを証明しました。ブタに感染した鳥ウィルスはハイブリッドウィルスを作るだけでなく、増殖するうちにヒトの細胞の受容体を認識するようになり、ヒトに感染しやすくなることも明らかにしています。

**ND** — なぜA型ウィルスは流行しやすいのですか？

**河岡** — もともとインフルエンザウィルスはヒトの上気道で増加し、咳やくしゃみで飛散するとともに、空気中でも生き残るため、感染が広がりやすい特徴があります。特に、A型ウィルスは8種類のRNA分節をもつRNAウィルス<sup>\*1</sup>で変異しやすく、変異したウィルスに対して、ヒトは抗体をもっていないために大流行が起きるのです。

**ND** — 先生のグループでは、A型ウィルスが増殖するときの遺伝子の動きも解明されましたね。

**河岡** — これは、私たちの研究所の感染症国際研究センターの野田岳志特任助手が行った研究です。ウィルスの8種類のRNA分節は、それぞれが核タンパク質および3種類のRNA転写酵素（ポリメラーゼ）複合体と結合してリボヌクレオタンパク質（RNP複合体）として存在しています。それが宿主細胞の核内に移動してRNA分節を転写・複製し、新しく合成された核タンパク質やポリメラーゼ複合体と結合して新たなRNP複合体を形成します。これが核外に出て宿主細胞の細胞膜直下に運ばれ、8種類そろって細胞膜から出芽し、新たなウィルス粒子となるのです。このとき、RNP複合体は1種類を中心にその周りを7種類が取り囲み、垂直に並んで移動することを最近、野田博士が発見しました（図参照）。

## アミノ酸配列が変異することで強毒化する

**ND** — インフルエンザウィルスの弱毒株と強毒株の差はどこにあるのですか？

**河岡** — A型インフルエンザウイルスの表面には、赤血球凝集素（HA）とノイラミニダーゼ（NA）という2つのタンパク質でできた突起があります<sup>\*2</sup>。HAはウイルスが細胞に感染するとき、宿主細胞にウイルスをくっつける役目を果たします。感染するためには、HAが宿主細胞のタンパク分解酵素によって2つのユニットに分かれ、活性化される（開裂活性化される）必要があります。弱毒株のHAは呼吸器や腸管の細胞がもつタンパク分解酵素によって開裂活性化されるために、局所でしか増殖しません。一方、強毒株のHAは開裂部位のアミノ酸配列が弱毒株とは異なり、全身の臓器にあるタンパク分解酵素で開裂活性化されるため、全身で増殖することがわかったのです。また、NAに変異が起こっても別のメカニズムで、ウイルスが強毒化することも報告しました。

1997年に香港で鳥インフルエンザが初めてヒトに感染しましたが、そのとき分離されたウイルスの中に哺乳動物に対して強い病原性を示すウイルス株と、そうではないウイルス株が見つかりました。強毒株の8本のRNA分節を1本ずつ弱毒株のものに組み換えたところ、あるRNA分節の作るタンパク質がグルタミン酸からリジンに変わっただけで強毒性をもつことも明らかにしました。

**ND** — 開発されたインフルエンザウイルスの人工合成法であるリバース・ジェネティクス法は、どんな技術なのでしょう？

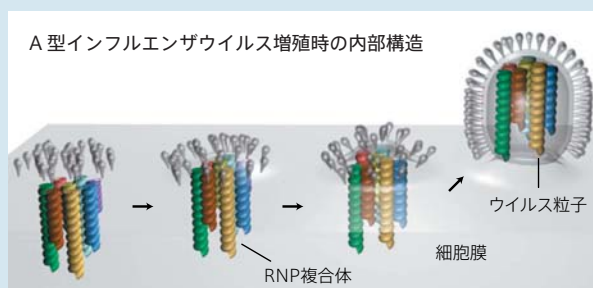
**河岡** — インフルエンザウイルスは、8種類のRNA分節と11種類のタンパク質をもっています。私たちは8種類のRNA分節をDNAに置き換えてプラスミド（環状DNA）に挿入し、またタンパク質のうち9種類を作るプラスミドも作って、1つの培養細胞に入れることにより、インフルエンザウイルスを人工合成する系を作ることに成功しました。この方法は、将来的にはワクチンの作製のみならず、遺伝子治療などでウイルスをベクター（遺伝子の運び屋）にする際にも役立つのではないかと考えています。

**ND** — それが強毒なH5N1ウイルスのためのワクチン株を作る、唯一の方法になったわけですね。

**河岡** — インフルエンザウイルスのワクチンは発育鶏卵にウイルスを接種して、ウイルスを増やし、それをワクチンにするのですが、強毒株は発育鶏卵を殺してしまうために、そのままではワクチン株として用いることができません。そこで、HAに存在する強毒性を発揮する部分を少し変換し、弱毒型にしたウイルスをリバース・ジェネティクス法で作製するのです。これによってH5N1ウイルスの弱毒ウイルスができ、これがワクチン株として世界保健機関（WHO）を通して世界に配られています。

### 日本のウイルス研究の体制について

**ND** — 遺伝子の研究から新しいタイプのワクチンデバイスの開発まで、広い分野で研究をされていますが、どのように情



A型インフルエンザウイルスの8種類のリボヌクレオタンパク質（RNP）複合体は、1つが中心になり、その周りを残りの7種類が取り囲む形でウイルス粒子に取り込まれ、出芽する。上のイラストは、その動きを横から見たものである。

報を集め、研究をコントロールされているのですか？

**河岡** — 私の研究室では、さまざまなバックグラウンドをもつ人たちが集まっていて、各自が好きなテーマで研究しています。学生たちは、最初はテーマを私といっしょに決めますが、それが学位論文のテーマにならないことも多く、自分でテーマを見つけています。それが研究室全体のテーマの広さにつながっているのかもしれません。

**ND** — 日本だけでなく、海外でも研究をされているのはどんな理由からですか？

**河岡** — 研究の拠点は日本ですが、日本でできない研究をアメリカやカナダで行っています。日本では文部科学大臣の承認が必要な遺伝子組み換え実験が多く、許可が出るのに2か月もかかります。また、もう1つの研究テーマであるエボラウイルスやスペイン風邪ウイルスの人工合成は、日本にP4実験室<sup>\*3</sup>がないため、カナダのP4施設で行っているのです。

**ND** — ウイルス学者になられたきっかけは、どんなものだったのですか？

**河岡** — 北海道大学の獣医学部に入りましたが、微生物学の授業で私がした質問を当時の教授にほめられたのがきっかけで、微生物学研究室に入りました。ウイルス研究の恩師である喜田宏先生ともそこで出会いました。喜田先生の「サイエンスをするのは人である。自分が正しいと思うことを発言し、実行せよ」という教えを忘れずにいたいと思っています。

**ND** — ありがとうございました。 ■

聞き手は小島あゆみ（サイエンスライター）。

1. Neumann, G. et al. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **96**, 9345-9350 (1999)
2. Hatta, M. et al. *Science* **293**, 1840-1842 (2001)
3. Kobasa, D. et al. *Nature* **431**, 703-707 (2004)
4. Noda, T. et al. *Nature* **439**, 490-492 (2006)
5. Kiso M. et al. *Lancet* **364**, 759-765 (2004)
6. Le Q M et al. *Nature* **437**, 1108 (2005)



## NEWS

Published online: 27 January 2006; | doi:10.1038/news060123-12

### Mars attack!

#### Red planet under fire in proposed mission.

<http://www.nature.com/news/2006/060123/full/060123-12.html>

Mark Peplow



1. Scientists have had a smashing idea that could help them explore beneath Mars's dusty surface. Slamming a hefty chunk of copper into the planet should excavate enough material to reveal water ice or carbon-based chemicals lurking underground, according to a proposed NASA mission.
2. The idea follows the success of Deep Impact, a mission that fired a copper 'impactor' into comet Tempel 1, while its delivery craft recorded the whole show with an array of sensors.
3. The new mission takes exactly the same approach to Mars. Called THOR (Tracing Habitability, Organics and Resources), it would be the second of NASA's Mars scout missions, low-cost probes that are designed and built in just a few years. The first scout, Phoenix, is due to launch in August 2007.
4. THOR has been proposed by Phil Christensen, a planetary scientist at Arizona State University, Tempe, and David Spencer of the Jet Propulsion Laboratory in Pasadena, California.
5. Christensen estimates that the impactor should be about 100 kilograms or so, and hit the planet at more than 15,000 kilometres per hour. It is hoped this would make a crater roughly 50 metres in diameter, and up to 25 metres deep.
6. Meanwhile, its mother ship would look for ice, minerals and organic compounds thrown out by the crash.
8. Keeping two rovers running around on Mars is a tremendous feat of engineering, but sending something that can burrow or drill is even more challenging, Christensen points out.
9. Moreover, exploring icy parts of the surface by rover carries the risk that a robot may accidentally seed a site with earthly life. Such a craft could generate enough heat to melt the ice, providing a miniature habitat for microbes.
10. An explosion of copper is so violent that it neatly avoids that risk, explains Christensen: "It's completely self-sterilizing."

#### High hopes

11. The two investigators have a good track record for similar missions. Christensen already has four scientific instruments on or around Mars, and Spencer was mission manager for Deep Impact. Together they think they have a good shot at winning the go-ahead for their proposal. NASA scout missions are selected from a large pool of ideas in a knockout competition.
12. "We've made it through the first couple of rounds," says Christensen. This summer he and Spencer will go up against about 15 other proposals, after which three or four will be worked up into detailed mission plans. If THOR gets the nod, they plan to launch in 2011.

#### How to read?

ほぼ 10 年前に制作された映画のタイトルで始まる今回の話の冒頭には、attack (タイトル)、under fire (サブタイトル)、smashing、(第 1 パラグラフ) と、火星に銅の塊をぶつけて地中を探査する方法に関連づけた英単語が使われている。また、同じ内容に別の表現を使うことによって、言葉の繰り返しを避けるというライティングのテクニックもみられる。「ぶつける」という意味で使われている slam (第 1 パラグラフ)、fire (第 2 パラグラフ)、hit (第 5 パラグラフ) や、最後の 2 パラグラフの win the go-ahead と get the nod (words and phrases 参照) などである。

#### A cunning plan

7. Christensen admits that it is a simple enough approach. "I guess there'll be a lot of people out there going, 'Why didn't I think of that'," laughs Christensen. But that simplicity should help to ensure the mission's success, he adds.

## NEWS

## 参考訳

Published online: 27 January 2006; | doi:10.1038/news060123-12

## マーズ・アタック！

火星を攻撃しようというミッションが提案されている。

<http://www.nature.com/news/2006/060123/full/060123-12.html>

マーク・ペプロウ

1. 表面にほこりの積もった火星の、地中探査に役立つ素晴らしいアイデアを科学者が提案した。火星の表面に大きな銅の塊をぶつけて、地中から大量の物質を掘り起こし、地中に隠された水氷や炭素系物質を調べようという計画が、米航空宇宙局（NASA）のミッションとして提案されているのだ。
2. この提案の背景には、ディーブインパクトの成功がある。これは、テンペル第1彗星に銅製の衝撃弾を打ち込み、その一部始終を探査機の各種センサーで記録するというミッションであった。
3. これとまったく同じ方法を新たな火星ミッションにも使おうということなのだ。THOR（生命、有機体、資源探査）計画とよばれる今回の計画は、わずか数年で設計・構築される、低コストのNASA火星スカウトミッションとしては2番目となる。その最初の探査機「フェニックス」は、2007年8月に打ち上げの予定になっている。
4. THORを提案したのは、アリゾナ州立大学（米国テンピ）で惑星科学を研究するPhil Christensenとジェット推進研究所（米国カリフォルニア州パサディナ）のDavid Spencerである。
5. Christensenの計算では、衝撃弾は重さ約100キログラムで、時速1万5000キロメートル以上の速さで火星と衝突することになる。これによって直径約50メートル、深さ最大25メートルのクレーターができると期待されている。
6. この衝撃弾が衝突する際、母船では、衝突によって飛び散る氷や鉱物、有機物を探索することになっている。

## 巧妙な計画

7. これが十分簡単な方法であることをChristensenは認めている。「多くの

- 人が『なぜこんなことに気づかなかったのだろうか』というと思います」とChristensenは笑って答えた。「でも単純であることが、ミッションの成功を確実にするうえで役立つはずです」。
8. 火星の表面に2台の探査車を走らせるには、非常に高度な工業技術を要するが、地中を掘り進んだり、ドリルで穴を開ける機械を送り込むことは、さらにむずかしい、とChristensenは指摘する。
9. さらに、火星表面の氷の部分に探査車を走らせることは、地球の生物を誤ってまき散らす危険を伴っている。探査車は、氷を融かすのに十分な量の熱を発生させるかもしれない、微生物にとっての小規模な生育環境を作り出してしまふ恐れがあるのだ。
10. これに対して、銅塊の爆発は極めて激しいため、そのような危険をうまく回避することができる、とChristensenは説明する。「完全な自己殺菌効果があるのです」。

## 大きな望み

11. この2人の研究者は、類似のミッションで大きな実績を挙げている。Christensenは、既に4台の探査機材を火星上あるいは火星の周辺に打ち上げており、Spencerは、ディーブインパクトのミッションマネージャーだった。この2人が力を合わせた提案が選ばれる見込みは高い、と2人は考えている。NASAの探査ミッションは、数多くの提案が勝ち抜き方式で絞られて決まる。
12. 「既に数回戦は、勝ち抜いています」とChristensenはいう。この夏、彼とSpencerは、他の約15の提案に対して勝ち抜き戦に挑む。その後、勝ち残った3〜4件の提案について、詳細なミッション計画が立てられることになっている。THORが選ばれば、打ち上げは2011年になる予定だ。

## Words and phrases

1. **hefty**: 大きくて重いこと。「でかい」なんて訳語がびったりのくだけた表現。
1. **excavate**: 掘り出すこと。考古学関連で頻出。
2. **an array of**: 「さまざまな」、「各種の」といった訳語がある。ただし、「一定の形に配列された状態」の意味に用いられる場合もあるので注意。
3. **due to** [動詞]: 「～することになっている」の意味。後ろに名詞がくると、「～に与えられるべき、支払われるべき」という意味になる。
8. **feat of**: 「feat of 名詞」で、「～の／～による偉業、芸当、離れわざ」。いずれも訳語として大げさになることが多く、こなれた表現が必要となる。
11. **track record**: もとは陸上競技の成績の意味。一般的な文章では、実績や業績という意味になる。
11. **have a good shot at ~**: 「～する見込みが高い」、「～する可能性が高い」の意味。
11. **a pool of**: 何かがたまった状態を意味する。日だまり、水たまり、プールされた人材、金など。ここでは、NASAミッションのためにプールされたアイデアのこと。
11. **knockout competition**: トーナメント方式の競技会の意味。英国で多く見られる表現。米国ではelimination tournamentという。
- 11,12. **win the go-ahead / get the nod**: 文字通り「ゴーサインをもらう」、「首を縦に振ってもらう」の意味。この記事では、NASAミッションに選ばれること。
12. **make it through**: 何かに成功することで、「切り抜ける」、「乗り切る」といったニュアンスのある表現。

## Science key words

1. **Mars: 火星**  
太陽系の第4惑星で、地球のすぐ外側の軌道を公転する、地球型惑星。極冠付近に水分子や氷の存在が確認されているが、生命が存在する証拠はまだ見つかっていない。
1. **water ice: 水氷**  
水（H<sub>2</sub>O）の固体である氷。二酸化炭素や窒素、メタンなど、標準状態で気体のものの固体を「○○氷」とよぶことがあるため、それと区別するための呼称。
1. **carbon-based chemicals: 炭素系物質**  
炭素が分子の骨組みとなっている、有機物のこと。有機物は生命活動と深く関係していることから、火星の生命の有無に関連して注目されている。
2. **Deep Impact: ディーブインパクト計画**  
NASAの彗星探査計画。2005年1月13日に探査機を打ち上げ、同年7月4日テンペル第1彗星という彗星核に衝撃弾（インパクトター）を衝突させ、そのようすを観測した。彗星内部には太陽系が形成された時期の物質が閉じ込められていると考えられており、衝突でできたクレーターや内部から噴出する物質などの観測データから、太陽系の起源や彗星の内部構造の研究が進められている。
3. **Mars scout mission: 火星スカウトミッション**  
従来の大規模ミッションを補うものとして、これまでに開発された先進的技術を用いて、小規模で比較的低コストの科学調査を火星で行うNASAの計画。



アラスカ半島の付け根にあるカトマイ国立公園内。ラゴルス山の肩ごしに朝日がのぼり、ナクネク湖の湖畔に現れたグリズリー（ハイイログマ）がシルエットで浮かび上がった。

## 遥かなる原始の大地、アラスカ

園原徹（自然写真家）



秋の深まりと同時にムースは、ハーレムを作り始める。1頭の雄が、数頭～十数頭の雌を集める。1年に1度の繁殖期、雄は自分の遺伝子を残すためのチャンスを逃すわけにはいかない。

誰もいない見わたす限りの荒野に立つと、不思議な感覚に陥ることがある。時代さえ忘れ、自分の立つ大地の周りだけが原始の時代へとタイムスリップしてしまうのだ。それがアラスカの風景である。3万頭ともいわれるヒグマは大地を徘徊し、20万頭もの群れを作るカリブーは毎年、数千キロの旅を繰り返す。ムース（世界最大のシカ類）はヤナギの葉を食べて巨体を作り上げ、オオカミの遠吠えが風に運ばれ荒野をわたる。繁殖のために世界各地から多くの渡り鳥たちが集まり、アラスカを取り巻く海にはクジラが回遊する。

厳冬期には $-50^{\circ}\text{C}$ を下回り、1年の多くを雪に閉ざされるこの場所に生きる動物の姿を見ることは、私にとってかけがえのないものである。過酷な環境の中でさえ彼らは、毛皮、牙、角、蹄などの身につけた道具だけで幾世紀も生き抜いてきた。それに対して、多くの物に囲まれ、利便さを追求し続ける人間を見ていると考えさせられてしまう。私が惹かれるのは、快適な近代文明よりも、原始の時代から続くこの荒野であり、したたかに生きる動物たちの美しい姿である。