

# nature DIGEST

ISSN 1880-0556

日本語編集版

MARCH 2009

VOL. 06, NO. 3

# 3



## 世界天文年 2009

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

# Science, culture, debate



***Nature's Books & Arts* section provides authoritative reviews of the science books everyone is talking about, plus news of must-see events, exhibitions and insights from the international cultural scene.**

**Turn to *Nature* for:**

- Reviews from leading opinion makers on the latest books
- Global coverage of exhibitions, theatre, film, music and performance
- Analysis on publishing, museums, mass media and more
- Interviews with key figures working at the interface of art and science
- The largest and most diverse Books & Arts section in any multidisciplinary science journal

***Weekly in Nature***

# nature DIGEST

volume 6 no.3 March

YEAR OF ASTRONOMY

## 世界天文年 2009

表紙: HUBBLE SPACE TELESCOPE/CHRISTIAN DARKIN

### HIGHLIGHTS

- 02 vol. 457 no.7228, 7229, 7230, 7231

### EDITORIAL

- 06 宇宙が教えてくれること **YEAR OF ASTRONOMY**

### NEWS FEATURE

- 07 次世代望遠鏡が約束する  
新しい眺め **YEAR OF ASTRONOMY**  
Jeff Kanipe

### COMMENTARY

- 16 照明を消して  
夜空を見上げよう **YEAR OF ASTRONOMY**  
Malcolm Smith

### NEWS & VIEWS

- 18 枝を広げる星形成 **YEAR OF ASTRONOMY**  
Ralph E. Pudritz

### NEWS FEATURE

- 20 エイズ救済活動の意外な擁護者 **BUSH'S LEGACY**  
Erika Check Hayden

### NATURE NEWS

- 24 「ミニ冬眠」 作戦で春を迎える  
25 テレポーテーション実現まであとわずか?

### NEWS & VIEWS

- 26 評判の悪い者をどう扱うか  
Bettina Rockenbach & Manfred Milinski

### ESSAY

- 29 フェロモン発見から50年  
Tristram D. Wyatt

### JAPANESE AUTHOR

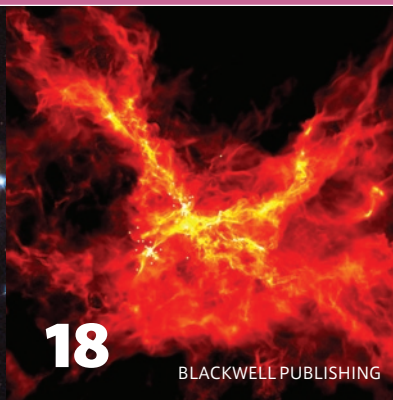
- 32 スギ花粉症のワクチン、臨床に向けて研究  
開始! — 石井 保之  
西村 尚子

### 英語で NATURE

- 34 Human embryonic stem cell trial wins approval  
ヒト胚性幹細胞を使う治療法の臨床試験が  
許可された

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

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



2009年3月5日  
毎月第1木曜日発行  
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

編集・発行人: ディビッド・スウィンバンクス  
副発行人: 中村康一  
編集: 北原逸美、中野美香、田中明美

デザイン/制作: 村上武、中村創  
広告: 米山ケイト  
マーケティング: 池田恵子

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved





Vol. 457 No. 7228  
22 January 2009

## 南極温暖化：気候再構築により明らかになってきた南極大陸の中心部の変化

**ANTARCTIC WARMING: Climate reconstruction gets to the heart of the continent**

南極半島は、地球上で最も急速に温暖化が進んでいる場所の1つだが、大陸全体の変化が全球平均気温の明らかな上昇傾向に似ているかどうかを立証することはむずかしい。それは、氷床にある測候所からの連続的な記録の大半が沿岸部のものであり、大陸内部の情報がほとんど得られないためである。1957年から2006年にかけての南極の地表気温傾向が新たに再構築された際には、この問題がうまく回避された。この再構築は、短い期間に対してはよい空間被覆範囲をもつ衛星データと、測候所からの長い時間スケールをもつ気温記録に基づくもので、気候場の欠測データ点を見積もるアルゴリズムによって、この2つを融合させている。こうして得られた記録は、データのギャップを充てんしていく以前のものよりも信頼性が高く、全体として大陸は10年間ごとにおよそ0.1℃暖かくなっている、冬と春、そして西部南極大陸で、より強い温暖化が起こっていることが示唆された。

Letter p.459, Making the Paper p.356 参照

## 構造生物学：G アクチンからF アクチンへ

### The G-to-F of actin

アクチンはほとんどすべての真核細胞で、細胞運動や筋収縮などの多くの細胞過程を駆動する繊維状のF-アクチンと、F-アクチンを作り出す球状のG-アクチンという単量体の2つの形で存在している。以前の重合体のモデルは主にG-アクチンの構造をもとにしており、G-アクチンからF-アクチンへの遷移の際に起こる構造変化は、まだはっきりしていなかった。今回、F-アクチンの構造が高分解能で決定され、G-アクチンでプロペラのようねじれを形成している2つの主なドメインが、F-アクチンではねじれておらず、分子が平らになっていることが明らかになった。分子が平らになることと、らせん状の配置をとることで、ストランド内およびストランド間の接触が安定化される。このGからFへのコンホメーション遷移は、アクチンについての以前の生化学的研究と完全に一致している。

Article 441, N&V p.389 参照

## 気候：季節の調整

### Seasonal adjustments

季節の移り変わりに伴ってみられる地球表面気温の変動は多くの研究で報告されているが、これらの変化がどの程度自然変動を反映しているかははっきりしていない。Stineたちは、こうした季節変化を陸と海の両方で空間的にマッピングし、近年（1954～2007年）の変化傾向をそれ以前（1900～1954年）のものと比較して、この問題を新たな観点から見直した。古いほうの気

温記録は自然変動が支配的であると仮定すると、近年の変化傾向は極めて異常にみえる。すなわち、1954～2007年においては、陸域の気温のサイクルには1.7日の早まりがみられ、季節サイクルの振幅（夏と冬の温度差）は減少している。この減少に関与する機構はまだわかっていないが、1954～2007年の陸域の変化傾向を調べたところ、自然変動とは一致しておらず、したがって人為起源の可能性があることが示唆された。

Article p.435, N&V p.391 参照

## 細胞：環状ATPアーゼによるDNAのつめ込み方

### ATPase rings the changes

ホモマーである環状ATPアーゼはあらゆる種類の生物で見つかっていて、染色体分離、タンパク質のアンフォールディング、ATP合成など多くの過程にかかわっている。こうした著しく多様な機能は、ATPの結合と加水分解を行う、1個の高度に保存されたコア構造から生じる。この酵素がATP加水分解と力学的機能をどのように結びつけているのかは、ほとんど解明されていない。バクテリアオファージΦ 29がもつこのような環状ATPアーゼの1つは、二本鎖DNAゲノムをウイルスの外殻につめ込むのかかわっている。Moffittたちは、この5つのサブユニットからなるモーターがDNAを一度に10塩基対（bp）ずつ量み込むことと、その10bpは2.5bpずつの4ステップに分けられて処理され、その各ステップがATP1分子の加水分解と相関して起こることを明らかにし

た。ステップ中の塩基数がこのように整数でない例はこれまで見つかっておらず、環でのATP加水分解やDNAと環の相互作用の機構について、興味がそそられる。

Article p.446, N&V p.392 参照

## 医学：脳は先回りして考える

### The brain thinks ahead

脳活動の機能的磁気共鳴画像化（fMRI）は、脳の局所血流の増加がその領域でのニューロン活動と直接相関している、という仮定によっている。Y SirotninとA Dasは、サルを使って直接記録とfMRI測定を同時に行い、血流増加はこの仮定だけでは完全に説明できず、一部のfMRI信号が実際の脳活動と無関係であることを示した。脳活動を表す成分に加えて、まもなく活動に参加すると見込まれるが、今はまだあまり活動していない脳領域でも、血流増加がみられたのである。この知見は、機能的脳画像化信号の現在行われている解釈法に疑問を投げかけると同時に、脳に今まで知られていなかった予測的機構があることも示している。

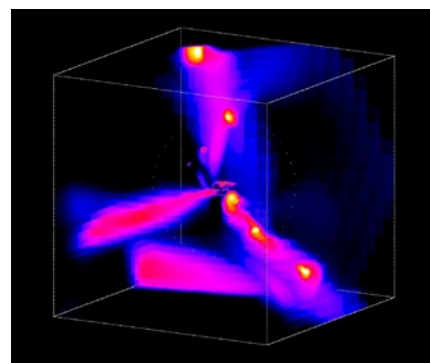
Letter p.475, N&V p.387 参照

## 宇宙：初期宇宙でどんどん進んだ星形成

### Steady progress

最近の観測結果から、100億年前の若い宇宙で星形成活動が最盛期にあった大質量銀河では、星は予想外に高い形成率で生まれたことが示唆されている。そうした形成率は普通、銀河どうしの激しい合体が原因であるとされているが、これらの銀河の多くは、現在の天の川銀河と同様に広がった回転円盤であり、このような構造は銀河がたどったとされる合体の過程とは矛盾している。新たに行われた宇宙論的シミュレーションから、これらの銀河が「ガスの流れを取り込んだ」、つまり星形成を促すのに必要な物質を、銀河を取り巻いて広がった暗黒物質ハローからやってくる冷たいガスの定常流という形で獲得したことが示唆された。

Letter p.451, N&V p.388 参照



DEKEL et al.



Vol. 457 No. 7229  
29 January 2009

## ホットジュピターはどのくらい「ホット」か?: HD 80606b の気候 HOW HOT A JUPITER?: The weather on HD 80606b

「ホットジュピター」型太陽系外惑星は多数、知られている。これらの性質は多様だが、実際上ほとんどすべてで自転と公転が同期しており、親星に面している半球は常に同じだと考えられている。太陽系外惑星である HD 80606b は、この型に当てはまらないホットジュピターで、極端な楕円軌道を描き、自転と公転が同期しておらず、そのために魅力的な観測対象となっている。この惑星は、親星に最接近する近星点では 1000 倍近く加熱される。HD 80606b が近星点付近にある際にスピッツァー宇宙望遠鏡を使って行われた観測から、太陽系外惑星の「天気」の時間変化を初めて垣間見ることができた。近赤外領域の波長  $8\mu\text{m}$  での輝度温度は、6 時間で 800K から 1500K まで上昇した。二次食の検出によって、この惑星の質量は木星の約 4 倍であるとされた。表紙の画像は、この惑星の可視光放射の計算結果を示している。三日月形の青い部分は、星の散乱光である。濃い青色の部分は、レイリー散乱とアルカリ金属イオンの吸収とが合わさって生じている。夜側での赤道領域のジェットと高緯度領域の渦は、それら自身が放射する固有の熱により成長している。

Letter p.562 参照

## 有機化学：細胞毒素が合成された

### A cytotoxin synthesized

魚介類中毒の原因となる毒素はさまざまだが、その 1 つにクロロスルホリピドがある。クロロスルホリピド分子は、構造的にも立体化学的にも複雑であり、作用機序がわかっていないため、特に関心を集めている。この天然物は入手が容易でなく、詳細な生化学的研究が困難であった。今回、クロロスルホリピドである細胞毒素の全合成が初めて報告され、十分な薬理学的解析と健康リスクの正しい評価への道が開かれた。この合成により、クロロスルホリピドに関して提案されていた構造が確認され、その分子内のポリ塩化炭化水素に予想外の反応性があることが、手始めに発見された。

Letter p.573, N&V p.548,  
Abstracts p.510 参照

## 遺伝：モロコシのゲノムを収穫

### Sorghum genome harvest

モロコシ (*Sorghum bicolor*) のゲノム塩基配列が解読された。モロコシは食糧、動物の飼料、繊維や燃料として広く栽培されている穀物で、高温と乾燥に強いので、多数の人口を抱える西アフリカのサヘル地域（サハラ砂漠南縁部）での主要産物となっている。このゲノムをトウモロコシやイネのゲノムと比較することにより、イネ科植物の進化や、高温下で特に効率よく炭素同化を行える C4 型光合成の進化の手がかりが得られる。また、モロコシの耐乾燥性を助けられていると思われるタンパク質をコードする遺伝子と miRNA も見つかるかもしれない。モロコシはほかの作物に比べ収率改善が遅れており、今回ゲノム塩基配列が得られたことは、多収化のための研究を促す大きな助けとなるだろう。

Article p.551, N&V p.547 参照



THOMASHASH

## 細胞：実生活での DNA 修復

### DNA repair in real life

実験室では普通、細胞に強い紫外線 (UV) を照射して DNA 損傷に対する応答を調べている。しかし現実の世界では、細胞は継続的もしくは断続的に弱い UV にさらされている。この場合には、どのような反応が起こっているのだろうか。現実の環境で考えられる程度の UV 量が酵母細胞に及ぼす作用についての研究が行われ、弱い UV を浴びたときに十分な感受性を示して作動する DNA 修復機構があることが明らかになった。これが RAD6-RAD18-RAD5 複製後修復経路である。この経路は、複製フォークが阻害されたときに過剰な一本鎖 DNA が生じるのを防ぐことにより、損傷を受けた DNA を細胞が複製できるようにし、細胞増殖を阻害する応答の活性化を防いでいる。

Letter p.612 参照

## 免疫：キラー細胞の記憶

### Memory in killer cells

従来、自然免疫系の一部であるとみなされてきたナチュラルキラー (NK) 細胞は、適応免疫系の細胞傷害性 T リンパ球のように免疫記憶をもつことが、最近の研究から示唆されている。今回、生理的条件下での実験により、このことが確認された。マウスのサイトメガロウイルスへの感染過程で、ウイルス特異的な NK 細胞応答がみられたのである。初回感染の後、NK 細胞は脾臓と肝臓で 1000 倍に増殖し、この細胞は数か月

間、免疫系にとどまった。また、この細胞をほかのマウスに移入してやると、そのマウスにウイルス抵抗性が生じた。これは、ワクチン設計や、適応免疫とそれよりも進化的に古い自然免疫の間の関係についての研究にかかわる知見である。

Article p. 557, N&V p.544 参照

## 物性：解明が進む超伝導

### Superconductivity unpicked

鉄 - ヒ素 (鉄プニクタイト) 化合物で、56K という転移温度を示す超伝導が観測され、高  $T_c$  銅酸化物との比較がなされるようになっている。銅酸化物は準 2 次元的電子特性をもつため、40K を超える超伝導には極めて高い異方性 (方向依存性) が存在するだろう、と考えられるようになった。Yuan たちは、この予想は当たっておらず、実際には、 $(\text{Ba,K})\text{Fe}_2\text{As}_2$  の超伝導特性はまったく等方的であることを報告している。この挙動は、既知のすべての層状超伝導体と著しく異なっている。電子密度波は、多くの種類の超伝導体で観測されており、超伝導の必要条件とみなされることが多い。鉄 - ヒ素化合物に関する最近の研究では、密度波と超伝導の間に、見かけ上は関連性がないことが明らかにされた。しかし、そうした関連性は再検討が必要かもしれない。Zabolotnyy たちは、 $\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$  の電子構造中に、ある種の秩序が存在することを報告している。その電子秩序は超伝導と共存し、室温まで持続する。

Letters pp.565, 569, N&V p.546 参照





Vol. 457 No. 7230  
5 February 2009

### 研究助成が終わるとき：研究室解散という苦しみ

#### WHEN THE GRANTS GO AWAY: The heartache of closing a lab

米国立衛生研究所（NIH）の予算は、1998年から2003年にかけて倍増したが、その後停滞期に入り、その結果として、RO1のような研究グラントの獲得競争が現在ではさらに熾烈なものになっている。研究者個人のレベルでは、RO1が1つなくなることは、研究室の生き残りをかけた長くて苦しい戦いを意味することが多い。M Wadmanは、「前車の轍を踏まない」ための2つの例について述べている。一方、国という尺度からみれば、1年間の研究費が600億ドルかそこらならば、米国の研究者や技術者の数は多過ぎるということになる。国の要求は、すぐれた研究者を必要とときにいつでも使えるようにしておくというもののだが、これは研究者たちの要求とは必ずしも一致しない。彼らが求めるのは、がんばって研究を続けられ、何らかの形でキャリアが開けていくフェアなチャンスが与えられる状況だからだ。

News Feature p.650, Editorial p.635 参照

### 生理：絶食で長生きする

#### Longevity: fast forward

さまざまな種類の生物で、食餌制限が寿命を延ばすことがあるのが知られている。哺乳類では、カロリー摂取量をほとんど、あるいはまったく減らさなくても、断続的な飢餓により寿命が延び、老化に関連して起こる異常の発生率が下がる可能性がある。本城咲季子たちは、この断続的な飢餓の影響にかかわる分子機構の研究によって、線虫（*Caenorhabditis elegans*）の寿命を延ばす飢餓方式をはっきりさせ、低分子量 GTP アーゼ RHEB-1 が寿命制御に2とおりの機能をもつことを明らかにした。RHEB-1は、断続的な飢餓による寿命延長に必要なだが、RHEB-1を阻害すると、カロリー制限と似た影響が現れる。断続的な飢餓における RHEB-1 の作用は、少なくとも部分的には、インスリン / インスリン増殖因子様シグナル伝達系のエフェクター DAF-16 を介して働く。今回の知見は、有害な副作用なしでの健康状態改善をめざす、食餌制限と似た方法の開発に役立つ可能性がある。

Letter p.726 参照

### 古環境：長い長い話

#### It's a long story

これまで知られる中で世界最大のヘビが発見された。ただしこのヘビは、約6000万年前の南米の熱帯地域に生息していたもので、地球の気候の変遷を解明するうえで重要な意味をもっている。コロンビア北東部で発見されたこの化石ヘビは、ボアコンストリクターの近縁種で、体長は13メートルあり（ちなみに、現生ヘビ類の最長報告例は

約10メートル）、体重は1トンを超えたと推定されている。この大きさのヘビが生きて行くには、30℃程度の年間平均気温が必要だと考えられ、これは現在の熱帯の平均気温よりも高い。このことは、気候システムに熱帯の気温を調節する「サーモスタット」が備わっているという考え方に、疑いを差し挟むものである。

Letter p.715, N&V p.669,  
Making the paper p.634 参照

### 生理：構造を解いて謎を解明

#### The unfolding story

誤って折り畳まれたタンパク質が蓄積すると、小胞体ストレス応答が活性化される。膜貫通タンパク質である Ire1 はこの経路で中心的な役割をもつタンパク質の1つで、キナーゼおよびエンドリボヌクレアーゼとして働く。Ire1 が HAC1 mRNA のイントロンを切り取ると転写因子 Hac1 が翻訳され、これが標的遺伝子を活性化する。Korennykh たちは Ire1 キナーゼの結晶構造を解析し、このキナーゼが自発的に集合して桿状のオリゴマーを形成することを明らかにした。それによって、キナーゼドメインがトランスリン酸化に適した配置をとり、RNアーゼドメインが配列されて mRNA 基質が結合するための相互作用部位ができる。一方 Aragón たちは、活性化された Ire1 分子が点状に集まって、小胞体膜上に高次のオリゴマーを含む分散したフォーカスができることを明らかにした。HAC1 mRNA は、3' 非翻訳領域にある塩基配列によってこれらのフォーカスへと引き寄せられ、そこでプロセッシングを受ける。HAC1 mRNA はこうして

プロセッシングのための場所へと運ばれ、小胞体ストレス応答が開始されたときにだけ間違いなく翻訳される。

Article p.687, Letter p.736,  
N&V p. 668 参照

### 進化：最古の後生動物

#### The earliest metazoans

オマーンの堆積岩から発見された化学化石は、これまで発見された中で最古の動物の証拠をもたらした。この化石ステロイドは、普通海綿類に特徴的な 24- イソプロピルコレスタンで、今から 6.35 億年以上前の、新原生代の最後の大氷河時代である「マリノアン氷河期」のころのものである。このことは、左右相称動物が急速に多様化したカンブリア紀大爆発の時期より1億年以上前の、クリオジェニア紀後期（6.35 億年以上前）の海盆の一部では、浅海域の海水に、単純な多細胞生物の生命を支えるのに十分な濃度の溶存酸素が含まれていたことを物語っている。

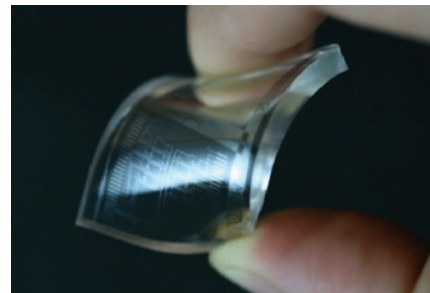
Letter p.718, N&V p.672 参照

### 材料：伸縮可能なグラフェン膜

#### Graphene at full stretch

伸縮可能な高性能透明電極は、曲げることのできる電子機器や光電子機器の開発向けに需要が多い。グラフェンはマイクロスケールですぐれた光学的・電氣的・機械的特性を示し、こうした電極の基盤材料として有望な候補である。これらの望ましい特性を維持したままで大規模なグラフェン膜を合成するのがむずかしいことはわかっているが、今回 Kim たちによって、マイクロスケールの膜と同程度の電気伝導性と光透過性を示す、センチメートルスケールのグラフェン膜を成長させる手法が報告された。グラフェンは、気相からニッケル薄層上に堆積され、その後、二酸化シリコンなどの任意の基板上にパターニングされた膜として転写される。この膜を使用して、すぐれた機械的・電氣的安定性をもつ伸縮可能な透明電極を作製できる。

Letter p.706 参照





Vol. 457 No. 7231  
12 February 2009

## みんなのダーウィン：人間性と進化

### EVERYBODY'S DARWIN: Humanity and evolution

ダーウィン生誕 200 年を記念する 3 回の特集の第 2 弾として、今週号では「みんなの」ダーウィン、つまり、人間の条件とのかかわりからみたこの偉人の遺産をテーマとしている。ヒトやヒトの親戚筋に当たる動物たちのゲノムの塩基配列が解読され、ヒトの進化や生物界の統一性に関する我々の知識が広がってきている。ゲノミクスにより、選択を被った多数の塩基配列が明らかにされたが、これらは一部で期待されたような、ヒトの進化の歴史を簡単に読み出せるものとはならなかった。E C Hayden は遺伝学研究者たちにインタビューし、人間の文化の影響を考慮しなくては、こうした配列の解釈が不可能であることを彼らが認めつつあると述べている。D Brown の 1991 年の著作『Human Universals』は、人間社会が共通にもつもの、例えば言語、社会的地位システムや社会的禁忌のような分野を中心に扱っている。進化心理学の研究者はこうしたテーマで活気づいており、議論抜きではすまされない分野では、彼らがヒトの普遍的特性と個人的特性、および社会的独自性の間のバランスを解明しようとする試みから、いくつかのおもしろいアイデアが生まれていることを、D Jones が報告している。「触れてはいけない科学」を扱っている Commentary では、さらに議論が沸騰しており、S Rose と、S Ceci、W Williams が二手に分かれ、人種や性別の遺伝学の研究は、制限なしに行ってもよいのかどうかを論じている。歴史関連では、Books & Arts で W F Bynum が、『Darwin's Sacred Cause』を批評している。

ダーウィン生誕 200 年特集 News Features pp.776, 780 ほか参照

## がん：前立腺がんのマーカーを発見

### Prostate cancer marker

前立腺がん検体に含まれる代謝物を系統的に分析した結果、筋肉をはじめとする多くの生体組織に広く存在するアミノ酸であるサルコシンが、悪性度の高い前立腺がんでは著しく増加しており、前立腺がん患者の尿中でも検出可能であることがわかった。このことは、サルコシンが前立腺がん診断のバイオマーカー候補となることを示している。マウスで、グリシンからサルコシンを生成させる酵素を特異的にノックダウンすると前立腺細胞の浸潤が低下したことから、サルコシンが転移に関与している可能性が示唆され、サルコシン経路は治療標的の 1 つとなりそうだ。

Letter p.910, N&V p.799 参照

## 化学：ホウ素の新しい形態

### A new form of boron

ホウ素は、化学的に複雑なおもしろい元素である。この複雑性は、フラストレーションに起因する。ホウ素は、周期表上で金属と絶縁体の間に位置しており、価電子が 3 個しかなく原理的には金属性を示しやすいと思われるが、これらの価電子は十分局在化

しているため、絶縁状態が現れる。この微妙なバランスにある電子状態は、圧力や温度、不純物によって容易に変わるため、ホウ素の構造と特性を確定することは困難である。今回 Oganov たちは、ホウ素の高圧下での挙動を調べ、これまで知られていなかった負に帯電した 20 面体の B<sub>12</sub> クラスターと、正に帯電した B<sub>2</sub> 対からなるイオン相を明らかにした。この新しい相のイオン性は、B<sub>12</sub> クラスターと B<sub>2</sub> 対の電子特性が異なり、そのため、それらの間で電荷移動が起こることに起因するもので、相の多くの特性に強い影響を及ぼす。

Letter p.863, N&V p.800 参照

## 遺伝：霊長類ゲノムにおける爆発的重複

### Primate genomes: going ape

現時点でゲノムの塩基配列が明らかにされている霊長類には、マカク、オランウータン、チンパンジー、およびヒトの 4 種があり、分節重複の比較解析地図を作製することが可能となっている。今回行われた地図作製で得られた結果を用いて、ヒトのすべての分節重複に関する進化史が再構築された。ヒトとアフリカ大型類人猿につながる祖

先の分枝では、一塩基対変異などの変異過程が減速していた時期に、分節重複の蓄積は 4 倍に加速していた。この見かけ上の爆発的な重複活動は、集団の有効な大きさや世代時間が変化した結果か、もしくは、ゲノムが不安定化した時期があったことを示しているのかもしれない。

Letter p.877 参照

## 医学：C 型肝炎動物モデルへの手がかり

### Hepatitis C: model answer

C 型肝炎ウイルス (HCV) は肝臓病の主要な原因だが、使いやすい小型動物モデルがないことが、HCV に対する効果的なワクチンや特異的抗ウイルス療法の開発の妨げとなっている。密着結合タンパク質オクルディンが、C 型肝炎ウイルスの細胞侵入受容体の 4 つ目にして最後の主要成分であることが同定され、むずかしかった実験モデルの開発が一步実現に近づいたようだ。マウス細胞へのウイルス感染には、ヒト・オクルディンに加え、これまでに HCV の侵入因子として同定されている CD81、スカベンジャー受容体クラス B タイプ I、クローディン 1 も必要である。

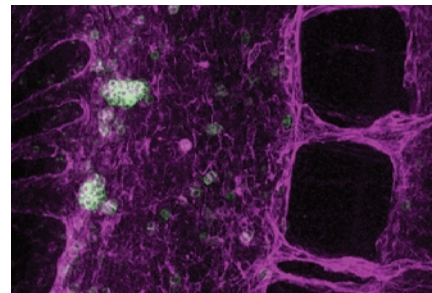
Letter p.882, N&V p.797 参照

## 細胞：血液細胞系の発生

### Blood lines

血液系が胚発生過程でどのように形成されるのかは、集中的に研究が行われているテーマの 1 つだが、その一因は、これが再生医療にとって重要となりそうな過程だからである。最終的には成体の骨髄に存在することになる造血幹細胞の形成について提唱されている主要な説は、2 つある。その 1 つは、造血幹細胞と内皮細胞系は中胚葉からそれぞれ独立に生じるとするもの、もう 1 つは、造血細胞系と内皮細胞系はヘマンジオブラストとよばれる特殊な前駆細胞から生じるとするものである。今回 3 つの論文によって、この 2 つの説が統合され、2 つの説は共に正しかったことがわかった。つまり、ヘマンジオブラストは、中間的な造血能性内皮細胞を経て造血細胞を作り出すのである。

Letters pp.887, 892, 896, N&V p.801 参照





## 社説

## Starry messages

## 宇宙が教えてくれること

Nature Vol.457(7)/1 January 2009

望遠鏡を使った科学的な天体観測が始まると、それまでずっと宇宙の中心にあると信じられてきた地球は、たちまちその座から転がり落ちた。我々は今日も、最新の観測技術が新しい発見をもたらすたびに、我々の目に見えていないものの多さを思い知らされるばかりである。ときには夜空を見上げて、宇宙の広大さを感じようではないか。



400 年前、宇宙はそれまでとはまったく違ったものになった。より正確にいうなら、宇宙についての我々の認識が一変したのだ。この変化のきっかけは、ガリレオ・ガリレイが自作の望遠鏡を使って夜空を詳細に調べ始めたことだった。ガリレオは、月や、金星の相や、木星の衛星を観測し、2 年もしないうちにプトレマイオスの古い太陽系モデルを粉碎して教会を大いに慌てさせた。そのときから地球は宇宙の中心から追い落とされ、太陽の周りを回る惑星の 1 つという位置づけに甘んじることになった (Nature 2009 年 1 月 1 日号 p.28 参照)。

ガリレオによる最初の天体観測から 400 年になることを記念する「世界天文年」は、宇宙の広大さに思いをはせるときにわき上がってくる謙虚な気持ちを人々に思い出させようとしている。天文学者たちは、一般向けの安価な望遠鏡や教材を提供するプロジェクトや、世界遺産と天文学の関係を紹介するプロジェクトを通じて、空を見上げて我々が宇宙の中で占めている場所について考えてみようかとよびかける。

このよびかけが目新しいものに感じられるという事実そのものが、我々と、我々を取り巻く環境がどこまで変わってしまったかを如実に物語っている。都市の光害により、世界人口の 5 分の 1 が肉眼では天の川を見ることができなくなっている。多くの都会っ子の頭上には、オレンジ色のスモッグばかりが広がっている。たまたまこのスモッグを透かして星が見えるときがあっても、せいぜい数個しか見えないだろう。天文学者たちは、夜空の暗さがよく保たれている場所を国立公園として保存し、宇宙への窓を確保しようとよびかけている (同 p.27 参照)。

天文学者が研究成果を発表する際には、美しい画像の力を借りることが多い。ハッブル宇宙望遠鏡は、多大な科学的成果をもたらす一方で (同 p.41 参照)、その美しい画像によって一般の人々も魅了した。実は、プロの天文学者も星空から疎遠になりつつある。天体物理学に多くの洞察をもたらした技術的進歩により、天文学は自然科学の中でコンピュータ集約度の最も高い分野の 1 つになった。観測を行えばテラバイト単位のデー

タが生成し、山頂の天文台に行ったこともないようなポスドクや学生たちが大勢でこれを処理していく。そのうち、偶然的発見に頼る観測に取って代わって、データマイニングが主流の研究法になることもあるのだろうか？ いずれにせよ、予期せぬ発見をしようとする天文学者たちは、新しい視覚化のツールを必要とするようになるだろう。その一例が、同 p.63 で紹介されている三次元グラフィクスである。

ガリレオ以来の望遠鏡技術の進歩は、我々の目に見えていないものの多さばかりを痛感させる。我々の天の川銀河は、宇宙に無数にある銀河の 1 つにすぎない。宇宙空間のあちこちで、巨大なブラックホールや高エネルギーの  $\gamma$  線バーストなどの恐ろしい天体や現象が観測されている。惑星系をもつ恒星は、太陽以外にもたくさんある。我々の体を構成する通常の物質は宇宙では少数派で、エキゾチック物質やダークマターのほうが圧倒的に多いようである。

次世代望遠鏡 (同 p.18 参照) は、天文学を新しい領域に連れていくだろう。今後 20 年以内に、全天の夜空が連続的に走査され、多くの周波数帯にわたってデジタル的に記録されるようになるだろう。詳細な追跡研究が必要になる場合を除き、天文学者が天文台に赴くこともなくなるかもしれない。毎晩、膨大な量の観測データが生成され、ノートパソコンを使ってデータマイニングが行われるようになるだろう。そんな時代になっても、新たに開けてくる展望は、変わらぬ驚きをもって迎えられることだろう。

いつの時代にも「科学の終焉」を予言する人々がいる。例えば、1890 年代には物理学の未解決問題はいくつも残っていないと考えられていた。けれども、1905 年にアルバート・アインシュタインがそのうちの 3 つを解決して、物理学の 3 つの新しい分野の基礎を打ち立てた。400 年後はもちろん、40 年後の天文学でさえ、今日とはまったく違ったものになっているだろう。それは終わりではなく、新しいステージの始まりである。宇宙を見上げてみよう。我々はなんと小さな存在であることか！ ■





ガリレオ・ガリレイ (1564-1642) と  
彼が天体観測に使用した望遠鏡 (左上の写真)。

# NEW EYS, NEW SKIES

## 次世代望遠鏡が約束する 新しい眺め

Nature Vol.457(18-25)/1 January 2009

1609年、イタリアの科学者ガリレオ・ガリレイは手製の望遠鏡で月を見上げた。そのちょうど400年後にあたる今年、世界天文年である。今後40年間は、既存のどの望遠鏡をもはるかにしのぐ性能を備えた次世代望遠鏡が続々と建設されてくるだろう。Jeff Kanipeがそのうちの4基を紹介する。イラストはLynette Cookによる。

今日、天球儀やアストロラーベなどの天体観測装置を博物館や骨董品店以外の場所で目にすることはめったにない。けれども天体望遠鏡は、400年前に近世ヨーロッパの天文台で使われるようになって以来、ずっと天文学の世界の中心にある。

しかし、その光学的な精度や、利用される波長、大きさの点では、400年前の望遠鏡とは比較にならないほどの変化を遂げている。望遠鏡がとらえた映像は、最初の2世紀ほどはスケッチにより記録されるだけだったが、次の1世紀は写真乾板に記録されるようになり、ここ数十年で完全に電子的に記録されるようになった。今日の望遠鏡は、海、砂漠、山頂、各種の地球周回軌道など、あらゆる場所に設置されている。しかし、望遠鏡の役割は昔も今も変わらない。宇宙が私たちに向けて送ってくる情報を収集し、焦点を合わせることである。

天体望遠鏡の400年の歴史は数々の輝かしい発見に彩られているが、その最

良の日々はこれからやってくるのかもしれない。現在開発中の望遠鏡は、ほんの1世代か2世代前には人間の手に負えるものではないと思われていた疑問に最終的ともいえる答えを出そうとする、かつてない技術的挑戦となっている。

ここで紹介する望遠鏡は、しばしば互いの能力を補い合いながら、謎を解いていくことになる。最初の星と銀河が誕生した宇宙の「夜明け」の時代を調べるのには、ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST) の赤外域の観測能力と、スクエアキロメートルアレイ電波望遠鏡 (SKA) の電波領域での鋭い感度が利用されるだろう。SKAはまた宇宙の大規模構造の地図を作り、ダークマター (暗黒物質) とダークエネルギーが宇宙の構造にどのような役割を果たしているかを解明するだろう。大型シノプティックサーベイ望遠鏡 (LSST) と欧州超大型望遠鏡 (E-ELT) も、遠方の銀河を調べてこの問題の解明に貢献するだろう。E-ELTとJWSTは、互いの能力

を補い合っ、これまでにない詳細さで太陽系外惑星を調べることになるだろう。

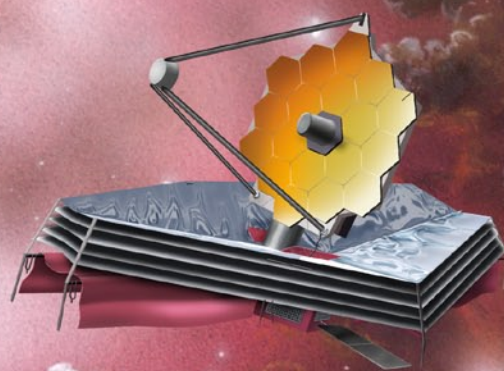
この4基の望遠鏡の掲げている目標は遠大で、かかる費用は莫大である。しかし、天文学者たちが可能性を探っていること、実現を願っていることはまだまだたくさんある。まもなく、アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計が、その波長での天文学に革命を起こすだろう。電磁波スペクトルのあらゆる領域で、さらには重力波やニュートリノなどの新しい領域でも、観測プロジェクトが計画されている。天文学者たちは、具体的な科学的課題を念頭に置いてこうした観測装置を設計している。しかし同時に、ガリレオが月面に見つけた山々や太陽表面の黒点と同じくらい、奇妙で思いがけない何かを発見することも切に願っている。

Jeff Kanipeは米国メリーランド州在住のサイエンスライターで、『Cosmic Connection (宇宙とのつながり)』(邦訳なし)の著者。Lynette Cookは、米国カリフォルニア州の画家兼イラストレーター。



# The James Webb Space Telescope

ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST)



開口面積：33 平方メートル

観測開始：2013 年

費用：総額 45 億ドル  
(約 4200 億円)\*

特長：赤外域では最高レベルの観測が可能





モンタージュで見る恒星の一生。① オリオン大星雲は厚いガス雲であり、その内部では新しい星が形成されつつある。はめ込み図は若い星のクローズアップ。星はちりの雲に包まれていて、今後、惑星系を形成していく可能性がある。② 大マゼラン雲の中にある青く輝く若い星々。星々はまだ、その材料となったガスの残りに包まれている。③ いっかくじゅう座の変光星 V838 は、今まさに進化の途上にある。この星が増光したときには、それ以前の恒星風により宇宙空間に放出された物質が明るく照らし出された。④ 死にゆく恒星の外層が宇宙空間に放出されると惑星状星雲が形成され、その中心には暗い白色矮星が残る。⑤ 多数の年老いた恒星からなる球状星団。なかでも光の弱い星々は白色矮星である。(Nature 2009 年 1 月 1 日号 p.41 の Review Article「ハッブル宇宙望遠鏡による科学研究の 18 年間」の中の図 3 より)

ハッブル宇宙望遠鏡 (HST) の後継者ともいえるジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST) は、ハッブル宇宙望遠鏡と同様、同世代の宇宙望遠鏡を代表するものになるだろう。HST が主に可視光と紫外線を観測したのに対して、JWST は赤外域の観測に最適化されているため、ちりに阻まれて HST などでは見えなかった天体を観測したり、ビッグバン直後の赤方偏移が大きい時代を覗き込んで、宇宙最初の星などの可視光波長では見えない天体を観測したりすることができる。

宇宙望遠鏡科学研究所 (米国メリーランド州ボルティモア) の天文学者たちが HST の後継望遠鏡の計画をスタートさせたのは、HST が打ち上げられる 1 年前の 1989 年のことだったが、その打ち上げは計画開始から 24 年後の 2013 年に予定されている。JWST の設計と費用は過去 20 年間に数回変更されてきたが (Nature 440, 140-143; 2006 参照)、その主なミッション (任務) は変わらずシンプルで独創的である。それは、宇宙の歴史のあらゆる段階につき、これまでの技術では見えなかった側面を調べることだ。このミッションを達成するため、JWST はベリリウム製の超軽量光学系や超高感度の赤外線検出器、中赤外線検出器を常に 7 ケルビ

ンという低温に保てる冷却装置など、いくつかの革新的な技術を用いることになる。

しかし、新技術の中で最も目立つものは望遠鏡の心臓部にある。JWST の設計者が望んだ鏡は、既存のどのロケットのペイロードフェアリング (ペイロードを格納する部分) にも収まらない大きさのものだった。そこで彼らはいくつかの部分に分かれた鏡を設計した。鏡は折り畳まれた状態で打ち上げられ、望遠鏡が地球から 150 万キロメートル離れた最終的な軌道に入ったら、直径 6.5 メートルの大きさに展開する。地球からこれだけ離れていると、HST よりもずっと広い範囲の空を見ることができるよう、望遠鏡を低温に保つのも都合がよい。しかし、不利な面もある。JWST がひとたび軌道に入ってしまったら、どんな問題が生じて、そこに駆けつけて修理することはできないのである。それゆえ、HST とは異なり、JWST は最初から完璧に作動する必要がある。

JWST のシニアプロジェクトサイエンティストである 2006 年ノーベル物理学賞受賞者の John Mather は、「現在、JWST は最短でも 5 年間は機能するように設計されていますが、もっと長く運用することも可能かもしれません」と話す。JWST は 10 年分の燃料を積んでいるうえ、初期の赤外線

宇宙望遠鏡とは違って冷却装置を備えているので、冷却剤の枯渇で寿命が制限されることもない。「私たちが幸運で賢明であれば、燃料を節約して、ずっと長く運用できるかもしれません。もちろん、確約することはできませんが」と Mather。彼が自信をもって約束するのは、何らかの発見があるということだ。「ブラックホールと銀河のどちらが先に誕生したのかも、大きな銀河のほとんどすべてがその中心に巨大なブラックホールをもっている理由もわかっていません。初期の宇宙について驚くべき発見があるとしたら、それはこうした問題に関係したものになるでしょう」と彼は語った。

しかし、JWST が調べるのは深宇宙や遠い過去の時代だけではない。宇宙望遠鏡科学研究所の Matt Mountain 所長は、「形成途上にある太陽系、合体する星、ちりの多い星雲の中で集合する星団など、地球の近くにある天体の謎に包まれた起源についても詳細に調べるつもりです」という。とはいえ、JWST の真にすぐれた点はごく初期の宇宙を探る能力にある。「JWST の感度は非常に高く、HST でもかろうじて検出できた程度のごく初期の天体のスペクトルをも分析することができます」と Mountain 所長は話す。■

\*費用は1ドル=93円で換算、以下同様。

NASA, ESA



# A DEEP, MOVING IMAGE

The Large Synoptic Survey Telescope

## 天の映画撮影

大型シノプティックサーベイ望遠鏡 (LSST)

開口面積：35 平方メートル  
観測開始：2015 年  
費用：観測開始まで 3 億 9000 万ドル  
(約 360 億円)  
特長：リアルタイムで全天を観測

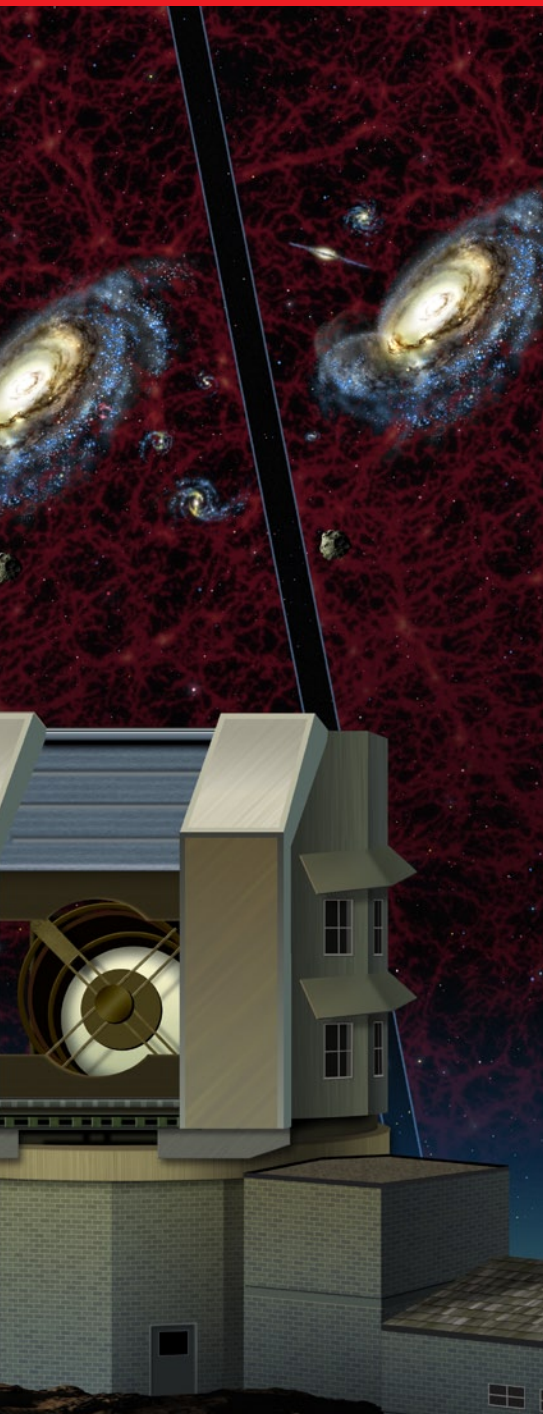
望遠鏡で宇宙を観測していると、天体が二重に見えることがある。これは望遠鏡の収差ではなく、宇宙の性質に起因する現象である。一部の銀河は、銀河と地球の間に存在する質量により光が屈曲する「重力レンズ効果」のため、2 か所以上の場合に見えることがある。地球から見上げる空には、重力レンズ効果によるこうした像が 1 平方度あたり約 1 万個あると見積もられている。大型シノプティックサーベイ望遠鏡 (LSST) の設計者は、観測画像を

いくつも加え合わせることで、個々の画像には表れていないものを測定し、多くの重力レンズ像を見つけたいと考えている。彼らはまた、天文学でこれまで無視されてきた次元も切り開きたいと考えている。それは時間である。LSST には、空の同じ部分を繰り返し撮影した画像を加え合わせてこの新しい次元を探るだけでなく、これらの画像を比較して、超新星、小惑星、太陽系周辺部のカイパーベルト天体など、ほかの方法では見落とされてしまうような

天体を見つけ出すことが期待されている。LSST の支持者はこれを「天の映画撮影」とよんでいる。

LSST は毎週、チリのセロパチョン山から見える空のほぼ全域を観測し、一晩の観測でテラバイト単位のデータを生成する。こうした観測を可能にするのが 8.4 メートルの主鏡である。この主鏡は 10 平方度の視野が得られるように磨かれる。この視野は満月の大きさの 49 倍にあたり、LSST と同程度の大きさの鏡をもつジェミ





二望遠鏡（ハワイとチリに設置された2基の望遠鏡で、1つのポイントを観測することに最適化されている）の視野の300倍以上に相当する。ワシントン大学（同州シアトル）のZeljko Ivezićは、「LSSTは、その視野のすべてを10年間で約1000回観測することになっています」と説明する。LSSTでは莫大な計算機パワーを投入して大量のデータの相関を調べ、比較し、カタログを作成し、すべてのデータをインターネット上で利用できるようにすること

## 小惑星追跡ネットワーク

LSSTは、空に異常な天体を見つけると1分以内にインターネットに警報を発信することができる。その警報を待ち受けることになるのが、米国カリフォルニア州のラスカンブレス天文台グローバル望遠鏡（LCOGT）である。この望遠鏡が完成すると、各半球に1つずつ、リング状に配置されたロボット望遠鏡のネットワークができることになる。現在、このネットワークは民間の非営利組織（NPO）によって運営されており、稼働している望遠鏡は2基しかない。そのうちの1つはハワイのハレアカラ山にあり、もう1つはオーストラリアのニューサウスウェールズのサ

イディングスプリング天文台にある。このほかにも、メキシコ、カナリア諸島、チリ、南アフリカ、オーストラリアでの建設が計画されている。ネットワークの最終目標は、25基前後の0.4メートル望遠鏡と、同程度の数の1メートル望遠鏡を備えることにある。小さい望遠鏡は主に教育目的に使われ、大きい望遠鏡は主に科学研究に使われる予定だが、その役割分担は厳格なものではない。このネットワークが完全に動き出せば、新たに見つかった超新星や新しい小惑星などの天体を数日から数週間にわたって観測することが可能になる。

になっている。これにより、コンピューターさえもっていれば、プロの天文学者以外の学生やアマチュア天文学者も科学的発見のプロセスに参加できることになる。

重力レンズ像の研究から、宇宙の構造について非常に多くの知見が得られるはずである。特に期待されているのは、ダークマターの分布とダークエネルギーの効果が見られることである。LSSTは、これと並行してバーチャル「宇宙パトロール」も実施する。つまり、地球に近いところにある、潜在に危険な小惑星を探すのだ。天文学者たちはすでに、地球に衝突すれば生物種の大規模絶滅を引き起こす可能性のある大きな小惑星については、そのほとんどの位置を把握している。小惑星の大部分はもっと小さいが、それでも地球に衝突すれば都市をまるごと破壊するほどの被害をもたらす。LSSTは、そうした小惑星のカタログ作りの道具の1つになる。しかし、かすかな明るさしかない一時的な現象に対するLSSTの感度は、こ

れまでの望遠鏡の最高感度よりも1000倍も高いのだ。これだけ高い感度をもつLSSTの用途を地球の周りの「空からくる脅威」探しに限定する必要はない。LSSTは遠方で起こる中性子星どうしの衝突などの大変動を観察し、まったく新しい種類の一時的な現象を発見するだろう。

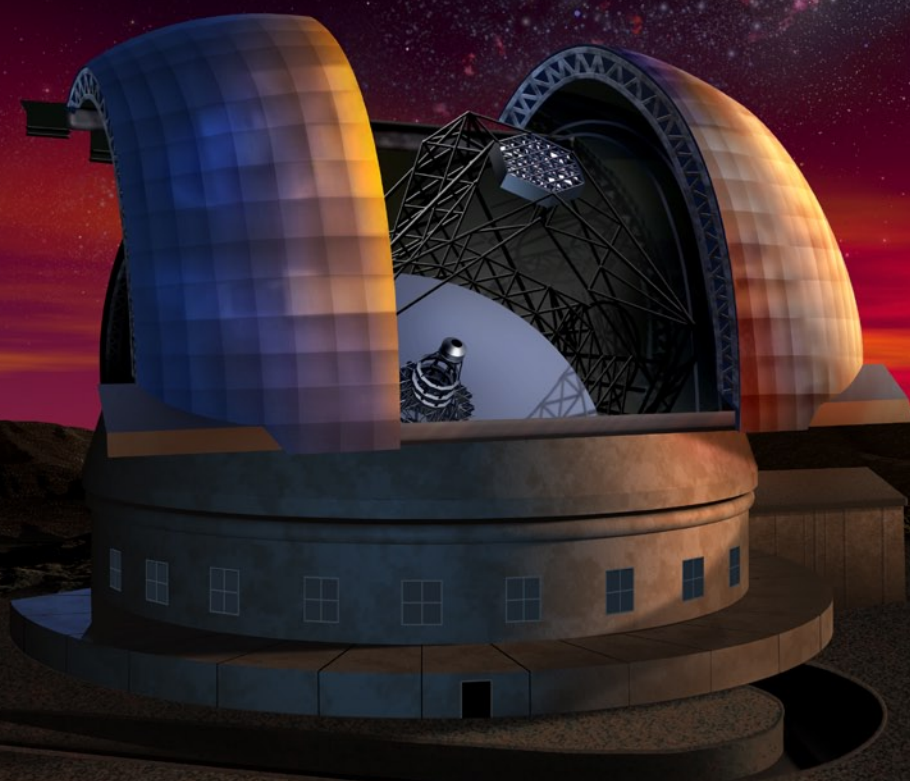
この計画を監督するLSST協会は、100人以上の科学者、20以上の研究室、大学、研究所から構成されている。LSSTの設計は現在進行中だが主鏡はすでに鋳造された。天文学者たちは、LSSTの建設が計画どおり2011年に始まり、2015年に観測が始まることを期待している。LSSTはそれから10年間の観測で、宇宙にあるすべての天体を調べることになる。そのカタログには、よく知られた天体や、あまりよく知られていない天体のほか、新たに発見される天体も掲載されることになるだろう。「歴史上初めて、地球上の人間の数よりも多くの天体のカタログを作り、研究することになるのです」とIvezićは話す。 ■

# SUPERSIZING THE HEAVENS

The European Extra Large Telescope

## 巨大な目

欧州超大型望遠鏡 (E-ELT)



開口面積：1385 平方メートル  
観測開始：2010 年代  
費用：観測開始まで 14 億ドル  
(約 1300 億円)  
特長：名前の通り

宇宙望遠鏡には地上の望遠鏡にはない長所がたくさんある。地上では絶対に使えない波長で観測を行うことができるし、空気のない空は水晶のように澄んでいる。けれども宇宙望遠鏡は、望遠鏡の設計上最も重要な点の 1 つで決定的に不利である。それは大きさだ。裏庭で使う望遠鏡でも、山頂に設置する望遠鏡でも、光を集める開口面積を大きくすれば、それだけ多くの光子をとらえることができる。欧州超大型望遠鏡 (E-ELT) は直径 42 メートルの

主鏡を備え、宇宙望遠鏡ではかすかにしか見えない天体を見分け、太陽系外惑星のような弱い光しか発しない天体をも検出できるよう設計されている。E-ELT 計画に従事する人々は、この望遠鏡が完成すれば、これに匹敵する大きさの望遠鏡が軌道上 (あるいは月面上) に建設されるようになるまで、可視光と近赤外線の領域で宇宙望遠鏡が活躍する余地はなくなり、それ以外の波長での観測に限定されてしまうかもしれないと考えている。

E-ELT は欧州南天天文台 (ESO) が進めている計画であり、現在、3 年半の歳月と 5720 万ユーロ (約 69 億円; 1 ユーロ = 121 円で換算、以下同様) の費用をかけた詳細設計段階の半ばにある。建設は 2010 年代中頃にも始まるかもしれない。ただし、巨大望遠鏡計画は E-ELT だけではない。北米では大学を含めた官民連携コンソーシアムが 30 メートル望遠鏡 (TMT) を建設しているし、米国とオーストラリアのいくつかの大学と研究機関は共





## 宇宙と地上から太陽系外惑星を探索

欧州宇宙機関（ESA）の国際ミッションであるコロー宇宙望遠鏡は、2006年の打ち上げから2年間にわたって、恒星と地球の間に惑星が入ることによる恒星の明るさの低下を検出しようと試みてきた。米航空宇宙局（NASA）のケプラー宇宙望遠鏡もまもなく打ち上げられるし、2010年代後半にはESAのプラトン宇宙望遠鏡の打ち上げが予定されている。どの計画も、太陽以外の恒星の周りに地球程度か、それよりも小さい惑星を発見することを目的としている。なかでも期待されているのは、地表に液体の水が存在しうる「生

命居住可能領域」内かその近くにある惑星が発見されることである。E-ELTは、そうしたミッションの発見を確認し、追跡調査する役に立つかもしれない。新たに発見された惑星の大気の分光を行う可能性もある。宇宙望遠鏡がもたらす発見と、E-ELTなどの新世代の超大型望遠鏡を使った地球での研究を組み合わせることにより、太陽系以外の惑星系の概要をまとめることも可能になってくるだろう。こうした惑星系のなかには太陽系に似ているものもあるかもしれないが、まったく異なるものもあるだろう。

変化させて大気の乱れを相殺する補償光学がこの大きさのシステムでもうまく働けば、E-ELTの空間分解能はハッブル宇宙望遠鏡の18倍になるはずだと設計者は考えている。現在最大の鏡をもつ望遠鏡は、マウナケア山のケック望遠鏡であり、直径10メートルの望遠鏡2基からなる。E-ELTの集光面積はケック望遠鏡2基の合計のほぼ9倍になる予定である。

E-ELT計画に従事する研究者たちには、米国の天文学者が望めない強みがある。毎年の予算が確保できているのである。欧州南天天文台の首脳陣は、この計画に参加している13か国に予算の増額を頼んだり、新しい出資者を求めて奔走したりすることなくE-ELTを建設したいと考えている。とはいえ、その目論見は今後変わるかもしれない。E-ELTの光学系の設計も、最終的な建設場所もまだ決まっていないからである。現時点では、カナリア諸島、モロッコ、アルゼンチン、およびチリの2か所が建設場所として検討されている。

E-ELTの研究責任者（PI）であるRoberto Gilmozziには、こうしたもろもろの問題もバックグラウンドノイズにす

ぎない。彼の目はすでに望遠鏡が成し遂げる発見のほうに向けられている。「E-ELTの重要な目標の1つは、地球に似た太陽系外惑星を探すことです。探索は、親星の視線速度の変化を測定するなどの間接的な方法と、惑星の撮影と惑星大気の分光という直接的な方法の両方から進めていきます」と彼は話す。E-ELTは、若い恒星の周りに形成されつつある原始惑星系をこれまでにない詳細さで研究することにもめざしている。

「E-ELTの感度は、今日の望遠鏡に比べて飛躍的に高いものになるでしょう。その差は、裸眼とガリレオの望遠鏡の差に匹敵するものになるでしょう」とGilmozziは話す。E-ELTはあらゆるスケールの天文学に影響を与えるだろう。今はぼんやりとしか見えない銀河が、星々の集団として見えるようになるだろう。「最大のスケールでは、E-ELT以外の望遠鏡にはできない『物理実験』を行う予定です」とGilmozziはいう。E-ELTは、超遠距離の天体の運動速度を数年間の間隔をおいて測定し、これを比較することにより宇宙の膨張速度の変化を初めて直接測定しようとしているのだ。

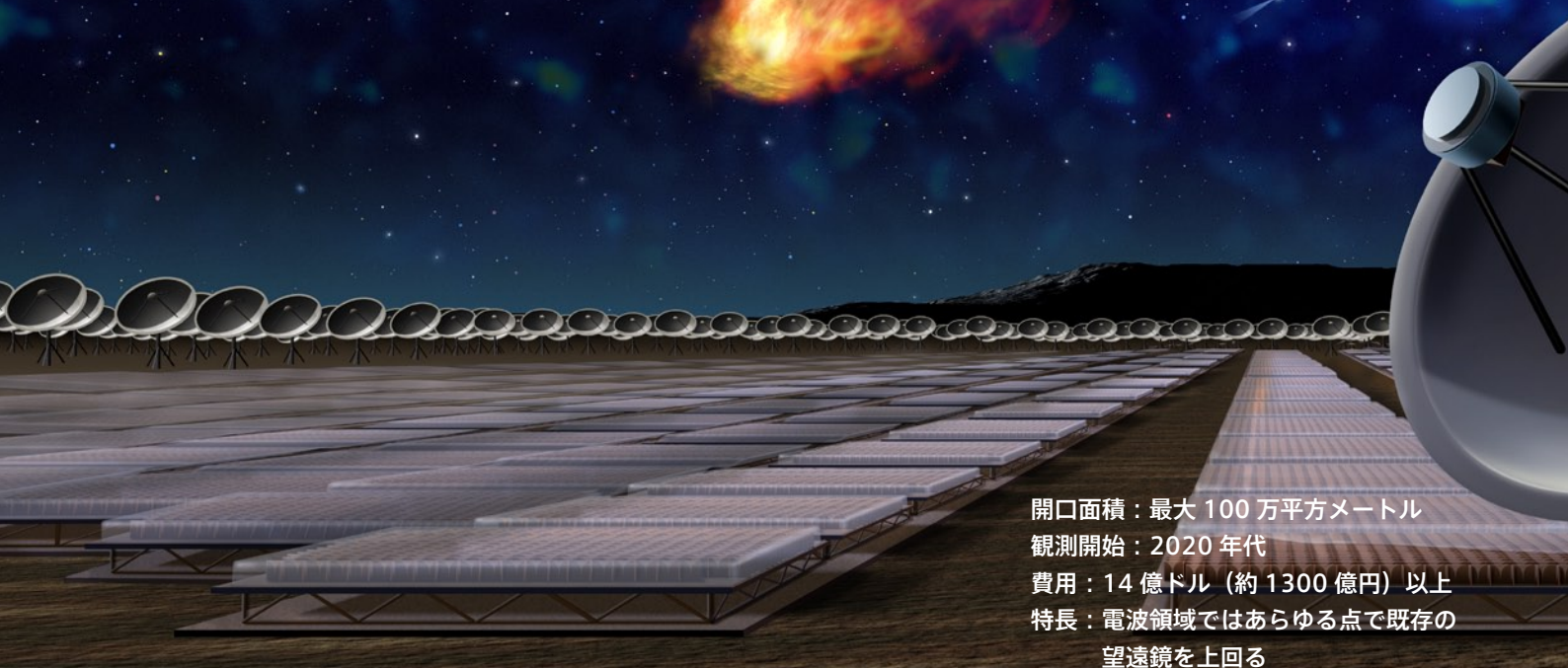
同事業として巨大マゼラン望遠鏡（GMT）計画を進めている（*Nature* **452**, 142-145; 2008 参照）。しかし、E-ELTは最も野心的な計画であり、その予算も9億5000万ユーロ（約1100億円）と最大である。実は、現在のE-ELTの設計は縮小版であり、圧倒的大型（OWL）望遠鏡という名前で検討されていた当初は、直径100メートルの鏡を備える予定だった。現在の42メートルという大きさは現実的な選択である。しかし、鏡の形を常に

# LOOKING EVERYWHERE

The Square Kilometre Array

## 立ち並ぶアンテナ群

スクエアキロメートルアレイ電波望遠鏡 (SKA)



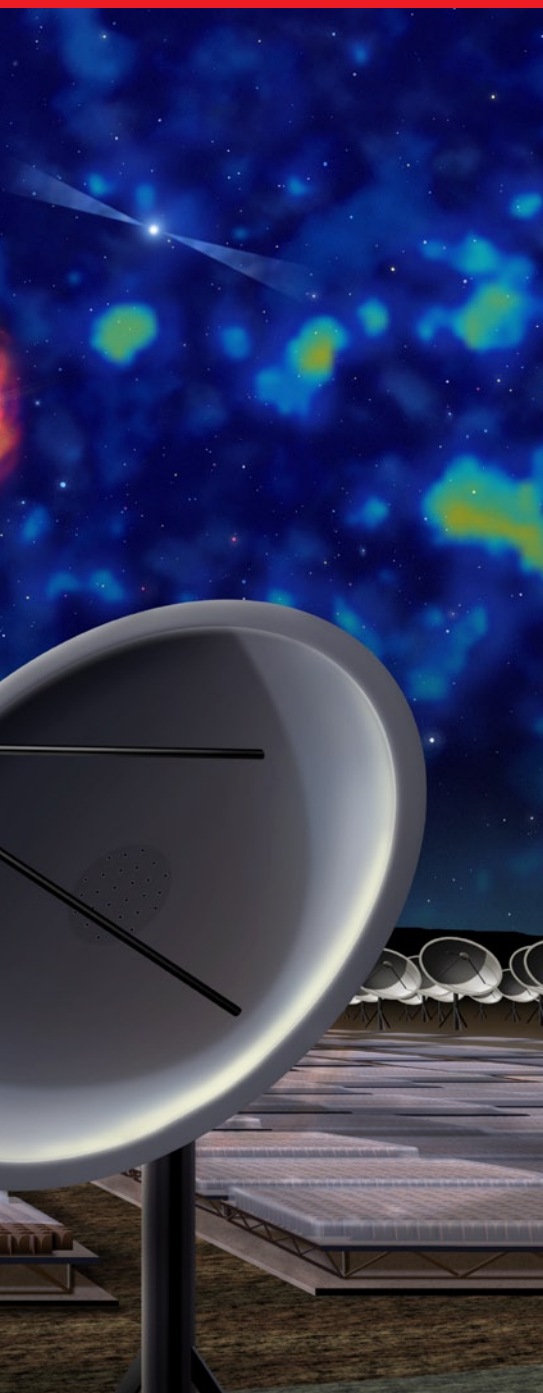
開口面積：最大 100 万平方メートル  
観測開始：2020 年代  
費用：14 億ドル（約 1300 億円）以上  
特長：電波領域ではあらゆる点で既存の望遠鏡を上回る

スクエアキロメートルアレイ電波望遠鏡 (SKA) の建設場所はまだ決まっていない。建設のための資金も調達できていない。このように、SKA は実現にはまだまだ遠いところにあるのだが、そんなことも気にならなくさせるほど魅力的な目標を掲げている。それは、世界のあらゆる種類の望遠鏡の中で最大のものになるという目標である。現在、世界最大の単体の電波望遠鏡であるプエルトリコのアレシボ天文台の開口面積でさえ 7 万 3000 平方メー

トルであるのに、SKA は 100 万平方メートルをめざしている。ただし、この開口面積は数千個の小さなパラボラアンテナによって分担される予定である。一部のパラボラアンテナは中心部分に固まって建設され、残りは小麦畑のミステリーサークルのように、複数の巨大ならせん状の腕に沿って配置され、全体の半径は数千キロメートルに達する。この巨大な半径が、その広い開口面積がもたらす信じられないほどの感度に見合った分解能を可能にする。

SKA は、70 メガヘルツから 10 ギガヘルツの周波数範囲にわたって観測を行える電波望遠鏡であり、周波数 1 ギガヘルツ未満では 200 平方度、より高い周波数でも 1 平方度という大きな視野をもつ。SKA の最終設計には、高い周波数用のパラボラアンテナと、低い周波数用の平らなフェーズドアレイ（位相配列）パネルが組み込まれるだろう。フェーズドアレイの長所は、空の複数の部分を同時に観測できることである。この設計は、同様の





画像が得られる電波望遠鏡の1万倍も速く空を観測することを可能にする。その研究テーマは、銀河の進化やクエーサーがはき出すコスミックジェットから、パルサーや超新星残骸の研究まで、事実上、天文学のあらゆる範囲をカバーすることになるだろう。

SKAは、ヨーロッパ、アルゼンチン、オーストラリア、ブラジル、カナダ、中国、インド、南アフリカ、スウェーデン、米国を含む19か国の研究機関が参加する、まさに国

## 宇宙望遠鏡も大型化をめざす

地上に巨大な望遠鏡を建設することは比較的容易であるが、宇宙でははるかに厳しい制約がある。しかし、次の「大物」を探している宇宙望遠鏡科学研究所（米国メリーランド州ボルティモア）の天文学者たちは、今、必要とされているのはまさにそれであると考えている。すなわち、宇宙望遠鏡の大型化である。

NASAに提案されているATLAS宇宙望遠鏡は、大重量打ち上げロケット「アレスV」でしか打ち上げられないかもしれない。アレスVは、人間を月に運ぶためにNASAが開発しているロケットであり、アポロ計画以来最大のロケットである。ATLASの鏡は直径16メートルもあり、現時点で最大の地上望遠鏡よりも大きく、その感度はハッブル宇宙望遠鏡の約40倍にもなる予定である。ATLASはダークマターと銀河の進化について新た



アレスV

な全体像をもたらすだろう。しかし、最もエキサイティングなのは、太陽以外の恒星の周りには生命が居住できる惑星（もしかしたら実際に生命がいるかもしれない）を調べる任務だろう。

際的な共同プロジェクトである。コンソーシアムのメンバーは2020年にSKAを完成させ、その後50年にわたって科学的成果をあげ続けたいと考えている。ほとんど避けられない遅れ、後のグレードアップなどを考えれば、SKAは22世紀にも活躍する最初の大望遠鏡になるまで働き続けるかもしれない。

米国SKAコンソーシアムの議長であるJames Cordesは、「SKAは、最初の銀河についての理解や、宇宙が『金属』（天文学者は、ヘリウムよりも重いすべての元素をこうよぶ）を作り出した過程についての理解に革命を起こすでしょう」と話す。ビッグバンのわずか5億年後には、それまでにできた星でのみ作られたはずの一酸化炭素ガスが銀河を覆っていたことが

わかっている。SKAなら、一酸化炭素ガスの広がり地図を作り、銀河形成前天体（いわゆる「銀河の種」）の星間物質中にある一酸化炭素分子を測定することができるだろう。しかし、自分たちの大望遠鏡にほれ込んでいる研究者が皆そうであるように、Cordesも彼の愛する望遠鏡の能力がもたらすはずの驚くべき発見について強調しようとする。「SKAは発見マシーンになるでしょう」と彼はいう。これまで宇宙に向けられてきた小さい目が見落としていたもののうち、何がみつかるかはだれにもわからない。「それは、太陽系外の惑星や新種の閃光星かもしれません。それよりもっと風変わりなもの、例えば蒸発するブラックホールや地球外文明かもしれないのです」。

# Time to turn off the lights

## 照明を消して夜空を見上げよう

Nature Vol.457(27)/1 January 2009

都市部では毎年、数十億ドルを使って、必要もないのに上空を照らし出している。その結果、世界の総人口の5分の1は、天の川を見ることができない。暗い夜空にこそ、誰しもにとって大きな恩恵があると、Malcolm Smithはいう。

天文学のプロとアマチュアの研究者たちはこの60年間、天文台の存続を守るため、光害に歯止めをかける活動を展開してきた。世界天文年にあたる2009年は天文学者たちにとって、暗い夜空が誰にとっても貴重な資源であることを説明、関係当局や一般市民からの納得を得るという共通の目的を有する仲間と出会うチャンスである。例えば、「美しい夜空への想い(Dark Skies Awareness)」プロジェクト<sup>1</sup>は、

その絶好の機会だ。夜間に点灯される照明の数を減らすことは、省エネや野生動物の保護、それに、人間の健康にも役立つ可能性がある。

照明を抑制する理由として最も説得力があるのが、経済的理由である。国際ダークスカイ協会の人工衛星画像を用いた研究を基にした推計<sup>2</sup>によれば、都市部では毎年、数十億ドルを使って、必要もないのに上空を照らし出しているとされる。こうした点の啓蒙活動が進むにつれて、一部の都市では、より質の高い照明を使うことでエネルギーの無駄を抑制し、ギラついて危険な光や雑然として紛らわしい照明を減らすことの利点に気づき始めている。ニューヨークでは最近の経費節減策の1つとして、調光器やモーションセンサー内蔵照明スイッチの設置を多くのビルに義務づける照明規則が定められた。

一般に人間は、人工照明環境のもとで快適に過ごしているものの、人工光源は他の動物を惑わせることがあり、結果として死に至らしめることも多い。例えば、ナショナル・オーデュボン協会(米国・ニューヨーク)やFLAP(Fatal Light Awareness Program、カナダ・トロント)では、照明が鳥の渡りに与える影響に焦点を当てた活動を行っている。米国とカナダを合わせると、超高層ビルの照明によって命を落とす渡り鳥の数は、年間数百万羽にのぼる。しかし、より多くの都市で、

ほとんど誰もいなくなる時間帯には高層ビルなどの照明を減らす対策が取られるようになり、渡り鳥の無駄な死は減った<sup>3</sup>。そして、渡りの季節に消灯する照明は、実はふだんも不必要な照明なのかもしれないと気づいた関係当局もある。しかし一方では、渡りの季節が終われば、再び照明を点灯させる都市もある。また、このほかにも、消灯に対する協力の実例や機会は数多い<sup>3-5</sup>。

影響は人間にも及んでいる。特に世界中における都市部の拡大が問題だ<sup>6</sup>。米国民の3分の2以上、そして世界の人口の5分の1以上は、肉眼で天の川を見られない<sup>7</sup>。このことには、微妙的な文化的影响がある。星を直接見ることができなくなると、人類は、宇宙のほとんどの部分から途絶され、宇宙の巨大なスケールとそれに比しての人類の極めて小さな居場所というものを、直接体感できなくなるのである。人工衛星写真や夜空の写真には、人類が失いかけているものの巨大さが美しく描き出されているが、まさに「The World at Night」に参加する写真家の作品は、世界天文年のための活動に組み込まれている<sup>8</sup>。国際天文学連合は、最近になって、国際連合教育科学文化機関(ユネスコ)との間で、歴史的に重要な天文学ゆかりの場所の指定と保護を目的とする覚書を締結した。そのユネスコが後援するスターライト・イニシアチブ<sup>9</sup>では、上



ISTOCKPHOTO





天の川

述した種々の論点をより詳細に調査する、大規模な国際的プログラムが実施されている。また、多くの国々は、環境保護を行って自然の状態を保ち、星のまたたく空を維持することでよび込めるエコツーリズムには、収益を生み出す可能性があることを理解するようになってきた。米国国立公園局は、天文学者と公園職員の共同作業で夜間観覧をスタートさせ、大きな成功を収めている。

また、人間の生理も、明暗の周期と深くからみ合っている。最近の研究では、がん組織内の細胞分裂を抑制するメラトニンの正常な産生量を減らす原因となるシグナルが、夜間照明によって発生することが明らかに<sup>10</sup>。現時点で、この研究結果から何らかの遠大な結論を導き出すことは軽率だが、今後も医療専門家との共同研究の機会を模索していくべきだろう。

人間と人工光の関係は複雑なものであ

り、変化もしている。人間は生まれつき暗闇を怖がり、現代社会は、照明を治安対策の1つとして利用している。ただし、照明の無駄を減らすと犯罪率が上昇することを示す証拠はない。また、目をくらすような自動車のヘッドライトを使用する場合には、私たちは街路照明をさらに明るくして、後続車をよく見えるようにしなければならない。しかし、世界の多くの場所では、小さな町の適度な明るさの中を、サイドライトを点灯するだけでドライブできるのだ。田舎町では、キャッツアイ（道路鎮）が設置されていれば、適度の明るさのヘッドライトで事足りる。

エネルギー効率のよい発光ダイオードを使った照明器具が普及し始め、国際ダークスカイ協会は、斬新で責任ある照明・誘導設備の設計を振興するため、プロの照明技術者やその他の非天文学系関係者の支援を得て活動が続けている。前途は

多難だが、互いに協力し合うことで、最も容易に緩和できると思われる「光害」というエネルギーの無駄遣いを減らすことは可能なのではないだろうか。 ■

Malcolm Smith は、セロ・トロロ・アメリカ連合天文台（チリ）に所属する天文学者である。

1. [www.astronomy2009.org/globalprojects/cornerstones/darkskiesawareness/](http://www.astronomy2009.org/globalprojects/cornerstones/darkskiesawareness/)
2. Isobe, S. I. & Hamamura, S. *Astrophys. Space Sci.* **273**, 289-294 (2000).
3. Deda, P., Elbertzagen, I. & Klusmann, M. in *Starlight: A Common Heritage. Proceedings Starlight Conference 2007* (eds Marin, C. & Jafari, J.) 177-183 (2007). Available at [www.starlight2007.net/proceedings.htm](http://www.starlight2007.net/proceedings.htm)
4. Longcore, T. & Rich, C. *Front. Ecol. Environ.* **2**, 191-198 (2004).
5. Rich, C. & Longcore, T. (eds) *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting* (Island Press, 2006).
6. *State of World Population 2007: Unleashing the Potential of Urban Growth* (United Nations Population Fund, 2007). Available at [www.unfpa.org/swp/2007/english/introduction.html](http://www.unfpa.org/swp/2007/english/introduction.html)
7. Cinzano, P., Falchi, F. & Elvidge, C. D. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **328**, 689-707 (2001).
8. [www.astronomy2009.org/globalprojects/specialprojects/worldatnight/](http://www.astronomy2009.org/globalprojects/specialprojects/worldatnight/)
9. Marin, C. & Jafari, J. (eds) *Starlight: A Common Heritage. Proceedings Starlight Conference 2007* (2007). Available at [www.starlight2007.net/proceedings.htm](http://www.starlight2007.net/proceedings.htm)
10. Navara, K. J. & Nelson, R. J. *J. Pineal Res.* **43**, 215-224 (2007).

## 天体物理学

## Star formation branches out

## 枝を広げる星形成

Ralph E. Pudritz

Nature Vol.457(37-39)/1 January 2009

星形成は、乱流状態の高密度ガスからなる分子雲の中で起こる。科学者たちは、この複雑な過程を解明しようと努力を続けてきた。このほど、樹形図を利用する革新的な手法により、新たな洞察がもたらされた。

恒星は冷たい分子ガス雲の中で形成されるが、その過程の解明は進んでいない。これは、分子雲の複雑さのためである。星形成過程を解明するためには、さまざまなスケールにわたって重力の効果を追跡しなければならない。特に重要なのは、こうしたガス雲のような大きなスケールでの効果である。*Nature* 2009年1月1日号の63ページで、Goodmanら<sup>1</sup>は、階層的な樹形図（デンドログラム）を利用して、さまざまなスケールでガスをまとめている重力的な結びつきを解明する方法を示した。

分子雲の中でのガスの運動はスペクトル線のずれ（シフト）によって測定できる。あるガス塊が観測者に近づくように動いているか、遠ざかるように動いているかによって、一酸化炭素などの分子から放射されるミリ波の波長は、短波長側にシフト（青方偏移）したり、長波長側にシフト（赤方偏移）したりする。空の各点でこれらのドップラー偏移を測定することにより、分子雲の中のガス塊の視線方向の相対速度を決定することができる。その結果、分子雲の中のガスは主として超音速で運動していることがわかった。コンピュータ・シミュレーション<sup>2</sup>からも、分子雲の中に見られる高密度のフィラメント状構造のネットワークが、こうした超音速のガス流に直接由来しているらしいことが示されている（図1）。

しかし、多くの天文観測と同様、地球から天体（この場合はガス）までの距離を知るためには、さらに骨の折れる手法で観測を行わなければならない。分子雲の観測では、空の各点で放射されているすべてのガスの2次元的な位置しか測定することができない。ここで具体的に測定されるのは、2つの座標（地球表面における緯度と経度のようなもの）と、その位置でのガスの相対速度である。したがって、分子雲の地図を作成する際には、分子雲の全体にわたってガスの位置・位置・速度（ $p$ - $p$ - $v$ ）を測定していくことになる。しかし、ガ

ス雲の全体を3次元的に観測することができないなら、その真の構造を推論するにはどうすればよいのだろうか？さらには、恒星がいつ、どこで形成されるかを制御するさまざまな力の強さを推論するにはどうすればよいのだろうか？

この問題に取り組む際には、CLUMPFINDというコンピュータ・プログラムを使って、不規則な形をしたガス雲を小さく分割してクラumpとよばれる構造の集合体として扱うのが普通である。こうして得られるガス雲の地図は、山脈の起伏地図に似たものになる。典型的な地図には、尾根により結ばれた峰や単独でそびえる峰のほか、同じ高さの点を結ぶ等高線が記入されている。こうした「山脈」を離散的な「山」に分解するときには、峰を特定し、さまざまな高さの等高線を使って、小さな高まりがいずれかの山の一部であるか、独立の構造であるかを決めようとするだろう。分子雲の $p$ - $p$ - $v$ 地図で、この山脈の起伏地図に相当するのは、ガス柱密度（特定の視線方向に特定の速度で運動する、すべてのガス塊からの放射の和）の等高線とピークである。

ところが、この結果を利用して星形成過程について考えようとしたとたん、問題が生じてくる。例えば、ガス柱密度からはクラumpの質量が測定できる。そうすれば、特定の質量をもつクラumpの数を数えることができる。こうして得られたクラumpの質量の分布は、星形成の仕組みを考えるのに利用される<sup>3,4</sup>。CLUMPFINDに似たプログラムを使ってこのデータを解析すると、クラumpの質量の分布が、恒星の質量の分布とよく似ていることがわかる。ここから、恒星の質量はクラumpを作った乱流過程に直接由来しているのかもしれないと推測されるため、この点をめぐって議論になっている。

けれどもGoodmanら<sup>1</sup>は、この地図の等高線につき異なる閾値を採用すると、ガス柱密度の分布が変わってしまうことを示した（Supplementary Informationの図1を参照）。



これは山脈の起伏地図の場合と同様である。すなわち、山々や、それよりも小さな高まりを記述するのにどのような閾値を選択するかで、山々とその性質のリストは変わってしまうのである。これでは落ち着かない。このアプローチは、ガス柱密度の実際の分布を測定するための完全に客観的な方法にはならないのである。

ここで、Goodman ら<sup>1</sup>が提案するデンドログラムの手法の出番になる。彼らは  $p$ - $p$ - $v$  データを主観的・直観的に明らかな構造に分割する代わりに、構造に内在する階層（構造の中の構造）を敏感に検出する方法を利用したのである。データは「葉」「枝」および「幹」に分類される。「葉」はガス柱密度地図における十分に強いピークであり、「葉」どうしは「枝」（「葉」を取り巻く環境）によって結ばれている。物理的に関連する「枝」の集まりが「幹」である。

デンドログラム上の各点は、地図上の閉じた「等値面」に対応しており、この等値面は1つ以上のガス柱密度ピークを内包している（Nature 2009年1月1日号64ページの図2を参照）。著者らはそこで、いかにして物理的性質の起源をこれらの等値面内の領域に帰することができるかを示した。特に重要な性質は、ガスの運動エネルギー（その領域中のガスの速度に依存）と重力エネルギー（その領域の質量とサイズに依存）の比、すなわちビリヤード比である。この比が十分に小さければ、その領域中のガスは、自己重力により凝縮して恒星を形成しようとする。こうして、デンドログラムはガス雲の全体にわたる重力の相対的な強さをなぞることになるのだ。

デンドログラムの手法をガス雲 L1448 の観測に応用した結果と、乱流のみを考慮する（自己重力は考慮に入れない）コンピュータ・シミュレーションに応用した結果の間には矛盾がある。すなわち、シミュレーションでは、すべての空間スケールにおいてガスの大半が自己重力により凝縮していくという結果になったのに対して、観測では、大きなスケールではガスの大半が自己重力により凝縮するが、小さなスケールでは自己重力により収縮するガスはほとんどないという結果になったのである。

興味深いことに、Goodman らのデンドログラムでみられるガス柱密度の局所的な強いピーク（これは、星形成が観察される高密度のガスの「コア」に相当する）は、CLUMPFIND アルゴリズムでみられるものよりもまばらであり、自己重力により凝縮する大きなガス領域にあることがわかった。これは非常に興味深い。10年近くにわたり星形成理論をにぎわしてきたのは、恒星がいかにして質量を獲得したかという論争だった<sup>5</sup>。コアは比較的孤立して存在しており、そこにガスが降着していくのだろうか？ それとも、

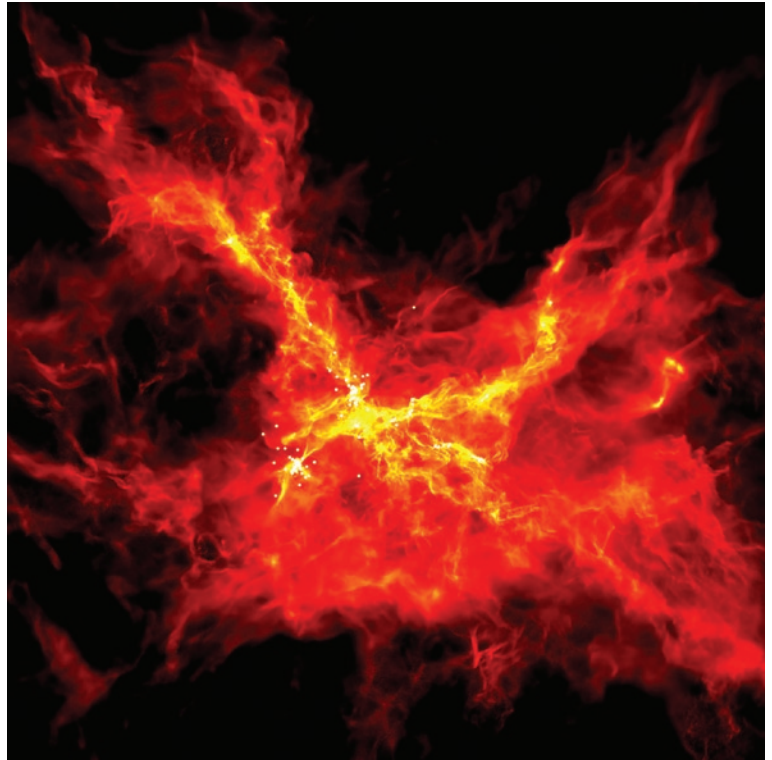


図1 星のゆりかご。画像は、乱流状態のガス雲が自己重力により凝縮している中で、恒星が形成されるようすを示すコンピュータ・シミュレーション<sup>2</sup>。星団を生み出すこのガス雲の最初の重量は太陽質量の500倍である。ガス雲は一様密度の球体としてモデル化されており、その半径は8万3300天文単位（1天文単位は地球から太陽までの平均距離）、温度は10ケルビンである。超音速乱流はガスを圧縮し、多くのフィラメントや、より小さい高密度領域を作り出す。シミュレーションは1自由落下時間（ガス塊が自由に落ち込んで、ガス雲の中心に到達するまでの時間）が経過した後の状態であり、このシミュレーションのパラメータでは  $1.9 \times 10^5$  年に相当する。白い点は小さくて高密度のガスからなる「コア」であり、これが崩壊して個々の恒星を形成する。物理的には、Goodman らの論文<sup>1</sup>の図1（63ページ）で、ビリヤードの球として描かれているものに相当する。

コアはより広い重力ポテンシャルの中を動き回りながら、同じように重力的に束縛された領域の中のほかの高密度領域と競争しながら質量を増やしていくのだろうか<sup>6</sup>（「競争的降着」理論）？ どちらの仮説も観測により決定的な証拠を得るのは困難であるが、Goodman らが開発したデンドログラムの手法は、この質問に答えて、実際の星形成の条件を特定できる可能性がある。

Ralph E. Pudritz、マクマスター大学（カナダ）。

1. Goodman, A. A. et al. *Nature* **457**, 63-66 (2009).
2. Bate, M. R. Mon. Not. R. Astron. Soc. (in the press); preprint at <http://arxiv.org/abs/0811.0163> (2008).
3. Motte, F., Andre, P. & Neri, R. *Astron. Astrophys.* **336**, 150-172 (1998).
4. Johnstone, D. et al. *Astrophys. J.* **545**, 327-339 (2000).
5. McKee, C. F. & Ostriker, E. C. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* **45**, 565-687 (2007).
6. Bonnell, I. A. & Bate, M. R. Mon. Not. R. Astron. Soc. **370**, 488-494 (2006).



## An unlikely champion

## エイズ救済活動の意外な擁護者

Nature Vol.457(254-256)/15 January 2009

大規模 HIV 治療プログラム「PEPFAR」の創設は、ブッシュ前米大統領の最大の成果だったのだろうか。Erika Check Hayden が調査した。

世界エイズデーの2008年12月1日、米国ワシントンDCでは、大型スクリーンに有名人が次々と登場し、ジョージ・W・ブッシュ大統領（当時）をたたえた。たそがれを迎えたブッシュ政権は、まさに内省の時にあった。しかし、ビル・クリントン元大統領、潘基文（パン・ギムン）国連事務総長、ロックスターのボノ、バラク・オバマ次期大統領（当時）など、画面に映し出された人々は、お義理でリップサービスをしていたのではなかった。みな、ブッシュ大統領独自のエイズ撲滅プログラムに称賛の言葉を贈っていたのだ。このプログラムは、8年間のブッシュ政権で、最も重要な正の成果であると多くの人々から評価されている。

ところが翌日になると、こうした賛辞

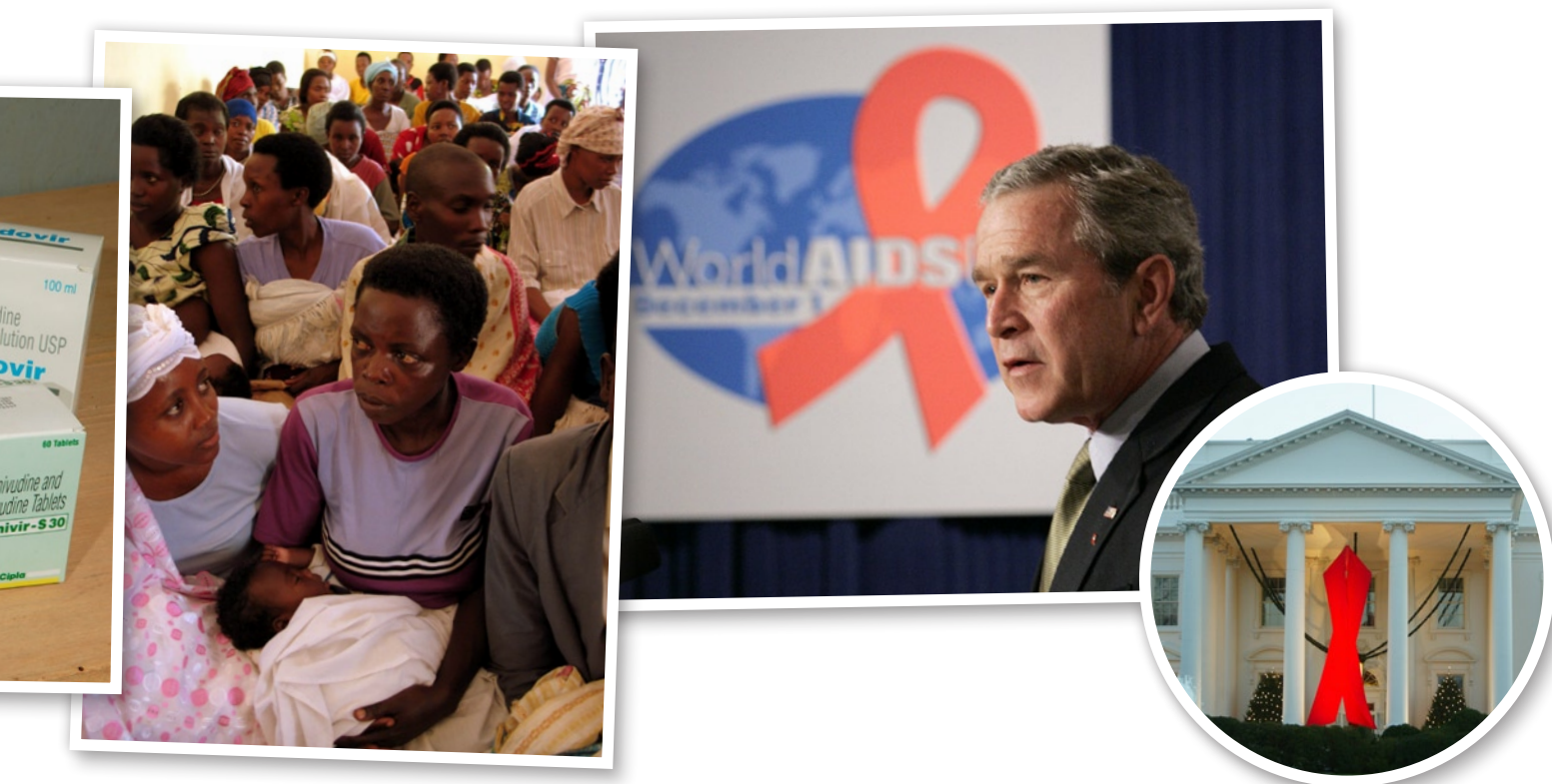
は影を潜めた。主要朝刊の一面を飾ったのは、オバマ次期大統領（当時）が、国務長官に指名したヒラリー・クリントンと抱擁する写真だったのである。前日のブッシュ大統領（当時）に対する称賛の言葉や、同大統領が2003年に創設した大統領エイズ救済緊急計画（PEPFAR; President's Emergency Plan for AIDS Relief）によって、200万人以上のHIV陽性者が抗レトロウイルス療法を受けたことを示す新統計を取り上げた新聞は、1つもなかった。

このエピソードは、HIVプログラムとともにブッシュ前大統領が残した複雑な遺産が、さまざまに称賛され、批判され、影が薄くなっていったようすを浮き彫りにしている。PEPFARは、大規模な慢性疾患

治療を試みることを目的とする最初で最大の二国間援助プログラムである点が高く評価されており、これまでに188億ドル（約1兆7000億円；1ドル＝93円で換算、以下同様）が支出されている。その一方で、PEPFARについては、基金の使い道に対する各種の制約が激しい議論的になっている。今、オバマ政権への移行によってPEPFARの首脳が交代する可能性が高くなっており、PEPFARの前途は多難に満ちている。

わずかな数回のワクチン投与で食い止められる天然痘やポリオとは異なり、HIV薬の投与は死ぬまで続く。「いったん始めた治療を途中でやめることはできません。患者の治療を支援するということは、ずっと患者とかかわりあっていくことを意味します」





と、ジョンズ・ホプキンス公衆衛生・人権センター（米国、メリーランド州ボルティモア）のクリス・ベイラー所長は話す。また、そのような治療にかかる費用は、ますます増える可能性がある。治療を続けているうちに使用中の薬が効かなくなれば、より高価な別の薬に変えなければならないのである。そして多くの人々は、PEPFAR に対して、こうした医薬品の費用補填だけでなく、まったく治療を受けていない数百万の人々に救済の手を伸ばすことを期待している。こうした規模の拡大にはコストの増加が伴うが、現在、世界経済は急激に落ち込み、米国の景気も大きく後退してしまっている。米国立アレルギー・感染症研究所（米国、メリーランド州ベセスダ）のアンソニー・ファウチ所長は、持続的に規模を拡大していくための施策について、「寝るときも食事のときも、いつも考えています。夢にまでみることもあります」と話す。PEPFAR は、オバマ大統領にとってめんどろな遺産となるかもしれない。

国連共同エイズ計画（UNAIDS）によれば、2003 年に抗レトロウイルス療法を受けることができた貧困国の国民は、わずか 40 万人であり、同年の全世界のエイズ対策予算は、2005 年のエイズ撲滅

目標を達成するために必要な額の半分にも達しなかった。ところが 2003 年 1 月にブッシュ前大統領が、総額 150 億ドル（約 1 兆 4000 億円）の PEPFAR プログラムを創設する方針を一般教書演説で示すと、状況は一変した。「世界最強国家の元首が、『m（百万ドル）』から『b（十億ドル）』規模に話を進めたのです。その意味で、PEPFAR は、資金供給源となっただけでなく、エイズ問題を現代の重大な政治課題の 1 つに引き上げたといえます」と、UNAIDS 初代事務局長ピーター・ピオットは話す。

### 波乱含みの門出

PEPFAR には当初から論争がつきまわっていた。ブッシュ前大統領が、大規模なエイズプログラムの創設に関心をもつようになった一因は、共和党指導者や自らの保守派支持者の一部の間で、エイズが大きな問題になりつつあることだった。それでも、PEPFAR がコンドーム配布をプログラム化し、それとともに婚前交渉に暗黙の了解を示すことになるかもしれないと反対する支持者もいた。そこで妥協策として生まれたのが、「ABC」(Abstinence: [結婚までは] 禁欲、Be faithful: 貞節を守る、

Correct and consistent condom use: コンドームを正しく、いつでも使用する) という公衆衛生活動である。これは、実際、ウガンダでの HIV 感染率の減少に役立ったという評価を得た<sup>1</sup>。PEPFAR を実施するための法律が制定される際には、全予算の 20% をエイズ予防のために支出し、そのうちの 3 分の 1 を禁欲教育プログラムに支出することが義務づけられた。また、PEPFAR から助成金を受給する組織には売春反対を誓約する義務を負わせ、売春婦を援助しようとするグループに対する支援を断ち切った。そして、ブッシュ前大統領が、2001 年 1 月の就任初日に定めた「妊娠中絶を支援する団体への連邦予算の拠出制限」、いわゆる事実上の「言論統制法」によって、妊娠中絶の支援グループに対する資金提供も禁止された。

「こうした政治的妥協がなければ、PEPFAR 法案は議会を通過しなかったという見方は、おそらく正しいと思います」と、ジョージタウン大学オニール国内および国際衛生法研究所（米国、ワシントン DC）所長のローレンス・ゴスティンは話す。しかしこうした妥協のために、PEPFAR が、世界的に評判の悪いイラク侵攻で低下した米国の人気を回復するために考え

出された策略に違いないと、多くの活動家に確信させてしまった。しかし、もし PEPFAR の創設にそうした意図があったなら、それは逆効果だった、とカリフォルニア大学ロサンゼルス校デビッド・ジェフェン医学校（米国）の国際保健プログラムディレクターであるトーマス・コーツはいう。「こうした条項のために、米国は世界から愚かしい存在とみられるようになりました。『あの国、またやっているよ。一方で寛大な姿勢をみせておいて、他方では道徳律に沿った制度に予算をつけている』という感じでした」と彼は話す。

この道徳的偽善という汚点は、PEPFAR の初代責任者（2003～2006 年）のランドール・トバイアスが、2007 年に売春組織とのつながりが発覚して公職を辞任したことで、ますます深刻化した。トバイアスは、大手製薬企業イーライリリー社の元最高経営責任者で、コンドームの有効性とジェネリック医薬品の信頼性に対する疑念を公然と表明していた。これに対し後任者のマーク・ダイブルは、情熱に燃える、感染症が専門の若手医師であった。彼は、ファウチ所長とともに PEPFAR の基本部分の調整に助力した。ダイブルは、エイズの実情に深く精通した人物と考えられていた。「ダイブルは、エイズの流行を乗り切った経験のある同性愛者であり、エイズとの間に、トバイアスにはなかったプロとしてのつながりと個人的つながりがあったのです。ダイブルは、[PEPFAR を] 臨床的に強化し、政治的思想もいくらか取り払うことに寄与しました」。こう話すのは、長年のエイズ活動家で、現在は International Treatment & Preparedness Coalition（米国、コネチカット州ニューヘヴン）に所属するグレッグ・ゴンザルベスである。

PEPFAR により、200 万人に対する抗レトロウイルス療法が実施されただけでなく、HIV 感染の母親からの出生児で HIV 感染を防げた者の数は 2008 年までに推定 24 万人となり、保健医療も 970 万人

に対して実施された。PEPFAR は、エイズの影響が最も深刻なアフリカ、アジア、カリブ海沿岸の諸国のうち、15 か国を「重点国」としてターゲットにしている。また、PEPFAR は、莫大な資金を提供するのみならず、当初からしっかりと目標を設定し、それを達成することに成功し、ほかのエイズ救済活動では欠落していることの多い、一種の説明責任が確立されていたと考えられている。「PEPFAR の戦略は、必ず約束を守るようにすることでした。それは国際保健衛生における新しい流れだったのです」とゴスティンは話す。

それでも PEPFAR をめぐる論争は決しておさまらなかった。2006 年には、世界保健機関（WHO）の委託による研究の成果を報告する論文<sup>2</sup>が発表され、その中で「開発途上国では、禁欲のみのプログラムが有効なことを示す証拠はほとんどない」と示された。ウガンダでは、PEPFAR から資金援助を受ける組織に対する規制のために、活動の重点が禁欲に偏りコンドーム関連の活動が不十分となって、再度のエイズ流行の引き金となった、という批判もある。これに対して PEPFAR の幹部は、ウガンダでの活動において、ABC 戦略全体が常に実施されてきたと反論する。「我々の方針が禁欲のみだったということは決してありません。我々の文書を読めば誰にでもわかることです。事実、我々は 20 億セット以上のコンドームを配布しました」とダイブルは話す。

### パートナー国から人材引き抜き

論争の原因は、禁欲条項だけではない。一部の人たちは、PEPFAR が、各国の保健プログラムから希少な人材を引き抜いていると主張した。また、PEPFAR が、エイズに資源を集中させているために、保健制度における同程度に重大なほかの側面、例えば小児期のワクチン接種やその他の感染症がおろそかにされていると抗議している人々もいる。もう 1 つ、PEPFAR が批判されたのは、ジェネリック

医薬品の承認について独自のプロセスを導入し、そのために PEPFAR からの資金提供によって購入された医薬品のほとんどが高価なブランド医薬品になってしまったことである。しかし、PEPFAR から資金提供を受けた組織の中には、そのような方針があっても何とかなる、と考えている組織もある。ルワンダのエイズ対策委員会の前委員長アグネス・ピナグワホによれば、同国では、当初の治療薬に耐性を生じた患者のためにブランド医薬品を購入しなければならない場合に、PEPFAR から提供された 3000 万ドル（約 28 億円）の一部を使い、世界エイズ・結核・マラリア対策基金や世界銀行といったほかの団体から得た資金で安価なジェネリック薬品を購入したという。「ニーズは数多くあり、ほかにも資金の使い道がいつも出てくるのです」とピナグワホは話す。

「ABC」の「B」である「貞節を守る」についても、いくらかの功績が認められている。性行動の変革を奨励する方法に対する関心は世界中で高まっており、それを主導するのが、ハーバード大学人口開発研究所エイズ予防研究プロジェクト（米国、マサチューセッツ州ケンブリッジ）のディレクターで、公衆衛生問題を研究するエドワード・グリーンである。グリーンらの論文<sup>3</sup>では、同時進行で複数の相手と長期的に性関係をもつのではなく 1 対 1 の性的関係が奨励されている地域では、たとえばつきあう相手が次々と変わる場合であっても、エイズの蔓延が相対的に遅いという見解が示されている。これは、急性感染期には、パートナーが複数いる場合のほうが、ウイルスがより急速に拡大するという考え方である。そして PEPFAR の顧問を務めてきたグリーンは、人々が積極的にコンドームを利用することよりも発展的な方法で自らの行動を変える必要があるという考え方を提唱するうえで、PEPFAR が先駆的役割を果たしてきたと話す。「こうしたことを推進してきた資金提供団体は、PEPFAR だけです」とグリーンはいう。



## 議会の貢献

2006年以降、3つの有力な報告書が発表されている。無党派の連邦議会行政監査局（Government Accountability Office）による2つの報告書<sup>4,5</sup>と米国医学研究所<sup>6</sup>の報告書である。いずれもPEPFARの成果を称賛する一方で、支出に関する条項がPEPFARの潜在的先導力をそいでいると批判していた。これに対し、米国議会は、PEPFARの再承認が必要となった2008年7月によりやく対応し、禁欲条項を撤廃したうえで再承認を行った。

新法により、PEPFARは、今後5年間に480億ドル（約4兆5000億円）を利用できる権限が与えられた。これは、PEPFAR創設時の予算の3倍以上に相当し、PEPFARのそれまでの成功を大いに肯定した形になっている。それでも禁欲と貞節に関するプロジェクトに対する支出が、エイズ予防のための支出の半分を下回った場合には、資金受取国の政府は説明責任を負う。評論家は、その規定によって資金の分配が制約されないことを、願っている。また、新法には、PEPFAR批判に対抗していると思われる規定もある。すなわち、14万人の医療従事者の研修を行うという目標、エイズプログラムと栄養プログラムの連携、さらには50億ドル（約4700億円）のマラリア関連予算と40億ドル（約3700億円）の結核関連予算が定められているのである。

現在の課題は、PEPFARの成功を足がかりにして、さらに前進することである。PEPFARの幹部は、これまでにPEPFARの救済を受けた人々が、診療所への通院が可能な「容易に救済できる人々」であった可能性を認めている。道路や医療施設から遠く離れた場所にも数多くの感染者が住んでおり、そのような人々をPEPFARで救済することには困難が予想される。WHOの推計によれば、開発途上国で治療を必要としている約1000万人のうち3分の2が、いまだ治療をま

たく受けていない。また、PEPFARに対しては、HIV以外の疾患にもプログラムを拡大し、妊婦管理や水質改善、基本衛生、食糧などのサービスの提供開始を求める声が高まっている。担当範囲の拡大した米国の新しい国際開発省との統合を求める者もいる。「PEPFARをどのように設計しようと、必要とされる基本的な事柄の多くが手つかずの状態になってしまうと思います」とゴスティンは話す。

しかし、そうした大いなる野望が実現される可能性は低い。財政の逼迫した時代<sup>ひっばく</sup>にあって、オバマ大統領が、世界の保健衛生に関して大胆なプログラムを創設する余地はない。また、一部の論者は、PEPFARに与えられた480億ドルの支出権限すらも議会で承認されないのではないかと案じている。新政権下でのPEPFARの責任者も不透明なままである。ダイブルがABC活動を強く擁護したために、オバマ政権下で再任されるチャンスはなくなった、とする者もあり、後任候補として数人が噂になっている（ダイブルはオバマ政権下で一度は留任となったが、すぐに辞任した）。なかでも最も著名な候補者は、ハーバード大学公衆衛生大学院フランソワ・ザビエ・バグノー保健人権センター（米国、マサチューセッツ州ボストン）のジム・ヨン・キム所長である。

誰が責任者となるにせよ、PEPFARがオバマ政権下で改善され、例えば売春反対の誓約義務や家族計画に逆行する傾向など問題を含んだ側面の多くは解消されるだろうと、評論家は期待している。「PEPFARのすぐれている面が存続し、悪い面が廃止されて、これまでとはまったく異なるプログラムとして再登場すると思います」と、ボストンに本部を置く権利擁護団体「エイズ・フリー・ワールド」の共同ディレクターであるスティーブン・ルイスは予想する。

たとえ今のままであっても、PEPFARという正の遺産のおかげで、ブッシュ前大統領は、政権担当時にほとんど聞かれること



マーク・ダイブルは、ブッシュ政権でのHIV撲滅プログラムの責任者として、同プログラムを臨床的に強化したことが称賛されている。

のなかった一定レベルの評価を今後も受け続けるであろう。「ブッシュという男には我慢ならないのですが、同じ男が、これまで誰もできなかったことをやってのけたのです」とゴンザルベスはいふ。こうした称賛は、HIVの犠牲者が多い場所で特に顕著であることをファウチ所長も感じている。「アフリカに渡り、PEPFARが大きな影響を与えた村に行ってください。村人たちは、米国人であるあなたを見て、こういふでしょう。『ありがとう、どうもありがとうアメリカ合衆国。私たちはあなたがたのことを神に感謝しています』と」。

Erika Check Haydenは、Natureのサンフランシスコ事務所（米国）に所属するシニアレポーターである。

1. Stoneburner, R. L. & Low-Beer, D. *Science* **304**, 714-718 (2004).
2. O'Reilly, K., Medley, A., Dennison, J. & Sweat, M. Paper given at XVI International AIDS Conference 2006; abstract at <http://www.aids2006.org/PAG/Abstracts.aspx?AID=17422>.
3. Green, E. C., Halperin, D. T., Nantulya, V. & Hogle, J. A. *AIDS Behav.* **10**, 335-346 (2006).
4. United States Government Accountability Office *Global Health: Spending Requirement Presents Challenges for Allocating Prevention Funding under the President's Emergency Plan for AIDS Relief* (GAO, 2006).
5. United States Government Accountability Office *Global HIV/AIDS: A More Country-Based Approach Could Improve Allocation of PEPFAR Funding* (GAO, 2008).
6. Committee for the Evaluation of the President's Emergency Plan for AIDS Relief (PEPFAR) *Implementation PEPFAR Implementation: Progress and Promise* (National Academies Press, 2007).

# 'Mini-hibernation' essential for winter survival

## 「ミニ冬眠」作戦で春を迎える

Asher Mullard    doi:10.1038/news.2008.1344 / 5 January 2009

砂漠に棲む有袋類は、デイリートーパーとよばれる日周期性の低体温状態のおかげで、寒い夜をやりすごせる。

小型の哺乳類にみられるトーパーとよばれる鈍麻状態は、寒い冬を越して生き延びるうえで、冬眠と同じくらい重要であるらしい。

小型動物の多くはトーパーに頼っていることが知られている。トーパーは、動物の体温が大幅に低下する本格的な冬眠と、通常の睡眠の中間に当たる状態である。

一部の哺乳類は冬眠によって消費エネルギーを90%以上も減らすことができるが、日周期性のデイリートーパーでは30%しか減らない、と考えられていた。しかし、この見積もりは主に、研究室での実験をもとに計算されたものである。また、研究者の間には、トーパーはいざというときのエネルギー温存法にすぎず、野生の動物ではめったに使われないだろう、という見方もあった。

ニューイングランド大学（オーストラリア、アーミデイル）の動物学者、Gerhard KörtnerとFritz Geiserは今回、哺乳綱有袋類フクロネコ科のクマドリ

スミントプシス（*Sminthopsis macroura*）が、クインズランド州のアストレブラダウンス国立公園内にある自然生息域でどう過ごしているかを調べた。その結果、このネズミに似た有袋類の越冬戦略にデイリートーパーが不可欠であることを見つけ、*Naturwissenschaften* に報告した<sup>1</sup>。

この「綿密でみごとな」調査結果は、「研究室での観察結果では、野生で実際に起こっていることがかなり小さく見積もられてしまう」ことを示している、とウェスタン・オンタリオ大学（カナダ、ロンドン）の生物学者であるJames Staplesは語っている。

### 遠隔モニター

Körtnerによれば、アストレブラは風が強く、岩だらけで乾燥した砂漠の景色が広がっており、「真っ平らで、見回しても丘も高木もなく、100キロメートル以内に人っ子ひとりいない」ところだという。彼はトラックにできるかぎりたくさんの食料を積み込み、1期につき4週間、合計2期分を費やして、冬のクマドリスミントプシスを観察した。オーストラリアの冬は、日中は36℃、夜間は0℃近くになる。彼は、8匹の野生スミントプシスに、無線送信機を内蔵した超軽量の体温モニターを装着させて、トーパーがどう使われているかを追跡した。

実験室の場合と違って、アストレブラのスミントプシスはほぼ毎晩、トーパー状態に入った。毎晩トーパー状態に入らなかったのは1匹だけで、それも一晩だけのことだった。非常に重要なことに、Körtnerたちは、トーパーの長さや体温の低さが気温に左右されていることに気づいた。スミントプシスは、最も気温の低い夜に最も長くトーパー状態を続け、

体温も最も低かった。総合すると、スミントプシスのトーパーは、野生では1日当たり平均およそ11時間で、研究室で観察される平均時間の2倍だった。

研究チームは、スミントプシスがデイリートーパーを用いることで、エネルギー消費を最大90%も減らしているのはいか、と見積もっている。これは、ほかの哺乳類が冬眠で得る恩恵と同程度である。「デイリートーパーは非常時の行動などではまったくありません。スミントプシスが生きていくために極めて重要なものなのです」とKörtnerは話す。

飼育状態と野生状態で動物にこうした明らかな違いがみられたことから、研究室内で自然状態をシミュレーションすることがいかにむずかしいかがよくわかる、とKörtnerはいう。しかも、動物を自然生息域にみられるような周期的で極端な温度変化や餌不足の状態に置くには、研究に当たって倫理的承認を得なければならず、実行するのがいっそうむずかしい。

野外研究の実施がこれまでむずかしかった理由は、トーパーを使う動物が小型である（野生のスミントプシスは1匹の体重が20グラムもない）ことや、よく動き回るせいである。しかし現在では、こうした障害は超軽量の発信機を使うことで乗り越えられる、とKörtnerはいう。

スミントプシス以外の動物も、標準的な生存戦略としてトーパーに依存しているのだろうか。それは、今後も野外調査を行うことでしか明らかにならないだろう。「このパターンはほかの動物でもみられると思うのですが、野外データはまだないんですよ」とStaplesは話している。 ■



野生状態ではほぼ毎晩「ミニ冬眠」を繰り返すクマドリスミントプシス。

1. Körtner, G. & Geiser, F. *Naturwissenschaften* Advance online publication doi:10.1007/s00114-008-0492-7 (2008).



# Atom takes a quantum leap

## テレポーテーション実現まであとわずか？

Geoff Brumfiel    doi:10.1038/news.2009.50 / 22 January 2009

原子では初めて、イッテルビウムイオンの長距離テレポーテーションに成功した。

このほど、イッテルビウムという元素のイオン1個を、1メートル離れた場所へテレポートさせることに成功したことが、*Science* に発表された。これは、従来の記録を大幅に塗り替えるものである。これまで、光子の場合では、もっと遠くにテレポートさせることができていたが、物質の場合は、同じイオントラップの中にある数マイクロメートル離れたイオン間でしか成功していなかった。

今回の技術の効率はまだ非常に悪いが、長距離量子テレポーテーションの重要な原理が実証され、量子通信時代の実現に一步近づいた。

体にぴったりした伸縮性のスーツに身を包んだスタートレックの乗組員たちは、1960年代後半からテレポーテーションを使ってきた。しかし、物理学者たちがテレポーテーションを実現したのは、10年ちょっと前にすぎない。この「非ハリウッド版テレポーテーション」は「量子テレポーテーション」とよばれ、要するに1つの粒子から別の粒子にその量子状態を「写す」ことである。

今回の論文の著者で、メリーランド大学共同量子研究所 (JQI) (米国、カレッジパーク) の Chris Monroe は、「移動させているのは情報であって、実際の原子ではありません」と説明する。しかし、離れた場所にある2個の粒子が同種の粒子であれば、異なっているのはその量子状態だけなので、一方の粒子から量子情報を移動させることは、もう一方の粒子の場所に最初の粒子を動かすことと同等であると考えられる。

量子情報を移動させることは、古典的データを移動させるよりもずっとむずかしい。古典的デジタル情報のビットは、1あるいは0(ゼロ)で蓄えられ、読み取りも

伝送もたやすい。一方、量子ビットは同時に1でも0でもある、あいまいな状態にある。さらに悪いことに、量子ビットを直接測定すると、そのあいまいさが壊れてしまう。このため、量子テレポーテーションを実現するには、量子ビットを読み取らないままデータを動かすことが必要となる。

### 転送してくれたまえ！

研究グループは、2つのイッテルビウムイオン ( $\text{Yb}^+$ ) の間でテレポーテーションを行った。つまり、ある量子状態にある原本のイオンと、その標的となる「白紙」のイオンだ。Monroeらは、両方のイオンを刺激して、原本のイオンと量子力学的に相関している、つまり、「からみ合っている」光子を放出させた。この2つの光子を光ファイバーケーブルに捕獲し、互いからみ合わせると、結果として、元の  $\text{Yb}^+$  イオンもからみ合い、2つのイオンが量子力学的に連結された。

次の段階は、原本のイオンの量子状態を測定して壊すことだ。この測定によって標的イオンの状態が即座に変わり、またその測定結果から、標的イオンの新しい状態もわかる。研究チームはこの情報をもとに最後の微調整を行い、標的イオンの状態を正確に、原本のイオンの最初の状態と同じにした。

「この実験はかなり抽象的に思えるかもしれませんが、こうした実験を行うには理由があります」と、Monroeは説明する。研究者たちは、将来的には、量子データを長距離にわたって伝えることができるネットワークを作りたいと考えている。そのようなネットワークを利用すれば、安全性が極めて高い量子暗号を送ったり、量子コンピューター間で量子情報を伝えたりすることが可能となる。原子は、こうした



イッテルビウムイオンを1メートル離れた場所にテレポートさせた。

ネットワークで中継器として使うことができ、通信範囲を延ばすことができる。

イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校(米国)の物理学者 Paul Kwiat は、「この技術の実用化には、まだまだ時間がかかります」と指摘する。目下の大きな問題は、 $\text{Yb}^+$  イオンから出た光子が1億回に1回しか光ファイバーケーブルに到達しないことである。これは約10分間に1回程度であり、「かなり悪い効率です」と Kwiat は話す。

Monroe も「効率の悪さは確かに課題です」と認める。今回の論文の作成に当たって、必要なデータを集めるために、大学院生が丸3週間、ぶっ通しで実験を行った。しかし、光子がケーブルに到達しさえすれば、残りのプロセスの成功率は90%と高い。

「90%の成功率は、この種のデリケートな量子操作としては非常によいものです。光子をケーブルにうまく導くためにできることは、まだまだたくさんあります。今回の成果は、全体としては、初めて物質の長距離テレポーテーションを実証した、すばらしいものだと思います」と、Kwiat は語っている。

## 行動進化学

## How to treat those of ill repute

## 評判の悪い者をどう扱うか

Bettina Rockenbach &amp; Manfred Milinski

Nature Vol.457(39-40)/1 January 2009

「コストを伴う懲罰」として知られる原理は、人間社会での協力の維持を助けるのだろうか。この問題に関する待望の理論解析結果が発表された。これは、実験と理論の両方に新しい動きを引き起こすだろう。

人間社会は協力関係、なかでも互恵関係のうえに成り立っている<sup>1</sup>。つまり、「私があなたを助け、あなたも私を助けてくれる」か、「私があなたを助け、ほかの誰かが私を助けてくれる」関係である。前者では、手助けに対しては手助けによって直接返礼が行われる。後者は間接互恵性とよばれるもので、手助けをした本人について、よい人だという評判が立ち、その人は困ったときに第三者からの手助けが期待できる。

では、「評判の悪い人」にはどう対処したらよいのだろうか。手助けを拒むだけでよいのか、それとも、自分がコストを支払って相手に懲罰を与えるほうがよいのだろうか。ヒトを対象としたこれまでの実験では、コストを伴う懲罰は協力関係を強化することもある<sup>2,3</sup>が、総体的な利益が得られない可能性もある<sup>4</sup>という結果が出ている。また、必ずしもというわけではない<sup>5</sup>が、たいていは、懲罰にかかるコストによって協力関係の強化で得られる利益が相殺されてしまう。大槻久たちは *Nature* 2009 年 1 月 1 日号で<sup>6</sup>、「評判の悪い人」への手助けを拒むことが協力的な社会につながるのか、あるいは、「評判の悪い人」に懲罰を与えることが協力的な社会につながるのかを、理論的に検証して報告している。その中で大槻たちは、特定のごく限られた条件下にある場合を除いて、懲罰は協力的な社会を生み出さないという結論を導いている。

あなたが困っている人に出会ったとき、その人を助ける（協力; cooperate）か、助けない（非協力; defect）か、もしくは、困っている人を助けただけでなく不利益までもたらす（懲罰; punish）かの 3 つの選択肢から選ぶことができる。あなたにとっては協力と懲罰はどちらもコストを伴うが、困っている人にとっては、助けてもらうことは利得が大きく、懲

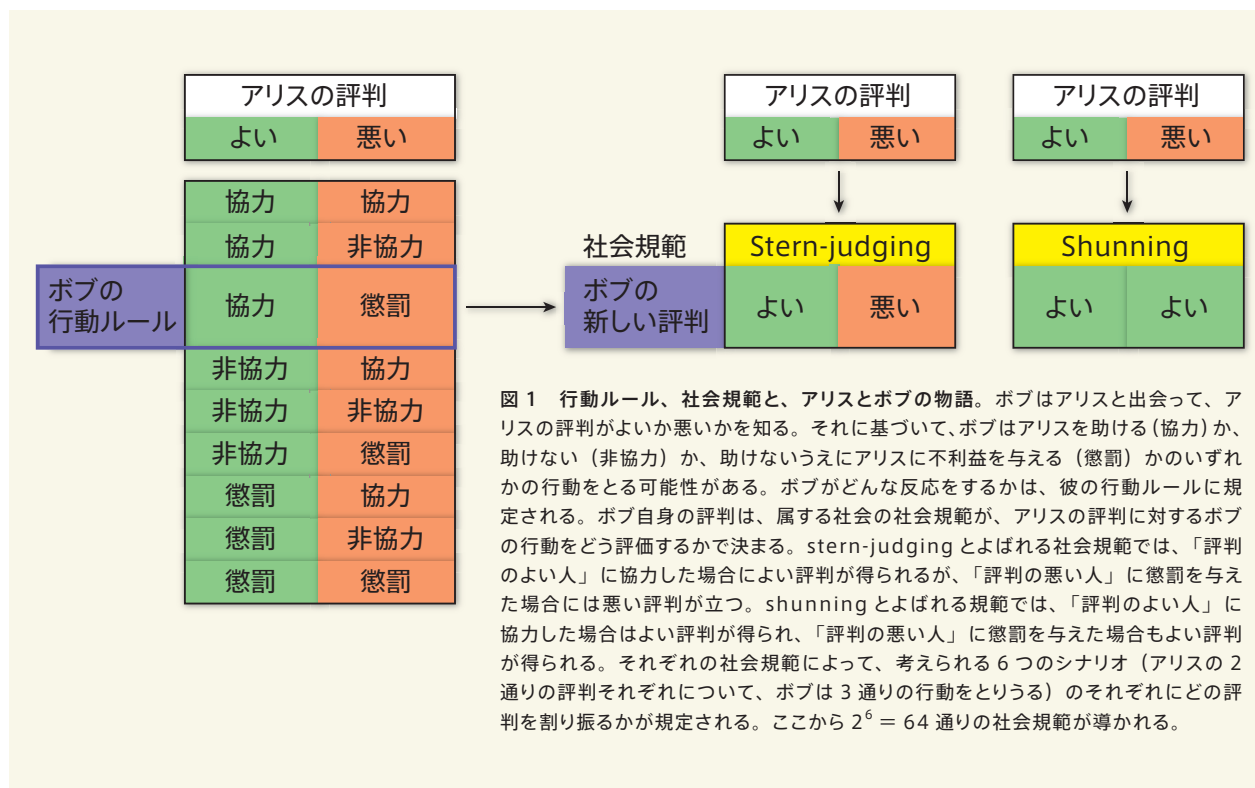
罰を与えられることは失うものが大きい。非協力は、コスト的にはプラスでもマイナスでもない。

そして、あなたがどうふるまうかは、困っている人の評判の良し悪しや、あなた自身の「行動ルール (action rule)」によって決まる。その一例として、『『評判のよい人』に対しては協力し (cooperate)、『評判の悪い人』には協力しない (defect)』という CD ルールがある。あなたが自分の行動ルールを適用することで得られる世間の評判は、あなたの属する社会の「社会規範」によって決まる。例えば、stern-judging とよばれる社会規範の下では、あなた自身がよい評判を得るのは、「評判のよい人」に協力した場合か、「評判の悪い人」に協力せず放置した場合であって、その他の場合は悪い評判を得ることになる。したがって stern-judging 規範の下では、CD ルールにのっとれば常によい評判が得られるのである。

もう 1 つの行動ルールとして、『『評判のよい人』には協力し (cooperate)、『評判の悪い人』には懲罰を与える (punish)』という CP ルールがある。stern-judging 規範の下で CP ルールを用いると、「評判のよい人」に協力するとよい評判が得られ、「評判の悪い人」に懲罰を与えると悪い評判が立つことになる。一方、shunning とよばれる社会規範（「評判のよい人」に協力するか「評判の悪い人」に懲罰を与えることで、よい評判が得られる社会規範）の下では、CP ルールにのっとることで常によい評判が得られる（図 1）。

大槻たち<sup>6</sup>たちが考案した非常に単純なモデルでは、すべての人が相手の評判について同じ見解をもっているか、もしくは、不正確な評判が立つ誤りやすさの程度は同じだと仮定している。そうした社会について、大槻たちは 64 通りの社会規範それぞれに関して（図 1）、協力的な社会を生み出し、





なおかつ進化的にも安定であるような行動ルールが存在するかどうかを検証した。進化的に安定というのは、安定でないほかの8通りの行動ルールのどれかに侵入されてしまうことのない社会を指す（図1）。

大槻たちは、協力を促し侵入を退ける、2つの行動ルールを見つけた。それが、上記の stern-judging 規範下での CD ルールと、shunning 規範下での CP ルールである。ただし、行動ルールでコストを伴う懲罰が用いられる場合には、平均的な見返りが低くなる一方、進化的安定条件の制限はゆるくなる。

しかしながら、どんなパラメーターによって、最も効率がよい行動ルールが決まるのだろうか。ここでいう最も効率がよいとは、平衡状態において見返りの平均値が最も高くなるという意味である。非常に重要なパラメーターの1つは、全員に割り振られた評判の精度であることがわかっている。この精度が低すぎると、評判のよい人にも悪い人にも協力しない（どちらも defect）という DD 行動ルールのみが効率的になる。逆にこの精度が十分に高ければ、CD ルールが効率的になる。この精度が中間程度の場合、参考文献6のタイトルが示すように、CP ルールが効率的になりうるような狭いパラメーター領域が存在する。つまり、「間接互恵性の

下でコストを伴う懲罰が効率的なのは限定的な場合のみである」ということである。

大槻たち<sup>6</sup>はモデル作成に当たってさらに一歩踏み込み、各個人の評判がよいか悪いかについて集団全員が同じ意見をもっているという前提条件をやめて、ひとりひとりが他者の評判を各自でもっていることができるようにした。すると、「よい人」と「悪い人」の区別にごくわずかの誤りがある場合、CD ルールでも CP ルールでも安定性が失われることがわかった。個人が互いにコミュニケーションをとり始め、全員の評判についての評価を調整した場合、CP 行動ルールは安定して維持されうる。次に、もっと効率のよい「噂」を介して評判がさらに広く認められた場合には、CD ルールも CP ルールも、それぞれに応じた社会規範の下で安定的に維持される。間接互恵性についての実証研究<sup>7</sup>から、「噂」は実際に、自分の目で直接見ることの代わりになりうるということが明らかになっている。しかし、「噂」が CD と CP の両ルールの再確立に十分なほど効率的かどうかを明確にするには、さらなる実証研究を要するだろう。

大槻たちが取り組んだ2つ目の疑問は、人がそこで暮らしたいと思う社会とはどんな社会なのかということだった。彼らはこれを調べるため、stern-judging 規範の下で CD ルー

ルをもつ社会と、shunning 規範の下で CP ルールをもつ社会とをシミュレートした。すると、個人が2つの社会のどちらかを自由に選べる場合、より大きい見返りが期待できる CD ルールの社会を選ぶようになった。つまり、規範の異なる社会を自由に選べる場合には、CP ルールは CD ルールに負けることになるのだ。

この最後の結果は、ヒトを対象とした我々（筆者たち）自身の実験結果<sup>8</sup>と比較できる。この実験では、CD ルールのみの社会と、CD と CP の両ルールがある社会のどちらかを選択できるとき、人は最終的に後者を選ぶことがわかった。CP ルールのみの社会と比較すると、CD ルールと CP ルールが共存する社会では懲罰行為がおしなべて減ったものの、最も非協力的な者たちに懲罰が集中し、それによって彼らはより協力的になった。CD ルールと CP ルールが共存する我々の実験的社会は、CP ルールのみがある社会よりも効率がよかったことから、もっと複雑な行動ルールの存在が考えられる。つまり、「よい評判の者」には協力し、「悪い評判の者」には協力せず、「極めて評判の悪い者」には懲罰を与える、という行動ルールである。そうしたルールの可能性は、理論学者が今後取り組む課題である。

大槻たちは、社会はその社会規範によってどの行動が広く行き渡るかが決まることを明らかにした。今後のさらなる課題は、現実社会の社会規範を解明して、どんな行動ルールが

予想されるかを解析することである。大槻たちは、すべての社会規範が等しく生じうると仮定している。しかし、1つの規範が発達するために必要とする情報が多ければ、その規範は誤りを起こしやすくなり、また情報取得にはより多くのコストがかかるようになる<sup>9</sup>。こうした制約により、制約がなければ優勢になるはずの社会規範が脅かされる可能性がある。例えばある実証研究<sup>10</sup>では、被験者の多数に、shunning とよばれる規範に似ているものの、観察量や記憶力をより必要としない別の社会規範が生じた。

究極的には、自然の制約条件下において社会規範と行動ルールが連動する進化を研究することが、今後の目標である。大槻たちは、この試みに向けて足固めをしてくれたのである。

Bettina Rockenbach、エルフルト大学（独）

Manfred Milinski、マックス・プランク進化生物学研究所（独）

1. Nowak, M. A. & Sigmund, K. *Nature* **437**, 1291-1298 (2005).
2. Fehr, E. & Gächter, S. *Nature* **415**, 137-140 (2002).
3. Gülerk, Ö., Irlenbusch, B. & Rockenbach, B. *Science* **312**, 108-111 (2006).
4. Dreber, A., Rand, D. G., Fudenberg, D. & Nowak, M. A. *Nature* **452**, 348-351 (2008).
5. Gächter, S., Renner, E. & Sefton, M. *Science* **322**, 1510 (2008).
6. Ohtsuki, H., Iwasa, Y. & Nowak, M. A. *Nature* **457**, 79-82 (2009).
7. Sommerfeld, R. D., Krambeck, H.-J., Semmann, D. & Milinski, M. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **104**, 17435-17440 (2007).
8. Rockenbach, B. & Milinski, M. *Nature* **444**, 718-723 (2006).
9. Brandt, H. & Sigmund, K. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **102**, 2666-2670 (2005).
10. Milinski, M., Semmann, D., Bakker, T. C. M. & Krambeck, H.-J. *Proc. R. Soc. Lond. B* **268**, 2495-2501 (2001).

**“Nature — Global Leader in Science**  
**... and You Know It! ”**

HOW HOT A JUPITER?  
 AN ANTARCTIC WARMING  
 QUANTUM IMITATION  
 A BIG YEAR FOR ASTRONOMY  
 PARKING A REVOLUTION  
 BEYOND THE ORIGIN  
 ILLUMINATING CAMOUFLAGE  
 LETTING RIP  
 HOPPING  
 SPECIATION IN COLOUR  
 CHOOSING A FUTURE  
 DEEP VENT IMPACT  
 BRANCHING OUT

**npg nature asia-pacific**

**www.naturejpn.com**



# Fifty years of pheromones

## フェロモン発見から50年

Nature Vol. 457(262-263)/15 January 2009

ガ、ゾウ、魚類では強力な化学シグナルが同定されている。しかし、一般向けの書物の記述とは裏腹に、人間のにおいとらえる競争の決着はまだついていない。フェロモンの歴史を Tristram D. Wyatt が紹介する。

今から50年前の1月、Peter Karlson と Martin Lüscher が、同種の生物個体間のコミュニケーションに利用される物質を「フェロモン」とよぶことを提唱した<sup>1</sup>。それ以来、フェロモンは動物界のあちこちで見ついている。ロブスターが求愛するときにも、アブラムシが外敵を警戒するときにも、子ウサギが乳を飲むときにも、シロアリが塚を築くときにも、アリが行列を作るときにも、フェロモンがメッセージを伝えていることが明らかになった。フェロモンは、藻類や酵母、絨毛虫、細菌にも利用されている。

この新語は、差し迫った必要を満たすことができた。Karlson はその少し前に、こうした特徴をもつ物質について同僚の Adolf Butenandt と議論していた。Butenandt は当時、カイコガ (*Bombyx mori*) の性フェロモン「ボンピコール」を化学物質として初めて同定し、論文を発表しようとしていたのだ。フェロモンに関する Butenandt の論文は、因果関係を実証するための Koch (コッホ) の条件 (単離、同定、合成、生物学的検定による活性の確認) を満たしていた<sup>2</sup>。こうして、動物間で作用する化学シグナルが存在しており、それを同定できることを実証した Butenandt の研究は、現在のフェロモン研究の先駆けとなったのである。同時に、専門家以外の人々がヒトのフェロモンについてあれこれ推測するようになり、その傾向は今なお続いている。

化学物質によるコミュニケーションと

いう概念は、1959年に初めて芽生えたものではない。古代ギリシャ人は、発情中の雌犬の分泌物が雄犬を引き寄せることを知っていた。Charles Butler は、1609年の著書『女王の国』の中で、ミツバチに刺されたら「その一刺しが放つ毒の悪臭を嗅いだほかのハチが、雨あられのように集まってくる」と警告している。Charles Darwin (ダーウィン) は、1871年の著書『人類の起源と性選択』の中で化学シグナルを視覚シグナルや聴覚シグナルと同じく性選択の結果であるとし、交尾をする雄のワニ、アヒル、ヤギ、ゾウについて、においの最も強烈な個体が多くの子孫を残すと記している。同じく1870年代の Jean-Henri Fabre (ファールブル) は、雄のヤママユガが、細目金網の中に入れて外からは見えない雌には群がるのに、透明なガラス容器に入れられた雌のことは気にもとめないことを記している。間違いなく、雌のにおいが雄を引きつけていたのだ。

1932年には、生理学者 Albrecht Bethe が、各種の化学的相互作用 (動物間のコミュニケーションや、食物のにおいによる動物の誘引なども含む) を広くカバーする「エクトホルモン」という用語を提唱していた。けれども Karlson と Lüscher が求めていたのは、より狭い範囲のコミュニケーション (同種個体間のみ) を対象とする、より広い範囲の化学物質 (定義上、ホルモンが内分泌腺に由来する物質に限られていたのとは対照的に、

さまざまな器官に由来する物質) を表す用語であった。ギリシャ語の *pherein* (移動) と *hormōn* (興奮) をもとにした新しい用語は、すぐに「エクトホルモン」に取って代わった。「フェロモン」は言葉の響きがよいうえ、「ホルモン」に似ていることから、その作用の違いだけでなく類似性 (ホルモンのように特異的で、ごく微量で活性を示すこと) も自然に推測されるからである。Karlson と Lüscher は、フェロモンを「ある個体が体外に分泌し、同種の別の個体に受容される物質であり、特定の行動や発生プロセスのような特異的な反応を引き起こすもの」と定義した。この新しい用語と定義はしっかりと定着した。

### 多彩なフェロモン

Karlson と Lüscher はすばらしい洞察力をもっていた。彼らは、陸上の哺乳類や昆虫のほかに、魚類や甲殻類を含むさまざまな動物がフェロモンを利用している可能性を指摘した。また、ほとんどのフェロモンは嗅覚や味覚などの通常の感覚を介して作用するが、なかには口から摂取されて脳などの器官に直接作用するものもあるだろうと予言した。実際、シロアリの塚作りに影響を及ぼすフェロモンは、口移しでコロニー中に伝えられる。

Karlson と Lüscher の予想はことごとく裏づけられたが、1959年以降にフェロモンとして同定された分子の多様性には、彼らも目を丸くしたかもしれない。フェロモン分子は、低分子のギ酸からポリペプチ

ドまで多岐にわたっている。現在では、ほとんどのガの性フェロモンを含め、多くのフェロモンが単一の化合物ではなく、複数の分子が正確な比率で種特異的に組み合わせられたものであることがわかっている。

フェロモンの普遍性と多様性は、自然選択によって説明することができる。例えば、魚の性フェロモンの進化は、産卵間近の雌から漏れ出した性ホルモンを雄が感知したことから始まった可能性がある。おそらく、最初に雌のもとに駆けつけられたのは、最も敏感な雄であっただろう。世代を重ねるなかで、シグナルの受け手は感度の高いものが、シグナルの送り手は産生量の多いものが選択されていったと考えられる。

ある生物種の化学シグナルを、ほかの種が利用することもある。例えば、一部のランは、雌のハチのフェロモンを模した物質の混合物を産生することで、花粉を媒介する動物を誘引する。この模倣は極めて精巧で、騙された雄は花に向かって射精するほどである。

Karlson は、生物学にまったく新しい研究分野を誕生させるきっかけもつくれた。彼は、親交のあった若き生物学者 Dietrich Schneider に依頼して、Butenandt がカイコガから抽出した物質の活性を電気生理学的に測定する方法を開発してもらったのだ。このとき Schneider が考案したのが、今なお利用されている触角電図である。これは、ガの両方の触角の先端に電線を挿入し、さまざまな抽出物を提示したときの電気シグナルを測定する装置である。後年、ガとそのフェロモンは神経生物学の重要なモデル系となり、単一の触角感覚細胞の活性が記録されるようになった。

フェロモン研究は、常に順風満帆であるわけではない。フェロモンの概念は、哺乳類のフェロモンをめぐる論争という重大な局面を迎えた。研究者たちは、フェロモンをまとった尾を振り回して自分の優位を主張するワオキツネザルの群れどうし

の「におい合戦」のように、この論戦に熱中した。

発端は、1970 年代に哺乳類の研究者たちが、哺乳類の化学シグナルに「フェロモン」という用語を当てるべきではないと主張したことだった。彼らの主張の根拠となったのは、哺乳類の利他行動や配偶者選択に関して身内と他者の区別に利用されているにおいが、複雑で個体差に富んでいるという事実であった。こうした個体ごとのにおいには免疫系と関係するものもあり、その認識には学習が必要であることから、Karlson と Lüscher の定義には当てはまらないように思われたのである。一部の研究者は、ヒトをはじめとする複雑な哺乳類が、においに対する本能的な反応などといった単純なものによって行動を変えることがあるという前提からして疑っていた。

専門家の間の議論はまだ続いている。筆者は、こうした多様なにおいはフェロモ

ンではなく、「特徴的なにおい (signature odour)」とよぶ方が適切であると考えている (哺乳類のほかに、アリやハチなどの社会性昆虫も複雑で多様なにおいを利用している。これらのにおいはコロニー認識に利用されており、その認識には学習が必要である)。なお、フェロモンの標準的な定義にぴったり合う種特異的な低分子は、哺乳類でも同定されている。なかでも印象的なのは、雌のアジアゾウの性フェロモンが「酢酸 (Z)-7-ドデセン-1-イル」という低分子であったという 1996 年の発見である。この物質は、雌のガの性フェロモンの 1 成分として約 140 種ものガで同定されたものと同じであった。「特徴的なにおい」とフェロモンは、組み合わせることもできる。ゾウやマウスなど一部の哺乳類は、多様性に富む尿中タンパク質 (または、それ以外のリポカリン) の溝に低分子のフェロモンを差し込んで提示している。こうすることで、一般







的なフェロモンシグナルに個体の「特徴的なにおい」を重ねると同時に、タンパク質から低分子を徐々に放出することにより、その作用を長時間持続させることが可能になる。

### ヒトフェロモン

一部の研究者（主として分子生物学者）は、哺乳類にフェロモンがあることを認める一方で、フェロモンを感知するのは鼻にある主要な嗅上皮ではなく「鋤鼻器官」という特殊な感覚系であると主張している。このような考え方は、一般的なモデル生物であるマウスのフェロモンの一部が鋤鼻器官を介して作用しているという知見から出てきたのだろう。ヒトには鋤鼻器官がないため、この理論では、ヒトはフェロモンシグナルを感知することができず、したがって応答もしないことになる。

行動研究および神経生物学研究からは、齧歯類の脳では鋤鼻器官からの情報と主

要な嗅覚系からの情報が統合されていることや、一部の哺乳類フェロモン（ウサギの乳フェロモンなど）が鼻を介して作用していることもわかっていた。それにもかかわらず、この議論は長く続き、2005 年になってようやく終結した。遺伝子マーカーとノックアウトを併用した分子レベルのマウス研究により、フェロモンが双方の系を刺激し、それが脳内で統合されていることが確かめられたのである。だとすると、ヒトは鋤鼻器官がなくてもフェロモンシグナルを受け取ることができるはずだ。

フェロモンの同定と合成は有効に利用され、綿花畑のガから北米五大湖のヤツメウナギまで、さまざまな有害生物を駆除するための最も環境にやさしい手段となった。フェロモンは、有害生物を引き寄せ捕獲したり、雄を幻惑して雌との出会いを阻止したりするのに利用されているが、フェロモンの高い特異性と低い毒性のおかげで生態系は破壊を免れている。

分析技術の発達は進歩を可能にする。最初にフェロモンを同定した Butenandt らは、12 ミリグラムの材料を調製するのに 50 万匹の雌のカイコガを必要とした。今日なら、ガは 1 匹ですむだろう。新しいツールは新しい発見をもたらす。今日では、闘うスズメバチが発する化学シグナルをリアルタイムで追跡することができる。また、マイクロアレイゲノミクスは、フェロモンに応答するミツバチの脳内における遺伝子のオン・オフの切り替えを可視化することを可能にした。しかし、すべての問題が解決されたわけではない。フェロモン分子を正確に合成するのは、同定することほど容易ではない。また、動物の鳴き声はビデオや MP3 を使って簡単に記録・再生することができるが、化学シグナルを再生するための装置はない。

ヒトについてはどうだろう？ ヒトは哺乳類だから、フェロモンを利用していると考えられる。第二次性徴の出現とともに脇の下からにおいが出るようになることから、脇の下はフェロモンの発生源の第一候補となっている。しかし、ヒトの行動もヒトが放出する物質も極めて複雑であり、その研究は容易ではない。一般向けの書物にはいろいろと書かれているものの、今のところ完全に同定されたヒトフェロモンは存在しない。第一号のヒトフェロモンとなる可能性が高いのは、女性の脇の下から採取された物質であり、ルームメイトの女性どうしの月経周期を同期させている可能性がある。この物質は経鼻避妊薬の開発につながる可能性があるため、その同定は強く待ち望まれている。惚れ薬は存在しないかもしれないが、ヒトフェロモンが世間をあっといわせる日が来るのは確実だろう。

Tristram D. Wyatt は、英国オックスフォード大学動物学科に所属。著書に『Pheromones and Animal Behaviour』がある。

1. Karlson, P. & Lüscher, M. *Nature* **183**, 55–56 (1959).
2. Butenandt, A., Beckmann, R., Stamm, D. & Hecker, E. Z. *Naturforsch.* **B14**, 283–284 (1959).

# スギ花粉症のワクチン、臨床に向けて研究開始!

石井 保之

今年もスギ花粉の飛ぶ、嫌な季節がやってきた。今や、日本人の2～3割がスギ花粉症であるともいわれ、深刻な「国民病」になっている。にもかかわらず、いまだに症状を抑えるだけの対症療法しかないという。理化学研究所 免疫・アレルギー科学総合研究センターの石井保之チームリーダーは、生活の質を著しく低下させる鼻水、鼻づまり、くしゃみなどを、根本から抑えるための「ワクチン開発」を急いでいる。ワクチンの仕組みや効果、実用化の見通しなどについて話を聞いた。

## 免疫寛容を誘導するワクチン

**Nature Digest** — なぜ、スギ花粉症のワクチン研究を始めたのですか？

**石井** — 理化学研究所（以下、理研）で花粉症ワクチン研究のプロジェクトが立ち上がり、声をかけていただいたのが始まりです。もともと、私はキリンビールの医薬探索研究所で免疫抑制剤の研究をしていました。その過程で、アレルギーの原因物質（IgE）を発見した石坂公成先生のラボ（ラホヤ・アレルギー免疫研究所）に留学する機会を得て、そこでIgE抗体を抑制するメカニズムについての研究を行いました。留学からキリンビールに戻り、免疫抑制剤の医薬品開発を再開しましたが、IgE抗体産生制御の研究に未練があったため、2000年にキリンビールを退職しました。その後、工業技術院（現・産業技術総合研究所）を経由し、途中約2年間は理研との研究を兼務し、2004年からは理研専任のチームリーダーとして仕事をしています。

**ND** — 今回のワクチンは、インフルエンザワクチンなどと同じ仕組みなのでしょうか？

**石井** — インフルエンザや麻疹などのワクチンは、少量の病原体（抗原）を接種することで免疫を活性化し、同じ病原体が次に体内に侵入した際に、すみやかに病原体を排除させようというものです。つまり、免疫のアクセラレーションの強化を図

るものだといえます。私たちが開発しているワクチンは、これとはまったく逆の発想です。私たちの免疫系には、食べ物などの必須物質、あるいは人体に無害の外来物質に対してアレルギーを起こさないようにするためのブレーキ機能（免疫寛容）が備わっていますが、卵アレルギーやスギ花粉症などでは、免疫寛容の仕組みが異常になっています。そこで私たちは、免疫のブレーキ機能を強化して、免疫寛容を誘導する機能をもつワクチンの研究をすることにしました。

**ND** — なぜ、免疫のブレーキ機能が弱まってしまったのでしょうか？

**石井** — 本来、花粉は人体に無害で、免疫寛容されるべき物質です。それなのに、なぜ免疫のブレーキが効かないのかについては諸説がありますが、その詳細はわかりません。今のところ、花粉を誤って「有害なもの」と認識してしまうのではないかと、次のような仮説が有力視されています。IgEは抗体の一種で、もとは寄生虫を排除するためのものだったとされています。ところが、トイレの水洗化や化学肥料の使用によって寄生虫がいなくなり、IgEはターゲットを失うことになりました。IgEは、主にタンパク質の立体構造を認識する抗体です。偶然にも、スギ花粉のタンパク質の立体構造やアミノ酸配列のある一部が、寄生虫由来のタンパク質の立体構造やアミノ酸配列によく似ているといったことがあり、スギ花粉をターゲットだと「勘違い」して、アレルギー反応を引き起こすようになったのではないかと推測しています。

## 組み換え融合タンパク質を PEG やリボソームで包み込む

**ND** — 今回のワクチンの成分とは？

**石井** — ワクチン抗原としては、スギ花粉症を引き起こす花粉タンパク質の一部を利用しています。ただし、そのまま使うのではなく、ある操作を加えました。スギ花粉症の抗原としては大きく2種（Cry j1、Cry j2）が知られていますが、私たちは遺伝子工学技術を使って、この2種をつなぎ合わせた「組み換え融合タンパク質」を作り、それをワクチン用抗原として利用したのです<sup>1</sup>。というのは、天然型のCry j1やCry j2を単体のまま使うと、アナフィラキシーショックという重篤な免疫反応を引き起こす危険性があるからです。一部の医療機関では、Cry j1やCry j2を含むスギ花粉エキスを少しずつ体内に投与する「減感作療法」が行われています。この作用の

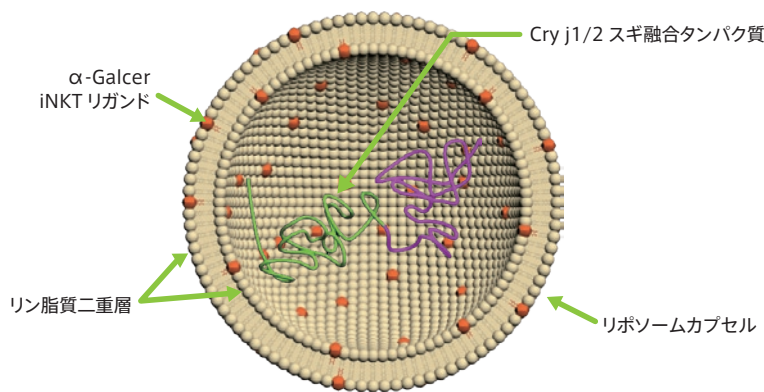


図1 リボソームを用いたスギ花粉症ワクチンの構造。抗原となるCry j1とCry j2の組み換え融合タンパク質は、リン脂質二重膜からなるリボソームカプセルの内部に入っている。また、免疫反応をすみやかに引き起こす目的で、脂質二重層のところに、NKT細胞を活性化させる物質（α-GalCer）が挿入されている。





石井 保之 (いしい・やすゆき) / 独立行政法人理化学研究所 免疫・アレルギー科学総合研究センター ワクチンデザイン研究チーム チームリーダー。理学博士。1962年、北海道生まれ。1986年、東京工業大学理学部化学科卒。1988年、同大学大学院総合理工学研究科生命化学専攻(大島泰郎教授)博士課程前期修了。1988～2000年、キリンビール株式会社医薬探索研究所勤務。1993～1996年、米国のラホヤ・アレルギー免疫研究所免疫化学部門(石坂公成博士研究室)留学。2000年、通産省工業技術院〔現・(独)産業技術総合研究所〕主任研究官。2004年4月より現職。

1993～1996年に留学した石坂公成博士の師事を受け、免疫制御やIgE抗体産生制御機構の研究を開始した。留学中の研究成果にて博士号を取得し、キリンビールに戻ってからは、アレルギー治療の医薬品開発に従事。2000年にキリンビールを退職し、工業技術院にて石坂公成博士の指導を受けながら、IgE抗体産生制御機構の研究を再開した。2004年からは、理研免疫・アレルギー科学総合研究センター(谷口克センター長)にて、スギ花粉症ワクチンの研究開発を担当することになり、IgE抗体産生制御機構の研究を基盤に、根本治療を可能にする新規ワクチンの設計と性能評価を行っている。

詳細については未解明ですが、治療効果が得られることはわかっています。しかし抗原の量を誤ると、命にかかわるようなアナフィラキシーショックを起こしてしまいます。その点、私たちの組み換え抗原は、Cry j1とCry j2を結合させて作ったため、タンパク質の立体構造が変化し、Cry j1ともCry j2とも異なったものになっています。そのため、アナフィラキシーショックを誘発する危険はなく、免疫寛容の誘導に必要なCry j1とCry j2のアミノ酸配列はすべて含まれているので、免疫寛容を誘導する効果には何ら影響がないというわけです。

**ND** — 組み換え抗原をそのまま投与するのでしょうか？

**石井** — そうではありません。分解されずに、かつ安全に体内に取り込まれる細工を施します。今回は、2種類のやり方を考えてみました。1つは、組み換え抗原を「ポリエチレングリコール(PEG)」で修飾するというもので、もう1つは、組み換え抗原を「リポソーム」というリン脂質二重膜のカプセル内に入れるものです。後者のリポソームには、ナチュラルキラーT(NKT)細胞<sup>2</sup>という免疫細胞を刺激する化合物(α-ガラクトシルセラミド: α-GalCer)も封入し、積極的に免疫寛容を誘導するしかけにしましたので、こちらはすでに症状が出ている場合の治療用として使えると考えています(図1)。一方、PEG化したほうは、花粉飛散前に処方するために使うのがよいのではないかと考えています。PEGもリポソームも、すでに医療用として使われており、これらが新たなアレルギーを引き起こす危険はありません。それどころか、組み換え抗原を包み込むことで、抗原が露出するのを防ぐ働きも発揮します。ヒトへの投与法はまだ決めていませんが、まずはPEG化ワクチンを舌下投与して粘膜から吸収させるのがよいのではないかと考えています。

**ND** — 組み換え抗原を入れると、なぜ症状が抑えられるのでしょうか？

**石井** — 2種のワクチンは、少し異なる作用によってアレルギー症状を抑えます。どちらのワクチンもまず抗原提示細胞に取り込まれるのですが、その種類が異なります。PEG化ワクチンのほうは、主に、プロフェッショナルな抗原提示細胞である樹状細胞に取り込まれます。その後、樹状細胞内のプロテアーゼによって切断され、断片が、免疫反応を起こすヘルパーT細胞に提示されます。すると、ヘルパーT細胞がいったん活性化されますが、PEG化ワクチンの抗原はIgE抗体

に結合しないため、しだいにヘルパーT細胞の活性化が抑制されることになります。一方のリポソームワクチンは、B細胞の一種に取り込まれます。すると、α-GalCerを提示されたNKT細胞が、免疫制御機能を発揮するとともに、抗原ペプチドを提示されたナイーブT細胞(抗原に暴露されたことのないT細胞)が、ブレーキ機能をもつ免疫細胞(制御性T細胞)へと分化し、増殖します。この制御性T細胞は、スギ花粉抗原によるヘルパーT細胞の働きを特異的に抑制するため、B細胞からのIgE抗体産生が抑制されることになります<sup>3</sup>。

## 7年後の実用化をめざしてTRを開始

**ND** — 実際には、どの程度の効果が得られるのでしょうか？

**石井** — ワクチン投与後に、ある程度の時間が必要です。例えば、ある花粉飛散シーズンにリポソームワクチンを数回受けると、そのシーズンの症状は十分には改善しないかもしれませんが、翌シーズンは目に見えて改善しているという感じです。ただし、制御性T細胞の数はだんだんに減少してしまうので、一定のサイクルでワクチンを受ける必要があります。毎年受ければ、最終的には抗アレルギー薬などの内服が必要なくなると考えています。

**ND** — 一刻も早い実用化が望まれますね。

**石井** — そのとおりです。すでに私たちは、臨床応用するための橋渡し研究(トランスレーショナルリサーチ: TR)を始めめています。現在は、ヒトに投与できるレベルのワクチンを作る段階まで来ており、今後はアレルギー臨床ネットワークに参加している大学病院と医療機関の協力のもとで、臨床研究として実際の患者さんに投与することになると思います。一方で、製薬企業とも連携して、工業化に向けた検討も始めています。早ければ、7年後には実用化できるかもしれません。私たちの技術は、スギ花粉以外の抗原にも応用できるので、将来は食物アレルギーや喘息、アトピー性皮膚炎などのワクチン開発も手がけたいと考えています。

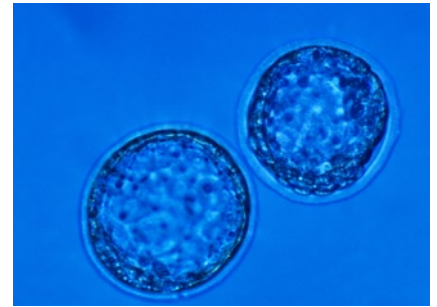
**ND** — ありがとうございます。

聞き手は、西村尚子(サイエンスライター)。

1. 石井保之, 「リコンビナントCryj1/2融合蛋白質を用いたスギ花粉症治療研究」, 臨床免疫・アレルギー科, 1月号(2009)。
2. Taniguchi, M. et al. *Annu. Rev. Immunol.* **21**, 483-513 (2003)。
3. Ishii, Y. et al. *Front. Biosci.* **13**, 6214-6228 (2008)。

皮膚は、けがをしても再生されて治ります。ところが、脊髄や心筋細胞のように、一度損傷を受けてしまうと、再生されない組織があります。こうした疾患の治療法の 1 つとして、近年、胚性幹細胞（ES 細胞）を利用した再生医療が注目を集めています。しかし、ES 細胞による治療は、病気治癒の喜びとともに、ヒトの受精卵から作られるゆえの倫理的問題を抱えています。

米国では今年 1 月、ES 細胞を用いた治療法の臨床試験が承認されました。オバマ新政権誕生後まもないタイミングでの承認には、どのような背景があるのか読み取ってみましょう。



胚盤胞期にあるヒトの初期胚。

## NEWS nature news

語数：354 words 分野：細胞・医学・政策

Published online 24 January 2009 | Nature | doi:10.1038/news.2009.56

<http://www.nature.com/news/2009/090124/full/news.2009.56.html>

# Human embryonic stem cell trial wins approval

California company will move ahead with spinal cord treatment this summer.

Meredith Wadman

- In a milestone for a politically charged field, the US Food and Drug Administration (FDA) has approved the world's first clinical trial of a therapy generated by human embryonic stem cells.
- Geron, a Menlo Park, California-based company, announced on 23 January that it has won the regulatory agency's approval to launch a small, phase I safety study of a stem cell-derived therapy for spinal cord injury. The publicly traded company has an extensive patent portfolio relating to embryonic stem cell research, and few other competitors; the announcement sent its shares soaring. On Friday, they closed up 36 percent, at \$7.09.
- In the trial, eight to ten paralyzed individuals within 7 to 14 days of their injury will be injected at the point of injury with stem cell-derived precursors to oligodendrocytes, which are key supportive cells in the central nervous system. It is hoped that the cells will lay down sheaths of myelin — an insulator essential for conducting nerve impulses — around injured neurons, as well as stimulating nerve cells to regenerate. The cells have demonstrated both capabilities in animals.<sup>1</sup>
- The company said it expects to begin enrolment early this summer at up to seven US medical centres.
- In a conference call with analysts and reporters, Geron's president and CEO Thomas Okarma said that the trial "marks the dawn of a new era" in medical therapeutics. This approach is one that reaches beyond pills and scalpels to achieve a new level of healing."
- The news of the FDA approval came on President Barack Obama's third full day in office, prompting speculation that Geron's 22,000-page FDA application, first submitted last March, was delayed for political reasons. President Bush had placed tight restrictions on federal funding for embryonic stem cell research; President Obama has promised to reverse those. (The Geron cells come from one of a score of lines approved for federal funding under the Bush policy.)
- Both the company and the FDA denied that any politics were at play. "Science drives our decision making," says Karen Riley, an FDA spokeswoman. "Political considerations have no role in this process. The timing was coincidental."

#### References

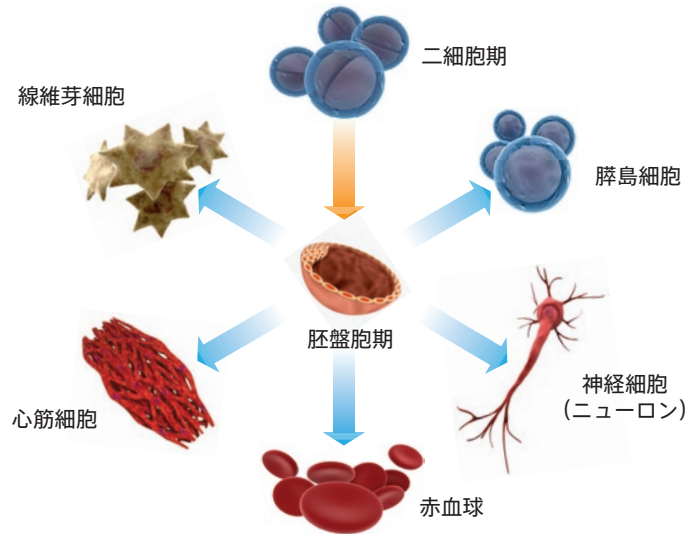
- Keirstead, H. et al. *J. Neuroscience* **25**, 4694 (2005).



## TOPICS

## 胚性幹細胞 (ES 細胞) と再生医療

胚とは、多細胞生物の発生の初期段階のことで、このうち、哺乳類の受精卵が数回細胞分裂を行い、一層の細胞で細胞の塊が包まれる時期を胚盤胞期という。胚盤胞期の内部細胞塊は、胎盤以外のすべての組織・器官に分化することができる。胚性幹細胞 (ES 細胞) は、この内部細胞塊から取り出した細胞から作られたもので、体じゅうのどんな細胞にも分化が可能である。このため、ES 細胞は「万能細胞」といわれる。そのうえ、ES 細胞は無限に増殖させることができるので、事故や病気で損なわれた細胞の代わりに、ES 細胞から作った組織を移植するという再生医療に役立つと考えられる。しかし、ES 細胞は、受精卵 (不妊治療などで余ったもの) を利用するため倫理上の問題がついて回り、日本をはじめ多くの国で、ES 細胞を利用した治療は承認されていない。また、ES 細胞から作製された組織は患者の自己クローンではないので、移植後は、拒絶反応が起こることになる。それでも、提供臓器が少ないなどの問題から、ES 細胞を利用した再生医療には期待が寄せられている。



## SCIENCE KEY WORDS

リード **spinal cord: 脊髄**

脊椎 (背骨) の中を通っている、脳の延髄から尾骨まで伸びている神経。頭部から下部の組織では、脊髄を介して、脳からの運動命令が体の各組織へ伝わり、また体の各部位からの感覚・知覚が脳に伝えられる。このため脊髄が損傷すると、損傷部位により、さまざまな部位の麻痺が起こる。損傷した脊髄細胞は再生しないので、現在最も有効な治療は、ES 細胞や iPS 細胞などを利用した再生医療と考えられる。

1. **clinical trial: 臨床試験、治験**

新薬や新しい医療機器の開発時に、人体における有効性や安全性を検証する試験を臨床試験といい、このうち、監督機関 (日本では厚生労働省) から承認を受けるためのものを治験という。治験は、第 I 相 (phase) から、第 IV 相まで行われることが多い。

- ・第 I 相: 少人数の健康な成人 (ボランティア) を対象とし、薬物候補物質の投与量をごく少量から徐々に増やし、薬物動態や安全性を検証。
- ・第 II 相: 候補物質の対象となる、比較的軽度の少数の患者を対象に、薬物動態や安全性に加え、有効性を検証。
- ・第 III 相: 多数の患者を対象に、有効性、安全性、さらに使用状況などを検証。これで、良好な結果が得られれば、製造販売承認申請する。
- ・第 IV 相: 製造販売後臨床試験といわれ、市販の後、新たに報告された副作用などを検証。

3. **oligodendrocyte(s): オリゴデンドロサイト**

ミエリン鞘 (下記参照) を形成しているグリア細胞。グリア細胞とは、神経系を構成する神経細胞以外の細胞のことで、直接、情報の伝達が行わないが、ミエリン鞘形成のほか、細胞に栄養を補給したり、位置を固定したり、免疫の機能をしたりする。また、最近では、記憶や学

習などにかかわっているのではないかとわれている。

3. **central nervous system: 中枢神経系**

神経系の中核を占めるもので、脊椎動物では、脳と脊髄をいう。これに対し、感覚や触覚、筋肉の運動神経、臓器の運動神経などは、末梢神経という。

3. **sheaths of myelin: ミエリン鞘、髄鞘**

軸索を覆う絶縁性のリン脂質の層で、オリゴデンドロサイト (中枢神経系) とシュワン細胞 (末梢神経系) からなっている。軸索はこれらの細胞ですべて覆われているのではなく、ところどころ、むき出しになっている部分がある。この構造により、電気信号のショートを防ぐだけでなく、むき出しの部分を電気信号が飛び飛びに伝わることで、連続的に伝わるより伝導速度が速くなる (跳躍伝導)。

3. **nerve impulse(s): 神経インパルス**

情報を伝える電気信号。刺激によるイオンの流入出などで、細胞膜の内と外で電位差が生じる。これを活動電位 (インパルス) といい、神経系で情報を伝える。活動電位は減衰することなく軸索を伝わり、軸索末端で隣の神経細胞に情報を伝える (下記参照)。

3. **neuron(s): ニューロン**

神経細胞のこと。核などの細胞小器官の集まる細胞体、細胞体から飛び出した突起である樹状突起、細胞体から伸びた軸索に分けられる (TOPICS の図参照)。軸索末端では、伝わってきた活動電位により化学物質が放出されたり、あるいは直接イオンが放出されたりして、隣のニューロンの樹状突起に情報が伝わる。この接合部位をシナプスという。情報を受け取った細胞では活動電位が生じ、軸索末端でさらに次のニューロンへと伝えられる。

## WORDS AND PHRASES

1. **politically charged: 「政治色の濃い」**

charged は「熱のこもった」「激しい」という意味。

2. **regulatory agency: 「監督官庁」「規制当局」**

これは 1. の US Food and Drug Administration (FDA) を言い換えた表現。

2. **publicly traded company: 「株式公開企業」**2. **extensive patent portfolio: 「大規模な特許ポートフォリオ」**

patent portfolio は、企業が保有する特許全体のこと。

2. **the announcement sent its shares soaring: 「この発表で同社の株価は急騰した」**

< send + [人・もの] + -ing > で、「[人・もの] を ~ させる」。

share(s) は「株式」(この記事では「株価」と意識)。soar は「急騰する」という意味。

3. **at the point of ~: 「～のあった部位」**4. **enrolment: 「参加登録」** ((米)) enrollment5. **marks the dawn of a new era: 「新時代の幕開けとなる」**

mark ~ は「～の印となる」という意味。

5. **reach(es) beyond pills and scalpels: 「錠剤やメスを超える」**7. **(be) at play: 「活動している」「作用している」「関係している」**

ここでは、politics at play で「政治目的が働いている」という意味。

7. **Science drives our decision making: 「意思決定の内容は科学によって決まる」**

この drive は、「決める」「動かす」という意味。

7. **have no role in ~: 「～で何の役割も果たさない」**

## 参考訳

## ヒト胚性幹細胞を使う治療法の臨床試験が許可された

この夏、米国カリフォルニア州の企業が脊髄損傷の治療に踏み出す。

メレディス・ワッドマン



保守層を支持基盤としたブッシュ政権では、生命倫理の重視を理由に、ES 細胞の研究を規制していた。

UPI PHOTO/ROGER L. WOLLENBERG/NEWS.COM

1. 米食品医薬品局（FDA）が、ヒト胚性幹細胞（ES 細胞）を使う治療法の臨床試験を世界で初めて承認した。この政治色の濃い分野においては、画期的な出来事である。
2. カリフォルニア州メンロパークのジェロン社は、脊髄損傷患者に対する幹細胞を利用した治療法について規制当局の許可が得られ、小規模な第 1 相安全性試験を開始することになった、と 1 月 23 日に発表した。ジェロン社は ES 細胞研究に関する大規模な特許ポートフォリオを有しており、競合他社の数は少ない。今回の発表により、株式公開企業である同社の株価は急騰した。金曜日（1 月 23 日）の終値は、前日から 36% 上昇して、7 ドル 09 セント（660 円）となった。
3. この臨床試験では、脊髄を損傷してから 7 ～ 14 日以内の麻痺患者 8 ～ 10 人を対象として、幹細胞から作製したオリゴデンドロサイト（中枢神経系の重要な支持細胞）の前駆細胞を損傷部位に注入する。治療により、損傷したニューロンの周囲にミエリン鞘（神経インパルスの伝達に必須の絶縁体）が形成されるとともに、神経細胞が刺激されて再生することが期待されている。動物実験では、オリゴデンドロサイト前駆細胞にこの 2 つの能力があることが、既に実証されている<sup>1</sup>。
4. ジェロン社は、この夏の初めに、米国内の最大 7 か所の医療センターで、臨床試験への参加登録を開始する予定になっている、と発表した。
5. **政治と許可**  
ジェロン社の Thomas Okarma 社長兼 CEO は、アナリストや記者との電話会議で、この臨床試験が「内科医療にとっての新時代の幕開けであり、この治療法は、錠剤やメスを超えて、治療の水準をさらに高めることとなります」と話した。
6. FDA による許可のニュースが伝わったのは、バラク・オバマ大統領の就任 3 日目のことだった。そのため、昨年 3 月にジェロン社が FDA に初めて提出した 2 万 2000 ページに及ぶ申請書の処理が遅れたことには、政治的理由があったのではないかという憶測をよんでいる。ブッシュ前大統領は、ES 細胞研究に対する連邦政府からの資金提供に厳しい制限を課していたが、オバマ大統領は、この制限を撤廃することを約束していた（ジェロン社が使用する細胞は、ブッシュ政権の方針に基づいて連邦政府からの資金提供が認められていた 20 株の幹細胞株の 1 つから作製されている）。
7. ジェロン社も FDA も、政治的関与の存在を否定している。「私たちの意思決定は、科学に基づいて行われます」と FDA 広報担当官の Karen Riley はいう。「この過程で、政治的配慮が働く余地はありません。今回は、たまたまこのようなタイミングになったというだけです」。





“ **Nature** — Global Leader in Science

... and You Know It ! ”



 nature asia-pacific

[www.naturejpn.com](http://www.naturejpn.com)

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

メールをお送りいただく際には、お名前・ご職業・「ネイチャー・ダイジェスト」購読年数のご記入をお願いいたします。掲載内容についてのご意見・ご感想は、掲載号や記事のタイトルを明記してください。お寄せいただいた内容は、今後の本誌の編集に活用させていただきます。皆様のメールをお待ちしております。

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

# 日本語で **nature** を読む

*Nature Digest* は、*Nature* を日本の皆様により身近に感じていただくために全ページ日本語で編集した月刊科学情報誌です。  
*Nature* 本誌、*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わり充実した1冊となっています。  
一般メディアでは知ることのできない世界各国の科学関連ニュースをお楽しみください。



(本文 36 頁)



## nature 翻訳・編集記事

- HIGHLIGHTS / 論文ハイライト
- EDITORIAL / 社説
- NATURE NEWS / 科学ニュース
- NEWS & VIEWS / 科学論説
- NEWS FEATURE /  
科学ニュース読み物・  
興味あるテーマを親しみやすく解説
- SNAPSHOT

## オリジナル編集記事

- JAPANESE AUTHOR /  
日本人科学者へのインタビュー記事
- 英語で NATURE /  
NATURE に掲載の記事から  
生きた英語を学ぶ

Nature Digest 定期購読お申込みはこちらから

[www.naturejpn.com/digest-f09](http://www.naturejpn.com/digest-f09)