日本語で読む世界の最新科学ニュース

# nature

漂流惑星がいっぱい

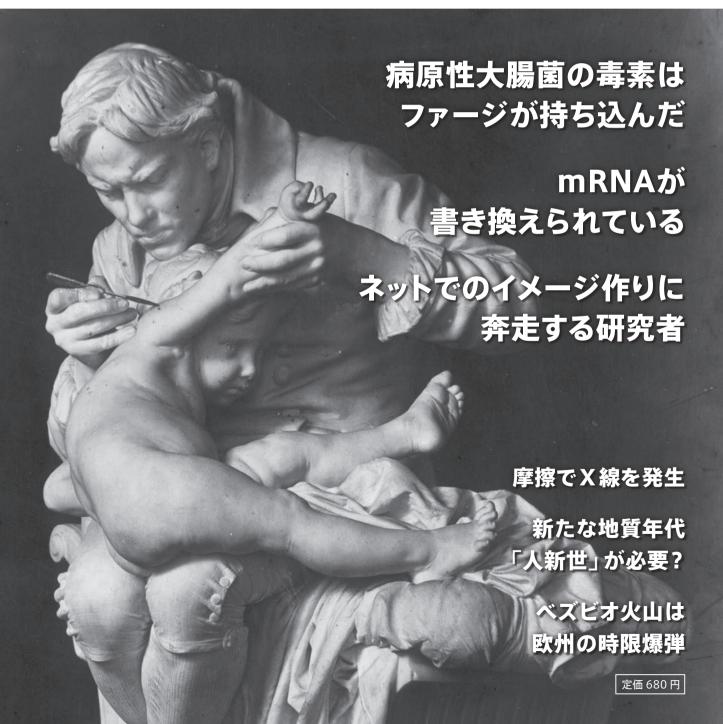
携帯電話の発がん性

女王蜂になるには

40万Gに耐える細菌

08 2011

### ワクチンの効能と安全性



The No.1 weekly science journal

インパクトファクター記念 購読キャンペーン 2011 年8月31 日まで

6か月分プレゼント!

Nature 1年購読 53,500円/年 12か月 → **18か月** 

2年購読以上なら、最大36% OFF!

rediscover your nature

\* 2010 Journal Citation Reports \* (Thomson Reuters, 2011)



08 2011

#### 2011年7月25日発行

© 2011 年 NPG Nature Asia-Pacific 掲載記事の無断転載を禁じます。

www.nature.com/naturedigest



### ワクチンの安全性について考える 08

COVER IMAGE: HULTON ARCHIVE/GETTY IMAGES

ワクチン接種では、副反応は避けられない。 だが、ワクチンにより重篤な感染症が回避されているのは事実だ。

#### **NATURE NEWS**

- **03** アウストラロピテクスは 遠くからお嫁入り
- **04** 携帯電話の発がん性に 公式見解
- **12** 複雑な鳴き声を出す ガマアンコウ
- 14 人間活動を指標に、 新たな地質年代
- 19 研究室発のサルモネラ感染

#### **NEWS FEATURE**

- 16 ネット上の評判が気になる研究者
- 24 ヨーロッパの時限爆弾

#### **NEWS & VIEWS**

22 摩擦で発生させる小型 X 線源

#### JAPANESE AUTHOR

06 地球重力の 40 万倍でも、 細菌は生存できる! ---出口茂

#### **EDITORIAL**

- 27 科学者が高校教育の現場に入る
- 28 研究は誰の価値観で進めるべきか

#### **HIGHLIGHTS**

29 2011年6/2~6/30号

#### 英語で Nature

34 ヒト細胞から作った 「生きているレーザー」

#### **02** 孤独な惑星が いっぱい

地球は太陽の周りを回っている。だが、我々の銀河系には、親星を持たずに漂流している惑星がかなりあるらしい。



NASA/IPL-CALTECH

### **05** 暗躍する バクテリオファージ

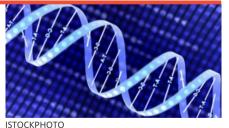
病原性大腸菌の毒素はファージを介して 持ち込まれたが、近年の感染増加は、農業 での抗生物質乱用が加担しているようだ。



ISTOCKPHOTO

#### **13** 生物学のセントラル ドグマが覆されるのか?

mRNA が、日常的かつ体系的に書き換えられているという論文が、大きな波紋を広げている。



.5. 5 6. .. . . . . . .

### 20 ロイヤルゼリーの 神秘の成分

女王バチを作るロイヤルゼリーの成分が 同定された。これをショウジョウバエに 与えると、「女王バエ」ができた。



ISTOCKPHOTO

### 孤独な惑星がいっぱい

#### So many lonely planets with no star to guide them

NADIA DRAKEN 2011年4月27日 オンライン掲載www.nature.com/news/2011/110427/full/news.2011.259.html

我々の銀河系は、親星を持たない浮遊惑星で満ちているかもしれない。

我々の銀河系には、木星ほどの質量の、自由に漂う惑星が至るところにあるらしい。おそらく、親星の周囲を回る代わりに、銀河系の中心の周りを回っているのであろう。このような惑星はまれな存在ではなく、最もありふれたタイプの恒星の2倍近い数もあるかもしれないという。そんな論文が Nature 2011 年 5 月19 日号に発表された 1。

研究チームは銀河系バルジ(銀河系中心部の膨らみ)に望遠鏡を向け、重力マイクロレンズ効果という現象を利用して、恒星から離れたところを漂う木星質量の惑星を10個発見した。さらに、検出効率、重力マイクロレンズ効果の起こる確率、重力マイクロレンズ効果のうち恒星や惑星が引き起こすものの相対的割合に基づいて、銀河系内の浮遊惑星の数を計算し、4000億個もあると結論付けた。

論文著者の1人で、大阪大学の宇宙 物理学者、住貴宏は、「親星を持たない 惑星の推定数を算出して、私自身驚きま した。これまで、自由に漂っている惑星 が存在することは予測されていました

が、その数まではわからなかったのです」と話す。

これについてエール大学(米国コネチカット州ニューへヴン)の天文学者Debra Fischer は、「驚くべき研究結果で、もし正しければ惑星形成理論はもっと奥深いものになるでしょう」と話す。現在の惑星形成理論によると、小質量の惑星は大質量の惑星よりも形成中の惑星系から放り出されやすい。だから、莫大な数の親星を持たない小質量惑星が存在するかもしれないのだ。

#### 重力のレンズ

この研究は、住らの MOA(宇宙物理学における重力マイクロレンズ効果観測)と OGLE(光学重力レンズ効果実験)という2つの国際共同研究プロジェクトによって行われた。重力マイクロレンズ効果を使った測定では、遠方にある恒星の前を天体が通過するときに起こる、明るさの変化を測定する。前を横切る天体の重力が恒星の光をレンズのように曲げて強めるため、恒星の明るさはランダムなきらめきとは異なるパターンで明るくなり、天体の通過後、元の明るさに戻る。この明るくなる時間の長さから、通過した天体の質量がわかるのだ。

カリフォルニア大学サンタクルーズ校 (米国)の天文学者 Gregory Laughlin は、「住らは、光を曲げる天体が惑星以外のものである可能性をうまく除外することに成功しました」と評価する。しかし、「浮遊小質量惑星の数を、木星質量の浮遊惑星数から推測することには問題があ ります」とも指摘する。そうした推定は、それらの惑星が太陽系の惑星と同様のメカニズムによって形成されたと仮定しているからだ。「私は、浮遊惑星は別のメカニズムで生まれるのではないかと考えています。それは巨大惑星の形成よりも小さな恒星の形成に似たものではないでしょうか。単なる仮説にすぎませんけどね」と Laughlin は話す。

#### 生命は存在するか

カリフォルニア工科大学 (米国パサデ ナ) の惑星科学者 David Stevenson は、 惑星系から追い出された惑星の表面温度 が親星に束縛された惑星に近くなる可能 性について考察している<sup>2</sup>。もし、木星 が太陽系から放り出されても表面温度は 15K 程度しか低下しないだろう。それ でも生命を育むには適さない。しかし、 Stevenson は、「きわめて巨大な惑星が 放り出される場合、衛星を伴っている可 能性があります。その場合、生命存在の 可能性は高くなるでしょう」と話す。ま た、こうも語る。「地球程度の質量の浮 遊惑星が低温の星間空間にあったとし ても、熱を閉じ込める水素大気を持つ ていれば、表面温度は300K(約27°C) くらいまで上がる可能性があり、海が 存在するかもしれません」。

論文著者の1人、ノートルダム大学 (米国インディアナ州)の宇宙物理学者 David Bennett も、生命存在の可能性に 同意する。そして、「次のステップは、 これらの惑星に親星が存在しないことを 確かめること、土星や海王星程度のより 小さい質量を示すようなデータを得て詳 しく調べることです」と話す。

将来、米航空宇宙局(NASA)が計画 している WFIRST(広視野赤外線宇宙 望遠鏡)を利用すれば、地球程度の質量 の浮遊惑星が見つかるかもしれない。■

(翻訳:新庄直樹、要約:編集部)

The Microlensing Observations in Astrophysics (MOA) Collaboration & The Optical Gravitational Lensing Experiment (OGLE) Collaboration. *Nature* 473, 349-352 (2011).
 Stevenson, D. J. *Nature* 400, 32 (1999).

### アウストラロピテクスは 遠くからお嫁入り

#### Female australopiths seek brave new world

EWEN CALLAWAY 2011年6月1日 オンライン掲載www.nature.com/news/2011/110601/full/news.2011.338.html

大昔の人類の祖先は、女性は成人すると旅に出て、新たな集団にお嫁入りしたようだ。

人類の初期の祖先は、女性は成人すると家族の元を離れたらしい。約 180 万~ 220 万年前のアウストラロピテクスの歯の化石を分析した結果、女性のものと思われる歯には、男性と比較して、形成時に遠隔地のミネラルが取り込まれている可能性が高いことが明らかになったのだ $^1$ 。論文著者の1 人、オックスフォード大学(英国)の Julia Lee-Thorp は、「これはとても小さな手がかりですが、少なくともこれまで知らなかったことを示す確かな証拠となります」と語る。

大昔の人類の家族形態の研究では、主として、男性と女性の化石の相対的な大きさの差と、霊長類動物の行動パターンに基づいて推定が行われてきた。例えば、雌のチンパンジーは、成体になると群れを離れるのが一般的であり、一方、1頭の大きな雄のボスが率いるゴリラの群れでは、雌雄共に群れを離れる傾向がある。ただし、現代人と初期人類を比較するのは難しいという。現代人は、結婚や不動産の所有など、比較的新しい文化的営みに影響されるからだ。

#### 法歯学

Lee-Thorp らは、土壌中に存在するストロンチウムについて、2種類の同位体の量を測定した。ストロンチウムは植物に取り込まれ、食物連鎖を通じて成長期の動物の骨に入り込む。Lee-Thorp によれば、骨や歯に含まれる2種類のストロンチウム同位体の比率は、動物が育っ

た局所環境によって異なるという。「これは、一種の法医学的ツールなのです」。

研究チームは、南アフリカ共和国のスワートクランズ洞穴から出土したパラントロプス・ロブストス11個体の犬歯および第三大臼歯(8歳くらいまでに形成される)と、近隣のスタークフォンテン洞穴から出土したアウストラロピテクス・アフリカヌス8個体の歯について、ストロンチウム同位体の比率を測定した。また、付近に生息している170の動植物に含まれるストロンチウム、さらには両方の洞穴を含む薄いマルマニ・ドロマイト累層のストロンチウムまで、この地域のストロンチウムに関するさまざまな特徴を把握した。

解析の結果、両種とも、外見から体の大きな男性のものと考えられる大きな歯のストロンチウム同位体比は、ドロマイト地層帯の生息生物のものと非常によく似ていて、約90%が現地のものと見られた。一方、女性と見られるアウストラロピテクスの小さな歯は、現地の特徴を持つものは半分に満たなかった。Lee-Thorpらは、女性は成人すると家族の元を離れたと考えるのが、最も自然だと語る。ただし、男性については、生まれた集団からは離れたかもしれないが、2つの洞穴周辺に広がるドロマイト地層帯にとどまっていたのではないかという。

#### ゴリラ型社会であった可能性は?

フィレンツェ大学 (イタリア) の古人類



アウストラロピテクス・アフリカヌスの女性は、どんな結婚を夢見て家族の元を去っていったのだろう。

学者である Jacopo Moggi-Cecchi は、「確かに、今回の仮説は興味深いものですが、Lee-Thorp らが分析した数や標本数は、証明には十分だとは思えません」と話す。 Moggi-Cecchi の研究チームは2007年、パラントロプス・ロブストスの男性の発育成長期間が女性と比べて長いことを明らかにした。このパターンは、雌をほぼ占有する権利をめぐって大きな雄が闘うゴリラ<sup>2</sup>と似ているのだ。

しかし、ケント州立大学(米国オハイオ州)の解剖学者である Owen Lovejoy は、雌雄が共に新しい群れに移るゴリラ型社会は、人類の初期祖先では機能しなかったのではないかと考えている。雄は新たな群れに移ると攻撃的になりやすく、子どもの命が危険にさらされるというのだ。人類の初期祖先は、女性が実家を離れる社会だったと考えるのがはるかに自然だ、と Lovejoy は話す。

Lee-Thorp らは、さらに多くのアウストラロピテクス化石で解析したいと思っているが、ストロンチウム分析では希少で貴重な化石を破壊するため、なかなか容易ではない。その一方で、東アフリカの初期人類、そしてホモ・エレクトスなどもっと新しい時代の人類についても、同様の研究を行いたいと考えている。■

(翻訳:小林盛方)

<sup>1.</sup> Copeland, S. R. et al. Nature **474**, 76-78 (2011).

Lockwood, C. A., Menter, C. G., Moggi-Cecchi, J. & Keyser, A. W. Science 318, 1443-1446 (2007).

### 携帯電話の発がん性に公式見解

#### **Mobile Phones Officially Under Suspicion**

ALISON ABBOTT 2011年6月1日 オンライン掲載www.nature.com/news/2011/110601/full/2011.341.html

WHO の発表によると、携帯電話の長時間の使用が

脳腫瘍を引き起こすことを示唆する証拠は非常に少ないが、ゼロではないという。

世界保健機関(WHO)はこのほど、携帯電話の使用を、「ヒトに対して発がん性があるかもしれない」のリストに加えた。WHOがこのリストに載せているものには、携帯電話以外に、266種類の放射線源や化学物質(ある種の農薬やガソリンなど)があり、コーヒー(膀胱がんの原因になるおそれがあるとされる)なども含まれている。

WHOの外部組織、国際がん研究機 関 (IARC) は、5月24日から31日に かけて非公開の会議を開き、長時間にわ たる携帯電話の使用が脳腫瘍のリスクを 高める可能性は否定できないと発表し た。IARC の公式見解は、常に発表され たデータを基礎にしており、強い影響力 を持つ。IARC は定期的に専門家グルー プを招集して、化学物質や放射線源の発 がん性に関する証拠の評価を行い、「発 がん性がある」「おそらく発がん性があ る」「発がん性があるかもしれない」「分 類不能」に分類している。今回の会議で は、ラジオやテレビの送信機、携帯電話 を含む高周波電磁場への曝露に関連した 発がん性の危険の評価を行った。

#### 症例対照研究の問題点

英国がん研究所は、この結論に、即、ブログで反応し、発表されている研究手法には深刻な問題があり、約15年前に携帯電話の使用が一般的になって以来、脳腫瘍の発生率に著明な増加は見られないと指摘した。

これに対し、IARC の反論はなかった

が、専門家グループのリーダー、南カリフォルニア大学(米国ロサンゼルス)のJonathan Samet は、5月31日の会見で、これは主としてInterPhone 研究から得られた疫学データによると語った。InterPhone 研究は、携帯電話の発がん性に関する2つの大規模疫学研究のうちの1つで、IARCがコーディネートしたものである。研究では、13か国の脳腫瘍患者のデータを集め、患者が申告した携帯電話の使用状況を、患者以外の人々と比較した。その結果、携帯電話を最もよく使用していた人々は、グリオーマ(神経膠腫)という脳腫瘍になるリスクが40%も高かったのだ。

専門家グループは、この症例対照研究は決定的なものではないと強調している。すでに脳腫瘍を発症した人の携帯電話の使用状況を調べるよりも、現在健康な人が、携帯電話の使用状況に応じて、今後どのような病気になるかを調査する「前向き研究」のほうが、より正確な結果が得られるはずだ。その一例が、現在、ヨーロッパ5か国25万人の携帯電話ユーザーの協力で進められているCOSMOS研究であり、今後20~30年にわたって参加者の健康を監視し、携帯電話の使用状況と比較する予定だ。

また、IARCの科学者 Robert Baan は、InterPhone 研究のデータが収集されたのが 1997 ~ 2003 年であることにも注意を促す。携帯電話技術は、その後、飛躍的に進歩した。3G 世代の携帯電話が出す電磁波の強さは、InterPhone 研究

当時の GSM 世代の 100 分の 1 である。 電離放射線は、DNA 分子の化学結合を 壊すことでがんを引き起こすが、携帯電 話の電磁波のような非電離放射線には、 そこまでの強さはない。非電離放射線が がんを引き起こす機構に関する研究は多 いが、発表された「証拠」のうち、説得 力のあるものはほとんどない。

#### それでも危険とする理由

「ほとんどの研究に問題があります」と Baan は認める。「けれども、非電離放射 線が既知の発がん性物質の作用を促進し て、間接的にがんを引き起こす可能性を 示唆する研究が、少なからずあるのです。 それなのに非電離放射線を『分類不能』 としてしまったら、危険はないと誤解す る人が出るでしょう。そのような誤解を 招いてはならないと判断したのです」。

IARC は携帯電話の使用法に関する 勧告を出していないが、IARC 長官 Christopher Wild は、さらなる研究に より本当に危険があるのかどうか明らか になるまでは、ハンズフリー通話やメー ルなどの実際的な手段で、曝露を減らす ことが理にかなっていると言う。

IARCのリストから除外されるのは、難しいのだろうか? Baan によれば、コーヒーは 20 年間「発がん性があるかもしれないもの」とされているが、その理由は、市民が発がん性の危険を深刻に受け止めていないからだという。しかし非電離放射線については、「今回の報告がきっかけとなって、その発がん性、特に、発がん補助物質としての可能性が、より厳密に研究されるようになるでしょう」と語る。新たに重大な証拠が発表されれば、それがどんな内容のものであっても、IARC は分類を再検討することになるだろう。

IARC によると、専門家グループの 結論の概要は7月1日に The Lancet Oncology に掲載され、完全な報告は、 数か月以内に IARC の論文として発表さ れる予定であるという。

(翻訳:三枝小夜子、要約:編集部)

### 暗躍するバクテリオファージ

#### Phage on the rampage

MARIAN TURNER 2011年6月9日 オンライン掲載 www.nature.com/news/2011/110609/full/news.2011.360.html

抗生物質の乱用が、ヨーロッパを席捲している病原性大腸菌の出現を 推進したのかもしれない。

今年5月、ドイツに端を発した大腸菌 による食中毒はヨーロッパ各地に広が り、6月29日現在、死者は47人に達 している。たいていの食中毒は、汚染さ れた食品が原因だが、今回の場合、感染 ルートの解明は行き詰まっている。先 頃、ドイツで行われた症例対照研究で、 サラダの野菜が指摘され、キュウリと発 芽野菜 (スプラウト) の2つに嫌疑が かけられた。これらが、もともと土壌や 水中にいた細菌で汚染された可能性が あったからだ。しかし、この細菌の発生 源としては、動物である可能性が高い。 病原性大腸菌は通常、反芻動物の糞便で 食物網が汚染されたり、あるいは生乳製 品や肉製品が汚染されたりしてヒトへ 伝播する。

だが、どうして病原性大腸菌は出現するのだろうか。カギを握るのはバクテリオファージ(細菌に感染するウイルス)である。今回の食中毒の原因、大腸菌株 O104:H4 は、志賀毒素(ベロ毒素)を産生する。これによって、感染者は溶血性尿毒症症候群(HUS)を発症し、重症の下痢や腎臓障害を生じる。志賀毒素の遺伝子群はもともと細菌の遺伝子ではない。ファージの遺伝子である。もし、1 個の大腸菌が1 個の志賀毒素産生ファージに感染すれば、病原性大腸菌となるのだ。

抗生物質の使用が、そうしたファージ 遺伝子の拡散を助けている可能性もあ る。細菌は、一部の種類の抗生物質にさ らされると、SOS 応答と呼ばれる DNA 修復過程を発動し、ファージの複製開始 が誘発される。ファージが活発に複製し て増えると、宿主の細菌細胞は破裂して ファージを放出する。このとき、志賀毒 素も放出されてしまうので、大腸菌感染 症の治療には抗生物質を使わないのが普 通である。

#### 身を守るためのコスト

さらに、O104:H4は、複数種類の抗生物質に対する耐性遺伝子を持っている。これは、O104:H4が、抗生物質耐性を持つような方向に働く選択圧を受けたことを意味する。リバプール大学(英国)の微生物学者 Heather Allison と、米国ワシントン D.C. にあるコンサルティング企業 Leavitt Partners 社の食品安全性部門責任者 David Acheson は、農業や環境内で抗生物質にさらされることで、志賀毒素産生ファージの拡散が進んでいると考えるのが妥当だとしている。

Acheson は、1990年代、タフツ大学(米国マサチューセッツ州メドフォード)に在籍中、志賀毒素産生大腸菌の病原性を分子レベルで調べた。彼によれば、試験管内とマウス腸内で、志賀毒素産生ファージが治療用投与量以下の抗生物質シプロフロキサシンに応答して大腸菌間を移動するのが観察されたという。Acheson は、こうした挙動が自然環境でも起こっていると確信している。「ファージ放出で新たな病原体が誕生する可能性は、まさに、抗生物質乱用による危険因子の1つなのです」。

農業での抗生物質の使用にも嫌疑がかけられている。「ファージは特に反芻動物の腸内に多いのです」と、欧州連合リファレンス検査機関(イタリア・ローマ)の Alfredo Caprioli は話す。そして、反芻動物の腸は、異なる細菌間をファージが移動して、病原性を持つ新しい細菌株が出現する場所になっている。

志賀毒素は、数百年も前から下痢性疾患を引き起こしてきた赤痢菌の毒素である。Allisonによれば、ファージが赤痢菌から志賀毒素をコードする遺伝子群を取り込み、1980年代以降になって、大腸菌をはじめとするほかの細菌へ拡散させたのだろうという。「志賀毒素を産生する菌株は徐々に増えてきています」と、シンシナティ大学(米国オハイオ州)の微生物学者 Alison Weiss は話す。実際、O104:H4 は、別の大腸菌、腸管凝集性大腸菌(EAEC)と共通する遺伝子を多数持っていることがわかった。Caprioliによれば、EAEC 株と志賀毒素の組み合わせは非常に珍しいという。

では、志賀毒素産生ファージはどうやって、わずか数十年でこれほど広く分散したのだろうか。Allison によれば、志賀毒素産生ファージが細菌感染に際して結合する BamA という表面タンパク質は、多くの細菌が持っており、さまざまな細菌が宿主になるという。また、このファージは同じ細菌に何回も感染でき(多くのファージは1回しか感染できない)、その結果、細菌の病原性をより高める。しかも、水中や土壌中など、宿主細胞外の環境でも生存可能だ。

宿主細菌にとっても、このファージの保有は有利に働くのだと、Weiss は話す。「細菌が糞便とともに体外に出ると、原生動物などほかの微生物の餌になります。志賀毒素はこうした微生物を殺すので、細菌にとって有利になるのです」。

このように志賀毒素産生ファージは 着々と魔の手を伸ばしつつある。近い将 来、もっと危険な菌株が出現する可能性 もあるだろう。

(翻訳:船田晶子、要約:編集部)

### 地球重力の 40 万倍でも、 細菌は生存できる!

「まさか、こんな過酷な環境には生物は棲めないだろう」という私たちの予想は、20世紀後半、何度も覆された。高温、高圧、強酸、強アルカリ下でも生存できる微生物が、次々と見つかってきたのだ。そして今回、また極限環境条件の1つが書き換えられた。出口茂氏が、地球の40万倍もの重力でも細菌が生育し、増殖できることを発見したのだ。



#### — Nature ダイジェスト: SF 小説の 素材として、喜ばれそうな発見ですね。

出口:とてつもなく大きな重力の下で暮らす生物といったテーマは、SF 小説などで時々話題になりますよね。しかし、それを科学的に調べたのは、僕たちが初めてと言っていいでしょう¹。

重力が生命に与える影響は、地球のそれより小さい微小重力については、よく調べられてきました。宇宙飛行士の健康にかかわってきますから。けれども、高重力の影響については、ほとんど研究されてこなかったのです。

――しかし調べてみたら、高重力下で、 細菌が生きていけるとわかったのですね。 そうなんです。40万G\*というのは、 地球の重力の40万倍です。そんな大き

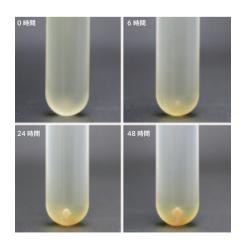


図 1. 細菌 (パラコッカス・デニトリフィカンス) を 40 万 G 相当の加速度で 0、6、24、48 時間遠心。黄色の沈殿物は、時間とともに増殖して増えた細菌。

な重力の下では、細菌の体がつぶれてしまったり、壊れたりするのではないかと考えました。でも、実験して調べてみると、そんなことはありませんでした。彼らは生きていて、餌を与えれば、細胞分裂をして増殖することもできるとわかったのです。

#### — どのような方法で、調べたのですか?

遠心機の中に入れて、回転させながら培養しました。簡単でしょう(笑)。回転数を毎分6万6000回転にすると、内部で回転する試験管に加わる重力加速度が約40万Gになるのです。そこで、細菌と培養液を入れ、細菌の増殖に適した温度にし、長時間遠心し続けました。

遠心していると、細菌が試験管の底にたまって塊になりますが、その塊がだんだん大きくなっていくのです。菌の長さを測りましたが、つぶれてもいませんでした。

### ―― どんな細菌でも、高重力に強いのですか?

種による違いはあると思いますが、細菌はどれでもある程度強いのではないかと想像されます。私たちは、実験室でよく使われる一般的な細菌5種類で調べたのですが、1万G程度ならば、どの細菌も生育(増殖)速度にほとんど影響を受けませんでした。その5種類とは、大腸菌、乳酸菌、酵母、一般的な土壌細菌であるパラコッカス・デニトリフィカンス、アマゾン川河口付近で採取された

シュワネラ・アマゾネンシスです。

ただし、1万 G を超えると、生育速度はだんだん遅くなりました。そして、40万 G を超えて生育できた種は、パラコッカスと大腸菌だけでした。なぜこの2種が生育できるかという理由はわかっていません。

#### 小さくて単純だから強い

#### 高重力に対して、人間はどう反応 しますか?

人間は、高重力に弱いですね。部屋を回転させて重力加速度を加え続け、その中で人が生活したらどうなるかを調べる実験があったのですが、わずか 1.25G で、その人は失神してしまったそうです。

瞬間的であれば、もう少し大きな重力 に耐えられます。私も、2.0Gを20秒 間ほど体験したことがあります。そのと きは、体全体に非常に強い疲労感のよう なものを覚えました。

#### ――人間以外の生物ではどうでしょうか?

真核生物と呼ばれる高等な生物はみな、 高重力に弱いと思います。それという のも、真核生物の細胞には、核やミト コンドリアといった細胞小器官が含ま れていますが、高重力が加わると、こ れらが細胞内で沈降し、正常な分布を とれなくなるからです。一方、細菌の 細胞は単純な構造をしており、細胞小 器官のような重たい構造体を含んでい ないのです。

### ---- 重たい構造体は沈降してしまうということですか?

沈降するかどうかは、重さ(正確には密度)に依存しますが、それを含んでいる 細胞のサイズも影響します。細胞サイズ が大きいほど、分子が沈降しやすいとい えるでしょう。

細胞内に含まれる巨大な分子といえば タンパク質ですが、シミュレーションを してみたところ、真核生物の細胞サイズ を仮に  $10\mu m$  とした場合、分子量 10 万程度のタンパク質に沈降の影響が出ました。一方、サイズが約  $1\mu m$  の細菌細胞では、分子量 100 万以上で初めて沈降の影響が出ました。例えば大腸菌の場合、そのタンパク質は 98% 以上が分子量 10 万以下なので、沈降の影響をほとんど受けないということになります。

### ――細菌は、小さいから重力による影響を受けにくいのですね。

そうなのです。また、小さいということは、沈降の影響を受けないばかりでなく、変形にも強いといえます。重力による位置エネルギーの大きさは基準面からの高さに比例します。ですから、物体が大きくなるほど、物体の上部と下部における位置エネルギーの差が大きくなり、変形しやすくなります。

以上のことをまとめてみると、細菌 は小さくて、しかも内部構造が単純な ので、重力の影響を受けにくいと考え られます。

#### 偶然に見つかった発見

#### ――なぜ、重力の影響を調べようと 思ったのですか?

最初から調べようとしたものではなく、 偶然の発見からなのです。培養液中の細菌の密度を調べようと、細菌を遠心機に かけたところ、コントロールに用いた細菌が、試験管の底に沈降して、しかも増えていることに気がつきました。すごくびつくりして、それでは、どのくらい大きな重力にまで耐えうるかと調べてみたのです。すると、細菌は、我々の機械で 出せる最高の40万Gまで耐えたのです。 そこで、次に、細菌細胞のサイズや重さ と重力の関係を調べていったわけです。

### ――遠心機は一般的な装置ですが、なぜ、これまで誰も気が付かなかったのでしょうか?

生物系の研究室では、試料を高速で遠心機にかけるときに、例えば細菌を 4℃に保つなどして、生理的反応を停止させます。それがおそらく生物実験の常識なのでしょう。ですから、温度を上げ、餌を与え、細菌が増殖できるような条件を整えて、長時間遠心機にかけることなど、誰も考えもしなかったのではないでしょうか。

### ―― 化学者としての視点も役立っていますか?

そうだと思います。多種の細菌をサイズや重さという基準で分類して調べましたが、物質の性質をとらえるときに、サイズや重さで成分を分類するのは、化学では当たり前の分析手法ですからね。私は、もともと高分子化学のコロイドが専門でした。今は、いわば生物学の範疇である細胞や生体の高分子などのソフトマターを対象に、化学や物理学の実験手法を用いて研究しています。ソフトマターとは、その名の通り、ゼリー、ゴム、プラスチックなどの柔らかい物質のことです。

専門分野の常識にとらわれず、おもしろいことを見つけて研究していると、今回のように、新たな大発見につながります。細菌と高重力の関係の研究はスタートしたばかりで、まだ調べなくてはいけないことがたくさんあります。また、こうした細菌の性質を利用した新技術の開発にも着手しています。期待していてください。

#### ――ところで、40万Gもの高重力は、 自然界でどこに存在するのですか?

実は、生命が存在できる程度の温度をもつ星で、こんなに大きな重力を持つものはありません。せいぜい、数 G から

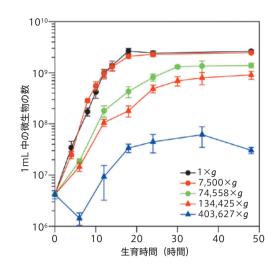


図 2. パラコッカス・デニトリフィカンスの 生育を、いろいろな高重力条件で比較した。

10G。岩石が、宇宙に飛び出して隕石になるときでさえ、かかる力は瞬間的に10万Gだそうです。ですから、高重力であることは、そこに生命が存在する可能性を否定する要因にはなりえない、ということがわかりましたね。

#### —— ありがとうございました。SF 小説の アイデアにつながるかもしれませんね。■

#### 聞き手は藤川良子(サイエンスライター)。

- \* G は重力加速度を示す。地球の重力加速度を 1.0G とする。
- Deguchi S, Shimoshige H, Tsudome M, Mukai S, Corkery R W, Ito S, Horikoshi K. PNAS. 108, 7997-8002 (2011)

#### A U T H O R P R O F I L E

#### 出口 茂 (でぐち しげる)

海洋研究開発機構 海洋・極限環境生物 圏領域 ソフトマター応用生命研究チーム チームリーダー。工学博士。1990年、京都大学工学部高分子化学科卒業、1996年、京都大学大学院工学研究科高分子化学専攻単位認定退学。1997~98年、スウェーデン・ルント大学(科学技術振興事業団、長期在外若手研究員)。1999年、海洋科学技術センター(現海洋研究開発機構)研究員。2009年より現職。2007年、大澤賞、2011年、市村学術賞功績賞受賞。



### ワクチンの安全性について考える

#### The real issues in vaccine safety

ROBERTA KWOK 2011年5月26日号 Vol. 473 (436-438)

ワクチンに関する誤った認識が、過剰な対応を招き、 真のリスクを明らかにすることさえ妨害することがある。

John Salamone はワクチン懐疑論者ではない。ワクチンが子どもに有害で、自閉症その他の病気の原因になるとする誤った説を、彼は一度たりとも信じたことはない。しかし不運にも、彼の息子David は1990年、経口ポリオワクチンを飲んでまもなく衰弱し、ハイハイできなくなった。それを通して、ワクチンがまれではあるが実際に副反応を起こすことを身をもって知った。理学療法士や医師の訪問を2年ほど受けた結果、David は免疫系が弱っていたせいで経口ワクチ

ンからポリオ(小児麻痺)に感染したことが判明した。「言ってみれば、予防接種をしたその日に息子はポリオに感染させられたわけです」と Salamone は話す。彼は非営利団体の役員を退き、現在は米国バージニア州マウントホーリーで暮らしている。

この事例は経口ポリオワクチンについて知られているリスクの1つである。 投与240万回にほぼ1件の割合で発生し、免疫不全症児で起こることが多い。 当時、もっと安全性の高い不活化ポリオ ワクチンも利用できたが、経口ワクチンは安価で投与もしやすく、集団発生対策として効果がより高いと考えられていた。しかし米国では1980年代までにポリオがほぼ根絶され、以後国内で発生したポリオ症例はすべてワクチンによるものである。Salamoneやほかの患者たちは米国政府に働きかけ、その甲斐もあって、1990年代後半に、より安全なポリオワクチンに切り替わった。

ワクチンの安全基準は、大部分の薬品 よりも厳しくなっている。その理由は、 ワクチン接種の対象者が健康な人々であり、なかでも子どもが多いからだ。ワクチンが防ぐ感染症は直接目に見えないし、その多くは現在ではめったに発生しないため、それに伴って、ワクチンの重要な役割が忘れられがちである。その結果、可能性としては低いのに、ワクチンの危険性のみが人々の想像力の中で膨れ上がっていく。

ワクチン接種に対する逆風は、多数の著名人および活動家によって煽動され、時にはワクチンの本当の副反応を明らかにする科学研究にまで暗い影を落としている。例えば英国の外科医 Andrew Wakefield は、新三種混合(MMR)ワクチン(麻疹〔はしか〕、流行性耳下腺炎〔おたふく風邪〕、風疹)の安全性について根拠のない主張を展開し、英国医師登録簿から名前を抹消されている。誤った関連仮説の多くは一掃されたが、その中には MMR ワクチンやワクチン防腐剤チメロサールが自閉症の原因になる、という珍説も含まれていた¹。

ただし、ワクチンというのはもともと リスクを伴うものだ。その副反応はさま ざまで、発疹や注射部位の圧痛から、も う少しひどい熱性痙攣(発熱を伴う発 作)、さらに、免疫不全患者での危険な 感染症発症まである。

深刻な問題はめったに発生しないた め、そうした副反応の原因がワクチンに あることを証明するのは難しい。ワクチ ンに伴うリスクを実証したり、それを覆 したりするための研究には長い時間がか かり、その間にも、公衆衛生当局は、何 を行うべきか、また一般市民にどう伝え るかについて、難しい判断を下さなくて はならない。しかしそれでも、そうした 面倒な研究は市民の信頼を維持するため に必要だ。そう指摘するのは、ジョンズ ホプキンス大学ブルームバーグ公衆衛生 学部(米国メリーランド州ボルティモア) の小児科医 Neal Halsey で、「もし我々 がそうした研究をしなかったら、ワクチ ンを信頼しない人々の数はもっと増える でしょう」と話す。

#### 成功の犠牲者

技術の進歩によって、現在のワクチンは 過去のものに比べて不純物が少なく安 全性は向上している。大半の先進国は不 活化ポリオワクチンに切り替えており、 全細胞性百日咳ワクチンの使用はやめ ている。この種の百日咳ワクチンには、 死んだ細胞が含まれており、かなり高い 率で腕の腫れや熱性痙攣が起こったり、 脱力状態や無反応の期間があらわれた りする。

安全性の向上とは、場合によってはゼロに近いほど低いリスクを追い求めることを意味している。ワクチンは配布前に厳しい安全性テストを課せられるが、臨床試験の被験者集団は通常、1万~10万人に1例という発生リスクを把握できるほど多人数ではない(11ページ図を参照)。そうした副反応を見つける唯一の方法は、ワクチンを集団接種して、その経過を監視することである。

行政当局は特に最近、警戒感を強めて いる。2009~2010年にHIN1インフ ルエンザの世界的流行が懸念され、いく つかの企業が可能な限りたくさんのワ クチンを準備した。これに呼応して、公 衆衛生当局は前例がないほどの監視体 制を敷き、このワクチンの安全性のモニ ターに努めた。米国では、科学者や行政 当局が、任意の有害事象報告や、管理医 療組織、健康保険企業、予防接種登録 所、神経学者ネットワークやさまざまな 医療システムから得られたデータを調 査した。ヨーロッパでは、科学者たちが 15 か国から得られたデータの関連性を 解析した。また、中国行政当局は医療関 係者に対して、副反応と思われる事例を 24 時間以内に報告し、非常に重大な事 例については2時間以内に報告するよ う指示を出した。

研究者たちが特に目を光らせたのは、ギラン・バレー症候群に対してである。この麻痺性疾患は治療できる場合が多いが、長期の障害を引き起こしたり死亡したりする場合もある。米国で1976年に配布された豚インフルエンザワクチン

では、ワクチン接種者 100 万人につき 5~9 例でこの症候群が見られた。その 後のインフルエンザワクチンに関する複数の調査では、一貫した関連性は見つからなかったが、関係者は現在も警戒を緩めていない。

 $2009 \sim 2010$ 年の新型インフルエンザに際しては、もっと奇妙な現象が見られた。フィンランドで  $4 \sim 19$  歳の若年層にナルコレプシー(居眠り病)が約 60件発生したのである。その大半は、グラクソ・スミスクライン社(英国プレントフォード)のH1N1ワクチン「Pandemrix」を接種していた。それとは別にスウェーデンでもナルコレプシーの多発が見られた。ただし、このワクチンがナルコレプシー多発の原因だったのかどうか、今でもはっきりしていない。

監視の目はさまざまなワクチンに対して向けられている。米国では、ロタウイルスワクチンの接種を受けた乳幼児で腸重積が発生したという 15 件の報告を公衆衛生当局が受けて、1999 年に接種が中止された。その発症メカニズムは不明だが、ウイルス生ワクチンが腸内リンパ節の腫脹を引き起こし、腸の収縮を強めて、腸管の中へ腸管が入り込む重積が起こるのではないか、と考えられている。このワクチンによって接種者 1 万人当たり約 1 人が腸重積を起こすと見積もられている。

2007年、カイザーパーマネンテ社ワクチン研究センター(米国カリフォルニア州オークランド)の理事の1人である Nicola Klein とそのチームは、麻疹、流行性耳下腺炎、風疹、水痘(水疱瘡)(MMRV)の四種混合ワクチンを接種した生後12~23か月の幼児では、MMR三種ワクチンと水痘ワクチンを別々に接種した幼児に比べて、接種後7~10日に熱性痙攣を起こす率が高いことを明らかにした。この知見は米国の予防接種諮問委員会を動かし、MMRVワクチンに対する支持の撤回を引き出した。それに続く研究<sup>2</sup>によって、四種混合ワクチンでは、三種と水痘ワクチンを別々に接種

した場合に比べて、接種 2300 回当たり I 件の割合で熱性痙攣が多く発生することが示された。

低所得国や中所得国での監視体制を強化する努力も続けられている。こうした国々の一部では、国際的プログラムであるGAVIアライアンス(本部はスイスのジュネーブ、「ワクチンと予防接種のための世界同盟」より改称)を通じてワクチンを入手しやすくなってきている。これらの地域には、デング熱やコレラといった感染症の新しいワクチンがもうじき配布されるかもしれない。

全米保健機構(PAHO = WHO アメリカ地域事務局;ワシントン D.C.)は、2006年にラテンアメリカ 5 か国を結ぶ監視網をスタートさせた。世界保健機関(WHO;ジュネーブ)は現在、イランやチュニジア、ベトナム、インドなど12 か国とともに、ワクチンの安全性をモニタリングする手法やツールを開発すべく研究を重ねており、「すでに半分の国が、国際的データベースへの報告を終えている」と WHO で世界のワクチン安全性を担当するグループリーダーPatrick Zuber は話す。

さらに大規模な臨床試験の実施も始 まっている。2種類の新しいロタウイル スワクチンは、米国ニュージャージー州 ホワイトハウスステーションに本社を置 くメルク社の「RotaTeq」と、グラクソ・ スミスクライン社の「Rotarix」だ。こ れらについての認可前臨床試験では、そ れぞれ6万人以上の乳幼児を対象に安全 性が評価された 3,4。しかし、こうした 大規模試験が行われても、まれに起こる 副反応を無視することはできない。した がって、認可後に十分な計画を練った監 視の下で副反応研究を行ったほうがよい だろうと、ノバルティス社ワクチン・診 断技術関連事業部門(イタリア・シエナ) で世界全体のワクチン研究責任者を務め る Rino Rappuoli は述べている。

認可前に大がかりな臨床試験をすれば、「監督者としては満足するかもしれませんが、科学的疑問の答えが得られる

わけではありません」と彼は言う。認可後にメキシコで行われた予備的研究で、Rotarix の初回投与後に腸重積のリスクがわずかに上昇する可能性がわかり、またオーストラリアでは両方のワクチンに同様のパターンが見られた $^5$ 。しかし、ロタウイルスワクチンの接種はその後の腸重積を防ぐ可能性もある、と予想する研究者もいる。

#### 研究結果の遅れが信頼を失わせる

たとえ、起こりうる副反応がわかったとしても、確定できない時期が長引く可能性がある。場合によっては、説得力ある証拠を積み重ねるために、多数の国で数十万もしくは数百万の人々を対象に、比較対照試験を行う必要がある。それゆえ、ヨーロッパでのナルコレプシーの多発にPandemrixが関係したかどうかについては、まだ結論が出されていないのだ。

ヨーロッパの研究網の1つであるワ クチン副反応監視・連絡コンソーシア ム (VAESCO) は現在、いくつかの欧 州連合諸国(その一部は異なる HINI ワクチンを使用)でナルコレプシーの発 症率を検証し、対応対照群との比較解 析を進めている。治験責任者でエラス ムス医療センター(オランダ・ロッテ ルダム) の薬剤疫学者でもある Miriam Sturkenboom は次のように話している。 「データからは、HINI ワクチンが配布 される前の2008年から数か国で発症率 がわずかに上昇していたが、フィンラン ドの事例を説明するには十分ではない」。 グラクソ・スミスクライン社はカナダの 調査にも資金提供している。同国では Pandemrix とほとんど同じ H1N1 ワク チンが使われたが、ナルコレプシー発症 率の上昇は報告されていない。

ナルコレプシーの増加は、この疾患への認知度が高まったせいか、あるいは H1N1 ウイルス自体の感染によって説明できるかもしれない。そう考えるのは、バーゼル大学小児病院(スイス)の小児感染症専門家で、国際的なワクチン安全性研究網「Brighton Collaboration」の

最高責任者でもある Jan Bonhoeffer だ。彼によれば、このナルコレプシーの件は、MMR と自閉症の話とよく似ているという。深刻かつ慢性的でほとんど解明されていない病気があると、人間の習性として、すぐにその原因を手近なものに結びつけてしまう傾向があるのだ。

ただし、安全性に関して起こりうる問 題については、迅速に調べる必要がある と Bonhoeffer は付け加える。そうしな いと、根拠なしと結論が出た頃には「も う誰もそれを覚えておらず、そこから信 頼を再構築するのにまた何年もかかって しまうからだ」と彼は言う。「たいがい の場合、懸念される副反応自体よりも、 懸念が広く浸透することのほうがより 有害です」。世界規模でのワクチン安全 性研究網があれば、サンプルサイズも十 分となり、より迅速に仮説を検証できる だろうと彼は話す。そうした考えから、 WHO は、流行性 HINI インフルエン ザのワクチンとギラン・バレー症候群に 関する世界規模の調査を調整していると ころだ。

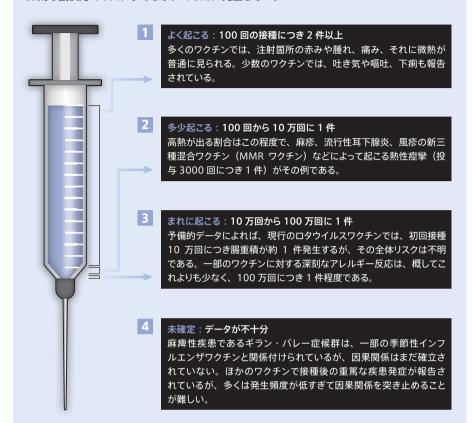
しかし、厳密に比較対照した無作為化臨床試験、つまり因果関係を判定するための最高水準のテストをするには、被験者が多数必要であり、不可能な場合が多い。また、1つの地域で行った無作為化臨床試験の場合、その結果が他の地域にも当てはめられるかどうか疑問だとする声も無視できない、とワシントン大学(米国シアトル)の臨床疫学者 Alfred Bergは話す。

ワクチン監視は以前に比べてより速くより綿密にはなったが、公衆衛生当局はなお、不完全なデータに基づいて素早い判断を出さねばならない。専門家は慎重になりすぎているが、そうした警戒の呼びかけが、逆に市民の不安をかき立てる場合もある。

例えば 2011 年 3 月に日本の行政当局 は、予防接種後すぐに 4 人の子どもが 死亡したことを受けて、小児用肺炎球菌 ワクチンとインフルエンザ菌 b 型 (ヒ ブ) ワクチンの接種を一時的に見合わせ

#### リスクの計算

一部のワクチンには、よく起こる軽度の副反応リスクがある。少数のワクチンには、もっと 深刻な副反応のリスクがあるが、めったに発生しない。



情報源:米国疾病対策センター(CDC)。さらに詳しい情報については go.nature.com/s7rfio を参照のこと。

た。その後、行政当局は、関連性を示す 直接的証拠はなかったとする結論を出し たが、このような経緯によって、さらな る恐怖心が植えつけられてしまった、と 欧州疾病対策センター(ECDC、スウェー デン・ソールナ)でワクチン予防可能 疾患プログラムの責任者を務める Pier Luigi Lopalco は指摘する。

メディアは、ワクチン使用の一時停止に対しては大々的に報道するが、その再開については、報道してもほんのわずかでしかない。このような報道の偏りのため、一般の人々の記憶には、マイナスの恐ろしさだけが刻み込まれて残っていく、と彼は言う。

米国政府当局は、チメロサールにリス クがあるという証拠がないにもかかわら ず、ワクチンからこれを排除するよう勧 告したため、厳しい批判にさらされたことがある。「問題がないのに、なぜチメロサールを排除しようとするのか、という声が上がりました」と、ブルックリン病院センター(米国ニューヨーク州)の小児科医 Ken Bromberg は話す。「しかし、科学的に問題がないと言っても、現実的には1つの問題となってしまった。それには間違いないのです」。もし何の対応もしなかったらどうなっていただろうか。おそらく、当局に対する信頼感は大きく失われていただろう、と Halseyは言う。「そんな状況を一般大衆が受け入れたとは思えません」。

#### 接種が危険な人々を見つけ出す

一部の人々がほかの人に比べてワクチン の副反応リスクが高いことは、かなり前 から知られている。免疫不全の人は一般に、生きているウイルスを使った生ワクチン接種を受けないほうがよいとされている。しかし、ほかの場合の副反応の起こりやすさ(感受性)については、あまりよくわかっていない。代謝異常のある小児はワクチンの副反応が出やすいと考える専門家もいるが、2011年4月に発表された2件の研究報告ではそうではないことが示唆されている。

まず Klein たちのチームは、遺伝性の代謝異常がある子どもで、ワクチン接種後 30 日以内に救急部門を訪れたり入院したりした件数が多くなることはない、と報告している  $^6$ 。別の研究でも、尿素サイクル異常症という種類の代謝異常を持つ子どもが、通常の子どもと比べて、ワクチン接種後 21 日以内により重篤な代謝上の問題を生じることはなかった  $^7$ 。

最終的には、ワクチン副反応に対する 遺伝的な感受性を医師がスクリーニング できるようになってほしい、と考える研 究者もいる。メイヨークリニック(米国 ミネソタ州ロチェスター)のワクチン学 者 Gregory Poland は、副反応の感受性 があるとわかれば、遺伝的スクリーニン グで少なくとも接種のリスクと恩恵を はっきりさせられるだろうと話す。天然 痘ワクチンの副反応感受性の研究はすで に始まっている。ヴァンダービルト大学 (米国テネシー州ナッシュビル)のワク チン学者 Kathryn Edwards の研究チー ムは、発疹などの反応に関連するとみら れる2つの遺伝子を報告しており<sup>8</sup>、ま た、Poland の研究チームは心筋心膜炎 の遺伝的リスク因子を探索中である。

たとえ予防接種が特定の子どもたちに 危険性があるとわかっても、ワクチン接 種を控えることのほうがずっと大きな脅 威になると考えられる。ワクチンで予防 できる疾患は、症状が特に重いものが多 く、代謝異常患者の命を奪ってしまう場 合もあると、国立小児医療センター(ワ シントン D.C.)の遺伝学・代謝部門の 主任を務める Marshall Summar は話す。 Edwardsのチームは、代謝異常の一種であるミトコンドリア病の子どもがワクチンや自然感染に対してどう反応するかを調べている。もしワクチンのリスクが見つかれば、例えば接種後の栄養状態を良好に保つなど、考えられる副反応への対抗措置を講じることができるだろうと Edwards は話す。

安全性をより高めたワクチンや製造工程についても研究が進められている。ノースカロライナ州ホーリースプリングスにあるノバルティス社の工場は、業界標準のニワトリ卵ではなく、細胞培養でインフルエンザワクチンを製造する予定である。この工程によって信頼度が向上し、卵タンパク質に対するアレルギー反応が低減するだろうと Rappuoli は話す。この工場では、必要になれば、2011年の流行性インフルエンザのワクチンを作る態勢を整えると彼は言う。

副反応を起こしやすい集団にとって、 リスクの高いワクチンの代替製品は大い に期待したいところだ。高リスクなワク チンとしては、免疫不全患者に対して安 全を保証できない現行の天然痘ワクチ ン、HIV 陽性の乳幼児に推奨できない 結核ワクチン、高齢者に黄熱病に似た疾 患を起こす特定リスクがある黄熱病ワク チンなどがある。課題は、ワクチンの安 全性と有効性を共に高めることだ。カ リフォルニア大学ロサンゼルス校(米 国)で小児感染症を専門とする James Cherry の推測によれば、2010年にカ リフォルニア州で百日咳が多発したこと の一因は、先進国で現在広く接種されて いる安全性の高い無細胞性百日咳ワクチ ンの有効性が、最も効果の高い全細胞性 ワクチンに比べて低いためではないか、 という。

研究者は何かというと、ワクチンによる恩恵はまだリスクを大きく上回っていると強調する。しかし、感染症の記憶が薄れていくにつれて、副反応に対する人々の寛容度はさらに薄れていくだろ

う。「その感染症を知らず、見たこともない場合、どんなリスクでも受け入れようなどとは、現実には考えないでしょう」と Edwards は言う。だとすれば、科学者はできる限りリスクを減らす努力を続けなければならない。しかし、ワクチンは生理的作用を持つ生物学的産物なのだと、フィンランド国立保健福祉研究所(ヘルシンキ)の副所長である Juhani Eskola は話す。「100%安全なワクチンなど決してできないのです」。

(翻訳:船田晶子)

Roberta Kwok は、米国カリフォルニア州バーリンゲーム在住のフリーランスライター。

- Immunization Safety Review Committee Immunization Safety Review: Vaccines and Autism (National Academies Press, 2004).
- Klein, N. P. et al. Pediatrics 126, e1-e8 (2010).
- 3. Ruiz-Palacios, G. M. et al. N. Engl. J. Med. 354, 11-22 (2006).
- 4. Vesikari, T. et al. N. Engl. J. Med. 354, 23-33 (2006).
- 5. Buttery, J. P. et al. Vaccine **29**, 3061–3066 (2011).
- Klein, N. P. et al. Pediatrics 127, e1139-e1146 (2011).
   Morgan, T. M. et al. Pediatrics 127, e1147-e1153 (2011).
- 8. Reif, D. M. et al. J. Infect. Dis. **198**. 16–22 (2008).

#### R E S E A R C H H I G H L I G H T

#### 複雑な鳴き声を出すガマアンコウ

#### Warblers of the underwater world

2011年5月19日号 Vol. 473 (256)

鳥類・哺乳類・両生類の多くは、発する声の周波数や強さに変化をつけて、伝える情報量(語彙)を増やれ大学(米国ニューヨーク州イサカ)のAndrew Bass たちの報告によると、周波数ジャンプや重音発声(高さいのたりで、非線形的な音響」が見られるという。

ガマアンコウ科のBatrachomoeus trispinosus は、 浮き袋を震わせて「ホーホー」 「ブーブー」と鳴く。海の底 もなかなか騒がしいわけだ が、研究チームがそれらの 鳴き声を記録して解析したと ころ、鳴き声の約35%で1 種類以上の非線形的な音響 特性が見られたという。な お、発声に関与する運動神 経を切断すると、こうした音 響効果は生じなくなった。



このような複雑な発声は、これまでは、脊椎動物の四肢類でしか見つかっていなかった。今回の発見は、脊椎動物においては、音響シ

グナルを革新する方向に大きな選択圧がかかっていることを物語る。

(翻訳:船田晶子)

BAVENDAM/MINDEN PICTURES/ ネイチャー・プロ

### 生物学のセントラルドグマが 覆されるのか?

#### **Evidence of altered RNA stirs debate**

**ERIKA CHECK HAYDEN** 2011年5月26日号 Vol. 473 (432) www.nature.com/news/2011/110525/full/473432a.html

RNA レベルで遺伝情報が書き換えられるという論文が発表され、 激しい論争が巻き起こっている。

奇妙な出来事はリボゾームへ向かう途中で起こった。メッセンジャーRNA (mRNA; 細胞内でDNAからタンパク質合成装置まで情報を運ぶ仲介分子)が、その情報である遺伝的指令の解読前に、日常的かつ体系的に書き換えられているというのだ。この研究結果は、2011年5月19日に Science オンライン版に掲載された (M. Li et al. Science doi: 10.1126/science.1207018; 2011)。

だが、まもなく、複数の計算生物学者から論文に不備のある可能性が指摘されるといった鋭い批評が起こり、著者の主張に疑問が投げかけられている。

この研究結果が立証されれば、分子生物学の「セントラルドグマ」を書き改めなければならなくなる。セントラルドグマでは、転写産物であるmRNAは、遺伝情報をリボゾームに運び、そこでタンパク質を組み立てるための鋳型として使われる。このため、一般的にmRNAは、元のDNAと忠実にマッチするとされている。もしセントラルドグマが修正されるならば、この過程に「RNAエディティング(RNA編集)」という段階が加えられることになるだろう。RNAエディティングによって、遺伝コードの個々の塩基は別の塩基に変換され、結果として

生じるタンパク質が変化することになる (下図参照)。このような段階があると、 DNA レベルからこれまで考えられてい た以上に、細胞には多様性が生じる可能 性がある。

研究チームは、1000 ゲノムプロジェクトおよび国際ハップマッププロジェクトで配列解読された 27 人の RNA 転写産物と DNA の塩基配列を調べた。その結果、エキソン(mRNA に転写される DNA 領域)に、DNA と RNA の配列がマッチしない部位を 1 万個以上も発見した。別の人々でも、同様のミスマッチが見られ、これは転写時にランダムに起こる間違いではないことが示唆された。さらに、研究チームは、「ミスマッチ」RNA からタンパク質が作られることも見いだした。

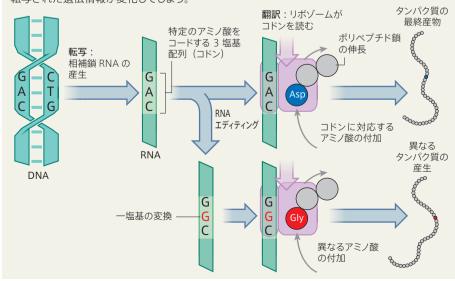
「このようなマッチしない RNA もタンパク質に翻訳されていることがわかり、マッチしない RNA は人為的な結果によるものではなく生物学的に生じているに違いないとの確信が深まりました」と、研究チームを率いたペンシルベニア大学(米国フィラデルフィア州)のVivian Cheung は話す。

RNA エディティングとは、DNA の塩基配列を転写した RNA に、その後、塩基の挿入や欠失が起こる、あるいは塩基が別の塩基に変換されるなど、RNA の塩基配列の編集が行われる現象で、新しい発見ではない。例えば、ヒトでは、ADAR と呼ばれる酵素が RNA のアデノシン塩基を分解してイノシンにするため、タンパク質への翻訳時にはそれがグアニンと認識され、結果としてミスマッチを誘導することになる。こうしたRNA エディティングは、植物やヒトの寄生体にも見られる現象である。

しかし、今回の論文では、想定されている RNA エディティングの範囲が並外れて大きいのである。研究チームが「RNA - DNA differences(RDD;RNA + DNA 配列間の差異)」と呼ぶミスマッチ部位が、+ 人当たり約 + 1065 個もあると見積もられているのだ。このミ

#### DNA 配列にマッチしないメッセンジャー RNA

メッセンジャー RNA 内で一塩基でも変換されると、タンパク質に翻訳される前に DNA から 転写された遺伝情報が変化してしまう。



スマッチには既知の RNA エディティン グ機構で説明できない塩基変化もあるこ とから、まだ明らかになっていない作用 機序が示唆される。

「つまり、RNAレベルでの遺伝子調節にこれまでとは完全に異なる機構が考えられます」と、ウィスター研究所(米国フィラデルフィア州)の西倉和子は話す。「このようなRNA配列を変化させる分子機構の解明が、現在の大きな課題です」。

もちろん、今回の論文に疑問を持つ人も多い。カリフォルニア大学バークレー校(米国)で比較ゲノミクスを研究している Lior Pachter は、研究チームが RNA の塩基配列決定に使用したハイスループットシーケンサーで、DNA やRNA の塩基配列を解読する場合に起こる技術的な読み取りエラーについて研究している。彼によれば、研究チームのミスマッチは、こうしたエラーが起こりやすい部位にあるものもあるが、そうで

はない部位に起こっているものもあるという。

一方、シカゴ大学(米国イリノイ州) のヒト遺伝学者 Jonathan Pritchard の 研究室の大学院生 Joe Pickrell は、5月 20 日にブログ「genomes unzipped」で、 このミスマッチの原因について、別の可 能性を述べた。Pickrell は、ヒトゲノム には DNA の配列がよく似た複数の領域 があるので、ゲノム DNA に比べて非常 に短い RNA から、その RNA が由来す る特定の DNA 配列にたどりつくことは 難しいと考えられ、そのため、DNA-RNA 配列間の差異という錯覚が生まれ たのではないかと言う。「研究チームが、 ゲノムの2つの異なる領域から生じた RNA を同じ DNA 領域から生じたと間 違って考えてしまったとしたら、RNA エディティングが起こっていると誤った 推定をしてしまうかもしれません」と Pickrell は話す。「私は、今回のデータ

の多くが、解読した RNA 配列が由来するゲノム領域を正しく同定できなかった結果ではないかと思っています」。

ほかの研究者たちは、自分の持つデータを精査し、Pachter や Pickrell などが提起した問題を検証する追跡研究の結果を心待ちにしている。今回の研究が裏付けられたなら、生物学やゲノミクス研究に重大な影響を与えるであろう。ハドソンアルファ・バイオテクノロジー協会(米国アラバマ州ハンツビル)の研究部長である Chris Gunter は、もし RNA エディティングの起こる頻度の制御機構が遺伝するならば、RNA エディティングが疾患の遺伝学的原因に関与している可能性が出てくると話す。

「この論文によって、我々遺伝学者の 仕事は、より複雑になりますが、もっと おもしろくなるでしょう」と Gunter は 語っている。

(翻訳:三谷祐貴子)

### 人間活動を指標に、新たな地質年代

### Human influence comes of age

NICOLA JONES 2011年5月12日号 Vol. 473 (133) www.nature.com/news/2011/110510/full/473133a.html

人類の影響が認められる年代区分「人新世」を設定すべきかどうか、 地質学者が議論を重ねている。

人間の活動が地球に大きな影響を与えていることは否定しがたい。しかしそれは、地質学的な時代区分を変えるほど大きいのだろうか。地質年代区分は、代・紀・世・期で定められており、現在は新生代第四紀完新世である。今、人間活動が地質学的な記録を大きく変えているため、完新世を「人新世」に切り替えようという提案が出されている。2011年

5月11日、ロンドンに集まった地球科学者たちは、この提案の妥当性や定義について議論を重ねた。

会議を主催した英国地質調査所(ノッティンガム)の気候変動プログラムのリーダー Michael Ellis は、「現在、その正式な承認に向けて作業を進めているところです」と語る。Ellis らは、この用語が採用されることによって、政策

立案者の問題意識が変化することを期待している。「人類が地球に対してどれだけ大きな影響を及ぼしているか、政策立案者に思い起こさせるはずです」とEllis は話す。

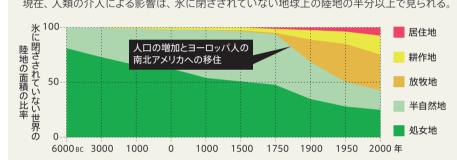
しかし、全員がこの考え方を支持しているわけではない。会議の共催者であるレスター大学(英国)の層序学者 Jan Zalasiewicz は、「時期尚早と考える人もいれば、傲慢、無意味と考える人もいると思います」と打ち明ける。自身については、「公式には完全な中立を保っている」と言い切る Zalasiewicz は、国際層序委員会(ICS)での検討作業グループも取り仕切っている。ここは、地質学的時代の命名を管理する組織だ。

人新世(Anthropocene)という用語を2000年に最初に作り出したのは、現在マックス・プランク化学研究所(ドイツ・マインツ)に所属するノーベル賞受賞者のPaul Crutzen らである。その後、



#### 生物圏の変化

現在、人類の介入による影響は、氷に閉ざされていない地球上の陸地の半分以上で見られる。



この用語は、学術界の俗語ではなく技術 的な専門用語であるかのように、査読付 きの論文に現れるようになった。

Zalasiewicz が言うところの「起訴の ための証拠」は、なかなか説得力がある。 例えば食糧生産と都市化により、人類 は、地球上の氷に閉ざされていない陸地 の半分以上に手を加え1(上グラフ「生 物圏の変化」を参照)、岩石や土壌を自 然のプロセスの 10 倍の規模で動かして いる<sup>2</sup>。大気中の二酸化炭素濃度の上昇 により、海水の pH は、今世紀末には酸 性側に  $0.3 \sim 0.4$  傾くことが予想されて いる。それが、淡色の炭酸塩の貝殻や 海底の岩石を約1000年にわたって溶か し続け、未来の地質学者は、それによっ て生じた海底堆積物の暗色の帯(地層) をはっきりと目にすることになるだろ う。それと似た暗色の縞は、約5500万 年前の「暁新世/始新世境界温暖化極大 イベント」の目印となっており、このと き、地球の温度は2万年で6℃ほど上昇

した。一部の高排出量シナリオ<sup>3</sup>によれ ば、気温は2100年までにこれと同じく らい急上昇するという。

化石記録にも大変動があるだろう。 Zalasiewicz によれば、今や広い範囲に 生息している種の約20%が侵入種なの だという。「世界的に見て、それは全く 新しい変化です」。3月3日の Nature に 掲載された総説論文<sup>4</sup>では、現在「絶滅 寸前」とされている種が消失すれば、こ れは過去5億4000万年の間に5回しか 起こっていない規模の大量絶滅に該当す るだろう、と結論付けている。過去の5 回は、いずれも地質学的時代の転換期に なっている。

ICSには、新たな「世」を正式に認め ることに慎重な声もある。ICS の委員長 でカリフォルニア州立大学(米国ロング ビーチ) の地質学者である Stan Finney は、「一番の心配は、それを推進してい る人々が、必要な科学的検討と評価を 行っていないことなのです」と話す。

Finney は、新しい言葉を一般に広める ことだけに集中しようという考え方には 慎重姿勢をとる。

別の意見として、1つの「世」は数 千万年続くのが普通だという声がある。 現在の「完新世」は、1万1700年前に 始まったばかりだ。もし新たな「世」の 幕開けを宣言すれば、地質学的年表を馬 鹿げたほど圧縮してしまうことになる。 これに対して、人新世の支持派は、近年 の歴史は短く細かいまとまりに分けるの が自然だ、と主張する。これらの議論を 考えると、「世」の下位区分である「期」 の切り替わりとしたほうが、異論は少な いかもしれない。人新世でなく「人新期」 にするのだ。

新しい時代区分を認めることに科学者 が大筋で合意すれば、次は、その起点と なる地質学的標識を設定することが必要 になる。それには栽培植物の花粉がいい、 という考え方がある。農耕が開始された 5000~1万年前に人類の痕跡が見られ るというのが根拠だ。一方で、18世紀 後半、産業化が始まったときに見られる 温室効果ガスと大気汚染物質の増加を支 持する意見もある。あるいは、核兵器の 開発を示す 1945 年の放射性同位体の出 現を始まりとする考え方もあるようだ。

人新世が「世」としての承認に値す るという決定を作業グループが下せば、 ICS での投票に舞台は移る。しかし、最 終的に決着がつくまでには時間がかか る。ほかの地質学的時代の決定では、数 十年かかったこともあったのだ。した がって、当分の間、この言葉をめぐる議 論は、現在と過去の地球の変化を比較し て「興味深い科学的追究を進める口実 であり続けるだろう」と Zalasiewicz は 語っている。

(翻訳:小林盛方)

<sup>1.</sup> Ellis, E. C. Phil. Trans. R. Soc. A 369, 1010-1035 (2011).

<sup>2.</sup> Zalasiewicz, J., Williams, M., Haywood, A. & Ellis, M. Phil. Trans. R. Soc. A 369, 1036-1055 (2011).

<sup>3.</sup> IPCC Climate Change 2007: The Physical Science Basis (IPCC,

<sup>4.</sup> Barnosky, A. D. et al. Nature 471, 51-57 (2011).

### ネット上の評判が気になる研究者

#### **Best face forward**

EUGENIE SAMUEL REICH 2011年5月12日号 Vol. 473 (138-139)

Nature が実施したアンケート調査から、研究者の多くが、 ネット上で自分の評判を高めようとしていることが明らかになった。

「Anil Potti博士は妻と3人の娘との 団欒を楽しんでいる」 ── 今年3月、 こんな意味不明のプレスリリースがイン ターネット上で広がった。これは、がん 遺伝学者 Anil Potti の資格、功績、受賞 歴を紹介するものだった。Potti は以前 デューク大学(米国ノースカロライナ州 ダラム)に所属していたが、履歴書にロー ズ奨学金(オックスフォード大学の大学 院生に与えられる奨学金で、世界で最も 権威ある奨学金の1つ)を受けていた と虚偽の記載をしていたことがわかって 騒ぎになったうえ、研究内容についても 疑問点が指摘されてデューク大学が調査 に乗り出したため、2010年に同大学を 辞職した。

スキャンダルに巻き込まれた研究者の ほとんどは、人目を避けようとする。だ が、Potti のネット上での存在感は、予 想外に大きくなっていった。Potti の辞 職後、彼自身によるものなのか、あるい は彼の名前を使った第三者によるものな のか、とにかく、www.pottianil.com、 www.anilpotti.com, www.anilpotti. net、www.dranilpotti.com など、Potti とその研究について紹介するウェブサイ トが10近くも立ち上がったのだ。さら に、今年1月にツイッターとフェイス ブックで彼の名前のアカウントが現れた のを皮切りに、うんざりするほどつまら ないプレスリリースが続々と流れ始め た。それによると、家族との団欒を楽し む Potti は、肺がんの大半が喫煙に起因 すると考え、がんの治療は患者ひとりひ とりに合わせて行うべきだと主張し、地 元の学校関係者と教会のために時間を割き、寄付を行っているという。

プレスリリースやウェブサイト、ソーシャルメディアのアカウントの作成者を特定するのは困難だ。我々は Potti から話を聞こうとしたが連絡はつかず、彼の弁護士 Jim Maxwell は、デューク大学で研究上の不正行為に関する調査が内密に進められていることを理由に、この件についてコメントすることを拒否した。「調査が終結して身の潔白が証明されるまで、Potti 博士は公式なコメントをするわけにはいきません」。

情報の作成者に関する唯一の手がか りは、www.anilpotti.com と www. anilpotticv.com の登録情報にある。そ こには、ドメイン管理者として Online Reputation Manager 社のメールアドレ スが記されている。米国ニューヨーク州 ロチェスター近郊に本社がある Online Reputation Manager 社は、特定のウェ ブページが検索エンジンの検索結果の上 位に現れるようにする検索エンジン最適 化戦略を用いて、不都合な報道で攻め立 てられている顧客のネット上のイメージ を回復させる企業である。その戦略には、 ネット上のネガティブなメッセージをか き消すために、ポジティブなメッセージ を濫造することも含まれている。同社の 代表は、問題のメールアドレスが自社の ものであることは認めたが、Potti が同社 の顧客であるかどうかは明かさなかった。

Pottiの評判を回復させるには大変な作業だったかもしれない。けれども Nature のアンケート調査からは、かなりの数の

研究者が、ネット上で自分のよいイメー ジを保つことに関心を持っていることが 明らかになっている。われわれは3万人 の現役の研究者に電子メールでこのアン ケート調査を依頼し、フェイスブックと ツイッターでも参加を呼びかけた。その 結果、有効回答者840人のうち、77% がネット上での自分の個人的評判を重視 していると回答し、88%がネット上での 自分の研究の評判を重視していると回答 した。また、13%が、自分の研究の注目 度を高めるために検索エンジン最適化戦 略を用いたことがあると回答し、10%も の研究者が、ネット上での自分の評判を 管理するために外部のサービスを利用す ることを考えたことがあると回答した。

アンケートでは、ウィキペディアの利用についても尋ねている。インターネット上の百科事典「ウィキペディア」は、基本的に誰でも編集することができる。今回のアンケートに参加した研究者のうち数名は、ウィキペディアに自分自身の経歴に関する項目を編集して自分の論文が参考文献に含まれるようにしたことがあると回答した。また、多くの回答者がソーシャル・ネットワーキング・サイトを利用したり、科学に関するブログを定期的に更新したりして、自分自身のデジタル・イメージの形成に利用していた。

アンケート調査とその後のインタ ビューからは、科学コミュニティーの中 で、ある1つの認識が大きくなってきて いることがわかる。それは、「研究者が ネット上で顕著な存在感を維持すること

#### ネット上でのイメージ管理

電子メールとソーシャル・ネットワーキング・サイトを通じて研究者を対象に行わ れたアンケート調査から、研究者がネット上での自分の評判をどのように管理して いるかが明らかになった(有効回答数840人)。 ●非常に重視する 年齢 35-ネット上での自分の個人的評判や自 研究に関する評判 重視する <35 54 分の研究に関する評判を重視してい ●重視していない ますか? 個人的評判 どちらでもない 1週間に1度以上利用する ) あなたの研究について論じる個人や所属機関 自分自身や自分の研究への言 ウェブサイトは? のウェブサイトはありますか? 及があるかどうか、1 週間に 1 度以上チェックしているウェブサ (複数回答) 自分の専門分野や研究につき イトは? コメントをする人の割合 82% 100 自分の研究の注目度 80 を高めるのに役立っ ウィキペディア 19% ない ている 21% 60 被引用回数カウントサイト 30% % 54% 40 ある データやリソースの共 検索エンジン 38% 有に役立っている 79% 20 31% ジャーナル ニュース サイト フェイス ツイッター\* さらなる資金集めに のサイト ブック 今回のアンケート調査の詳細については、

役立っている

は、同僚とネットワークを作り、リソースを共有し、研究資金を調達し、自分の研究について人々に伝えるのに役立つ」という認識だ。ロンドン在住のウェブ・プロデューサーで、研究者のツイッターの利用について調べた Gia Milinovichは、「それは、信じられないくらい役に立つのです」と言う。

\*今回のアンケート調査では回答者の約 40% がフェイスブックとツイッターを通じて

参加しているため、この2つのサイトの利用者の割合が実際より高くなっている。

ウェルカムトラスト・サンガー研究 所(英国ケンブリッジ)に所属するバイオインフォマティクス研究者 Alex Bateman によると、研究者は少なくと も、自分の連絡先を明記したプロフィールだけはネット上に持っていなければならないという。彼自身については、Web of Science や Scopus のような学術データベースで自分の名前を検索したときに、自分の出版物も同時に出てくることを定期的に確認している。そして間違いを見つけると、データベース会社に連絡して苦情を言う。「彼らは非常に迅速に対応します」と彼は言う。

自分が世間に見せている顔を、ウィキペディアなどのサイトを通じてチェック

している人々もいる。科学に関する情報 を探す人々は、最初にウィキペディアを 訪れることが多い。我々のアンケート調 査からも、研究者がウィキペディアを定 期的に利用していることがわかった。回 答者の実に72%が、少なくとも週に1 度はウィキペディアをチェックすると認 めており、その約5分の1が、自分自身 についてや自分たちのグループの研究に 対するコメントを確認するためにチェッ クしているというのだ。また、回答者の 9%が、過去12か月以内に自分自身や グループの研究についてのコメントを追 加しており、自分自身の経歴を編集した ことがある人も3%近くいた。Bateman によると、これはウィキペディアの編集 者のひんしゅくを買う行為であるとい う。「利害衝突の問題から、自分と深い 関係のある記事を編集してはいけないの です」と彼は言う。

とはいえ、今回のアンケート調査に回答した人々のおよそ10人に1人が、自分の研究がネット上で不正確に紹介されていると言っており、間違った記事を正

す必要があると感じている研究者もいる のだ。ジョージア工科大学(米国アトラ ンタ) の物理学者 Walt de Heer は、エレ クトロニクスへの応用が期待されている 二次元の炭素シート、グラフェンの研究 をしている。2009 年、de Heer は、自分 の研究がマンチェスター大学(英国)の Andre Geim & Konstantin Novoselov の研究の影響を受けているといううわさ を耳にした (Geim と Novoselov は、こ の研究により2010年にノーベル賞を受 賞している)。de Heer は、ウィキペディ アのグラフェンに関する項目がマンチェ スター大学の研究に力点を置いているこ とを知り、これがうわさをあおっている のではないかと考えた。そこで彼は、ウィ キペディア上に自分自身の経歴に関する 項目を作成した。この項目は、ウィキペ ディア編集者の少なくとも1人から削除 を依頼されているものの、十分な人数の サイト利用者がそのまま維持することに 同意している。

go.nature.com/ifp8g6 を参照されたい

ウェルカムトラスト・サンガー研究所 の遺伝学者 Darren Logan は、ウィキペ

#### 注目度を操作する

研究者の中には、より高度な手段を用いて、ウェブサイトの注目度を高めようとしている者もいる。ソフトウェア・エンジニアの Brian Turner は、勤務先のトロント小児病院(カナダ)の研究室で開発されたソフトウェアの販売の促進を図っている。彼は、グーグルのウェブマスターやアナリティクスなどのツールを用いて、グーグルが自分たちの研究室のウェブサイトをどのように「見て」いるか、また、ウェブサイトへのアクセスのうちグーグルを経由してくるものがどのくらいあるかを調べた。彼はこの分析結果をもとに、いくつかのウェブページのタイトルを、あいまいなものから、人々

が探している可能性のあるタンパク質の 名前を含むものへと変更した。「おかげ で、我々の検索順位は大きく跳ね上がり ました」と彼は言う。

ソーシャル・ネットワーキング・ツー ルも、ネット上での個人の注目度を大 幅に高める。今回、アンケート調査依 頼の電子メールに応じた549人のうち、 59% がフェイスブックを、23% がツイッ ターを利用していた。また、彼らの約 17%が、少なくとも1つのブログを開 設していた。ブログは通常、本来の研究 職務から離れた活動であると見なされて いるが、一部の研究者は、ブログはキャ リアに有利に働くと断言する。Paul 'P. Z.' Myers は、ミネソタ大学モリス校(米 国)の生物学者で、1か月に約100万 人が訪問する人気ブログ Pharyngula を 開設している。彼は、履歴書でも終身雇 用ポストの応募書類でもブログに言及し たことはなかったが、審査にあたった 人々は、彼の活動を高く評価する理由の 1つに、このブログを挙げていた。

当然のことながら、若い研究者は年配の研究者よりもネット上での自分の評判を気にする傾向がある。自分の研究のネット上での評判を非常に重視すると認めている研究者の割合は、35歳未満では過半数であったが、35~54歳では42%、55歳以上では32%と、年齢が上がるにつれて低下していった。サイモン・フレーザー大学(カナダ・バーナビー)の生物物理学者 Peter Ruben は55歳以上のグループに入るが、ネット上での自

分の評判を気にしたことはないと言う。 Ruben は 2005 年に、ガーターヘビに おけるイモリの毒素に対する耐性の進 化について報告する論文を発表した(S. L. Geffeney et al. Nature 434,759-763; 2005)。彼のこの研究は創造論者のウェ ブサイトで誤って紹介されたにもかかわ らず、Ruben はそうした誤解を正そう ともせず、それにより自分の評判に傷が ついたとは全く思っていない。

さて、Potti のためにネット上に投稿 されたポジティブなメッセージは、あ る程度の効果を見せている。5月9日に グーグルで「Anil Potti」で検索をかけ ると、検索結果のトップ10のうち5つ を、この数か月間に投稿されたポジティ ブな話題が占めていた。だが、中傷する 人間が現れて、ツイッター上で @anil potti という皮肉なアカウントを取得し、 デューク大学で進められている調査に 関する記事へのリンクを投稿した。独 立の学生新聞『クロニクル』の記事も、 Potti の研究が疑問視されていることを 明示せずに紹介していることを指摘し て、ネット上でイメージ操作を行うこと の倫理性に疑問を投げかけた。

Online Reputation Manager 社の事 業開発部長の Ronald Smith は、自分た ちの仕事は倫理的にも法律的にも問題 はなく、検索エンジン最適化は業界で は容認されていると強調する。しかし Bateman は、Potti の評判のために誰が 動いているにせよ、彼の名誉回復は非常 に難しいだろうと言う。「インターネッ トの世界では、証拠を消すことは不可能 なのです。Anil Potti の場合は、彼が疑 われている科学上の不正行為に、より注 目が集まる危険があります」。Potti の件 は極端な事例であるが、ネット上で関心 を集めようとする人にはよい教訓になる だろう。ネットは時に予測不可能な動き をするのだ。

(翻訳:三枝小夜子)

Social-networking social-netwo

Eugenie Samuel Reich は、米国マサチューセッツ 州ケンブリッジ在住の *Natur*e の通信員。

### 研究室発のサルモネラ感染

#### Salmonella hits US teaching labs

**ERIKA CHECK HAYDEN** 2011年5月12日号 Vol. 473 (132) www.nature.com/news/2011/110510/full/473132a.html

微生物研究室からの感染多発を受け、バイオセーフティーの実態調査が始まった。

2010年、米国各地の研究機関でサルモネラ感染が相次ぎ、これを受けて公衆衛生当局は、研究機関が感染防止策の手順をどの程度守っているのか、調査に乗り出した。

「こうした事例は米国全体で起こっているとみられるので、研究施設の安全性や研修方法に問題があるのではないか、という疑問が浮上したのです」とニューメキシコ州保健局(米国サンタフェ)の疫学者 Mack Sewell は話す。

米国疾病対策センター(CDC;ジョージア州アトランタ)の 2011 年 4 月 28 日付の報告書によれば、2010 年 8 月から 2011 年 3 月までの間に、サルモネラの中でも比較的ありふれたネズミチフス菌(Salmonella typhimurium)の感染によって、35 の州で 73 名が発症し、1 名の死者が出た。この流行は現在は収束したとみられており、新たに報告される感染例は週に  $0 \sim 4$  件程度で、平常時の数値まで下がったと CDC は説明している。

ネズミチフス菌は食中毒をよく起こす 菌で、過去何回かの集団食中毒との関連 が明らかになっている。しかし、今回の 多発感染が違っているのは、CDCの報 告にあるように、感染源をたどっていく と、発症例の多くが医療もしくは学生実 習を担う研究機関に行き着いたことだ。

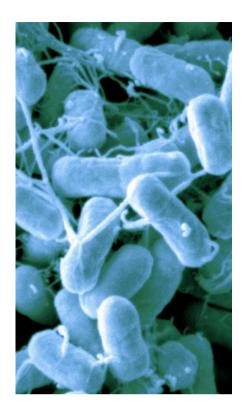
CDCは、今回の感染で発症した32名について徹底的に調査し、その60%が発症前の1週間に、微生物研究施設と何らかの形でつながりがあったことを見つけた。これに対して、当局に報告されたほかの感染症の場合(発症者64

名)、微生物研究施設とつながりがあったのは2%だった。また、今回のネズミチフス菌株は、発症した職員や学生と関係のある複数の研究室で使われていた市販の菌株と、遺伝学的に同一であることがニューメキシコ州保健局によって明らかになった。発症者の中には、研究や実習の現場でサルモネラを扱っていたと話す者もいた。

研究室での感染は珍しいことではない。 $2002 \sim 2004$  年に行われた 88の研究室の自主的調査では、この期間中に 33%の研究室が、研究室を感染源とする 1 件以上の感染を経験しており、その中にはサルモネラ感染が 6 件あった (E. J. Baron and J. M. Miller *Diagn. Microbiol. Infect. Dis.* 60, 241–246; 2008)。2008 年、CDC は研究室起源のサルモネラ感染の発生について調査するために委員会を招集したが、報告書はいまだに公表されていない。

それでも、研究室発の感染が米国各地で相次いで起こるというのは異例のことだ。CDC は現在、これがどのようにして起こった可能性があるのか調査中であり、その一環として、米国微生物学会(ASM;本部はワシントン D.C.) や公衆衛生研究所協会(APHL;メリーランド州シルバースプリング)の会員を対象に、バイオセーフティー対策の実施状況を調査している。

CDC が危惧している点はほかにもある。今回の一連の感染で発症した人のうち、幼児など一部の患者は、本人は研究施設を一度も訪れたことはないが、研究



施設で作業していて発症しなかった人と同居していたのだ。これはつまり、研究施設で作業する人間が病原性細菌をバッグや衣服その他の物に付着させて帰宅したことを意味している。このことを指摘したのは、CDCの Casey Barton Behrayesh だ。

さらに、学生実習をする研究施設で、果たして病原性を持つサルモネラ菌株を使う必要があるのか、という疑問も提起されている。「代わりに使える非病原性もしくは弱毒化したサルモネラ菌株がありそうなものですが」と Barton Behravesh は言う。

差し当たって公衆衛生当局は、すべての研究機関の職員らに、適切なバイオセーフティー対策手順をもっときちんと順守するよう勧告している。Sewellは、そうした予防策の重要性を強く印象づける方法の1つとして、かつて、自身の指導教授に言われた言葉を引き合いに出した。「先生は僕らにこう言っていました。実習で扱っている病原体に感染した学生には、問答無用で『不可』をつけるから、覚悟しておくように、ってね」。

(翻訳:船田晶子)

### ロイヤルゼリーの神秘の成分

#### **Royal aspirations**

GENE E. ROBINSON 2011年5月26日号 Vol. 473 (454-455)

ミッバチの幼虫を「女王」に変身させるのは、ロイヤルゼリーのどの成分なのか。 長年にわたるこの謎に、ようやく決定的な答えが見つかった。 この発見は、生物の社会的な特性と昆虫ゲノムの双方の進化の研究において重要な手がかりとなることだろう。

ミツバチ (Apis mellifera) の女王は、同じ巣のほかの雌、すなわち働きバチに比べて 100 倍の生殖能力と 20 倍の寿命を持つ。この差を生み出しているのが「ロイヤルゼリー」であることは、100 年以上前から知られていた。その主成分は水、タンパク質、糖類、脂質、およびミネラルであり、ミツバチのコロニーに新しい女王バチが必要になると、幼虫に対して大量に与えられる働きバチの分泌物だ。この効能に目をつけた人がロイヤルゼリーを健康補助食品として売り出したところ、世界中で年間 6 億ドル(約 480億円)以上を売り上げる商品となり、特にアジアでは需要が高い「。

このように、ロイヤルゼリーは科学、経済の両面で関心が高いにもかかわらず、どの成分が幼虫に大変身をもたらすのか、これまで特定されていなかった。しかし今回、富山県立大学講師の鎌<sup>2</sup> の発見により、約100年にわたるこの謎<sup>3</sup>に、ようやく終止符が打たれた。ミツバチと、「女王」システムのないショウジョウバエとを組み合わせたれいショウジョウバエとを組み合わせた独創性に富んだ研究によって、「ロイヤラクチン」というタンパク質にそうした役割があることがわかり、またその作用機序が明らかになったのだ。この研究成果は Nature 2011年5月26日号478ページで報告された。

この大発見の最初の突破口は、鎌倉が、 ロイヤルゼリーの効能が温度とともに変 化するのを見いだしたことで切り開かれ た<sup>2</sup>。40°Cで保存すると「女王を生み出 す成分」は徐々に分解され、30日経っ たものでは完全に活性が失われることを 発見したのだ。この温度で保存したロイ ヤルゼリーに含まれるさまざまな成分を スクリーニングした結果、分子量 57kDa のタンパク質が、「40℃で30日間保存す ると完全に分解される」というプロファ イルに一致することがわかった。このタ ンパク質は、鎌倉が以前に発見し、「ロ イヤラクチン」と命名したものであった。 このロイヤラクチンを精製して、実験室 で幼虫に投与したところ、発生期間の短 縮、成体体重の増加、卵巣の発達促進と いう、女王に見られる3つの基本的な変 化を引き起こすことが確かめられた。

次に鎌倉は、ロイヤラクチンがショウ ジョウバエ (Drosophila melanogaster) に対しても同様の3つの作用をもたら すことを発見した。この発見は衝撃的で あった。そもそも、ショウジョウバエの



社会において「女王バエ」は存在しない。 またショウジョウバエとミツバチとでは、同じ昆虫綱に属するものの目が異なり、進化の過程で3億年以上も前に分岐しているのだ。さらに、ショウジョウバエが形成する社会は、ミツバチ社会が地球上で最も複雑な部類に属することに比べると、はるかに限定的なのである。

この発見は第二の突破口となった。なぜなら、ショウジョウバエはモデル生物として研究が進んでいるため、豊富な遺伝子変異体と解析技術が開発されており、ロイヤラクチンの作用機序を総合的に解明するための強力なツールとなるからである。鎌倉は、さまざまなショウジョウバエの変異体(RNAi 誘導系統とGal4系統)を使って、ロイヤラクチンがどの組織で何の遺伝子発現を制御しているのかを調べた。

その結果、ロイヤラクチンは、脂肪体(末梢の栄養を感知する組織で、脊椎動物の肝臓と脂肪組織に相当する)の上皮増殖因子受容体(EGFR)を介するシグナル伝達経路を刺激することがわかった。そして刺激されたEGFRは、S6K(ショウジョウバエでは細胞の大きさと成体の寿命に関係)やMAPK(発生期間の長さに関係)といったさまざまなキナーゼを活性化していたのだ。ロイヤラクチンを脂肪体で異所発現させた実験でも、同様の結果が得られた(図1)。そして、最終目的であるミツバチにおいても、ロイヤラクチンがEGFRのシグ

ナル伝達を介して作用していることが、 Egfr の RNAi 実験によって確認された。

ここで、ロイヤルゼリーに関する研究 を初期までさかのぼってみよう。1948 年に報告されたショウジョウバエでの先 見的な研究<sup>4</sup>を含む生化学的分析<sup>5</sup>では、 さまざまなロイヤルゼリー抽出物に注目 が集っていたが、階級決定作用を得るに は至らなかった。次に内分泌分析が行わ れたが、ロイヤルゼリーの高い糖質含量 がミツバチの幼虫にロイヤルゼリー摂取 をさらに促すことで成長が加速し、その 結果、幼虫期初期の幼若ホルモン産生量 が増加して発生運命が決定されるという 考えが示唆された 6,7。 つまり、階級決 定は幼若ホルモンの作用であり、ロイヤ ルゼリーはただの摂食刺激物質とされた のだ。実験で、働きバチに誘導する餌を 与えられている幼虫に対し、幼若ホルモ ンを投与したり餌に糖質を過剰に添加し たりすると、女王バチになることが示さ れたためだ。そうして、変身物質の探索 に対する関心は薄れていった。

さらに25年後には分子レベルの分析 が行われ、階級が決定されると遺伝子発 現が大幅に変化することが明らかになっ た8。この大規模な変化は、確かに幼若 ホルモンとインスリン関連シグナル伝達 経路の双方のホルモン調節を受けてい た9。さらに、近年に入ってミツバチゲ ノムが解読され、昆虫では初めて、機能 が完全な DNA メチル化システムを持つ ことが明らかになった <sup>10</sup>。 そこで主要な メチル化遺伝子 (DNA methyltransferase 3) を RNAi でノックダウンしたところ、 女王バチの発生率が上昇するという結果 が得られ11、上述の構図にエピジェネ ティクスも織り込まれたわけだ。こうし て、階級決定の仕組みは、「摂食刺激物質」 「内分泌」「エピジェネティクス」によっ て完全に説明がつくと思われた。

2011年に入り、ロイヤルゼリーがただのジャンクフードではない可能性を指摘した初めての研究成果  $^{12}$  が報告された。ロイヤルゼリーの主要な脂肪酸成分である (E)-10- ヒドロキシ -2- デセン



酸に、ヒストンデアセチラーゼ阻害活性 (クロマチンを開いて遺伝子を活性化す る) があることがわかったのだ。つまり、 ロイヤルゼリーに含まれる特定の成分に は、女王バチの発生を促進する能力が あることを示している。今回の鎌倉の発 見<sup>2</sup>はこれに続くもので、ロイヤルゼリー に強力な階級決定物質が含まれているこ とを決定付けたのである。今後の課題は、 ロイヤラクチンが担う役割と、これまで に発見されたメカニズム(栄養、内分泌、 エピジェネティクス)とを統合して階級 決定の仕組みを説明することであろう。 そのためには、形態学と行動とを合わせ た研究によって、女王バチの特徴をさら に解析する必要があると考えられる。

鎌倉の研究成果<sup>2</sup>は、ソシオゲノミクス(社会生物学とゲノミクスとが融合した分野)研究における画期的発見というだけにとどまらない。研究においては、「戦略」と「概念」の2つがいかに重要であるかを教えてくれているのだ。ショウジョウバエの実験系は、すでにさまな生物の遺伝子の機能解析に利用され、バイオインフォマティクス的手法に欠かせない存在である。しかし鎌倉は、そうした従来の利用法だけでなく、社会性昆虫として「有していない」特性の解析にも、この実験系が利用可能であることを示したわけだ。

いや、ショウジョウバエも、あるいは ミツバチの階級決定のような社会的特性 を有しているのではないのか。鎌倉の研 究<sup>2</sup>は、進化的に最も新しい形質の中で さえも、底流の深い所には分子的に保存 されたものが潜んでいることを強く暗示 しているように思わせる。

そもそもロイヤルゼリーによる階級決 定は、ミツバチの社会進化に固有の特徴 と考えられている。ほかの社会性昆虫に は見られず、幼虫にこうした物質を与え る生物種はほかには存在しないからだ。 言い換えると、ロイヤルゼリーは新しい 遺伝子産物の典型例といえる。一方、ロ イヤラクチンは、ロイヤルゼリーに含ま れる主要なタンパク質をコードする 10 の遺伝子群のうちの1つから作られて いる。しかし、この遺伝子群はもともと、 昆虫では体色や生殖に関係する Yellow タンパク質ファミリーをコードする遺伝 子に由来する<sup>13</sup>(興味深いことに、この タンパク質ファミリーは細菌、菌類、昆 虫でしか見つかっていない)。

今回、このロイヤルゼリー遺伝子群が階級決定に関与していたことから、もともとの機能から解き放たれて新たな役割を担うようになったと考えることができる。しかし、鎌倉の成果は、こうしたロイヤルゼリー遺伝子群が過去とのつながりを完全に断ち切ったわけではないことを示唆しているのだ(ただし、今のところ、ショウジョウバエのYellow タンパク質も EGFR シグナル伝達に作用するのかどうかは不明である)。

今回の結果を考察すれば、ショウジョ ウバエにも「女王」階級という社会的特 性があるのかもしれない、と思わずにはいられない。この研究のように、新規の分子と古くから保持されている分子の機能とを結びつけて解析すれば、脊椎、無脊椎を問わず、すべての動物の複雑な社会的特性の解明に役立つだろう。

(翻訳:小林盛方)

### Gene E. Robinson、イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校ゲノム生物学研究所(米国)。

- Euromonitor Passport Global Market Information
   Database (13 Nov. 2009); www.portal.euromonitor.com
- 2. Kamakura, M. Nature 473, 478-483 (2011).
- 3. Aeppler, C. W. Gleanings Bee Cult. 50, 151-153 (1922).
- 4. Gardner, T. S. J. Gerontol. 3, 1-8 (1948).
- 5. Wilson, E.O. The Insect Societies (Belknap, 1971).
- 6. Wirtz, P. & Beetsma, J. Entomol. Exp. Appl. 15, 517–520 (1972).
- 7. Asencot, M. & Lensky, Y. Life Sci. 18, 693-699 (1976).
- Evans, J. D. & Wheeler, D. E. Genome Biol. 2, research0001.1-0001.6 (2000).
- 9. Patel, A. et al. PLoS One **2**, e509 (2007).
- 10. Wang, Y. et al. Science **314**, 645-647 (2006).
- 11. Kucharski, R. et al. Science 319, 1827-1830 (2008).
- 12. Spannhoff, A. et al. EMBO Rep. **12**, 238–243 (2011).
- 13. Fischman, B. J., Woodard, S. H. & Robinson, G. E. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **108**, 7472–7477 (2011).

#### 応用物理学

### 摩擦で発生させる小型 X 線源

#### A stroke of X-ray

STEFAN KNEIP 2011年5月26日号 Vol. 473 (455-456)

X線は100年以上前に発見され、それ以来、医療や科学研究に欠かせない手段となってきた。 そのX線を新たな方法で発生させるべく、研究者は努力を続けている。

約3年前の発見に、科学者も一般の人たちも本当にびっくりした<sup>1</sup>。ありふれた文房具の粘着テープをはがすだけで、人間の指を透かして骨が見えるほど強いX線が出たからだ。この現象を発見したカリフォルニア大学ロサンゼルス校物理天文学科のJonathan Hird らは、今回、この発生原理をさらに進めて、より簡単で低コストなX線源が製造可能なことを実証するプロトタイプを開発、Applied Physics Letters 誌に報告した<sup>2</sup>。

X線は1895年に発見されたが、それ以来、私たちの生活のさまざまな場面で使われるようになった。私たちの体内を目に見えるようにし、DNAの構造の推論に使われ、航空機の翼の健全性を調べるために利用されている。最初にX線を作り出すのに使われたシンプルな放電管は、かなりの改良を経たものの、基本的に今でも同じものが使われている。しかし、放電管以外のX線源を求める声は多く、その開発も進められてきた。その結果、最先端の研究に使われる高度な科学装置が生み出された。一方、用途は従来と同じであっても、より革新的な原理に

基づく X 線源も追い求められてきた 1,2。

粘着テープをはがすときに可視光と X線が短時間放出される現象は、「摩擦ルミネセンス」と呼ばれている  $^{1,3}$ 。 摩擦ルミネセンスは、音波のエネルギーが光に変換される音ルミネセンスとよく似た現象で  $^4$ 、拡散した機械的エネルギーを集めて光を出している  $^5$ 。物質を引き離したり、引き裂いたり、ひっかいたり、たたいたりした結果として、生じる。

光は、電子が加速されたり、止められたりした場合や、電子があるエネルギー準位から別のエネルギー準位にジャンプするときに放出される。したがって、数十keV(キロ電子ボルト)のエネルギー、つまり医療への応用に必要なエネルギーを持つX線光子を得るためには、少なくともそれだけのエネルギーを持つ電子を作らなければならない。このため、商学利用されているX線源や科学研究に使われているX線源の多くでは、電子にkeVレベルのエネルギーを与える必要がある。これは実際には高電圧装置を使って実現されているが、安全対策が必要となり、可搬性や応用範囲が制限され、装

置の小型化も制限されてしまうわけだ。

外部の高電圧源がなくても、粘着テープのような簡単なものでX線を作れるかもしれないという結果は、このような文脈からみても魅力的で、さらなる研究を促してきた $^{1,3}$ 。今回 Hird らが作製した装置も、そうした成果の1つ $^2$ 。彼らの装置は、ローテクで経済的でコンパクトなX線源が作れる可能性を示しただけでなく、摩擦による電荷移動という物理現象(これが摩擦ルミネセンスの基礎)に関して、私たちの理解を体系的に進めてくれる可能性も示している。

Hird らの最新プロトタイプは手のひらに収まり、驚くほどシンプルだ(図1a)。アクチュエーター(作動装置)によって、シリコーン(有機ケイ素化合物)膜とエポキシ樹脂の表面を、繰り返し接触させたり離したりする。このピストン運動で、シリコーン膜とエポキシ樹脂の間に電荷の不均衡が生じる。その結果、摩擦帯電(材料間の摩擦を伴う接触のために帯電する現象)によって、1cm当たり数百kVを超える強い電場が発生する<sup>6,7</sup>。この電場は、周囲の空気を電

離させ、電気火花を飛ばすほど強い(ドアノブなどに触ったときに起きる静電気ショックに似たもの)。

Hird らは、装置を適度な真空中に収 めれば、1回の接触で10万個を超える X線光子が生まれることを見いだした $^{2}$ 。 このX線放射は、原子のエネルギー準位 間の遷移と電子の減速によって生じる。 この結果、広いスペクトルと狭いスペク トル線が得られる。彼らの計算によると、 シリコーン・エポキシ樹脂系は、装置の 接触面積 (65mm<sup>2</sup>) にわたって、1cm<sup>2</sup> 当たり最大 10<sup>10</sup> 個の電荷(電子)の不 均衡を作り出す。この不均衡がもたらす 放電現象の物理的詳細はまだ完全には解 明されていないが 1,2、これほどの電荷密 度があり、シリコーンとエポキシ樹脂は 離れているので、真空容器中に収められ た装置の周囲の気体は電離するはずだ。 実際、このX線源を低圧のネオンガス中 で動作させたところ、ネオンの特徴的な 橙赤色のグロー放電が観察され、ガス電 離が確かめられたのである(図 lb)。

物質を帯電の傾向によって並べたリス トが作られており、「帯電列」と呼ばれ ている<sup>8</sup>。シリコーンは負に帯電する傾 向が強いために選ばれた。Hird らは装 置をテストするため、エポキシ樹脂の表 面に銀を加え、銀の K線の特性 X線(約 22~25keV) を観測した。こうして Hird らは、電子が放電過程で数十 keV のエネルギーまで加速され、それがエポ キシ樹脂と衝突してX線を発生させるこ とを疑いのない形で証明した。エポキシ 樹脂にはさまざまな原子番号の物質を混 ぜ込むことができるため、この仕組みに は柔軟性がある。特性X線のエネルギー を望みの値に調節することができるし、 X線の生成効率を上げることもできる。

さらに Hird らは、装置を取り巻く圧力を下げると、エポキシ樹脂とシリコーンを引き離した後に、X線を 1 秒以上も持続放出させることが可能であることを見いだした $^2$ 。しかし、接触動作の繰り返し周波数を上げて X線の生成量を増やすためには、X線放出を短くするこ

とが望ましい。そこで、30ミリトルと いった少し高い圧力の窒素中で装置を動 作させ、X線のエネルギーは下がるもの の、放出時間を10ミリ秒未満まで短く した。Hird らは、これぐらいの圧力では、 接触動作の周波数と光子数が線形に比例 することを示すことができた。このこと から、毎秒 10<sup>8</sup> 個の光子生成を達成する ためには、数 mm の動作範囲と 0.1 ~ 1kHz の動作周波数が可能な、直線運動 をするアクチュエーターが必要であるこ とがわかったのだ。Hird らの第1号機 では、円筒コイル磁石アクチュエーター を使い、20Hzの接触動作周波数を実現 した。一方、第2号機(図1)では圧電 アクチュエーターを採用し、300Hzの 周波数を達成している。

しかし、接触動作の周波数だけが、Hird らの装置の X 線生成量を増加させる方法ではないかもしれない。帯電列や文献によると、接触あるいは摩擦による帯電が 1cm² 当たり 10<sup>13</sup> 個の電子密度に達する材料のペアが存在する <sup>8,9</sup>。このような電荷密度で完全に放電すれば、X 線光子の生成は 1000 倍になり、接触動作 1 回当たりの光子生成は 10<sup>8</sup> 個に達し、1kHz の接触動作周波数なら毎秒10<sup>11</sup> 個(同じ 65mm² の接触面積の場合)に達するだろう。

摩擦ルミネセンスはミクロのスケールで働くことが示されており $^{10}$ 、原理的には、装置を $^{10}$  1mm 未満の大きさにできる $^{2}$ 。今後の課題は、摩擦接触を最適化するために、二次元の接触動作が可能な小型のアクチュエーターを製造することだろう。個別に制御可能な多数の小さな $^{10}$  X線源を縦横に並べ、高速読み出しカメラに同期して接続した装置も考えられる。この装置は多数の $^{10}$  X線放出を利用して、短い露光時間で $^{10}$  X線放出を利用して、短い露光時間で $^{10}$  X線画像を作り出すことができるだろう。

 $1\mu m$  サイズの電気機械製造技術が応用できれば、摩擦電気によるX線源が低コストで実現され、大きな面積(数  $cm^2$  のサイズ)にすることも可能になるかもしれない。Hird らは、産業界

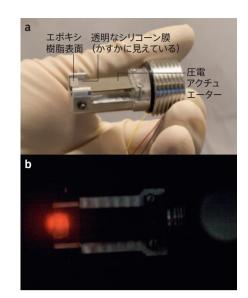


図1:摩擦電気によるX線源

- a ここに示したのは Hird らが開発した手の ひらに収まる装置で、真空容器には入っていない。圧電アクチュエーターにより、シリコーン 膜とエポキシ樹脂表面とを、繰り返し接触させ たり離したりすると、X線(この写真には写っ ていない)が発生する。
- b この画像は真空容器中の装置が低圧のネオン雰囲気中で作動しているところ。ネオンの特徴的な橙赤色のグロー放電がはっきりと見える。(画像はカリフォルニア大学ロサンゼルス校の厚意による。)

に協力を呼びかけ、こうしたアイデアの 実現に動き出している。

彼らの研究は、機械的に駆動し、高電 圧の供給が不要な X 線源という可能性 を開いた。これがもし実現すれば、医療、 産業、生命科学などさまざまな分野で、 画像撮影などに使われるはずだ。

(翻訳:新庄直樹)

### Stefan Kneip、インペリアルカレッジ・ロンドン(英国)のブラケット研究所。

- Camara, C. G., Escobar, J. V., Hird, J. R. & Putterman, S. J. Nature 455, 1089–1092 (2008).
- 2. Hird, J. R., Camara, C. G. & Putterman, S. J. Appl. Phys. Lett. **98**. 133501 (2011).
- 3. Harvey, E. N. Science 89, 460-461 (1939).
- 4. Walton, A. J. & Reynolds, G. T. Adv. Phys. 33, 595-660 (1984).
- Walton, A. J. Adv. Phys. 26, 887-948 (1977).
- VValtori, A. J. Adv. Phys. 26, 867–946 (1977).
   Hauksbee, F. Physico-Mechanical Experiments on Various Subjects (R. Brugis, 1709).
- Harper, W. R. Contact and Frictional Electrification (Oxford Univ. Press, 1967).
- 8. Shaw, P. E. Proc. R. Soc. Lond. A **94**, 16–33 (1917).
- 9. Horn, R. G. & Smith, D. T. Science 256, 362-364 (1992).
- Camara, C. G., Escobar, J. V., Hird, J. R. & Putterman, S. J. Appl. Phys. B 99, 613–617 (2010).



### ヨーロッパの時限爆弾

#### **Europe's ticking time bomb**

KATHERINE BARNES 2011年5月12日号 Vol. 473 (140-141)

イタリアのベズビオ山は世界で最も危険な火山の 1 つである。 だが、将来起こりうる大規模な噴火については、研究者と行政当局の間で見解が分かれている。

その眠れる山が目覚めるとき、強烈な爆発が起こる。火山灰と岩石が巨大な柱のように空高く吹き上げられ、高度 40kmの成層圏にまで達する。やがて破片は落下し始め、灼熱の軽石が地表を叩き、火山灰が厚い層をなして地面を覆う。屋根は崩れ落ち、自動車はキシキシと音を立てて転がる。だが、これは悪夢の始まりにすぎない。まもなく、高温の火山灰と軽石とガスを含んだ大火砕流が、うなり

をあげて火山の傾斜をなだれ落ち、建物を粉砕し、行く手にあるものすべてを飲み込んでいく。多くの人々が暮らし活気に満ちた大都市は、一夜にして不毛地帯へと変わる。

これは、イタリアのベズビオ山が噴火 した場合に、近くのナポリが受ける被害 を予想したシナリオである。ベズビオ山 は、西暦 79 年にポンペイの町を壊滅さ せたことで有名な火山だ。このシナリオ は少々行き過ぎかもしれないが、今年3月、日本が地震と津波により甚大な被害を受けたことを受け、世界の多くの地域が自分たちの「ブラック・スワン」、すなわち発生確率は非常に低いが、ひとたび発生すれば壊滅的な被害をもたらすと予想される災害について、危険の再評価を始めている。なかでも、ベズビオ山の麓で300万人が暮らすナポリは、特に大きな影響を受けると考えられている。

ベズビオ山は、1944年に小規模な噴 火を起こして以来、今日まで無気味な休 眠状態を保っている。しかし、最近の研 究は、この火山がこれまで考えられてい た以上に危険である可能性を示唆してお り、将来の災害の危険性と規模について 活発な議論を呼んでいる。周辺地方自治 体は、火山性の群発地震や微動など、噴 火の徴候が見られた場合に、大勢の住民 をいかにして守るかという困難な課題に 直面している。ベズビオ火山観測所(ナ ポリ) の Giuseppe Mastrolorenzo は、 こう語る。「近代都市で、こんなに大規 模の集団避難が行われた先例はありませ ん。ベズビオ山が世界で最も危険な火山 とされているのは、そのためです」。

#### 次の噴火の規模は?

眠れる巨人は、永遠に鳴りを潜めているわけではない。近年、イメージング技術を用いた地震学研究により、この火山の地下  $8\sim 10$ km の所に、「異常な層」が発見された。Mastrolorenzo と同僚のLucia Pappalardo は、この層は、プリニー式噴火を引き起こしうる活動的なマグマだまりであると解釈した $^1$ 。プリニー式とは、79年の噴火の観察中に死亡した大プリニウスと、その詳細を記載した甥の小プリニウスにちなんで名付けられた、大規模な爆発を特徴とする噴火様式である。

ベズビオ山が活動を再開する場合、噴火の数週間から数年前に最初の前兆はあるかもしれないが、噴火そのものを警告する現象はほとんどないかもしれない。PappalardoとMastrolorenzoは、過去の噴火によってできた岩石の地球化学的性質を分析して、マグマだまりから表面までマグマが急激に(わずか数時間で)上昇してきたことを示す証拠を見つけた。

これまでずっと、歴史上最も大きな噴火は79年の噴火であるとされてきた。 しかし、2006年に、Mastrolorenzoと バッファロー大学(米国ニューヨーク州) の Michel Sheridan が、約3800年前 の青銅器時代に、それよりはるかに大規模な噴火があったことを示唆する地質学的証拠について報告した<sup>2</sup>。火山灰と岩石の破片からなる高温の火砕流が20kmもの距離をなだれ落ち、今日のナポリにあたる地域を覆い尽くしたというのだ。「ナポリの中心部では、堆積物の厚さが4mもあります。たった数センチ積もる程度でも、全住民を殺すには十分なのです」とSheridanは言う。

こうした懸念があるため、ベズビオ 火山観測所のチームはナポリ市当局に、 青銅器時代の爆発の規模の、想定しう る最悪の噴火に基づいて、緊急対応計 画を立案するように迫った。「今日にも 危機が始まる可能性があるのです」と Mastrolorenzo は言う。「問題は、噴火 がどのくらい持続するのか、どんな種類 の噴火になるのか、噴火のプロセスが どのように進行するのか判断できない ことです」。Mastrolorenzo らは、地震 やその他の前兆からベズビオ山が目を 覚ましそうだと判断したら、周囲 20km の住民を完全に避難させるように勧め ている。

しかしながら研究者の全員が、この ように不吉な見通しを持っているわけで はない。ベズビオ山の噴火はもっと穏や かになると予想している研究グループ もある。オルレアン大学(フランス)の Bruno Scaillet らによると、ベズビオ山 は、マグマを供給するマグマだまりが以 前より上のほうに移動しており、その結 果、噴火様式が変化してきているという。 実際、1944年の小規模噴火の際のマグ マだまりは、地下3kmという比較的浅 い所にあったというのだ<sup>3</sup>。そして、そ の浅い地下に貯蔵されているマグマは粘 性が低下しており、大爆発を起こしにく いタイプのものになってきたことが、い くつかの証拠から示唆されている。この 傾向が今後も続くなら、次に起こる噴火 は前回1944年の噴火に似たものになる はずだ、と Scaillet は言う。

Scaillet はまた、地下 10km の所にある地震学的に「異常な層」はマグマであ

るかもしれないが、水や塩水など、マグマ以外の液体である可能性もあると言う。「さまざまな問題があり、いずれも解決されたとは言いがたい状況です」。

#### 緊急対応計画

将来の噴火の規模がわからないうえ、市 民は交通や犯罪などの日常的な問題の 方により大きな関心を寄せている。こ のため、ベズビオ山がもたらす危険を 市民に理解してもらい、対策を講じて 被害を抑えるよう取り組む作業は、研 究者や行政当局にとって非常に大きな 課題となっている。

研究者たちは、地震、地面のひずみ、 火山ガスの化学的性質の変化を監視する センサー網を通じて、ベズビオ山の動向 に常に目を光らせている。

一方、イタリアの市民安全局 (DPC) には、ベズビオ山の噴火に備えた国家緊急対応計画がある。この計画は、1631年に発生した中規模噴火に似た噴火のシナリオに基づいて、1995年に策定された。1631年の亜プリニー式噴火は6000人の命を奪ったが、影響を及ぼした範囲は、それまでのプリニー式噴火に比べてはるかに狭かった。

緊急対応計画では、想定される危険の 種類によって、火山の周辺地域を3つ の区域に分けている。赤い色の区域は ベズビオ山に最も近く、火砕流の危険 が最も大きいため、噴火が始まる前にこ の地域に住む60万人の住民を全員避難 させることになっている(次ページの 図参照)。黄色の区域で想定される主な 危険は、降灰と小さな岩石だ。当局は、 噴火が始まって、風向きが明らかになっ てから、火山の風下に当たる地域の住民 に避難命令を出す。青色の区域は、噴火 によって洪水と泥流が引き起こされる 危険が高いと考えられ、黄色の区域と同 様、噴火後に気象条件を考慮して避難す ることになっている。当初、ナポリは、 どの危険区域にも入っていなかった。と いうのも、ベズビオ山から噴出した火山 灰はこの地域特有の風に乗り、ナポリか ら遠ざかるように、東の方向に飛んでい くことが多いからだ。

2003年に、DPCは、常に新しい科学的情報を考慮に入れて、緊急対応計画を更新していくと発表した。その結果、赤色の区域は拡大されて、ナポリ東部も含まれるようになった。さらに、噴火前の徴候がこれまで考えられていたよりも少ない可能性があるとして、避難のタイミングを噴火予想の2週間前から72時間前へと短縮した。

けれども一部の研究者は、この計画 は重要な科学的証拠を無視している と主張する。昨年、Mastrolorenzoと Pappalardo<sup>4</sup>、ナポリ大学の Giuseppe Rolandi<sup>5</sup>は、中規模の噴火であっても、 現在赤色の区域に含まれていない複数の 自治体が火砕流に襲われるおそれがある ことを発見した。Mastrolorenzo は、当 局は、黄色の区域の住民も早期に避難 させる必要があると指摘する。細かい 火山灰が短時間でこの地域の空中に広 がり、真っ暗闇にしてしまうからであ る。「そうなる前に、住民を避難させな ければなりません」と彼は言う。また、 Mastrolorenzo も Rolandi も、時にはべ ズビオ山からナポリに向かって風が吹く こともあるため、ナポリに大量の火山灰 が降る可能性を除外することはできない と指摘する。

すべての証拠を考え合わせると、緊急

対応計画は「最悪のシナリオ」に従って 立案しなければならない。そう考えてい る研究者は、彼らだけではない。その最 悪のシナリオを想定することは、大都市 ナポリと 300 万人の住民を考慮に入れ ることを意味する。

ポートランド州立大学(米国オレゴン州)の火山学者 Jonathan Fink は、緊急対応計画では、この考え方は理にかなっていると言う。火山が噴火の前兆を見せたときに、当局と研究者が再評価を行えばよいのだ。「危険を過大に想定していれば、過小に想定していた場合よりも、失われるものが少なくてすむからです」と彼は言う。

Nature からの質問に対して DPC は書面で、自分たちは「火山の歴史上最大の噴火イベントを想定するという単純な方法ではなく、火山の現在の状態に基づいて」噴火の危険性を評価していると回答した。一部の研究者は、DPC のこの方針に賛成している。イタリアの国立地球物理学火山学研究所(INGV;ローマ)の Warner Marzocchi は、「最悪の事態を想定していては、きりがありません。合理的な方法でリスクを小さくしていかなければならないのです。ナポリ市民300万人の完全避難を実施するのは不可能でしょう」と言う。

Marzocchi をはじめ、そのほかの研究者たちは、各種のシナリオの確率に基

づくモデル作成ツールの開発に取り組んでいる。このツールを利用すれば、危機の際に行政当局が実際に起こっている現象を正しく評価し、避難方針の選択がよりスムーズになる。ケンブリッジ大学(英国)の緊急対応計画の専門家 Peter Baxter は、特に火山の噴火が及ぼす影響を研究しており、カリブ海に浮かぶ英国領モントセラト島で1997年に噴火が起きたときに、この種の手法を利用して影響を受ける地域を正確に予測し、島民を全員避難させずにすんだ。

Baxter らは、ベズビオ山について、地質学的データと噴火プロセスのモデルを用いて「事故結果予想系統図」を作成し、発生する可能性がある噴火の全容を示した<sup>6</sup>。分析によると、火山に設置したセンサーがマグマの不穏な動きを検出した場合、爆発的噴火が発生する確率は70%と予想されるが、プリニー式の破局的噴火になる確率はわずか4%であるという。可能性が最も高い噴火様式は、1944年の噴火に似た、勢いは激しいがより小規模な噴火で、溶岩流と火山灰の中等度の放出を伴うものであろうと予想されている。

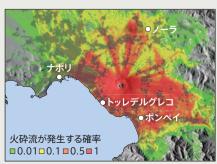
正確な噴火予報が実現する見込みが立っていない現時点では、この種の確率論的アプローチは、火山学者と緊急対応計画の立案者が対策を進めるうえで、唯一の方法であるように思われる。INGVピサ研究所のAugusto Neri は、「この問題は非常に入り組んでいて、解決するのは困難です。そもそも我々は、火山活動の仕組みを全くわかっていないからです」と語る。

(翻訳:三枝小夜子)

#### 避難範囲をめぐる攻防

DPC の緊急対応計画では、ベズビオ山に最も近い区域(左の地図、赤色の区域)だけが早期に避難することになっている。しかし、大規模噴火のシミュレーション(右の地図)では、高温の火砕流が、もっと遠くまで到達する危険性が高いことを示している。





#### Katherine Barnes はロンドン在住のフリーライター。

- Pappalardo, L. & Mastrolorenzo, G. Earth Planet. Sci. Lett. 296, 133-143 (2010).
- Mastrolorenzo, G. et al. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 103, 4366-4370 (2006).
- Scaillet, B., Pichavant, M. & Cioni, R. Nature 455, 216-219 (2008).
- Mastrolorenzo, G. & Pappalardo, L. J. Geophys. Res. 115, B12212 (2010).
- 5. Rolandi, G. J. Volcanol. Geotherm. Res. 189, 347-362 (2010).
- Baxter, P. J. et al. J. Volcanol. Geotherm. Res. 178, 454-473 (2008).

### 科学者が高校教育の現場に入る

#### Those who can

2011年5月12日号 Vol. 473 (123)

1000人の科学者が高校を訪問して、理科教師に力を貸し、米国の教育の質の向上をめざす取り組みが始まる。

多くの先進国が、高校における科学教育という慢性的な問題を抱えている。特に 米国の研究者は、STEM (科学、技術、 工学、数学)教育における生徒の成績低 下をいやというほど感じている。1人の 科学・数学教師が気付いたように、この 問題の解決には、実は強力な助っ人がい る。その人材とは、そう、あなたのよう な科学者自身なのだ。

しかし、あなたはこう考えるかもしれない。多くの教師や政策担当者が苦労してもうまくいかないのに、どうしてこの私が、子どもたちにインスピレーションを与えて、科学好きにさせられると思うのか。研究や助成金申請書作成で忙しいのに、こんなことのために時間を割けると思うのか、と。

あなたの経験はきっと役立つはずだし、助けてくれる人たちもいる。それが Scientific American の新プロジェクト「1,000 Scientists in 1,000 Days(千日に千人の科学者を)」で、「Change the Equation(方程式を変える)」プログラムの一環として進められている。このプログラムは、STEM 教育に対して博愛精神に基づく個人参加を促そうというオバマ大統領の政策ミッションを実現する手段の1つだ。参加申込書はwww.scientificamerican.comの「Education」のタブをクリックすると見つかる。

Scientific American は Nature の 姉 妹 誌であり、Nature としてもこの取り組 みを後押しできてうれしく思う。

科学者が地元の学校で自らの典型的な 一日について語れば、科学に対する神秘 性や垣根を取り除けるかもしれない。教育委員会にカリキュラムや特定の研究分野について助言することもありうる。電子メール、テレビ会議やスカイプで質問に答えるだけでもよい。参加の方法や頻度は、自身が決めればよい。Scientific American としては、新学期が始まる9月頃に研究者と教師を引き合わせたいと考えている。

科学者が高校を訪れる価値を知っても らうために、もう少し背景事情を説明し たい。昨年発表された全米アカデミーの 報告書によれば、理工学分野の大学卒業 者比率で、米国は富裕国 29 か国中 27 位の低さだった。報告書は、連邦政府と 州政府に対して、特に重要な科目の教師 養成を支援し、幼児教育と公立学校カリ キュラムに的を絞って、数学と科学の教 育を改善するよう求めた。

米国では、初等教育の低学年を担当する理科の教師は、科学教育を受けていない。米国立科学財団 (NSF) の最新統計 (2004年) によれば、数学と科学の教育課程の学位ないしは修了証を持った教師の授業を受けた生徒は、5年生でわずか40%、8年生(中学2年生)でも80%だった。

教師には、機械的な大量の学習が必要な「試験のための教育」も求められる。それと同時に、科学の感動を伝え、プロセスを重視した批判的思考法を教え、正当な研究に必要な証拠収集の仕方を教えることも求められる。これら2つは矛盾することが多く、教師は苦労している。さらに、進化や気候変動のようなテーマ

については、論争も教えろという要求に 取り組まねばならない。全米科学教育センターによれば、2011年1月以降、米 国の州議会には進化論に反対する趣旨の 反科学的議案が8本も提案されている。

オバマ大統領は、窮地に立つ米国経済の「将来的な勝利」のためには、研究、イノベーション、教育への投資が必要だと演説した。また、この1月の一般教書演説では、科学博覧会の優勝者は、スーパーボウルの優勝チームと同じくらい称賛されるべきだと述べ、1878年以降毎年ホワイトハウスの芝生で行われている子どものためのイベント「イースター・エッグロール」で体験型の科学活動を始めた。

オバマ大統領は、2010年9月に「Change the Equation」プログラムを発表した際に、「我々の国家としての成功は、世界の新発見とイノベーションの推進者としての我が国の役割を強化できるかどうかにかかっている」と語った。

ネイチャー・パブリッシング・グループは、「Bridge to Science (科学への橋渡し)」という広範なプロジェクトを展開しており、親・教師・政策担当責任者のニーズをくみ上げ、究極的には科学全体の発展に取り組もうとしている。その6プロジェクトの1つが「1,000 Scientists in 1,000 Days」で、当面は米国のニーズに応えることを目標としており、すでに230人以上の科学者が参加を申し込んでくれている。

(翻訳:菊川要)

### 研究は誰の価値観で進めるべきか

#### Value judgements

2011年5月12日号 Vol. 473 (123-124)

科学活動が生み出すものは、単なる研究論文だけでなく、公共的価値であるべきだ。

世界的な金融不況以降、研究投資への見返りが厳しく求められるようになった。しかし、その「利益」を評価する場合、知識や経済成長だけでなく、それ以上のものを評価対象に含めるべきである。このことは、Minervaというジャーナルの最新号にタイミングよく掲載された一連の論文に明確に示されている。

この雑誌は、ジョージア大学(米国アセンズ)のBarry Bozeman とアリゾナ州立大学(米国テンピ)のDaniel Sarewitz という2人の政策科学者が、知性と編集の両面で強く主導しており、一連の事例研究論文で、研究投資からの利益を、「公共的価値」という広い観点から分析している。公共的価値には、知識や経済的基準だけでなく、政策決定者にとって有用な情報、利害関係者が課題設定に参加する際に有用な情報、一般市民に周知する際に有用な情報なども含まれる。

それぞれの論文の著者は、ハリケーン研究からナノ医学に至るまで、さまざまな分野にかかわる研究を取り上げて、プロジェクトの進行につれて公共的価値を得ようという当初の目標が、いかに失われていったかを実証している。視野の広い目的が設定されていたにもかかわらず、「科学それ自体のための科学」や経済的課題という強い力によって、それが打ち砕かれてしまうケースがあまりにも多いのだ。

例えばアリゾナ州立大学の政策科学 者 Ryan Meyer の論文では、米国政府 の地球変動研究計画が広範な公共的価値の実現に失敗したことを論じている (Minerva 49, 47-70; 2011)。 Meyer の研究は、米国の気候関連プログラムが過去 20年間に 300億ドル(約2兆4000億円)以上の公共投資を受けながらも、政策当局や一般市民が求めた形の情報や参加を生み出すことにほとんど失敗したことを明らかにしている。

科学が当初意図していた目標や優先事項を達成できなくても、そこに何らかの知識の進歩があれば、社会はそれを本来的によいものだと捉えてくれるというような甘い考えは、もはや通用しないとMeyerは指摘する。

偶然にも先週、ハンブルク(ドイツ)でワークショップが開かれ、そこに集まった気候科学者、政策専門家、「ポスト・ノーマル・サイエンス」の哲学者が、これと似た見方を提示した。事実が不確実になり、リスクが大きくなり、価値観をめぐる論争が生じ、緊急に決定を下す必要が生じたとき、科学は「ポスト・ノーマル」つまり、正常な状態を一歩超えたような状態になる。こうなると、損失の大きいミスを避けるために、社会のニーズを必ず考慮に入れなければならなくなる、というのだ。

気候研究は、この条件を満たしている にもかかわらず、大部分の気候研究者 は、今日的にも将来的にも、純粋な科学 的価値観だけで課題設定を十分にできる と思って行動している。ワークショップ の参加者はこのように分析した。 研究者、そして特に助成金交付機関は、研究の優先順位を設定する際に「一般市民と利害関係者の参加が役立つ」という発想を持たなければならない。そして、研究成果をすべて把握し、広く知らせる必要がある。また、政策当局者としては、気候関連情報を直接必要とするユーザー、つまり企業、各地域の政策立案者、政府各部門の人々がより大きな発言権を持つようにして、研究者が提供すべきサービスと知識を、彼らユーザーの期待に沿うような形に近づけ、さらに、研究成果の質と妥当性も高めていくように努力すべきだ。

ここでなすべきことは、研究の幅を狭めるのではなく、広げることだ。すなわち、科学の社会での利用に対する一般市民の信頼感を確実に高めるような研究をも推進すべきなのだ。この点を掘り下げていけば、分野を超えた共同研究の成功、利害関係者すべてに有用な情報の提供、透明性の確保、目標を正しく絞った周知活動など、まさに科学の公共的価値を最大限に引き出すことができる。

今回の事例研究では、科学と技術の成果を評価する現行の方法に、著しい欠点があることも示された。これは、研究の方向性を決める際に、意図的にせよ、そうでないにせよ、科学者の利益があまりに支配的になり過ぎることへの警告と捉えるべきであろう。

(翻訳:菊川要)

Volume 474 Number 7349 2011 年 6 月 2 日号





### 死に至る誘惑:蚊の呼気探索行動を攪乱する匂い物質は、マラリアやデング熱対策用の候補物質になる

Fatal attraction: Odorants disrupting mosquito's breathseeking behaviour as candidates for malaria and dengue control

血液を吸う雌の蚊は、宿主脊椎動物が吐いた息に含まれる  $CO_2$  に誘引されて、吸血相手を探す。そのため、 $CO_2$  感知機構は、昆虫が媒介する疾患の伝播防止のための標的として関心を集めている。今回、最も致死性の高い疾患を媒介する 3 種類の蚊(ハマダラカ属、ヤブカ属およびイエカ属)の  $CO_2$  感知経路を変化させる揮発性の匂い物質群が同定され、 $CO_2$  を介する誘引行動を阻害できることが実証された。化合物のうちの 1 つは、 $CO_2$  を感知する神経細胞を非常に長い時間活性化するため、短時間の曝露でも持続的な方向感覚障害を生じさせる。また、 $CO_2$  感知を模倣する、あるいは感知を阻害する物質も見つかった。この原理実証実験で用いられた 2,3- ブタンジオンなどの化合物は、その性質からヒトでは使用できないが、少量で効果を示す新世代の忌避剤および誘引剤の開発につながる可能性がある。

#### 考古:アウストラロピテクス類の移動を 示す歯の記録

A dental record of australopithecine travel

絶滅した動物種の行動圏および土地利用の習性を推測するには、どうすればよいだろうか。1つの方法は、歯の化石のストロンチウム同位体含有比を測定することだ。なぜなら、ストロンチウムでなら、ストロンチウムでなら、ストロンチウムで変したかを示す優れた指標になるからである。この「水の痕跡」は、環境の地質によって決定される。今回、南アフリカで出土したアウストラロプス・アフリカヌスおよびパラントロプス・ロブストゥスの化石標本に関してストロンチウム同位体研究が行われた。その結果、女性と推測される小型の個体の



行動圏は、男性よりも広かったことが明らかになった。このことから、当時の女性には出生集団から離れて別の集団に加わる傾向があり、一方で男性は出生地にとどまる傾向があったと考えられる。この行動特性はヒトおよびチンパンジーと同様のものであり、大部分のゴリラおよびほかの霊長類では見られない。

#### 生態: 地底に棲む線虫類

Low life: nematodes from the deep

地殻内にはさまざまな単細胞生物が生息していて、深部地下生物圏と呼ばれるものを形成していることが、この 20年間でわかってきた。そして今回、深部地下生物圏で多細胞生物が初めて見つかったことが報告された。見つかったことが報告された。見つかったのは線虫類で、そのうちの1つは新種である。これらの線虫類は長さが最長である。これらの線虫類は長さが最長でも0.5mm程度で、細菌を摂食し、南アフリカのベアトリクス金鉱の深度 3kmという高温の生息環境にも耐えられる。類似の生物は、海底下の一部の環境にも存在するのではないかと考えられる。また、このような過酷な環境で多細胞

生物が生存可能であることは、宇宙生物学にもかかわってきそうだ。

#### 工学:グラフェン系フォトニックチップ

A graphene-based photonics chip

グラフェンは原子 1 個の厚さの炭素シー トであり、多くの応用が見込まれている。 特にエレクトロニクス分野では、この材 料は、シリコン系素子の補完に使用した り、それらの素子と集積したりすることも 可能であるために期待が大きい。こうし たことから、占有面積が小さく広帯域の 高速光変調器の開発には、多大な努力 がなされてきた。今回、オンチップ光通 信の分野でグラフェンの新しい可能性が 実証され、大いに関心を呼ぶことになり そうだ。シリコンチップ上に集積したグラ フェン系光変調器が作製されたのだ。こ の新しい素子は、グラフェンシートのフェ ルミ準位の電気的調整に基づいており、 1GHz を超える周波数と幅広い動作スペ クトルによって、導波光の変調を実現し た。たった  $25\mu m^2$  という面積は、この 種の素子では最も小さい部類に入る。

#### 進化:潜在的変異で事態に備える

Be prepared, with cryptic mutations

突然変異の中には潜在的変異(cryptic mutation) と呼ばれるものがあり、これ らは、ほかの変異や環境変化があわせ て起こらないかぎり、生物の表現型に観 察可能な変化をもたらすことはない。新 しい条件の下では、本来は潜在的だった 変動が有利に働くことがあり、潜在的変 動は進化的適応、つまり進化可能性を 促進する可能性があると考えられてきた。 しかし、自然界のゲノムと環境はどちら も複雑なため、この説は実験によって厳 密に実証されてはいない。今回、単一 RNA 酵素の触媒活性という in vitro での 単純化した系を使った研究によって、潜 在的変動をより多く蓄積した集団のほう が、変動の蓄積の少ない競合集団に比 べて新しい化学的環境に迅速に適応する ことが実証された。このような「先行適 応機構」の存在は、動植物の育種だけ でなく、複雑な形質がかかわるヒトの病 気にも重要な意味を持つだろう。



Volume 474 Number 7350 2011 年 6 月 9 日号





幹細胞に対する新たな関心の高まり:心臓の修復/拒絶への対処/免疫からの避難所/血液細胞を生み出す新たな経路/がんタンパク質を含まないiPSカクテル

STEM CELL REVIVAL: Repairs of the heart/ Repairs of the heart/ Finding immune sanctuary/ A new route to blood cells/ Oncoprotein-free iPS cocktails

本号では、幹細胞研究で最も関心を集めている話題をいくつか取り上げている。News and Views の1つでは、人工多能性幹(iPS)細胞が免疫原性になりうるという知見について論じている。ほかにも、骨髄造血幹細胞のニッチが免疫特権部位であることを明らかにした研究や、造血幹細胞を産生する新規経路を同定した研究、そして、転写因子 Glis1 が、がん誘発のおそれのある c-Myc の代わりに iPS 細胞誘導因子として使えることを明らかにした研究を掲載している。また、本号と同時にオンライン掲載となった論文では、前駆細胞をあるペプチドによって刺激すると新しい心筋細胞の供給源として働くことが報告された。

#### 物理:波動関数とは何なのか

#### What is a wavefunction?

波動関数は、宇宙のあらゆるものが示す波動に似た性質と粒子に似た性質と粒子に似た性質の両方を記述するもので、量子論のを記述するもので、量子論のを測定するトモグラフィー実験において間接的に知られて可接のに知られて間接の直接観測を測を引きる。この研究成果から、波動関数を測定するというものでのの研究成果から、波動関数を測定するというもので役立つと思われる。一方で、波動関数とは実際に何なのかという、ほとんど哲学的な疑問が湧いてくる。

#### 化学:水と空気の界面を探る

#### **Probing into water**

空気と水の界面で生じる表面現象は、海 洋学から大気化学や環境化学まで、多 くの場面においてきわめて重要である。 界面領域の薄さはどれくらいなのか、つ まり界面を横切っていくと、どの辺りで バルク液体水の特性が再び現れるのか という問題は、いまだ解決されていない。今回、分光法を用いて、表面から 突き出した酸素 – 重水素結合を持つ水分子の「自由 OD (oxygen-deuterium)」振動モードが調べられ、理論モデリングによって解釈された。その結果、界面にまたがる水分子がバルク水よりも少しだけ弱い水素結合を形成することがわかった。このことは、空気から水相へと界面を横断していくと、バルク相挙動がすぐさま現れ、界面の「回復長」がきわめて短いことを示唆している。

#### 細胞:iPS 細胞の拒絶

#### **Rejection of iPS cells**

人工多能性幹(iPS)細胞は、完全に分化した成体細胞を、特定の遺伝子群の発現により再プログラム化して胚様の状態に戻すことで作られ、治療に使える可能性が大きい。iPS 細胞は完全には完全には一つないとあるに期待される利点の1つるとである。しかし、どうやらそうとは言い切れないようだ。レトロウイルム法をあるいは非組み込み型エピソーム法で再プログラム化されたiPS 細胞を行ったところ、このiPS 細胞由来のテラトーマ(奇形腫)細胞が免疫系に拒絶され、同系の

マウスに移植した場合でも同じ結果になったのである。この知見は、iPS 細胞から分化した一部の細胞での遺伝子発現の変化が、T細胞依存性の免疫応答を引き起こす場合があることを示唆している。研究チームは、患者特異的 iPS細胞由来の治療用細胞を臨床で患者に使用する前には、これらの細胞の免疫原性を必ず評価すべきだと述べている。

#### 細胞:c-Myc を Glis1 で代用して幹細 胞を作製する

### Glis1 substitutes for c-Myc in stem-cell generation

分化後の体細胞に外部から加えた Oct4、Sox2、Klf4 および c-Myc とい う重要な転写因子を発現させ、再プロ グラム化して作製される人工多能性幹 (iPS) 細胞は、疾患の治療に使える可 能性がある。c-Myc は再プログラム化 の効率を向上させるが、このがん遺伝 子を用いることについては、安全性が 懸念されていた。今回、山中御弥たち のグループは、転写因子 Glis1 が、ヒ トおよびマウスの体細胞の iPS 細胞へ の再プログラム化を効果的かつ特異的 に促進することを見いだした。Glis1は 未受精卵や1細胞期胚に高濃度で存在 しており、iPS 細胞作製の際の再プログ ラム化と核が接合体へと移行した後とを 結びつけている可能性がある。

#### 構造生物学:タンパク質輸送を促進する SecDF の構造

### Structure of protein-export enhancer SecDF

細菌の細胞膜を越えるタンパク質輸送は SecYEG トランスロコンを介して行われ、 SecDF という膜タンパク質により促進されるが、 SecDF の機能は明らかになっていなかった。 濡木理たちのグループは今回、 SecDF の構造と機能を解析した。その結果、 SecDF には 12 回膜貫通ドメインと 2 つの大きなペリプラズムドメイン (P1 と P4) が存在することが示された。 SecDF は膜内在シャペロンとして働き、プロトン駆動力を原動力としてタンパク質輸送を行っているらしい。



Volume 474 Number 7351 2011 年 6 月 16 日号





### まとまって働く: 内耳の繊毛が、可聴振動数で粘性抗力に 打ち勝つ仕組み

**PULLING TOGETHER:** How inner-ear cilia defeat viscous drag at hearing frequencies

音の感知は、不動毛(耳内の有毛細胞の先端にある 繊毛)の微小な束が動くことで開始される。不動毛は、 内耳を満たす粘性の高い液体に囲まれているが、原子 スケールの動きに対しても感受性を保っている。この ような感受性は、不動毛の間にある液体の粘性による 抗力の大半を取り除くことで維持されていることが、今 回明らかになった。ナノメートル以下のスケールで、ウ シガエルの不動毛における力の均衡を解析したところ、 聴覚に使われる振動数では、毛束内にある不動毛の多 くは外部の液体から遮蔽されており、ほぼ一体となって 動くことがわかった。表紙は、毛束の動きのシミュレー ションを表している。音の振動数が高くなるにつれ同調 する不動毛が増えていき(中央)、最後には広い可聴振 動数範囲で毛束が1つにまとまって動く(奥)。

#### 遺伝:可能性がさらに広がるノックアウト マウス

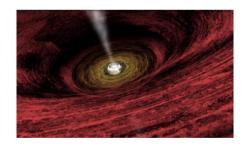
#### **Knockout mice with potential**

特定の遺伝子を不活性化したノックアウトマウスは、遺伝子機能の分析に中心的役割を果たしている。その重要な供給源の1つとして、ハイスループットの遺伝子ターゲッティングパイプラインという方式が今回報告されている。この方式によりすでに、C57BL/6N胚性幹細胞系列で、大規模な表現型解析プラム用の変異マウス作製に適した条件突然変異が何千種類も作り出される。この方法はラットやヒトの幹細胞にも応用可能であり、哺乳類ゲノムにコードされる全遺伝子の機能を解明するための基盤技術の1つとなる。

#### 宇宙:初期宇宙のブラックホール成長を 垣間見る

An early glimpse of black hole growth チャンドラ X 線観測衛星による X 線アーカイブデータの研究から、ビッグバン後約  $7 \sim 9.5$  億年 (赤方偏移  $z = 6 \sim 8$ ) という観測可能な最初期のブラックホールに関して、成長の尺度が得られた。この結果は、ブラックホールが、宇宙の最初期から母銀河とともに成長してい

たことを示唆している。大量に降着が起きているブラックホールの大半は、かなりの量のガスと塵の中に埋もれており、最もエネルギーの高い X 線以外は放射の大部分が吸収されてしまう。そのため、こうしたブラックホールは宇宙の再電離には寄与していない。



#### 宇宙:ボイジャー1号のゆっくりとした 「さようなら」

#### Voyager 1's long goodbye

探査機ボイジャー 1 号は、2004 年 12 月に太陽系から離脱し始め、太陽風末端衝撃波面を通過して、ヘリオシースに入ろうとしていた。ヘリオシースは、イオン化した粒子の流れである太陽風が星間物質と相互作用し始めて減速する領域である。ボイジャーの計器は、ヘリオシース内プラズマのバルク速度を現在も計測しており、過去3年間に秒

速70 km からほとんどゼロまでほぼ直線的に減少した後、ここ8 か月間は変化がない。これは、ボイジャー1号がヘリオポーズ付近、つまり太陽風の残りが星間空間内の圧力と一致する領域にいる可能性を示している。ヘリオポーズでは急激な不連続面が存在すると理論的に予想されていたため、ボイジャーによって観測された太陽系出口の緩やかな変化は意外であった。

#### 細胞:ナンセンスコドンを「読める」も のにする

#### Nonsense codons taken as read

リボソームに翻訳停止を伝える3つの 「ナンセンスコドン (終止コドン)」で ある UAA、UAG、UGA は、いずれも 1番目がウリジン残基である。今回、こ のウリジンを偽ウリジン (Ψ) に変換す る異性化によって、ナンセンスコドンが in vivo でリボソームにより読まれるよう になることが示された。またタンパク質 には特定のアミノ酸が挿入される。Ψ AA とΨAG はセリンとスレオニンを、 ΨGA はチロシンとフェニルアラニンを コードしているからだ。こうした RNA 修飾の生理的役割を示す証拠はまだな いが、この方法は遺伝コードを拡張する 手段の1つとなる可能性がある。同じ ような RNA 修飾はまた、in vivo でナン センスを抑制する手段として、実験的、 臨床的に有用となるかもしれない。

#### 物理:近藤格子でのフェルミオン出現を 調べる

#### **That Kondo moment**

局在磁気モーメントと動きやすい伝導電子をあわせ持つ合金の中には、近藤格子と呼ばれるエキゾチックな物質状態を形成するものがある。低温では、このような局在状態と非局在状態の間の量子相互作用から、あたかも異常に重いかのように振る舞う、「重いフェルミオン」と呼ばれる電荷キャリアが生じる。今回、走査型トンネル顕微鏡法を使ってこのような量子相互作用を調べたところ、一般的な近藤格子系における重いフェルミオンの出現を観測した。



Volume 474 Number 7352 2011 年 6 月 23 日号





#### ストレス・アンド・ザ・シティー:都市生活と精神障害を 結びつける脳の機序

STRESS AND THE CITY: A brain mechanism links urban living to risk of mental illness

2050年には世界人口の3分の2が都市に集中すると 予測されている。都会での暮らしには多くの利点がある 一方で、急速に進む都市化は健康に大きな影響を及ぼ している。例えば、統合失調症は、都市より人口密度 が低い地域の出身者よりも、都市出身者に多く見られ、 また、うつ病や不安障害は、都市居住者で罹患率が増 加しているのだ。こうした影響の一因が社会的ストレス であることはこれまでにも示唆されてきたが、その機序 はわかっていない。今回、ドイツの健康な被験者を対象 として機能的磁気共鳴画像法を用いた研究が行われた。 その結果、都市で生活する人の扁桃体(ストレス下で の負の情動に重要な脳構造)の活動はより活発であり、 また都市出身者においては、帯状皮質(脳の調節的領 域)の活動もより活発であることが明らかになった。こ の結果は、社会的環境と精神疾患とを結びつけられる ことを示しており、より健康な都会環境の計画に役立つ かもしれない。

#### 生態:ハトの群れ飛行は高コスト

#### **High-cost flight for flocking pigeons**

18 羽のハトがハト小屋の周囲を飛ぶようすを7回、のべ9時間以上、400 km 以上にわたり詳細に観察する研究が行われた。その結果、ハトの群れ飛行には高いコストがかかっていることが明らかになった。群れで飛んでいるハトは、羽ばたきが速く、体を傾けて旋回するときには2倍の重力加速度がかかり、4倍の出力を必要とする。互いに接近して飛ぶことは、エネルギーの点からみて非常にコストがかかるのだ。群れで飛ぶことの利点がどんなものであるにせよ、それはエネルギーの節約ではなく、何かほかのものであるのだろう。

#### 化学:レスベラトロールオリゴマーの合成

### Resveratrol oligomers succumb to synthesis

自然界に存在する植物防御分子レスベラトロールは、赤ワインに含まれ、またマウスにさまざまな有益な効果をもたらしたことから、人々の興味をかき立てている。レスベラトロールオリゴマーは、

天然に存在し、強力で幅広い生体活性を示すため、医薬品として高い潜在能力を持つと考えられるが、構造が複雑なため、新薬候補物質のための合理的な合成が非常に困難であった。今回、これを改善すると思われる新しい3段階合成法が報告された。この方法はプログラム可能なうえに制御しやすく、スケールアップもできると思われる。同様の方式で、ほかのオリゴマー類も合成可能になると予想される。

#### 細胞:コンデンシンの誘導役

#### **Recruiting condensin**

有糸分裂の際には、染色体がコンパクトに凝縮してかっちりまとまるが、これはコンデンシンの働きによるものである。コンデンシンは染色体腕部にある場合とで役割が違うと考えられているが、これを染色体腕部や動原体へと局在を対象を動原体へと局在を対象を関されていない。多田健志(東京大学)たちは今回、コンデンシンを動原体へと誘導する因子が、動原体タンパク質モノポリンであることを明らかにした。また、

オーロラ B キナーゼによるコンデンシンのリン酸化によって、特定のヒストンへのコンデンシンの結合が促進されることもわかった。オーロラ B の局在は細胞周期の間に変化するので、コンデンシンが細胞周期に応じて動原体へと誘導されることが説明できるかもしれない。

#### 宇宙:新しい種類の超新星

#### A new class of supernovae

既知の超新星からの放射は、流出して いる放出物質中に蓄積された内部エネ ルギーを起源としている。こうしたエネ ルギーは、1つ以上の新しく合成され た元素の放射性壊変過程や、爆発衝撃 波によって超巨星の外層内の蓄えられ た熱、あるいはゆっくり移動する水素に 富んだ星周物質とデブリとの相互作用 によって蓄積される。今回、これらのど の過程でも説明できない性質を持つ明 るい超新星種の観測が報告された。こ の超新星群は、どの Ia 型超新星よりも 10 倍程度明るく、相当量の紫外線フラッ クスを長期間放射する。これらの星は、 赤方偏移 z < 4 に至るところまで観測可 能である。こうした長寿命の事象は周 辺を明るく照らし出すので、高解像度の 分光学での遠方の星形成領域や原始銀 河の探査を可能にするかもしれない。

#### 量子情報科学:古典世界を超えた光子 キュートリット

### Photonic qutrits beyond the classical world

量子論では、古典物理学とは異なり、すべての性質を同時に明確にすることはできない。複合物理系の部分系間のエンタングルメントがその理由と考えられることが多いが、理論からは、量子な学と古典物理学の間にもっと深刻な手両立性があることが示唆されている。今回、この非両立性を鮮やかに実証すの実験が報告された。この報告で、キュートリットは分割できず、部分系間のおりが報告された。この報告で、キュートリットは分割できず、部分系間のまないにもかかわらず、古典論ではこの実験結果を説明できないことが示された。

## nature



Volume 474 Number 7353 2011 年 6 月 30 日号





#### アフリカの科学研究:もっと明るい未来のために

**BUILDING SCIENCE IN AFRICA: Research for a brighter future** 

本号では、アフリカの科学技術の現状と今後の見通しについて特集している。Featuresでは、ナイジェリア、ケニア、セネガル、ウガンダ、およびタンザニアの科学研究管理機構や、中国の関心がアフリカへの投資に向けられていることなどを取り上げている。Commentでは、物理学者の N. Turok が南アフリカ共和国でのアフリカ数理科学研究所の設立について、B. Bonfoh たちがスイス科学研究センターとコートジボワールで行った研究について述べている。さらに、J. Ruxin と A. Habinshuti は、ルワンダ政府が、サハラ以南のアフリカで最も人口密度が高いこの国において、女児および女性の教育と避妊の普及をどのように優先して行おうとしているかを論じている。

#### 進化:初期の節足動物が備えていた複雑 な眼

The eyes had it: complex vision in early arthropods

チャールズ・ダーウィンは、眼を「究極 まで完成された器官」の1つだと述べ、 進化論上の重大な難題だと考えていた。 しかし、この考えは間違いであることが 明らかになった。眼は、実際には急速 に進化する場合もあると理論では予測 されていたが、今回、化石記録からこ の予測が裏付けられたのである。南オー ストラリア州のカンブリア紀前期の頁岩 で保存状態の良好な化石が発見され、 現在知られている最古の節足動物の中 に、一部の現生昆虫の眼によく似た眼 を持つものがいたことが明らかになっ た。その眼は3,000個を超えるレンズ (個眼) からなり、大きなレンズからな る領域によって前方の両眼視野が生じて いた。眼の持ち主だった動物の正体は 不明であるが、薄暗い環境での生活に 適応した大型の捕食性節足動物であっ たと考えられる。

### 宇宙:赤方偏移の記録を更新した明るい クエーサー

**Redshift 'record' for luminous quasar** クエーサーは、これまで可視光探査によって見つけられてきた。この探査は、

赤方偏移が z < 6.5 にある光源に対しては感度がない。今回、赤外深宇宙探査のデータによってさらに高赤方偏移の領域の探査が可能となり、その結果、これまで知られている赤方偏移 z=6.44を超える z=7.085 の明るいクエーサー(ULAS J1120+0641)が見つかった。こうした遠方クエーサーをさらに観測すれば、ビッグバン後わずか 7.5 億年の宇宙の電離状態が明らかになりそうだ。



#### 光学:単一原子から放出されるスクイー ズド光

Squeezing light from a single atom

単一原子から放出される光場は、「スクイージング」などの非古典的な効果を示すことがある。スクイージングは、ショットノイズ未満の振幅ゆらぎや位相ゆらぎを特徴としており、この現象は30年前に予測されていた。しかし、これまで

実験的に観測されたのは、原子数十個までのマクロスコピック媒質やメゾスコピック媒質においてだけである。今回、高フィネス光共振器内で、レーザー光によって励起された単一原子から発生したスクイーズド光の観測が報告された。比較的容易に観測される単一光子放出とは異なり、このスクイーズド光は、系から放出された光子対の量子コヒーレンスに由来する。今回の研究結果によって、単一発光体によるフォトニック量子論理に新たな展望が得られるかもしれない。

#### 再生医学:心臓の修復

#### **Repairs of the heart**

心血管の再生医療において、細胞を用 いる治療法の実現に一歩近づいた。あ るペプチドで、成体の心臓にある前駆 細胞集団を刺激すると、この集団が新し い心筋細胞の供給源として働くようにな ることが実証されたのである。心外膜 に由来すると考えられている幹細胞また は前駆細胞は、小型のアクチン単量体 結合タンパク質であるチモシン β によっ て活性化される。チモシン β は、心臓 損傷を受けた成体の心外膜由来前駆細 胞に対し、血管への分化能を回復させ ることが示されていたペプチドである。 今回、心筋前駆細胞の供給源が心臓で 見つかったことで、この前駆細胞を最適 に活性化したり、破壊された心筋の置 換を促進したりする小型分子や因子類 などの探索が盛んになりそうだ。

#### |||||||||| ネイチャーからのご案内 |||||||||

#### naturevideo

Web: www.youtube.com/NatureVideoChannel モバイル:



携帯電話で Nature Video チャンネルの科学関連動画を見ることができます。(一部の機種を除く)

#### **nature** podcast

Web: www.nature.com/nature/podcast

モバイル:



Nature に掲載された研究成果をポッドキャストでチェックできます。 (英語;iPhone™のみ対応) レーザーポインター、レーザーアート、医療用レーザー、加工用レーザーなど、レーザーは今や身近な光学機器になっています。レーザー光を出す材料(発振材料)はいろいろで、炭酸ガス、ルビー、半導体などの無機物質だけでなく、ローダミン色素などの有機物質もあります。その中に今回、生きた細胞という仲間が加わりました。具体的には、クラゲの蛍光タンパク質を組み込んだ細胞です。実用化にはまだ時間がかかりそうですが、生体内でレーザー発振ができれば、各細胞の健康状態がそのままわかるようになるかもしれませんね。



#### nature news

語数:550 words 分野:光学・生物工学・応用生物学 Published online 12 June 2011 | Nature | doi:10.1038/news.2011.365 http://www.nature.com/news/2011/110612/full/news.2011.365.html

### **Human cell becomes living laser**

Jellyfish protein amplifies light in first biological laser.

#### Zoë Corbyn

- **1.** Scientists have for the first time created laser light using living biological material: a single human cell and some jellyfish protein.
- 2. "Lasers started from physics and are viewed as engineering devices," says Seok-Hyun Yun, an optical physicist at Harvard Medical School and Massachusetts General Hospital in Boston, who created the 'living laser' with his colleague Malte Gather. "This is the first time that we have used biological materials to build a laser and generate light from something that is living." The finding is reported today in *Nature Photonics*<sup>1</sup>.
- 3. Building a laser requires two things: a lasing material that amplifies light from an external source (a 'gain medium') and an arrangement of mirrors (an 'optical cavity'), which concentrates and aligns the light waves into a tight beam. Until now, the gain medium has only been made from non-biological substances such as doped crystals, semiconductors or gases, but in this case the researchers used enhanced green fluorescent protein (GFP) the substance that makes jellyfish bioluminescent, which is used extensively in cell biology to label cells.
- **4.** The team engineered human embryonic kidney cells to produce GFP, then placed a single cell between two mirrors to make an optical cavity just 20 micrometres across. When they fed the cell pulses of blue light, it emitted a directional laser beam visible with the naked eye and the cell wasn't harmed.
- **5.** The width of the laser beam is "tiny" and "fairly weak" in its brightness compared to traditional lasers, says Yun, but "an order of magnitude" brighter than natural jellyfish fluorescence, with a "beautiful green" colour.

#### **Illuminating biology**

**6.** Yun and Gather have some broad and speculative ideas about how the technology might be used.

- 7. They suggest that biologists could turn cells of interest into lasers to study them. The light produced has a unique emission spectrum related to both the structure of the cell and the proteins inside it. "By analysing the pattern you can get some idea of what is happening inside the cell," says Yun.
- **8.** The researchers also suggest possible medical applications. Doctors today shine lasers into the body to gather images or to treat disease by attacking cells. Yun thinks that lasers could instead be generated or amplified inside the body, where they could penetrate the relevant tissues more deeply.
- **9.** But more work is needed first including developing the laser so that it works inside an actual living organism. To achieve this, Yun envisages integrating a nano-scale optical cavity into the laser cell itself. Technologies to make such cavities are emerging, he says, and once they are available they could be used to create a cell that could "self lase" from inside tissue.
- 10. Experts praise the work as interesting and creative. "It is kind of neat," says Michael Berns, a biomedical engineer at the University of California, Irvine. "I have been working on cells and lasers for 40 years, and I don't think I would have thought of this."
- **11.** But he says that the technique might more feasibly be used to study individual cells than for medical applications. He points out that external light is needed to stimulate the laser action, which would be difficult in the body, potentially limiting the technique to thin-tissue systems or cells in culture or suspension.

Reference

Gather, M. C. & Yun, S. H. Nature Photon. doi:10.1038/NPHOTON.2011.99 (2011).

#### **TOPICS**

レーザー (laser)

レーザーは、Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (誘導放出による光の増幅) の頭文字を取った造語で、光 を増幅して発振する装置、または発振された光のことをいう。原子中 の電子は外部からエネルギーを吸収すると励起状態になり、そこか ら元のエネルギー準位の低い基底状態に移るときに、光が放出され る(自然放出光)。一方、アインシュタインは、多数の電子が励起状 態にある媒質中を光が通過すると、その光と全く同じ位相と波長の光 が「誘導放出」されることを明らかにした。つまり、入射光と同じ波 長・位相の光が放出される。その名の通り、レーザーのポイントはこ の誘導放出現象にある。一方、増幅器は、一対の鏡(片方は半透鏡) を向かい合わせて配置すればよい。この光共振器の中に利得媒質(発 振材料)を入れ、フラッシュランプなどでエネルギーを供給する。す ると、媒質に反転分布状態(基底状態より励起状態のほうが多くなっ ている状態)が生まれる。この状態で入射光が入ると、誘導放出が 連鎖的に起こって光がどんどん増えていく(増幅)。さらに、光は両 端の鏡で反射を繰り返し、軸からずれた光は外に逃れてしまい、光 軸方向だけの光が残る。こうして共振器内に定常波が形成され、光 量が増すと、半透鏡のほうから光が漏れ出す。このような発振原理の ため、レーザー光は、単色で、指向性や干渉性に優れている。

# 利得媒質 光により反転分布状態になると、連鎖的な誘導放出と鏡面反射により、垂直軸方向の光がどんどん増幅される。 光が強くなると漏れ出す

#### **SCIENCE KEY WORDS**

リード Jellyfish: クラゲ

2. optical physicist: 光物理学者

光の基本にかかわる物理を研究する学者。光は、光学機器、 分光学、物性物理、天体物理、素粒子、化学触媒、通信、量 子コンピューターなど、幅広く利用されている。

- 3. lasing material: レーザー発振材料
- gain medium (利得媒質) 参照。 **3. gain medium: 利得媒質**
- 光を増幅できる状態を作れる物質。反転分布状態を作り出す。
- 3. optical cavity: 光共振器 光波の振動数に対して共鳴し、大きい振幅を得る装置。
- 3. substance: 物質、材料
- 3. doped crystal: ドープ結晶

物質の結晶中に電荷担体 (キャリア) を生じるような不純物を添加する操作をドーピングと呼ぶ。できた結晶がドープ結晶。

3. semiconductor: 半導体

電気を通しやすい導体と通さない絶縁体の中間的性質を持つ物質。

- 3. green fluorescent protein (GFP): 緑色蛍光タンパク質 オワンクラゲが持つ蛍光タンパク質。分子生物学では、遺伝子の発現マーカーや細胞標識に利用される。発見者下村脩は、2008 年にノーベル賞を受賞。
- 3. bioluminescent: 生物発光

酸化などの化学反応によって生体物質が発光する現象。よく知られているのが、ホタルで見られるルシフェリン(基質)ールシフェラーゼ(酵素)反応である。本文中のGFPは発光物質ではなく、オワンクラゲ内で、発光物質であるイクリオンによって励起されて緑色を発する蛍光物質である。

- 4. human embryonic kidney cell: ヒト胎児腎細胞
- 7. spectrum: スペクトル

電磁波を分光器によって分解して、波長順に分布を示したもの。

11. suspension: 懸濁液

#### **WORDS AND PHRASES**

リード amplify: 「増幅する」

- 2. engineering device:「工学装置」
- 3. align:「そろえる」
- 3. extensively:「広く」、「広範に」
- **4. engineer:「(工学的に) 作製する**」 ここでは、「遺伝子工学的に作製した」ということ。
- **4. feed:**「**投入する**」、「**供給する**」 ここでは、「光を照射する」ということ。
- 4. emit:「放出する」
- 4. naked eye:「肉眼」
- 5. an order of magnitude: 「1 桁」、「約 10 倍」
- 6. speculative:「理論の域を出ない」、「推論に基づく」

7. emission:「放出」

吸収ではなく発光スペクトルのこと。

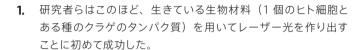
- 7. get some idea of ~: 「~がだいたいわかる」
- 8. application:「応用」
- 8. shine A into B: 「A で B を照らす」、「B に A の光を向ける」
- 8. treat disease: 「病気を治療する」
- 8. penetrate:「浸透させる」、「通り抜ける」
- 8. relevant:「関連性のある」、「妥当な」
- 9. living organism:「生体」、「生物」
- 9. envisage:「構想する」
- 10. neat:「すてき」、「見事」
- 11. feasibly:「うまくいくように」、「都合よく」

#### 参考訳

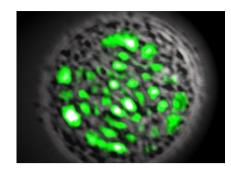
### ヒト細胞から作った 「生きているレーザー」

ヒト細胞に組み込んだクラゲのタンパク質で光を増幅する 初めての生物学的レーザーが開発された。

ゾーイ・コービン



- 2. 「レーザーは物理学から始まったものであり、工学装置だと考えられています」。こう話すのは、ハーバード大学医学系大学院とマサチューセッツ総合病院(いずれも米国マサチューセッツ州ボストン)に所属する光物理学者 Seok-Hyun Yun だ。彼は、同僚の Malte Gather との共同研究で、「生きているレーザー」を生み出した。「生物材料を用いてレーザーを作り、生きているものからレーザー光を放出させたのは、これが初めてです」。この知見を報告する論文が、本日、Nature Photonicsで発表される¹。
- 3. レーザーの構築には、2つの要素が必要だ。第一の要素は、外部の光源からの光を増幅するレーザー発振材料(「利得媒質」)であり、第二の要素は、この光波を集め、そろえて、強く集束した光ビームを作り出すために配置される鏡(「光共振器」)である。これまでの利得媒質は、生物材料以外の物質、例えば、ドープ結晶、半導体、ガスなどからできていたが、今回の研究で Yun らが用いたのは、強化型の緑色蛍光タンパク質 (GFP) だった。GFP はクラゲの生物発光の原因物質であり、細胞生物学の分野では、細胞を標識するために広く利用されている。
- 4. Yun と Gather は、GFP を産生するヒト胎児腎細胞を遺伝子工学的に作製し、1 個の細胞を 2 枚の鏡の間に置いて、長さがわずか 20μm の光共振器を作製した。この細胞に青色光パルスを照射したところ、細胞は指向性のあるレーザービームを放出し、それを肉眼で見ることができた。なお、レーザービームを放出することで、細胞が損傷を受けることはなかった。
- **5.** Yun によれば、このレーザーのビーム径は従来型レーザーに 比べて「非常に小さく」、輝度は「かなり低い」が、それでも 天然のクラゲの蛍光よりも「1 桁」明るく、「美しい緑色」をし ているという。



作動中の「生細胞レーザー」の顕微鏡画像。細胞の 内部構造が不規則なため、レーザースポットのパター ンがランダムに見える。

#### 生物学に光を当てる技術となるか

- **6.** Yun と Gather は、この技術の利用法について、まだ思いつき 程度ではあるが、広範な考えを持っている。
- 7. その1つは、生物学者がある細胞に興味を持ったら、それをレーザーにして調べてみることが考えられる。この細胞が放出する光は、細胞の構造と細胞内のタンパク質に関係した、一意的な発光スペクトルを持っている。「このスペクトルのパターンを解析することで、細胞内で起きていることを、ある程度理解できると思います」と Yun は話す。
- 8. Yun と Gather は、医療への応用の可能性も考えている。今日 の医師は、患者の体にレーザービームを照射することで、画像 を得たり、細胞を攻撃して病気を治療したりしている。 Yun は、体内でレーザービームを発生させたり、増幅させたりすることで、問題の組織により深く浸透させられると考えている。
- 9. とはいえ、まずはさらなる研究が必要だ。実際に生体内で作動するレーザーを開発することは、その1つである。そのためにYunは、「レーザー細胞」にナノスケールの光共振器を組み込むことを構想している。現在、このような光共振器を製作する技術が登場してきている、とYunは言う。そうした技術が手に入るようになれば、これを利用して、生体組織内から「自発的にレーザー発振」できる細胞を作れる可能性がある。
- 10. 専門家は、今回の研究が興味深く、独創的であることを称賛している。カリフォルニア大学アーバイン校(米国)の医用生体工学者 Michael Berns は「ちょっと見事な研究ですね」と話す。「40 年間も細胞とレーザーの研究をしていますが、私には思いつかなかったなあ」。
- 11. けれども Berns は、この技術は、医療に応用するよりも、個々の細胞の研究に用いるほうがうまくいくのではないかと話している。なぜなら、レーザーを動作させるには外部光源が必要だが、それを体内で実現することは難しいと考えられ、したがってこの技術は、厚くない組織系、培養細胞、あるいは懸濁液中の細胞に限定される可能性があると指摘している。

(翻訳:菊川要)

Nature ダイジ: 全国の書店、A





当社サイト、Fujisan なら バックナンバーの購入も可能です。



全国の書店・生協

全国の書店、生協で 扱っています\*。



amazon.co.jp<sup>\*</sup>

最新号の予約。

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

www.naturejpn.com/3mnt



npg nature asia-pacific

#### **BDDDOR'S NODE**

「40万 G でも生息する微生物」の研究成果(6ページ)は、「エイリアンか!?」「微 生物は宇宙起源なのか?」といった観点から、むしろ海外から大きな関心が寄せられ ています。これほど高い重力は、中性子星でもありえません。そんな環境で増殖まで する微生物とは、「果たして神が創り賜うた存在なのか?」というキリスト教的問い かけがあるようです。この仕事は、100年以上続いたパスツール的世界観をひっく り返した、掘越弘毅博士によるアルカリ微生物の発見の延長線上にあります。今や、「酸 性環境にしか微生物は生存しない」と思い込んでいたことなど、はるか記憶の彼方に。 でも、それを忘れないことが科学の進歩にとって大事なのだと思います(YM)。

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



#### nature asia-pacific

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

Fax. 03-3267-8754 www.naturejpn.com

© 2011年 NPG Nature Asia-Pacific 掲載記事の無断転載を禁じます。

#### 広告のお問い合わせ

Tel. 03-3267-8765 (広告部)

Email: advertising@natureasia.com

編集発行人: David Swinbanks

副発行人:中村康一

編集:田中明美、宇津木光代 デザイン/制作:村上武、中村創

広告/マーケティング:米山ケイト、池田恵子

藤原由紀

編集協力:白日社

「Natureダイジェスト」へのご意見やご感想、 ご要望をメールでお寄せください。

宛先: naturedigest@natureasia.com (「Nature ダイジェスト」ご意見係)

掲載内容についてのご意見・ご感想は、 掲載号や記事のタイトルを明記してくださ い。今後の編集に活用させていただきます。 皆様のメールをお待ちしております。





ホテル代をかしこくセーブし、仕事の合間に、充実のひと時。



www.hotels.com

(ホテルズドットコム

検索

13万軒
以上の
海外ホテル情報

ハッピーになれるホテルを探そう。

### 351 10%0FF

割引コード【NPGMM10】入力で当サイト合計室料\*から

割引コードは、他のキャンペーンや単体のホテル予約でも10%OFF。ホームページで予約の際、上記割引コードを入力してください。割引コードは電話予約でも割引が適用されます。一部割引対象外のホテルがあります。コードの利用期限2011年6月25日~2011年9月30日まで(宿泊期限は2011年6月25日~2011年10月31日まで)\*税金とサービスを除く料金。

ご予約24時間受付中!通話無料/携帯可

(年中 無休) 0120-998-705 電話予約の手数料は必要ありません。 他のホテル予約サイトとの差額を返金!\*\*

価格保証プログラム

お得な情報をタイムリーに GET! **とwitter** Hotels.com 公式アカウント「@Hotels\_com\_jp 」 facebook でスペシャル情報を GET! Hotels.com Japan ページで "いいね!" をクリック

※元のリクエストと同じホテル、同じ日程、宿泊日数、部屋の種類である必要があります。※特別価格でで提供しているホテルについては対象外とさせていただきます。※ホテル予約は、予約時に金額が支払われている必要があります。※お客様が見つけられた、より安い料金は、日本での消費者向けの他社ウェブサイトを通じて利用可能である必要があります。※元のご予約の際にクーポンや割引券を使用された場合は、お客様が支払った割引後の合計金額を使い、見つけられた、より安い料金との差額を返金額として計算します。※詳細は、ウェブサイト(www.hotels.com)をご覧ください。●ホテルの価格・キャンペーン情報についての詳細はホームページをご覧ください。サービス提供:米国法人 Hotels.com,L.P. マーケティング・企画:エクスペディアホールディングス株式会社 〒106-0032 東京都港区六本木1-9-9 六本木ファーストビル 登録番号: 東京都知事登録旅行業務 第3種5818号加入旅行業会:(社)日本旅行業協会協力会員

雑誌 07271-08