

日本語で読む世界の最新科学ニュース

宇宙とほぼ同年齢の星

nature ダイジェスト

国際リニアコライダーは日本で

深海の太古の泥層からカビ

「トポロジカル絶縁体」の発見

03
2013

コンピューターの冷却法

真の原始星をついに発見

次世代の有機EL素子の
発光材料

絶対零度より低温の
量子気体

脱アセチル化による細胞死

都市の生態学

FROM 日経サイエンス

宇宙飛行士に安眠を!

過去をのぞくワームホール

定価 680円

nature podcast

science... wherever you are.

いつでも聴ける 科学オーディオ番組

Natureは、毎週、掲載記事に関連したコメントやインタビューを盛り込んだpodcast(英語)を提供しています。サイエンスイングリッシュの学習などにお役立てください。





ISTOCKPHOTO

コンピューターの高性能化は熱との戦い 20

表紙画像: DAN SAEILINGER/CORBIS/AMANA IMAGES

コンピューターの発熱の問題は、最初の ENIAC マシンから始まっており、今なお高性能化をはばむ最大の未解決問題だ。

NATURE NEWS

- 02 1 個の細胞から、ゲノム塩基配列を読み取る
- 03 宇宙とほぼ同年齢の星を発見
- 04 絶対零度より低温の量子気体
- 05 質量だけが決める原子時計の時間!?
- 07 大富豪がスイスの製薬施設を買収して、大学に寄付
- 08 サハラ砂漠での再生可能エネルギー発電事業に暗雲
- 10 大手バイオテック企業が、ジェネティクス企業を買収
- 11 SEVEN DAYS | 夜の地球は「黒い大理石」
- 16 深海の太古の泥層から、カビが発見された
- 29 ナノ粒子の爆発をカメラが捕らえた!

NEWS SCAN

- 06 宇宙飛行士に安眠を!
- 06 過去をのぞくワームホール

NEWS & VIEWS

- 25 脱アセチル化による細胞死

JAPANESE AUTHOR

- 18 少数分子の反応が生物を支配する!?
— 永井 健治

EDITORIAL

- 30 科学予算の支出は、スピードより安定性
- 31 国際リニアコライダー ILC は、日本で

HIGHLIGHTS

- 32 2013年1/3 ~ 1/31号

都合により、「英語で Nature」は休載致します。

©2013 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved.

24 熱アシストによる 高変換効率の有機発光材料

蛍光性有機分子の設計によって、高効率発光ダイオードの作製が可能になった。これは従来品のライバルとなりうるものだ。



C. ADACHI

27 恒星進化における 「真の原始星」を発見

真の原始星がついに発見され、巨大分子雲の重力収縮から恒星誕生までの過程について、多くの謎が明らかにされていくはずだ。



CAMBRIDGE ASTRON. SURV. UNIT/J. EMERSON/VISTA/ESO

15 「トポロジカル絶縁体」 の発見

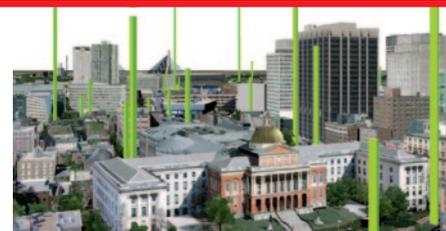
SmB₆ という化合物は、バルク材料としてのトポロジカル絶縁体（表面のみ電流を流す絶縁体）の最有力候補だ。



JOHNPIERRE PAGLIONE

12 コンクリート・ ジャングルの生態学

人々、建物、野生生物、環境汚染が、都市においていかに作用し合っているかを探る「都市生態学」が注目されている。



SOURCES: REF. 5, GOOGLE, TERRAMETRICS, USGS, SIO, NOAA, US NAVY, NGA, GEBCO

1 個の細胞から、 ゲノム塩基配列を読み取る

Method offers DNA blueprint of a single human cell

MONYA BAKER 2012年12月20日 オンライン掲載 (doi:10.1038/nature.2012.12088)

新しい DNA 塩基配列読み取り法が登場した。
個々の細胞どうしの DNA 比較が簡単にできるようになれば、
がんやそのほかの生物過程に関する手がかりが得られるはずだ。

ヒトやイチゴ、ミツバチ、ニワトリ、ラットなど多くの生物でゲノムの DNA 塩基配列が解読されている。しかし、1つの生物種のゲノム塩基配列を読み取るとは、今もって容易ではない。したがって、細胞1個の DNA 塩基配列の読み取りとなればなおさらのことだ。

塩基配列を読み取るには十分な量の DNA が必要であり、普通、数千個から数百万個もの細胞を用意する。そのため、どの変異がどの細胞に由来するかを特定するのはほとんど不可能だし、がん化初期の細胞など、わずか2、3個の細胞にしか存在しない変異を探そうとしても、全体に隠されてしまって全く検出できない。

しかし、最近の *Science* に報告された DNA コピー法¹ を使うと、細胞1個のゲノム塩基配列の90%以上まで読み取ることができるといふ。したがって、1個の細胞にある小規模な DNA 配列の変動も従来より簡単に検出でき、個々の細胞を比較して遺伝的な違いを見つけることも可能になるだろう。こうした細胞ごとの違いは、がんの悪性化や生殖細胞の発生などのメカニズムの解明に役立つはずだ。

細胞1個の塩基配列を読み取るには、まず、PCR法などを使ってDNAのコピーを多数作る必要がある。しかし、こうした手法の問題は、ゲノム全体を均一に増幅できないことだ。つまり、一部の配列が、何倍も多くコピーされてしまうのだ。この問題は「増幅バイアス」と呼

ばれている。その結果、コピー量の非常に少ないゲノム領域は、コピー量の多い領域にかき消されて検出不能になる。実際、単一細胞からの全ゲノム解析を試みた研究例を調べてみると、最大でも約70%しかカバーできておらず、普通は40%程度でしかないのだ。

しかし今回、ハーバード大学(米国マサチューセッツ州ケンブリッジ)の化学生物学者 Sunney Xie のチームが、1個のヒト細胞のゲノムのうち93%を読み取ることのできる手法を開発した。これは MALBAC 法 (multiple annealing and looping-based amplification cycle: 多重アニリングおよびループ化による増幅サイクル法) と命名された。この手法でも、まずは1個の細胞からDNAを単離する。次に、プライマーと呼ばれる短鎖DNA分子を加える。プライマーはゲノムDNAの任意部分と結合できる相補配列を持っており、DNA鎖に結合してDNA複製起点として働く。

MALBAC法のプライマー分子は、2つの部分からできている。1つが今述べた結合部分で、8個の塩基からなる。この結合相補配列はさまざまなものが用意され、ゲノムDNAと幅広く細かく結合するようになっている。もう1つは、すべてのプライマーに共通な27塩基からなる部分である。この共通配列のおかげで、コピー過程でDNAがループ状に形を変えてしまい、その結果、何度もコ

ピーされずにすむ訳だ。こうして増幅バイアスが格段に小さくなる。

お手軽なレシピ

「MALBAC法は重要な多くの疑問を解明するのに役立つくれるでしょう」と、カリフォルニア大学サンディエゴ校(米国)で遺伝子調節を研究している Bing Ren は話す。例えば、変異がどのくらいのスピードで蓄積するかを調べたり、1つの細胞集団全体で遺伝子コピー数の変動や染色体異常を見つけ出すために使えるだろう。さらに、この方法はゲノム塩基配列を広くカバーできるので、変異自体を探索して見つけ出すのにも有効であろう。

「この技術はすぐに使われるようになると思います」と、ペンシルベニア大学ペレルマン医学大学院(米国フィラデルフィア)で単一細胞遺伝学を研究している James Eberwine は言う。ただし、プライマーとゲノムDNAの比率など、実験条件をより適したものにするための微調整は必要かもしれない、と言い添えた。

ところで、MALBAC法はゲノムのカバー率は大きいですが、だからといって完璧という訳ではない。この方法でも多分、一塩基変異のうちの3分の1がまだ見落とされていると思われる。しかも、DNAをコピーするための酵素が間違いを起こしやすいため、コピーする過程で新たな変異が導入されてしまう可能性もある。

今回の研究では、Xieは誤検出をすべて排除できたとしている。具体的には、ごく近縁な3個の細胞それぞれのゲノム配列を解読して、それらを比較することで、誤検出を取り除いたのである。しかし、このやり方だとコストが膨れ上がり、一部の組織試料では実行不可能になるかもしれない、とMDアンダーソンがんセンター(米国テキサス州ヒューストン)の Nicholas Navin は指摘する。彼もまた独自の単一細胞配列解読法を開発しているのだ。

(翻訳: 船田晶子、要約: 編集部)

1. Zong, C., Lu, S., Chapman, A. R. & Xie, X. S. *Science* **338**, 1622-1626 (2012).

宇宙とほぼ同年齢の星を発見

Nearby star is almost as old as the Universe

RON COWEN 2013年1月10日 オンライン掲載 (doi:10.1038/nature.2013.12196)

太陽系に近いある星が、これまでに判明した中で最古の星であることがわかった。

この星はビッグバンからまもなくの132億年前に誕生したが、
第一世代の星ではなく、後の世代の星と考えられる。

太陽系の近くにある星が、きわめて古い星であることが明らかになった。この星が生まれたのは少なくとも132億年前、すなわちビッグバンからまもなくのことだ。この発見は、米国のペンシルベニア州立大学（ユニバーシティパーク）の天文学者Howard Bondらが2013年1月10日、カリフォルニア州ロングビーチで開かれた米国天文学会で発表した¹。Bondは「この星は、正確に年齢がわかった星の中で、最も古い星だと私たちは考えています」と話す。

今回の星はHD 140283という名前が付いており、太陽系から190光年と比較的近い所であって、すでに1世紀以上にわたって研究されてきた。この星がほぼ完全に水素とヘリウムからできていることも、昔からわかっていた。これは、後の世代の星がもっと重い元素を作る前、宇宙の歴史の早い段階で誕生したことを示している。しかし、その正確な年齢まではわかっていなかった。

最古の星

年齢の決定にはいくつかの手順が必要だった。ハッブル宇宙望遠鏡のファイン・ガイダンス・センサー（FGS）は、基準星をもとに標的の星の位置を測定する装置である。Bondらの研究チームはまず、ファイン・ガイダンス・センサーを使って2003年から2011年にかけて記録された11組の観測結果から、HD 140283と太陽系との距離を、新たにより正確に決定した。さらに、この星の見かけの明るさを測定し、固有の光度を算出した。

HD 140283は、星の一生のうちで中心核の水素を使い果たしつつある段階にある。そこで次に、研究チームはこの事実を利用した。「この段階の星では、光度は徐々に減少します。つまり、光度は星の年齢を精度よく示す指標になるのです」とBondは説明する。こうして研究チームは、HD 140283の年齢を139億±7億歳と算出した。誤差を考慮すれば、宇宙の推定年齢である137.7億年と矛盾しない。

この星の年齢は最低でも132億歳になるが、実は、すでにもう1つ、132億歳と見積もられている非常に古い星が見つまっている²。ただ、今回のほうが古い星かもしれない。「HD 140283の年齢は、もう1つの132億歳とされている星の年齢よりも、かなり確度が高いのです」とBondは話す。

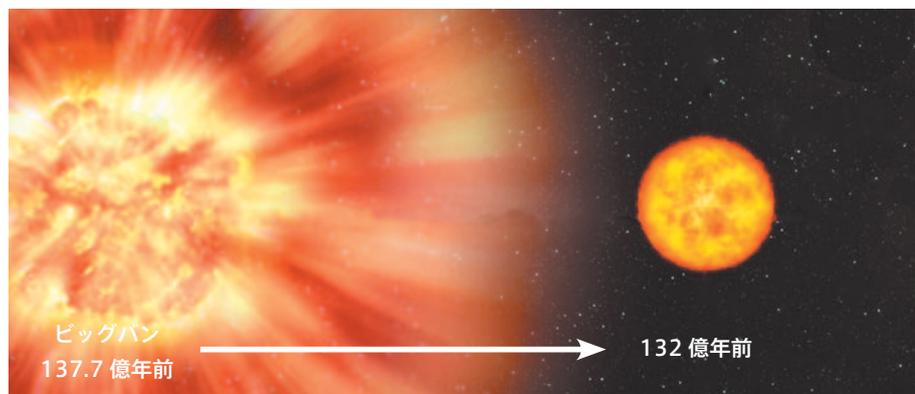
第二世代の星は早く生まれた？

「今回の発見は、宇宙が誕生してからまもない時期の星の形成について、これまでわかっていなかった詳細を教えてください」と、テキサス大学オースチン校（米国）の天文学者Volker Brommは言う。「第一世代の星は、原始ガスから生まれました。原始ガスには、ヘリウムより重い元素は、検出可能なほど含まれてはいません」。ところがHD 140283の場合、非常に古い星であるにもかかわらず、その化学組成に、ごくわずかながらも重い元素が含まれている。つまりこれは、HD 140283が第一世代ではなく、後の世代の星であることを示している。

「したがって、第二世代の星ができる条件は、とても早い時期に整っていたに違いありません。宇宙で最初に星が生まれたのは、一般的にはビッグバンの数億年後だと考えられています」とBrommは話す。しかし、第一世代の星は巨大かつ短寿命で、わずか数百万年で超新星爆発を起こして死滅し、その爆発で周囲のガスを加熱して、より重い元素をまき散らした。

しかし、ガスが冷えないと、第二世代の星は形成されない。「第二世代の星であるHD 140283が非常に古いということは、第一世代の星が爆発してから第二世代の星が形成されるようになるまでの冷却期間は、実は極端に短く、わずか数千万年だったかもしれないことを示しています」とBrommは語っている。 ■

（翻訳：新庄直樹）



最も古い星の1つの想像図。これらの星が生まれたのは132億年以上前だ。

1. Bond, H. E., Nelan, E., VandenBerg, D. A., Schaefer, G. H. & Harmer, D. Abstr. 443.08 221st meeting of the American Astronomical Society, Long Beach, California (2013).
2. Frebel, A. et al. *Astrophys. J.* **660**, L117 (2008).

絶対零度より低温の量子気体

Quantum gas goes below absolute zero

ZEEYA MERALI 2013年1月3日 オンライン掲載 (doi:10.1038/nature.2013.12146)

超低温原子が、絶対零度より低温の材料への道を開く。



風変わりな量子物理学のおかげで、気体の温度を絶対零度より低くすることができる。

既成の物理概念からは理解しにくいですが、このほど初めて、絶対零度より低い温度の原子気体が作られたことになる¹。この手法は、絶対零度より低温の材料の作製や新たな量子デバイスの開発への道を開くだけでなく、宇宙論の謎の解明にも役立つ可能性がある。

絶対温度の目盛りは、「何物も絶対零度より低温にはなり得ない」という形で、19世紀中頃にケルビン卿によって定義された。後世の物理学者たちは、気体の絶対温度が、気体を構成する粒子の平均運動エネルギーに関連していることに気付いた。彼らは、絶対零度は粒子が全くエネルギーを持たない理論的状态に当たり、それより高い温度は、粒子の平均エネルギーがより高くなった状態に相当すると理解した。

しかし、物理学者はエキゾチックな系を研究するようになり、1950年代までに、絶対温度に関するこの理解が常に正しいとは限らないことに気が始めた。技術的には、系の温度は、系を構成する粒子が特定のエネルギーを持つ確率をプロットしたグラフから読み取ることができる。普通は、系を構成する粒子の大半が平均付近のエネルギーを持っていて、少数の粒子だけが、より高いエネルギーで飛び回っている。しかし、ルードヴィッヒ・マクシミリアン大学ミュンヘン（ドイツ）の物理学者Ulrich Schneiderによれば、理論的には、この状況を反転させて、より高いエネルギーを持つ粒子のほうが多くなるようにすると、グラフのプロットがひっくり返って、絶対温度の符号がプラスからマイナスに変わることになるという。

Schneiderらが絶対零度より低い温度に到達するために用いたのは、カリウム原子からなる超低温量子気体である。彼らはまず、レーザーと磁場を使って、個々の原子を格子状に整列させた。プラスの温度では、原子は互いに反発して、配置を安定させている。研究チームは次に、急速に磁場を調節して、反発し合っていた原子が互いに引き合うようにした。「最も安定でエネルギーが低い状態にあった原子が、あつという間に、最も高いエネルギー状態にされてしまうのです」とSchneiderは言う。「溪谷を歩いていた人が、突然、山のとつぺんに連れて行かれたようなものです」。

プラスの温度では、そのような反転は不安定で、原子の配置は内側に向かって崩れてしまう。けれども研究チームは、気体をトラップするレーザー場も調節して、原子が元の位置にとどまるのに適したエネルギー状態を作った。この実験の結果は*Science* 2013年1月4日号に掲載され¹、絶対零度よりわずかに高い温度だった気体が、絶対零度より10億分の数度だけ低い温度になったと報告された。

以前、磁気系において絶対零度より低い温度を実証²したマサチューセッツ工科大学（米国ケンブリッジ）の物理学者でノーベル賞受賞者であるWolfgang Ketterleは、Schneiderらの今回の実験を「離れ業」と評する。今回の手法は、エキゾチックな状態を詳細に研究することを可能にする。「この手法を用いれば、実験室で新しい形の物質を作製できるかもしれません」とKetterleは言う。

今回Schneiderらが用いた手法を提案したケルン大学（ドイツ）の理論物理学者Achim Roschは、もしもそんな系ができれば、奇妙な振る舞いが見られるだろうという³。例えば、Roschらの計算によると、原子の雲は普通は重力によって下向きに引かれるが、雲の一部が絶対零度より低温になると、いくつかの原子が重力に逆らうように上向きに移動するという⁴。

絶対零度より下の気体のもう1つの特性は、「ダークエネルギー」を模倣することである。ダークエネルギーとは、宇宙を外向きに押し、どんどん速く膨張させている不可思議な斥力のことだ。Schneiderによると、彼らのチームが作り出した気体中の原子も、互いに引き合っただけで元の位置から内側に崩れようとしたが、絶対零度より低い温度になることで安定化したため、崩れなかったと指摘する。「この奇妙な特徴が、宇宙でも実験室の中でも顔を出すのは興味深いことです。宇宙論研究者は、この現象をよく検討するべきかもしれません」。

（翻訳：三枝小夜子）

1. Braun, S. et al. *Science* **339**, 52-55 (2013).
2. Medley, P., Weld, D. M., Miyake, H., Pritchard, D. E. & Ketterle, W. *Phys. Rev. Lett.* **106**, 195301 (2011).
3. Rapp, A., Mandt, S. & Rosch, A. *Phys. Rev. Lett.* **105**, 220405 (2010).
4. Mandt, S., Rapp, A. & Rosch, A. *Phys. Rev. Lett.* **106**, 250602 (2011).

質量だけが決める原子時計の時間!?

The time? About a quarter past a kilogram

ROLAND PEASE 2013年1月11日 オンライン掲載 (doi:10.1038/nature.2013.12191)

原子の質量に基づいて時間を計る原子時計が製作された。

時間と質量が根源的に結びついた原子時計が製作された。製作したカリフォルニア大学バークレー校(米国)の物理学者らによると、時計のパルスは、その心臓部であるセシウム原子の質量のみによって決定されているという。

彼らの主張には異論があるものの、この原子時計が「キログラム」の再定義に役立つ可能性があるとの指摘もある。質量単位であるキログラムは、基礎的な物理現象と結びつけられていない唯一の基本単位なのだ。ノーベル物理学賞受賞者で、この研究チームリーダーの指導教官だった米国エネルギー省長官Steven Chuは、「この実験は、主流派の思い込みを揺さぶる重大な研究」だと断言する。

現在の原子時計は、原子中の電子が1つのエネルギー準位から別のエネルギー準位に移る際に放出するマイクロ波信号に基づいている。製作された原子時計の最高精度は $1/10^{17}$ 以上で、31億年に1秒程度の誤差で時間を計ることができる。ビッグバンの瞬間からこの時計が動き出したとしても、まだ数秒の遅れか進みしかない計算だ。

しかし、原子振動は、原子を構成する電子と原子核の相互作用だけでなく、そのほかの量子効果、例えばスピンなどによって決まっている。この振動はよく定義されているものの、一部の科学者が期待するほど根本的なものではない。

物理学者Holger Müllerが率いる研究チームは、2013年1月10日に*Science* オンライン版に掲載された論文で、今回の成果について報告した¹。彼らの研究は量子力学の2つの基本に立ち返るもの

だという。その1つは、1923年にアーサー・コンプトンが発見した現象で、X線光子が電子に衝突するときに検出可能な運動量を与えるというものであり、もう1つは、その後のルイ・ドブロイによる洞察で、運動する電子(や原子)は波動のように振る舞うとするものだ。

しかしその量自体は、ほとんど想像を超えている。これらの物質波を記述する「コンプトン周波数」はなんと、電子で約 10^{20} ヘルツ(Hz)、セシウム原子で約 3×10^{25} Hzというのだ。それでもMüllerのチームは、原子干渉法と超精密レーザー技術を組み合わせ、これらの周期を数える方法を見いだした。

ただし、コンプトン周波数を直接測定する方法はない。そこで原子干渉法の出番になる。研究者らは、約100万個のセシウム原子からなる「雲」を2つに分け、そのうちの1つに対して微小なレーザー光子を連続的に衝突させて10回の「キック」を与えた。これによりコンプトン周期がどれだけ遅くなるかは厳密にわかっている。

レーザー光子を衝突させた原子の雲を、残りの半分の雲と再び一緒にすると、量子干渉が起こる。2つの集団のコンプトン周期が整数周期だけずれているとき、干渉計の出力シグナルは最大となる。研究者らは、入力「キック」周波数を非常に高い精度でロックすることにより、最大の原子出力を維持することができた。このロックされた周波数が、新しい原子時計のパルスとなる。

ただし、測定の精度は10億分の4で、「50年前に最初に製作された原子時計と



量子力学的には、質量は時間の測定に利用することができ、時間は質量の測定に利用することができる。

同じ程度」にすぎない。それより大事なのは、この時計の周波数を表す式に出てくる唯一の物理変数が、セシウム原子の質量だという点だ。「これ以外のすべての時計は、少なくとも2つの粒子が相互作用する基準を必要とします。このコンプトン時計は、単一粒子の質量に完全に依拠する最初の時計なのです」とMüllerは言う。

つまり、この原子時計は原理的にはたった1個の原子があれば製作できることになり、正確なレーザー周波数と結びついたキログラムの新しい定義の基礎になる、とMüllerは主張する。Chuは、「質量の基準を、原子の量によって再定義する道を開くものです」と言っている。

一方、Müllerらの研究には批判もある。例えば、1997年にChuとともにノーベル賞を受賞したClaude Cohen-Tannoudjiは、今回の研究を評価しない。彼は*Nature*への電子メールで、この論文は「反跳周波数の測定を報告するものですが、反跳効果は何十年も前から知られています」と指摘し、「質量は、あらゆる原子時計にかかわっています。けれども、彼らの実験のどこを見ても、 10^{25} Hzの本物のコンプトン振動子が登場してこないのです!」と批判している。

(翻訳:三枝小夜子、要約:編集部)

1. Lan, S.-Y. et al. *Science* **339**, 554-557 (2013).

宇宙飛行士に安眠を！

新しいLED照明が人間を眠りやすくする

電球1個の交換に何人の技術者が必要になるのだろうか？ NASA（米国航空宇宙局）にとって、それは冗談話ではなかった。国際宇宙ステーションの米国セグメントで、古くなった蛍光灯の交換が必要になったからだ。今、それを実行するのに1140万ドル（約9.7億円）を投じつつある。

実は、NASAがこの交換を考え始めたとき、医師たちはある全く別の問題に取り組むチャンスであることに気付いた。それが宇宙飛行士の不眠症だ。

睡眠不足でぼんやりするのは、地球上ではただ不快なだけだが、宇宙では危険だ。宇宙飛行士は1日に8.5時間の休眠時間が確保されているが、実際に眠っているのは平均6時間ほどだとNASAの医務官で航空医官でもあるSmith Johnstonは言う。浮遊感と騒音、変化しやすい室温、換気不足、腰痛や頭痛、そして90分ごとにやってくる夜明けが合わさって、24時間周期の概日リズムが崩れる。NASAは新しい照明によって、この問題を少なくとも部分的に解決したいと考えている。

睡眠の研究で、人間の目にある特定の光受容器が特定の波長の青色光にさらされると、意識がはっきりすることが明らかになっている。脳が、睡眠を調節している主要ホルモンのメラトニンを抑制するためだ。反対に、赤色光はメラトニンの分泌を増やす。

新しくボーイングが開発した照明は、さまざまな色のLED電球を100個以上まとめて配列してある。光拡散カバーで覆ってあるため、外観は白色光パネルに見える。しかし、同社のシニアマネージャーであるDebbie Sharpによると、この光パネルは3種類のモードを備えており、それぞれ微妙に異なる色になるという。白色光は普通に見るときのために、また、冷たく青みがかった光は意識をはっきりさせるために、そして、温かな赤みを帯びた光は眠気を誘発するために使うのだ。ボーイングとその下請け企業は、2015年にこの照明を20個納品する計画だ。

一方で、ハーバード大学医学部やトーマス・ジェファソン大学などの科学者が、この照明の有効性について試験している。この技術は将来、宇宙だけでなく地球上でも広く普及する可能性がある。病室や原子力潜水艦、工場、教室などの照明用としてだ。「世界中で長年使われてきたからといって、蛍光灯が最良の照明だとは限りません」とハーバード大学の共同研究者Elizabeth Klermanは言っている。 ■

（翻訳協力：栗木瑞穂）

過去をのぞくワームホール

木版画に残された木食い虫の穴が教えてくれること

ワームホールと聞くと、SFのタイムトラベルや瞬間移動を想像してしまうかもしれないが、もともとの意味は「虫食い穴」である。実は、この由緒正しいほうのワームホールが、古代の昆虫や芸術作品に関する謎の解明に一役買っている。

ある生物学者が、数百年前の欧州の木版画に見られる意外な世界に興味を持った。木版画に小さな点状の色抜けがたくさん見られたので、その元をたどっていくと、版画が刷られる前の版木の表面に、ある種の虫が掘った穴であることがわかった。

その生物学者、ペンシルベニア州立大学教授のBlair Hedgesは、穴の大きさと版画が制作された時代や場所を突き合わせ、欧州全域における木食い虫の過去の分布を初めて描き出した（2013年2月の*Biology Letters*誌に報告）。

Hedgesは、この決定的な痕跡をワームホール・レコード（虫食い記録）と名付けた。なかなか洗練された語呂合わせだが、それはともかく、まず成体の甲虫が木片の割れ目に卵を産む。幼虫が生まれると、ゆっくりと木の中に潜り込み、3～4年ほど木のセルロースを食べながらそこで生活する。そして、イモムシのような幼虫が成体に変態して木から出てくるときに穴ができ、木版画にたくさんの色抜けとして現れるのだ。

穴のサイズで甲虫の種を推定

Hedgesは、1462年から1899年の間に作られた473点の木版画作品に見られた3263個の虫食い穴を調べ、穴の直径に約2.3mmと1.4mmの2種類があることに気が付いた。さらに、作品が作られた地域を考慮すると、穴の大きさに明らかパターンが見られた。小さいほうの穴はすべて欧州北東部で作られた版画にあり、大きいほうは南西部の版画に認められたのだ。

ここからHedgesは、それぞれの甲虫の種を推定することができた。北東部の虫はコモンファーニチャービートル（*Anobium punctatum*）であり、南西部の虫は地中海ファーニチャービートル（*Oligomerus ptilinoides*）だった。

木版画を使うHedgesの方法によって、木食い虫の世界的な分布と歴史的範囲を調べていけば、各地での個体数の変化や侵略種が入ってきた時代を推測することにもつながるだろう。それだけでなく、古い本や印刷物の制作場所など、美術界の謎を解明するために使えるかもしれない。 ■

（翻訳協力：栗木瑞穂）

大富豪がスイスの製薬施設を買収して、 大学に寄付

Cash injection set to revive Swiss drug site

DANIEL CRESSEY 2012年12月13日号 Vol. 492 (168)

閉鎖されたメルクセローノ社の施設が、
バイオ技術研究の産学連携拠点として生まれ変わる。

欧州の研究史上最大級の慈善寄付によって、製薬会社の実験室だった施設がバイオエンジニアリング拠点として再生するかもしれない。

2012年4月、製薬大手のメルク社（ドイツ・ダルムシュタット）は、約500人の雇用を削減するリストラ策の一環として、同社の医薬品開発部門であるメルクセローノ社（スイス・ジュネーブ）の本部を閉鎖すると発表した。

しかしその年末、スイスの2人の大富豪が、ジュネーブ湖畔にある4万5000m²の施設を救うべく、買い入れ提案を同社に対して非公開で行った。Hansjörg WyssとErnesto Bertarelliというこの2人の実業家は、この実験施設を新しい「ヴィース（Wyss）研究所」という組織に組み込んだうえで、ジュネーブ大学とローザンヌ工科大学（EPFL）に無償譲渡する。また、その施設での研究には、今後6年間で総額1億2500万スイスフラン（約113億円）の寄付を行うという。

EPFL学長のPatrick Aebischerは、「これまで、そうした寄付の多くは米国に向かっていました」と話すが、これだけの規模の寄付が欧州で行われた例はほとんどない。このことは、例えば、2011年の欧州委員会の報告書で「欧州の大学では、全体として慈善活動による募金が重視されていない」と指摘されていることにも表れている（B. Breeze *et al.* *Giving In Evidence* European Commission; 2011）。

もし実現すれば、このヴィース研究所には、大学と連携した生命科学系の研究室が新規に10ほど作られ、150人に上る雇用を創出できると考えられている。ジュネーブ大学学長のJean-Dominique Vassalliは、メルクセローノ社の実験室は最新式なので手を加えなくても使用できると話し、「半年から1年あれば人が集まって活動が開始できると思います。これはまたとない機会です」と期待を寄せる。また、施設では、組織の再生や埋め込み、移植など、医学研究と工学とが重なった再生医療に焦点を当てた研究が行われる予定だ。

施設にはさらに、新興企業を含むバイオ技術企業も入る予定だ。WyssとBertarelliの話を直接聞くことはできなかったが、広報担当者によれば、施設の残りの部分に関しては、計画はまだ固まっていないという。現在、メルク社から委託された資産コンサルタントが、提案を精査している。

製薬企業が手放す施設を産学研究の拠点に作り変える試みは、これまでもいくつか実施されており、今回の例はその最新版と言える。2007年、バイエル社が撤退したコネティカット州の施設に、エール大学（米国コネティカット州ニューヘイブン）が1億900万ドル（約93億円）を投じた。2009年には、28棟が立ち並ぶかつてのファイザー社の施設に、ミシガン大学（米国アナーバー）が1億800万ドル（約92億円）以上を抛出



ロイター/アフロ

し、そこをノースキャンパス複合研究施設とした。また2011年には、ファイザー社が英国サンドウィッチの大規模施設からの撤退を発表すると、英国政府はそこにサイエンスパークを作り上げる提案を発表した（*Nature* 2011年2月10日号154ページ参照）。

WyssとBertarelliは、計画を実行するのに必要な経験と資金と資源を間違いなく所有している。そもそもBertarelliの祖父はセローノ社の創業者であり、彼自身も、同社がメルク社に売却される2007年まで、その最高経営責任者を務めていた。一方のWyssは、同様の寄付を2009年にも行っており、ハーバード大学（米国マサチューセッツ州ボストン）にヴィース研究所（Wyss Institute for Biologically Inspired Engineering）を設立している。

ヴィース研究所のDonald Ingber所長によれば、この研究所には、商品開発の経験のある企業出身の研究者と、基礎生物学の研究者を集めたという。その結果、「学術的な環境の中に、全く新しい文化ができあがったのです」とIngberは胸を張る。スイスのヴィース研究所が同じようなものになるかどうかはまだわからないが、「すばらしいものが生み出されるようすが目に浮かびます」とIngberは話している。

（翻訳：小林盛方）

サハラ砂漠での 再生可能エネルギー発電事業に暗雲

Sahara solar plan loses its shine

DEVIN POWELL 2012年11月1日号 Vol. 491 (16-17)

サハラ砂漠で計画中の巨大な再生可能エネルギー開発プロジェクト DESERTEC から、シーメンス社が撤退する。

太陽エネルギーの先行きに関する見通しの暗さが、サハラ砂漠で計画されている巨大な再生可能エネルギーのプロジェクト (DESERTEC) にも現れてきた。DESERTECは、北アフリカと中東に分散設置される太陽発電プラントやその他の再生可能エネルギー源のネットワークだ。このプロジェクトの支援者によれば、2050年までに発電量が125ギガワットを超え、発電した電力は地元で消費され、あるいは、地中海の海底に敷設される高圧直流ケーブルでヨーロッパ

へ供給される。ところが、主要な協力会社の1つであるシーメンス社 (ドイツ・ミュンヘン) が、2012年末までに、ミュンヘンに本拠を置く Dii (DESERTECの前進のために注力するコンソーシアム) を離脱する方針を決定したのだ。

「我が社は、Diiでもう十分に役割を果たしました」と語るのは、シーメンス社のスポークスマン Torsten Wolf だ。シーメンス社は、Diiを共同設立した13の企業と団体の1つである。また、シーメンス社は、太陽エネルギー事業自体からも

撤退すると発表した。この決定は、太陽エネルギーに対する政府補助金の減額とソーラー機器の価格破壊に対応したものだ。

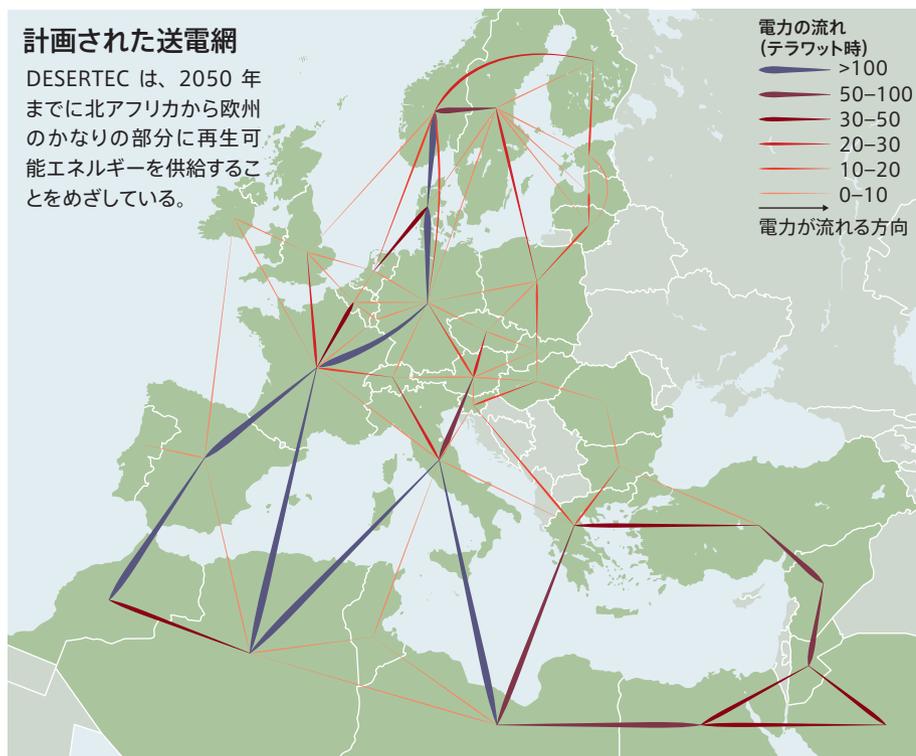
DESERTECに批判的な人々は、シーメンス社の撤退で、この数千億ドルの費用が予想されるプロジェクトに対して、ますます疑問を強めている。ブルームバーグ・ニュー・エナジー・ファイナンス社 (スイス・チューリッヒ) のアナリスト Jenny Chase は、こう話す。「DESERTECは、すべてのことを一度にやっってしまうという野心的な計画です。しかし、こうしたことは組織的にひとつひとつ解決していく話であり、そのほうがおそらく低コストで、容易に進めることができ、同じ結果が達成できると私は思っています」。

DESERTECは、引退した素粒子物理学者ゲアハルト・クニースの構想によるもので、1986年のチェルノブイリ原発事故の後、サハラ砂漠の豊かな日射量を利用してエネルギーを生産しようというアイデアが表面化した。そして、ヨルダンのエル・ハッサン・ビン・タラール皇太子の助力を受けて、ドイツと北アフリカ (モロッコ、アルジェリア、エジプト) の研究機関による共同研究として、構想の検討に入った。

「炭素を含まない再生可能エネルギー源からの発電を考える場合、中東や北アフリカに立地することが、採算性の点で有利です」。Diiにおけるミュンヘン再保険会社の代表者である Ernst Rauch は、こう話す。同社も Dii へ出資している。

シーメンス社は、予備調査のために資金と技術的専門知識を提供し、Diiは、予備調査の結果を2012年6月に公表した。この報告書では、フラウンホーファー協会システム・イノベーション研究所 (ドイツ・カルルスルーエ) が実施したシミュレーションに基づいて、2050年の時点で費用対効果の最も高い再生可能エネルギー源の分布を地図に示した (「計画された送電網」参照)。

個々のプロジェクトの詳細な検討が、DESERTECプロジェクトの次の段階だ





DESERTEC/BRIGHTSOURCE

DESERTEC プロジェクトでは、太陽熱発電プラントをはじめとする再生可能エネルギーによる電力を、ヨーロッパに供給しようとしている。(アーティストによる想像図)

が、Diiの最高経営責任者である Paul van Son は、この次の段階からシーメンス社が撤退することについて、何も心配することはないと話す。van Son は、「さほどの影響はありません」と言い、シーメンス社が多数の株主やパートナーの1つに過ぎない点を指摘する。

シーメンス社の太陽エネルギー事業からの撤退は、同社にとって180度の転換だ。同社は、2009年にバイト・シエメッシュ（イスラエル）に本社のある太陽熱機器の設計会社 Solel を買収した後、長い間、DESERTECの重要な特徴と考えられてきた太陽熱エネルギーに対する投資を続けてきた。この技術を用いて建設された工場では、鏡を使って、熱吸収材に太陽光を集める。そして、集めた熱を放出して水を沸騰させ、蒸気を発生させて、発電タービンを駆動する訳だ。

近年、太陽熱プラントはますます売れなくなってきている、と Wolf は明かす。これは、競合技術であるシリコン製太陽光パネルの低価格化による。2006年から2012年の間に、太陽光パネルのコストは約65%低下したが、太陽電池の供給過剰がその一因となっている。また、太陽光発電装置に対する政府補助金が減少傾向にあり、太陽光発電に対する需要も減少したために、事業を維持するのがさらに難しくなっている、とラックス・リサーチ社（米国ニューヨーク）のアナリスト Matthew Feinstein は話す。

「この1年間ほどは、血の海のような状態でした」と Feinstein は話す。2011年の12月には、ドイツで初めてのソーラー発電の株式公開会社だった Solon 社（本社ベルリン）が倒産した。そして、2012年3月には、世界でトップクラス

の太陽電池メーカーの Q.Cells 社（ドイツ・ビターフェルト＝ヴォルフエン）も倒産した。シーメンス社のソーラー発電事業からの撤退は、将来的見通しをさらに暗くするものとなった。

これに対して、Dii を設立した非営利の DESERTEC 財団の理事 Thiemo Gropp は、シーメンス社を撤退に追い込んだ低コスト化が、究極的には DESERTEC プロジェクトのために役立つと話している。「シーメンス社の穴は、ほかの会社の製品が埋めることになるでしょう」と彼は言う。DESERTEC は、すでに、新たなプロジェクトを承認しており、それがチュニジアで計画されている太陽熱発電プラントだ。このプロジェクトを推進している Nur Energie 社（英国ロンドン）は、このプラントから海底ケーブルによってイタリアに送電する計画を立てている。

それに、シーメンス社と DESERTEC の関係も完全に終わってはいないのかもしれない。今でもシーメンス社は、原則として、DESERTEC のミッションを支持しており、今後も何らかの協力ができると話している。例えば、風力エネルギーが、DESERTEC の数々の計画において重要性を増しており、

DESERTEC は、アフリカの沿岸風を利用したいと考えている。そして、シーメンス社は、風力エネルギー事業に集中する方針を立てているのだ。

シーメンス社は、すでにアフリカから第一弾のタービンの注文を受けている。また、2020年までに年間6ギガワットの再生可能エネルギー発電をめざして

いるモロッコが、44基のタービンを購入して、2か所の風力発電所に設置することになっている。このプロジェクトは、まだ DESERTEC の正式承認案件とはなっていないが、DESERTEC の精神に完全に合致したものだと言われている。

(翻訳：菊川愛)

大手バイオテック企業が、 ジェネティクス企業を買収

Big biotech buys iconic genetics firm

MONYA BAKER 2012年12月20/27日号 Vol. 492 (321)

アマジェン社によるデコード・ジェネティクス社の買収は、医療データと遺伝学データを統合する価値が、いかに高いかを物語っている。

熱狂的なゲノミクス投資が下火となって、すでに10年以上が経過した。そんな今、ある大手バイオテクノロジー企業が、ゲノミクス分野の象徴的な企業を買収しようとしている。

2012年12月10日、アマジェン社(米国カリフォルニア州サウザンドオークス)は、波乱万丈の歴史を持つデコード・ジェネティクス社(deCODE genetics、アイスランド・レイキャビク)に、4億1500万ドル(約353億円)を投ずると発表した。このことは、医薬品開発企業が、治療標的探しのために遺伝子データへの投資を再び始めようとしていることを示している。

2000年代は、結果として、ゲノミクスが新たな薬物標的への期待にほとんど応えることができなかった。大手製薬企業をはじめとする投資家の多くは、疾患関連データを取り扱う会社の株式を手放し、実際に臨床試験が行われている薬剤を持つ会社の株式に資金をシフトして

瀬戸際からの復活

破産から救済されたアイスランドのデコード・ジェネティクス社は、新たな生きる道を見つけた。

1996年：Kári Stefánsson が設立。

2000年：株式を公開し、1億7300万ドル(約147億円)を調達。

2004～05年：心臓発作および喘息を予防する薬剤の臨床試験を発表。

2009年：破産を宣言。

2010年：設立当初の投資家の一部が1400万ドル(約12億円)で買収。

2012年：アマジェン社が買収を発表。

いった。しかし、デコード社にとっては、データと分析こそが武器で、それがすべてだった。

同社には臨床試験中の薬物候補物質がなく、主として、神経変性、がん、心血管疾患、精神疾患といった病気の原因として疑われる遺伝子について(また、

それに考えられる疾患メカニズムについて)、研究成果を着実に発表し続けてきた。2012年夏、アルツハイマー病を予防する変異遺伝子を発見したのもその1例だ(T. Jonsson *et al.* *Nature* 488, 96–99; 2012)。

デコード社が科学的に成功したカギは、遺伝データの宝庫が利用できることにあった。約14万人のアイスランド人の家系図と医療記録を確保しているのだ。これは同国の総人口のほぼ半数にあたる。英国ヒト・ゲノミクス諮問委員会の委員長でオックスフォード大学(英国)の遺伝学者John Bellによれば、アイスランドの膨大な医療記録を遺伝情報と結びつけられることが、同社が他社にまねのできない発見をしてきた理由の1つだという。「遺伝学自体はきわめて簡単なのです。臨床データこそが、歴史的に問題があったのです」とBellは語る。

低コストの配列解読法と電子カルテが広まったことで、集団遺伝学的研究から得られる情報が増え、製薬企業にとって、ゲノミクスの魅力がますます高まっている。実際、アマジェン社の研究開発部門を率いるSean Harperは、最もうまくいきそうな試験薬を特定するのに、デコード社のデータや技術や専門知識が役立つだろうと期待している。Harperによれば、すでにアマジェン社の2つの薬物候補物質(心疾患用と骨粗鬆症用)は、遺伝子データを使って発見された標的タンパク質を狙ったものになっているという。「ヒトの遺伝学を利用して発見

したり検証したりした標的を、もっと増やしたいと考えるようになりました。

デコード社と同社の最高経営責任者 Kári Stefánsson は、はるかに大きなバイオテクノロジー企業の傘下に入ることで、同社が16年の歴史の中で一貫して追求してきた「遺伝子データを使って患者の役に立つ」という約束を、ついに果たすことができるのかもしれない。「デコード社が、治療薬を作るための裏付けのある追跡記録を持つ会社と組めば、健康増進に対してさらに多大な貢献を迅速に行うことができます」と Stefánsson は話す。

バイキングの末えいで無愛想な Stefánsson は、ハーバード大学医学系大学院（米国マサチューセッツ州ボストン）の教授職を捨てて、故国に帰り、1996年にデコード社を設立した。2000年代前半のゲノミクスブームで誕生したほかの会社と同様、デコード社も実入りを期待して医薬品開発を志向し、2000年代半ばには自社の臨床試験をスタートさせた（「瀬戸際からの復活」参照）。

しかし、その小さな会社はまもなく莫大な負債を抱えることになり、アイス

ランドが2008年の金融危機に陥ると、投資家を確保できなくなった。同社は2009年に破産を宣言し、設立当初の投資家の一部によって救済された。その投資家は1400万ドル（約12億円）程度で同社とその資産を手にし、さらに4500万ドル（約38億円）ほどを追加投資した。ポラリス・ベンチャーパートナーズ（米国マサチューセッツ州ウォルサム）の共同設立者である Terry McGuire は、「当社はベンチャーキャピタルですが、投資の回収だけを考えたものではありません」と話す。「デコード社が、本当に世界の宝だと判断したのです」。

デコード社の買収が完了しても、Stefánsson は社長にとどまるうえ、アマジェン社の副社長にも就任する。デコード社はレイオフを行わず、それどころか増員を予定しているという。Stefánsson は、資本関係が変わってもアイスランド人データの管理方法には影響がないと強調する。DNA検体はアイスランド国外には出さず、アクセスはデコード社を通じて行われる。既存のプライバシー保護方針が適用され、アイスランド市民の倫理委員会による監督を受ける。

デコード社の科学者たちは、被引用数がきわめて多い遺伝学者である。そのようなアイスランドの研究者集団が、買収によってアマジェン社の製品パイプラインの助けに駆り出されることになり、デコード社が握っている基礎研究分野における主導権が、崩れてしまうのではないかと心配する声も聞かれる。マサチューセッツ総合病院（米国ボストン）の遺伝学者 Daniel MacArthur は、「競争における優位性確保の手段として取り扱われているならば、デコード社が新発見を発表し続けるのは、きわめて難しいかもしれません」と分析する。

しかし、Harper はそうした懸念を一蹴し、デコード社の科学的能力を研ぎ澄ませておくことはアマジェン社の利益だと言い切る。「その創造性を何らかの形でつぶすなんて、近視眼的にすぎます」。Stefánsson もまた、デコード社の業務がこれまでどおり続いていくことを確信している。「恐れても心配していませんし、今起こっていることに熱中しています。これからも新発見三昧が続くでしょう」。

（翻訳：小林盛方）

SEVEN DAYS

夜の地球は「黒い大理石」

NASA snaps earth at night

2012年12月13日号 Vol. 492 (158)

アポロ17号の宇宙飛行士が、後に「青い大理石」と呼ばれることになる地球の写真を撮影してからほぼ40年後の2012年12月5日、NASAは、夜の地球のすばらしい眺めをとらえた写真を発表した。「黒い大理石」と名付けられたこの写真は、極軌道を周回するNASAの気象衛星スオミ NPP の高解像度センサーを使って撮影された画像をつなぎ合わせたものである。新しいセンサーがもたらすデータは、人口分布や炭素排出量などのデータの代わりとしても利用できる（詳細については、go.nature.com/jfv8ql を参照のこと）。

（翻訳：三枝小夜子）



NASA EARTH OBSERVATORY/NOAA NGDC

コンクリート・ジャングルの生態学

Life in the concrete jungle

COURTNEY HUMPHRIES 2012年11月22日号 Vol. 491 (514-515)

人々と建物、野生生物、環境汚染が、
都市でどう作用し合っているかを生態学の視点でとらえる「都市生態学」が注目を浴びている。

米国マサチューセッツ州ボストン市のプルデンシャル・タワーの屋上で、Nathan Phillipsは眼下に広がる大都会のさまざまな営みを見下ろしていた。このくらい高い場所だと、車のクラクションやブレーキ音、街路に飛び交う話し声などの騒音はほとんど届かず、風の吹く音が聞こえるばかりだ。地上の空気は風で運ばれてくるうちに浄化され、都会にありがちな悪臭はまるで漂ってこない。「この屋上の大気環境は、ボストンのほかの部分とは本質的に異なっているのです」と、ボストン大学で生態学研究に携わるPhillipsは話す。

彼がタワーの屋上にやってくるのは、この汚染物質が拡散されてしまった空気があるからだ。Phillipsはボストン上空を流れる空気を捕捉するために、本の大ききさくらいの空気採取装置を、屋上の四隅に1個ずつ設置した。採取された空気試料は、黒いチューブでタワービル内のタンクに送られると、二酸化炭素、一酸化炭素、メタンや水蒸気の量が自動的に解析される。

ボストンも、多くの都市と同様にさまざまなガスを排出しており、そうしたガスが市街地をドームのように覆っている。プルデンシャル・タワーの屋上は、天候しだいで、このガス・ドームの内側になったり外側になったりする。屋上に設けたこの観測用の「砦^{とりで}」から、Phillipsは、市内のほかの3つの観測地点と、汚染ゾーンから外れて約70マイル(約110 km)西の緑の丘にある別の観測地点を眺めた。

Phillipsは同僚たちと、これらの観測地点で得られたデータを使って、二酸化炭素やそのほかのガスが市内をどう移動するか、また、こうしたガスが混じった空気が、農村地帯の空気とはどう異なるかをモデル化しようとしている。この研究は、ボストンの「代謝」、つまり、各種の元素が自然の系と人間の系との間でどう行き来するかを調べるための学際的プロジェクトの一環である。Phillipsのチームが現在研究対象としているのは、大気中の炭素、中でも二酸化炭素とメタンである。チームはこの後、ボストンの土壌や水に含まれる炭素に目を向け、水や窒素、汚染物質の流れを追跡する計画を立てている。「目標は、1つの大きな都市の機能を解き明かすことです」とPhillipsは話す。

都市を詳細に調べる

Phillipsたちの研究は、都市をあたかも生態系であるかのように扱う、「都市生態学(urban ecology)」という発展著しい学問分野である。環境を作る人工的な成分と天然の成分はこれまで別々に研究されてきたが、都市生態学では、この2種類の成分の相互作用の理解をめざす。例えば、都市の高温や高い二酸化炭素濃度は植物の生育をどのように促進するのか、樹木は都市をどのように冷却するのか、緑地を作ると動物の生息環境はどのように改善されるのか、などである。

これらの相互関係を生態学的手法を使って細かく解きほぐしていくことで、市街地を人間にも自然の系にも優しい形

に改善できるのだと、Phillipsは説明する。「都市を科学的に調べることで、我々の住む都市の持続可能性をもっと高めるといふ、現実的な恩恵が得られるはずですよ」と彼は話す。

この種の研究に対するニーズは高まっている。各地の都市が、炭素排出量や水使用量の削減、居住環境の改善などに取り組み始めたことを受けて、科学者たちは、こうした方策が都市環境の総合的な健全性にどういった影響を及ぼすかについて評価を始めた。「これらの目標を達成するためにどんな方策をとるのがいちばんいいのか。それを知るには科学の助けが必要なのです」と、キャリー生態系研究所(米国ニューヨーク州ミルブルック)の都市生態学者Steward Pickettは言う。

ボストンのプルデンシャル・タワーの屋上から眺めると、目に入るのはビルと車と舗装道路と人間ばかりだ。しかしこの都市には、約200万本の樹木に膨大な量の土壌とそこに棲む微生物、そして、ネズミやコヨーテやシカに100種以上の鳥類などからなる野生生物の「相互作用ネットワーク」があり、そこには時おり、郊外で出没するクマやヘラジカも加わる。この人と自然の混合状態によって、複雑な関係性が生み出されている訳だ。例えば、市街地の樹木は、土壌に含まれる汚染物質やアスファルトからの熱放射だけでなく、水やりの管理の仕方とか、景観の整備作業などによっても影響を受ける。また、街路樹が日陰を作って空冷効果を発揮したり、場合によっては風をささぎって汚染物質が拡散するのを

妨げてしまうこともある。こうした多様な要因を調査するためには、生物学、物理学、社会科学の融合が必要なのだ。

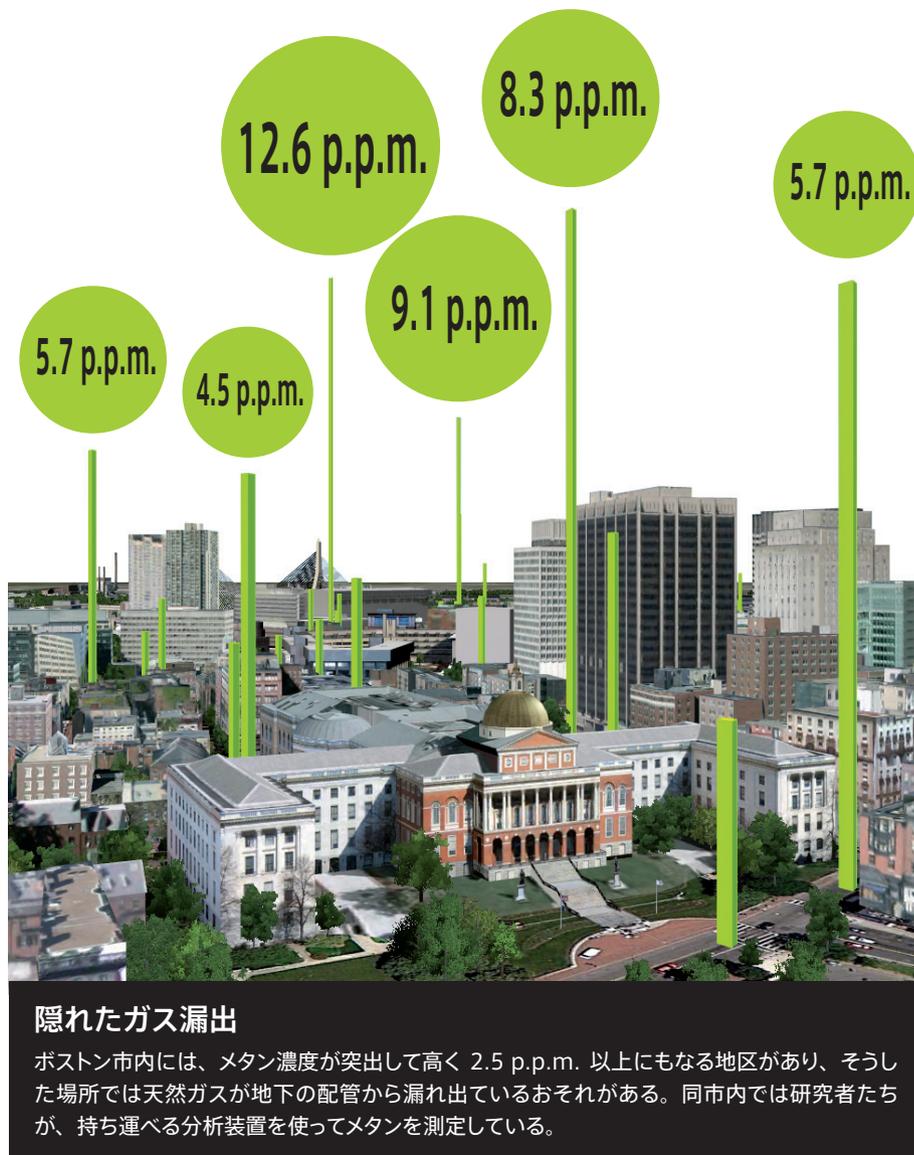
変革の種

2009年に、米国立科学財団 (NSF; バージニア州アーリントン) と米国森林局は、都市の抱える環境問題に直接取り組む21件のプロジェクト (Phillipsのものも含む) に対して、600万ドル (約5億1000万円) の資金を供出した。この研究助成金は「都市長期研究領域: エクスプロラトリー (ULTRA-Ex)」と呼ばれており、都市生態学の長期プロジェクトの実施に必要な、研究ネットワークを育てる第一歩となった。

NSFは、1990年代後半からこの種の研究に対して資金提供を始め、まず、長期生態研究 (LTER) 拠点をアリゾナ州フェニックスとメリーランド州ボルティモアに設置した。ただし、このような例は今なおまれである。2012年に行われた生態学研究に関する調査で、8000件以上の研究対象を分析した結果によれば、都市のような人口密集地域を調べた研究は全体の4%しかない¹。人間が環境をどのように形作るかを明らかにするための調査がもっと必要だと一部の生態学者やNSFが求めているにもかかわらず、そうした研究はまだまだ少ないのが実情だ。

「都市生態学とそのデータに対する需要が非常に大きいことは、とても意外でした」と、ボルティモアのLTER研究に加わった米国森林局の研究者Morgan Groveは語る。

しかし、LTERの結果は、市民団体のリーダーたちが望む結果と必ずしも一致するものではない。例えば、カリフォルニア大学ロサンゼルス校 (UCLA) のULTRA-Exチームは、ロサンゼルスに100万本を植樹する計画についてその影響を調査し、この計画に疑問を投げかけた。UCLAで土地利用を研究し、この調査のリーダーを務めたStephanie Pincetlによれば、彼らの調査によって、



隠れたガス漏出

ボストン市内には、メタン濃度が突出して高く 2.5 p.p.m. 以上にもなる地区があり、そうした場所では天然ガスが地下の配管から漏れ出ているおそれがある。同市内では研究者たちが、持ち運べる分析装置を使ってメタンを測定している。

一部の土地所有者が、その維持費や、見通しが悪くなることによる犯罪増加を心配しており、街路沿いの植樹に賛成していないことがわかったという。理由はそれだけではない。樹木によって水分要求量やできる日陰の面積が異なるため、樹木の種類によっては、乾燥地域で灌漑による水分供給量を増やす必要性が出てしまったのだ²。

オハイオ州クリーブランドで行われている別のULTRA-Exプロジェクトでは、空き地を都市農園として活用することについて、その効果を調べている。こうした土地利用はクリーブランドのように人口が減少している都市には有益

で、年間の維持費が数百万ドル節約できるだろうと、プロジェクト・リーダーであるクリーブランド州立大学の生態学者Michael Waltonは話す。オハイオ州立大学 (米国ウースター) の研究チームは、空き地から採取した土壌中の汚染物質、栄養素、食物網を分析し、空き地の土壌が概して作物の栽培に適していることを発見した³。また別の研究から、こうした狭い土地に作られる庭園では、時間を経るに従って、害虫を駆除する微生物やアリ類といった個体群が健全に育つことも明らかになっている⁴。この結果は、都市農業が必ずしも都市部での殺虫農薬の使用量を増やすものではないことを示

している。こうした研究は世界各地に広まっており、ストックホルム・レジリアンスセンター（スウェーデン）などの組織が、市街地での人間社会と生態との相互作用の研究に力を注いでいる。

ボストンは、2つのULTRA-Exプロジェクトが現在協力して研究を行っていることもあり、都市生態学研究の中核地域の1つとなりつつある。Phillipsのチームはボストンの「ガス代謝」を調べており、一方のマサチューセッツ大学アマースト校（米国）の生態学者Paige Warrenが率いるグループは、ボストン全体における緑化活動が、空気の質・人間・野生生物にどういった影響を及ぼしてきたかを評価している。「それは予想どおりの結果となるでしょうが、実は、我々はまだそう言い切れるほど十分に研究した訳ではないのです」とWarrenは話す。

Phillipsのチームは、ボストン全体の二酸化炭素の動きをモデル化するために、ハーバード大学（米国マサチューセッツ州ケンブリッジ）の大気学者Steven Wofsyと共同研究を進めている。チームでは、ビルの屋上での計測に加えて、空気試料採取装置を搭載した車による街路ごとの二酸化炭素濃度の高分解能データの収集を実施している。さらに、ビルから排出される二酸化炭素やビルが作り出す日陰が、植物にどのような影響を与えるのか、また、樹木がどのように

二酸化炭素を取り込んだりビルを冷やしたりするのかを調査している。

都市の「呼吸」

こうした都市生態学研究のデータは、各国の温室効果ガス排出量削減案を策定する際に重要な意味を持つてくるだろう。なぜなら、世界のエネルギー使用に伴う二酸化炭素排出量の総量のうち、3分の2以上が都市由来だからだ。また、都市の全炭素排出量は、大半が、交通、建物、産業における排出見積り量から算出されたものだが、それぞれがかなりの不確かさを持っている。例えば、道路輸送は米国の温室ガス排出量の約3分の1を占めると考えられているが、信頼できる調査記録の間であっても大きな違いがみられ、例えばマサチューセッツ州を比較すると40%近い数字の違いがある。そう指摘するのが、ボストン大学のULTRA-Exプロジェクトで共同代表者を務める環境学者のLucy Hutyrada。都市が本腰を入れて炭素排出規制に取り組むようになるにつれて、「二酸化炭素排出量の報告には、透明性と確かさと検証可能性が必要になっています」とHutyrada。都市がとった政策の中で、何が成功して何が失敗したかを追跡確認する必要があるからだ。

研究チームが、ボストンの二酸化炭素濃度の大气モデルを用いた最初の解析を終える際、少し意外な結果が得られた。

そのデータは、市の中心部での交通による排出量が、いくつかの予想推定値よりも高い値を示していたのだ。

PhillipsとHutyradaは、地下の配管からの天然ガス漏出を調べる研究⁵も進めており、これまでに3000か所以上の漏出を見つけている（13ページ「隠れたガス漏出」参照）。彼らの目的は、こうしたガス漏出がどのように温室ガス排出量に寄与しているか、また近隣の植物や土壌にどんな影響を及ぼしているかを定量化することだ。Phillipsによれば、天然ガス由来のメタンは土壌中の酸素を枯渇させて植物の根を腐らせてしまうという。

ULTRA-Exのすべての研究拠点が、研究プログラム拡充のための今後の資金を得られるかどうかはまだわかっていない。NSFのプログラムマネージャーであるTom Baerwaldの見積りによれば、年間の研究費用は約100万ドル（8500万円）になる。

Phillipsは、将来の研究資金のことは二の次にして、目下のところプルデンシャル・タワーでの研究成果をまとめている。得られたデータから、ボストンの平均的二酸化炭素濃度は、光合成が最も活発な夏期には平均388p.p.m.、冬期には413p.p.m.になることが明らかになった。しかし、8月の取材した日はそよ風が吹いていて、タワー屋上には新鮮な空気が運び込まれたために、二酸化炭素濃度は379p.p.m.と低かった。「おそらく、今ハワイで測っても同じ濃度になるでしょう」とPhillips。そして彼は、手荷物をまとめてエレベーターに乗り込み、大都市ボストンならではの空気が漂う地上へと降りて行った。

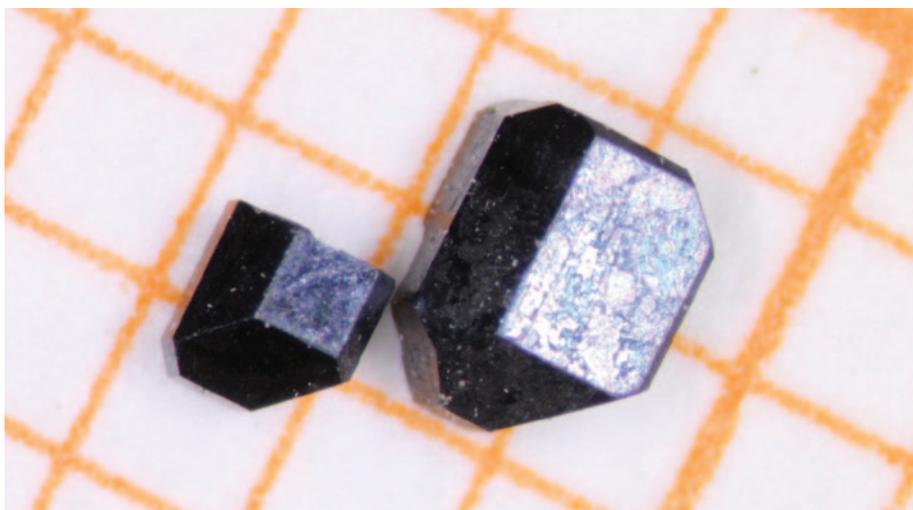
（翻訳：船田晶子）

Courtney Humphries は、ボストン在住のフリーランスライター。

- Martin, L. J., Blosssey, B. & Ellis, E. *Front. Ecol. Environ.* **10**, 195-201 (2012).
- Pincetl, S., Gillespie, T., Pataki, D. E., Saatchi, S. & Saphores, J.-D. *GeoJournal* <http://dx.doi.org/10.1007/s10708-012-9446-x> (2012).
- Grewal, S. S. et al. *Urban Ecosyst.* **14**, 181-194 (2011).
- Yadav, P., Duckworth, K. & Grewal, P. S. *Landscape Urban Plan.* **104**, 238-244 (2012).
- Phillips, N. G. et al. *Environ. Pollut.* (in the press).



炭素排出量は、道路輸送1つを取っても、正確な数値を得られていないのが実情だ。



6 ホウ化サマリウム SmB₆ の結晶は、内部は絶縁体だが、表面は導電性である。

「トポロジカル絶縁体」の発見

Hopes surface for exotic insulator

EUGENIE SAMUEL REICH 2012年12月13日号 Vol. 492 (165)

SmB₆ に関する最新の研究成果は、40 年来の懸案である
「バルク材料としてのトポロジカル絶縁体」へと結びつくかもしれない。

奇妙な電氣的挙動によって数十年も前から物理学者を当惑させてきた化合物が、量子物理学や電子機器メーカーに恩恵をもたらす可能性を持つことが明らかになった。

2005年、理論家たちが、表面は電流を流すが、それ以外の部分は絶縁体として振る舞うような材料(トポロジカル絶縁体)が見つかるはずだと提案した。この予想に興味をもった物理学者たちは、そのような材料が示す量子効果を調べて、低消費電力エレクトロニクスや量子コンピューティングへの応用可能性を探りたいと考えた。しかし、トポロジカル絶縁体を作るのは非常に困難であることが明らかになった。一部の研究者は、たいへんな苦勞をしてトポロジカル絶縁体の薄膜を作ったが、その技術は複雑すぎて、産業への応用に必要なレベルまでス

ケールアップするのは、ほとんど不可能に近い。別の研究者は、トポロジカル絶縁体とよく似ているものの、内部にある程度の導電性が残っている化合物で満足している。

しかし、このほど相次いで発表された3本の論文¹⁻³によれば、6ホウ化サマリウム SmB₆ という化合物が、薄膜でなくバルク材料(つまり塊)の形で、トポロジカル絶縁体として振る舞う可能性があるという。SmB₆ は、まだよく理解されていない化合物であり、1969年にはベル研究所(米国ニュージャージー州)の研究者により、非常に低い温度で導電性を獲得することが確認されている⁴。

今回の3本の論文の中で最も遅く発表されたもの¹は、カリフォルニア大学アーバイン校の研究者らによって2012年11月28日にオンライン投稿された論

文だが、そこでは、SmB₆ 結晶の表面を高速で移動する電子が見られたと報告している。彼らはこれを、SmB₆ がすばらしい表面導体であることのサインだと考えている。

その5日前には、メリーランド大学カレッジパーク校(米国)の研究者らが、SmB₆ サンプルを冷却しながら電子を注入し、その通り道をたどる測定を行った結果について報告している²。彼らの結果は、この材料は約30K以下の温度で内部が絶縁体になることを示唆している。

そして、いちばん早く2012年11月21日に投稿された論文では³、ミシガン大学アナーバー校(米国)とカリフォルニア大学アーバイン校の科学者が、SmB₆ の表面とバルク部分での導電率を測定し、欠陥や不純物の存在にもかかわらず、表面の導電性が保たれていることを確認した。これは、本物のトポロジカル絶縁体に期待される性質だ。

ここ数年間、トポロジカル絶縁体に対する関心が急激に高まっており(「急増する論文数」参照)、2010年には、SmB₆ もトポロジカル絶縁体であろうという予測が発表されていた⁵。この予測をした4人の理論物理学者のうちの1人であるラトガーズ大学(米国ニュージャージー州ピスカタウェイ)のPiers Colemanは、「とりあえず、我々の主張が正しいことが証明されたと言ってよいでしょう。今回の新しい結果に胸を躍らせています」と語っている。

興味深い特徴

こうした予測が行われたきっかけの1つは、近藤絶縁体として知られる材料の研究だった(編集部注:この絶縁体は、近藤 淳 博士による近藤効果の理論的拡張として理解され、こう呼ばれるようになった)。普通の絶縁体とは異なり、近藤絶縁体は、絶対零度から数度高い程度の温度まで冷却されたときにも、わずかな導電性を保持している。しばしば近藤絶縁体に分類される SmB₆ は、この説明によく合う振る舞いをする。

Colemanやそのほかの理論家たちは、SmB₆がトポロジカル絶縁体であるなら、その振る舞いを理解できることに気付いた。普通の導電体では電子はどこでも自由に流れることができるが、SmB₆がトポロジカル絶縁体であれば、表面以外の部分では電子が自由に流れられないような量子的特性を持つはずだ。Colemanは、この推測が正しいなら、SmB₆やその他の近藤絶縁体から得られた洞察は、すべてのトポロジカル絶縁体に当てはまるはずだと考えている。

SmB₆は奇妙なトポロジカル絶縁体である。サマリウム原子の外殻電子は、互いに強く相互作用して、協調した運動を発現させているからだ。スタンフォード大学(米国カリフォルニア州)でトポロジカル絶縁体の先駆的な研究を行っているShoucheng Zhangは、「SmB₆のこの性質を利用すれば、磁気モノポールやマヨラナ粒子(量子コンピューティン

急増する論文数

ここ数年、トポロジカル絶縁体に関する論文数が急激に増えている。



グに役立つ可能性のある準粒子)などのエキゾチックな量子効果を作り出せるかもしれません」と言う。Zhangはまた、SmB₆に対する関心が急激に高まったのは、互いに強く相互作用する電子を持つ材料全般の研究が、盛んになっていることを反映していると指摘する。「我々は現在、いくつかの系を調べていますが、

非常に刺激的な展開になっています」。

ビスマス系化合物のトポロジカル絶縁体としての振る舞いを研究しているジョン・ホプキンス大学(米国メリーランド州ボルチモア)のPeter Armitageは、物性物理学の分野では実験が理論を先導するのが普通だが、今回の発見はこれとは逆に理論主導である点で珍しい、と指摘する。彼は早速、SmB₆の表面状態を確認し、これを詳細に調べる実験に着手しようと考えている。「我々のすぐ近くに、こんなに美しい効果が隠れていたのです。これは非常に大きな前進です」。

(翻訳:三枝小夜子)

1. Botimer, J. et al. Preprint at <http://arxiv.org/abs/1211.6769> (2012).
2. Zhang, X. et al. Preprint at <http://arxiv.org/abs/1211.5532> (2012).
3. Wolgast, S. et al. Preprint at <http://arxiv.org/abs/1211.5104> (2012).
4. Menth, A., Buehler, E. & Geballe, T. H. *Phys. Rev. Lett.* **22**, 295-297 (1969).
5. Dzero, M., Sun, K., Galitski, V. & Coleman, P. *Phys. Rev. Lett.* **104**, 106408 (2010).

深海の太古の泥層から、カビが発見された

Ancient fungi found in deep-sea mud

RICHARD MONASTERSKY 2012年12月13日号 Vol. 492 (163)

海底堆積物の深層部からカビが見つかった。

そのカビはペニシリウム属であることから、未知の抗生物質が得られる可能性がある。

太平洋の海底のはるか深く、栄養分の乏しい1億年以上も昔の堆積物の中で、なんとカビが生息していることがわかった。未知の生命を追い求める生物学者や薬剤耐性細菌に対抗できる抗生物質を探索している製薬会社にとって、この褐色の海底の泥が、黄金へと変わるかもしれない。

南カリフォルニア大学(米国ロサンゼルス)の生物地球化学者Brandi Reeseは、「今回のカビから新薬が生まれる可能性があります」と期待する。彼女は、今回発見されたペニシリンを産生する*Penicillium*属をはじめ、いろいろなカビを調べてきた。深海底堆積物中という不毛な環境で多細胞生物が発見されたこと

について、共同研究者であるテキサスA&M大学(米国カレッジステーション)の分子地球微生物学者Heath Millsは、「地球における生物圏の限界を広げる成果」だと説く。この研究成果は、2012年12月6日に開催された米国地球物理学連合(AGU;カリフォルニア州サンフランシスコ)の会議で発表された。

2010年に行われた統合国際深海掘削計画(IODP)に基づく南太平洋での実地活動で、海底下127mという深層の堆積物が採取され、以前、深海のカビに関する調査を行ったReeseらの研究チームが引き続きその堆積物を調べた。研究チームが「カビの遺伝物質」の存在を探ったところ、その試料から少なくとも8つの分類群に由来する塩基配列を見いだすことができ、さらに、そのカビのうちの4種類を培養することに成功したのだ。

深層の堆積物中に生息することが知られていた生物は、10年前までは、単

細胞生物の細菌と古細菌だけだった。2005年になってようやく、カビが生息する可能性が見つかった (J. F. Biddle *et al. Geobiology* 3, 287–295; 2005)。だが、海底堆積物や海水からカビを調べている研究者は今なおごく少数だ。「どこにでもいるのに、ほとんど顧みられることがないのです」と語るのは、海底堆積物由来のカビの培養研究では草分けの、デラウェア大学 (米国ルイス) の微生物生態学者 Jennifer Biddle だ。

一部の生物学者はこうした報告に懐疑的で、試料が汚染されていたのではないかと、泥に表層のカビの不活性な胞子が入り込んだのではないかと、などと言っている。それに対し Reese の研究チームは、汚染を避けるために数段階の処置を行ったと反論する。堆積物中の微生物を研究するロードアイランド大学 (米国ナラガンセット) の Steven D' Hondt は、「Reese のチームを含めて、深層の堆積物中にカビがいることを示す証拠は、すでに大量に蓄積されています」と話す。

さらに、ウッズホール海洋研究所 (米国マサチューセッツ州) の分子生態学者 William Orsi によれば、証拠の物質は胞子ばかりではないようだ。Biddle や同研究所の微生物学者の Virginia Edgcomb とともに研究を進めている Orsi は、ペルー沖の深海堆積物を調べ、わずかだが複数のタンパク質をコードするカビのメッセンジャー RNA を発見した。その中には、細胞膜を介したイオンや金属の輸送に関与するタンパク質も含まれていた。これは深層のカビが代謝活性を持っていることを示すものだと、AGU の会議でこの研究成果を発表した Orsi は説明する。

深層の堆積物中にカビがいることを示す証拠が増えてきた今、「解明が急がれるのは、カビが何をしているのかという問題です」と Orsi は言う。Reese らが調べた堆積物が採取された場所は南太平洋環流の下にあり、Mills によればそこは、「地球上で、きわめて生命の少ない所」だという。その環流は陸地から離れてい



培養に成功した、大昔の堆積物から採取された *Penicillium* 属のカビ。

るため、陸地からはほとんど栄養分が届かない。海生生物もまばらで、表層堆積物の微生物は、海底に沈んでくるわずかな有機物をむさぼり食っている。

こうした栄養分の乏しい深層生態系において、カビが重要な役割を担っているのではないかと Mills は推測する。堆積物に何百万年も残されたままの有機物は、多くの単細胞生物にとって利用がきわめて困難だと、かつては考えられていた。しかし Mills によれば、カビは消化が困難な有機物分子の分解に長けており、カビが海底のさらに奥深くにいる微生物に食物を供給している可能性がある。

Reese の研究チームは、最深層堆積物中のカビが1億年以上前のものかどうかは、まだ判断できないとしている。後代の堆積物から移行してそこに棲み着いた可能性もあるからだ。しかし、そのカビが長期間にわたって隔離されていたとすれば、細菌に対する生物学的防御を独自に進化させている可能性があり、このカビが有用な抗生物質の供給源となる期待が高まる。「新バージョンのペニシリンだったらどうでしょう。深海の生物圏まで足を延ばす甲斐があるというものです」と Mills は言っている。 ■

(翻訳：小林盛方)

nature



nature.asia/nature-toc



THIS WEEK

1 週間の出来事を簡潔な文章で



NEWS IN FOCUS

話題の研究や科学関連時事について分析



COMMENT

読者や専門家の意見を掲載



CAREERS

キャリアパス構築の指針となる
様々な分野を紹介

RESEARCH

論文や著者名などの情報をすぐに把握

npg nature asia-pacific

少数分子の反応が生物を支配する !?

例えば、遺伝子の物質的体である DNA は、1 個の細胞中にたった 2 分子ずつしか存在しない。こんな少数個の分子の挙動を論じるのに、統計学的手法は使えない。もしも生命の本質に迫りたいなら、新たな原理を探らねばならないのだ。そう信じる永井健治・大阪大学産業科学研究所教授は、従来の生化学の常識をくつがえす「少数性生物学」の概念を世界に向けて発信する。



永井 健治

—— Nature ダイジェスト：永井研の HP には、「ぱっぱらぱーになって、科学革命を起こしませんか?」と書いてありますね。

永井：アホになれということです。つまり、教科書に書かれている「前提」や「法則」を鵜呑みにせず、おかしいと思ったことは疑ってみないとあかんです。常識を疑うことが、真理や新しい概念の発見につながるのだから。でも、当たり前と思われている常識に疑問を呈すると、常識のある人からは「アホ呼ばわり」される(笑)。だから、それに負けないように、「ぱっぱらぱーになろう」と呼びかけているのです。

—— 永井先生が疑問に思った常識とは?

生化学の常識です。細胞内の反応は、生化学にのっっている。分子であれば、アボガドロ数 (10^{23} 個) を基準にした濃度で表し、溶液中で莫大な数の分子がランダムに動いて、反応が平衡に達したときの状態を想定して論じます。でも、「それは、ホンマか?」って、学生の頃から思っていました。例えば、遺伝子の物質

の本体である DNA は、基本的に、1 細胞中にたった 2 個ずつしか存在しないのに、生化学実験では莫大な数の DNA とタンパク質を反応させて何が起きるか調べている。しかし、本当に生物の反応にかかわる分子が、莫大な数存在すると仮定していいのだろうか。そもそも、それを調べなくてはいけない、とずっと思っていました。

—— それで、少数性生物学の研究プロジェクトを立ち上げたのですね。

はい。「おもしろい!」と賛同してくれる人たちが集まってきて、文科省の新学術領域研究プロジェクトを 2011 年に立ち上げることができました。少数個の分子の挙動から生命の原理に迫る研究班です。

生きた細胞で 1 分子の挙動を観察する

—— 遺伝子のほかに、どんな分子が少数個なのでしょう?

大腸菌に発現する 1000 種類のタンパク質が、それぞれ何個あるかを数えた研究者がいますが、そのタンパク質の 6 割は 10 個以下とわかりました。

また、大腸菌に含まれる水素イオンの個数を pH の測定値をもとに試算すると、わずか 25 個程度という数になります。

また神経細胞のシナプス形成部位(スパイン)には AMPA 受容体が存在しますが、1 個のスパインに存在する受容体の数は数個から数十個という報告もあります。これらは、ほんの一例にすぎません。

—— 少数だと、従来の生化学の反応理論が適用できないですね?

そうなのです。少数個しか存在せず、反応の回数も数え切れるほどしかない場合は、確率や統計論(統計熱力学)が成り立ちません。反応が平衡に達するという仮定も、成立しません。分子 1 個の個性が影響するようになるとも考えられます。例えばタンパク質のような高分子は、構造にゆらぎが存在し、それが個性となるのです。

細胞内の分子の実効体積も想定しなくてはなりません。従来の生化学ではそうしたことは無視しますが、高分子はそれ自身が大きな体積を占めるため、細胞内で動ける空間はそれほど大きくないと考えられます。

従来の理論が適用できないので、新しい考え方を見つけていく必要があるのです。そのためにはまず、いろいろな現象に当たって、観察例を増やす必要があります。

—— 具体的にはどんなことをしていくのですか?

最初にすべきことは、解析技術の開発で

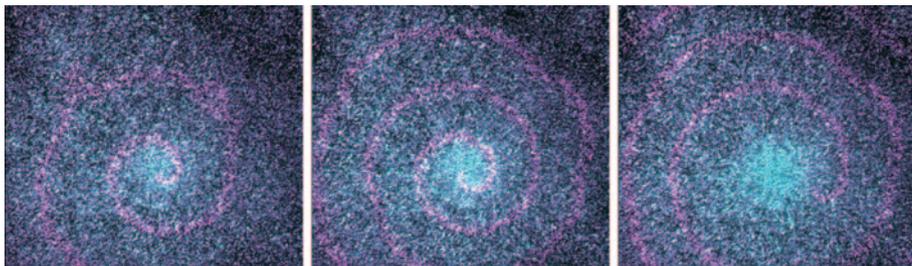


図 1 蛍光を利用した指示薬「カメレオン-Nano」で、細胞性粘菌の集合過程におけるカルシウムイオンの信号伝達をリアルタイム(動画)で可視化。

す。分子の結合状況、リン酸化状態、発生するエネルギーなど、生体分子反応の1分子レベルの反応過程を、生きた細胞で観察したり計測したりする手段を開発する必要があります。

1分子イメージングが可能な高解像度の顕微鏡も登場していますが、分子の個数を数えることには適していません。分子数を数えられる顕微鏡の開発も必要です。

私たちの研究室では、分子を可視化する指示薬を開発してきましたが、それをさらに進めていくつもりです。

——指示薬とはどのようなものですか？

私たちは、生きた細胞内で、少数のカルシウムイオンを検出可能な、超高感度の蛍光指示薬を開発しました^{1,2}。また、カルシウムイオンやcAMP、ATPといった生体で重要な働きをする分子を、化学発光により標識して高感度で可視化する指示薬も開発しました³。化学発光ならば、光遺伝学的技術（オプトジェネティクス）と組み合わせる用いることが可能になります。光遺伝学は、光の照射でタンパク質や細胞の機能を操作する、最近注目されている技術です。

これら「観て操る」技術を用いて、細胞内で少数の分子を操作し、高感度に何が生じているかを分子レベルで可視化すると同時に、空間階層が異なる細胞や個体のレベルでどのような変化が起きているかを観察できるようにすることが、研究上求められています。

——細胞性粘菌を実験材料として用いていますね？

細胞性粘菌の挙動には、とても興味深いものがあります。cAMPという物質の個数を検出し、数の多いほうへ移動する走化性を示します。その際、粘菌細胞周囲のcAMPたった1個の違いを瞬時に区別できるセンサーを持っているのです。私たちの開発した可視化指示薬を用いて、少数の分子に応答するこうしたセンサーの仕組みを解明したいと考えています。

新たな生命像を見つける

——少数分子の挙動の観察や解析が進むと、どんな成果が期待されますか？

研究班の前島一博教授（遺伝学研究所）の研究なのですが、これまで考えられていた染色体構造に対する認識を一変させる研究成果が得られました。染色体は、これまで思われていたように整然と折りたたまれているのではなく、不規則に折りたたまれていることがわかりました。この不規則性によって、長大なDNA繊維から必要な遺伝子を効率よく探し出し、スイッチをオンにする新たな機構が示唆されています。試験管内のDNA繊維ではなく、生きた細胞中でのDNAの観察を重視したことの成果です。

研究はまだスタートしたばかりなので、最終的にどんなことが見えてくるかは、わかりません。シグナル伝達や遺伝子発現などの現象においても、これまでの知見に大きな誤りが見つかるかもしれないし、そうならないかもしれません。これからの研究でわかっていくことです。

ただ1つ確かに言えるだろうことは、今、合成生物学の研究が盛んに行われていますが、細胞を人工的に設計するには、少数性生物学の知見が必要になるだろうということです。高濃度の分子溶液を混ぜ合わせるだけのやり方では、細胞を模倣できない。私はそう考えます。

——生命の原理が少数性生物学から見えてくるということですか？

そうですね。生物を生物たらしめている原理を知ること。それが、私がずっとめざしているところです。証明されている訳ではありませんが、マイノリティの分子が影響力を持つのではないかと考えます。例えば、細胞中わずか2個の遺伝子（DNA分子）がそうであるように。

少数性生物学を進めるうえで、重要な観点がいくつか挙げられます。1つは、先ほど触れた分子の個性。これに関連する解析が、生命原理を解き明かすために

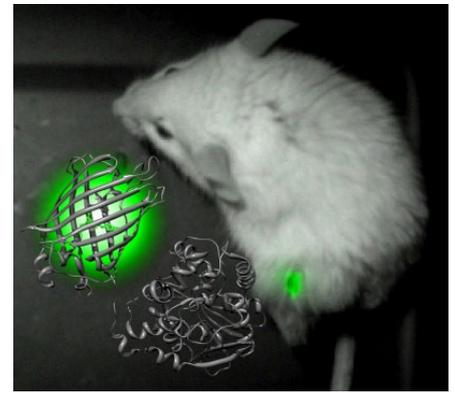


図2 化学発光を利用した指示薬「Nano-lantern」で、マウスにダメージを与えることなく、がん細胞を可視化。

重要です。また、少数の分子がどのように協同的に動くかという視点からの解析も、欠かせないでしょう。一例を挙げれば、鞭毛の動きにおいて、微小管線維の上に並んだダイニン分子が次々に協同的に動きます。その動きをもたらし仕組みの解析を考えていますが、コヒーレンス（物理学でいう可干渉性）という観点が有効ではないかと思っています。

これら分子の個性や協同などといった解析から、今まで見えなかったことも見えてくるのではないかと、たいへん楽しみです。

——ありがとうございました。

聞き手は藤川良子（サイエンスライター）。

1. Horikawa, K., et al. *Nature Methods*. **7**, 729-732 (2010).
2. Zhao, Y., et al. *Science*. **333**, 1888-1891 (2011).
3. Saito, K., et al. *Nature Communications*. **3**, 1262 (2012).

AUTHOR PROFILE

永井 健治（ながい たけはる）

大阪大学 産業科学研究所 生体分子機能科学研究分野 教授。1994年、筑波大学大学院農学研究科修士課程（村上和雄研究室）修了。98年、東京大学大学院医学系研究科博士課程（御子柴克彦研究室）修了。理化学研究所研究員（宮脇敦史研究室）、JST さきがけ研究員を経て、2005年、北海道大学電子科学研究所教授。2012年より現職。

コンピューターの高性能化は熱との戦い

Feeling the heat

PHILIP BALL 2012年12月13日号 Vol. 492 (174-176)

超小型回路は小型化すればするほど高温になる。
技術者たちはコンピューターの新しい冷却法を模索し続けている。



ノートパソコンを膝の上に乗せれば、携帯型の暖房器具にもなって寒いオフィスではありがたい。しかし、大きなデスクトップマシンとなれば、冷却ファンが必要になる。Google社クラスの巨大なデータセンターになると、マシンに大量の冷却水を流す必要がある。また最先端のスーパーコンピューターでは、いかにして素子の融解を回避するかがカギとなっている。

例えば、ライプニッツ・スーパーコンピューター・センター（ドイツ、ミュンヘン）の世界最高クラスのコンピューターは、3ペタフロップスで動作するが、それに伴って発生する熱は、センターの建物の暖房に一部が利用されている〔ペタは 10^{15} 、フロップス（FLOPS：floating point operations per second）は1秒間に行える浮動小数点演算の回数のこと。3ペタフロップス・コンピューターは、1秒間に 3×10^{15} 回の演算ができる〕。このままいけば、次世代のエクサフロップス・マシン（エクサは 10^{18} ）は、小規模な原子力発電所の出力に匹敵する数百メガワットの電力を消費し、そのほとんどすべてが熱になってしまうだろう。

発熱は、コンピューターの進歩を阻む最大の課題として、重要性を増している¹。問題は根深いところにある。回路をより小型化し、より高密度に実装するほど、高温になってしまうのだ。パデュー大学（米国インディアナ州ウェストラファイエット）のコンピューターエネルギー管理の専門家である Suresh Garimella は、「大雑把に言うと、今日のマイクロプロセッサからは、太陽の表面に匹敵するほどの熱流速が発生しているのです」と言う。「マイクロプロセッサが正常に機能するためには、冷却して温度が 100°C 以下になるようにしなければなりません」。

どんどん困難になる目標を達成するため、エンジニアたちはチップの周囲に空気を循環させる代わりに、冷却液をポンプで直接送り込むなど、新しい冷却法を模索している。より根本的な解決策とし

て、回路の実装法を工夫して熱流束を減らす方法も研究している。例えば、回路を二次元（2D）基板上に作るという制限を外して、脳の構造をヒントにした3Dグリッドやネットワーク状に配置すれば、特殊な冷却装置がなくても膨大な量の演算を実行できるかもしれない。ひょっとすると、将来のスーパーコンピューターは、導線を通ってくる電流さえ必要とせず、冷却液の流れの中のイオンによって電気化学的に電力を供給する方式となるかもしれない。

電子デバイスの小型化と高速化が目されるのに比べれば、コンピューターの発熱は地味な問題だ。しかし、エンジニアがこの問題を解決できないかぎり、小型化も高速化も無価値になってしまうのだ。

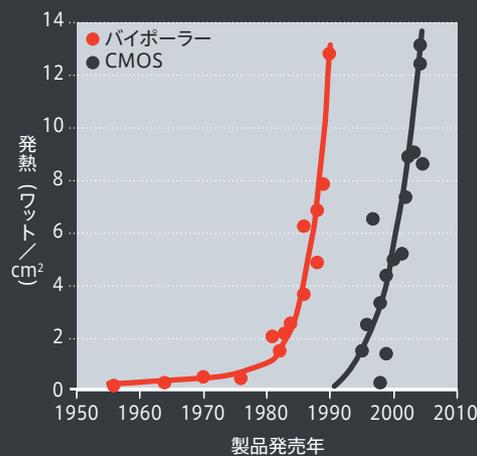
さまざまな冷却法

発熱の問題は、コンピューターとほぼ同じ長い歴史がある。最初の近代コンピューターはENIACと呼ばれる重さ30tのマシンで、第二次世界大戦末期にペンシルベニア大学（米国フィラデルフィア）で建造された。ENIACには1万8000本もの真空管が使われていたため、多数のファンを並べて冷却しなければならなかった。1960年代に固体シリコン素子へと移行し、一時的に発熱の問題は解決した。

しかし、デバイス密度が高くなってくると、再び冷却が必要になった。1990年代初頭には、それまでの「バイポーラー」トランジスターからCMOS（相補型金属酸化膜半導体）デバイスへ置き換わり、デバイス当たりの電力散逸が大幅に低下して、発熱の問題は再び解決した。しかし、「ムーアの法則」が示すように、チップレベルの計算能力は18か月ごとに約2倍となるため、再び発熱の問題が出てきた²（「上昇する温度」参照）。今日のマイクロプロセッサの中には、10億個以上のトランジスターから熱を汲み出さねばならないものさえある。典型的なデスクトップマシンに入っ

上昇する温度

マイクロチップからの発熱は、バイポーラトランジスターからCMOSトランジスターへの移行によって一時的に減少したが、デバイスの実装密度が高くなるにつれ、すぐにまた増加してしまった。



ているチップからの熱を、すべて単純に真空中に放射するとしたら、内部の温度は数千 $^{\circ}\text{C}$ にもなってしまいうだろう。

だから、デスクトップコンピューターと一部のラップトップマシンには、冷却ファンが付いているのだ。チップで温められた空気は対流によっていくらか熱を持ち去るが、それだけでは十分でない。冷却ファンで十分な量の空気を循環させて、マシンが正常に稼働できる 75°C 程度に温度を保っているのだ。

しかし、冷却ファンも電力を消費する。ラップトップマシンでは、バッテリーを余計に消耗させることになる。また、データセンターにずらりと並ぶコンピューターを冷却するにはファンだけでは足りないことも多く、高温のチップの上を流れる空気を、熱交換器に通して冷却している。

さらに大型のマシンになると、思いきった対策が必要だ。IBMチューリッヒ基礎研究所（スイス・リュシュリコン）の先端熱パッケージンググループ長である Bruno Michel は、「最先端のスーパーコンピューターを冷却するには1日当たり数 km^3 もの空気が必要です」と説明する。これは非現実的なため、コンピューター技術者たちは、空気の代わりに液体

を利用して冷却する仕組みを考えねばならなくなったのである³。

水冷式コンピューターはすでに1964年から市販されており、1980年代と1990年代には、数世代にわたって水冷式の大型汎用コンピューターが作られた。今日では、水の代わりに反応性の低いフルオロカーボンなどを冷却液として使うこともあり、これらがチップにじかに触れているケースも多い。つまり、冷却液が沸騰してチップから出る熱を吸収し、その蒸気で熱を運び去る訳だ。その他、液体スプレーを使ったり回路を冷凍したりするシステムもある。

IBMが建造したライブニッツ・スーパーコンピューター・センターのSuperMUCは、2012年から稼働を始めた。この3ペタフロップス・マシンは、世界で最も強力なスーパーコンピューターの1つであり、水冷システムを備えているが、その水は温かく、約45℃もある。CPUの上には特注の銅製ヒートシンクが設置されていて、温水はこのヒートシンクに刻まれたマイクロチャンネルを通して送られる。つまり、システムの中で最も冷却を必要とする部分を、集中的に冷却している訳だ。ここで温水を利用するのは奇妙に思われるかもしれないが、この方法では、冷却システムから出てくる熱水を再びシステムに戻すため、あまり冷やさなくてよく、ほかの冷却法に比べて消費するエネルギーが少な

くてすむ。また、出てくる熱水を近隣のオフィスビルの暖房に利用することで、さらなる省エネにつながっている。

MichelとIBMの同僚らは、水の流れは、熱を運び去るだけでなく、回路に電力を供給することも可能にすると考えている。冷却液に溶けたイオンが電極上で電気化学反応を起こし、この電極がエネルギーを収穫するようなシステムを作ればよいのだ。こうすると、冷却液は事実上、電解液「燃料」としての役割も果たすことになる。ジョージア工科大学(米国アトランタ)の機械工学者Yogendra Joshiによると、このアイデアは別段新しいものではなく、「航空機エレクトロニクス」の熱管理では以前から利用されています」と言う。航空機の電子機器は、ジェット燃料を使って冷却されているのだ。

電解液の流れを利用して電力を送り届ける技術は急激に進歩している。例えば、レドックスフロー・バッテリーというタイプの燃料電池では、1つの電気化学セル内で、ポンプで送り込まれた2種類の電解液が、イオン交換膜を隔てて収納されている。ここで起こる酸化還元反応(レドックス「redox」とは、還元と酸化を意味する「reduction-oxidation」を短縮した言葉である)により、電解液中のイオンの中で電子がやりとりされるが、電子は外部の回路を通して移動しなければならぬため、これによって生成したエネルギーを電力供給に利用できる訳だ。

カギを握るマイクロ流体技術

レドックスフロー電池は、マイクロ流体技術、すなわち、シリコンのような基質をエッチングして顕微鏡サイズのチャンネルを作り、そこに流体を流す技術によって、小型化することができる⁴。そのような小さいスケールでは、2種類の流体は混ざり合うことなくお互いをすり抜けて流れることができるため、両者を隔てる膜は不要になる。この単純化は、電池の製作をより容易かつ安価にするだけでなく、シリコンチップ技術とも両立する。

Michelらは、バナジウムイオンを使ったレドックス反応を利用して、マイクロプロセッサに電力を供給するマイクロ流体セルの開発に着手した。電解質を送り込むためのマイクロチャンネルの幅は100～200μmで、チップの周囲に冷却液を流すためのチャンネルとよく似ている。チャンネル沿いには間隔を置いて電極が並んでいて、電極が収穫した電力は、普通の導線で個々のデバイスに分配される。予備的な実験結果が、2012年8月にプラハ(チェコ)で開催された国際電気化学会の会合で発表された⁵。

しかし、この方法で実際の回路に電力を供給できるようになるのはまだまだ先のことだ。現時点のマイクロ流体レドックスフロー電池の電力密度は、電圧1ボルトで1ワット/cm²未満である。これは、今日のマイクロプロセッサを動かすのに必要な電力密度より2～3桁小さい。けれどもMichelは、将来のプロセッサははるかに小さい電力で動くようになるだろうと考えている。彼によると、従来の導線は抵抗による発熱のために、運んでいるエネルギーの半分近くを失っているが、マイクロ流体電気化学電池で電力を供給することで、電力損失を半減できるという。

目標は脳

電気化学的な電力供給よりもっと多く、プロセッサの熱散逸を低減させる方法がある。それは、チップから発生する熱の大半が、トランジスターのスイッチン



Google社のデータセンター(米国オレゴン州ダルス)から発生する熱を逃がす蒸気。

グではなく、トランジスターの間で信号を運ぶ導線の抵抗によって発生している事実に着目した方法だ。これは、「論理回路」ではなく「足回り」に問題があることを意味している。1990年代末、トランジスターの大きさが約250nmであった頃には、「論理回路」と「足回り」による熱散逸の大きさは、ほぼ半々だった。けれどもMichelは、今日では、「導線によるエネルギー損失は、スイッチング損失の10倍以上も大きいのです」と言う。「情報が届くのを待つ間、すべての部品が動作し続けていなければならないので、実際には、データ転送による電力損失は全体の99%を占めていることとなります」。

このような理由から、「情報伝達に伴う損失によって性能と効率が著しく損なわれる伝統的なチップのアーキテクチャーに、今、産業界は背を向けつつあります」とGarimellaは言う。解決策は明らかのように思われる。情報を運ぶ電気パルスが論理演算の間に進まなければならない距離を、短くすることだ。2Dチップ上に実装されたトランジスターの密度は、すでに上限に達している。そこで、二次元的に並べる代わりに三次元的に積み重ねることができれば、データ転送の間のエネルギー損失を大幅に減らせるはずだ。その結果、データ転送も高速化する。「チップの寸法を1/10にすることができれば、導線によるエネルギー損失を同じだけ小さくすることができ、情報は10倍の速度で届くようになります」とMichelは言う。彼は、未来の3Dスーパーコンピューターは角砂糖程度の大きさになるだろうと想像している。

3D実装は、どのような形になるのだろうか？ Michelは「よりよい情報伝達アーキテクチャーの例を探さなければなりません。その一例がヒトの脳です」と言う。脳には過酷な任務が課されている。平均すると、ヒトの神経組織の単位体積当たりの消費エネルギー量は、ほかの組織のざっと10倍にもなる。これは、オリンピックの陸上選手の大^{だいたい}腿四頭筋の

エネルギー要求量より多い。脳は、体積では人体のわずか2%しか占めていないが、全身の20%以上のエネルギーを必要とする。

それでも、脳はコンピューターに比べるとすばらしく効率がよく、消費エネルギー1ジュール当たりの計算回数は5~6桁も多い。脳のアーキテクチャーがその効率の高さの一因になっているとMichelは信じている。脳の回路はグリッド状ではなく、三次元的な、階層化された相互接続ネットワークになっている。

スマートな構造

このアーキテクチャーは、脳がスペースを有効利用するのに大いに役立っている。コンピューターの体積比較をすると、マシンの全体積の96%が熱輸送に使われていて、情報伝達に使われるのは1%、トランジスターやそのほかの論理デバイスのために使われるのは、なんと100万分の1%でしかない。これに対して、脳はエネルギー供給と熱輸送のためにその体積の10%しか使っておらず、情報伝達に70%、計算に20%を使っている。

さらに、脳の記憶モジュールと計算モジュールは近接した位置にあるため、ずっと前に格納されたデータも瞬時に想起することができる。一方、コンピューターの記憶モジュールと計算モジュールは離れているのが普通である。「コンピューターのアーキテクチャーをもっとメモリー中心型にしないかぎり、想起スピードの遅さを解消することはできないでしょう」とMichelは言う。3D実装が可能になれば、個々の構成要素をもっと近づけることができる。

Michelはこうした理由から、コンピューターを3D実装する場合、脳の階層的なアーキテクチャーを模倣してみる価値があると考えている⁶。そのような階層性は、現在提案されているいくつかの3Dデザインの中にすでにある。例えば、マイクロプロセッサ・チップを重ねたもの(チップ上で、トランジスターを配線して複雑なネットワークを作るこ

とができる)を、タワー型に積み上げて回路基板上で相互に連結し、これらをさらに積み重ねて、垂直方向の情報伝達を可能にするのだ。その結果、どのスケールでも同じに見える「規則正しいフラクタル構造」ができる。

Michelは、3D実装が可能になれば、原理的には、二次元アーキテクチャーをもつ現行のコンピューターに比べて体積は1/1000になり、消費電力は1/100になると推定している。しかし、脳のような「生物工学的」実装構造を導入すれば、必要な電力はさらに約1/30になり、体積はさらに1/1000になるといふ。発熱も減少するので、現在は小さい倉庫を占拠するほどの大きさがある1ペタフロップス・コンピューターを、10リットル(縦横高さが約22cm)まで小さくすることができるだろう。

コンピューター技術者がゼタフロップス・コンピューティング(ゼタは 10^{21})という途方もない高みをめざすなら、脳のような構造が絶対に必要である。今日のアーキテクチャーでは、そのようなマシンはエベレストより大きくなり、現在の世界全体で消費される電力より多くの電力を消費するものになる。ゼタフロップス・コンピューティングをどうにか可能にしそうな方法は生物工学的実装しかない。Michelらは、そのような革新により、2060年頃には、能力はともかく、コンピューターの効率はヒトの脳に並ぶだろうと信じている。それがどんなものになるのか、考えてみる価値はあるかもしれない。

(翻訳：三枝小夜子)

Philip Ball はロンドン在住のライター。

1. Garimella, S. V. et al. *IEEE Trans. Components Packaging Technol.* **31**, 801-815 (2008).
2. Chu, R. C., Simons, R. E., Ellsworth, M. J., Schmidt, R. R. & Cozzolino, V. *IEEE Trans. Device Mater. Reliability* **4**, 568-585 (2004).
3. Ellsworth, M. J. et al. *ITHERM* 266-274 (2008).
4. Shaegh, S. A. M., Nguyen, N.-T. & Chan, S. H. *Int. J. Hydrogen Energ.* **36**, 5675-5694 (2011).
5. Ruch, P. W., Rapp, T., Schmidt, T. J. & Michel, B. Studies of power density in microfluidic redox flow cells. Abstract presented at the 63rd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (2012).
6. Ruch, P., Brunschweiler, T., Escher, W., Paredes, S. & Michel, B. *IBM J. Res. & Dev.* **55**, 593-605 (2011).

応用物理学

熱アシストによる高変換効率の有機発光材料

Molecules that convert heat into light

BRIAN D'ANDRADE 2012年12月13日号 Vol. 492 (197)

蛍光性有機分子の設計によって、高効率発光ダイオードの作製が可能になった。

このデバイスは、従来品のライバルになるかもしれない。

電子ディスプレイは、インターネット利用に欠かせない手段であり、至る所で目にすることができる。中でも、モバイルディスプレイ市場は驚異的な成長を遂げており、携帯電話の販売台数は2006年に10億台を超えた¹。現在は液晶ディスプレイが主流だが、有機発光ダイオード (OLED) もモバイル機器に着々と導入されており、テレビへの使用も増えつつある。そうした状況の中で、今回、魚山大樹²が、従来品に代わりうる新しいタイプのOLEDの開発に成功した (*Nature* 2012年12月13日号 234ページ)。

OLEDディスプレイの特徴は、サブマイクロメートルサイズの厚みで働くOLEDが、各ピクセルに配置されていることである。したがって、ディスプレイ中の何百万個もの赤色・緑色・青色OLEDすべてが、高効率であり、高取率で製造可能であり、安定した光出力が可能でなければならない。これらの要求は、OLEDに用いられる有機材料を改良することによって実現されてきた。

OLED技術を推進するカギは新しい化学にある。新しい分子が常識を覆すような意外性をもたらし、新たな解決策を提供してきた。25年前、Tangら³は、現代型のOLED設計を発表した。しかし、TangらのOLEDデバイスは、電流を光にうまく変換することができなかつた。その蛍光有機材料の効率が悪かつたためである。その後1998年に

は、物理学者であるForrestと化学者であるThompsonが率いる研究チームが、りん光分子を用いたデバイスを発表し、100%近い高効率変換を可能にした⁴。蛍光分子と異なり、りん光分子はイリジウムなどの重金属原子を含んでいる。

この研究がきっかけとなり、さまざまな発光色、長い動作寿命、高い効率といった良好な特性を可能にするりん光材料が広範囲に開発されてきた。しかし、青色と緑色と赤色のりん光OLEDを用いたディスプレイの作製は、依然として困難である。なぜなら、一部のりん光デバイスの動作寿命とカラー特性が、ディスプレイ向けの厳しい性能要件を満たさないからだ。りん光材料は100%近い効率を実現する可能性があり、最も有望なディスプレイ用材料である。ゆえに、こうした問題を解決することが特に重要となる。そして今回、魚山らは、特殊なタイプの蛍光材料を用いて高効率OLEDの作製を報告したのだ。

有機分子が電気エネルギーを吸収すると、分子は元の非励起状態からエネルギーの高い励起状態へと移る。高効率デバイスの場合、励起分子が元の非励起状態に戻るときに、光子を放出することによって余分なエネルギーを放出することが望ましい。しかし、励起状態から非励起状態に遷移する際、量子力学の厳密な規則を満たさなければならない。このため、蛍光材料を用いると、多くの励起分子は光子を放出して非励起状態に戻るこ

とができず、結果として光子の代わりに熱を放出することが多くなる。この状況を変えたのがりん光材料である。イリジウムなどの重金属原子を含むりん光有機金属分子を用いると、通常なら熱に変わってしまうエネルギーを利用できるようになる。つまり、りん光分子は、電気エネルギーを吸収した後、光子を放出することによって効率よく高エネルギー状態から低エネルギー状態へと遷移するのである。

今回魚山らは、重金属原子の代わりに、熱アシストつまり、熱を利用して高効率を実現できる蛍光分子を開発した。さらに、これらの分子を用いて、りん光OLEDに匹敵する性能を持つ高効率蛍光OLEDを実現したのだ。用いた蛍光分子はカルバゾリルジシアノベンゼン系であり、合成過程において希少金属触媒や希少重金属原子を必要としない。このため、低コストで合成が可能であると、著者らは考えている。加えて、作製されたOLEDは、空色 (ピーク波長473nm) からオレンジ色 (577nm) まで複数の色を発した。

ただし、これらの蛍光分子が完全に受け入れられるようになるまでには、多くの課題がある。例えば、ディスプレイ向けに発色を改良しなければならないし、発光分子を導入したOLEDデバイスの動作寿命を最新式のデバイスと同等以上にしなければならない (おそらくこれが最も困難な課題であろう)。また、新

しいOLEDを導入した製品が実際に製造できることを証明しなければならぬ。今回の新しい発光分子が既存の分子に取って代わるかどうかは不明だが、コストと性能の質の点から有力な候補と言える。

この新しい分子を最適化するには時間と労力が必要である。しかし、この研究を指揮する共著者の安達千波²は、そうした障害を克服していただけるの経験を持った研究者だ。

(翻訳：藤野正美)

Brian D'Andrade は、Exponent 社 (米国) に所属。

1. Li, Z., Bhowmik, A. K. & Bos, P. J. in *Mobile Displays: Technology and Applications* (eds Bhowmik, A. K., Li, Z. & Bos, P. J.) 2 (Wiley, 2008).
2. Uoyama, H., Goushi, K., Shizu, K., Nomura, H. & Adachi, C. *Nature* **492**, 234-238 (2012).
3. Tang, C. W. & VanSlyke, S. A. *Appl. Phys. Lett.* **51**, 913-915 (1987).
4. Baldo, M. A. et al. *Nature* **395**, 151-154 (1998).

細胞生物学

脱アセチル化による細胞死

Death by deacetylation

WEN ZHOU & JUNYING YUAN 2012年12月13日号 Vol. 492 (194-195)

壊死はさまざまな疾患に関連して見られるが、プログラム細胞死の中で、おそらくは最も解明が進んでいないものだ。今回、サーチュインというタンパク質が、脱アセチル化反応を介して壊死の一部を調節していることが明らかになった。

壊死性の細胞死は、長い間、調節された機構であるというよりは、単なる受動的な過程と考えられてきた。例えば感染や外傷のために細胞に重度のストレスが与えられた結果、必然的に起こってしまう現象というわけだ。しかし、少なくとも壊死の一部は、ネクロトーシス¹と呼ばれる細胞プログラムによって仲介されるとする証拠が増えている。*Nature* 2012年12月13日号199ページで、Nisha Narayanたちは²、ネクロトーシスが脱アセチル化酵素活性を有するサーチュイン-2によって調節されることを示した。これは、これまでの一連の証拠をさらに後押しする結果だ。特に、壊死の特徴を示して死にゆく細胞はさまざまな疾患において見られるので、ネクロトーシスの過程の分子基盤を解明することは非常に興味深いし、有望である。ネクロトーシス機構についての知見から、疾患に関連する細胞死の阻害剤を開発するヒントが得られるかもしれない。

ネクロトーシスは、TNF- α (関節リウ

マチ³や炎症性腸疾患⁴のような疾患に関連する免疫メディエータータンパク質)によって活性化される。TNF- α が、細胞膜上の受容体TNFR1と相互作用すると、TNFR1の細胞内ドメイン側に複合体Iと呼ばれる細胞質複合体が速やかに形成される。すると、複合体Iの構成タンパク質であるRIP1が、転写因子NF- κ Bの活性化を仲介し、その結果、アポトーシスと呼ばれる別のタイプのプログラム細胞死の機構が働き出すのを防ぐ(図1a)。

RIP1はキナーゼ(リン酸化酵素)で、基質にリン酸基を付加することでその活性を調節する。RIP1のアミノ末端ドメインはネクロトーシスの仲介に不可欠である。アポトーシスにおいて主要な役割を果たす酵素であるカスパーゼ-8を阻害した場合、RIP1は複合体Iから解離する。そして、解離したRIP1はRIP3(RIP酵素ファミリーに属する別の因子)と相互作用し、複合体Iibを形成する。この複合体Iibの形成はネクロトーシスに不可欠であるため⁵⁻⁷、この複合体形成を

調節する生化学的機構が精力的に研究されている。

こうした中で、Narayanの研究チームは今回、複合体Iibの形成にサーチュイン-2が関与していることを示す興味深いデータを示した。サーチュイン-2は、脱アセチル化酵素であるサーチュインファミリーに属しており、その基質からアセチル基を取り除く活性を持つ。脱アセチル化酵素は、特に転写、アポトーシス、ストレス応答および加齢の調節に関連するとされている⁸。Narayanの研究チームは、サーチュイン-2の結合タンパク質を探索する過程で、RIP3を見いだした。また彼らは、サーチュイン-2を欠損する細胞、あるいはサーチュイン-2の薬理的阻害剤の存在下で、TNF- α が仲介するネクロトーシスが阻止されることも見いだした。この知見は、サーチュイン-2が仲介するタンパク質の脱アセチル化が壊死の制御に関与することを示唆している。

実際に、Narayanの研究チームは、サーチュイン-2がRIP3に結合するだけ

でなく、RIP1 の特定の amino 酸残基 (リシン) を脱アセチル化することも示した。この脱アセチル化は RIP1 と RIP3 の直接の相互作用に必要なと考えられる。さらに、サーチュイン-2 が存在しない場合には、TNF- α 刺激後の RIP1 と RIP3 の相互作用と定義される、複合体 IIb の形成は起こらなかった (図 1b)。

また、Narayan の研究チームは、培養マウス細胞でのネクローシスでは、RIP1 のアセチル化が大きく低下することを示した。これも、壊死における RIP1 の脱アセチル化の重要性と符合している。この RIP1 の脱アセチル化は、心臓の虚血再灌流傷害 (心臓への血液供給の途絶後に血液供給が再開する場合、心臓組織が傷害されること) のマウスモデルでも観察された。さらに、サーチュイン-2 活性を阻害すると、RIP1 の脱アセチル化が抑制され、心臓の損傷が抑制された。

ネクローシスは虚血性脳損傷も仲介するので¹、サーチュイン-2 が中枢神経系に豊富に存在していることを考えると、サーチュイン-2 が RIP1 を脱アセチル化することで、神経変性疾患におけるネクローシスにも寄与している可能性がある。

複合体 IIb で RIP1 - RIP3 が形成される理由の 1 つは、RIP3 に結合したサーチュイン-2 が RIP1 の脱アセチル化を実行できるからだと考えられる。最近の研究⁹ から、RIP1 - RIP3 は、複合体 IIb の一部として、アミロイド構造 (さまざまな神経変性疾患と関連して見られる) と呼ばれる不溶性の繊維状タンパク質塊に存在する可能性が示唆されている。したがって、タンパク質の脱アセチル化は、アミロイド形成およびアミロイド形成の見られる神経変性疾患に関与する可能性があり、アミロイドが形成された状態において安定な RIP1 - RIP3 複合体を維持する分子基盤として機能しているのかもしれない。

ところで、サーチュイン-2 の酵素活性は、代謝の中間産物である補酵素 NAD⁺ のレベルに依存している。NAD⁺ の活性低下は、細胞におけるエネルギー

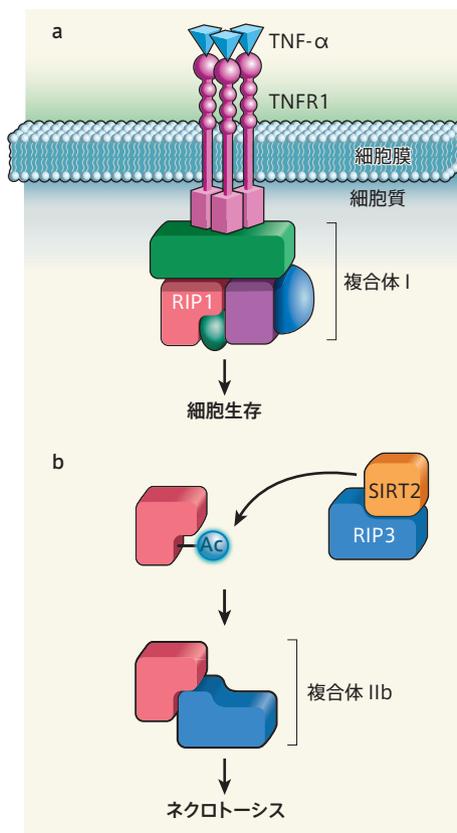


図 1 細胞死複体の進化

a. TNF- α がその受容体である TNFR1 (細胞膜を貫通しているタンパク質) に結合すると、TNFR1 が活性化され、複合体 I として知られる一群のタンパク質が TNFR1 の細胞質側に形成される。複合体 I の構成タンパク質である RIP1 は、NF- κ B の活性化を仲介し、それによって細胞の生存を促進する。b. 複合体 I から解離した RIP1 はアセチル化されているが、アセチル化された RIP1 は、RIP3 と安定した相互作用ができない。Narayan たち² は、脱アセチル化酵素であるサーチュイン-2 (SIRT2) が RIP3 と相互作用しており、RIP1 の脱アセチル化に必要であることを示した。脱アセチル化された RIP1 は、RIP3 と別の安定な複合体 (複合体 IIb) を形成し、ネクローシスを引き起こす。

欠乏と酸化ストレスに関連している。つまり、脱アセチル化 (そしておそらくネクローシス) は代謝による調節を受けるとのことだ。NAD⁺ レベルとサーチュイン-2 の活性は、ネクローシスの過程では変化しないが、虚血の急性期には、酸素欠乏のために NAD⁺ の枯渇が起こる。ただ血流が再開すると、NAD⁺

レベルが再び回復する。つまりこのことが、虚血の最初の段階では大規模な細胞死が起こらず、血流再開後に大規模な細胞死が起こることの説明になるかもしれない。したがって、血流が再開する前にネクローシスを阻止することで、虚血性損傷を抑制できるかもしれない。

なお、複合体 IIb の構成要素や、複合体 IIb がどのように調節されているのかについてはほとんど解明されていない。Narayan たちの研究は、この複合体 IIb の 1 つの局面を明らかにすることで、ネクローシスの調節において新しい段階が存在することを示した。しかし、まだ、解明すべきことはたくさんある。例えば、アセチル化された RIP1 は RIP3 と相互作用しないことを考えると、RIP3 に結合するサーチュイン-2 はどのように RIP1 を脱アセチル化するのだろうか? RIP1 と RIP3 は、RIP1 の脱アセチル化によって安定化されると考えられる一過性の相互作用複合体を形成する可能性もあれば、RIP1 と RIP3 を近くにまとめておくためのほかの足場タンパク質が存在する可能性もある。また、RIP1 と RIP3 のお互いの相互作用には、キナーゼ活性も不可欠である。RIP1 と RIP3 は両方もが、自己およびお互いをリン酸化する。しかし、リン酸化と脱アセチル化が、複合体 IIb の活性化状態を達成するために、どのように協調するのかわかっていない。特に、ネクローシスのヒト疾患における意義を考えると、このような疑問に対する答えを見つけることが、今後の主要な目的になるだろう。

(翻訳: 三谷祐貴子)

Wen Zhou と Junying Yuan は、ハーバード大学医学系大学院 (米国) に所属。

- Degterev, A. et al. *Nature Chem. Biol.* **1**, 112-119 (2005).
- Narayan, N. et al. *Nature* **492**, 199-204 (2012).
- Taylor, P. C. & Feldmann, M. *Nature Rev. Rheumatol.* **5**, 578-582 (2009).
- Chowers, Y. & Allez, M. *Curr. Drug Targets* **11**, 138-142 (2010).
- He, S. et al. *Cell* **137**, 1100-1111 (2009).
- Cho, Y. S. et al. *Cell* **137**, 1112-1123 (2009).
- Zhang, D. et al. *Science* **325**, 332-336 (2009).
- Milne, J. C. & Denu, J. M. *Curr. Opin. Chem. Biol.* **12**, 11-17 (2008).
- Li, J. et al. *Cell* **150**, 339-350 (2012).

天文学

恒星進化における「真の原始星」を発見

A truly embryonic star

DAVID A. CLARKE 2012年12月6日号 Vol. 492 (52-53)

恒星として誕生するわずかに前の段階にある「真の原始星」が、ついに発見された。

巨大分子雲が重力収縮して完全に成熟した恒星になる過程には、これまでミッシング・リンク（失われた環）があった。

今回の発見は、それをつなぐものとなるだろう。

観測可能な宇宙には、10倍程度は多かったり少なかったりすることはあるだろうが、おおよそ 10^{22} 個の恒星がある。私たちが住む銀河系（天の川銀河）では、その質量の約20%を約 2×10^{11} 個の光を放つ星が占め、別の20%あるいはそれ以上は、恒星になれなかった天体（小さすぎて熱核融合を点火できなかった褐色矮星^{わいせい}）や恒星の残骸（ブラックホール、中性子星、白色矮星など）が占めている¹。

自然が、広範囲に分布した物質を常にかき集め、その密度を24桁も濃縮し、宇宙を照らす核融合炉すなわち、恒星を作り出す方法を見いだしたのは驚くべきことだ。しかし、そのメカニズムの詳細がどのようなものであるかは不明で、今ようやく解明されつつある。今回、米国立電波天文台（NRAO；バージニア州シャーロットビル）のJohn J. Tobinらは、重要でありながら、これまで見つかっていなかった要素を、*Nature* 2012年12月6日号83ページに掲載された論文で報告した²。つまり、真に胎児段階にある原始星の初めての発見とその測定だ。

恒星はどのようにして生まれるのか。かいつまんで説明すると次のようになる³。星の間の領域を満たす希薄なガス、つまり星間物質の約5%は、巨大（直径6～150パーセク）で低温（数十ケルビン）の分子ガス雲（主に水素分子からなり、微量の一酸化炭素、水などの分子を含む）を作っている。分子ガス雲の密度

は、 1cm^3 当たり、約300個の分子が含まれる程度だ。その中の「クラump」と呼ばれるわずかに密度の高い領域が、近くの超新星爆発などの偶発的な摂動が引き金となって、自らの重力のために収縮して「分子雲コア」を形成する。分子雲コアはかなり密度が高く、 1cm^3 当たり約 10^5 個の分子を含む。

分子雲コアでは、強くなった内部乱流が重力によるさらなる収縮を押しとどめ、見かけ上は安定した中間点に達する。しかし、力学的な摩擦、磁力による制動、常に作用している重力により、物質は分子雲コアの中心に向かって徐々に落下していく。分子雲コアの中心では、高圧と高温により分子結合が壊れ、原子から電子が剥ぎ取られ、電離したガスは引きずられた磁場に結合される。分子雲コアの高温で電離した領域は、中心の凝集部の周囲にエンベロープ（星を覆う雲）を形成する。中心の凝集部は、やがては原始星と呼ぶことができるほど、周囲の環境と区別できるようになる。原始星が放つ光（大部分は遠赤外線）は、完全に成熟した星のエネルギー源である熱核融合ではなく、重力エネルギーの放出によるものだ。

フィギュアスケーターが腕を縮めることによってスピンの回転速度を上げると同様に、原始星の回転速度も多量の物質が星に降着すると速くなる。回転は非常に速くなり、その遠心力で収縮はそれ

以上進まなくなってしまう。原始星からその角運動量の大半を奪い去る巧妙なメカニズムがなければ、私たちが知っているような星は存在しないはずだ。実際には、磁力、遠心力、重力が組み合わさった作用によって、流入する物質の約10%は向きを変えられ、細いビーム状のガスの流れとして星から流れ出る。これは「原始星ジェット」と呼ばれる⁴。このジェットが、角運動量の約70%を分子ガスに戻して原始星の回転速度を下げ、その結果、原子星の収縮は続く⁵。

原始星は、「若い星状天体」（YSO）と呼ばれる天体群の最も若いメンバーだ。YSOは光のスペクトルによって、第0段階、第I段階、第II段階、第III段階という4つのグループに分けられる⁶。この分類は、星の進化の道筋を表していると考えられており、番号が大きいほど年齢の高いYSOに相当している。

第0段階の天体（多くの研究者が「真の原始星」と呼ぶ胎児期の星）は、その質量がエンベロープの質量よりも小さい。第I段階の天体は、その質量がエンベロープの質量を超える原始星だ。第II段階か第III段階のどこかで熱核融合が点火し、それによる突然のエネルギー放出で、エンベロープと分子雲コアに残っているものの大部分が吹き飛ばされる。後に残る天体は、前主系列星と呼ばれる。その周囲では、星の赤道面に位置する円盤に捕らえられた塵^{ちり}とガスが、惑星

や彗星などの天体を作り、新しい星の周囲の軌道に残る。

巨大分子雲の重力収縮から前主系列星の出現までの星の進化プロセス全体は 10^8 年以内に行進し、真の原始星段階は 10^5 年にすぎない。太陽のような星の場合、その寿命は約 10^{10} 年で、人間の一生に換算すれば真の原始星段階は約7時間でしかない。

この段階は、星の進化においては短いけれども、重要な期間だ。天文学者たちはそれを観測しようと最大限の努力を重ねてきたが、果たせなかった。分子雲は大昔から観測されてきており、最も有名な例はオリオン星雲とも呼ばれるM42で、オリオン座のベルトの三つ星の南に裸眼で見える(図1)。しかし、星の形成における分子雲の役割が正しく理解されるようになったのは1960年代になってからだ^{7,8}。また、分子雲コア⁹と第I段階から第III段階のYSO¹⁰も、かなり前から観測されてきたが、分子雲コアと第I段階YSOの間には概念的に大きな隔たりのある。

ということは、とてもたくさんの物理現象が、第0段階に非常に短い時間スケールで起こり、この隔たりを埋めているにちがいがなく、それを観測できていないことが、天文学者たちにとって、星の進化におけるミッシング・リンクとなっていた。真の原始星の発見が「赤外線天文学の究極の目標」とされてきたのは、このためだ¹¹。

第0段階の原始星を直接検出することは難しい。第0段階の原始星は持続期間が短く、光度が小さく、(定義により)それ自身の質量の何倍ものガスと塵に覆い隠されているからだ。原始星を直接観測できるのは、取り囲んでいる物質が十分に降着するか、あるいは吹き飛ばされてからだ。幸い、遠赤外線の波長は、大量のガスと塵があっても透過できる。しかし、Tobinらが使ったサブミリ波干渉計(SMA、ハワイ・マウナケア山)や、CARMA(米国カリフォルニア州)などの電波望遠鏡が、原始星の降着円盤ほど



図1 オリオン星雲 (M42)
この画像の下半分に写っている巨大分子雲M42は、主要な「星のゆりかご」の中でも地球に最も近く、ここでは星の進化の初期のあらゆる段階にある星が見つかるはずだ。

小さいものを、それを取り囲むエンベロープから見分けるのに必要な分解能を備えるようになったのは最近のことだ。

今回、直接撮影されたのは、第0段階の原始星そのものではない。Tobinらは、第0段階の原始星の周囲の降着円盤を検出することによって、原始星の存在を推測した(参考文献2の図2を参照)。さらに、観測された円盤の回転速度から、ケプラーの法則を使って生まれつつある原始星の質量を決定した。

Tobinらは、原始星の質量を初めて測定した訳ではないかもしれないが、彼らが観測した原始星(おうし座にあり、L1527 IRSと呼ばれている)は、第0段階原始星の例としてこれまでで最もよいものだ。L1527 IRSは太陽の 0.19 ± 0.04 倍の質量を持ち、これは取り囲むエンベロープの質量の20%であり、これまでの最もよい例の10分の1の小ささだ。さまざまな意味で、L1527 IRSは、徐々に重力収縮する分子雲コアと第I段階YSOの出現との中間状態を、“現行犯”としてとらえたものといえる。

L1527 IRSは、本当に、赤外線天文学と星の進化の研究における「究極の目標」だったのだろうか。それは、後の科学史家が決めることだ。しかし、これは明らかに大きな発見であり、星がどのようにして誕生するのかに関する私たちの理解は、今後行われるL1527 IRSの研究で大きく深まるはずだ。

(翻訳: 新庄直樹)

David A. Clarkeは、カナダのノヴァ・スコシア州ハリファックスにあるセントメリーズ大学天文・物理学計算宇宙物理学研究所に所属。

1. Binney, J. & Tremaine, S. *Galactic Dynamics* 2nd edn (Princeton Univ. Press, 2008).
2. Tobin, J. J. et al. *Nature* **492**, 83–85 (2012).
3. McKee, C. F. & Ostriker, E. C. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* **45**, 565–687 (2007).
4. Clarke, D. A., MacDonald, N. R., Ramsey, J. P. & Richardson, M. *Phys. Can.* **64**, 47–53 (2008).
5. Woitas, J. et al. *Astron. Astrophys.* **432**, 149–160 (2005).
6. Barsony, M. in *Clouds, Cores, and Low Mass Stars* ASP Conf. Ser. Vol. 65 (eds Clemens, D. P. & Barvainis, R.) 197–206 (Astron. Soc. Pacif., 1994).
7. Elmegreen, B. G. & Lada, C. J. *Astrophys. J.* **14**, 725–741 (1977).
8. Blaauw, A. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* **2**, 213–246 (1964).
9. Myers, P. C. & Benson, P. J. *Astrophys. J.* **266**, 309–320 (1983).
10. Lada, C. J. & Wilking, B. A. *Astrophys. J.* **287**, 610–621 (1984).
11. Wynn-Williams, C. G. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* **20**, 587–618 (1982).

ナノ粒子の爆発をカメラが捕らえた!

Nanoparticle blast caught on film

EUGENIE SAMUEL REICH 2012年12月6日号 Vol. 492 (16-17)

燃焼現象を利用して、ナノ粒子を製造する研究に拍車がかかっている。

化学反応の映像にしては、インパクトのあるものだった。小さな液滴がスクリーンを横切るように漂う。まるでジェームズ・ボンドの映画007のオープニング映像(ガンバレル・シークエンス)へのオマージュのようである。ボンドを狙う銃口がスクリーンを横切るおなじみのシーンだ。しばらくして、スクリーン中央で液滴が火を噴き、破片が粉々に飛び散った。

この映像を見て科学者は釘付けになった。液滴の死は、創造の瞬間でもあったからだ。この映像が上映されたのは、2012年11月、ボストン(米国、マサチューセッツ州)で開かれたMaterials Research Society (MRS) 会議でのことだった。ブレーメン大学(ドイツ)のプロセスエンジニアLutz Mädlerは、均一な金属酸化物ナノ粒子の合成過程を初めてカメラで捕らえた(「燃焼合成」参照)。Mädlerの目標は、直径10億分の1mという微小な物質を低コストで速く合成する方法を開発することである。こうした微粒子状の物質は、触媒や医用イメージングプローブなどに利用される。

Mädlerのプレゼンテーションは、ナノ粒子の燃焼合成を専門に扱う初のMRSセッションで行われた。この燃焼合成技術は、通常なら高価な前駆体を用いて複数の複雑な手順を経るナノ粒子合成工程を、燃焼によって改善することを目的としている。方法は単純であり、前駆体物質の微小液滴に点火するだけで粒子を大量に合成できる、とMädlerらは語る。こうした製造方法は、タイヤ用カーボンブラックなどの製造に数十年も前から広く利用されている。

「工業界から誕生して急成長した分野なので、学术界に後継者がいなかったのです」とスイス連邦工科大学(ETH)チューリッヒ校のプロセスエンジニアSotiris Pratsinisは言う。「こうした研究は立派な基礎研究なのですが……」。

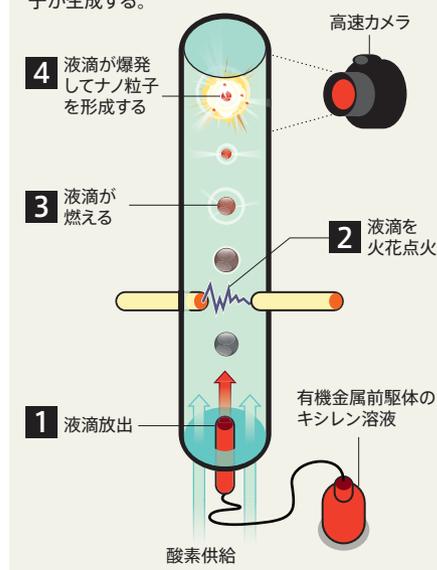
Mädlerの研究は、燃焼合成の欠点の克服をめざしている。燃焼合成プロセスは、ほとんど理解されておらず、十分な制御が行われていないのだ。2002年、MädlerはPratsinisとともに、有機溶媒に溶かした有機金属錯体を燃やすことによって金属酸化物ナノ粒子を合成する方法を開発した(L. Mädler *et al.* *J. Aerosol Sci.* **33**, 369-389; 2002)。しかし、この方法は実験室では成功したが、原料が高価すぎてほとんど商業的応用には至らなかった。そこでMädlerは、鉱石から直接生成できる金属硝酸塩などの安価な前駆体で再現できるよう、プロセスを分割して検討することにした。

今のところ、金属硝酸塩を用いた場合、内部が中空になるなど、不均一なナノ粒子しか合成できていない。しかし、有機液滴燃焼における混合過程が、均一な粒子生成に役立つことが高速ビデオ観察で明らかになったとMädlerは言う。「よい前駆体と添加剤を選ぶことによって、燃焼が改善され、質のよい最終生成物が生成されるでしょう」とETHチューリッヒ校のKarsten Wegnerは言う。ナノ粒子燃焼合成プロセスのスケールアップ法についてアドバイスを求める化学品会社が増えている、とWegner。

工業界は燃焼合成技術の商業的魅力を探っており、研究者らは、医用イメー

燃焼合成

液滴を爆発させることによって、質の良いナノ粒子が生成する。



ジング、センシング、毒性研究などの用途に合った特殊なナノ粒子の開発に取りかかっている。カリフォルニア大学デービス校(米国)の機械エンジニアIan Kennedyは、燃焼を利用して合成したユーロピウム(強くりん光を発する高価で風変わりな元素)を含むナノ粒子に抗体を結合することによって、環境毒性や生物毒性を知らせる検出器が作れることをMRS会議で報告した。「こうしたナノ粒子は、これまで燃焼合成法で合成されたことのない特殊な材料です」と、ミシガン大学(米国アナーバー)で燃焼合成の研究に携わる機械エンジニアのMargaret Wooldridgeは言う。

液滴を爆発させること自体は別に珍しいことではない、とKennedyは言う。彼は1970年代にディーゼル燃料で液滴爆発を研究していたのだ。大事なのはMädlerが開発した撮影技術で、このおかげで、生成した材料の特性に爆発がどのような影響を及ぼすかについて、材料科学者は深く理解できるようになるだろう。「この分野は、燃焼研究と材料科学を結ぶ架け橋です」とWooldridgeは言う。「多くの若手が参入しつつある成長中の分野でもあるのです」。

(翻訳: 藤野正美)

科学予算の支出は、スピードより安定性

Haste not speed

2012年12月6日号 Vol. 492 (8)

議会在科学予算の予測可能性と安定性を高めることが、米国の科学のためになるのだ。

米国の超伝導超大型加速器SSCの悲話は有名だ。約20億ドル(約1700億円)をかけてテキサス州の平原での地下トンネルの掘削が行われた後、米国議会は、1993年になって、この陽子加速器の建設プロジェクトを一挙に中止してしまった。

これと対照的なのが、スイスのジュネーブ近郊に建設されたヨーロッパの素粒子物理学研究施設CERNで、予算の支出が厳然と続けられ、これが大型ハドロン衝突型加速器の建設に用いられた。CERNに参加する20か国は、すでに決まっている5年予算に対して、条約に定める特定額の資金をそれぞれ拠出している。

つまり、ヨーロッパでは科学予算が決まるまでが遅いが、支出は安定的に行われ、米国での予算は、議会歳出委員会の年1回の決定によって支出されるが、安定性に欠けているということだ。両者のこの明白な違いが、先の大統領科学技術諮問委員会(PCAST)の報告書(*Nature* 2012年12月6日号18ページ参照)で指摘された。

運営に苦勞しているのは大規模な研究機関だけではない。米国の科学部局の最重要予算でさえかなり変動し、それが破壊的作用を生み出している。例えば、米国立衛生研究所(NIH)の予算は、1998年から2003年までの間に倍増し、その結果、多くの大学で、学部の新設、博士課程を修了した学生の採用、建物の新設が行われた。しかしその後、NIHからの資金が突然途絶え、生物医学分野の



ブームは終わりを迎えたのだ。

議会歳出委員会が複数年度予算の歳出に全力を尽くす可能性は低い。これに対して、PCASTの報告書では、米国の予算サイクルの最悪の側面を抑制するための妙案が示されている。

第1に、政府系研究機関が将来に向けた予算計画を始めるよう提言している。たとえ、議会歳出委員会がそれを無視してしまう可能性があっても、である。ワシントンDCでは、どのようなプログラムであっても、その計画過程で中身が明らかになると、予算削減派議員が大なたをふるう対象になりやすくなる、という考え方があられる。しかし、それは正しくない。

現に国防総省は、これまで何年にもわたって、5～6年ごとに予算計画を公表してきている。議会歳出委員会は、この計画に従う義務はないが、国防総省が示す根拠を知ることができる。また、米航空宇宙局(NASA)も抽象的な5年予算

を立てている(ただし、大型ミッションの費用見積りが的外れだったこともある)。これらを見習って、NIHも米国立科学財団(NSF)もエネルギー省も、しっかりとした5年予算を立てるべきだ。

第2の提言は、議会歳出委員会が、授權委員会(義務的経費を決める委員会)の定めるレベルに適合した予算額を認めることだ。授權委員会に属する議員は、担当する科学部局を熟知しており、2～3年ごとに予算計画を立てることが多い。しかし、そうした予算計画はほとんど創作に近く、例えば直近の2012年NSF予算の再授權では、78億ドル(約6600億円)とされた額が、議会歳出委員会で最終的に決まった予算額では、70億ドル(約6000億円)にとどめ置かれてしまった。

もちろん米国流がすべて悪い訳ではなく、利点もある。米国の科学部局は、1年の間に、新しい科学的アイデアを採用し、明確なビジョンを持つプログラムを提案し、そのための予算を獲得することができる。そのようなことがヨーロッパで起こるのはまれであり、中には、研究の最盛期を相当過ぎてから予算が支出された研究プログラムさえある。

しかし、科学予算の場合には、予測可能性はスピードよりも価値があり、意外性より安定性のほうが長所となる。米国の科学的活動はダイナミックだが、科学予算がもう少し堅実であったほうが、米国の科学のために役立つと考えられるのだ。

(翻訳: 菊川要)

国際リニアコライダー ILC は、日本で

Head of the line

2012年12月20/27日号 Vol. 492 (312)

日本の科学者による次期大型衝突型加速器への取り組みは、国際的な支持に値する。

国際リニアコライダー (ILC) は、物理学者の夢物語だ。総延長31kmの超伝導装置が提案されており、ヨーロッパの素粒子物理学研究所CERNに設置された大型ハドロン衝突型加速器(LHC)の後継機となることが確実視されている。今のところ、ILCは机上の検討課題に過ぎないが、素粒子物理学者は、ILCを建設して、物質の性質に関する基礎的論点をこれまで以上に詳しく調べることを期待している。

ILCのような総工費数十億ドル(数千億円)規模の大型施設は、たとえ経済が順調な時期であっても、計画と政治的調整に何十年もかかるものだ。ところが今は、経済も順調ではない。世界各国の政府が、一世代に一度あるかないかというような最悪の経済危機に苦しんでいるとき、こうした規模のプロジェクトの見通しは、控えめにいっても困難と言わざるを得ない。

しかし希望の星が1つだけある。それが日本だ。この島国は、ILCのような大型国際プロジェクトを切望しており、2005年には、ITERの大型核融合プロジェクトをほぼ手中におさめていたが、僅差でフランスに奪われた。ITERプロジェクトを支援した日本の政治家と物理学者は落胆したが、断固たる姿勢を維持し、ILCを日本に誘致する強力な超党派の政治グループを結成した。

この超党派グループは、ILCを日本へ誘致する活動を何年にもわたって熱心に続けてきたが、その後起こった2つの出来事が、その実現可能性を高めることに

なった。その1つが、2011年3月11日の東日本大震災で、東北地方が地震と津波による壊滅的な被害を受けた。その後、復興予算が被災地域に投入され、地域内に建設中の科学都市がILCの推進拠点として浮上しているのだ(日本国内には第2のILC建設候補地として、九州南部もある)。

第2に、2012年7月にCERNで発見されたヒッグス粒子が、科学研究の新たな目標をもたらしたことだ。たとえ最大のエネルギーで運転しなくても、ILCは、新しい素粒子の詳細な研究を行うことが可能なのだ。

日本の政治家は、この2つの出来事を考えに入れたうえで、ILCへの関心を高めているようだ。2012年12月16日の総選挙に勝利した自由民主党の綱領にも、ILCの件が記載されている。しかも日本は、技術的にもILCプロジェクトを遂行する準備が整っている。1990年代から2000年代にかけて建設された多くの知名度の高い実験で、日本が先進の加速器を取り扱う技能と工業的ノウハウを有することが示された。また日本は、ビームの収束方法に関する研究など、いくつかの領域で、ILCの研究開発を主導してきている。

ただし、ILCは日本だけで行えるものではなく、全世界からの専門知識、資金と現物出資が必要だ。ヨーロッパもこの考え方に同調しているようだ。そもそも日本はCERNに資金を拠出しており、CERN自体は、自前の加速器を用いた研究で手いっぱいなのだ。一方、米国にお

けるILCに対する支援は、かなり弱く、国内の主力研究所であるフェルミ国立加速器研究所(イリノイ州バタビア)は、主力の加速器を失い、その代わりに、野心的なニュートリノ研究プログラムに取りかかった。ただし、この研究と継続中のLHC研究とILCを支えるために十分な予算がない。

欧米の科学者は、ILCプロジェクトの支持にまわるべきだ。前向きに考えるヨーロッパ人にとって、このような支持は、部品と人的資源の可能な限りの提供を明確に約束することを意味する。米国人にとっては、ニュートリノ研究をスローダウンさせる意志が必要となる可能性が非常に高い。米国人にとっては受け入れがたいことかもしれないが、米国の物理学者は、米国が素粒子物理学の最前線に立ち続けるための現実的選択肢がILCへの参加であることが心の底ではわかっているのだ。

海外から支援の声明が出ても、ILCの開始決定が保証される訳ではない。日本政府も態度が明確になっているとはいえ、今後、ILCプロジェクトの利点を内部で議論して、その建設に責任を負うためのプロセスを決定しなければならない。それでも、海外からの支援の意向が早くから明らかになれば、実現への推進力となる可能性は高い。そうなれば、日本にとっても世界にとっても大勝利ということになる。

■
(翻訳：菊川要)



Volume 493
Number 7430
2013年1月3日号

宇宙の秩序：天の川銀河と「双子」の関係にあるアンドロメダ銀河（M31）を周回している矮銀河の軌道平面

COSMIC ORDER: A corotating plane of dwarf galaxies orbits the Andromeda galaxy, the Milky Way's twin

巨大渦巻銀河は、小さな系が階層的クラスタリングと呼ばれる過程によって集合して形成される。周辺の軌道上には矮小銀河があり、これらは銀河の前駆天体の残骸と考えられている。しかし、天の川銀河周辺の矮小銀河に関する最近の研究で、矮小銀河の軌道が無秩序に分布しているという説に異論が唱えられるようになり、銀河形成に関する現在の理論にも疑問が投げかけられている。今回、「共回転する複数の矮小銀河が形成する平面」という整然としたパンケーキ様の構造がアンドロメダ銀河周囲で発見され、こうした異論がさらに説得力を持つことになった。アンドロメダ銀河は天の川銀河のすぐ隣りにあり、多くの点で「双子の片割れ」とみられている。パンケーキ様構造はきわめて薄いのに、この中にほぼ半数のアンドロメダ系の矮小銀河が含まれるのだ。また、平面内にある15個の衛星銀河のうちの13個が同方向に回転している。写真はアンドロメダ銀河で、2つの衛星銀河も見えている。

アカラ紀の生物が海洋性であるとする説に疑問を投げかけた。オーストラリア南部の岩が化石化した土壌（古土壌）であるとする新たな解釈によって、生物の一部は陸上に生息していたことが示唆されたのだ。一部のエディアカラ化石は低温で乾燥した土壌に棲む大型付着性生物であったとする新たな仮説は、エディアカラ化石の外観および保存状態が、生物的土壌クラストの地衣類やその他の微生物コロニーに似ているという観察結果と符合する。

脳：視覚皮質では神経抑制が支配的

Neural inhibition holds sway in visual cortex

麻酔下で記録された視覚皮質の神経活動は、例外なく興奮性電流と抑制性電流とのバランスの産物として表されるため、この関係が視覚的特性に対するニューロンの選択性を決めると考えられてきた。今回 M. Carandini らは、麻酔下および覚醒中のマウスで測定した一次視覚野の細胞内活動を比較した。麻酔下では興奮と抑制がほぼバランス状態なのに対し、覚醒状態では抑制のほうが強く、刺激の空間範囲もより広いことがわかった。したがって、覚醒下での視覚応答は抑制に支配されており、これが応答の時間的、空間的な範囲を制限して視覚の選択性を形作っていると考えられる。

発生：振動する遺伝子を介する胚でのスケーリング

Embryo scaling via oscillating genes

発生中の生物個体は、成長する間にどのようにして体の各部位の比率を維持しているのだろうか。この「スケーリング」について、その実体はほとんどわかっていないが、今回、この基本的な疑問を解くための新たなモデルが報告された。このモデルは、マウス中胚葉細胞をシャーレ内で *ex vivo* で培養するもので、中胚葉のパターン形成と体節形成がスケーリング現象を伴って進み、完了する。この方法により、胚が周期性のある（振動する）遺伝子活性を用いて、各部位の比率を維持していることが明らかになった。

遺伝：ヒトの腸内微生物叢の遺伝的変動

Gene variation in human gut microbes

今回、欧州の MetaHIT（ヒト腸内細菌叢メタゲノム）計画と米国立衛生研究所の HMP（ヒト常在細菌叢ゲノム計画）のメンバー間での共同研究により、メタゲノムの変動を解析するための枠組みが構築され、これを使って、欧州と北米の207人から得た252の糞便メタゲノムについて、一塩基多型（SNP）、短い挿入や欠失、構造変異体の解析が行われた。変動のパターンから、個人それぞれに特有のメタゲノム遺伝子型があることが示唆され、個人に合わせた食餌療法や医薬品選択に役立つデータがそれから得られる可能性が出てきた。

物性：閃光が誘電体を伝導体に変える

Dielectrics turned conductor in a flash

誘電体における光場を用いた超高速信号操作の可能性について、2つの研究グループが報告した。これまで、電気信号処理の最適材料は半導体とされてきた。しかし、誘電体などの絶縁体は、原理的に高速応答が可能で、魅力的な代替材料となる可能性がある。ただ、誘電体は通

常、低電場では伝導性がきわめて低く、高電場では絶縁破壊を起こす。ところが、誘電体の電子物性は数サイクルのレーザーパルスで制御でき、そうしたパルスであれば、高電場でも誘電体に損傷を与えない。A. Schiffrin らは、制御された数サイクルの波形を持つ強いレーザー光場によって、光の周期の範囲内（1フェムト秒以内）で誘電体を絶縁体から伝導体に変換できることを実証した。一方、M. Schultze らは超高速可逆性という重要な問題に取り組み、誘電体を劣化させることなく光場で繰り返しオン・オフ切り替え可能なことを実証した。

進化：エディアカラ紀の陸上生物

Coming in to land

エディアカラ紀（6億3500万～5億4200万年前）の化石は世界中のさまざまな堆積層で見つかり、浅海から深海で生成したものと一般に考えられている。これらの化石は、その後のカンブリア紀に爆発的に進化した海洋性無脊椎動物の初期の祖先動物、巨大な海洋性原生生物および地衣化した真菌類だと考えられてきた。今回 G. Retallack は、エディ



Volume 493
Number 7431
2013年1月10日号

移動する山々：氷河作用が原因で、気候変動に応じて大きな変化を起こすようになったアルプスの地形

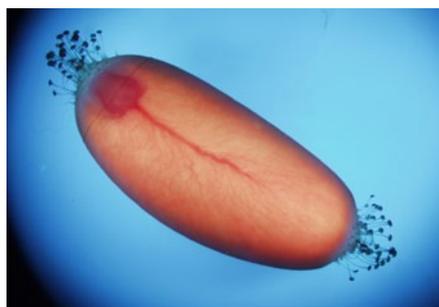
MOVING MOUNTAINS: Glaciation primes an alpine landscape for dramatic response to climate change

地球表面の多くの部分は、過去 250 万年間に起こった第四紀の寒冷期に氷河作用を受け、その痕跡は現在も山岳地形に残されている。後氷期の地形には、広い地域が同じ高度に集中している傾向があるが、こうした特徴がその後の氷河作用にどのような影響を及ぼしたかは不明である。今回、V. Pedersen と D. Egholm は、氷河作用の数値シミュレーションと、高山地形の 2 つの事例研究（第四紀に、氷河活動がほとんどなかったスペインのシエラネバダ山脈および氷河によって著しい変形を受けた米国アイダホ州のピタルルート山脈）を結びつけたモデルによる検討を行った。その結果、先に起こった氷河作用によって、気候が氷河の広がりにはほぼ線形的に影響していたシステムから、気候の小さな変化が大規模な氷河拡大をもたらすようなシステムへと変化したことがわかった。この結果によって、第四紀における侵食の長期にわたるパターンを説明することができる。

進化：脊椎動物の頭蓋顔面の初期進化

The face of early vertebrate evolution

ヌタウナギは最も原始的な現生脊椎動物であり、その体の構造および発生の研究が進めば、きわめて謎の多い脊椎動物の頭部の構造の進化を解明する手がかりとなる。しかし、ヌタウナギは深海性であることなどから胚の入手が難しく、1899 年の胚発生に関するもの以降報告がない。数年前、倉谷滋くらたにしげる（理化学研究所）らが人工飼育に成功したことで、ようやくこの奇妙な動物の本格的な発生学研究が再開された。今回、ヌタウナギ *Eptatretus burgeri* の頭蓋顔面の発生が初めて詳細に示され、顎を持たないヤツメウナギとヌタウナギのみに共通する胚発



卵殻内で成長するヌタウナギの胚。左が頭部。

生パターンが明らかになった。これは、「すべての脊椎動物の祖先」に当たる動物が持っていたものかもしれない。

遺伝：ヒト集団内で最近起こった遺伝的変動

Recent genetic change in a human population

米国立心臓血液研究所（NHLBI）のエキソーム塩基配列解読計画の一環として、欧州系米国人とアフリカ系米国人 6500 人以上のエキソームが解読された。今回これらのデータを使って、タンパク質コード領域内の一塩基変異（SNV）のうち約 73%、また有害と思われる SNV のうち約 86% が、過去 5000 年～1 万以内に生じたものであると推定された。これは、進化の歴史からみれば短い期間であり、人口が急激に増加した時期と一致している。アフリカ系米国人に比べると欧州系米国人のほうが、必須遺伝子やメンデル型疾患の遺伝子に有害な変異を多く持っている。これらのデータは、最近のヒト集団では変異の起こりうる余地が広がっており、それがメンデル型疾患という負担にも影響を与え続けてきたこと

を示唆している。だが、それは同時に、有益な遺伝的変化をも促進する可能性が高いということであり、今後の世代でそうした有益な変化が選択されていくと考えられる。実用面では、この研究成果は、遺伝子マッピング研究の際に疾患の原因となる変異の優先順位を付けるのに役立つだろう。

工学：ソフトマターの秩序立った振る舞い

Soft matter shapes up

コロイド粒子は、表面エネルギーを最小化することで表面積が最小の球かトポロジ的に球と等価な形状をとることが一般的である。今回、ドーナツ型の $g=1$ 、「眼鏡型」の $g=2$ から $g=5$ まで、より高い「種数」（ g 値）のコロイド粒子が合成され、その性質が調べられた。これらのコロイド粒子をネマチック液晶に導入すると、コロイド粒子が整列し、液晶流体中に三次元配向場と欠陥が生じ、これらはいろいろな方法で操作することができ、トポロジカル量子数を調べることができる。今回の結果は、ソフトマター分野やコロイド・液晶応用の分野に新しい研究領域を切り開くものだ。

構造生物学：初めてとらえられたインスリンと受容体の結合のようす

A first look at insulin-receptor binding

インスリンとその受容体との複合体の三次元構造は、30 年もの間研究が続けられてきたにもかかわらず、受容体タンパク質の調製法が複雑であるために解明されていなかった。今回、インスリン受容体の主要な結合部位とインスリンとの相互作用の一端が初めて明らかになった。これは、短縮型の受容体複合体に結合したインスリンの 4 つの結晶構造に基づくものである。意外にも、受容体のロイシンリッチリピートを含むリガンド結合ドメインとインスリンとの相互作用は、ほとんどが間接的なもので、インスリンと受容体の相互作用を担っているのは、二量体である受容体中のもう 1 つのインスリン結合ドメインに由来するらせん状のペプチドセグメント（ α CT）であることがわかった。



Volume 493
Number 7432
2013年1月17日号



左に曲がれ：神経伝達物質の左右非対称な放出がショウジョウバエを正しい方向に進ませる

TAKE A LEFT: Asymmetric neurotransmitter release keeps fruitflies on track

ショウジョウバエは左右非対称なにおい刺激に遭遇すると、それが右と左のどちらの方向から来るのかを識別できる。今回 R. Wilson たちが、こうした識別能力の神経基盤を明らかにした。ショウジョウバエの右の触角がにおい刺激を受けると、右の触角から生じる個々の発火が左側の脳では右に比べて3分の2程度の量の神経伝達物質放出しか引き起こさない。その結果、右側にある中枢ニューロンは、左側のニューロンに比べて数ミリ秒早く、またやや高めの頻度で発火するようになる。歩行中のハエは、脳でこうしたごく小さな非対称性を検出することで、1歩を踏み出すより早く、右に向きを変え始めるのだ。

とに成功したのだ。得られた多結晶材料の構造は、nm スケールの双晶ドメインが大半を占め、合成ダイヤモンド単結晶を上回るきわめて高い硬度、高い酸化温度、きわめて高い破壊^{じんせい}性を兼ね備えた固体となった。

神経生物学：記憶の機構を再考する

Rethink on memory mechanisms

長期増強 (LTP) 維持の基盤となる特異的分子機構が明らかになり始めたのは、つい最近のことで、薬理的阻害剤を用いた実験から、LTP 維持には、プロテインキナーゼ M- ζ (PKM- ζ) の持続的な維持が重要である可能性が示唆されたばかりだ。今回、2つの研究チームが、遺伝子操作により PKM- ζ を持たないマウスを作製し、LTP と記憶における PKM- ζ の役割をより直接的に検証した。R. Huganir らと R. Messing らはそれぞれ、PKM- ζ の喪失は、LTP あるいは記憶形成に影響しないことを見いだした。そしてこのような変異マウスでは、PKM- ζ が存在しないにもかかわらず、このキナーゼの阻害剤によって記憶が破壊される。これらのデータは、LTP 維持に対する PKM- ζ の役割に疑問を投げかけており、長期可塑性を調節する重要な分子を探す研究が再び始まることだろう。

再生医学：成体での心臓細胞の置換

Heart-cell replacement in the adult

哺乳類の心臓の恒常性は成体期を通して維持されるが、これに既存の心筋細胞の代謝回転と始原細胞が寄与する割合はそれぞれどれくらいなのか、心臓血管研究の分野で論争が続いている。今回、哺乳類成体の心臓で、窒素 15 同位体を使った細胞の予定運命標識と、DNA 合成を測定する遺伝学的なパルスチェイスを組み合わせた新しい手法により研究が行われ、この論争に決着が付くことになった。通常に加齢では、哺乳類の心筋の正常な恒常性維持に関して、心筋細胞置換の主要な供給源は、既存の心筋細胞であると著者らは結論している。こうした心筋細胞置換は、心筋梗塞からの回復の際には5倍に増加する。

進化：巣穴作りの進化的遺伝学

Down-to-earth genetics

ミツバチや鳥の巣、動物の巣穴など、複雑な構造物を築く動物は多いが、こうした構造物は、その動物の行動に対して自然選択がかかることで「進化」する。今回 H. Hoekstra らは、こうした複雑な行動は、1個もしくは数個の遺伝的変化が多くの行動に影響するように進化したのか、それとも、組み合わせただけ行動を複雑にするような遺伝的変化が蓄積して進化したのか、検証した。その結果、ハイロシロアシマウスの複雑な巣穴作りが複数の遺伝的モジュールに支配されており、それぞれのモジュールが巣穴の大きさや形状といった側面を決定していることが明らかになった。この結果は、複雑な行動が、長い年月の間に蓄積した遺伝的に決められた複数の行動の組み合わせによって生じた可能性を示唆している。

医学：自閉症スペクトラム障害の治療標的

自閉症スペクトラム障害 (ASD) の原因の1つはタンパク質合成の異常と考えられているが、どの経路の破壊によるのか詳細はわかっていない。だが、ヒトの自閉症では、翻訳開始に重要な因子 eIF4E との関連が知られている。今回 2

グループによって、過剰なキャップ依存性翻訳がシナプスの欠陥と ASD に似た行動異常を引き起こすことが示された。N. Sonenberg らは、eIF4E の抑制因子である 4E-BP2 を持たないマウスで、自閉症と強い関連があるとされるニューロリギンの翻訳の増加を見いだした。このマウスでは、ASD 様行動と海馬のシナプス活性の変化が見られるが、eIF4E 活性やニューロリギン 1 のレベルを正常化すると、こうした症状から回復する。一方、E. Klann らは、eIF4E を過剰発現するマウスでも、ASD に似た行動や、海馬、前頭前皮質および線条体のシナプス活性に変化が見られ、こうした表現型の一部がキャップ依存性翻訳の阻害因子 4EGI-1 によって救済されることを突き止めた。

材料：超硬材料をもっと硬くする方法

How to make superhard materials ultrahard

多結晶立方晶窒化ホウ素は、ダイヤモンドに次ぐ硬度を持ち、熱的安定性と化学的安定性の面でダイヤモンドよりも優れているため、研磨剤として広く用いられている。硬度を向上させるには粒径を小さくすればよいことが、多くの材料で知られているが、今回 Y. Tian らは、この法則を立方晶窒化ホウ素の新しい合成法に用いた。特別に作製した「タマネギ状」の前駆体材料を使って、硬度を高めるこ



Volume 493
Number 7433
2013年1月24日号



冷たい照明：半導体のレーザー冷却は寒剤のいらぬ冷却法への一歩となる

COOL LIGHTING: Laser cooling of a semiconductor is a step towards cryogen-free refrigeration

固体のレーザー冷却、すなわち光学的方法による冷却は、寒剤が不要で、振動がないコンパクトな冷却装置を得る方法として関心を集めている。青方偏移した発光による熱の除去に基づくレーザー冷却については、以前に希土類金属をドープしたガラスと結晶で報告されている。今回、J. Zhang たちは、514nm のレーザー光を使ったポンピングにより半導体である CdS ナノベルトを 290K から約 40K 冷却するという、かなりの正味のレーザー冷却の実証実験を行った。この成果は、半導体を使った光学冷却への新しい道を開くもので、その機構は原子共鳴ではなく励起子共鳴による。II-VI 族半導体を使うレーザー冷却剤は効率が高く、極低温が得られ、かつオプトエレクトロニックデバイスに容易に組み込めると考えられる。表紙画像は、釣り下げた CdS ナノベルトの疑似カラー走査型電子顕微鏡写真の上に、緑色レーザー光によるポンピングでルミネセンスを高めたようすを描いたもの。

気候：エーミアン間氷期の気候の詳細な記録

A detailed record of Eemian climate

グリーンランドの氷床は減少しつつあり、海水準上昇の進行に寄与しているが、エーミアン間氷期（13万～11万5000年前の最終間氷期）におけるその変化を知ることができれば、予測の確実性を高められるかもしれない。今回、NEEM（北グリーンランド氷床深層掘削計画）で新しい氷床コアが得られたことで、エーミアン間氷期の気候記録の復元に成功した。その結果、この時期の気候が最近1000年間より約8℃暖かかったにもかかわらず、氷床の厚さの減少はわずか数百mだったことが明らかになった。また、氷床の中央北部で著しい表面融解が発生していたこともわかったが、こうした状況は近年珍しいものではなくなりそうだ。2012年7月にもNEEMで融解層の形成が観察されたからだ。

神経：LTPと記憶について考え直す

A rethink on LTP and memory

2個のニューロン間のシナプス強度が迅速かつ持続的に強化される長期増強

(LTP) 現象は、学習や記憶の形成に関与すると考えられている。これまでLTPは、新規記憶の形成に必要な脳領域である海馬のグルタミン酸作動性シナプスで詳しく調べられてきた。しかし今回得られた研究結果は、これまで主流であったAMPA受容体（神経伝達物質受容体タンパク質）のGluA1サブユニットのみを重視するLTPモデルに、再考の必要性があることを示している。LTPが起こるには、特定の種類のグルタミン酸受容体が必須という訳ではなく、1つのシナプスの近くに、十分大きな受容体貯蔵プールがあればいいらしい。

地球：「安定した」断層部分の激しい活動

Violent activity at 'stable' fault segments

野田博之（海洋研究開発機構）とN. Lapustaは、長期の安定クリープすべりをしていて見かけ上は「静かな」断層セグメントが、近傍の断層セグメントの破壊により弱化され、不安定な破壊的すべりを起こすというモデルを提案した。このモデルの長期的なすべり挙動によれば、すべりの小さい地域での高周波放射や、クリープしている可能性のあるセグ

メントで生じた東北沖地震の最大地震すべりなど多くの観測結果を説明できる。

神経科学：うつに果たす腹側被蓋野ニューロンの役割

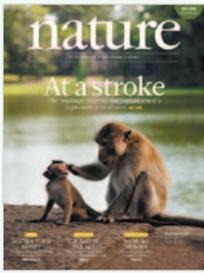
Role of VTA neurons in depression

腹側被蓋野（VTA）のドーパミンニューロンは、報酬情報の処理だけでなく、ストレス応答の仲介にも関与している。M-H. HanらとK. Deisserothらはそれぞれの論文で、ストレスによって引き起こされる行動に、このニューロンの特異的な操作がどういった影響を及ぼすかを調べた。Hanたちは、非常にストレスの大きい「社会的敗北」経験の際に、VTAニューロンの特定集団を操作して一過的活動を起こすと、それまではストレスに強かったマウスがストレスに弱くなったが、持続的活動を起こした場合にはそうした影響は見られなかったことを報告した。一方のDeisserothたちは、長期間に及ぶ慢性的なストレスにさらされた場合に起こる行動および回路の変化に対し、VTAニューロンの活動を操作するとどういった影響が現れるかを検討した。この2つの研究結果は、神経回路特異的な発火パターンが行動に重要であることを明らかにし、うつの新しい治療法を開発するための手がかりとなる。

生化学：TET2はヒストン修飾を促進する

TET2 facilitates histone modification

TETファミリーの酵素は、5-メチルシトシン（5mC）を5-ヒドロキシメチルシトシン（5hmC）のような誘導体にする酸化反応を触媒するため、遺伝子発現を変化させることがある。今回X. Yuたちは、TET2が、O-N-アセチルグルコサミン化（O-GlcNAc化）を触媒する酵素のO結合型β-N-アセチルグルコサミントランスフェラーゼ（OGT）と会合し、転写開始部位にはこれらが共存することを明らかにした。ヒストンH2BのO-GlcNAc化は活性な遺伝子で見られるヒストン標識だが、TET2はこの修飾を行うOGTの活性を亢進させることから、TET2は、DNA修飾に加えてヒストンの修飾にも影響を及ぼすことがわかった。



Volume 493
Number 7434
2013年1月31日号

そっとひとで：なでられるのが快感となる訳を説明する「マッサージ」ニューロン

AT A STROKE: The 'massage' neurons that explain why it's a pleasure to be stroked

哺乳類では、皮膚への快い刺激は重要な社会的機能を持っている。だが分子神経生物学では、このような刺激は不快刺激に対する応答ほどには注目されていない。D. Anderson たちは今回、生きたマウスでカルシウム画像化法を用い、G タンパク共役型受容体の MRGPRB4 を発現する小さな感覚ニューロン集団が皮膚の有毛部にあり、これが、自然な毛繕いに似せた、小型の絵筆によるなでような接触に対して特異的に応答するが、つねりや突きのような刺激には応答しないこと、またこうした侵害刺激に応答するのは、MRGPRD を発現する別の感覚ニューロン群であることを明らかにした。MRGPRB4⁺ニューロンを薬理的に刺激すると、行動に正の強化のような効果を及ぼす。また、この「なで感受性」ニューロンは、哺乳類の皮膚有毛部にある無髄の機械刺激受容ニューロン「C-触覚求心繊維」と似ている。この新規ニューロン集団をさらに調べれば、快感と関連した情報変換の分子機序や神経回路を突き止める手がかりが得られるかもしれない。表紙は、カンボジアのアンコール河畔のサル。

細胞：ミトコンドリア遺伝子の置換

Mitochondrial gene replacement

ミトコンドリア DNA (mtDNA) の変異はさまざまなヒト疾患を引き起こす。受精卵のミトコンドリアはすべて卵母細胞に由来するため、mtDNA の変異も母親から受け継がれる。S. Mitalipov らは以前、マカクザルの卵母細胞で、紡錘体-染色体複合体の移植によって mtDNA の置換が原理的に可能であることを証明した。今回彼らは、この技術をヒトの卵母細胞に用いた結果とともに、mtDNA を置換した卵母細胞から生まれた3歳齢のマカクザルの健康状態についても報告した。この結果から、mtDNA 疾患に対する置換療法が現実味を帯びてきた。一方 D. Egli らは、2人のドナー由来のヒト未受精卵母細胞の間で核ゲノム移植を行うという、別の手法を用いた。核ゲノム移植後の卵母細胞は、胚盤胞期まで発生することができ、そこから正常核型を有する胚性幹細胞株を樹立できた。この手法は、移植操作で mtDNA 変異の遺伝を防止できる可能性を示している。

材料：生体模倣高分子ネットワーク

Biomimetic polymer networks

今回、水溶性で比較的硬い、新種の高分子が報告された。このポリイソシアニド高分子は、調節可能な加熱によって束になり非常に硬いファイバーを形成し、このファイバーはさらに、細胞骨格成分の1つである中間径フィラメントによく似たヒドロゲルを形成するのだ。この物質でできたネットワークは、これまでの合成高分子ゲルでは見られなかった「応力硬化」という挙動を示した。また、その力学的特性は、高分子の化学構造の修飾によって調節可能なので、生体高分子ネットワークよりも多様性があり、幅広い応用が考えられる。

遺伝：ヒアリでは社会性染色体が女王の数を支配する

Social chromosome enthrones fire ant queens

ヒアリ (*Solenopsis invicta*) のコロニーには、大きく異なる2つの型が見られる。ワーカー (働きアリ) の上に複数の

女王アリが君臨するコロニーと、女王アリが1匹だけのコロニーである。この社会構成の違いは、メンデル型遺伝因子の制御下にある1個の遺伝子群によってもたらされている。今回、この違いにかかわるゲノム領域の大規模解析が行われ、意外にも、この社会構成の多型のさまざまな側面を支配しているのは、1本の染色体の半分を占める、組み換えの起こらない「超遺伝子」であることがわかった。この領域の働きは性染色体に非常によく似ている。これらの知見から、遺伝的再編成を局所的に制限することによって、多くの遺伝子が一緒にかかわって起こる社会的行動の差異が維持される仕組みが、明らかになった。

構造生物学：V₁-ATPアーゼの回転機構

Rotation mechanism of a V₁-ATPase

液胞型 H⁺-ATP アーゼ (V-ATP アーゼ) は、真核生物の細胞内の膜や細胞膜を通過するプロトン輸送と ATP の加水分解を共役させる生体分子回転モーターである。V-ATP アーゼは多くの細胞内過程で機能しており、骨粗しょう症やがんなどの疾病の重要な薬剤標的となっている。今回、腸内連鎖球菌 *Enterococcus hirae* 由来の V₁-ATP アーゼの複数の X 線結晶構造が報告され、ATP がタンパク質に結合した際に起こるコンホメーション変化が明らかになった。また、これらの構造に基づいて、この膜タンパク質の回転機構のモデルが提案された。

||||||| 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)

定期購読を
始めたいな!



Fujisan.co.jp
雑誌のオンライン書店

当社サイト、Fujisanなら
バックナンバーの購入、
定期購読も可能です。

帰りに
買いたい!



全国の書店・生協

全国の書店、生協で
扱っています。

いつも
利用している
Amazonで!



amazon.co.jp

Amazonで最新号の予約購読も
可能です。

*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標です。

弊社のサイトからのお申し込みはこちらから

www.naturejpn.com/nd-sub

npg nature asia-pacific

EDITOR'S NOTE

現存する最古の「脊椎動物」といわれる「ヌタウナギ」をご存じですか？ 深海に棲み、目が退化して皮膚に埋没したウナギのような姿で、背骨は見当たりません。しかし、頭蓋は、背骨のあるヤツメウナギと似ているのです。脊椎動物の進化の解明のカギを握るこの動物を調べたくても、深海に暮らすため胚の入手ができませんでした。しかし2007年、理化学研究所の倉谷滋グループの太田欽也研究員が人工飼育に成功し、背骨の痕跡が示されました（Nature2007年4月5日号）。ヌタウナギに関する報告は実に約100年ぶり、という快挙でした。今度は、脊椎動物の頭蓋の進化に重要な手がかりが見つかり、Nature1月10日号に掲載されました（本誌 p.33 Highlights 参照）。我々の遠い祖先の姿を垣間見ることができて感動しました。（う）

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



npg nature asia-pacific

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 (代表)
Fax. 03-3267-8754
www.naturejpn.com

©2013 Nature Japan K.K., trading as NPG Nature Asia-Pacific.
All rights reserved. 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: Antoine Bocquet
副発行人: 峯村宏
編集: 松田栄治、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、藤原由紀
池田三知世

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。

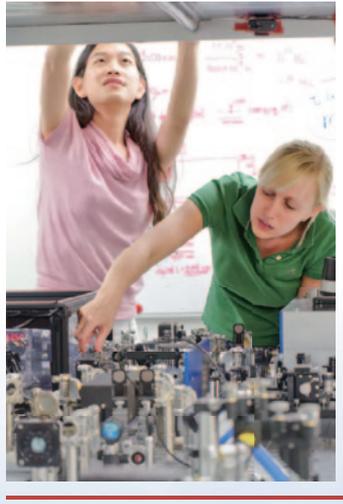
沖縄科学技術大学院大学

2013年9月・2014年9月入学

学生募集中



入試ワークショップ 7月6日～開催予定
出願締切 2013年5月31日
(日本入国ビザが不要な方)



沖縄本島中部の恩納村に位置する沖縄科学技術大学院大学 (OIST) は、美しい珊瑚礁の海を臨み、亜熱帯の豊かな森に囲まれた大学院大学です。OISTの教育研究活動は、神経科学、分子・細胞・発生生物学、数学・計算科学、環境・生態学、物理学・化学の5分野に大別され、学内の公用語が英語という環境の中で、分野の壁を越えた共同研究や交流が推奨される学際的で先端的なものです。2012年9月には、単一の研究科と専攻(科学技術研究科科学技術専攻)を提供する5年一貫制の博士課程が開設しました。OIST 博士課程プログラムや研究内容など、詳細は OIST ホームページをご覧ください。(<http://www.oist.jp/>)

—募集要項—

- 出願期間 受付中～2013年5月31日 (日本入国ビザが不要な方)
- 出願書類
- ・成績証明書及び在学証明書または卒業(卒業見込)証明書
 - ・小論文(英語400語以内)
 - ・パスポートのコピー
 - ・推薦状2通以上
 - ・TOEFLもしくはIELTSのスコア
- 上記の書類を本学ホームページ上のオンライン出願サイトよりご提出ください。

お問い合わせ
OIST 学生支援セクション
stu-rcrt@oist.jp まで



定価 680 円

本体 648 円
Printed in Japan

雑誌 07271-03



4910072710331
00648