

日本語で読む世界の最新科学ニュース

nature ダイジェスト

08
2010

メキシコ湾深海でも原油汚染

史上最大の地震

鍼治療の医学的効果

クジラがクジラを食べていた

はやぶさ、帰還する

C型肝炎ウイルスの
強力な阻害剤

もつれ光子をLEDから
自在に発生

太平洋でも
マグロが危機に

合成ゲノムで人工細菌誕生

市民のための科学へ

新しいタイプの超新星発見

定価 680円

放射線医学総合研究所 (主任研究員、博士研究員 募集!!)

※評価により定年制職員へ移行の可能性あり。



Institution: National Institute of Radiological Sciences
Post Vacancy Notice:

(1) Senior Researcher in Molecular Neuroimaging

Non-tenure-track position. (with the possibility of offer of a **tenure-track position** subject to evaluation.)

*Salary will be 7,000,000 yen/year (pre-tax) minimum.

Commuting and housing allowances will be provided as per NIRS policy.

(2) Post Doctor

3-year contract (with the possibility of offer of a full-time position, subject to evaluation, thereafter)

*Salary will be 361,000 yen/month (pre-tax)

Outline:

Our research team is committed to clarifying molecular etiologies of neuropsychiatric disorders and developing agents targeting key elements in the pathogenesis of these diseases by means of in vivo imaging of small animal models. A research scientist who has expertise in this field is welcome to join us.

Content of work and Research field:

Execution of basic research projects aimed at elucidating molecular mechanisms of neuropsychiatric disorders and developing diagnostic and therapeutic approaches to these illnesses.

Basic and preclinical research on neuroimaging in collaboration with other research institutions and private companies using small animals.

- Biology – Biological Science
- Medicine and Dentistry, Pharmacy – Basic Medicine
- General Field – Neuroscience

Qualifications:

PhD (doctoral degree) in medicine, pharmacy, biological sciences or relevant field

Treatment: Determined as prescribed in the institutional personnel regulations

Application materials:

- 1) Curriculum vitae
- 2) Letter of recommendation
- 3) Summary of major research activities (up to 2 pages on A4 paper, double spaced)
- 4) Statement of research interests (up to 2 pages on A4 paper, double spaced)
- 5) List of publications
- 6) Reprints of major papers (up to 5; copies are also acceptable)

Where to make contact:

Makoto Higuchi, Team Leader,
Molecular Neurobiology Team, Molecular Imaging Center,
National Institute of Radiological Sciences
4-9-1 Anagawa, Inage-ku, Chiba, Chiba 263-8555, Japan.
Email: mhiguchi@nirs.go.jp

〒263-8555

千葉県千葉市稲毛区穴川4-9-1

(独)放射線医学総合研究所 分子イメージング研究センター
分子神経イメージング研究グループ 分子生態研究チーム
チームリーダー 樋口真人 宛

Institution URL: <http://www.nirs.go.jp/ENG/index.html>

Department URL: http://www.nirs.go.jp/seika/brain/brain_e/index.html

2010年開催

ネイチャー フォトニクス・テクノロジー コンファレンス

全講演無料!

太陽光発電の 将来展望

Future perspectives on photovoltaics

会期: 2010年10月19日(火) / 20日(水) / 21日(木)

会場: TFT ホール (東京有明)

● 基調講演



アラン・ヒーガー 博士 (Dr. Alan J. Heeger)

(2000年ノーベル化学賞受賞、カリフォルニア大学サンタバーバラ校教授)



ヨアヒム・ルター 博士 (Dr. Joachim Luther)

(シンガポール太陽エネルギー研究所 CEO)



小宮山宏 博士

(三菱総合研究所理事長、前東京大学総長)



nature
photonics
Technology Conference

Nature Photonics Technology Conference は、Nature の姉妹誌 Nature Photonics が、関連技術の研究開発の動向について情報を発信する国際コンファレンスです。2回目の開催となる今回は「太陽光発電の将来展望」をテーマに掲げ、東京工業大学の小長井誠教授のご協力のもと、国内外の第一線で活躍する専門家による講演を行います(約30セッション)。展示会も併設いたします。ウェブからの事前登録で全ての講演に無料でご参加いただけます。皆様のご来場をお待ちしております。

THE NEW VALUE FRONTIER

KYOCERA

SHARP

KYOCERA SEMI

MITSUBISHI
ELECTRIC
Changes for the Better

SOLAR
FRONTIER

JST 科学技術振興機構

NEDO

AIST

OLYMPUS

NSSINBO

事前登録はこちらから www.naturejpn.com/events/photonics/

a nature conference

お問い合わせ:

Nature Photonics Technology Conference 事務局 株式会社インプレスR&D内
TEL: 03-5275-9052 FAX: 03-5213-6297 E-mail: photonics@impress.co.jp



npg nature asia-pacific



©JAXA

小惑星探査機「はやぶさ」は、今後のサンプルリターン・ミッションに貴重な財産を持ち帰った。

はやぶさ、帰還する

02

COVER IMAGE: 時事通信社; はやぶさの実物大模型の前に立つ川口淳一郎教授(左)と吉川真准教授(右)。

NATURE NEWS

- 03 空飛ぶ天文台
- 06 水中の砂丘
- 09 優れたランナーは代謝に秘密がある?
- 10 LED から自在にもつれ光子を生成
- 11 合成ゲノムで人工細菌を作製
- 12 マウスの全遺伝子の機能解明をめざす
- 20 風が吹けば……
- 21 太平洋クロマグロも危ない

NEWS FEATURE

- 18 史上最大の地震

NEWS & VIEWS

- 24 C型肝炎: 思いもよらなかった薬物標的
- 26 新型の超新星を巡る謎

EDITORIAL

- 28 メキシコ湾原油流出事故の調査研究を!
- 29 既存薬の新しい効能発見へ支援策を

JAPANESE AUTHOR

- 22 芳香族分子ピセンで、超伝導現象を発見 — 久保園 芳博

HIGHLIGHTS

- 30 2010年6/3 ~ 6/24号

英語で Nature

- 34 気泡が破裂するとき起こること

04

メキシコ湾 原油流出事故

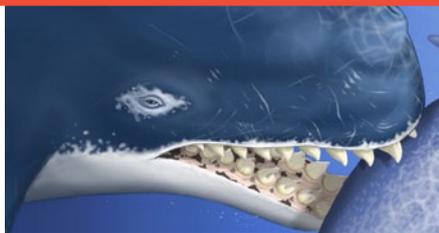
Nature 記者が調査船「ペリカン号」に乗り込み、メキシコ湾原油流出事故現場付近の海洋汚染の現状を報告する。



M. SCHROPE

07 我が名は、海の怪物 「レヴィアタン」

史上最大の咬合部^{くわごうぶ}をもったマッコウクジラ類の化石が見つかった。この古代マッコウクジラは、ヒゲクジラを食べていたらしい。



C. LETENNEUR (MNHN)

08

鍼治療の効果を科学的に検証

マウス実験ではあるが、鍼^{はり}治療の効果に関する生化学的データが初めて示された。



ISTOCKPHOTO

14 市民のための科学へ、 模索は続く

NSF は、研究プロジェクトにおいて、成果を社会に伝えたり役立てたりする取り組みを、きちんと実行するよう求めている。



K. GENRY

はやぶさ、帰還する

Space capsule probed for asteroid dust

DAVID CYRANOSKI 2010年7月1日号 Vol. 466 (16-17)
www.nature.com/news/2010/100629/full/466016a.html

小惑星探査機「はやぶさ」は、
今後のサンプルリターン・ミッションに貴重な財産を持ち帰った。

2010年6月13日、日本の小惑星探査機「はやぶさ」がオーストラリア内陸部上空で大気圏に再突入し、地球に帰還した。「はやぶさ」は大気圏突入の3時間前、試料回収カプセルを分離。カプセルは、オーストラリア・ウーメラ近くの砂漠地帯に落下した。現在、日本の惑星科学者と米国の共同研究者が、はやぶさの気持ちを抑えながら、慎重にカプセル開封の準備を進めている。運がよければ、太陽系形成当時の状態をとどめていると思われる、地球近傍小惑星 25143 イトカワ（長径 535メートル）の物質が、1粒か2粒入っているかもしれない。しかし、カプセルに何も入っていなかったとしても、「はやぶさ」が今後の小惑星ミッションに拍車をかけたことに変わりはない。

6月24日には、直径40センチメートルのアルミニウム製カプセルの外側の容器から微量のガスが採取された。このガスは、「はやぶさ」が2005年11月、2度にわたって着陸したイトカワのものであるかもしれないという。しかし、カプセルの帰還後に入り込んだ地球大気や、「はやぶさ」自体から排出されたガスの可能性もある。

カプセル内側の容器はまだ固く密閉されているが、X線検査の結果、直径1ミリメートル以上の粒子は入っていないことがわかった。この結果は、ある程度予想されていた。概念実証ミッションである「はやぶさ」は、小惑星の表面に金属球を打ち込んで岩石の破片やダストを巻き上げ、試料回収装置でそれらを採用

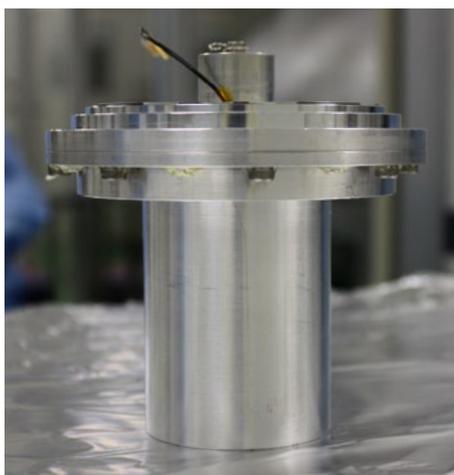


するように設計されていたが、ちょっとした技術的問題のために、金属球を発射することができなかったのだ。それでも、このミッションにかかわった研究者たちは、着陸時に巻き上げられたダストが自然に入ったかもしれないと期待している。ミッションに協力したNASA ジョンソン宇宙センター（米国テキサス州ヒューストン）の惑星科学者 Paul Abell は、「小さな粒子が1つしか入っていなかったとしても、大きな収穫です」という。

Abellによれば、実のところ、「はやぶさ」は既に予想外の成果をもたらしているという。「はやぶさ」がイトカワを訪れたことで初めて、この小惑星が均質な岩ではなく、大小の岩塊の集合体（ラブルパイル）であることがわかったのだ。「イトカワは小惑星の中では非常によく研究されていたのに、実際に訪れてみると、驚くような発見が待っていたのです」と Abell。

「はやぶさ」は今後のミッションにインスピレーションも与えた。アリゾナ大学月惑星研究所（米国ツーソン）の Dante Lauretta は、「『はやぶさ』は、今後必ず実施されるであろう地球近傍小惑星群の大規模探査への道筋を、はっきりと示してくれました」という。

宇宙航空研究開発機構（JAXA）は、既に後継ミッションとして、小惑星 1999JU3 への「はやぶさ2」ミッションを計画している。小惑星 1999JU3 は



7月5日、JAXAは、サンプルコンテナ（左）内のサンプルキャッチャー内側に0.01ミリメートルほどの微粒子（右）が見つかったことを発表した。6日からは本格的な開封作業が始まり、容器内から新たに数十個の微粒子が見つかっている。これらが、イトカワのものか、地球の物質の混入かは不明であり、解析には数か月かかる見込みだ。結果が待ち望まれる。



炭素を豊富に含み、イトカワよりも原始太陽系に近い組成をもつと予想されている。さらに、地球上の生命の起源解明につながる有機分子を含んでいる可能性もある。小惑星 1999JU3 の質量はイトカワに比べ 1 桁大きく、その分、重力も大きい。「はやぶさ」で培われた経験が大いに生かされるだろう。

「はやぶさ2」の科学計画の調整を担当することになる JAXA の矢野^{やの}創^{はじめ}によると、「はやぶさ2」の設計と計画はほぼできあがっているという。残る問題は

資金である。今年度、「はやぶさ2」プロジェクトに 17 億円の予算を要求したが、最終的に獲得したのはわずか 3000 万円だった。しかし、日本中が「はやぶさ」のカプセル再突入の成功に沸いた 6 月 15 日、川端文部科学大臣は予算の増額を約束した。矢野は 2014 年の打ち上げを期待しているが、そのためには 2011 年 4 月までに約 250 億円の予算が必要だという。このスケジュールでいけば、2020 年までに小惑星 1999JU3 からの試料が得られるだろう。

小惑星ミッションへの関心は米国でも高まっている。6 月にはオバマ大統領が、米国は小惑星への有人飛行をめざすと発表した。また、昨年末には、炭素を豊富に含む小惑星からのサンプルリターン・ミッションである OSIRIS-REx プロジェクトが NASA のニュー・フロンティア・プログラムの最終候補に選ばれ、6 億 5000 万ドル（約 590 億円）の資金提供を受けることになった。このプロジェクトの次席研究者でもある Laurretta は、2016 年に探査機を打ち上げ、2019 年 11 月に小惑星 1999RQ36 とのランデブーを実施し、2023 年 9 月までにサンプルを地球に持ち帰りたいとしている。

Laurretta によると、OSIRIS-REx チームは「はやぶさ」ミッションを「うんざりするほど細かく」検討した結果、小惑星周囲での滞在期間を 15 か月程度にすることにしたという。これは、「はやぶさ」の 6 週間に比べて非常に長い。彼はその理由を、「はやぶさ」が遭遇した数々の問題から、「十分な時間をかけて小惑星を徹底的に調査し、サンプル採取の手順を着実に計画せよ」という、的確な教訓が得られたからだと言っている。 ■

(翻訳：三枝小夜子)

©JAXA

NEWS BRIEFING

空飛ぶ天文台

Eye in the sky

2010 年 6 月 3 日号
Vol. 465 (530)

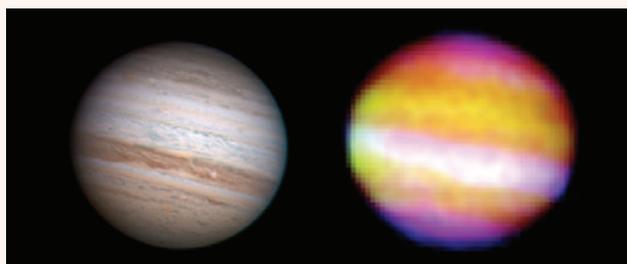
2010 年 5 月 25 日、米国の NASA とドイツ航空宇宙センター (DLR) が共同で開発を進めてきた赤外線天文学成層圏観測施設 (SOFIA) が最初の空中観測を行い、木星の画像を撮影した (図下右。左は可視光画像)。ポーイング

747SP を改造した機体の穴から 2.5 メートル望遠鏡で観測を行うことで、下層大気中の水蒸気による赤外線吸収の影響を回避することができる。1996 年開始のこの 34 億ドル (約 3100 億円) のプロジェクトは、当初から迷走を続け、2006 年には、一時 NASA の予算から外され、打ち切り寸前になった。科学的運用は 2010 年 10 月に始まり、2014 年までにフル稼働 (年間観測時間 800 時間) する予定だ。 ■

(翻訳：三枝小夜子)



J. ROSS / NASA; INSET: A. WESLEY



メキシコ湾原油流出事故： 深海でブルームが発生

Oil cruise finds deep-sea plume

MARK SCHROPE 2010年5月20日号 Vol. 465 (274-275)
www.nature.com/news/2010/100518/full/465274a.html

Nature 記者が調査船「ペリカン号」に乗り込み、
メキシコ湾原油流出事故現場付近の海洋汚染の現状を報告する。



ルイジアナ州ホーマ

メキシコ湾の石油掘削基地「ディーブウォーター・ホライズン」の爆発事故発生海域で、海洋調査船がいち早く調査を行い、破損坑口装置から漏れ出たと思われるブルーム（細長い広がり）が、深海で広がっている証拠をつかんだ。このブルームは、海面からは見ることができない。

4月20日に爆発事故が発生し、流出した原油がメキシコ湾沿岸地域の環境に及ぼす影響が心配されている。この地域には多くの漁業共同体や野生動物保護区域があるからだ。今回、海中でブルームが見つかったことにより、深海においても、海洋生物に大きな打撃を与えるおそれが出てきた。

今回の発見に関連して、流出原油を処理するために大量に使用されている分散剤の影響が懸念されている。研究者の間では、原油流出の規模を正確に見積もるための調査や取り組みが不十分であるとの声も強まっている。

ブルームを発見したのは、ミシシッピ大学（米国オックスフォード）とサザンミシシッピ大学（米国ハティスバーグ）が共同で設立した米国海中科学技術研究所（NIUST）から派遣された研究者チーム。米国海洋大気局（NOAA；メリーランド州シルバースプリング）から資金提供を受けている。研究者らは当初、「ディーブウォーター・ホライズン」掘削基地か

ら15キロメートルほど離れたメキシコ湾内で、ルイジアナ大学海洋コンソーシアム（米国ショーヴアン）の調査船「ペリカン号」（全長35メートル）に装備された自律型水中ロボットを使って、海底地層の地図を作製したり、歴史的に重要な難破船を調査したりする予定だった。

ところが、調査船の出港予定日のわずか数日前に爆発事故が発生した。チームリーダーたちは目的を変更して流出原油の調査をすることにし、この航海に競争的研究資金を提供しているNOAAに対して許可を求めた。「地図の作製は先送りにしても大丈夫ですが、流出原油の調査は違います。この船を利用できる貴重な時間を、緊急性の高い調査に費やすべきだと考えたのです」と、NIUSTの海洋学者Vernon Asperはいう。

航海に出たNIUSTチームは、最初の1週間のほとんどを、この海域のあちこちで海底堆積物コアを採取することに費やした。今後、海底に沈んでくる流出原油の調査を行う際に、信頼できる基準値が必要となるからだ。調査チームは1週間かけて一連の調査ポイントを決定すると、いったん港に戻って追加の装備を積み込み、同時にNatureの記者を乗船させた。

再度の出港から4日目の5月12日、研究者たちは驚くべき事実を発見した。調査船の主実験室に駆け込んできたArne Diercksは、「これを見てくれ」と

よびかけた。乗船していた人々は、船から下ろしたサンプリング機器からのデータが、リアルタイムで送られてくるコントロールルームに集まった。NIUSTのこの航海の首席研究者であるDiercksは、測定器が示す数値を指さした。その数値は、水深約1000メートルの海中に、原油と思われるものが漂っていることを示していた。

チームによるこの推測は、3つの重要な測定値に基づいていた。第一に、透過率計を用いて水中の粒子や不透明な溶存物質が光をさえぎる割合を測定したところ、ここで急激に暗くなっていた。第二に、水中に溶け込んだ原油が発する蛍光を測定できるように調整された蛍光光度計が、通常の何倍も高い数値を示していた。そして第三に、酸素濃度が低下していた。これは、原油やそれに関連する有機物を消費する微生物の活動が高まっていることを示している。

Asperは興奮したようすで、「我々は、これに注目しなければなりません」といった。「外洋でこういうシグナルがみられることは絶対ないからです」。チームは残された時間の大半を使って、ブルームが広がっている範囲を調べた。ブルームは水深1000～1400メートルの

流出した原油が海洋化学に及ぼす影響を調査する研究者たち。左から順に Matt Lowe、Vernon Asper、Andy Gossett。



ところにあり、坑口装置から南西方向に長さ約 45 キロメートル、幅約 10 キロメートルにわたって広がっていた（次ページの地図を参照）。また、以前にサンプルを採取したポイントに戻って再び調査を行ったところ、プルームは移動しているものの、基本的に深海にとどまっておき、海底から 100 メートルの高さしかない部分もあることがわかった。

分散剤の使用を巡る議論

研究者たちが海上にいた間に NOAA から受け取ったデータは、当時の深層流が南西に向かって流れていたことを裏付けていた。このことも、彼らが測定していたプルームが油井から流出した原油であったことを裏付ける証拠となる（後日、調査船が採取した海水の検査が終わり、プルームの成分が原油であると確認された）。

プルーム発見のニュースは、NIUST のチームがペリカン号の船上にいるうちから広まっていき、やがてジャーナリストから衛星電話が入り始めた。この油田を管理するエネルギー企業 BP 社は毎日記者会見を開いているが、5月16日の記者会見では、プルームについてのコメントを求める最初の質問は飛ばさ

れてしまった。2度目の質問に対して、BP社のスポークスマンである Andrew Gowers が、「私どもはまだその確証を得ておりませんが、門外漢である私が思うに、油は水よりも軽いので、海面に上がってくるのではないのでしょうか？」と回答している。

実際、このように考えていた研究者は多かった。しかし、原油が流出している場所の深さを考えると、原油が海面に向かって上昇してくる間に何らかの成分が分離して、海面より下に層を作るかもしれない、と予想していた研究者はいた。そうした研究者にとっても、プルームの大きさは不快な驚きだった。

ワシントン D.C. を拠点とする自然保護団体「オセアナ」の環境化学者 Jeffrey Short らは、海底の坑口装置から噴出してしまうとすぐ上昇してくる原油は、自然に分解して小さく浮きにくい油滴となり、海面より下で、こうしたプルームを形成する可能性があることを提案していた。米国環境保護局（EPA）は5月15日、海中での分散剤の使用という、これまで試したことのない対策をとることを許可したが、これも原油が小さい油滴になる一因となった可能性がある。発表に先立つ数日間、ちょうど NIUST のチームがプルームの調

査をしていたころ、BP 社は EPA から許可を得て、海底で試験的に 10 万リットル以上の分散剤を散布していたのだ。

ジョージア大学（米国アセンズ）の生物地質化学者 Samantha Joye は、NIUST のチームと協力してプルームから採取した液体を分析する予定である。彼女は、「分散剤により分解された原油であっても、そのままの原油であっても、環境に大きな影響を及ぼすことには変わりはありません」という。

5月中旬時点では、沿岸に漂着する油はほとんど見られず、沿岸の生態系の被害も最小限ですんでいる。しかし、テキサス A&M 大学（米国コーパスクリスティ）の海洋生物学者 Thomas Shirley は、沖合の生物は、より大きな危険にさらされているかもしれないと指摘する。海面に浮かぶ原油に含まれている有毒な化合物は、商業的に重要な魚やそれに捕食されるものなど、海面付近の生物を脅かす可能性がある。また、海中のプルームに含まれている有毒な化合物は、深海のサンゴやその他の生物に影響を及ぼすおそれがある。

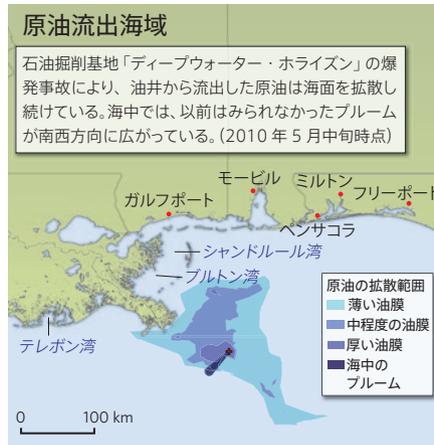
この問題は、原油を分解して小さい油滴にし、動物の体内に取り込まれやすくする分散剤の使用によって悪化するおそれがある。Shirley は、深海に棲む動物プランクトンなどの生物は、プルーム内の酸素濃度の低下によって打撃を受けるかもしれないと指摘する。酸素が深海に拡散する速度は遅いため、酸素濃度が回復するには数か月から数年かかるかもしれない。多くの海洋生物は毎日海中を上下に移動しているが、プルームが壁となって、その移動が妨げられるおそれがある。プルームは海面の有機物の破片が深海に沈んでいく流れも妨げるため、深海の生物にとって重要な食料源が失われる可能性もある。

「今回の事故により、深海のシステムの機能を低下させてしまったことは明らかです」と Shirley はいう。「けれども、どの程度の影響が、どの程度続くのかはわかりません」。

Shirley は、深海で拡散する原油の影響の大きさが明らかになるにつれ、坑口装置から噴出する原油の量を正確に評価することがますます重要になるだろうという。米国沿岸警備隊の公式の見積もりでは、その量は1日当たり80万リットルということになっているが、多くのグループがこの数字を疑問視している。Short は、今回見つけた海面下のブルームは、真の流出量が公式の見積もりよりはるかに多いことを裏付ける新たな証拠になる可能性があるという。

NOAA の局長 Jane Lubchenco は、この見積もりは理にかなっており、原油流出のペースがより厳密に明らかになっても、対応戦略は変わらないだろうと述べている。これに対して一部の研究者は、原油流出の真の規模を明らかにすることは、原油が生物に及ぼす影響の全貌を解明するためにも、また分散剤の大量投入が最良の選択肢であるかどうかを判断するためにも、不可欠であると感じている。

「私は、原油の流出量を明らかにすることは非常に重要だと思います」と Shirley はいう。「私は BP 社の手元にあるすべてのビデオを提供するように要請し、協力して解析を行い、できるだけ多くのデータを提供できるようにするつもりです」。



原油流出による損害に対して BP 社が最終的に負うべき法的責任は、流出の規模に比例するものになるだろうと、Short は言い足す。「この種の事故では、昔からそれが原則になっているからです」。

オバマ政権は BP 社に対して5月14日付で書簡を送り、同社の損害賠償計画を明確化するよう要請したほか、同社には汚染除去にかかった費用と経済的な損失のすべてを負担する責任があることを繰り返し指摘した。BP 社のあるスポークスマンは、このブルームの潜在的意味についてコメントすることを拒んだ。

海底での原油の噴出も、石油採掘に関する米国内の政治的議論も、当分続くことになるだろう。BP 社は5月16日に、

油井から伸びているパイプにチューブを挿入することに成功したと報告した。このチューブは、1日当たり約32万リットルの原油を吸い出しているという。原油が流出している油井と別の穴を掘削して、その流出を止めるには数か月かかるとみられる。そのため、BP 社はこのほかにも、漏れ出してくる原油の吸い出しや、油井をふさぐなどの対策を続けている。

5月14日、調査チームの全員が「ペリカン号」の調理室に集まり、オバマ大統領の記者会見を見守った。大統領は、「メキシコ湾沖での石油採掘が米国のエネルギー政策全体に対して重要な役割を果たしていることには変わりはないが、新規の採掘は凍結する」と語った。Short は、石油採掘を巡る議論には、石油がもたらす利益と環境に及ぼす悪影響を天秤にかけているところがあると説明する。「石油採掘が環境に及ぼす悪影響が予想より1桁大きいことになれば、議論の成り行きを左右する要素になるでしょう」と彼はいう。「BP 社も、そこに注目していると思います」。

(翻訳：三枝小夜子)

ペリカン号のミッションの詳細についてさらに知りたい方は、<http://go.nature.com/TBKWnY> を参照。

NEWS BRIEFING

水中の砂丘

Underwater dunes

2010年5月27日号 Vol. 465 (400)



ISTOCKPHOTO

砂丘は、砂や風の特徴によってさまざまな形に作り上げられる。地球に限らず、他の惑星でも風が吹き荒れる砂漠にみられる地形だ。砂丘の形成と動きにかかわる物理的メカニズムを調べるため、フランスの研究チームが、シミュレーションと水中実験を組み合わせた。

パリ・デイドロ大学（フランス）の Sylvain Courrech du Pont と Pascal Hersen を中心とする研究チームは、水タンクの中で、皿の上の

砂の動きを制御することにより、本当の砂丘とよく似た砂の構造体を作り出した。

実験では、別々の方向から吹く強い「風」の角度の違いによって、砂丘の形が大きく変化することがわかった。縦長の砂丘は安定していたが、三日月形の砂丘は不安定だった。ということは、砂丘を観察すれば、その地域でどんなふうにも風が吹いてきたのか、わかるのかもしれない。

(翻訳：小林盛方)

我が名は、海の怪物「レヴィアタン」

Call me *Leviathan melvillei*

JANET FANG 2010年6月30日 オンライン掲載
www.nature.com/news/2010/100630/full/news.2010.322.html

史上最大の咬合部^{こうごうぶ}をもったマッコウクジラ類の化石が見つかった。

ペルー南岸にあるピスコ・イカ砂漠のセロ・コロラドから、巨大な歯と顎をもつ古代マッコウクジラ類の化石が見つかった。Nature 2010年7月1日号に報告されたこの化石は、1300万～1200万年前のマッコウクジラ類（マッコウクジラ上科のクジラ類）で、絶滅種として新属新種に分類された¹。

今回復元された化石は、頭骨の75パーセントに当たる部分で、上下の顎の大きな骨片と数本の歯が含まれている。頭骨の長さが3メートルであることから、体長は13.5～17.5メートルと推定される。これは、現生マッコウクジラ（*Physeter macrocephalus*）の大人の雄と同じくらいの大きさだ。しかし、その歯は最大で長さ36センチメートルを超え、現生マッコウクジラの最大記録より約10センチメートルも長い。

現生マッコウクジラ類は上顎^{じょうがく}に機能的な歯がなく、深海に潜ってイカ類を吸い込んで食べている。一方この化石では、上下どちらの顎にも巨大な歯があり、頭骨は大きな顎筋で支えられていたと考えられる。おそらく、歯で肉を食いちぎるシャチ類のように、獲物を捕食していたのだろう。

巨大な肉食獣を表す名前

このクジラは、*Leviathan melvillei*（レヴィアタン・メルヴィレイ）という学名が付けられた。これは、神話に登場する海の怪物を意味するヘブライ語の「Liviyatan」と、小説『白鯨』の作者、Melville（メルヴィル）を組み合わせたものだ。

研究チームは、このクジラが、絶滅し

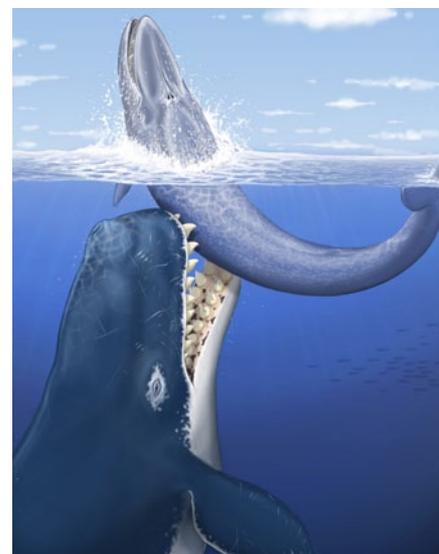
た巨大サメ類と同じように、中型ヒゲクジラ類を捕食していたと考えている。当時のヒゲクジラ類は体長7～10メートルで、現在のザトウクジラ類よりも小さく、さまざまな種類が存在していた。

さらに研究チームは、このクジラが絶滅した原因は環境条件の変化だろうと推測している。「食物連鎖の頂点にいる捕食者は、餌となる生物の変化の影響をもの受けやすいです」と、論文筆頭著者であるフランス国立自然史博物館（パリ）のOlivier Lambertはいう。この時代に起こった気候の寒冷化と相まって、獲物であるヒゲクジラ類の数や多様性、サイズに変化が生じ、悲劇的な影響もたらされたのだろう。結局、現代まで生き残った近縁種、マッコウクジラやコマッコウ、オガワコマッコウは、深海に潜ってイカ類を捕食するように特殊化しており、この古代マッコウクジラとは異なる生態的ニッチを占めている。

ロサンゼルス郡立自然史博物館の脊椎動物古生物学者であるLawrence Barnesによると、今回の発見は、かつてはマッコウクジラ類様のクジラ目動物が今よりはるかに多様であり、現在のマッコウクジラやコマッコウは、「過去の大規模な進化的放散で現れたマッコウクジラ類のうち、ほんの一握りの生き残りである」ことを示しているという。

頭突き用の器官？

マッコウクジラ上科のクジラ類はすべて、大きく特徴的な前額部をもつ。ここには、油や蠟^{ろう}をためておく「鯨蠟器官^{げいろうくわん}」がある。鯨蠟器官は長い間、マッコウク



ヒゲクジラ類を捕食する *Leviathan melvillei* の想像図。

ジラ類が深海に潜って餌を採るのに役立っていると考えられてきた。

この古代マッコウクジラにも上顎骨の上部に広大なくぼみがあることから、大きい鯨蠟器官を備えていたと考えられる。古代マッコウクジラが深海に潜らず海面近くでヒゲクジラ類を捕獲していたとすれば、大きな鯨蠟器官は、現生マッコウクジラ類が深海でイカ類を捕食するよう特殊化した時期よりかなり以前から存在していた、と考えられる。

鯨蠟器官は、反響定位や音響による誘示行動などの機能を果たしていた可能性もある。ユタ大学（米国ソルトレークシティー）の進化形態学者David Carrierは、「鯨蠟器官は、雌を巡る争いで相手の雄を攻撃する頭突きのための構造だったのかもしれない」という。

Carrierによると、19世紀には少なくとも2隻の捕鯨船が、大きな雄クジラに額をぶつけられて船体に穴が開き、沈没したという。この古代マッコウクジラも、獲物をすばやく仕留めるために額を激しく突き当てていたのかもしれない。 ■

（翻訳：船田晶子）

1. Lambert, O. et al. *Nature* **466**, 105-108 (2010).

鍼治療の効果を科学的に検証

Acupuncture for mice

DANIEL CRESSEY 2010年6月3日号 Vol. 465 (538)
www.nature.com/news/2010/100601/full/465538a.html

マウス実験により、鍼治療の効果に関する生化学的データが示された。

はり鍼治療は、長い間医学界の本流から軽視されてきたが、何やら単なる代替療法とはいえないものになったようだ。

アレルギーから痛みまで、慢性的な身体の不調に対する鍼治療の効果について、諸事例が挙げられてはいる。しかし、鍼治療が医学の本流に受け入れられるには、大きな難題が2つ待ち構えている。まず、臨床試験の検証でほとんどの病状についてプラセボ効果を上回る有効性を示す証拠がないという結論が多く¹、さらに、作用機序について科学的に容認できるメカニズムが存在していないのだ。

しかし今回、マウスで行われた研究により、鍼治療に関していわれている効能の一部しか説明できないとはいえ、一部の専門家も認める説得力のある生化学的説明が得られた²。研究を主導したロチェスター大学（米国ニューヨーク州）の神経科学者 Maiken Nedergaard は、「我々の研究は、鍼治療に明らかな生物学的メカニズムが存在することを示しています」と話す。

研究チームが注目したのは、組織が損傷したときに作られ、痛みをやわらげる作用をもつ神経調節物質アデノシンが、痛みを解消するといわれている鍼の作用に関与しているのかどうかという点だ。研究チームは、マウスの右後足に痛みを与え、「膝」のすぐ下、ヒトでは「足三里」として知られるツボに、鍼を刺してクルクルと回した。処置後約1時間にわたり、マウスは足への接触や熱に対する反応に時間がかかったことから、痛みが軽減されていたことが示された。鍼を刺した部

位ではアデノシンが増加しており、細胞の重要な受容体であるアデノシン受容体をもたないマウスでは、こうした反応は認められなかった。

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）で鍼治療を研究する神経科学者 Vitaly Napadow は、「今回の実験のすばらしい点は、研究チームが独自の確固たる仮説をもって臨んだことです」と語る。確かに、このメカニズムにより、鍼でどうして頭痛がやわらぐのか、などという問題が説明されるとは考えにくい、「例えば、手根管症候群のような疾患では、この論文に書かれているようなメカニズムが重要である可能性が大いにあります」と Napadow はいう。

ミュンヘン大学総合疼痛センター（ドイツ）の所長であり、医師として鍼治療を利用している Dominik Irnich は、このほかにもエンドルフィンをはじめとする神経伝達物質の放出などの機序に注目して研究している者もいると指摘する^{3,4}。しかし Nedergaard は、こうした機序が関連しているならば神経系全体に作用するはずだと話す。今回の研究では、痛みのないマウスの左足に鍼治療を施しても効果は認められず、中枢神経系に作用のメカニズムが存在するわけではないと考えられるのだ。

ペニンシュラ医科歯科大学（英国エクセター）で代替療法の有効性を研究する Edzard Ernst は、今回のメカニズムは信頼できるが、これで鍼治療の有効性が明らかになったわけではないと話す。「あ



鍼治療にはプラセボ以上の効果があるのか。

くまでも、十分に管理された対照臨床試験においてプラセボ効果を上回らないかぎり、鍼の臨床効果はこのメカニズムとは無関係であり、真のメカニズムはプラセボ効果でしかないのです」という。

ダルハウジー大学（カナダ・ハリファックス）でアデノシンの疼痛調節作用を研究する薬理学者 Jana Sawynok は、今回特定されたアデノシン受容体をカフェインが遮断することを指摘している。鍼治療の臨床試験が実施された多くの国でカフェインが摂取されていることを考えると、それが臨床試験の重大な交絡要因となる可能性が示唆されるという。

Nedergaard は、今回の研究が鍼治療の有効性を高めるための道を開く可能性があると話す。研究では、デオキシコホルマイシンという薬剤もマウスに投与された。これは、アデノシンの分解を抑制する薬剤で、米国ではある種の白血病の治療用として承認されている。この薬剤は、鍼治療の疼痛緩和効果を1時間以上も延ばした。Nedergaard は今後、今回の成果をもとにした臨床試験を計画している。

（翻訳：小林盛方）

1. Ernst, E. *J. Pain Symptom Manage.* **37**, 709-714 (2009).
2. Goldman, N. et al. *Nature Neurosci.* **13**, 883-888 (2010).
3. Clement-Jones, V. et al. *Lancet* **316**, 946-949 (1980).
4. Bing, Z. et al. *Pain* **47**, 71-77 (1991).

優れたランナーは代謝に秘密がある？

The metabolic secrets of good runners

HEIDI LEDFORD 2010年5月26日 オンライン掲載
www.nature.com/news/2010/100526/full/news.2010.266.html

ランナーの体内で起こる化学的変化が体力と関係することがわかった。

運動で身体に生じる変化は、丈夫な心臓やスリムな体形だけではない。最近の研究で、体力に優れたスポーツ選手が運動している最中には、代謝にさまざまな変化が起こっていることがわかった¹。

論文によると、こうした代謝変化は、蓄えられていた糖質や脂質、アミノ酸を分解する経路が運動によって活性化されたこと、そして血糖値の調節が改善されたことを示しているという。この成果は、運動能力を向上させたり、消耗性疾患の患者に元気を与えたりする栄養補助食品の開発につながる可能性があるとして、論文著者の1人であるマサチューセッツ総合病院（米国ボストン）の臨床科学者、Robert Gerszten は話す。

代謝の解析は、遺伝子やタンパク質発現の大規模研究に大きく水をあけられている。その原因の1つは、人体の代謝産物の全体像（メタボロームとよばれ、これを研究する分野をメタボロミクスという）が非常に複雑なためである。「言語にたとえれば、DNAの世界で使われる文字（塩基）は4種類、タンパク質の世界の文字（アミノ酸）は20種類です。一方、代謝産物の世界の文字（化学物質）は約8000種類もあるため、この言語（メタボローム）を習得するのは実に難しいのです」と話すのは、アルバータ大学（カナダ）のメタボロミクス研究者 David Wishart である。

Gerszten らは、これらの代謝産物のうち210種類について分析した。「運動は、心血管疾患や代謝性疾患を予防し、長寿につながるがよく知られていま

す。しかし、その作用機序はよくわかっていないのです」と彼は話す。

運動の効果を感じる

研究チームは70人を対象に、ランニングマシンで10分間走ったときの前後の代謝変化を質量分析法で測定した。すると、21種類の化学物質に変化が見つかり、これまで運動との関連性が報告されていないものもあった。これらの変化の一部は、最大酸素摂取量（体力指標の1つ）が大きい被験者のほうがより顕著だった。同様の傾向は、ボストンマラソンランナー、特に、フルマラソンを4時間以内に完走したランナーでもみられた。

また、「フラミンガム心臓研究」とよばれる大規模な健康研究の被験者302人の調査から、体力と関連付けられている



ランナーの体で起こる代謝の変化が明らかになった。

るグリセロールとグルタミンの濃度が、安静時心拍数（体力指標の1つ）によって異なることも示唆されている。

これらの変化が実際にスタミナにかかわっているのかまで言及するのは、時期尚早だ。今回の研究は、代謝産物の量が増加することを示したにすぎない。ただし、今回の研究では、ランニングで増加する5種類の代謝産物、グリセロール、ナイアシンアミド、グルコース-6-リン酸、パントテン酸塩、コハク酸塩を培養筋細胞に加えるとすぐに、骨格筋内のグルコースや脂質の利用を調節するタンパク質 NUR77 の発現が亢進することがわかってきている。

スクリプス研究所質量分析センター（米国カリフォルニア州ラホヤ）のシニアディレクター Gary Siuzdak は、今後重要なのは、最初に調べた210種類の化学物質にこだわらず、標的を設けずに代謝産物を解析することだろうという。これは、今回以上に難しいアプローチだ。まず、特異性を低く設定した解析法で検体の化学組成の違いを探し、次に、それらの化学物質を特定するのである。

Siuzdak は、このプロセスは「退屈」で「気が遠くなりそうな」ものだが、苦労するだけの価値があるという。彼の研究チームは最近、酸化型と還元型の代謝産物のバランスで、幹細胞の分化が調節されていることを見つけた²。これは、無作為に代謝産物の差異を探していたからこそ見つかったのだと彼はいう。

一方、Wishart は、今回の研究では非常に多種類の代謝産物を解析しており、おかげで代謝解析のレベルが上がるだろうと話す。そして、代謝産物に注目することの必要性にも気付かせてくれるはずだと、言い添えた。「ともすれば、遺伝子やタンパク質を見つけ出せば何でも説明できるとして、小分子の重要性を忘れがちになりますからね」。

（翻訳：船田晶子）

1. Lewis, G. D. et al. *Sci. Trans. Med.* **2**, 33ra37 (2010).
2. Yanes, O. et al. *Nature Chem. Biol.* **6**, 411-417 (2010).

LEDから自在にもつれ光子を生成

LED entangles light at the flick of a switch

JON CARTWRIGHT 2010年6月2日 オンライン掲載
www.nature.com/news/2010/100602/full/news.2010.275.html

高い信頼性で量子ビットを生成することにより、
高速コンピューターの実現が容易になるかもしれない。

このほど、英国の物理学者らにより、実用的な量子コンピューティングへ向けて重要な一歩が刻まれた。電流を流すともつれ光子を放出する光源が作製されたのである。

量子コンピューターは、量子物理に特有の不確定性を利用して、現行のコンピューターよりはるかに速く計算を行う。従来の情報「ビット」は0か1の値しかとらないのに対して、量子ビット、すなわち「キュービット」は、あいまいな両者の重ね合わせの状態をとる。理論的には、このあいまいさによって、あらゆる数のキュービットをまとめて、すなわち「もつれさせて」、並列処理することが可能になるため、膨大な数の計算が瞬時にできるというわけだ。

しかしながら、もつれている粒子を高効率で発生させることは難しく、実用的な量子コンピューティングの障害の1つとなっていた。一般的にキュービットは光子で構成されているが、物理学者らはこれまで、ある種の結晶に1個の光

子を通させることによって「もつれ光子対」を実現してきた。結晶を通すと、1個の光子は1対のもつれ光子に分裂し、分裂した光子は分裂前の光子がもっていたエネルギーの半分をもつようになる。しかし、この過程は非常に散発的なために、実際には発生効率が低い。

今回、東芝欧州研究所(英国ケンブリッジ)と英国ケンブリッジ大学のMark Stevensonらの研究チームは、この問題を解決する方法を考案した。レーザー光励起でしかもつれ光子を発生させることができなかった量子ドットという半導体と、電流の流れに応じて光子を発生する発光ダイオード(LED)とを組み合わせたのである。結果として、対になったもつれ光子を意のままに発生させるLEDが得られた¹。

このLEDでは、直径2マイクロメートルのインジウムヒ素量子ドットが360×360マイクロメートルのガリウムヒ素表面上に配置されている。LEDに電流を流すと、量子ドットが組み込まれてい

るレーザー活性層中で2個の電子が正電荷をもつ2個の「正孔(ホール)」に飛び込み、エネルギーの放出として光子対が発生する。特に重要なのは、この発生過程の性質上、一方の発生光子の偏光状態がもう一方の偏光状態によって決まる、つまりその光子対がもつれている状態にあることである。

高い忠実度

「この研究は、比較的単純な技術を利用して、関連分野への応用に十分な忠実度をもつもつれ光子対が得られることを実証しています」と、ライプニッツ固体・材料研究所(ドイツ・ドレスデン)で量子ドットを研究しているArmando Rastelliは語る。「今回の結果は、レーザー励起と電流注入によってなされた過去の研究と比較すると、それほど意外なものではありません。しかしこれまで、実験的に実証できていなかったのです」。

一方でRastelliは、今回のデバイスの欠点を2つ指摘している。まず、量子ドット作製過程で得られる量子ドットのうち、もつれ光子の発生に成功するのは、現在、100個中1個程度しかないのだ。また、量子ドットを利用した多くのデバイスと同様に、今回のデバイスも、液体ヘリウム温度(約5ケルビン)に冷却しないと動作しない。

Stevensonは、使用半導体の種類や層の厚さを調整すれば、デバイスの動作温度を高くすることができると考えている。しかし、Stevensonらの当面の第一目標は、デバイスの忠実度を82パーセントから、完全な信頼性を表す100パーセントに向上させることである。

量子ドットの光学特性の専門家であるEli Kapon(スイス連邦工科大学ローザンヌ校)は、「この成果は、いくつかの量子情報処理応用向けに、重要、いや不可欠なものになるかもしれません」と語っている。

(翻訳: 藤野正美、編集: 編集部)



量子ドットとLEDを組み合わせることによって、オンデマンドでもつれ光子を生成できる。

1. Salter, C. L. et al. *Nature* **465**, 594-597 (2010).

合成ゲノムで人工細菌を作製

Synthetic genome resets biotech goals

ALLA KATSNELSON 2010年5月27日号 Vol. 465 (406)
www.nature.com/news/2010/100526/full/465406a.html

合成ゲノムで近縁生物種の細胞を「再起動」させることに成功し、
自己複製可能な人工細菌が作製された。

合成生物学は、人間の要求に応じて生物の構成単位を設計し直すという、大胆な目標を掲げる研究分野であり、究極的には実用性が高いと考えられる。また一方では、「自然の生物」対「人工生命体」という明快な定義に挑む試みでもある。

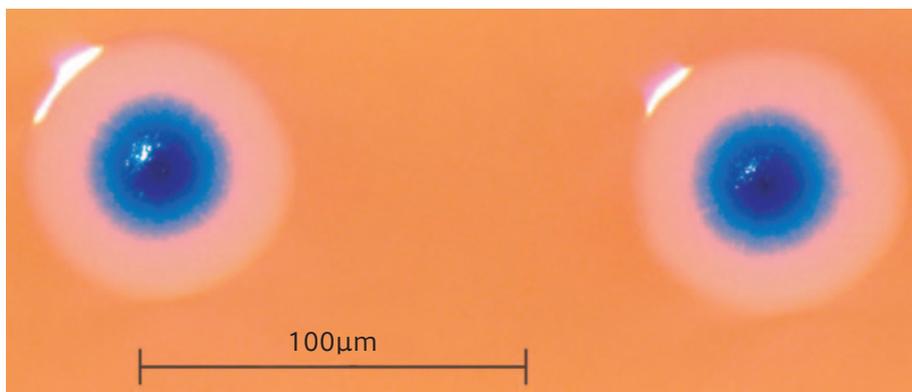
2010年5月、人工的に合成した細菌のゲノムを近縁な別種の細菌細胞に移植して「乗っ取り」に成功したことが発表された¹。これは研究者たちが大いに待ち望んでいたものであり、使われた技術は従来よりもかなり大規模にゲノムを操作できる。「この技術は、ゲノムを完全に設計し直すという究極の目標の達成に、重要なものだと思います」と、マサチューセッツ工科大学（米国ケンブリッジ）の合成生物学者 Ron Weiss は話す。

今回、J・クレイグ・ベンター研究所（米国メリーランド州ロックランド）の Daniel Gibson たちは、マイコプラズマという細菌の一種 *Mycoplasma mycoides* から得た高精度のゲノム塩基配列を出発点にした。これを鋳型として、それぞれ約 1000 塩基対の長さの「カセット」とよばれる短鎖 DNA のセットを DNA シーケンシングサービス会社に発注し、作製された「カセット」を酵母細胞に入れた。すると、酵母がもつ遺伝機構によってカセットがつなぎ合わされ、天然のマイコプラズマゲノムの合成コピーができる。最終的に、できあがった 110 万塩基対の合成ゲノムを、*M. mycoides* の近縁種 *Mycoplasma capricolum* に移植した。作製された新しい細胞ではゲノムだ

けが「特注品」だが、研究チームはこの細胞を「人工細胞」とよんだ。なぜなら、*M. mycoides* の特徴を示す分子構成がすぐさま現れたからである。「染色体を入れ替えることで、別種の細胞へと完全に变化したのです」。Venter は 5 月後半の記者会見で、こう述べている。

ここに至るまで、研究チームはさまざまな障害にぶつかった。プロジェクトの最終段階では、合成ゲノムを移植すると細胞が死んでしまう事態に陥った。染色体複製にかかわる 1 個の遺伝子で塩基対が 1 つ欠失していたことが原因だった。この問題を解決し最終的にできた合成ゲノムはしっかり機能し、レシピエント細胞は生存能力があり自己複製できる細菌へと形質転換しており、合成 DNA がコードするさまざまな形質を示した。

この技術は、画期的なエネルギー生成法の開発や、環境モニター用の新規センサーの実現、医薬品量産用の「細菌工場」の構築などへの応用が考えられる。



化学マーカーで青色に見えるのは、合成ゲノムを入れた細胞から作られたコロニー。

次の課題は、遺伝子回路の組み立て方を会得することだろう。つまり、互いに複雑に相互作用する一群の遺伝子を人工的につなげて、必要な形質が現れるようにすることである。今までのところ、約 1 万 5000 ～ 2 万 5000 塩基対の遺伝子回路であれば確実に設計できる。この程度の長さの塩基配列には、およそ 6 ～ 10 個の遺伝子プロモーターが入る。しかし Weiss によれば、これより長い塩基対の場合どんな遺伝子回路でも、「現時点ではちゃんと機能するような設計はできないでしょう」という。必要な形質がさらに多数の遺伝子によって制御されている場合、その特徴を明確に定義付けることは難しく、また、こうした遺伝子群を組み合わせて単一回路にすることはさらに難しいのだ。「新しく組み合わせた複数の遺伝子を一緒に機能させることは、実際にはかなりの難題なのです」と彼はいう。

Weiss は、この課題は最終的には達成できると確信していると話す。しかしながら、すべての研究者が、自然のゲノムを単に修正変更するよりも、こうした遺伝子回路を合成ゲノム内に組み込むほうが効率がよいと思っているわけではない。ハーバード大学（米国マサチューセッツ州ボストン）の遺伝学者 George Church は、Weiss の意見に賛同している。「ただ、合成生物学に対して、全ゲノム合成を望むのか、それとも、変化させたい部分を合成するだけでいいのか、その結論はまだ出ていないと思います」と彼はいう。

一部の監視団体は、塩基配列データのみを使って生物を再構成することができれば、バイオテロリストも実験室で有害な微生物を合成できるようになるおそれがあると懸念している。しかし、それには技術的にかなり高度な技能が必要だろう。スタンフォード大学（米国カリフォルニア州）の生命倫理学者 Mildred Cho によると、もっと起こりうる確率が高い問題は、実験室で作られたい生物が偶発的な事故で外部に流出してしまうことだという。そのため、ベンター研究所チームのように、人工生物と天然の生物を識別する「透かし」DNA 配列を組み込むことが絶対に必要となる。米国のバラク・オバマ大統領は、今回の発表を受けて生命倫理諮問委員会を設置し、

この研究の影響を調査して6か月で報告書を提出させる予定である。

この技術は、実用性があるだけでなく、生物学の基本的な疑問の追求も可能にする。その中には、どれくらいの数の遺伝子があれば細胞は生存できるのか、という疑問も含まれる。そして、そうした最小限の遺伝子をもつゲノムを合成することは、Venter の長年の目標の1つでもあるのだ。カリフォルニア大学サンフランシスコ校の合成生物学者、Christopher Voigt は、ゲノム合成と人工細胞作製の技術はいずれ、絶滅生物を復活させたり、塩基配列を保存するだけで種多様性の目録を作ったりできるところまで行くのではないかと話す。

その実現はまだ遠い先の話だ。現在、

全ゲノムの塩基配列を解読できる研究室はほとんどないし、Gibson や Venter たちも単純な生物を対象にした研究しか行えない。研究チームは、酵母の細胞内機構を利用して合成ゲノムを構築したが、酵母では最大の染色体でもわずか約200万塩基対しかなく、もっと長いゲノムの構築には使えそうにない。「しかし、200万塩基対でも価値があります。この長さは確実に実現可能ですし、このくらいの大きさのゲノムにおさまる有用な細菌はたくさんいますから」と Gibson は話す。

■
(翻訳：船田晶子)

1. D. G. Gibson et al. *Science* **329**, 52-56 (2010).

マウスの全遺伝子の機能解明をめざす

Mouse project to find each gene's role

ALISON ABBOTT 2010年5月27日号 Vol. 465 (410)
www.nature.com/news/2010/100525/full/465410a.html

国際マウス表現型解析コンソーシアムが巨額の資金提供を受けて始動した。

国際マウス表現型解析コンソーシアム (IMPC) は、マウスのゲノムにある全遺伝子の機能を突き止めるために結成された。この壮大な研究プロジェクトが成功すれば、究極のヒト疾患マウスモデルが得られるだろう。ただし今後10年間でプロジェクトを完遂させるには9億ドル（約810億円）が必要であり、全額を調達できる見通しはまだ立っていない。そんな中、5月にロンドンで開催されたヒト疾患のマウスモデルに関する会議で、米国立衛生研究所 (NIH; メリーランド州ベセスダ) から今後5年間に総計1億1000万ドル（約100億

円) の資金提供を受けるとの発表があった。NIH 傘下の9つの研究所は、NIH 所長の Francis Collins が所長予算から1100万ドル（約10億円）を提供するのに合わせて、それぞれの研究所予算から1100万ドル（約10億円）を捻出することに同意したのだ。プロジェクトはいよいよ動き始めた。

IMPC は、遺伝的バックグラウンドが同一のマウスを使って、マウスゲノム内のおよそ2万個の遺伝子のうち1個をノックアウトもしくは不活性化した、生存可能なマウスシステムを作製することをめざしている。作製されたノックアウトマ

ウスシステムは、綿密で体系的な表現型スクリーニングにかけられ、身体や行動の差異がチェックされる。得られた情報は専用のオープンアクセス・データベースに収納される。

このデータベースを調べることで、例えば、ヒトの全ゲノム関連解析で特定疾患に関係する可能性があると示唆された未知の遺伝子について、さらに多くのことを明らかにできると考えられる。一研究室で変異動物を作製して表現型を解析するならば、3年はかかるだろう。

米国立聴覚・伝達障害研究所 (NIDCD; メリーランド州ベセスダ) の所長 James Battey は、NIH の IMPC への投資は、長い目でみれば資金の節約になると考えている。なぜなら、特定遺伝子の変異マウスを作って表現型解析をめざす研究者ひとりひとりに出す小規模な研究助成金が、既に年間数億ドル（数百億円）に達しているからである。

しかし、この先見性のあるプロジェクトがようやく立ち上がっても、現在、世界は金融危機の真っただ中にあり、さらなる資金提供者を見つけ出すのはなかなか

か難しいだろう。なかには、欧州委員会をあてにしている研究者もいる。欧州委員会は前述のロンドン会議を後援し、また、過去10年間に、マウスの体系的表現型解析法の開発や変異マウスの作製におよそ2億5000万ユーロ(約280億円)をつぎ込んできた。だが、英国医学研究会議(MRC;ロンドン)の最高責任者Leszek Borysiewiczはこの会議で、欧州委員会の政治家たちに、マウスのゲノム解析がほかのプロジェクトよりも資金提供に値することを納得させる必要があるだろうと釘を刺した。

しかし、会議に出席した研究者たちは、たとえスケジュールを延長しなければならないとしても、この研究が極めて重要だというだけの理由で、IMPCの目標は最終的に達成されるだろうと考えている。マウスは、研究用モデルとして重要なために、ヒトに続いてゲノム塩基配列が解読された。「しかし、すぐに、塩基配列から遺伝子の機能を直接予測するのは不可能なことがわかりました。しかも、ゲノム内には、遺伝子が何をやっているのかどうしてもわからない『ブラックホール』の部分があるのです。マウスの表現型データベースはそれらを解明するための牽引役となってくれるでしょう」と、英国ケンブリッジ大学の遺伝学者で、会議の準備を手伝ったPaul Schofieldは話す。

今や世界各地で「マウスクリニック」が創設され、人為的でなく自然に存在する、心臓異常などの表現型をもつ変異マウスをスクリーニングしたり、その変異をもっと詳しく調べるための二次スクリーニングを行ったりしている。しかし、これだけではまだ不十分である。遺伝子の発現とその表現型は、環境に大きく影響を受けるのだ。しかも、こうしたマウスの多くは実験という目的のためにストレスの多い環境で飼育されている。例えば、餌が高脂肪食だったり、感染症を罹患させられたりする。正常な環境で育った変異マウスを対象に行った表現型スクリーニング結果を比較することで、さら



何千種類ものノックアウトマウスシステムを作り出すことで、強力なデータベースを構築できるだろう。

に多くのことが解明されるはずだと、この計画に参加する研究者たちはいう。

「ヒトやマウスのゲノムプロジェクトと同様に、国際的に連携してマウスの全ゲノムの体系的な表現型解析を行うのは理にかなっています」と、IMPCの代表者である遺伝学者のMark Mooreは話す。IMPCには基礎科学研究者だけでなく臨床医学研究者も参加する予定で、前半の5年間でノックアウトマウス4000匹を対象にした表現型の一次スクリーニングを行う計画だ。参加する研究者は誰でも、この第一段階で優先的にノックアウトしてほしい遺伝子の要望を出すことができるが、ある程度の割合は無作為で選ばれることになっている。

IMPCは既に、どんな型の表現型解析を実施すべきか、また、どのような環境条件でマウスを飼育すべきかについて、研究コミュニティとともに議論を進めている。また、高齢のマウス集団の研究も考えている。「これは、マウスを長期間飼うことになり、コストがかさみます。しかし、加齢関連疾患は、研究者全員が検討課題の筆頭に掲げるテーマなのです」とMooreはいう。

創業の源泉に

「IMPCは費用がかかるように思えますが、ほかのゲノム資源に比べてかかりすぎるといっていただけではありません」とMooreはさらに説明する。「このデータ

ベースさえあれば、一握りしかない、数十億ドル規模の大ヒットする薬剤の開発に一役買うことになり、元は取れるはずです」。

「こうしたイニシアチブを取ることで時間も費用も節約でき、見返りとして薬剤が得られるのです。マウスは確実に製薬業界の活動拠点になります」と、リジェネロン社(米国ニューヨーク州タリータウン)の副ディレクターDavid Friendeweyは賛同の意を示す。しかし、製薬会社の関心を資金提供へと結びつけることは容易ではない。グラクソ・スミスクライン社(英国スティーブニッジ)学術連絡部ディレクターのMalcolm Skingleは、「製薬業界は現物供与の形では参加するでしょうが、おそらく現金は出さないでしょう。我々はもはや資金を際限なく提供する打ち出の小槌こづちではないのです」と話す。

また、ドレスデン工科大学(ドイツ)のゲノム工学研究者であるFrancis Stewartは、このプロジェクトの商業的な利益に注目するのはお門違いだと話す。「IMPCのおかげで、我々は初めて、1種類の哺乳類についてのすべてを体系的に知ることのできる歴史的機会を得ようとしているのです」と彼はいう。「我々は、政治家たちを喜ばせるために応用方面へと道を踏み外して、大きな志を見失ってしまわぬよう心がけましょう」。

(翻訳: 船田晶子)



市民のための科学へ、模索は続く

Science for the masses

CORIE LOK 2010年5月27日号 Vol. 465 (416-418)

米国立科学財団は、助成対象の研究プロジェクトにおいて、
成果を社会に伝えたり役立てたりする取り組みを、きちんと実行するよう求めている。
これを含めない提案書は審査もされないため、多くの研究者が当惑している。

研究助成機関は、2つの相反する力のバランスをとるために絶えず努力を続けている。1つは、誰からも干渉されずに研究を進めたいという研究者の欲求であり、もう1つは、研究投資からの利益を望む社会の要請だ。

例えば欧州委員会 (EU) は、この10年間、各種の研究プログラム提案書の審査において、社会的影響を考慮に入れることで、このバランスをとろうとしてきた。また2009年、イングランド高等教育資金配分会議は、2013年から経済・社会・文化に対する実証可能な利益を研究の評価項目の1つに加えると発表した。

しかし、この点では、米国立科学財団 (NSF; ヴァージニア州アーリントン) ほど徹底している助成機関はない。研究によって、科学ないしは社会全体に、より幅広いインパクト (broader impact)

がもたらされることを示す活動が明確に含まれていない研究提案書については、審査すらしめないというのだ。「この審査基準は、研究者を象牙の塔から引っ張り出して、社会とのかかわりをもたせることを目的としています」とNSFのArden Bement 長官は説明する。

簡単ではない、成果の社会への伝達

これに対して、テキサス大学ダラス校 (米国) の物理学者で、一般向け科学書の執筆やその他のアウトリーチ活動を積極的に行っている Diandra Leslie-Pelecky は、いくら目的がよくても、必ずしもうまくいくわけではない、と釘を刺す。

彼女の頭にあるのは、ネブラスカ大学リンカーン校 (米国) にいたときに試みた2001年のプロジェクトの結果だ。それは、NSFの「より幅広いインパクト」

の要件を安易に満たそうとすれば、たいはいはこうなるという見本だった。

彼女は、3人の女子大学院生と共に、週1回45分間、地元の小学校で、9～10歳の児童に電気と回路を学ばせる実践的な授業を行った。授業では、自分たちの実験室での作業や職業の話もした。このプロジェクトには、ちょっと風変わりな要素も含まれていた。教育学の研究者を同行させて、こうした交流が、研究者に対する子どもたちの見方に影響を与えるかどうかも調べたのだ。

この調査結果には驚かされた、とLeslie-Peleckyは振り返る。3か月の期間が終わっても、ほとんどの児童は、この若い先生たちの職業が明確に把握できなかった。しかも「絶対に研究者ではない」と答えた。科学者とは、白衣を着て、無愛想な白髪頭の老人のことだと思ひ込

んでいたのだ¹。

Leslie-Pelecky は続ける。「この点こそ、私が『より幅広いインパクト』に不安を感じるころなのです。多くの研究者がこうした活動に時間と労力をかけていますが、ここから何か実のあるものが生まれるのかどうか、誰にもわかっていません」。

NSF の助成金を受けている多くの研究者は、「より幅広いインパクト」に関する NSF の定義には解釈の幅があり、いろいろなほどあいまいだと感じている。ちなみに NSF の研究提案書作成ガイドには、「より幅広いインパクト」をもたらす活動として、次のような例が記載されている。小中学校・高等学校・大学の学部生向け教材の作成、こうした生徒・学生を必要に応じて研究に参加させること、メンタリング（人格育成）プログラムの創設、共用研究基盤の維持・運営、政策立案者など科学の専門外の人々に対する研究結果の発表、国際的共同研究や産学間共同研究の構築、博物館との連携による展示物の開発、新興企業の立ち上げ、一般市民へのプレゼンテーション。

「より幅広いインパクト」という要件は、概念として明確ではない。そのため、多くの研究者は、研究提案書に何を組み込めばよいのか確信がもてず、審査担当者による評価にもばらつきが生じている。「もともと、いろいろな事柄が自由に含まれるオープンな概念として意図されたのですが、そのオープンさゆえに、多くの人々が困惑しているようです」。こう話すのは、NSF 化学部長の Luis Echegoyen だ。

しかも NSF は、「より幅広いインパクト」という要件の充足状況とそのために支出された助成金額に関する系統的な追跡調査をほとんどしていない。さまざまなプロジェクトの有効性を評価する制度も整備されていない。そのため、事態がさらに悪化している。

この 10 年間、国家行政学会などが、「より幅広いインパクト」を巡って何が問題なのかを明らかにしてきた。2010 年 3



NSF 助成研究の一環として、ルシール・パッカード小児病院で患者の子どもたちを教えるスタンフォード大学の化学工学者 Andrew Spakowitz（右端）。

月、NSF を監督する科学審議会は、改善方法を検討するため、米国科学振興協会 (AAAS; ワシントン D.C.) の Alan Leshner 会長をリーダーとするタスクフォースを組織した。ただ、このタスクフォースは、2011 年までに勧告を発表する予定はない。

成功例や新しい試みも出始めた

こうした中でも、少数の学術研究機関は、よりよい成果を生み出す方法を模索し始めている。イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校（米国）で化学と材料科学を専攻する研究者 Ralph Nuzzo は、「結局のところ、ほとんどの米国の研究者は、しぶしぶではあっても、自らの研究がより幅広い影響を与えることを示すことが得策だと認め始めています」と話す。「研究者は正しいことをしたいと思っています。ただし、それが何であるかが簡単にはわからないのです」。

それでも、いくつかの成功例は既にある。例えば、レンセラー工科大学（米国ニューヨーク州トロイ）では、「Molecules to the Max（分子の極限）」という三次元アニメのアイマックス映画（17 ページの画像を参照）が制作された。これはナノ科学の教材で、NSF

の「ナノ構造体配向集合のためのナノスケール科学技術センター」が後援する Molecularium プロジェクトの一環だ。

ウィスコンシン大学マディソン校（米国）では、微生物生化学の研究者 Douglas Weibel のグループが、顕微鏡に関する子ども向けのインタラクティブな展示物を制作し、同大学で年 1 回開催される公開科学博覧会に出品している。

スタンフォード大学（米国カリフォルニア州）では、化学工学者の Andrew Spakowitz が、週に 2～3 時間、学部学生や大学院生と共同で、同大学附属ルシール・パッカード小児病院の患者（通学できない患者がほとんど）向けのワークショップを開催している。Spakowitz のグループは、pH や重力などをテーマとしたワークショップを開き、病院内での体験学習を指導している。

「より幅広いインパクト」という基準は、大学に染みついた研究中心主義という風土を変化させるうえで役立った、と評する専門家もいる。ウィスコンシン大学マディソン校天文学科長であり、NSF の助成金で運営される同大学の研究・教育・学習統合センター（CIRTL）のセンター長を務める Robert Mathieu は、「この基準によって、研究者は、自らの研究

が社会の利益を高めることにかかわっているのかどうか、より明確に考えるようになりました」と話す。

Mathieu は、その一例として、NSF が若手教官に授与する CAREER 賞の存在を指摘する。この荣誉ある賞の応募者は、教育活動（例えば、講座の計画、一般市民向けアウトリーチ活動の実施）が組み込まれた研究を提案することが要件となっている。Mathieu は、いくつかの審査委員を務めたことがあるが、年々、研究提案書における教育活動の部分が長くなり、内容が高度化しているという。

NSF としては、ウェブサイト、ワークショップ、会議のセッションを通じて、研究者に対して「より幅広いインパクト」の周知徹底を図っている。しかし、ほとんどの研究者は、今でもこの基準に当惑し、不安を感じている。既存の活動を焼き直ただけで終わっている事例も多い。「化学分野の研究者で圧倒的に多い取り組みは、大学院生とポスドク研究員の研修です」と Echegoyen はいう。

通常、共同研究者との作業、意見交換と助言、発表済み論文からの情報収集、会議への出席といった支援ネットワークが既に存在している。しかしこれが、「より幅広いインパクト」との関係において、依然として未発達であることが問題となっているわけだ。有用なモデルとして使えそうなのは、米国の数多くの大学内に設置されている技術移転事務所のネットワークだ。技術移転事務所は、研究ないしは研究者から、商業的効果を最大限に引き出す役割を果たしてきた。

準備段階ではあるが、「より幅広いインパクト」のための支援ネットワークも登場し始めた。例えば、スタンフォード大学には科学アウトリーチ事務所があり、Spakowitz が病院でプロジェクトを実施する際、病院側との折衝の手助けをした。また、Mathieu がセンター長を務めるウィスコンシン大学マディソン校の CIRTLL は、ヴァンダービルト大学（米国テネシー州ナッシュビル）、テキサス A&M 大学（米国カレッジステーション）

など 6 大学の研究キャンパスとの間で CIRTLL ネットワークを形成している。

ウィスコンシン大学の CIRTLL では、ワークショップを運営すると同時に、教員の個別相談を実施し、助成研究提案書に「より幅広いインパクト」の活動を組み込むよう支援している。ほかの CIRTLL も同様のプログラムの実施に向かって動き出している。Mathieu のグループは、このネットワークを 20 ~ 25 大学に拡大する計画を立てている。

その究極の目標は、CIRTLL をもちたいと考える米国内の研究大学すべてに CIRTLL を設置することだ。それによって、最もよい実行方法を共有するコミュニティを構築し、より幅広いインパクトを効果的に生み出すための専門知識や専門技術を蓄積する。Mathieu の試算によれば、米国のトップクラスの研究大学すべてに CIRTLL を設立するのに必要な費用は、5 年間で約 1 億ドル（約 90 億円）だという。

個人がやるのが本当によいのか

しかし、こうした構想については、次のような、より根本的な疑問が生じる。個々の研究代表者が、より幅広いインパクト

をもたらすための活動に取り組むわけだが、多くの研究者は、この活動に関する経験や訓練が不足している。そうすると、これが最大の効果を生む最も効果的なやり方といえるのだろうか。

これについては否定的な見解を示す研究者がいる。ノーステキサス大学文理学部（米国テキサス州デントン）の学部長で生物学者の Warren Burggren は、その論文の中で、より幅広いインパクトを生み出す作業は、研究者の所属機関がなすべきことであり、研究者個人の責務ではない、と述べている²。学部、学科またはセンターといった機関で、その所属研究者が取得した NSF の助成金の一部をプールして、より幅広いインパクトを効果的に生み出すための専門家を雇えばよい、というのだ。研究者も関与すべきだが、活動のコーディネートは機関レベルで行われることになる。「そのための教育を受けた人材を採用するわけですから、そのほうが効率は高いと思います」と Burggren はいう。

別の提案をしているのは、ジョージア大学（米国アセンズ）に所属する科学政策の専門家 Barry Bozeman だ。気候変動のように影響が重大かつ明白な領域に



アウトリーチ活動には、ナノテクノロジーと社会のつながりについて学べるボードゲーム（左）などもある。また、生化学者 Douglas Weibel（右）が説明役を買っているような、顕微鏡の操作を体験できる展示もある。こうした活動が、科学を一般市民に近づけるために貢献している。

つについては、NSF 自身が「より幅広いインパクト」の目標を設定して、特別な研究プログラムを創設すればよい、というのだ³。NSF は既にこの戦略をとっており、例えば大学での科学研究における女性研究者の雇用と確保を奨励するため、授賞制度を始動させていると Bozeman は指摘する。

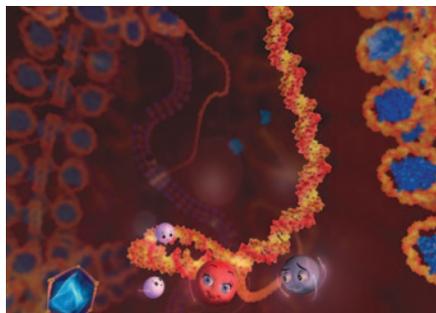
NSF の「より幅広いインパクト」という要件が現在のような姿になったのは 1997 年だ。このとき、NSF は、研究提案書の評価基準を簡素化した。4 つの基準のうち、「プロジェクトに内在する科学的価値」と「研究方法の健全性」という 2 つの基準が「知的価値」という第一の基準に統合された。また、残りの 2 つの基準である「プロジェクトの有用性または妥当性」と「科学と工学の基盤に与える影響」が解体されて、「より幅広いインパクト」という第二の基準になった。

基準の簡素化直後の数年間は、提案者も審査官も第二の基準を無視し、かつて「有用性または妥当性」を軽視したのと全く同じやり方で事を進めていた。ところが 2002 年になって NSF が断固たる姿勢に転じ、「知的価値」と「より幅広いインパクト」という基準に取り組みない提案書は、審査せずに返却するという方針を打ち出したのだ。

追跡調査と評価が不可欠

「より幅広いインパクト」という要件を追跡調査し、評価する作業は、数が少なく、小規模なものにとどまっており、決定的なものはない。例えば NSF は、2007 年の米国競争法によって「より幅広いインパクト」に関する報告書の提出を義務付けられたが、2008 年に議会に提出された報告書は、いくつかの具体的な研究プロジェクトに関する事例報告の域を出なかった。

一方、NSF 化学部は、最近、ある外部の企業との間で、助成金受領者の一部を選び出して、「より幅広いインパクト」活動の評価を行う契約を結んだのだが、その企業が解散してしまい、事業が宙に



NSF の助成金で運営されるナノスケール科学技術センターが製作したアニメ映画「Molecules to the Max (分子の極限)」。

浮いてしまっている。また、NSF 地球科学局も、海洋科学と地球科学の分野で「より幅広いインパクト」のための活動に関する非公式調査を実施し、ある程度の成果が得られたが、研究本体とより幅広いインパクトのための活動とが密接にからみ合っていることが多く、両者の区別が難しいことも明らかになった。

この点に関する評価は、NSF のほかの活動の副産物としてなされるケースがほとんどだ。それは例えば助成金受領者の年次報告書の定期的精査とか、外部科学者による委員会が行う NSF 各部のプログラムに関する定期的審査などだ。

最近の助成研究抄録における「より幅広いインパクト」に関する記述を解析したコロラド大学ボルダー校付属コロラド分子生物工学イニシアチブ（米国）のアシスタントディレクター Melanie Roberts は次のように話す。「NSF が追跡調査をしないため、『より幅広いインパクト』活動の社会に対する真の貢献度が過小評価されています。また、活動を効果的に行う方法や、上手に実行する人々を報奨する方法など、知識ベースを構築するチャンスも逃しているのです」。

NSF は、定義を明確化しようと何度も試みたが、混乱は解消されなかった。もしかすると、この事実は、科学と社会の関係に関する、より根本的な問題を反映しているのかもしれない。そう指摘するのは、ノーステキサス大学の科学哲学者 Britt Holbrook だ。科学が社会に役

立っていることを実証するのは、本質的には政治的な課題だ。NSF はこの達成度合いを研究者に投げつけてしまうことで、責任転嫁をしているのではないか。

「NSF は責任の一部を助成金受領者に転嫁した、というのが私の仮説です」と Holbrook はいう。彼は NSF から研究助成金を受けて、複数の研究助成機関を比較し、社会に与える影響を審査過程にどの程度組み込んでいるか、違いを調べている。Holbrook は続ける。「しかし、これをやると、科学と工学の研究コミュニティから反発を受けます。それは、伝統的なピアレビューの考え方に反しているからです。そもそもピアレビューの目的とは、技術あるいは科学のレベルで研究を評価することだからだ。

行き過ぎには要注意

それでは、NSF は、研究プロジェクトのインパクトをどうやって実証するのだろうか。NSF の得意分野である基礎研究は直ちに見返りが得られないし、見返りがあっても、その定量化は難しい。

ライス大学（米国テキサス州ヒューストン）の物理学者 Neal Lane は、研究そのものの成果と社会への提示・貢献という、2 つの微妙な要素のバランスをとろうとしているのだと説明する。彼は「より幅広いインパクト」という基準が初めて施行された当時の NSF 長官（1993～1998 年）だった。Lane は続ける。自らの研究がどのように社会に影響するのかを研究者自身に考えさせることは大事だが、「行き過ぎには要注意です。もし NSF が短期的利益の得られる活動を偏重すれば、NSF のミッションと矛盾することになり、米国の科学と工学、技術にとって決して好ましいことではないからです」。

（翻訳：菊川要）

Corie Lok は、マサチューセッツ州ボストンに駐在する Nature のエディター。

1. Buck, G. A. et al. *J. Elem. Sci. Educ.* **14**, 1-10 (2002).
2. Burggren, W. W. *Soc. Epistemol.* **23**, 221 (2009).
3. Bozeman, B. & Boardman, C. *Soc. Epistemol.* **23**, 183 (2009).

史上最大の地震

The biggest one

ROFF SMITH 2010年5月6日号 Vol. 465 (24-25)

これまで観測された史上最大の地震が、1960年5月に発生した「1960年チリ地震」だ。チリ地震から50周年を迎えた今、私たちが再認識しなければならないのは、この巨大地震が地震学にもたらした革命についてである。

1960年5月のある土曜日の早朝、巨大地震がチリの南部を揺さぶった。このとき、瓦礫の下からはい出すことのできた幸運な住民たちは、自分たちは自然界がもたらす最悪の災害に見舞われた、と考えたはずだ。実際、彼らの村を倒壊させた地震の大きさは、のちにマグニチュード8.1と見積もられた。これは、過去1年余りの間に地球が引き起こした揺れの中で最大規模のものだった。

首都サンティアゴの当局は、^{きゅうきょ}急遽、被災地に救援隊を派遣した。しかし、これほど大きな地震さえも、さらに巨大な地震の前震にすぎないことを予見するのは不可能だった。本震は、翌5月22日の午後に発生した。激しい揺れはまさに地球全体を振動させ、その振動は数日にわたって続いたのだった。

以来数十年間、地震学者は、チリ地震がいかに巨大であったかを理解すべく、当時のさまざまな情報やデータを精査してきた。彼らは地震の規模を測定する全く新しい方法を考え出し、1960年のチリ地震には、対数目盛を用いたマグニチュードで9.5という数値を与えた。これは、今日までに記録された地震の中で最も大きな数値である。

広島を壊滅させた原爆の2万倍以上のエネルギーをもつこの地震は、チリ国内で少なくとも1500人の犠牲者を出し、高さ25メートルの津波を発生させて沿岸の村々を流し去り、港に停泊していた船を1キロメートル以上も内陸に打ち上げた。津波は太平洋に波及してハ

ワイのヒロで61人の命を奪い、さらに日本に押し寄せた。震央から1万7000キロメートルも離れた日本では、この地震による津波を警戒する人はなく、死者は142人に上った。

「南米で発生した地震が、遠く日本で犠牲者を出したのです」と、南カリフォルニア地震センター(米国ロサンゼルス)のTom Jordan 所長はいう。「まさに、地球規模のモンスター地震でした」。

2010年1月にハイチを襲った巨大地震をはじめ、チリ地震より多くの死者を出した地震はいくつもある。しかし、発生から半世紀が経過してもなお、このモンスター地震は研究者を魅了し、その好奇心をかき立て続けている。2010年5月、米国地球物理学連合(AGU)は、チリ地震から50周年の節目の年に当たり、チリのバルパライソで巨大地震と津波に関する会議を開いた。多くの代表者が被災地を訪問し、地震がこの地の景観に残した傷跡や、津波が置いていった堆積物に、改めて驚嘆したのだった。

この会議の主催者である米国地質調査所(ワシントン州シアトル)地震災害予測チームのBrian Atwaterは、「チリ地震は、近代地震史における最大級の地震として、地震の規模を評価するための基準になっています」という。

チリ地震を境に、地震学は大きく様変わりした。この巨大地震は地震学者に、地球自由振動に関する最初の明確な証拠をもたらした。この振動は、鐘をつくとその全体が振動するように、大地震の発



生後、地球全体が調和振動する現象のことだ。それから今日まで、研究者たちはこうした自由振動をCTスキャンのように利用して、地球の内部構造を理解する方法を学んできた。

地震が残していったもの

1960年のチリ地震と1964年に発生したマグニチュード9.2のアラスカ地震は、プレートが別のプレートの下に潜り込む場所で発生する「沈み込み帯地震」の典型的な例だ。これらは、1960年代の革命的なプレートテクトニクス理論発展の基礎となった。

チリ地震は、地球に関する基本的な知識をもたらしただけではない。1960年代に太平洋沿岸諸国で国際的な津波警報システムが設置されるきっかけとなり、結果として多くの人命を救うことになった。また、地質学者は、津波が残していった堆積物を調べることで、巨大地震を引



1960年の巨大地震から数日後の
カストロ（チリ）のようす。

き起こすおそれのある場所を特定するためのモデルを構築することができた。その一例が、北米大陸の西海岸のカスカディア沈み込み帯である。

とはいえ、チリのモンスター地震の発生時期は、多くの意味で早過ぎた。地球科学の技術的・理論的な革命は、まだ始まったばかりだったからだ。ノースウェスタン大学（米国イリノイ州エヴァンストン）の地震学者 Seth Stein は、「この地震の発生時期があと 10 年遅かったら、はるかに多くのことが明らかになっていたでしょう」と語る。チリ地震が発生した 1960 年には、まだプレートテクトニクス概念が確立していなかったため、当時の研究者たちは、この地震を地球物理学の関連から考察することができなかった。また、非常に多くの情報をもたらしたに違いない「地震計の広域ネットワーク」が設置されたのは、この地震の 3 年後のことだった。

1960年の地震は、チリの海岸線に沿って走る断層帯が長さ約 1000 キロメートルにわたって破壊されて発生した（下地図参照）。断層の両側のプレートが互いに 20～30 メートルも滑った結果、数世紀にわたって蓄積されてきたエネルギーが、恐怖の数分間で解放されたのだ。

チリ地震は、単なる史上最大の地震ではない。マグニチュード 9.5 という数値は、地球が 1 回の地震で解放するエネルギーの上限に近いと考えられているのだ。ニューメキシコ鉱業技術研究所（米国ソコロ）の地球物理学者であり、米国地震学会の会長である Richard Aster はいう。「将来、チリ地震より大きい地震が起こる可能性はないといっているわけではありません。可能性としてはありますが、ただし、チリ地震の規模を大幅に上回るようなことはないでしょう。地震の規模は、断層の大きさと強度から決まってくるからです」。

この地震の規模を示すために、Aster は 20 世紀に世界中で発生したすべての地震のエネルギーを合計してみた。これには、チリの巨大地震のほかに、1952 年のカムチャツカ地震、1964 年のアラスカ地震など、マグニチュード 9 以上の地震が含まれている。次に彼は、このエネルギーのすべてが 1 回の地震で解放されたらどうなるか予想してみた。

2004年に発生したマグニチュード 9.2 のスマトラ島地震を基準にすると、それはマグニチュード 9.95 相当の地震になった。「マグニチュード 10 にはならないです」と Aster はいう。

注目すべきは、100 年余りの間に地球が解放してきた膨大な地震エネルギーの合計の、実に 4 分の 1 が、チリ南部カニエテ付近を震源とするたった 1 回のチリ地震で解放されたことだ。観測史上第 2 位の地震は 1964 年のアラスカ地震だが、1960 年チリ地震はその 2 倍もあった。

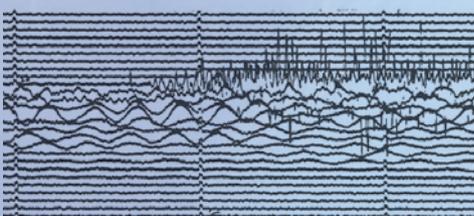
類例のない揺れ

バルディビアで開かれたチリ地震 50 周年記念式典には、巨大地震の規模を正確に測定できるモーメント・マグニチュードというスケールの考案にかかわったカリフォルニア工科大学（米国パサディナ）の金森博雄^{かなもりひろお}も出席した。地震学の第一人者として知られる彼は、この 1 年、50 年前のチリ地震のデータの再調査に取り組んできた。チリ地震のとてつもない規模だけでなく、その独特な振る舞いにも興味をもっていたからだ。

最初に発生した前震の大きさを計算し直した金森は、「マグニチュード 8.1 の地震が前震にすぎないなんて、いったい誰が想像できたでしょう？ けれどもそれは、驚くべき前震系列の始まりにすぎ

1960年5月22日にチリで発生した巨大地震

マグニチュード 9.5 を記録したこの地震は、太平洋の海底の一部（ナスカプレート）が南米プレートの下に潜り込む「沈み込み帯」に沿って発生した。2つのプレートは 1 世紀に約 8 メートルのペースで収束しており、1575 年には同じ地域でマグニチュード 8.5 と推測される地震が発生した。



1960年のチリ地震の際に米国カリフォルニア州パークレーの地震計が記録した揺れ。



なかったのです」という。彼によると、本震に当たる巨大地震が発生する33時間前から、マグニチュード6以上と推定される大きな地震が6回ほど起き、わずか15分前にはマグニチュード7.8の地震が起きたという。「私が知るかぎり、このような前震系列はほかにはありません」。

金森によると、さらに興味深いのは、本震まで15分を切ったときに、パサディナの地震計が奇妙な長周期振動を記録したことだという。この記録は、本震に当たる巨大地震の前に、地中の深いところで強い「ゆっくり地震」が発生していたことを示唆する。この点こそが、チリ地震を単なる巨大地震とは異なる、類例のない地震にしているのだ。このような「ゆっくり地震」は、1944年に日本で発生した南海地震などでも、事前に起きていたようだが、大きな被害につながる揺れは生じなかった。断片的な証拠だけでは、事実を明らかにするよりも、新たな謎を呼び込んでしまうことが多い。

残念ながら、前震の激しい揺れが、当時稼働していたほかの数台の高性能地震計の記録を不明瞭に^{めいりよう}してしまった。そのため、パサディナの地震計が記録した興味深い揺れを裏付ける独立の証拠は存在

しない。しかし、チリでの目撃証言も、マグニチュード9.5の本震の前に異常な現象が起きていたことを示している。当時、震央から200キロメートルほど離れたコンセプションにいた2人の地球物理学者が、「チリ地震は穏やかに揺さぶられるような感覚から始まった」と証言しているのだ。これは、典型的な巨大地震が突然の激しい揺れから始まるのとは対照的だ。

「彼らの1人は、道に停まっていた自動車が大きく横揺れしているのを目撃しています」と金森はいう。「巨大地震の始まりとしては極めて異例の報告ですが、訓練された地震学者がこう証言している以上、真剣に受け止めなければなりません」。

1960年のチリ地震の前に、地中の深いところで「ゆっくり地震」が本当に発生していたとすれば、ほかの地域の地震と関連付けることができる。「多くの科学者が、カスカディアプレート境界に沿って巨大な沈み込み帯地震が発生するだろうと考えているのですが、予想されている地震の始まりのようすが、これと非常によく似ているのです」と金森はいう。この地域では約14か月ごとに「ゆっくり地震」が発生しているため、一部の

研究者は、カスカディア沈み込み帯はチリ沖のプレートに似ているのではないかと考えている。

太平洋北西部で巨大地震が発生したとする文書記録は皆無だが、Atwaterやほかの地球科学者は、この地域はマグニチュード9レベルの地震に何度も見舞われてきたと確信するようになっている。Atwaterらは、1960年のチリ地震による津波が残っていた砂質堆積物を調べることで、何世紀も前にカスカディアで発生した巨大地震による津波が、北米西部や日本の海岸を襲った痕跡を発見することができた。

このクラスの巨大地震は、300年に1度か、あるいはもっと低い頻度でしか発生しないため、研究者が研究対象とするのは困難だ。しかし、現在は地球上の数百か所に高感度地震計がくまなく設置されており、いつでも使えるようになっている。それゆえ、次のモンスター地震がいつ、どこで発生しても、「1960年のチリ地震より、はるかによく理解することができるのです」と金森はいう。 ■

(翻訳：三枝小夜子)

Roff Smith は英国ヘースティングズに拠点を置くフリーランスのライター。

NEWS BRIEFING

風が吹けば……

Wind-blown ice

2010年3月18日号 Vol. 464 (328)



ISTOCKPHOTO

風のパターンが北極海の氷の量を変動させているという研究成果が発表された。風は、北極海に広がる氷の最小面積の年次変動の約半分と、過去30年間にみられた予想外に急速な海氷減少の約3分の1に関与しているという。

海洋研究開発機構(横浜)の^{おぎまさよ}小木雅世らの研究チームは、公表されている1979年から2009年までの夏と冬の風のデータと、9月の海氷の広がりのデータとを照らし合わせた。その結果、夏に

ボーフォート海の上空で吹く高気圧性(時計回り)の風など、ある種の異常な風が海氷の減少と相関していることがわかった。

研究チームによれば、そうした風で海氷がグリーンランド東側のフラム海峡から押し出され、北極海の氷を減少させている可能性があるという。また、こうした特別なパターンの風が吹く傾向が強まっていることも明らかになった。 ■

(翻訳：小林盛方)

太平洋クロマグロも危ない

Pacific tuna population may crash at any time

DAVID CYRANOSKI 2010年5月20日号 Vol. 465 (280-281)

www.nature.com/news/2010/100519/full/465280b.html

太平洋クロマグロの数は、
大西洋クロマグロと同じように減りつつあるのかもしれない。

絶滅の危機に瀕しているクロマグロの中で、太平洋の集団は唯一残された砦と考えられていた。しかし、最近の調査によれば、資源量に関する公式報告書では漁業活動の変化が見過ごされており、太平洋のマグロも急激に減少しつつあるという。

大西洋と地中海のクロマグロの個体数は、かつての15パーセント未満にまで減ってしまった。それにもかかわらず、3月に開かれた「絶滅のおそれのある野生動植物の種の国際取引に関する条約（ワシントン条約）」の会議では、大西洋・地中海のクロマグロ取引の禁止に関して国際的な合意を得ることができなかった。

これに対し、太平洋クロマグロ (*Thunnus orientalis*) の個体数は安定し、十分な量の若い個体が毎年成熟して漁獲分を補っていると考えられてきた。2009年7月、「北太平洋におけるまぐろ類及びまぐろ類似種に関する国際科学委員会 (ISC)」の作業部会は、「比較的高い漁獲率でも、幼魚の成熟による資源の増加に悪影響を及ぼしているとは考えられない」と結論付けた。

しかし作業部会は、2005年以降についてはデータ不備により、未成魚による資源増加が極めて不確かであることを認めている。さらに、三重大学 (津市) で漁業を研究する勝川俊雄によれば、資源が安定しているという考え方の根底には、漁業活動が変化していないという誤った仮定があるという。勝川が最も憂慮して

いるのは、クロマグロの産卵場での操業が活発化したことが、漁業従事者の聞き取り調査からわかったことである。この戦略をとると、漁獲効率が増すために、資源が増えたようにみえるのだが、実際には資源の繁殖能力を奪っているのである。「このような状況が続けば、太平洋クロマグロ資源は大西洋よりも先に枯渇するでしょう」と勝川は話す。

国立台湾大学 (台北) の漁業生物学者である許建宗は、若マグロ市場の成長に伴って漁業活動が変化したと話す。日本の市場では、体長10～15センチメートルの太平洋クロマグロの未成魚が1匹1万円前後、成魚は1匹数百万円を取り引きされる。時には、1000万円以上の値が付くこともある。勝川は、漁業従事者は魚の成熟を待つことで利益を増やすことができると指摘する。総じて、太平洋クロマグロの漁獲の70パーセント以上は、寿司ネタとして高値が付く日本の漁業者によるものとなっている。

ISCのデータによれば、孵化後1年未満の太平洋クロマグロの漁獲率は、1960年代のおよそ60パーセントから、現在では70パーセント以上に拡大している。しかし、勝川は、この増加は実態を過小評価した数字であると確信している。漁獲の90パーセント以上は満2歳に満たない個体だというのだ。「未成魚の漁獲増加は、個体数急減のリスクを増大させます。個体数は年々減少しつつあり、ただちに管理措置を講じなければ深刻な事態の前兆が現れるでしょう」と許は語る。



太平洋クロマグロの需要は大きい。

資源の健全性に関する懸念に対し、日本の水産庁は5月11日、太平洋クロマグロ個体数を監視および管理するための新たな措置の概略を発表した。その規定では、大量にクロマグロを捕まえる大中型巻き網漁船の隻数と漁獲サイズが制限され、沿岸部で曳き縄等を使う漁船に関しては漁獲実績の報告が新たに必要になる。そして、まさに数知れない多くの未成魚を集めて生簀で育てている畜養業者には、登録と事業報告が求められている。水産庁は、この規制を2011年4月までに実行に移す計画だ。

この措置では、未成魚資源と産卵海域に関するより詳細な研究とともに、太平洋クロマグロ漁業の研究と管理を行う研究者の国際的ネットワークの確立も求めている。水産庁所轄の遠洋水産研究所 (静岡市) の研究者であり、ISCの作業部会報告書を取りまとめた竹内幸夫は、「産卵海域を保護するには、クロマグロの行動や産卵期を解明しなければなりません。そうすることで、いつ、どの個体なら獲ってよいのかを決める規制をスタートできます」と語る。

勝川は、この新たな措置が「効果的に実施されれば」大きな成果が挙げられるだろうと話す。しかし、実施が遅すぎて回復不能なまでに個体数が減少してしまう事態に陥ることを懸念している。「それは突然やってくるかもしれません。でも、実際に起こるまでわからないのです」。

(翻訳：小林盛方)

芳香族分子ピセンで、 超伝導現象を発見

亀の甲のベンゼン環が5個つながった芳香族分子のピセン ($C_{22}H_{14}$) に、カリウムをドーピング（注入）することによって、絶対温度 18K（マイナス 255 度）で超伝導状態が起こることが明らかになった¹。2008 年に東京工業大学の細野秀雄教授らが見つけた「鉄系高温超伝導体」に続く、日本発の新たな超伝導体として期待が集まる。



くぼの よしひろ
久保 芳博

予想外の発見

—— Nature ダイジェスト：いわゆる“普通の有機物”が超伝導体になるとは驚きです。発見の経緯を教えてください。久保園：有機物の超伝導が発見されたのは 1980 年で、無機物（金属）の超伝導物質が最初に見つかったのが 1911 年ですから、比較的最近のことといえます。その後 1991 年に、ベル研究所（米国ニュージャージー州マレーヒル）のグループが、フラーレン C_{60} （炭素原子がサッカーボール状に 60 個連なった分子）に金属をドーピングすると、18K で電気抵抗がゼロになることを発見しました。同じ年、今度は NEC 基礎研究所が、 C_{60} にルビジウムとセシウムを注入した $RbCs_2C_{60}$ で転移温度が常温で 33K まで高められることを確認²しています。

岡山大学大学院自然科学研究科の神戸高志准教授と私たちの研究チームは、 C_{60} とセシウムの有機化合物の超伝導体が、ほかの有機物伝導体とは異なり、圧力をかけると転移温度が上昇することに注目しました。そして、その仕組みの解明を進めるとともに、新たな有機超伝導体を模索してきました。その中で出てきたの

が、ベンゼン環が 5 つ連なった構造で、化学合成が簡単なピセン ($C_{22}H_{14}$) でした。

この物質は絶縁性が高いので、最初は有機トランジスタになるのではないかと研究を進め、実際、高性能の電界効果トランジスタの作製に成功³しました。それが超伝導体に向かったのは、ある学会で、エネルギーのバンドギャップが大きいダイヤモンドにホウ素をドーピングすると、超伝導体になる可能性があると聞いたからです。バンドギャップが 3.3 eV と比較的大きいピセンにも超伝導の可能性があると思い、カリウムをドーピングして電子を与えたところ、超伝導現象がみられることがわかったのです。

この発見自体は、論文を発表する 1 年半ほど前の 2008 年 8 月ごろです。普通の芳香族分子としては世界で初めての超伝導体で、まさにセレンディピティーでした。そして、カリウムのドーピングをどのくらいにすれば、超伝導が起こりやすいのか、研究を本格化させたのです。

—— どのような手法で研究を進めたのですか？

ピセンは当初、岡山大学の岡本秀毅准教

授らが合成したものを利用しました。昇華精製して純度を高め、それをアルゴンガスの入ったチューブの中にカリウムと一緒に閉じ込めます。そして、電気炉に入れて反応させるわけです。ピセン 1 モルに対し、カリウム濃度を 1～6 モルの間でいろいろ変えた試料 (K_x picene) を作り、超伝導現象がみられるか丹念に調べていきました。超伝導現象は、電気抵抗がゼロになるだけではだめで、物質内部の磁力線が排除されていることを確認する必要があります。この現象を確認するため、SQUID（磁気測定装置）を使用しました。

試料は数百本以上作りましたが、カリウムを 3 モル前後注入したピセン (K_3 picene) が、最も超伝導状態になりやすいことがわかりました。特におもしろいのは、超伝導現象が起こる転移温度に、7K と 18K の 2 つの相があったことです。

2 つの顔をもった物質

—— おもしろい現象ですね。どうしてそんなことが起こるのですか？

本当のところはまだよくわかっていません。要するに、カリウムのほんのさじ加



ピセン



ピセン結晶



カリウムをドープしたピセン

左はピセンの構造式で、5 つのベンゼン環が並んでいる。中央は、カリウムをドーピングすることで、超伝導現象が世界で初めて確認された有機芳香族ピセンの結晶（白色）。ガラス管に封入されている。右は、カリウムをドープした K_x picene 結晶（黒色）。

減で、こういう現象が起きているようなのです。現在のところ、7Kと18Kの超伝導体は、共存したり、相互に転移したりすることはないようにみえます。研究が進み、試料の中で7K超伝導をみせる体積の割合は徐々に上がり、現在では15パーセントを超えています。しかし18Kで超伝導現象をみせる試料はまだ低く、1.2パーセント程度です。

超伝導現象に関係する電子の状態密度をみるため、電子スピン共鳴 (ESR) で磁化を測定しています。それによると、7K超伝導相と18K超伝導相では、電子の状態密度が明らかに異なっています。この状態密度の差が、転移温度 T_c の違いをもたらしているのではないかと私たちは考えています。

ピセン結晶の中で電子がどのような軌道をとるか、測定はできていません。ただ、東京大学の青木秀夫教授らの理論計算では、^{あおきひでお} 杉綾文様^{すぎあやもんよう} (ハリンボン) 構造になっているピセン結晶の1つの分子から、カリウム原子を介して、隣接する分子に電子雲が広がっていることがわかってきました。有機物は無機物と違った電子状態をとるので、有機超伝導体の仕組みを解明することは、とても大事な課題です。

私たちはピセンのより簡便な合成法も確認しており、今後、実験はよりやりやすくなっていくと思っています。

—— 今後、研究はどう発展していきますか。

現在、私たちはピセンにカリウムのほかに、ルビジウムをドーピングしたときに超伝導現象がみられることを確認しています。こうしたアルカリ金属原子のほかに、カルシウムなどのアルカリ土類金属をドーピングして超伝導体ができるのかどうか、研究に着手しています。さらに、ピセンとは異なる構造、例えばベンゼン環が7つ、9つある有機芳香族を使った研究を進めています。その1つが、ベンゼン環5つが立体的につながるピセンです。ベンゼン環が平面状につながるピセンと異なり、ピセンは立体構造

をしているので、電子状態が異なる可能性があります。ピセンは、既に電子デバイスとして広く調べられていますが、ピセンとは違った興味深い超伝導現象がみられるのではないかと期待しています。

将来性有望な芳香族金属

—— 芳香族超伝導体の将来性は？

超伝導研究の始まりは、1911年にオランダの物理学者カメリン・オンネスが、水銀を約4K (マイナス269度) まで冷やし、電気抵抗がゼロになることを発見したときです。いわゆる金属系物質です。銅酸化物系は1986年で、ドイツのベドノルツとミュラーが、ランタン、バリウムを含む銅酸化物系のセラミックスで30Kで超伝導状態になると報告したのが最初でした。転移温度が高く、高温超伝導研究ブームの火付け役となったのは知られるところです。そして、2008年、東京工業大学の細野教授らが、磁性体は超伝導体にならないという常識を覆し、鉄を含む化合物 (LaFePO = オキシニクタイト) が超伝導物質になることを発表しました⁴。この鉄酸化物超伝導体の登場は、手づまり感があつた高温超伝導に新たな風を送り込みました。

こうした物質と比べて、私たちが開拓した有機超伝導体は、至るところに材料があるという「ユビキタス性」が強みです。ほかに軽量性、低毒性などのメリットもあります。将来的に、超低損失送電、省エネ機器などに利用する場合、電子デバイスと相性のよい有機系は有利といえるでしょう。今回の超伝導体は、有機金

属の一種ともいえます。有機金属といえ
ば、ノーベル賞受賞者の^{しろがわひでき}白川英樹先生が作り出した「ポリアセチレンによる導電性プラスチック」が有名ですが、私たちの有機金属物質も、人類の発展に貢献できると考えています。

超伝導体の研究は、日本が極めて強い材料科学の一分野です。芳香族の高温超伝導体が、今後、日本から次々に発見される可能性があり、ワクワクしています。

—— 若手研究者へのメッセージを。

研究室の学生には、常識にとらわれず、自由にとことんやれといっています。その際、あらゆることに目を通したうえで、解釈は間違ってもいいが、結果は正しく出すことが大事だと強調しています。私たちが成果を出せたのは、物理と化学の垣根が低いというユニークな環境もあります。私自身も元は化学系出身ですが、異分野と交流することで思わぬ発展がありました。若い人には、異分野との交流だけでなく、トップクラスの研究者と議論する機会を多くもって欲しいと思っています。そのためには、人脈が大切です。いろいろな研究所にいたことが今、生きています。

—— ありがとうございました。 ■

聞き手 長谷川聖治 (読売新聞科学部記者)。

1. Mitsuhashi R. et al. *Nature* **464**, 76-79(2010).
 2. Tanigaki K. et al. *Nature* **352**, 222-223(1991).
 3. Okamoto H. et al. *J. Am. Chem. Soc.* **130**, 10470-10471(2008).
 4. Kamihara Y. M. et al. *J. Am. Chem. Soc.* **130**, 3296-3297(2008).
- ※ 本研究内容については、*Nature* ダイジェスト2010年6月号のNews&Viewsで取り上げています。

AUTHOR PROFILE

久保園 芳博

岡山大学理学部附属界面科学研究施設・粉体物性学研究分野教授。1985年、九州大学理学部化学科卒業、1991年、同大学院理学研究科で理学博士を取得。学術振興会特別研究員、岡山大学理学部助手、岡崎国立共同研究機構分子科学研究所の極端紫外光科学研究系・界面分子科学(流動)部門助手などを経て、2003年、岡山大学理学部化学科助教授。この間、「ナノクラスターの配列・配向制御による新しいデバイスと量子状態の創出」(JST-CREST)のメンバー、筑波大学先端学際領域研究(TARA)センター客員研究員(併任)などを歴任した。2007年から現職。スイス連邦工科大学(ETHチューリッヒ)物理学教室でも在外研究。専門は、有機エレクトロニクス、有機超伝導、ナノサイエンス。

C型肝炎

思いもよらなかった薬物標的

An unsuspected drug target

CATHERINE L. MURRAY AND CHARLES M. RICE

2010年5月6日号 Vol. 465 (42-44)

C型肝炎ウイルスの感染は肝疾患の主な原因の1つだが、幅広く有効な治療法が存在しない。

今回、このウイルスに対する全く新しい強力な阻害剤が発見された。

このことは、既成概念にとらわれずに研究を行う大切さを示している。

C型肝炎ウイルス (HCV) はやっかいだ。慢性的な感染は、肝線維症や肝硬変、肝細胞がんなどの肝疾患につながり、肝移植が必要となる主要因となっている。残念ながら、HCV ワクチンは存在せず、既存の治療法は限定的で、患者への負担が大きく、効果も不十分なことが多い。そのため HCV 感染の予防と治療に対して、明らかに新しい戦略が切望されている。このほど、Gao ら¹が、HCV の複製を阻害する新しい物質を同定した。この物質は、「史上最強」の HCV 阻害剤であるが、意外なことに、今まで考えられてきた HCV の「弱点」を突くものではない。この成果は *Nature* 2010 年 5 月 6 日号に発表された。今回の初期臨床データは今後に期待を抱かせるもので、この阻害剤が次世代の抗 HCV 治療で中心的な存在になる可能性を示している。

HCV が発見された 1989 年、ウイルスのタンパク質を特異的に狙う薬物がすぐに臨床化されるだろうと期待されていた。しかし 20 年以上経った今も、患者と医者は待たされ続けている。現在、HCV 感染の標準的な治療法は、リバビリンを 1 日 2 回服用しながらペグ化インターフェロン α を毎週注射することだ。この 2 つの薬剤はいずれもウイルス感染に対する汎用的な阻害剤で、うつ病やインフルエンザ様症状などの重篤な副作用を伴うことが多い。そればかりか、1 年間治療を続けても回復するとはかぎら

ず、その治療効果は、患者の遺伝的変異などの特性に加えて、ウイルスの系統 (遺伝子型) などの特徴にも左右される^{2,4}。そのため別の治療手段が必要であり、長年集中的な研究が推進されてきたが、ここにきてようやく結実しつつある。

従来、薬剤開発で主要な標的となってきたのはウイルスの酵素だ。HCV の複製には、2 つのプロテアーゼ (NS2-3 および NS3-4A)、ヘリカーゼ (NS3)、そしてポリメラーゼ (NS5B) など、複数の HCV 酵素が必要である (図 1)。そのうち、薬剤標的として、NS3-4A と NS5B は最も注目を集め、臨床試験では複数の候補物質に有望な結果が出ている^{5,6}。しかし、HCV の複製は速度が速くエラーを起こしやすいため、薬剤耐性ウイルスが出現し、大きな問題となっている。*in vitro* と *in vivo* の試験で、1 つまたは複数の物質に対する感受性を低下させる変異が出現しているのだ^{5,6}。耐性ウイルスに対抗するには、おそらく抗ウイルス薬の併用 (理想的には作用機序が異なるものどうしの併用) が必要であり、研究者たちはウイルス酵素以外の標的に目を向けるようになった。

Gao らもそうした研究グループの 1 つだ。彼らは、HCV の複製を阻害する物質を 100 万種以上の化合物からスクリーニングし、強力な抗ウイルス物質を発見した¹。新しい標的的をしばった彼らの研究戦略は、次のようなものだった。

まず、生化学的検定法で、NS3-4A、NS5B、および HCV ヘリカーゼに対する阻害活性が認められない物質だけを選び出して、そのうえで、培養細胞中で HCV の複製を抑制する候補物質を選抜したのだ。こうして最初に同定された物質は、幸運なことに、活性は弱いものの、HCV の RNA 複製を特異的に阻害するものだった⁷。幸運はもう 1 つ続い

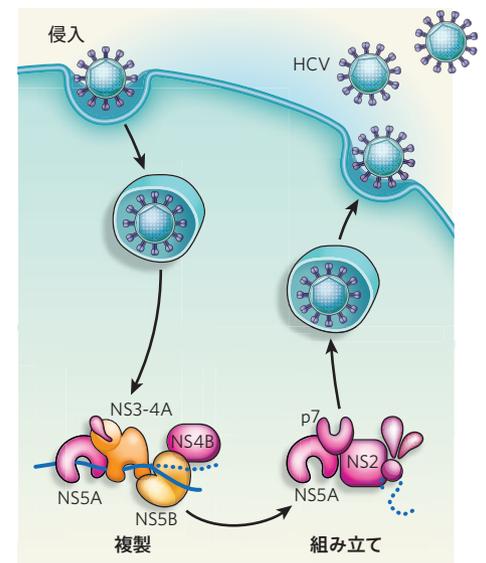


図 1. C型肝炎ウイルス (HCV) の生活環。

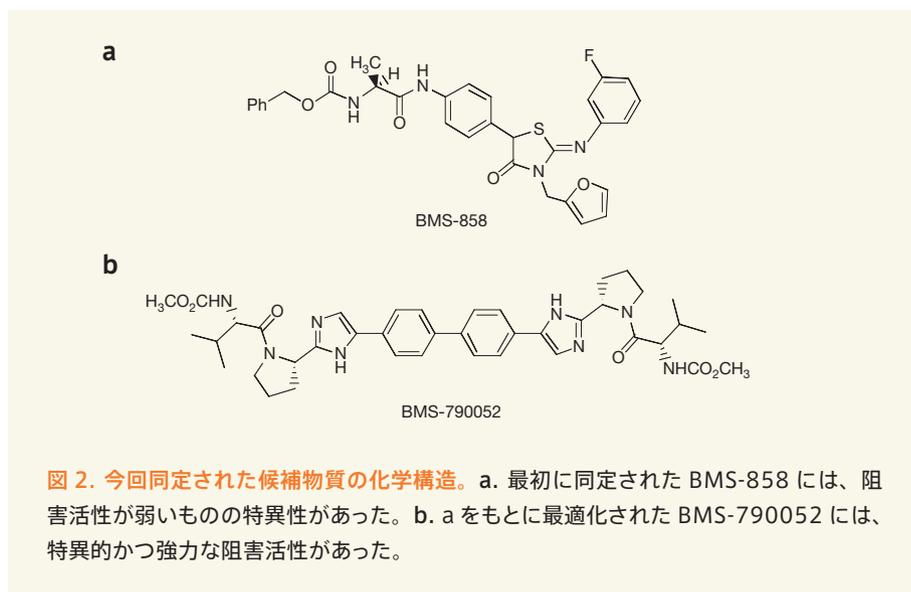
HCV は宿主細胞に侵入すると、一連の酵素を利用して複製を行う。従来は、NS3-4A や NS5B などの酵素が医薬品開発の標的であった (オレンジ色)。Gao ら¹は、NS5A のように酵素活性が知られていない HCV タンパク質 (ピンク色) に対する阻害剤開発について、実現の可能性を示した。

た。元のリード化合物 (BMS-858) を二量体化すると、阻害効果が格段に上昇したのだ。これを最適化して生み出されたのが BMS-790052 である (図 2)。BMS-790052 は、試験対象にしたすべての HCV 遺伝子型で、ごく低い濃度でも特異的に複製を阻害する薬剤であり、これまで知られている阻害剤の中で最も強力であることがわかった。では、この物質が作用する標的は何だろうか。

その手がかりは、BMS-790052 存在下での HCV の長期培養により得られた。耐性をもたらす変異が、NS5A という HCV タンパク質に現れたのだ。NS5A が怪しいというのは、共沈試験で BMS-790052 と NS5A との相互作用を確認したことで裏付けられた。

研究者にとって、NS5A は不思議な存在だ。ウイルス RNA 増幅系の重要な因子であり、また感染性をもつウイルス粒子の組み立てでも中心的な役割を果たしていることが知られている。そして両プロセスは共に、NS5A のリン酸化によって調節されている^{8,9}。しかし、NS5A の酵素活性は不明で、HCV 生活環での作用メカニズムもわかっていない。結晶構造から、NS5A は二量体を形成することが明らかにされており^{10,11}、その二量体が集合して大きなオリゴマーの配列を形成し、RNA 基質を細胞内に取り込んでいて考えられる。Gao ら¹は、BMS-790052 の二量体構造が NS5A オリゴマー形成を阻害し、連鎖的にコンフォメーション異常を引き起こす反応が生じるために、強力な複製阻害作用を示すのではないかと推測している。

この NS5A 阻害剤の初期臨床試験¹はプラセボ対照試験から始められ、慢性 HCV 感染患者に、さまざまな濃度の BMS-790052 が経口で単回投与された。この薬剤の安全性と忍容性は十分と考えられ、24 時間にわたって高い血中濃度が維持された。その結果、100mg 投与した場合、1 日後の平均血中 HCV RNA 濃度はほぼ 2000 分の 1 に低下し、それが丸 1 週間持続した。このことは、Gao



らを一気に勇気付けた。反復投与も含め、今後の追跡臨床データが待ち望まれる。

今回、NS5A を標的に有望な成果が得られたことで、HCV の非酵素分子を狙った物質を探索するという考え方が実証された。長期試験や多剤併用試験でどのような結果が出るかは、まだわからない。なぜなら、残念ながら多くの抗ウイルス剤候補が、有害な副作用のためにこの段階で脱落するからである。しかし、BMS-790052 の強烈な有効性によって NS5A は極めて魅力的な標的へと変わり、次世代の NS5A 阻害剤がまもなく出現してくることは間違いない。

BMS-790052 が NS5A に直接作用していることを確認するにはさらに多くの証拠が必要だ、と批評する人がいるかもしれない。共沈では間接的な相互作用も検出されるし、耐性をもたらす変異は、NS5A に関連する細胞因子やウイルス因子に対する薬物作用を反映しているかもしれないからだ。標的を特定し、阻害のメカニズムを明らかにするためには、BMS-790052 と精製 NS5A との結合に関する研究、最終的にはその複合体の結晶構造の解析が極めて重要だろう。

BMS-790052 耐性ウイルスの特性を解明するためのさらなる研究も必要だ。それぞれの変異ウイルスがどのように複製を可能にしているのかを明らかに

し、また、弱い薬剤耐性をもつウイルスが、薬剤の長期投与によって別の変異を獲得し、増殖するようになるのかどうかも見極める必要がある。それでも、今回の画期的な研究により、薬剤標的として従来の酵素以外の分子を狙うことが、ようやく医薬品開発企業の利益に結びつく可能性が示された。NS4B や p7 など (図 1) 機能が明らかにされていないほかの HCV タンパク質に対する阻害剤や、ウイルスと宿主タンパク質との重要な相互作用の遮断剤が、同じようなスクリーニング法で発見されるかもしれない。新しい角度からウイルスに挑み続けることで、幅広い効果をもつ選択的な抗 HCV 剤療法という長年の目標をついに視野にとらえたのかもしれない。

(翻訳：小林盛方)

Catherine L. Murray および Charles M. Rice、ロックフェラー大学ウイルス学感染症研究所 C 型肝炎研究センター (米国)。

- Gao, M. *et al. Nature* **465**, 96-100 (2010).
- Ge, D. *et al. Nature* **461**, 399-401 (2009).
- Suppiyah, V. *et al. Nature Genet.* **41**, 1100-1104 (2009).
- Tanaka, Y. *et al. Nature Genet.* **41**, 1105-1109 (2009).
- De Francesco, R. & Migliaccio, G. *Nature* **436**, 953-960 (2005).
- Kwong, A. D., McNair, L., Jacobson, I. & George, S. *Curr. Opin. Pharmacol.* **8**, 522-531 (2008).
- Lemm, J. A. *et al. J. Virol.* **84**, 482-491 (2010).
- Tellinghuisen, T. L., Foss, K. L. & Treadaway, J. *PLoS Pathog.* **4**, e1000032 (2008).
- Appel, N. *et al. PLoS Pathog.* **4**, e1000035 (2008).
- Tellinghuisen, T. L., Marcotrigiano, J. & Rice, C. M. *Nature* **435**, 374-379 (2005).
- Love, R. A., Brodsky, O., Hickey, M. J., Wells, P. A. & Cronin, C. N. *J. Virol.* **83**, 4395-4403 (2009).

超新星

新型の超新星を巡る謎

New explosions of old stars?

DAVID BRANCH 2010年5月20日号 Vol. 465 (303-304)

従来の分類におさまらないタイプの超新星爆発が見つかった。

しかし、爆発を起こす星の正体と、爆発のメカニズムはまだほとんどわかっていない。

星が爆発を起こす仕組みはいくつあるのだろうか。最も基本的な分類でいえば、多分2種類だ。1つは大質量星の中心核が重力崩壊し、物質を放出するケース。もう1つは白色矮星の核融合反応による爆発だ。この2つのメカニズムははっきりと異なっているので、超新星を観測すれば、どちらの仕組みで爆発したかがわかるはずだ、と思うかもしれない。大半の超新星については、それはほぼ正しい。しかし、*Nature* 2010年5月20日号に発表された2本の論文では、同じ特徴をもつ新種の超新星に対して、全く異なるメカニズムが提唱されている。

広島大学宇宙科学センター准教授の川端弘治らは、同号326ページに掲載された論文で、「2005年に見つかった異常な超新星は、中心核崩壊で起こった」と主張している¹。一方、ワイツマン科学研究所（イスラエル・レホヴォト）素粒子物理・宇宙物理学科のPeretsらは、

同号322ページに掲載された論文で、「最近認知された超新星グループは、白色矮星が部分的に爆発して起こった」という仮説を支持している²。この新しい超新星グループには、川端らが調べた超新星も含まれる。

太陽質量の約8倍以上の質量をもって生まれた大質量星は、重い元素（多くの場合は鉄）のできた中心核を作る。この中心核はやがて壊滅的な重力崩壊を起こし、通常は中性子星かブラックホールになる。その一方で、星の外層は爆発的に放出される。中心核崩壊のために起こったという確実な証拠がある唯一の超新星がII型超新星SN 1987Aであり、崩壊に付随して発生すると考えられるニュートリノのバーストが検出された³。

II型（スペクトルに強い水素の吸収線がみられる）、Ib型（ヘリウムの吸収線がみられる）、Ic型（水素の吸収線もヘリウムの吸収線もみられない）など、超

新星の主なタイプは、中心核崩壊の結果起こるという見方で大方の宇宙物理学者の意見は一致している⁴。大質量星は、その核燃料を急速に消費するので寿命は短く（3000万年よりも短い）、生まれた場所に近いところで死に、新しい星形成の徴候がみられる領域で爆発することが多い。

一方、Ia型超新星（一価電離したケイ素と硫黄の吸収線が特徴）は、新しい星形成の徴候がみられない銀河で現れるなどの理由から、白色矮星タイプの爆発メカニズムによると考えられている。太陽質量の約0.5～8倍の初期質量をもつ星は、爆発によらずに外層を徐々に失い、炭素と酸素からなる白色矮星になる。この白色矮星は、電子の縮退圧（パウリの排他原理で許されるだけ詰め込まれた電子による圧力）によって重力を支えている。

孤立した白色矮星は爆発しないが、連星系で生まれた白色矮星の場合、膨張する相手の恒星からガスが流れ込んで白色矮星に降り積もることがある。ガスが降り積もった白色矮星は縮み、密度が上がり、温度も上昇する。Ia型超新星の標準的なモデルでは、質量が太陽質量の1.4倍（縮退した電子が支えることのできる最大質量）に近づくと、炭素と酸素の核融合が起こり、核融合不安定性が生じて、白色矮星全体を爆発させるに至る⁵。

川端らは、SN 2005cz という名の超



すばる望遠鏡による超新星 SN 2005cz の画像。

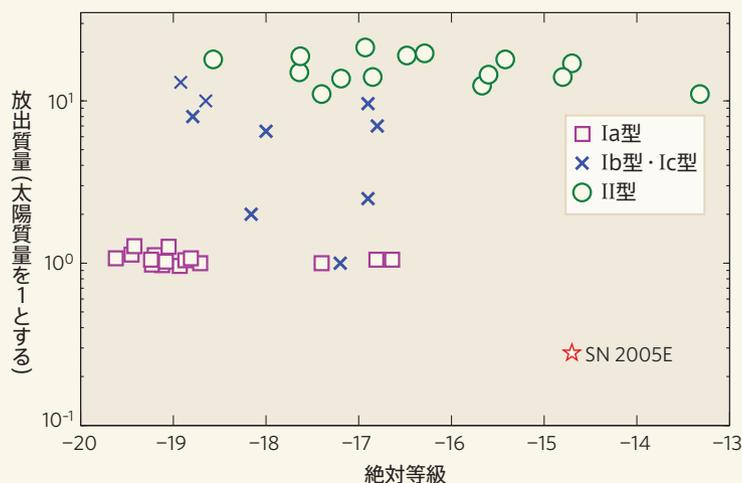


図 1. 超新星の放出質量と絶対等級。Perets らが調べた超新星 SN 2005E はこの図では右下にあり、従来のタイプの超新星 (Ia 型、Ib 型、Ic 型、II 型) の位置とは異なっている。ほかの SN 2005E 類似超新星の値はさらに不確かだが、それらも右下の領域にある。絶対等級は天体の光度の対数をとったもので、この図では明るい天体は左に、暗い天体は右に位置する (図は Perets らの補足情報² の図 S3 をもとに作成した)。

新星を研究した。その最大輝度のすぐ後のスペクトルが Ib 型超新星のスペクトルとよく似ていて、中心核が崩壊したことを示唆していた。しかし、通常の Ib 型超新星と比べると、この超新星は暗く、また、輝度が減少する速さはより速く、発見から 6 か月後に観測したスペクトルでは、カルシウムの輝線が極端に強かった。

川端らは理論モデルによる検討に基づき、太陽質量の 10 ~ 12 倍の初期質量をもつ星の中心核崩壊を考えれば、SN 2005cz の放出質量が少ないこと、暗いこと、ヘリウムとカルシウムに富んだ組成を説明できると提案している。この星は、伴星と相互作用することによってその水素外層を失い、残りは太陽質量の 1.5 倍の鉄の中心核を作り、それが太陽質量の 1 倍にすぎない質量放出を伴って中性子星へ崩壊した、と川端准教授らは推測する。

残る問題は SN 2005cz が楕円銀河で起こったことだ。楕円銀河は星形成のほとんどを数十億年前に終えているので、一般的には、中心核が崩壊するタイプの超新星は起こらない。しかし、この楕円銀河は例外的で、「比較的最近、かなりの量の星形成が起こっている」という研究結果を川端らは引用している。

Perets らが検討したのは別の超新星 SN 2005E で、これも暗くて急速に減光した²。SN 2005E の付近では、新しい星形成の証拠は皆無であり、中心核崩壊によるとは考えられない。Perets らは、SN 2005cz を含め、最近報告された「SN 2005E 類似超新星」は、Ia 型超新星を含めたどんなタイプの超新星よりも、「古い星が多い銀河で起こる傾向」が強く、少なくともグループ全体としては、「中心核崩壊が原因とする仮説が正しい可能性は低い」ことを示した。

しかし、SN 2005E 類似超新星の特徴は Ia 型超新星とも異なっている。Perets らは、SN 2005E は太陽質量の約 0.3 倍分の質量 (主にヘリウムとカルシウムからなる) だけを放出したと推測し (図 1)、ガスが降着する白色矮星が、不安定な核燃焼と表面近くの薄いヘリウム層を爆発的に放出し、部分的な崩壊を起こしたものが SN 2005E だとする解釈を支持している。ガスが降着する白色矮星の部分的な崩壊を説明する理論モデルは、既に存在する。しかし、SN 2005E 類似超新星のすべての特徴を説明するものはまだない。

川端らと Perets らが提案した 2 つの解釈が非常に異なっている事実は、こうした超新星爆発の原因に関する私たち

の知識が、現時点では限られていることを物語る。彼らが主張しているように、SN 2005E 類似超新星の放出物の組成が異常であることは、宇宙物理学のいくつかの領域で重要な意味をもつだろう^{1,2}。

こうした暗い超新星のサンプルは今のところ少ないが、これまでの超新星探索は、もっと明るい超新星に著しく偏っていた。明るい超新星に偏らない探索計画が最近いくつか開始し⁶⁻⁹、これから始まるものもある。SN 2005E 類似超新星をさらに詳しく観測した研究や、別の種類の標準的でない超新星の発見例が、今後増えていくことは間違いない。そうなれば、そうした超新星爆発のこれまで以上に詳細な数値シミュレーションの進展と合わせ、星が爆発する多様なメカニズムの解明が、より一層進むはずだ。

(翻訳：新庄直樹)

David Branch、オクラホマ大学ホーマー・L・ドッジ記念物理・天文学科 (米国)。

1. Kawabata, K. S. et al. *Nature* **465**, 326–328 (2010).
2. Perets, H. B. et al. *Nature* **465**, 322–325 (2010).
3. Hasan, Y. & Beacom, J. F. *Phys. Rev. D* **76**, 083007 (2007).
4. Smartt, S. J. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* **47**, 63–106 (2009).
5. Kasen, D., Röpke, F. K. & Woosley, S. E. *Nature* **460**, 869–872 (2009).
6. Law, N. M. et al. *Publ. Astron. Soc. Pacif.* **121**, 1395–1408 (2009).
7. Drake, A. J. et al. *Astrophys. J.* **696**, 870–884 (2009).
8. Young, D. R. et al. *Astron. Astrophys.* **489**, 359–375 (2008).
9. Lien, A. & Fields, B. D. *J. Cosmol. Astroparticle Phys.* **1**, 047 (2009).

メキシコ湾原油流出事故の調査研究を！

All at sea

2010年5月27日号 Vol. 465 (397-398)

メキシコ湾原油流出事故では、米国政府機関による重要データ収集の動きが遅きに失している。

ひとたび災害が発生すれば、政府にせよ個人にせよ、被害の拡大防止と被災者の救援が最優先事項となる。しかし、もう1つ重要なのは、災害記録を残すためのデータ収集を迅速かつ協調的に進めることだ。災害の全容を正確に把握することは、復旧事業の計画、今後の災害における被害の最小化、そして必要に応じた関係者の責任追及に役立つからだ。

今も続くメキシコ湾での原油流出事故の場合、研究者は、十分なデータ収集の望みを阻まれ、既に実施された対策についても、十分な情報を与えられていないと感じている。

こうしたデータ収集の手はずを整える仕組みは、理論上は存在している。米国の緊急時指令システム（ICS）は、危機発生時に、連邦政府各機関と第一応答者の間の連絡調整を担うことになっており、「短命なデータ」や「壊れやすいデータ」を収集する権限を有している。これは、米国立海洋大気局（NOAA）の復旧対策室（OR&R）や環境保護庁（EPA）の業務の一部でもある。

これに加えて、災害の影響に関する研究計画を立てた大学研究者は、米国立科学財団（NSF）に対して最大20万ドル（約1800万円）の緊急資金を申請できる。ちなみに、この研究助成プログラムには「RAPID」というぴったりの名前が付いている。申請過程は簡単で、研究提案書は2ページ程度の短さでよく、交付決定は迅速に行われる。2010年2月のチリ地震の際には、地震発生からわずか5日以内に最初の3件のRAPID助成金の交付が決まった。また、NSFは、NOAA、EPAなどの政府機関とも連携

して、活動が重複しないよう調整する。そして、共同作業の円滑な遂行を期待できる研究グループどうしの共同研究をアレンジし、海洋災害の場合には船舶の利用時間を確保する。

しかし今回のメキシコ湾では、こうした調整の仕組みが十分には働いていないように思われる（*Nature* 2010年5月27日号404ページ参照）。例えば、流出原油の化学組成に関する基本情報が研究者に伝わるまで、かなり時間がかかった。また、当初、原油流出は早期に封じ込められるとの期待があったため、NSFによる最初のRAPID助成金の交付は、危機の勃発から1か月も経った5月下旬になってしまった。さらにNOAAは、その原油流出の追跡調査能力に対して、一般市民から懸念の声が出ていたにもかかわらず、それへの対応が遅れた。

特に、今回の流出事故の「実際の規模」は極めて重要な情報であり、激しい論争の的となっているが、事故の規模を評価するタスクフォースの結成をNOAAが発表したのは、5月20日になってからだった。この評価方法については、数多くの提案がなされている（その一例は*Nature* 2010年5月27日号421ページ参照）。

災害は、その性質上、必ず組織の崩壊や混乱を引き起こす。そのため、「完璧な対応」を期待するのは現実的でない。今回のメキシコ湾での原油流出は、特に難しい面がある。突如、明確な被害を引き起こす地震やハリケーンなどの災害とは異なり、原油流出は、徐々に展開する。流出の程度と必要な対策の規模が判明するまでに何日もかかるのだ。

こうした事情があるとはいえ、米国

の対応には改善の余地があった。例えばOR&Rは、原油流出が起こるたびに、運営資金の増減を繰り返してきた。1989年にアラスカ州プリンスウィリアム湾で発生したエクソン・バルディーズ号原油流出事故の記憶が薄れていくと、職員数は約3分の2に減らされ、残った職員の仕事量は増えた。

これに対する解決法の1つは、連邦政府の石油流出責任信託基金からの資金で年間予算を増額し、組織を再建して適正な職員規模を確保することだ。石油流出責任信託基金の大部分は、石油業界から徴収した税金によるもので、石油関連の緊急時における政府の対策費用を賄うのが目的となっている。これによって、最良の対策を明らかにするための基礎研究や、継続的な監視活動も可能になる。

もう1つ有用な活動は、災害に関する政府機関横断的なデータ共有制度を構築することであろう。その結果として、情報がオープンになって、一般市民が知り得ようになり、データに格差があることも明白になるだろう。

一方で、海底油田を所有するエネルギー会社のBP社は、5月24日に自ら積極的な行動を起こし、原油流出の長期的環境影響を独自に研究する活動に対し、今後10年間に5億ドル（約450億円）を提供すると発表した。

火山噴火、ハリケーン、地震、原油流出などの災害が起こると、環境は極限状態に追いやられ、それまでの科学知識の限界が明らかになることがある。せつかくの科学研究の機会を逃してはならない。

（翻訳：菊川要）

既存薬の新しい効能発見へ支援策を

Change of purpose

2010年5月20日号 Vol. 465 (267-268)

既存の医薬品に新たな用途が見つかることがある。

しかし、こうしたケースでは、製薬会社が臨床試験を進めるインセンティブがほとんどなく、何らかの保護支援策が必要だ。

ラットを使った実験で、ジクロロ酢酸 (DCA) という化合物が腫瘍を縮小させる作用をもつことが明らかになり、2007年に *Cancer Cell* に発表された (S. Bonnet *et al. Cancer Cell* 11, 37-51; 2007)。このニュース自体は、さほど大騒ぎするものではない。げっ歯類を用いた試験で治療薬としての期待が高まった化合物は数多くあり、その一方で、ほとんどすべてが、ヒトでの臨床試験に失敗しているからだ。

しかし DCA については、既に乳酸アシドーシス (乳酸が蓄積して血液が酸性化する病気) の治療薬としてヒト臨床試験が実施され、比較的安全な薬と考えられてきた。実際、この論文の著者は、DCA を用いたがん治療法の後期臨床試験が早期に行われる可能性がある、という見通しを示していた。ただ1つだけ問題があった。DCA の特許は既に切れており、臨床試験に必要な数百万ドルを投資しようという製薬会社がなかったのだ。

論文の発表後、カナダの連邦政府助成金や慈善団体と個人からの寄付金によって、予備的臨床試験を進める資金が集まった。そして5月中旬、試験結果の第一報が発表され (E. D. Michelakis *et al. Science Transl. Med.* 2, 31ra34; 2010)、脳腫瘍の一種について、DCA の治療効果に期待がもてることが判明した。ただし、この臨床試験の対象となった患者は、わずか5人だった。この研究グループは、今後さらなる小規模な臨床試験を行うために十分な資金は集めた

が、最終段階の臨床試験、つまりこれより相当に大規模な試験に進める見込みは、かなり低いことを認めている。

ここ数年、製薬会社の生産性が低下してきていることが専門家によって指摘されている。そんな中で、既存薬の新しい効能を発見するという手法によって、創薬過程のスピードアップを図ろうという提案が数多くなされてきた。これは、別目的利用 (リパーパシング、repurposing) あるいは再配置利用 (リポジショニング、repositioning) などとよばれている。

しかし残念ながら、この提案には、DCA の場合にみられるような障害が立ちだかっている。特許切れの薬の場合、新たな患者集団で臨床試験を行うために企業が投下する多額の投資を、回収するのが難しいのだ。したがって大手製薬会社は、薬の別目的利用にはほとんど興味を示しておらず、これに取り組んだ中小製薬会社のうち、少なくとも2社は倒産している。

根本的な問題は、特許制度で一般に評価されるのが、イノベーションであって開発ではない、という点だ。別目的に利用される薬については、新たに「用法の特許」を申請することは可能だが、その薬の後発品が既に市販されている場合、こうした特許権を行使することは、不可能ではないにせよ難しいのだ。

この点については、いくつかの解決法が提案されているが、いずれも最適とはいえない。その1つは、知的財産としてもはや保護されていない DCA のよう

な薬については、臨床試験を連邦政府が費用負担するというものだ。しかし、これには多額の予算が必要で、もともと民間部門が引き受けていた臨床試験の費用を公費で負担することについては、納税者は抵抗感をもつかもしれない。

もう1つ考えられるのは、欧州連合 (EU) が採用した方法で、承認薬に新たな用法が見つかった場合、排他的特許権を1年間延長する、というものだ。米国では、小児治療薬の臨床試験を促進するため、同じような方法が既に適用されている。つまり、製薬会社が、自社製品について小児向け用法を新たに発見すれば、特許期間を6か月延長できるのである。このプログラムは成果をあげているが、代償ないしはトレードオフがある。これによって後発品が発売できなくなるため、薬価が、より長期にわたって高止まりするのだ。

解決の難しい問題だが、当然のことに、研究者・政府機関・政策立案者には、問題を真剣に検討し、創造性を発揮することが求められている。最近、米国で成立した医療制度改革法によって、治癒促進ネットワーク (CAN) の設立が義務付けられ、その設計を米国立衛生研究所 (NIH) が進めることになった。CAN は、資金の許すかぎり、製薬会社が見捨てた薬の別目的利用に努力することになる。この取り組みによって、新しい治療法を発見するための時間と費用が節約され、その任務を引き受ける者に支援の手が差し伸べられることを期待したい。 ■

(翻訳: 菊川要)



Volume 465
Number 7298
2010年6月3日号



リスク分散：個体群の多様性は漁業の回復力を後押しする SPREADING THE RISK: Population diversity boosts fishery resilience

生態系の安定性における種の多様性の役割は広く認められているが、種内の集団の多様性は見過ごされることが多い。ブリストル湾（米国アラスカ州）の河川に回帰するベニザケの50年以上にわたるデータの分析により、いわゆる「ポートフォリオ効果」（金融市場のリスク分散との類似から命名された）がどの程度重要であるのかが明らかにされた。米国のベニザケ漁は重要な産業で、国内漁獲量の60%以上をこの地域が占める。このベニザケは数百の別々の個体群から成り立っているが、このことが、観察される個体数変動を、単一の均質な個体群を仮定した場合のほぼ半分に抑えている。数値モデルよれば、もし均質だったら、放棄していたはずの漁場は10倍になるという。また漁業管理に関しては、遺伝的多様性を維持するため、孵化場による均質化の影響を最小限に抑え、過剰な多系統混獲漁法から弱い系統を優先的に保護すべきだという。

る。今回、その理由と思われるものが、モデル生物である線虫（*Caenorhabditis elegans*）を使った研究で見つかった。p53を介したアポトーシス（細胞の自殺）は本来、DNAが損傷を受けた生殖細胞ががん化するのを防いでいるのだが、HIF α はこのアポトーシス過程を阻害していることがわかった。意外にも、HIFは2つのニューロンでのみ働いていて、線虫のほかの多くの細胞で細胞死を阻害するチロシナーゼTYR-2を上方制御する。この経路は腫瘍細胞でも働いており、メラノーマ細胞でTYR-2のホモログであるTRP2をノックダウンするとアポトーシスが増加する。土の中をはい回っている線虫にとって、生殖細胞を自己破壊から守ることは命を守ることになるだろうが、腫瘍中でこの経路が活性化された場合は致命的な結果になりかねない。TRP2は有望な治療標的となるかもしれない。

教育：指導者としての範を垂れる Leading by example

大学などで指導者（メンター）が後進の将来の成功に影響を及ぼすことは明らかであるが、後進の将来の指導者としての力量や職業選択に対して、指導者がどれだけの影響を与えるかは不明である。1637年以降の数学者11万4666人の経歴を追跡している「数学者の系譜プロジェクト」の記録からは、このような疑問に取り組むのに十分なデータが得られる。Malmgrenたちは今回このデータを解析し、大学の数学研究者の仕事上の成功と指導した後進の人数とが相関していること、教え子の少ない指導者の後進が、予測を大きく上回る数の教え子を育てることなどを明らかにした。

進化：形態を変えていくトカゲたち Shape-shifting lizards

自然選択を実験的に検証した事例は少ないが、それは、選択の対象に関する予測ができるほど十分に解明されている系がほとんどないためである。しかし、カリブ海にある西インド諸島のアノールトカゲ類は例外だ。数十年に及ぶ研究

により、これらのトカゲでは、選択の対象（体サイズ、肢の長さ）と作用因子（競争、捕食）に関して正確に予測されている。今回R CalsbeekとR Coxは、6つの小島でアノールトカゲの大規模な個体数操作を行い、捕食者である鳥やヘビの有無を島によって変えて、自然選択を検証した。捕食者の存在はトカゲの行動に影響を及ぼしたが、個体群密度の増大は大きな体サイズ、長い肢、持久力の増加に対して有利に働いた。これらのトカゲの進化がどう進むかには、捕食よりも種内競争のほうが重要ようだ。

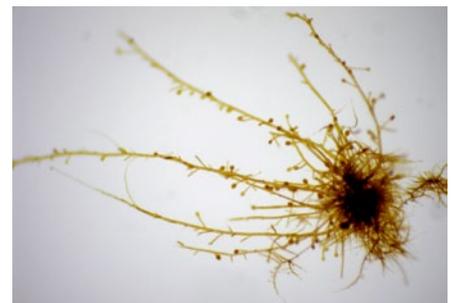
細胞：低酸素は細胞の生存を助ける Low oxygen aids cell survival

細胞は、低酸素条件下でも生き残れるように働く巧妙な反応機構を進化させてきており、この機構は低酸素誘導因子（HIF）として知られる転写複合体が主として制御している。がん細胞も腫瘍微小環境に適応するのにHIFを使っていて、固形腫瘍のほとんどの細胞ではHIF α の濃度が上昇しているが、その理由とはよくわかっていない。しかし、これは患者の予後の悪さと相関してい

遺伝：褐藻類のゲノム

A brown algae genome

褐藻類のモデル生物であるシオミドロ（*Ectocarpus*）のゲノム塩基配列が解読された。褐藻類は複雑な光合成生物であり、岩礁海岸という環境での生活に適応している。ゲノムの分析により、この適応の謎を解く手がかりが得られるとともに、集光装置遺伝子と色素合成遺伝子の巨大な集合、およびハロゲン化物代謝などの新たな代謝プロセスが見つかった。比較ゲノミクス分析からは、受容体キナーゼファミリーの1つとその関連分子が、動植物および褐藻類の多細胞性の進化におそらく重要であったことが明らかになった。



培養下のシオミドロ。



Volume 465
Number 7299
2010年6月10日号



試験管の中の病気モデル：LEOPARD 症候群の心筋症を再現する iPS 細胞モデル

A DISEASE IN VITRO: iPS cell model echoes cardiomyopathy in LEOPARD syndrome

患者特異的 iPS 細胞は、遺伝性疾患のモデル化や、そうした病気の患者に対する新しい治療法の開発に重要であると考えられている。今回、皮膚病変、心臓異常および難聴を特徴とするまれな発達障害である「LEOPARD」症候群の患者から、核の再プログラム化によって iPS 細胞株が作出された。この症候群の子どもでは 90% に心肥大がみられるのだが、LEOPARD 由来 iPS 細胞から生じた心筋細胞はこの疾患の特徴に類似した肥大特性をもっている。再プログラム化された細胞は、さまざまなシグナル伝達経路の要素に大きな変化がみられるという特徴を示し、心肥大との関連がこれまでにいくつか報告されている RAS-MAPK もその中に含まれている。これらの細胞株とロバストな分化プロトコルを組み合わせることで、疾患細胞表現型を回復させる化合物の同定が可能になるかもしれない。

神経：fMRI スキャンが「使える」わけ

Why fMRI scanning works

機能的核磁気共鳴画像法 (fMRI) は、特定の作業や行動の際に脳のどの領域が活動しているかを調べるのに広く使われている。だが、fMRI 法で検出する BOLD (血中酸素濃度依存的) シグナルの発生源や解釈については、いろいろと論争が続いている。今回、fMRI と光遺伝学とを組み合わせることで、ラットの脳の一群の興奮性ニューロンが BOLD シグナルの発生源となっていることが同定された。

宇宙：環から生まれた衛星

Ring-derived moons

土星の小衛星の集団は、巨大惑星の普通の衛星とは際立って対照的である。土星のエンセラダスや木星のエウロパといった衛星は、親惑星の赤道面上を周回していて、惑星とだいたい同じ時期、45 億年前に集積を終えたと考えられている。一方、土星の氷の小衛星はずっと若く、1000 万年前以降に形成され、そのスペクトルは主環のものに似ているため、環の縁での集積によって形成されたと考えられてきた。新たに行われた土

星系の連成数値シミュレーションはこの考えを裏付けており、土星から 14 万キロメートルの距離のロシュ限界 (これより離れると環が重力的に不安定になる) より遠くへの土星主環の粘性拡散によって、こうした小衛星が形成されたことを示唆している。これらの衛星が形成された後、環の縁は内側に移動した。

医学：乳腺幹細胞を制御する

Mammary stem cell control

卵巣ホルモンのエストロゲンおよびプロゲステロンは、思春期の始まりから閉経期までの間、乳腺で複雑な一連の相互作用をし続ける。乳腺でのこうしたホルモン変動の多くは細胞増殖と関連があり、異常が生じた場合には乳がんを発生させる可能性がある。今回、マウスの乳腺幹細胞 (MaSC) の機能にエストロゲンおよびプロゲステロンが及ぼす作用を調べた 2 つの研究が、共に MaSC がステロイドホルモンシグナル伝達に高い応答性を示すことを明らかにした。卵巣摘出または遮断薬によって両方のホルモンを作れなくした未交尾マウスでは、MaSC の数が減少するが、エストロゲンおよびプロゲステロンの投与によ

て増加することがわかった。両グループとも、RANKL がプロゲステロンに対する MaSC の応答を仲介していると考えている。RANKL はプロゲステロンの作用標的の 1 つで、骨のリモデリングや乳腺の形成に関与している。

遺伝：ダウン症とがんの関連

The Down's cancer link

ダウン症候群は第 21 染色体が 1 本余分にある、トリソミーとして知られる状態が原因で起こるが、この遺伝疾患ではある種の腫瘍の増殖が抑えられることが知られている。ダウン症候群のマウスモデルの研究で、4 つの遺伝子の過剰発現により腫瘍血管形成が抑制されるという抗腫瘍機構が示された。遺伝子のうちの 2 つは抗血管形成遺伝子だろうと考えられている ADAMTS1 と ERG で、残る 2 つはこれまで血管形成とは関連付けられていなかった新規の内皮細胞特異的遺伝子 JAM-B と PTTG1IP である。

生態：生き残った小型哺乳類

Small-mammal survivors

約 1 万年前の更新世末期に起こった大型哺乳類の世界的消滅は議論的になることが多く、よく知られている。これらの哺乳類は、人類による大量殺りくの犠牲になったのだろうか。それとも、気候変動の巻き添えになったのだろうか。また一方で、げっ歯類や食虫類などの、もっと小さい哺乳類はどうだろうか。これらは大型動物相よりも広汎な化石記録が残されていることが多く、しかも、ヒトによる狩猟の対象になることは少ない。今回、カリフォルニア北部の地層にみられる豊かな小型哺乳動物相の研究により、小型哺乳類は大型哺乳類に比べて、更新世から完新世への移行で絶滅した可能性が非常に低いことがわかった。その代わりに、多様性や均質性は影響を受け、個体数の少ない種が一層希少化し、餌や生息域をあまり選ばない「雑草のようになくましい」種はより広くみられるようになった。



Volume 465
Number 7300
2010年6月17日号



有能さの評価基準：研究者のキャリアを決定する数値

MEASURING UP?: The metrics that shape your career

現代の研究者は、数値化した基準で業績を評価されることに慣らされている。「科学の数値評価」は1960年代の「科学論文引用度指数」の導入によって始まり、それ以来、さまざまな評価法が試みられてきた。数値化される側は数値評価が広範に利用されていると考えているようだが、果たして本当にそれほど広く利用されているのだろうか。Nature 読者アンケートと世界各地の研究機関を対象に行った調査から、複雑な図式が明らかになった。多くの研究者は、研究機関が「納得しにくい」数値評価を信頼しすぎていると感じているが、管理者の多くは、個人の推薦といった伝統的方法のほうが、数値的な指標に概して勝ると考えている。すべての数値評価テストが同じというわけではないが、改善されていけば、おそらく旧式の評価法に取って代わるだろう。

宇宙：KBO 55636 を見直す



A second look at KBO 55636

カイパーベルト天体 (KBO) は氷を主成分とする小天体で、太陽系の海王星より遠くを周回しており、観測が難しい。星食を起こしている KBO が時おり見つけられ、そうした際には構造関連のデータが得られて、いくつかの性質が推測されることがある。しかし、水と氷が豊富なハウメア衝突天体族の仲間である KBO 55636 が関与した 2009 年 10 月 9 日の星食は、KBO の観測天文学を新たな段階へと導く大きな出来事だった。明るい KBO を数年間追跡した結果、間近に迫った食が予測できるようになり、多数の望遠鏡を食の起こる方向に向けることが可能になった。天気急変などの観測上の障害が起きたにもかかわらず、別々の場所にある複数 (実際は 2 基) の望遠鏡で観測が行われた。連動して得られた、視角の異なる 2 つの画像を使って、より正確な形状を算出したところ、KBO 55636 の平均半径は 143 ± 5 キロメートル、幾何学的アルベドは V バンドで約 0.9 となった。これにより、この天体が従来考えられていたより小さく、その母天体のように反射率が非常に高いことが明らかになった。力学的年齢からは、KBO 55636 では活発な表面更新機構が働いているか、あ

るいは、太陽系の外縁では新鮮な水氷が数十億年にわたって存在可能であることが示唆されている。

細胞：終止コドンがタンパク質合成を終わらせる仕組み

How stop codons stop mRNA

細菌では、タンパク質合成は極めて正確な終わり方をする。mRNA 上の終止コドンに、アミノ酸を結合した tRNA ではなく、終結因子の RF1 か RF2 が結合すると、新生タンパク質が遊離する。最近、いくつかの終結複合体の結晶構造が発表されたことで、終止コドンの読み取りのエネルギー論的性質を数値解析して、終結因子結合の高い精度がどこに起因するのかを突き止めることが可能になった。14 種の終結複合体の分子動力学シミュレーションにより、終止コドンの読み取りがこれまで未解明だったいくつかの相互作用や認識スイッチによって成り立っていること、さらに、これはトリペプチドアンチコドンの「tRNA 擬態」モデルでは説明できないことが明らかになった。

物性：磁気電気スカーミオン

Magnetoelectric skyrmions

スカーミオンは、粒子のような特性をもつ安定なトポロジカルな構造であり、もともとは核子を記述するために作られ

た数学的概念である。しかしこの 10 年間で、ミクロの世界から宇宙までの全スケールで、スカーミオンという概念が使われるようになった。また、スカーミオンは、磁性体における新規スピン構造の記述に特に有用であることが明らかになった。そして昨年、磁性化合物 MnSi と $\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{Si}$ にスカーミオンが存在することが、中性子散乱実験で確認された。今回、Yu たちは透過電子顕微鏡を用いて、 $\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{Si}$ で渦巻き状のスピン構造が六角形配列している二次元スカーミオン格子の印象的な実空間画像を得たことを報告している。格子は、幅広い温度・磁場領域にわたって安定であることが示された。Yu たちは、観測されたナノメートルスケールのスピントポロジーが、新しく興味深い磁気電気効果につながるかもしれないと考えている。

進化：低速レーンに乗るタンパク質

Proteins in the slow lane

タンパク質の進化がゆっくりとしか起こらないのは、アミノ酸置換はほとんどが有害となるので、機能を保存する方向に選択が働いたためらしい。I Povolotskaya と F Kondrashov は、地球上のあらゆる生物の最終共通祖先 (LUCA) に存在した、太古からあって現存しているタンパク質のアミノ酸配列が、これまでどの程度ゆっくり分岐を続けているかを明らかにしようと試みた。計算は、エドウィン・ハッブルが宇宙における銀河の後退の研究で用いた手法を使って行われ、現存するタンパク質の配列は今でも互いに距離を広げつつある、すなわち共通の祖先から離れつつあることが示唆された。分岐の速度は非常に遅く、LUCA の時代以降の約 35 億年程度の年月では、配列分岐の限界に達するには不十分だった。これほど遅いのは、機能をもつタンパク質配列が「配列空間」内にまばらにしか存在しないことと、タンパク質の適応度地形に耐久性があることの結果である。つまり、任意の時点でアミノ酸の置換を受容できない部位は 98% であるが、ほかの代償的な変化が起これば大多数の部位は最終的に進化が許容される可能性がある。



Volume 465
Number 7301
2010年6月24日号



光の捕捉：固体量子メモリーから光子を効率よく取り出す

CATCHING THE LIGHT: Efficient recall of photons from a solid quantum memory

未来の量子コンピューターと通信ネットワークには、光の量子的性質を効率よく蓄積し、取り出せるメモリーデバイスが必要だと考えられる。以前に実証された量子メモリーは、記憶媒体に原子蒸気を使い、弱い入力で、効率は20%以下であった。今回、M Hedges たちは、オルトケイ酸イットリウム単結晶中のプラセオジウムイオンに蓄積した光を使った固体量子メモリーを報告している。全体としての効率は69%に達し、比較的明るい光の場合でも、光子の数分の1以内という正確さが得られた。結晶材料に改良を加えれば、この手法は量子情報技術の実際的な応用につながるものとなりそうだ。

遺伝：偽遺伝子の役割

A role for pseudogenes

マイクロRNA (miRNA) は、標的のメッセンジャーRNA (mRNA) にある不完全ながら相補的な塩基配列と相互作用して、遺伝子発現を調節することが知られている。しかしその逆、つまり mRNA の発現が miRNA の分布に影響されることはないのだろうか。最新の研究で、腫瘍抑制遺伝子の偽遺伝子である *PTENP1* の3'非翻訳領域が、これと関連するタンパク質コード遺伝子である *PTEN* が結合するのと同じ miRNA と結合することが明らかになった。これは、偽遺伝子が生物学的な「おとり」としての機能を持ち、miRNA を隔離して、発現される遺伝子に対する miRNA の調節に影響を与えている可能性を示唆している。

化学：新しいアミド合成方法

New route to amides

アミド結合は、天然のペプチドやタンパク質の主鎖として至るところにあり、多くの治療用小分子の中にも存在する。実験室でのアミド結合の従来の合成法は、主として脱水法を使っており、炭素-窒素結合の形成中に、炭素は求電子的、窒素は求核的性質を保持する。今回 Shen たちは、ヨードニウムによるアミンとニトロアルカンの活性化を通して反応物の極性が逆転する(極性転換として知られる)、新しいアミド合成方



法について報告している。この方法には、利便性や、さまざまな出発化合物の入手のしやすさなど、現在の方法に勝るいくつかの利点があることから、ペプチドやアミド含有小分子の高効率エナント選択的合成手段として発展する可能性がある。

宇宙：ホットジュピターの重さを量る

A hot Jupiter weighs in

既知の太陽系外惑星の大部分は、視線速度法を使い、周囲を回る惑星が引き起こす親星の「揺れ」を測定して発見されたものだ。惑星の軌道速度を決定できれば、モデルに依存したり、余分な仮定をしたりせずに、親星と惑星の両方の質量を求めることができる。今回、よく研究されている「ホットジュピター」HD 209458b で、この惑星が親星と地球の間を横切る際に、一酸化炭素の吸収線が示すドップラー偏移の変化を分光測定することにより、これに成功した。親星の質量は太陽質量の 1.00 ± 0.22 倍、惑星の質量は木星質量の 0.64 ± 0.09 倍である。また、親星の速度に対



して一酸化炭素のシグナルが青方偏移していることから、惑星の高高度領域では、親星に照らされている昼側から、照らされていない夜側に向けて強い風が吹いていることが明らかになった。

神経：神経活動の司令塔

A centre for neural control

個々の神経繊維の基部にある軸索起始部 (AIS) はナトリウムチャンネルが多数集まっていて、軸索に沿って伝播していく活動電位が発生する部位であり、神経科学者の大きな関心を集めている。神経信号の発生源であることから、ここが神経活動を調節する場であるのは理にかなっているように思われる。今回2つの論文により、AIS が内因性の神経可塑性の発生源であることが確認された。M Grubb らは、培養海馬ニューロンで、電気活動が可逆的に AIS の位置を変化させることを示した。その結果として生じる内因性の興奮性増加は、発達段階の神経の興奮性を微調整しており、この部位はてんかん治療の標的として有望であろうと著者たちは考えている。一方、久場博司 (京都大学) たちは、鳥の音刺激が欠乏している聴覚ニューロンで AIS のサイズが増大することを示している。この場合も内因性の興奮性が上昇し、これはおそらく聴覚経路の維持に寄与していると考えられる。このような神経可塑性は、一部の聴力損失の回復に有効かもしれない。

||||||| ネイチャーからのご案内 |||||

nature video

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)

小さいころ、ジュースにストローで息を吹き込みブクブクと泡立てて怒られたこと、ありませんか？ この泡は、しゃぼん玉の童謡のように「壊れて消える」のでしょうか？ 今回、「泡」がはじけるようすをハイスピードカメラでとらえ、科学的に解析した研究成果が発表されました。それによると、泡は「はじけて消える」のではなく、「はじけて小泡を生み出す」ようです。意外な発見ですね。



ISTOCKPHOTO

nature news

語数：489 words 分野：物理

Published online 9 June 2010 | Nature | doi:10.1038/news.2010.289

<http://www.nature.com/news/2010/100609/full/news.2010.289.html>

How the bubble bursts

Popping bubbles create offspring, scientists find.

Geoff Brumfiel

- Not all **cutting-edge** physics requires a **particle accelerator**. Using a straw and some soap, researchers have shown how a popping bubble can produce more bubbles. The work is published in this week's issue of *Nature*¹.
 - James Bird, now a postdoc at Massachusetts Institute of Technology in Cambridge, first noticed the effect while working on another experiment for his PhD at nearby Harvard University. When a bubble on a fluid's surface popped, Bird noticed that a ring of small bubbles formed where the bubble's edge had once stood.
 - "We saw this effect and couldn't really explain it," he **recalls**. So he and his colleagues decided to investigate. They began blowing bubbles through a straw and filming them with a high-speed camera as they popped.
 - Previous work had suggested that a **ruptured** bubble might **vanish** or **break up** and fall to the surface, but Bird saw something different. Rather than **exploding**, the walls of the bubble actually **fold back** on themselves. As they do so, they **trap** a small doughnut-shaped ring of air that breaks up when it hits the surface of the fluid. The result is a ring of smaller bubbles (see movie 1).
 - Bird and his co-workers spent the next three years developing the perfect theory of bubble bursting. They determined that only three factors affect bubble break-up: the surface tension of the bubble, the **inertia** of the fluid and the pressure of the gas trapped inside. Depending on these factors, a **collapsing** bubble might **fold into** two pockets of air instead of one — generating even more bubbles — or it might not form any offspring bubbles at all.
- Party trick**
- The work is impressive in its **scope**, says Jens Egger, a mathematician at the University of Bristol, UK. "What's nice about this paper is that it's taken a small problem and found this beautiful structure," he says. Even daughter bubbles can burst and create more, even smaller bubbles, notes Eggers. "**Self-similar structures** just seem to be nature's way of making small things."
 - "Bubbles can be really useful in certain **contexts** and **detrimental** in others," Bird says. For example, bubbles are a constant worry in glass manufacturing because they can weaken material. In the oceans, however, bubbles can have a useful role by helping to **convert** salt **into** an **aerosol**, a **crucial** step in creating clouds. Small bubbles in particular seem able to project tiny particles into the air (see movie 2).
 - Bird says the group's calculations might improve climate models and industrial processes. "Other than that, it's a cool party trick," he says, **admitting** that **more than once** he has rolled up a paper straw to demonstrate his PhD work to friends over a beer.
 - Meanwhile, Bird's work with bubbles is not yet done. He has just been **awarded** a one-year fellowship from the US National Science Foundation to continue his research. "I thought I was going to be done with bubbles, but no, it keeps going," he says.
- Reference
- Bird, J., de Ruiter, R., Courbin, L. & Stone, H. A. *Nature* 465, 759-762 (2010).
参考動画
1. <http://www.nature.com/nature/newsvideo/nature09069-s2.mov>
2. <http://www.nature.com/nature/newsvideo/nature09069-s3.mov>

TOPICS

表面張力 (surface tension)

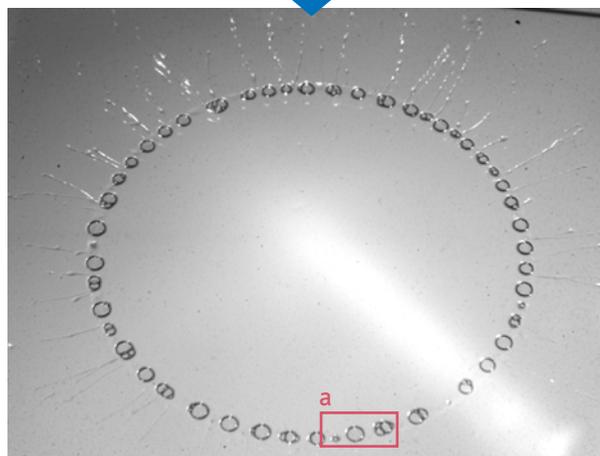
表面張力は、界面張力の一種である。界面とは、気相と液相、気相と固相、液相と液相、液相と固相、固相と固相のように、混ざり合わない2相の境界面のことである。物質は分子間力により同一種の分子は引き合って凝縮しようとする。しかし界面付近の分子は、同一種分子の数が内部より少なく、自由エネルギーが高くなる。そこで、エネルギーを低下させてより安定な状態になるように、界面の表面積をできるだけ小さくしようとする。これが界面張力で、特に液体に作用している場合、表面張力という。表面張力の大きさは、液体の種類や温度によって異なる。分子間力が大きい液体ほど表面張力は強く、高い温度ほど弱くなる。単位は mN/m (ミリニュートンパーメートル)。

SCIENCE KEY WORDS

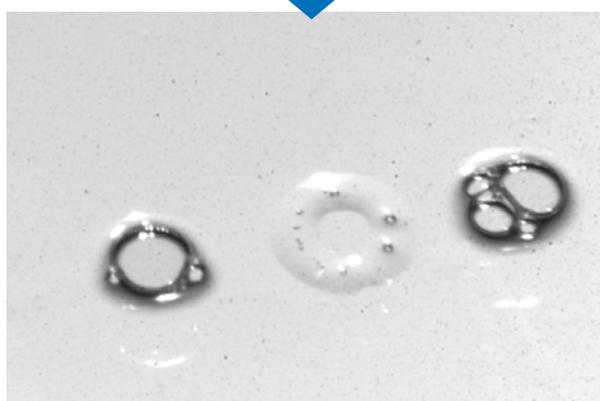
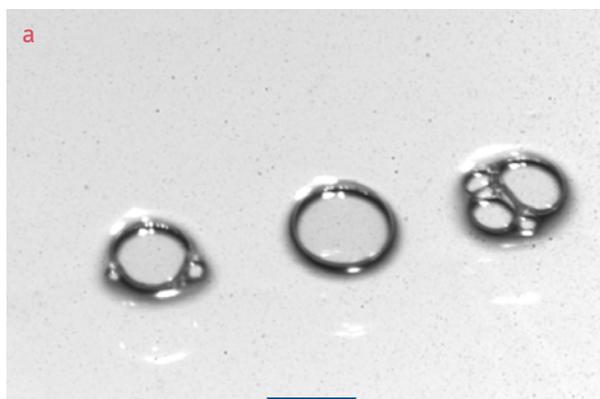
- particle accelerator: 粒子加速器**
荷電粒子を加速する装置。高エネルギー物理学の研究やがん治療に利用されている。
- inertia: 慣性**
物体は外力を受けないかぎり、同じ運動状態を維持する。つまり、止まっている物体は止まり続けようとし、運動している物体はその速度で等速直線運動を続けようとする。これを慣性という。慣性のため、電車で、急発進すると後ろへ倒れたり (人は止まり続けようとする)、急ブレーキがかかると前に倒れたり (人はブレーキをかける直前の速度を保とうとする) する。
- Self-similar structures: 自己相似構造**
自己相似とは、物体の一部分を拡大しても、全体と同じように見える形や現象になる性質。
- aerosol: エアロゾル**
気体中に、液体や固体の微粒子が浮遊している系 (状態) のこと。

WORDS AND PHRASES

- リード **pop**: 「破裂する」
 リード **offspring**: 「子」、「子孫」
- cutting-edge**: 「最先端の」
 - recalls**: 「思い出す」、「思い起こす」
 - rupture**: 「破裂する」
 - vanish**: 「消滅する」、「消える」
 - break up**: 「ばらばらになる」、「分解する」
 - explode**: 「爆発する」
 - fold back**: 「折りたたむ」
 - trap**: 「～を閉じ込める」
 - collapse**: 「破裂する」
 - fold into**: 「～に折りたたまれる」
 - scope**: 「影響の及ぶ範囲」
 - context**: 「状況」、「文脈」
 - detrimental**: 「有害な」
 - convert ~ into...**: 「～を…に変換する」
 - crucial**: 「極めて重要な」、「決定的な」
 - admit**: 「認める」、「白状する」
 - more than once**: 「2 回以上」
 - award**: 「(資格、奨学金など) を授与される」



気泡が破裂すると、多数の小さな「子ども」の気泡が環状に生成する。



「子ども」の気泡がはじけると、さらに「孫」ができる。

参考訳

気泡が破裂するとき起こること

気泡が破裂するとき多数の「子ども」が生まれることが研究によって判明した。

ジョフ・ブラムフィール



JAMES CBIRD

- 最先端の物理学が、いつも粒子加速器を必要とするとはかぎらない。今回、ストローと石けんを用いた研究により、1つの気泡が破裂して多数の気泡が生成する過程が明らかになった。この結果は、今週号の *Nature* に発表される¹。
 - マサチューセッツ工科大学（米国ケンブリッジ）のポスドク James Bird が、この効果に初めて気付いたのは、同大学の近くにあるハーバード大学で PhD 取得のための実験をしていたときのことだった。Bird は、液体の表面にある1つの気泡が破裂するとき、その気泡が液体の表面と接していたところに、多数の小さな気泡が環状に生成することに気付いたのだ。
 - 「我々は、自分の目で見たこの効果を、うまく説明することができませんでした」と、Bird は回想する。そこで、研究グループで、この効果を調べてみることにした。彼らはストローでシャボン玉を吹き、それが破裂するようすを高速度カメラで撮影することから始めた。
 - これまでの研究では、気泡は破裂すると消滅してしまう、すなわち、無数の小さな破片になって表面に落下していくと考えられていたが、Bird が見た現象は、これとは違っていた。気泡の壁は、外向きに飛び散る代わりに、内向きに折りたたまれていった。そこに空気が閉じ込められて小さなドーナツ状になり、それが液体の表面にぶつかって壊れた結果、より小さな気泡が環状に並んで生成したのだ（動画 1 参照）。
 - Bird の研究グループは、その後 3 年をかけて、気泡の破裂に関する最適な理論を構築した。彼らは、気泡の破裂に影響を及ぼす因子が、気泡の表面張力、液体の慣性、気泡に閉じ込められた気体の圧力の 3 つだけであることを突き止めた。この 3 つの因子の兼ね合いによっては、気泡が破裂して折りたたまれるときに 1 つではなく 2 つの空気の袋ができて、より多くの気泡が生成することもあれば、娘気泡が全く発生しないこともある。
- パーティーの余興にも**
- ブリストル大学（英国）の数学者 Jens Egger は、この研究の応用範囲の広さに強い印象を受けたと語る。「この論文のすばらしさは、卑近な問題を取り上げて、この美しい構造を見つけ出した点にあります」と彼はいう。そして、この娘気泡も破裂して、さらに小さな気泡が生成する場合があるという発見については、「自然が自己相似構造を利用して小さいものを作っていることを実感させます」という。
 - 「気泡は、状況によって、非常に有用なものにも、有害なものにもなりえます」と Bird はいう。例えば、ガラスに気泡が入ると強度が低下するおそれがあるため、ガラス製造業者は常に気泡に神経をとがらせてきた。これに対して、海の気泡は海水に含まれる塩分がエアロゾルになるのを助け、雲の形成にとって極めて重要な段階に寄与している。特に小さな気泡は、微粒子を空気中に放出することができると考えられている（動画 2 参照）。
 - Bird は、自分たちの計算が気候モデルや工業プロセスの改善につながる可能性があるだけでなく、「パーティーの余興としても気が利いています」という。実際、Bird は一度ならず、友人とビールを飲みながら紙を巻いてストローを作り、この PhD 研究を実演してみせたことがあるという。
 - ところで、Bird の気泡研究は、まだ終わっていない。彼は最近、この研究を続けるために、米国国立科学財団から 1 年間のフェローシップを授与された。「気泡の研究は終わりだと思っていたのですが、研究はまだまだ続きます」と彼はいう。
- （翻訳：菊川要）

naturevideo & naturepodcast で

Natureダイジェストを 2倍楽しむ!

Natureでは、最新研究の音声ファイルや動画も提供しており、Natureダイジェスト掲載の記事に関連したコンテンツもお楽しみいただけます。(どちらも英語のみです。)

QRコードを読みこむ。

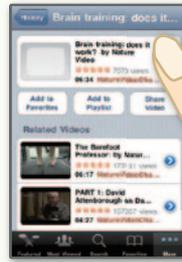


画面にURLが表示されるので、接続してください。

※ 通信にかかる費用は、お客様のご負担となり、携帯会社により異なります。

ハイライトページの Podcast または Video の QRコードの場合、表示されたURLに接続すると、すぐに音声または動画が再生されます。

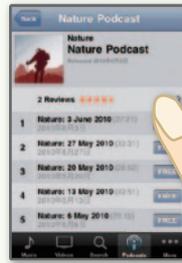
naturevideo



関連映像を楽しむ!

Nature Videoは、さまざまな分野の研究成果を動画でご紹介。5~10分程度にまとめられ、分かりやすく、楽しい映像です。

naturepodcast



最新研究について英語で聞いてみる!

Nature Podcastでは、Natureのハイライトや研究者のインタビュー、世界各国の記者による鋭い解説などを配信しています。

登録の必要はありません。ぜひ、アクセスしてみてください。

(※ Nature Podcastは、現在のところ、iPhoneのみに対応しています。 ※ Nature Videoは、一部対応していない機種もあります。 ※ iPhoneでQRコード読み取りアプリを事前にダウンロードしてください。) iPhoneはApple Inc.の商標です。

EDITOR'S NOTE

ネイチャーはさまざまな科学ニュースを取り上げますが、おそらく最も幅広い層に人気があるのは、化石をもとに描かれた古代生物の想像図がある話題です。今月号(7ページ)に掲載した、巨大な歯でクジラを食いちぎっているマッコウクジラ類の想像図は、まさにその典型です。「かわいい」、「かっこいい」、「ネーミングがいい」など、多数の声が寄せられました。絵で見るだけでも十分おもしろいとは思いますが、関連動画 (<http://nature.asia/cWjxwg>) もぜひご覧ください。歯の化石の大きさに圧倒されますよ! (m)

* 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。



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

© 2010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、中野美香、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。



BRITISH AIRWAYS
自分だけの時間

受賞歴のあるビジネスクラス「クラブワールド」では、自分だけの時間をお楽しみいただけます。静かなラウンジ、そして機内では自分だけの快適な空間。お客様のスペース、プライバシーを大切にしたキャビンでは、お好きな時間に、お仕事、ご就寝、おくつろぎいただくことができます。

今すぐ、ba.comでご予約ください。



平成22年7月25日発行 第7巻 第8号
編集発行人：David Swinbanks

発行所：ネイチヤー・ジャパン株式会社
東京都新宿区市谷田町2-37千代田ビル

発売所：日本出版貿易株式会社
ISSN：1880-0556

定価 680 円

本体 648 円
Printed in Japan

雑誌 07271-08



4910072710805
00648