日本語で読む世界の最新科学ニュース

nature ダイジェスト

惑星になれなかったベスタ

思考制御ロボットアーム

1200年前の放射線バースト

外村彰氏を偲ぶ

08 2012

トマトのゲノム解読

シナプスを剪定する ミクログリア

放射線照射実験標本を 廃棄から救え!

福島第一原発事故の 被曝量の評価

研究者の新 ID システム

学士院賞・恩賜賞受賞の 難波啓一氏に聞く

FROM 日経サイエンス

ジャガーは戻ってくるか? カメを宇宙から追跡する



最先端の研究から、その先へ



2012 年、Nature は過去最高のインパクトファクター **36.28** を獲得。 Nature は世界中から集まった最高品質の研究論文だけでなく 社会的関心の高い科学関連ニュースや解説記事を提供します。

*2011 Journal Citation Reports (Thomson Reuters, 2012)



08

2012年7月25日発行

©2012 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。

www.nature.com/naturedigest



トマトのゲノムプロジェクトが結実 04

表紙画像: ATW PHOTOGRAPHY/GETTY IMAGES

2003年に始まったトマトのゲノム解析がようやく終了した。今後、このゲノム情報を、迫り来る食糧問題の対策に役立てるべきだろう。

NATURE NEWS

- 03 進化した脳制御型ロボットアーム
- 05 惑星になれなかったベスタ
- **13** 研究者のための 新しい ID システム
- **15** ガンマ線バーストで 初期宇宙を探る!?

COMMENT

14 追悼·外村彰博士

NEWS SCAN

- 06 ジャガーは戻ってくるか?
- 06 カメを宇宙から追跡する

NEWS & VIEWS

- 24 体内時計に効く薬
- 26 太陽の 100 万倍のスーパーフレア

JAPANESE AUTHOR

18 生体分子を「見たい!」 --- 難波 啓一

EDITORIAL

- 28 名誉毀損の訴えから 率直・誠実な意見表明を守る
- 29 反 GM 運動の一部は、 地球規模の野蛮な行為

HIGHLIGHTS

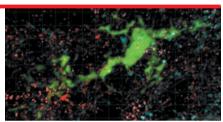
30 2012年6/7~6/28号

英語で Nature

34 アンドロメダ銀河が天の川銀河と衝突する

20 ミクログリアは 働き者の庭師

神経系の免疫を担っているミクログリア。 意外にももっと能動的らしい。不要なシナ プス結合を「剪定」しているというのだ。



RFF 3

10 放射線照射実験の 貴重な標本を救出せよ!

冷戦時代、世界各国で行われていた放射線 照射実験。今、廃棄されつつあるその標本 は、低レベル放射線の影響研究に必須だ。



S. TAPIO

07 福島第一原発事故による被曝量の国際評価

国連とWHOが、事故による被曝について評価結果を公表した。原発の周辺住民と作業員の健康への影響は小さいという。



02 年輪に記録された 謎の放射線バースト

屋久杉の年輪記録から、1200年前に大量 の放射線が地球に降り注いだことがわかっ た。どんな天文現象によるかは謎だ。



NASA

年輪に記録された謎の放射線バースト

Mysterious radiation burst recorded in tree rings

RICHARD A. LOVETT 2012年6月3日 オンライン掲載 (doi:10.1038/nature.2012.10768)

今から約 1200 年前、放射性炭素 ¹⁴C の濃度が一時的に急上昇していた。 どんな天文現象が起こったのだろうか。

1200 年ほど前に、原因不明の非常に強い高エネルギー放射線バーストが地球に襲来していたことが、名古屋大学の宇宙線物理学者、三宅美沙らによって発見された¹。屋久杉の年輪記録を調べたところ、西暦 775 年の生育期に形成された年輪に含まれる放射性炭素 14 (14C)の量が明らかに増加しており、774年から775 年の間に放射線バーストが地球に到達したことが示唆されたのだ。

 14 C は、宇宙から飛来した高エネルギー放射線が地球の上層大気中の原子に衝突してできた中性子が窒素 14 C は 14 N)と衝突し、その後 14 N が崩壊することで生成する。この反応は、背景放射線により常に起きているため 14 C は連続的に生成されており、放射性炭素年代測定が可能になっている。

三宅らは、このわずか 1 年の間に、大気中の 14 C 濃度は 1.2% も跳ね上がったはずだと結論付けている。1.2% という数字は、通常の変動率の約 20 倍の大きさにもなる。

コロラド大学大気宇宙物理学研究所 (米国ボールダー)の Daniel Baker は、 「これは非常にしっかりした研究だと思います」と言う。「775 年頃、何らかの 超高エネルギー現象が起きたのです」。

しかしながら、その現象がどのようなものであったかを特定するのは難しい。

大きな謎

年輪記録の ¹⁴C 濃度を急上昇させるよう な天文現象は、現時点では、超新星爆発 による γ 線の大放出か、巨大な太陽フ



オーロラは荷電粒子のバーストが地球の大気に衝突したときに見られるが、屋久杉の年輪記録に残る ¹⁴C 濃度が急上昇した時代に、そうした現象の記録はない。

レアによる陽子の嵐しか知られていない。しかし三宅は、どちらも今回見つかった 14 C 濃度の上昇の原因である可能性は低いと言う。超新星爆発にせよ太陽フレアにせよ、 14 C 濃度をこれだけ上昇させる規模であれば、同時にほかの影響も観察されていないとおかしいからだ。

例えば、大規模な超新星爆発だったなら、西暦 1006 年に出現した史上最も明るい超新星 SN1006 や 1054 年の超新星 SN1054 (現在のかに星雲) のように、昼間も見えるほど明るい「新しい」星が生まれていたはずだ。三宅によると、SN1006 や SN1054 でさえ 年輪に 14 C 濃度上昇の痕跡を残しておらず、775 年頃に 14 C 濃度を急上昇させるような超新星爆発があったとすれば、これらの超新星より明るくなければならないという。

もしかすると、はるか彼方の南半球の空で大規模な超新星爆発が起こったのかもしれない。そのために、当時の天文学者の目につかなかった可能性もある。だが、そうだとしても、今日の X 線天文学者や電波天文学者が、「途方もなく明るい」超新星レムナント(痕跡)を発見しているはずだ、と三宅は言う。

太陽フレアについても、年輪の ¹⁴C 濃度を急上昇させるのに必要な量の超高エネルギー陽子を生じるような太陽爆発は、これまで記録された最も大きなものよりはるかに激しいものであったはずだと三宅は言う。それだけ巨大な太陽フレアなら、異常なオーロラに関する歴史記録があるはずであり、地球のオゾン層を破壊して、生態系に壊滅的な影響を及ぼしていたはずである。

しかしながら、Baker は、三宅らが太陽フレアの可能性を除外したのは早計ではないかと考えている。太陽フレアはときにコロナ質量放出(CME)を伴う。CME は、太陽の大気から磁気を帯びた巨大なプラズマが噴出する現象で、荷電粒子の流れが地球に向かって押し寄せてくる。Baker は、太陽フレアそのものはとてつもなく巨大でなくても、CME により異常な数の陽子が加速されて超高エネルギーとなる場合があるかもしれないと言う。

「近年、CME が地球に向かってくるときには、CME 構造の前の衝撃波面での陽子の加速が重要であることが明らかになってきています。まっすぐ地球に向かってくる強い CME が、地球の大気に影響を及ぼすような高エネルギー陽子集団を生成させることができるかどうか、考えてみたいですね」と Baker は言う。そして最後に、「この ¹⁴C 濃度の急上昇と同じ頃に、中国や中東で、活発なオーロラやそれに類する現象の記録が残っていたら、最高ですね」と語った。

(翻訳:三枝小夜子)

^{1.} Miyake, F., Nagaya, K., Masuda, K. & Nakamura, T. *Nature* http://dx.doi.org/10.1038/nature11123 (2012).

進化した脳制御型ロボットアーム

Mind-controlled robot arms show promise

ALISON ABBOTT 2012年5月16日 オンライン掲載 (doi:10.1038/nature.2012.10652)

型肢麻痺の患者の思考で制御できるロボット補助器具が作製された。

Nature 5月17日号掲載の論文によると、四肢麻痺の2人の被験者が、自分の脳の活動だけを用いてロボットアームを動かし、目標物までアームを伸ばして、しっかりつかむことができたという¹。

Cathy と Bob (共に仮名) は、脳卒中で脳幹が損傷して四肢麻痺が残り、話すこともできない。神経外科医は、彼らの大脳の運動皮質に、動かしたいという思考と関連するニューロンのシグナルを記録できるよう、髪の毛ほどの細さの電極を約100本含む微小な記録装置を埋め込んだ。15年前に脳卒中を起こした Cathy は2005年に、2006年に脳卒中を起こした Bob は試験の5か月前に、この装置の埋め込み手術を受けた。

昨年4月の試験では、Cathy は自分の思念でロボットアームを操り、コーヒー入りのボトルをつかんで口元まで持ち上げることができた。彼女は無事にコーヒーを飲むと、にっこり笑った。「その笑顔を忘れることはないでしょう」。 論文の共著者の1人で、ブラウン大学(米国ロードアイランド州プロビデンス)のLeigh Hochberg はこう話す。

この研究は、ブラウン脳科学研究所(プ

ロビデンス)の所長 John Donoghue が率いる BrainGate2 臨床試験の一環である。研究チームは 2006 年、別の 2 人の被験者が自分の思考でコンピューター画面上のカーソルを動かすのに成功したことを報告している ²。「こうした二次元の動きから、物に手を伸ばしてつかみ、それを動かすといった三次元空間での動きへ進化したことは、非常に大きな一歩です」と Donoghue は言う。

思念の力

この研究の難しい点は、被験者に埋め込まれた装置が拾い上げた神経シグナルを解読し、それらのシグナルをデジタルコマンドに変換して、ロボットアームに被験者の意図したとおりの動きを実行させることだ。動きが複雑になるほど、シグナル解読作業の難度は増す。

研究チームは、2種類のロボットアームを使っている。1つは義肢として使うために米軍と共同で開発しているDEKAアームシステムで、もう1つはドイツ航空宇宙センター(DLR)が外部補助装置として開発しているロボットアームだ。

今回の研究では、2人の被験者は、30

秒以内にアームを伸ばしてスポンジ製ボールをつかむ課題を課せられた。その結果、Bob は DEKA アームを使って、制限時間の 62%の時間で標的をつかむことができた。Cathyの場合、DEKA アームの使用で 46%の成功率、DLR 製アームを使うと 21%の成功率だったが、コーヒー入りのボトルを持ち上げて口元まで持っていく試技においては、6回のうち4回成功した。

この結果に、研究界は大いに盛り上がっている。何年間も四肢が麻痺している人でも、こうした補助装置により、他人とコミュニケーションをとったり自力で作業を行ったりできるのだ。レスター大学(英国)のRodrigo Quian Quiroga(今回の研究には参加していない)は、麻痺を起こしてからこれほど長時間経った後でも、「体をこう動かしたい」という思考を読み取れたことに驚嘆したという。「先行きは非常に明るいですよ」と Quiroga は喜ぶ。

しかし Donoghue は、まだ先は長いと 強調する。「現状のアームの動きはまだま だ遅くて不正確です。シグナル解読のア ルゴリズムを改善する必要があります」。

研究チームは今、装置埋め込み手術の安全性を調べるために、被験者を募集している。これまで7人が手術を受けたが、深刻な副作用は現れていない。研究チームは、脳卒中や筋萎縮性側索硬化症などの神経変性疾患、もしくは脊髄の損傷による四肢麻痺の患者を合計15人集めたいと考えている。

また、現在、患者の頭蓋にはコードを付ける必要があるが、研究チームは、将来的にはワイヤレスにしたいと考えており、そうしたシステムを開発中だという。ロボットアームを使わず、解読した脳のシグナルを患者自身の筋肉に直接伝えて四肢を動かせるようにすることが、研究者たちの夢なのだ。

(翻訳:船田晶子)



参考動画: http://nature.asia/robot-arms

1. Hochberg, L. R, et al. Nature **485**, 372–375 (2012).

トマトのゲノムプロジェクトが結実

Tomato genome sequence bears fruit

REBECCA HILL 2012年5月30日 オンライン掲載 (doi:10.1038/nature.2012.10751)

トマトのゲノムが解読され、 風味も収量も満足のいく品種開発のてがかりとなるかもしれない。

サラダにおなじみのトマト(Solanum lycopersicum)は、世界的にきわめて価値の高い作物である。近年、人気が高まりつつあり、2010年には世界で1億4580万トンが生産されている。このトマトのゲノム配列が、日本も参加している国際共同研究チーム、トマトゲノム・コンソーシアムにより解読された1。

このコンソーシアムの英国部門を引っ 張るノッティンガム大学(英国)の Graham Seymour と、当時インペリア ル・カレッジ・ロンドン(英国)に所属 していた Gerard Bishop によれば、今 回わかった配列により、トマトはもとよ り、ナス(Solanum melongena)やトウ ガラシ類(Capsicum 種)など、そのほ かのナス科作物についても、正確に育種 できるようになるだろうという。

また、害虫や病原体に強く、さらには気候変動にも負けないトマトの開発にも役立つと考えられる。もちろん、おいしくて収量も高い品種の開発も期待される。カリフォルニア大学デービス校(米国)の種子バイオテクノロジーセンターで分子遺伝学を研究する Allen Van Deynze は、「今回の成果はまさに、トマトの品種改良のすべてにかかわることなのです。これまで不可能だったことが、可能になるのです」と話す。

2003年に立ち上げられたこのプロジェクトは、成果を挙げるまでにちょっと時間がかかった。だが、「驚くほど完全な」配列が得られた、とリーダーたちは口をそろえる。ゲノムの80%以上が明らかにされて、含まれる遺伝子の90%

以上が発見されたのだ。現在は、さらに精緻化が進められており、研究チームは、これを参照配列のゴールドスタンダードにしたいと考えている。「トマトのゲノムとして、これまでになく優れたものなのです」と Van Deynze はたたえる。

進化した戦術

プロジェクトの中心研究者の1人である、イタリア国立新技術・エネルギー・持続的経済開発機構(ローマ)のGiovanni Giulianoによれば、研究チームは当初、トマトの栽培種 Heinz 1706(有名なケチャップの製造に使用される品種の1つ)とそれに最も近い野生種のSolanum pimpinellifoliumのゲノムを、従来のやり方で解読しようとしたのだという。

しかし、プロジェクト開始から5年経った2008年になっても、データはまだ大きく欠落していた。そこで研究チームは、「次世代」の技術を利用した。全ゲノムショットガンシーケンシングに乗り換えたのだ。この技術では、配列を個別に解読した大量のDNA断片を寄せ集め、ゲノムの形に組み上げるため、はるかに高速な解析が実現できる。

今回の成果では、特に、トマトゲノムの全体が進化の過程で2回の三倍化を経ていることがわかったことがきわめて興味深い、と Giuliano は話す。1回目の三倍化は1億3000年ほど前に起こったもので、ブドウ(Vitis vinifera)で最初に確認されている 2 。Giulianoの関心を引いたのは、約6000万年前に起こっ



おいしいトマトを召し上がれ。

た2回目の三倍化で、トマトの進化に きわめて重要なものだった。

「2回目の三倍化で生まれた遺伝子のいくつかは、何千万年もの間、ゲノムの中で消えずに残ってきました」とGiulianoは語る。「そして比較的最近、その機能が変わり、私たちが現在食べているような色や果肉のトマトへと変化したのです」。トマトはすでに、多肉果(多肉質で果汁を多く含む果実。トマト、ブドウ、モモなど)を開発するためのモデルとして確立されており、その遺伝情報は、イチゴやメロン、バナナなどの果物の育種にも役立つだろう。

ロザムステッド研究所(英国ハーペンデン)で植物生命工学を研究する Johnathan Napierは、「次に行うべきは、 このゲノム配列を、特に食糧安全保障と 人類の健康にとって有用で重要な形質と 結びつけることです」と話している。

(翻訳:小林盛方)

The Tomato Genome Consortium Nature 485, 635-641 (2012).

^{2.} Jaillon, O. et al. Nature 449, 463-467 (2007).

惑星になれなかったベスタ

Vesta confirmed as a venerable planet progenitor

Ron Cowen 2012年5月10日 オンライン掲載 (doi:10.1038/nature.2012.10624)

ドーンによる小惑星ベスタの観測から、惑星形成過程が明らかになるかもしれない。

太陽系で2番目に大きな小惑星ベスタ。このほど、米国航空宇宙局の探査機ドーンによる観測の解析結果が報告され、ベスタは惑星の原型であり、惑星進化を理解するためのまたとない「標本」であるという予測が正しかったことが確認された¹⁻⁶。

ドーンは、2007年9月に打ち上げられ、昨年7月にベスタの周回軌道に入った。その後数か月かけて軌道を小惑星の上空200km以下に下げ、観測を行ってきた。その結果、ベスタは、ベスタ族な順がれる小惑星や、地球で見つかる隕石の6%を占めるHED(ハワーダイト、ユークライト、ダイオジェナイト) 隕石群の起源であるという有力な証拠を得た。ベスタとベスタ族の表面組成が一致することや、ベスタの南極にあるクレーターを作った衝突がベスタ族とHED 隕石の元となった岩石を宇宙空間へ放出させたとみられることが明らかになったのだ。

カリフォルニア大学サンタクルーズ校 (米国)の Erik Asphaug は、「隕石の化 学分析やベスタ族の軌道研究から、ベス タ族と HED 隕石がベスタ由来であると はわかっていましたが、今回、その起源 になった衝突クレーターまで特定できま した。ドーンからのデータにより、今後、 月や地球のクレーター形成や、もっと小 さな小惑星や隕石について理解が深まる でしょう」と話す。

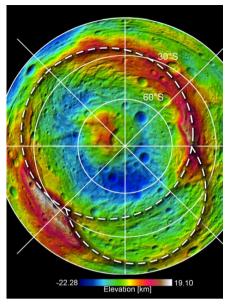
今回の観測では、ベスタは、太陽系で最初の固体ができたわずか約200万年後に生まれ、惑星形成過程の生き残りであることを示すデータも得られた。「惑星になるはずだったベスタが、形成され

た当時のままの姿をさらけ出しているのです。それを目にしているとは、なんて魅惑的なんでしょう。ベスタは、解明されていない惑星形成過程の中間点に位置しています。今後、何年にもわたってドーンのデータを解析することになるでしょう」。 Asphaug はこう語る。

さらに、ベスタの南極のクレーターは 1 つではなく、新旧 2 つのクレーターが 重なり合っていることがわかった。月惑 星研究所(LPI:米国テキサス州ヒュー ストン)の Paul Schenk は、「ベスタは、 思っていた以上に複雑でした」と言う。

この巨大な衝突によって、表面近くの軽量鉱物ユークライトははぎ取られて深部にある重い鉱物ダイオジェナイトが露出し、衝突盆地の中には、火星のオリンポス山(太陽系で最も大きな既知の山)に匹敵する中央丘ができた。「生じた地震波は、ベスタ大の小惑星上では、減衰するまでに何日もかかったでしょう。きっと、珍しい形態の地形や、見たこともない全く新しいタイプの地形があるはずです」と Asphaug は話す。

2つの衝突による衝撃波は、ベスタを 鐘のように鳴らし、赤道を取り巻くいく つかのまとまりに分かれた谷を作ったら しい。「ベスタの赤道を取り巻く谷の一 群は、南極の大きなクレーター、レアシ ルビア盆地の縁に平行して走っていま す」と Asphaug は話す。もう1つのもっ と古くてやや小さいヴェネネイア盆地の 縁にも、別の谷の一群が平行に走ってい るというが、見分けるのが難しい。「谷 の並び方から衝撃波の影響がうかがわれ ますが、クレーターと谷の関係はよくわ



ベスタの南半球。中央が南極で、破線は重なり合う衝突盆地を示している。

かっていません」と Asphaug は言う。

もう1つ、意外な事実も判明した。南極の2つの盆地は比較的若く、20億~10億年前のものだったのだ。研究チームは当初、それらは40億~35億年前のもので、太陽系の後期重爆撃期にできたと推測していた。この頃の小惑星帯は今よりもずっと密で、小惑星どうしの衝突がもっと頻繁に起こっていたと考えられている。一方、サウスウェスト研究所(米国コロラド州ボールダー)のBill Bottke は、「ベスタ族では小さな小惑星が大きな小惑星よりもずっと多く、南極の2つの盆地を作った衝突が比較的最近であることを示しています」と指摘する。

ベスタ表面の明暗模様の原因もまだわかっていない。「これらは、小惑星帯のもっと遠いところからベスタに持ち込まれた物質によるか、小惑星内部の古代の火山活動の結果かもしれません」とSchenk は言う。

(翻訳:新庄直樹、要約:編集部)

Russel, C. T. et al. Science 336, 684-686 (2012).

^{2.} Jaumann, R. et al. Science **336**, 687-690 (2012).

^{3.} Marchi, S. et al. Science 336, 690-694 (2012).

^{4.} Schenk, P. et al. Science **336**, 694–697 (2012).

De Sanctis, M. C. et al. Science 33, 697-700 (2012).
 Reddy, V. et al. Science 33, 700-704 (2012).

ジャガーは戻ってくるか?

長い論争の末に、米国政府が近く保護生息地を指定する

ネコ科動物の中で、ジャガーはライオンとトラに次いで3番目に大きく、南北アメリカ大陸では最大で、かつては米国にも生息していた。18世紀と19世紀にはアリゾナ、ニューメキシコ、カリフォルニア、テキサスの各州で生息が確認され、ときにはノースカロライナ州や北はコロラド州でも見られた。

ジャガーの生息地は南へと追いやられ、現在はアルゼンチン北部からメキシコのソノラ砂漠にわたる地域に生息している。だが、米国南西部にも頻繁に入り込んでおり、一部の自然保護活動家は「重要生息地」を指定して保護すべきだと主張してきた。そして、長年の法的論争の末、米国魚類野生生物局(FWS)がこれに同意した。アリゾナ州フェニックスの FWS 現地監督官 Steve Spangle は「指定候補地をいくつか提案する計画ですが、具体的な場所や広さはまだ決まっていません」と言う。それでも FWS は7月には決定する予定だ。

ジャガーが重要生息地指定の対象に値するのかどうか。この問題は自然保護についてのより大きな議論を反映している。多くの生物種が姿を消しつつある中で、限られた保護予算の支出優先順位をどのようにつけるのか、という問題だ。

ジャガーを守る最良の方法は、国境の南、ジャガーが生息・繁殖しているメキシコ側の保護を手厚くすることだと多くの専門家は考えている。だが、生物多様性センターのMichael Robinson は、米国内にジャガーを再び生息させることを目標にすべきだと言う。米国でジャガーが絶滅したのは、1960年代まで続いた政府の「肉食動物駆除計画」のもとで多数のジャガーが殺されたのが一因だ。現在だけでなく、過去の生息域に注目するのが重要だと Robinson は主張する。

重要生息地が認定されても、面積はわずかにとどまりそうだ。4月に FWS の諮問委員会が作成した概要は、アリゾナ州の南東角とニューメキシコ州の南西角のごく一部を含む領域に絞っている。ニューメキシコ州のヒーラ国有林やアリゾナ州のモゴロン・リムなど、Robinson が最重要の生息地とみている地域は無視された。

諮問委員会の共同責任者で野生ネコ科動物保護団体パンセラの Howard Quigley は言う。「議論は数十年続く可能性があり、その間にジャガーは絶滅しかねません。まず重点地域を設けて、復活に向けた活動を始める必要があります」。■

(翻訳協力:粟木瑞穂)

カメを宇宙から追跡する

オサガメとトロール漁船が交錯する場所が突き止められた

体重 900kg、体長 2m にもなるオサガメは、カメの中では最大だ。しかし、この動物はか弱く、太平洋に生息する個体数は過去 20 年間で 90% も減ってしまった。絶滅の危機に瀕しているこのカメは、トロール漁船の網に引っかかってしまうことがわかっている。しかし、いつ、どこで問題が起きているのか、正確にはわからなかった。

「オサガメは太平洋を何千kmも移動するため、陸地や船から追跡する方法はない」とメリーランド大学環境科学センターの海洋生物学者 Helen Bailey は言う。そこで Bailey らは人工衛星からカメを追跡することにした。追跡装置をオサガメの甲羅に固定し、カメが海面に浮上するたびに信号を衛星に送るようにしたのだ。Ecological Applications 誌4月号に報告された研究で、カメとトロール漁船が遭遇する危険地帯が特定された。この知見は、規制当局がオサガメ保護のためにいつどこで漁業を制限するかを決めるのに役立つだろう。

Bailey らは、東太平洋と西太平洋のメスのオサガメ 135 匹がクラゲを追い求めて太平洋を縦横に泳ぎ回る様子を 15 年にわたって追跡した。その結果、この 2 つの集団は回遊パターンが異なることがわかった。西太平洋のオサガメは、インドネシアの営巣地を離れてから、南シナ海、インドネシア海域、南東オーストラリア海域、米国西海岸沿いをめぐって餌を取るため、さまざまな海域で漁網の害を受けやすい。

一方、東太平洋のオサガメは、メキシコやコスタリカの 営巣地から南東太平洋に移動し、多くは南米沿岸で漁具に 引っかかった。この東の集団は生息範囲が集中しているの で、絶滅のリスクがより高いと Bailey は言う。

新たな知見は、当局が短期間の漁業規制を計画するのに役立つ。毎年8月中旬から11月中旬までカリフォルニア沖でメカジキとオナガザメの漁を禁じた最近の決定のおかげで、オサガメの混獲が激減したとBailey はみる(2010年は1匹も混獲されなかった)。人工衛星による追跡データは、禁漁時期や対象海域の改善、あるいはオレゴン州とワシントン州の沖合での禁漁海域設定に役立つ可能性がある。ガラパゴス諸島では、2月から4月にかけて非常に限られた回遊経路をオサガメが移動することがわかっており、場所と時期を絞って禁漁にすれば、混獲は完全になくせるかもしれない。

(翻訳協力:鐘田和彦)



福島第一原発の作業員のうち約 170 人が、発がんリスクがわずかに高くなる量の被曝をしたことが明らかになった。

福島第一原発事故による 被曝量の国際評価

Fukushima's doses tallied

GEOFF BRUMFIEL 2012年5月24日号 Vol. 485 (423-424)

国連科学委員会と世界保健機関は、それぞれ独自に、

福島第一原発事故による放射線被曝について包括的な評価を進めてきた。
それによると、原発周辺地域の住民や原発作業員の健康に及ぼす影響は、
非常に小さいとする調査結果が出た。

2011年3月の福島第一原発の事故により大量の放射性物質が放出されたが、この放射性物質にさらされたことが原因でがんになる人はほとんどいないだろう。がんになる人がいたとしても、その因果関係を明らかにすることはできないだろう。原発周辺地域の住民と、大破した原子炉を制御下に置くために奮闘した数千人の原発作業員の被曝線量について包括的な評価を行った2つの独立の報告書では、このように結論付けられている。

報告書の1つは、「原子放射線の影響 に関する国連科学委員会(UNSCEAR、 ウィーン)」の小委員会が作成したもの で、Nature が独占取材を行った。この報告書では、原発事故のあらゆる側面に関して広範な問題が検討されている。もう1つの報告書は、世界保健機関(WHO、ジュネーブ)が事故後1年間の一般住民の被曝量を見積もったもので、Nature は、その草稿を見ることができた。そして 2012 ± 5 月 $21 \sim 25$ 日にウィーンで開催された UNSCEAR の年会では、両方の報告書についての議論がなされた。

UNSCEAR 委員会の分析によると、福島第一原発の作業員のうち 167 人が、発がんのおそれがわずかに高くなる量の放射線を被曝したことが示唆されてい

る。一方WHOの報告書によると、速やかな避難が功を奏し、ほとんどの一般住民の被曝量は政府が定めた基準値を下回っていたものの、基準値を上回る被曝をした住民も一部存在したとのことだ。ただ、UNSCEARの委員長であるWolfgang Weissは、「健康リスクがあるとすれば、被曝量の多い原発作業員のほうでしょう」と言う。しかし、原発作業員でさえ、将来がんになったとしても、原発事故と直接関連付けることはできないかもしれない。原発作業員の人数が少ないうえ、日本のような先進国では、がんの通常の発生率が高いからである。

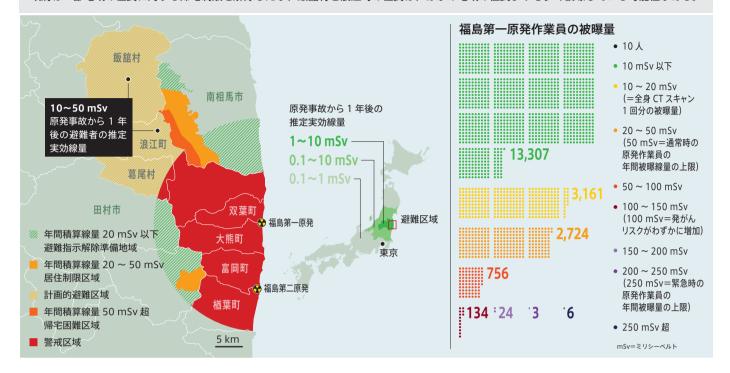
原発事故の発生以来、人々は放射性降 下物の影響を心配している。UNSCEAR の科学者は、自分たちが入手できる最高 のデータを独自にまとめたこの報告書 が、人々の不安を払拭するのに役立つ ことを期待している (Nature 483, 138-140; 2012 参照)。UNSCEAR の報告書 は、原発作業員の被曝量について予備的 な評価を行うだけでなく、放射性物質の 放出量は日本政府の見積もりの10倍以 内であったと評価し、原発事故が周辺の 植物、動物、海洋生物に及ぼす影響を完 全に解明するには、さらなる研究が必要 であると結論付けている。来年、この報 告書の最終版が UNSCEAR の全体委員 会の承認を受ければ、将来の研究のベー スラインとして役立つはずだ。

福島第一原発の危機は、2011年3月11日に発生したマグニチュード9.0の東北地方太平洋沖地震が誘発した巨大津波により引き起こされた。高さ14mの津波により、福島第一原発の6基の原子炉のうち4基は水浸しとなった。そして原子炉は全電源喪失状態となり、非常用炉心冷却装置を作動させることができなかったため、メルトダウンと爆発を起こして、大気中と海洋に放射性物質をまき散らした。ただ、事故が発生した2011年中に、原子炉は冷温停止状態となり、放射性物質の放出もおおむねなくなった。

UNSCEAR は、1986年のチェルノブイリ原発事故の際に当時の決定版と

一般住民と原発作業員の被曝量

原子炉のメルトダウンにより、福島第一原発の周辺地域住民と原発作業員の大半は、少量の被曝をすることとなった。2012 年 4 月、日本政府は一部地域の住民に対する帰宅制限を解除したが、飯舘村と浪江町の住民は、ほかの地域の住民よりも多く被曝している可能性がある。



なる報告書を作成したときと同様に、 2011年の秋以降、福島の放射線に関し て入手可能なデータのすべてを検証し ている。特に重要なのは、原発作業員 2万115人の匿名化した医学データの 徹底的な調査である。福島第一原発の作 業員には、原発を所有する東京電力の社 員と、その協力企業の従業員がいるが、 調査の結果、146人の東電社員と21人 の協力企業従業員の被曝量が100ミリ シーベルト (mSv) を超えていたことが 明らかになった。これは、発がんリスク がわずかに高くなることが知られている 被曝量である。そのうちの6人の被曝 量は、緊急時に復旧作業にあたる原発作 業員の被曝量の上限として日本の法律が 定めている 250 mSv を超えていた。さ らに、3号機と4号機の制御室にいた2 人のオペレーターは、放射性ヨウ素 131 (¹³¹I) が体内に取り込まれるのを防ぐヨ ウ素剤 (ヨウ化カリウム) を摂取してい なかったため、被曝量が600 mSv を超 えていた(『一般住民と原発作業員の被

曝量』参照)。ただこれまでのところ、 どちらのオペレーターについても、被曝 による悪影響は確認されていない。

被曝量が多かった作業員の大半は、事故後早い段階に被曝した。事故発生から数時間、少人数のチームが原子炉建屋内に入って損傷を調べ、手動でバルブやその他の装置を操作している間、彼らは真っ暗になった制御室に集まっていた。特に事故発生直後は、どの場所にどのくらいの放射線があるのかわからないことも多かった。報告書によると、作業員が浴びる放射線量をモニターするための自動システムが適切に作動していなかったという。4月中旬になってようやく、原発作業員の基本的な入出管理と放射線量モニタリングが回復した。

原発事故により発生する可能性が高いがんは甲状腺がんと白血病だが、専門家の意見は、いずれのがんについても検出できるほどの増加はないだろうということで一致している。米国立がん研究所(メリーランド州ロックビル)でチェルノブ

イリの調査チームを率いる馬淵清彦は、「発がんリスクの増加は、統計的には検出できないほど小さいものかもしれません」と言う。福島の作業員よりはるかに被曝量が多かったチェルノブイリの除染作業員は、調査の対象となった11万人のうち0.1%がこれまでに白血病になっている。しかし、すべての原因がチェルノブイリの原発事故にあるわけではない。

それと比較すると、福島第一原発から20~30 km 圏内の約14万人の地域住民の健康リスクはさらに小さいようである。WHO は、事故当時の詳細な放射線測定データが入手できなかったため、吸入、経口摂取、放射性降下物の付着量から住民の被曝量を見積もった。その結果、福島県と近隣県のほとんどの住民の被曝量は10 mSv 未満であったと推定された。しかし、事故から数か月後に避難した飯籠村と滾汽町の住民の被曝量は10~50 mSv に上った。日本政府は、原発事故による住民の年間被曝量を20 mSv 未満にすることを目標にしてお

り、長期的には、この地域の住民の年間 被曝量が 1 mSv 未満になるところまで 除染を進めたいと考えている。

日本の科学者が行ったいくつかの健康 調査では、原発周辺地域も含めて、一般 住民の被曝量は1~15 mSv の範囲内で あるという結果が出ており、WHO の計 算結果は、こうした日本の調査結果と一 致している。けれども1つだけ不安があっ た。浪江町に住んでいた幼児の¹³¹Iの甲 状腺被曝量が、甲状腺がんのリスクが高 くなる 100~200 mSv に達しているお それがあったのだ。しかし、この地域の 1080人の子どもに関する調査を行った 結果、50 mSv を超える甲状腺被曝をし た者は1人もいなかったことが明らかに なった。ちなみに、チェルノブイリの原 発事故で被曝した子どもたちのがんで最 も多かったのは甲状腺がんだった。

怯えと怒り

原発周辺地域の住民の人数は原発作業員 の人数よりも多いため、住民ひとりひと りのリスクは低くても、将来的には、被 曝による住民の発がん件数が作業員の発 がん件数よりも多くなる可能性がある、 とコロンビア大学(米国、ニューヨーク 市) の放射線科医 David Brenner は言 う。けれども彼は、一般住民の被曝と発 がんが決定的に関連付けられることはな いだろうと考えている。放射線の影響 のない普通の状況でも、「すべての人の 40%ががんになるのです」と彼は言う。 「疫学調査によってリスクの増加が検出 できるとは思えません」。ただし、住民 に対して、彼らが騙されていないことを 納得させ、少しでも安心させるために、 疫学調査を実施するのは有効かもしれな い、と彼は付け加える。

地震と津波と原発事故による精神的なストレスを原因とする健康リスクのほうが、被曝を原因とする健康リスクよりもはるかに大きい可能性がある。ニューヨーク州立大学ストーニーブルック校の精神医学的疫学研究者 Evelyn Brometによると、チェルノブイリ原発事故によ

り避難を余儀なくされた人々における心的外傷後ストレス障害(PTSD)の発症率は、全人口における発症率に比べて高かったという。福島では、そのリスクはさらに大きくなる可能性がある。彼女は、福島県立医科大学が行っている調査について、「私は、こんなひどい結果となったPTSDアンケートを見たことがありません」と言う。福島の人々は、「すっかり怯え、深い憤りを感じています。彼らはもはや、誰からの情報も信用できずにいるのです」。

全体的にみると、2つの報告書により 原発事故直後の日本政府の対応は信頼性 が裏付けられた。福島県立医科大学の研 究者で、福島県民の健康調査を行うチー ムを率いる山下俊一は、今回の知見が被 災者のストレス軽減に役立つことを期待 している。けれども、これだけでは、日本 政府と被災者との信頼関係を再構築する には不十分であるかもしれない。東京大 学アイソトープ総合センター長で、原発 事故への日本政府の対応を批判する急先 鋒に立っている児玉龍彦は、この報告書 の価値を疑問視している。「非常に短期間 の日本滞在で、地方で何が起きているか をその目で見ることも許されない国際機 関が、性急に報告書を作成するようなこ とはやめるべきだと思います」と彼は言う。

約70人の科学者からなる UNSCEAR の作業委員会は、最終報告書を完成させるにあたり、これからしていかなければならないことはたくさんある。委員たちは今後も、事故に関するデータの出所を独自に確認し、原子炉から環境に放出された放射性物質の流れのモデルづくりを進めていく必要がある。原発作業員については、「統計的な追跡調査よりも、個人の医学的な追跡調査のほうが重要です」と Weiss は言う。「人々は、我々が言うことが本当かどうかを知りたがっているのです」。

(翻訳:三枝小夜子)

補足報告は野沢里菜による。



放射線照射実験の貴重な標本を救出せよ!

Raiders of the lost archive

ALISON ABBOTT 2012年5月10日号 Vol. 485 (162-163)

かつての冷戦時代、放射線の健康への影響を調べるために、 世界各地で実験動物を使った大規模な放射線照射実験が実施された。 時は移り、こうした組織標本のコレクションが今、廃棄の危機に直面している。 しかし、これらの標本は、特に低レベル放射線の危険性に関する我々の疑問に答えてくれる可能性があり、 現在、世界中の研究者が、その救出・保存に取り組んでいる。

ロシアのウラル地方南部の辺鄙なオジョ ルスクという町の研究所に、ソ連時代に 行われた大規模な秘密実験の標本試料 が、ほとんど人に知られることなく保存 されている。ここでは、1950年代初頭 から冷戦が終結するまで、25万匹近い 動物に、体系的に放射線を照射する実験 が行われた。 α 線、 β 線、 γ 線を照射 した動物もいれば、放射性粒子を食べさ せた動物もいる。線量も、即死するほど の高いレベルから無害と思われる低レベ ルまでさまざまだった。こうしたマウス、 ラット、イヌ、ブタ、そして数匹のサル たちが死亡すると、科学者たちは死体を 解剖して組織を取り出し、放射線がどの ような損傷を与えたかを調べた。肺、心臓、 肝臓、脳、その他の器官の薄片をパラフィ ンに包埋してブロックにし、その切片を 顕微鏡で観察した。また一部の器官は、 ホルマリン漬けにして瓶に保存した。

当時、米国による核攻撃を恐れていた ソ連は、放射線が組織に損傷を与え、が んなどの疾患を引き起こす仕組みを解明 しようとしていた。ソ連国内での事故へ の懸念もあった。例えば 1957 年には、 オジョルスクの近くにあるマヤーク原子 力プラントの使用済み核燃料再処理施設 で爆発事故が発生し、周辺地域に大量の 放射性物質がまき散らされるという惨事 が起きていた。動物実験では、最初から 最後まで、科学者たちは組織を慎重に保 存し、その知見を細かく記録していった。 同様の放射線照射組織のアーカイブは、 米国、欧州、日本でも作成され、その ために5億匹近い動物が犠牲となった。 しかし、冷戦が終結すると、各国の組織 コレクションは、適切な管理をされずに どんどん損なわれていった。

新しい世代の放射線生物学者にとって、1つの目標は、100 ミリシーベルト (mSv) 未満の低レベル放射線が生体に及ぼす影響を明らかにすることだ。彼らにとって、こうした昔のアーカイブは、非常に価値ある試料となる。このレベルの放射線量は、診断用 CT 撮影などの医療行為に伴う被曝線量や、日本の福島第一原発事故による周辺地域住民の被曝線量に相当する。

昔のコレクションは、今となっては、改めて作成することのできない貴重な情報源である。当時の大半の放射線照射実験は、条件を細かく設定し、照射線量も幅広くとり、期間も通常は動物の一生涯にわたった。ノースウェスタン大学(米国イリノイ州シカゴ)の放射線生物学者Gayle Woloschak は、「資金的な理由からも、倫理的な理由からも、今後、これだけの規模の動物実験を行うことは不可能でしょう。だから、昔の研究者が遺した組織標本を再利用することはできないか、と考えたのです」と言う。

数年前から、世界中の研究者が、動物 に放射線を照射した昔の主要な実験を探 し出し、その組織アーカイブを保護する 取り組みを始めている。欧州委員会、米 国立がん研究所、米国エネルギー省をは じめとするさまざまな資金提供機関が、 この取り組みを支援している。

しかし、大きな困難が立ちはだかっているのも事実だ。まずは、当時の保存技術や時間経過によって、標本中のDNAやRNAやタンパク質が影響を受けていないことを証明しなければならない。その後で、これらの分子から得られるデータを組み合わせ、低レベル被曝によって細胞の回路が破壊されるのかどうか、明らかにしなければならない。初期の試験によると、一部の標本は使えそうであることが判明している。それもあって、研究者たちは、世界中でこつと収集されてきた標本の多くが、すでに失われていることを非常に残念に思っている。

低レベル被曝への新たな関心

年齢を重ねた広島と長崎の被爆者や、マヤーク原子力プラント事故で被曝した作業員の間で、通常よりも高い割合で心血管疾患が見られることがわかり 1.2、放射線ががん以外にも影響を及ぼすことが明らかになった。しかし、低レベル放射線が心血管疾患やその他の疾患の発生率を増加させるのかどうか、あるとすればどのような機序によるのか、いずれもまだ不明である。生物学者はこれまで、被曝による細胞の損傷は放射線量に比例すると仮定してきたが、培養細胞での実験









では、細胞が放射線による DNA の損傷をある程度まで修復できること、さらに、低レベル被曝はその先に細胞が被曝したときに身を守ってくれる可能性があることを示唆している。

ドイツ連邦放射線防護庁(ミュンヘン)の放射線防護と健康に関する研究チームを率いるWolfgang Weiss は、「もしかすると、ある値以下の被曝線量なら無害であるような閾値があるのかもしれません」と言う。この問題については、仕事や核事故や医療を通じて被曝した人々を対象とする疫学研究が行われてきたが、めぼしい知見は得られていない。いくつかの研究では、対象者の人数が少なすぎて、わずかと思われる疾患発生率の増加が検出できなかったし、またある研究では、対象者ひとりひとりの被曝線量が不明であった。

放射線防護機関の多くは、職業被曝(例えば、核産業における被曝)の上限を年間平均20mSvと定めている。しかし、この値は便宜的なものであって、どの程度の被曝なら安全なのかを判断できるような、根拠となる科学的データは得られていない。こうした状況の中で、昔の動物実験の組織コレクションに対する期待が高まっているわけだ。

2007年2月、Soile Tapio は、そうした組織標本を探し求めて、ドイツのかつての原子力研究所の1つであるミュンへンのヘルムホルツ研究所から、暗く酷寒

のオジョルスクまで旅をした。Tapio は、 欧州放射線生物学アーカイブ促進プログ ラム (ERA-PRO programme) に参加し ていた。これは、欧州の放射線照射実験 データのデジタル化をめざすプログラム で、1996年から進められてきた。2006 年、オジョルスクの南ウラル生物物理学 研究所 (SUBI) の放射線照射実験プロ グラムの責任者が、そこで行われていた 動物実験の規模の大きさについて Tapio に語った。それでも、「私たちは当時、 SUBI について、その名前以外はほとん ど何も知りませんでした」と Tapio は 言う。ERA-PRO の数人の代表派遣団と ともに彼女が SUBI に到着したとき、ど んなものが自分たちを待ち受けているの か、想像することさえできなかった。

貴重な標本を救出せよ!

ロシアの核産業の拠点の1つであるオジョルスクは、部外者の立ち入りが厳しく制限されている閉鎖都市である。ERA-PROの代表派遣団がこの都市への訪問をロシア政府から承認してもらうまで、数か月がかかった。長時間のフライト、自動車での3時間の移動、秘密事項の取り扱い許可を受けるための煩雑な手続きなどを経て、彼らはついに、数人の高齢の科学者から昔の組織コレクションを見せてもらうことができた。案内されたのは、打ち捨てられた建物だった。屋根は大きく裂け、窓は割れていた。いくつか

の寒々としたオフィスの床には、顕微鏡 のスライドガラスや実験ノートが散乱し ていた。

しかし、暖房が入った別の部屋には、 ビニール袋に入ったスライドやワックス ブロックが積み上げられていた。ここに は最盛期は100人以上のスタッフがいた が、冷戦の終結でプログラムは突然打ち 切られ、4、5人のスタッフだけが残され て、実験で得られた組織標本を管理する ことになったという。この研究所の科学 者たちは、2万3000匹の動物の組織標 本を各実験の詳細なプロトコルとともに 記憶しており、代表派遣団を感心させた。 「彼らは、自分たちのコレクションに目を 向けてくれる人間がついに現れたことを、 とても喜んでくれました」と Tapio は言 う。「彼らは私に、自分たちが死んでしま う前にコレクションを整理しておきたい と思っていたことを、何度も何度も繰り 返し言いました」。

その頃米国では、別の組織標本コレクション救出作戦が進行していた。1990年代の中頃、Woloschakは、1969年から1992年にかけてアルゴンヌ国立研究所(イリノイ州)で行われた放射線照射実験の組織標本を利用して研究したことがあった。その照射実験は、7000匹のビーグル犬と5万匹のマウスを使った大規模なものだった。彼女はその後ノースウェスタン大学に移籍したが、この標本が忘れ去られていることを知って驚き、米国

エネルギー省から許可を得て、ノースウェ スタン大学で保管できるようにした。

「私がアルゴンヌ研究所の組織標本をすべて持っていることが研究者仲間に知られるようになると、自分が持っている組織も保管してほしいと頼まれるようになりました」とWoloschakは言う。現在、ノースウェスタン大学は、米国内で行われたすべての放射線照射実験標本の公式の保管所になっている。Woloschakは、自分がこれまでに託された組織標本の数は2万点程度だろうと推定している。

一方で、彼女は、米国内の多くの組織 標本がすでに破棄されていたことも知っ た。その中には、オークリッジ国立研究 所 (テネシー州) で無数に行われたマウ スの実験や、カリフォルニア大学デービ ス校で行われたいくつかの大規模なイヌ の実験の組織標本も含まれている。「単 に場所がないからという理由で廃棄され てしまうような研究のために、政府が数 百万ドルの資金を投じ、人々が骨を折っ てきたのだと考えると、苛立ちと憤りを 感じます」と Woloschak は言う。その ほか、日本の広島大学、イタリアの新技 術・エネルギー・持続的経済開発機関の カサッチャ研究所、英国医学研究会議の ハーウェル研究所の組織コレクションな どが廃棄されてしまった。

昔の組織標本を入手することは、科学者にとっては最初のチャレンジにすぎない。標本が手に入ったら、次は、その中の生体分子がまだ検出・測定できることを確認しなければならない。彼らは、低レベル放射線で損傷される分子経路を特定・分析して、さまざまな組織の細胞が、放射線ストレスに適応していく過程ないしは適応できずに死んでゆく過程か、そこから疾患に至る仕組みを解明したいと考えている。彼らはまた、人間の被曝線量や、その人が特に放射線障害になりやすいかどうかの判定に役立つ生体分子のパターンなども見つけたいと考えている。

Woloschak がアルゴンヌ研究所の昔の放射線照射マウスの組織標本を使って1990年代に行った研究からは、若干の希望があることが示唆されている。例えば彼女は、ポリメラーゼ連鎖反応(PCR)法を用いて遺伝子を増幅することで、放射線照射でがん化した組織から、がん特異的遺伝子の突然変異や再編成を検出することに成功した³。一方、Tapioは、標準的なプロテオミクス技術を改変して、一部の古い組織標本にも適用できるようにした。現在、いくつかの研究グループが、こうした組織標本中にマイクロRNA(遺伝子発現の制御に関与する、

比較的安定な短い RNA) が存在しているかどうかを調べている。

科学者たちは今や、こうした研究成果を昔の組織標本に体系的に適用できるところまで来ている。例えば Tapio は、ロシアと米国にある放射線照射マウスの心臓組織をパラフィン包埋した標本を使って、研究を始めようとしている。彼女は、この研究を通じて、被爆生存者に見られる心血管疾患の高い発症率と関係する相 傷を見つけたいと考えている。「この組織標本を作成した昔の研究者たちは、がんとの関係しか頭にありませんでした。被爆と関連する疾患がほかにもあることが明らかになった今、私たちは、同じ標本を使って、ほかの疾患についても調べることができるのです」と彼女は言う。

研究からすぐに単純な答えが出るとは、誰も思っていない。もしかすると、疾患とはほとんど関係ない多くの分子応答を見つけてしまうかもしれない。「細胞を即死させるような高レベルの放射線量は別として、任意の量の放射線照射に対する細胞のストレス反応は、いくつもの活動が複雑に絡み合っているため、多種多様な分子経路に影響を及ぼすでしょう」と Tapio は言う。放射線生物学者たちは、「安全な」被曝線量の上限は組織ごとに違っていて、個人差もあるだろうと予想している。

何はともあれ、オジョルスクの組織コレクションは、それを守ってきた科学者たちが希望したとおりに整理され、近いうちに、SUBIのキャンパス内で建設中の最先端の保管所に収められる予定である。そこには、マヤーク原子力プラントの被曝した作業員の組織標本も保管される。研究者らは、冷戦時代の動物実験の組織標本が、今度は国際的な舞台で、実験材料として新たな役割を演じることを期待している。

(翻訳:三枝小夜子)



冷戦時代に2万3000匹の動物を使って行われた放射線照射実験の組織標本は、現在、南ウラル生物物理学研究所(SUBI)で細心の注意を払って保管されている。

Alison Abbott は、Nature の欧州上級通信員。

- 1. Little, M. P. et al. Radiat. Environ. Biophys. 49, 139-153 (2010).
- Azizova, T. V. et al. Radiat. Environ. Biophys. 50, 539-552 (2011).
- 3. Haley, B. et al. Health Phys. 100, 613-621 (2011).

研究者のための新しい ID システム

Scientists: your number is up

DECLAN BUTLER 2012年5月31日号 Vol. 485 (564)

研究者に固有の識別子を付与する ORCID (オーキッド) システムによって、 学術出版物の追跡が、容易かつ正確にできるようになる。

2011年、世界で最も多くの学術出版物を送り出したのは Y. Wang という人物だった。実に 3,926 件もの著作がこの名前で出され、1 日当たり 10 件以上発表しているということになる。もちろん、これは同一人物ではなく、Y. Wang という名前の研究者がひとまとめにされた結果だ。

このような同名者混同問題を解決すべく、識別子システムの ORCID (Open Researcher and Contributor ID; オープン型の研究者・貢献者 ID システム)が、年内に稼動を始める見通しとなった。

スーパーマーケットのレジで、個々の商品がバーコードで識別されているように、ORCID は世界中のすべての研究者に、機械で読み取れる16桁の固有なデジタル識別子を割り当てる。研究出版物を真の著者に正確に帰属させることが、その目的だ。これによって、研究の管理体制が改革され、業績評価の精度が高まり、評価の幅も拡大するだろう。

何より、研究者は、論文投稿や助成金申請の際に、電子書式文書に個人の詳細情報をいちいち書き込む必要がなくなり、ORCID 登録番号を打ち込むだけで済むようになるだろう。IDを打ち込むと、論文や引用のリスト、助成金、連絡先などの欄が自動的に埋まり、研究者情報が完成していく。ただ、ORCIDの趣旨は、こうしたサービスそのものを提供することにあるのではなく、ほかの組織や機関が独自のサービスを構築するために、このオープンアクセス型のORCIDデータベースを利用してもらうことにある。

これまでに、主要な研究組織や資金提

供機関、大手出版社を含む約280の組 織が ORCID 委員会のメンバーになって いる (Nature Publishing Group も委員 会メンバーであり、ORCID の理事会に も参加している)。また、米国立衛生研 究所や全米科学財団など連邦政府関係の 研究機関は、構想中の Science Experts Network Curriculum Vitae (研究者履 歴書ネットワーク; SciENcv) という識別 子導入計画と ORCID との統合について 検討を重ねているところだ。SciENcv は、 公的研究機関の研究者の履歴書的なプロ ファイルを自動作成することをめざして いる。こうしたプロファイルは、職員氏 名録やウェブサイトの追加・更新、研究 業績の評価基準の作成に用いられる。こ のシステムと ORCID を統合することで、 例えば助成金を受けて作成された研究論 文や特許を追跡したり、研究資金の二重 取りをチェックしたりできるだろう。

大量のデータを解析して情報を抽出するデータマイニングや計量文献学の専門家たちも、ORCIDの持つ可能性に胸を躍らせている。ORCIDは、研究追跡用の複数のシステムを互いにリンクさせることができるため、そこから、研究者を中心に据えた科学の視点が生まれて、科学者ネットワークと彼らに関連する情報の解析が可能になると期待される。

ロスアラモス国立研究所(米国ニューメキシコ州)の学術図書館に所属する Herbert Van de Sompel は、ORCID システムを使って、「ツイートやブログ投稿、スライドシェアのプレゼン資料や SciTV のビデオなど、現代的な学術コミュニケー ションの場に置かれた研究制作物と、その著者とをリンクさせて、新しい業績評価基準を作り出したい」と考えている。

しかし、そうしたことを現実のものとするためには、ORCIDは、資金提供する公的機関や大学や出版社はもちろん、データベース運営組織を含めたすべての研究関係者に、受け入れられなければならない。要するに世界標準になる必要がある。しかし現状では、多くの研究機関がORCIDの実際的応用価値を理解していないし、ORCIDの名を知らない研究者も多い。このことは、Ithaka S&R(ニューヨーク州にある非営利の研究コンサルタント組織)の報告書から明らかになっている。

「大学や研究機関に、なぜ ORCID が 彼らにとって重要なのか、もっとうまく伝える必要があります」と言うのは、4月に ORCID の事務局長に任命された Laure Haak だ。ORCID は今後数か月のうちにスタートするが、相当数の登録者を確保するために、最初は大手の出版社や公的研究機関を頼ることになるだろう。出版社や研究機関であれば、研究者に対して、論文掲載や助成金申請のために ORCID 番号を提供もしくは登録するよう要求できるからである。

研究者個人は、年内に ORCID 登録番号を無料で取得できるようになる。しかし、大学や企業その他の組織は、段階的に設定された会費を払うことになる。これまでは、実費支給の形で作業するメンバーと、57万4000ドル(約4600万円)の寄付、120万ドル(9600万円)の融資によって維持・運営されてきた。会費が順調に集まれば、年間収入は250万ドル(2億円)に上ると見込まれている。

研究者や研究関係者が ORCID の恩恵を実際に目にすれば、デジタルオブジェクト識別子 (DOI) が論文やデータの標準識別子になったように、ORCID も研究界における著者識別子のデファクト・スタンダード(事実上の標準)となるだろう。Haak はそう確信している。

(翻訳:船田晶子、要約:編集部)



追悼・外村彰博士

Akira Tonomura (1942-2012)

ARCHIE HOWIE 2012年6月21日号 Vol. 486 (324)

外村彰博士は、顕微鏡によって基礎物理学の分野に変革をもたらし、ロバート・ブラウン(植物学者)のように、観察研究に新たな世界を開いた。19世紀、ブラウンの顕微鏡でブラウン運動と細胞核が発見されたが、20世紀と21世紀には、外村博士の顕微鏡によって量子力学の基本原理とその応用が明らかになったのだ。

ホログラフィーによる画像化法は、透 過電子の強度と位相を測定する技術であ り、優れた結像性能を実現するには、き わめて安定で位相のそろった、つまりコ ヒーレントな電子ビームが必要となる。 外村博士は、数十年かけて、そうした電 子ビームを開発していった。その結果、 量子力学の数多くの思考実験が実際にで きるようになり、ナノスケールでの磁場 と電場に関して、詳しい情報が得られた のである。また、外村博士は、「電子線 ホログラフィー」を用いて、電子の粒子 と波動の二重性を説明し、さらに、より 難しい条件下で、超伝導体中の磁場やその他の量子効果の測定を実行し、電子顕微鏡学のヒーローともいうべき地位を築いた。これらの業績から、外村博士のノーベル賞受賞の話が何度も流れた。その外村博士が、5月2日、膵臓がんのために世を去った。70歳だった。

外村博士は、幼少期を広島市で過ごしたが、原子爆弾が投下された 1945 年 8 月 6 日の運命の朝を迎える 2 か月ほど前に、家族とともに広島を引っ越していた。その後、1965 年に東京大学理学部物理学科を卒業し、日立製作所に就職、中央研究所に配属された。高名な電子顕微鏡学者である渡辺宏博士から貴重な指導を得て、外村博士の長い研究人生が始まった。

その当時、エンジニアリング会社トム ソン・ヒューストン社(英国ロンドン) の物理学者 Dennis Gabor は、ホログラ フィーという手法を用いて、電子顕微鏡 の分解能を高めるアイデアをすでに発表していた。その技術は、いくつかの実現可能性試験にも合格していた。しかし、ホログラフィーがすぐに応用され、めざましい成果を挙げたのは、電子顕微鏡の分野ではなく、光学の分野だった。レーザーを利用したホログラフィーで、画期的な三次元画像が得られたのである。この業績が認められ、Gabor は後にノーベル賞を受賞した。

電子線ホログラフィーのさらなる進歩は、チュービンゲン大学(ドイツ)のGottfried Möllenstedtによる「電子線バイプリズム」の発明を待たなければならなかった。このバイプリズムは、フィラメントを正に帯電させて、その両側を通る電子が重なり合うようにした装置である。外村博士は、1973~74年にMöllenstedt研究室に短期留学し、その後、日立製作所に戻って、1978年にこの技術を用いて初めて実用的な電子線ホログラフィー顕微鏡を作製した。

この電子線ホログラフィー顕微鏡が、 アハラノフ - ボーム効果(AB効果)と いう奇妙な量子現象をめぐる論争に決着 をつけたといってよい。AB効果とは、 電子が、近くにある磁場を透過しなくて も、その電子の波動関数の位相が磁場に よって変化する効果をいう。ところが、 この考え方は、実用的な電子顕微鏡を開 発する際に用いられる古典理論とうまく 整合しない。外村博士は、初期の実験で、 AB 効果が確認できたと思われる結果を 得たが、批判的な研究者は、磁場が漏れ たために位相変化が観測されたのではな いか、と主張した。そこで外村博士は、 超伝導体で取り囲んだリング状磁石を作 製して漏れ磁場をなくしたうえで、それ を銅層ですっぽり包んで、透過電子線が 磁場領域に入らないようにした。そして、 電子線ホログラフィーを用いて、リング 状磁石の内側と外側の電子線の位相差が 予測どおりに生じることを確認した。こ の見事な決定的な1986年の実験によっ て、AB 効果は間違いなく存在すること が証明され、外村博士の実験の重要性は、

直ちに電子顕微鏡の分野を超えて、広く 科学の世界で認知されるようになった。

Gabor が構想していたような通常の電 子顕微鏡の分解能を超える電子線ホログ ラフィー顕微鏡は非常に少ない。しかし、 外村博士は、ホログラフィーで電子線の 位相を検出するという方法によって、そ の実用的応用分野を切り拓き、主導的な 役割を果たしていった。1989年には、超 伝導薄膜から生じる磁気渦の画像化とい う大きな成果を挙げ、それをもとに、さ まざまな金属超伝導体とセラミック超伝 導体における磁気渦の観察が行われた。 また、外村博士の研究チームは、微粒 子、磁気テープ、そして最近ではスキル ミオン格子(電子スピンの複雑な構造に よって生成した磁気渦が周期的に配置さ れたもの)の磁場分布を測定した。量子 コンピューティングの分野では、これら 「キュービット」候補の挙動を調べるうえ で、超伝導渦の観察がカギを握っている。 外村博士は、不屈の粘り強さを持ち、

実験上手で、想像力が豊かなうえ、優れ たコミュニケーション能力を兼ね備えて おり、論文やセミナーでの研究成果の 発表には細心の注意を払っていた。忘 れられないのが1994年の英国王立研究 所(ロンドン)における講演会で、外村 博士は、1時間という厳格に定められた 持ち時間をほぼきっちり使い切って講演 を終えた。彼の印象的な磁気現象の画像 は、主要学術論文誌の表紙を飾ることが 多かった。数多くのインターネットユー ザーは、彼が行った古典的な「二重ス リット実験」の映像から、今も量子力学 の最も重要な謎について学んでいる(go. nature.com/722hph 参照)。この映像 では、バイプリズムを通過する電子が、 粒子として1つずつ一見ランダムに検 出器に到達するが、時間が経過すると、 全体として波の干渉縞模様ができあがっ ていく様子が見えてくる。

外村博士の輝かしい評判と説得力は、 彼の野心的構想に対する日本政府からの 財政支援を確保するうえで役立った。そ して、2010年には、日本の個別研究プ ロジェクトに対する助成金としては史上 最高額の助成金を得た(Nature 2010年 4月15日号966~967ページ、本誌 2010年7月号7ページ参照)。ところが、 その翌年、彼は重い病気にかかり、とう とう帰らぬ人となってしまった。プロ ジェクトは、Gabor が当初構想したよ うな分解能の向上をめざしたもので、高 電圧の電子線ホログラフィーを用いて、 電子の波動関数による三次元画像を生成 するという内容だ。このプロジェクトは 後継者に引き継がれるが、その成否は、 新たなリーダーが外村博士のようなイン スピレーションに富んだ研究者かどうか にかかっている。

(翻訳:菊川要)

Archie Howie は、ケンブリッジ大学キャベンディッシュ研究所(英国)に所属する物理学者、電子顕微鏡学者。

ガンマ線バーストで初期宇宙を探る!?

Messages from the early Universe

ERIC HAND 2012年5月17日 Vol. 485 (290-291)

ガンマ線バーストと呼ばれる短時間の爆発的な閃光には、 宇宙の歴史のてがかりが含まれている。 そこで、これを調べて初期宇宙を探る試みが始まっている。

ガンマ線バーストは、途方もなく遠い宇宙で生じた短時間の閃光だ。その放射は非常に強く、かつ高エネルギー(短波長)であり、かつては天文学で最も不可解な謎の1つだった。しかし、米航空宇宙局(NASA)などが打ち上げたガンマ線宇宙望遠鏡「フェルミ」やガンマ線バースト観測衛星「スウィフト」などのおかげで、現在では日常的に見つかる天体現

象となった。天文学者たちは今、これを「新しいツール」にしようと取り組んでいる。まだはっきりとわかっていない初期宇宙の様子を調べるための「宇宙のストロボ」として、このガンマ線バーストを使おうというのだ。

ガンマ線バーストは宇宙のあらゆる方 向からほぼ毎日のようにやってくる。こ の現象は、遠い場所で大質量星の中心核 が重力崩壊を起こし、ブラックホールが 形成されたあかしと考えられている。星 が重力崩壊を起こし、ブラックホールが 形成されるとき、大爆発が起こる。それ に伴って生じるガンマ線バーストの強烈 な光は、可視宇宙の果てからであっても 地球に届く。なかには、約130億年前 の宇宙初期の情報を運んでやってくる光 もあるのだ。

関光の発生メカニズムについて、理論はまだ発展途上の段階だ(17ページ「関光のメカニズム」を参照)。それでも、ドイツのミュンヘンで5月に開かれた「2012年フェルミ/スウィフト・ガンマ線バースト会議」では、宇宙の化学的進化を調べる研究に、ガンマ線バーストで得られる情報をどのように生かすことができるか、議論が展開された。

ガンマ線バーストの光は、バーストが 起きた銀河のガスの中を通過してくる。 そのため、宇宙で最初に生まれた星の組



成を教えてくれる「宇宙のロゼッタストーン」となるかもしれない。そう指摘するのがテキサス大学オースチン校(米国)の天文学者 Volker Bromm だ。「ガンマ線バーストは、ビッグバンから数億年しか経っていない頃の情報を運んでくるかもしれません。形而上学的な魅力も持っています。最初の星の光が生まれた瞬間に立ち会ってみたいです」と語る。

宇宙の最も遠いところにある天体に は、そのほか、暗い銀河(地球からの 距離が遠いため、暗く見える銀河)と クエーサーがある。クエーサーは、中心 に超大質量ブラックホールを持つ、若い 銀河の輝く中心核だ。レスター大学(英 国)の天文学者 Nial Tanvir は「初期字 宙からの使者という点で、ガンマ線バー ストは、暗い銀河やクエーサーより優れ ています」と話す。ガンマ線バーストは 遠方の暗い銀河よりもはるかに明るいた め、分光器で成分波長に分けて化学的な 吸収線を調べることで、より多くの情報 が得られる。一方、クエーサーとの比較 だが、光自体はガンマ線バースト同様に 明るい。しかし、遠いクエーサーのスペ クトルの形は不規則で、光が通過してき た空間に含まれている物質の情報を引き 出すことは難しい。

ガンマ線バーストの観測で問題になるのは、発生が突発的で、短命なことだ。通常、最も高いエネルギーが持続するのは数秒間だけで、その短い閃光の後に、より波長の長い残光が続く。地上の望遠鏡でガンマ線バーストの残光を観測するには、宇宙望遠鏡がガンマ線バーストを検出したら、その知らせを受けてすばやく対応する必要がある。

2005年9月、スウィフトが見つけたガンマ線バーストは非常に明るく、ハワイにある口径8mのすばる望遠鏡は、それにすばやく対応した。そして、バーストの発見から3日後以降に残光を検出し、そのスペクトルを得ることができた。このガンマ線バーストは赤方偏移が6.3と測定され、宇宙が現在の7%未満の年齢のときに起こったと推定された。スペクトルは詳細部分まで明瞭にとらえられ、この時期に水素ガスの再電離(宇宙の歴史の重要な転換点で、ビッグバン後に宇宙が冷えて暗くなった後に起こった)がほぼ終わっていたことが明らかになった。

しかし、宇宙の始まりにもっと近い時期を調べたいと、天文学者たちは考えている。ガンマ線バーストは、宇宙で最初の星の形成以来、発生し続けている。宇

宙の最初の星は、おそらく大質量で、明るく、短命だった。そうした星が終わりを迎え、大爆発を起こすときも、ガンマ線バーストが起こるはずだ。その際のガンマ線を分析できれば、周囲のガス、すなわち宇宙のごく初期にあった物質の化学的組成が明らかになるだろう。

また、さまざまな時代の銀河のガンマ線バーストを分析することで、初期宇宙の組成がどのように進化したか、たどることもできるだろう。宇宙の初期に生まれた星は、ビッグバン直後にできた水素とヘリウムを燃やし、重い元素へと変える。天文学では、水素とヘリウム以外の元素はまとめて金属と呼ぶが、「では、こうした大きな星たちは、いつ金属を作り始めたのでしょうか」と、NASAゴダード宇宙飛行センター(米国メリーランド州グリーンベルト)の天文学者でスウィフトの研究責任者(PI)であるNeil Gehrels は問いかける。

初期宇宙で起こったガンマ線バーストの観測を飛躍的に向上させるため、ドイツのガーヒンクにあるマックス・プランク地球外物理学研究所の天文学者 Jochen Greiner らは、「ガンマ線バースト光学・近赤外検出器」(GROND)を開発して、チリのラ・シヤにある欧州南

閃光のメカニズム

何がガンマ線バーストを起こすのか

星の中心核がブラックホールに崩壊して、超新星爆発を起こすとき、星の自転軸に沿って短時間だが非常に明るい円錐状の光が噴き出す。これがガンマ線バーストだ。2012年5月にドイツのミュンヘンで開かれた会議で、天文学者たちはガンマ線バーストが起こるメカニズムの新しい描像を発表した。

しかし、観測データが蓄積するにつれて、ガンマ線のほとんどは、爆発する火の玉(「ガンマ線バーストの

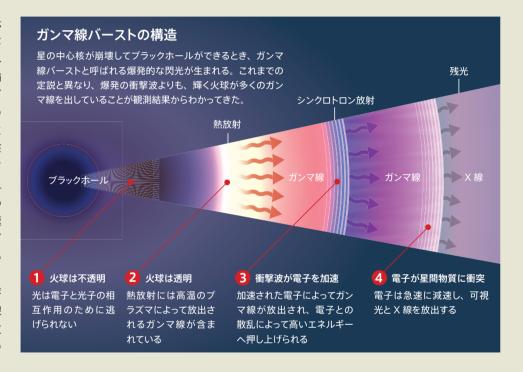
構造」を参照)の高温の表面、つまり光球での熱放射として放出されているこの描えれば、ガンマ線バロではよれば、ガンマ線バ理は大が輝くのは星と同じ子だらい、構成を入ればでの運動で発光する。ただーは数十億℃の温度に相当する

エネルギーだ(http://doi. org/hwv を参照)。

ガンマ線宇宙望遠鏡「フェルミ」の計画責任科学者である、NASA ゴダード宇宙飛行センター(米国メリーランド州グリーンベルト)の Julie McEnery は、「私にとって光球モデルの登場は本当に大きな変化でした」と話す。

フェルミは 2008 年に打ち上げられ、この「変化」に貢献してきた。フェルミは先に打ち上げられたスウィフトに比べると、正確にガン

マ線バーストの位置を決め ることはできないが、ガンマ 線バーストのスペクトル形状 をそのガンマ線スペクトルの ほぼ全域にわたって分析で きる。同じチームの Sylvain Guiriec は話す。「スペクト ルの形はシンクロトロン放射 と一致しません。明るいガ ンマ線バーストのスペクトル を私が 10 個ほど調べたとこ ろ、スペクトルには小さなこ ぶがあり、それが、熱放射 が大きな寄与をしている印 だったのです」。 E.H.



天天文台(ESO)が運用する口径 2.2 m の望遠鏡に取りつけた。GROND のシステムは自動化されており、スウィフトからの警報が入ると、ESO の望遠鏡を制御下に置き、ガンマ線バーストが起こった距離をすばやく見積もる。

そして、ガンマ線バーストが起こった場所がはるか遠方であった場合には、 Greinerらが、精密な分光測定ができる 装置を持つ超大型望遠鏡 VLT の天文学 者に直接電話をかけて、詳しい観測を依 頼する。VLT は ESO がチリに建設した 望遠鏡でラ・シヤからも近い。しかし、 VLT の天文学者たちに仕事を中断して もらうよう、説得できないこともある。 「ガンマ線バーストの観測が一分一秒を 争うことを、彼らは理解してくれていな いのです」と、Greiner はこぼす。

2004年に打ち上げられたスウィフトは、現在でもよく機能している。しかし、本来の計画期間はわずか2年であり、それも Greiner の懸念材料だ。でも、

Gehrels は「地上の望遠鏡で使える分光器が増えれば、スウィフトが発見したガンマ線バーストを最大限に利用できるはずです」と楽観しており、これまで以上にビッグバンに近い時期に生じたガンマ線バーストが検出されるのは、時間の問題だと考えている。「必要なのは1つのガンマ線バーストだけです。私たちにはまだ運がないだけです」。

(翻訳:新庄直樹)

生体分子を「見たい!」

筋肉の収縮は、アクチンとミオシンの相互作用で生じる分子レベルの力が積み重なって起こる。このミクロの動きを実際に見たい。難波啓一教授は学生の頃、そう思った。だが、アクチン繊維の太さはわずか10nm。これを見るなんて、ほとんど不可能に近かった。それから30数年、ついにアクチン繊維を「見る」ことに成功。そして、今年、日本学士院賞と恩賜賞を受賞。難波教授にお話をうかがった。

――Nature ダイジェスト: このたびは、学士院賞、恩賜賞受賞おめでとうございます。タバコモザイクウイルス(TMV)、細菌べん毛、アクチン繊維の立体構造の解明はもちろん、そうした生体超分子の構造を高解像度で分析できるようにしたことも、受賞の大きな理由になっていると思いますが。

難波:研究を始めた頃は、X線を使って解析していました。これで、TMVの構造を解析したのですが、べん毛やアクチン繊維の場合、回折像から立体像を再構成するのは、変換の複雑さなどの問題で相当難しいものがあります。そこで、低温電子顕微鏡を使おうと考えました。

— 解像度は、X 線ほどではないです よね。

ええ。でも、電子顕微鏡は位相情報が得られるし、分解能は意外と高いんですよ。 ただ、強い電子線は生体分子の構造を壊してしまうので、照射量を抑えなければなりません。弱い電子線ではノイズを除去するために、何万枚もの像を収集し、投影方向をそろえる必要があります。そ



のために分解能を伸ばすのが難しい。

まず、電子分光装置による非弾性散乱電 子の除去です。これによりノイズが大幅 に下がりました。それから、試料を閉じ 込める氷の厚みを可能なかぎり薄くし、 また試料温度を 4K から 50K に上げま した。4K での氷の密度は lg/cm³ より も大きく、タンパク質密度と差が少な いのです。結果、合計で5倍近くもコ ントラストが上がりました。そのうえ、 50Kでは電子線による帯電に起因する 像の揺れが起こりにくく、5%以下だっ たデータ収集率が95%以上にまで向上 しました。さらに、CCD を使うことで、 撮った画像をすぐに確認できるようにな り、大幅に時間が短縮されました。こう して、これまで数年もかかっていた解析 が、数日でできるようになったのです。

――画期的ですね。

解像度のよい画像があっという間に現れるのですからね。現在は 4Å 程度の解像度ですが、2Å まで上げて配位している水分子まで見たいと思っています。

――配位している水分子!? これは すごい。こうした研究意欲は、いったい どこから生まれてくるのですか。

とにかく「見たい!」という気持ちです ね。これが僕の研究のエネルギーになっ ています。わからないものを目で見て確 かめる、これこそ科学の基本でしょう。



難波 啓一

―― なるほど。きっと、好奇心旺盛な お子さんだったんでしょうね。

何でも知りたがりの好奇心の塊でした。 僕が研究者になったのには、おもしろい 話があるんです。僕が生まれたとき、祖 父が大阪の天満の天神さん近くの易者さんに名前の候補をもらったそうなんで す。そのとき易者さんが、「この子は研 究者になる」と予言したそうで、親もそ うなるんだろうと思っていたようです。 高校時代は物理が好きでね、物理の時間 は本当にワクワクしていました。

―― それで、大阪大学基礎工学部生物 工学科へ進学した。

ええ。そこですばらしい出会いがあったのです。大沢文夫先生と中村伝先生です。この2人の講義は本当におもしろかった。学問の楽しさを教えてもらいました。特に大沢先生の講義は、生物のおもしろい仕組みを物理的な側面から見るというもので、知らず知らずに脳に刷り込まれていたらしいです。最近、当時の講義ノートが出てきたんですが、僕のこれまでの研究テーマが全部書いてありました。

―― 大沢先生との出会いが大きかったのですね。

そうです。学生時代は、空井利夫先生の研究室でX線回折法を習いましたが、ポスドクの後、大沢先生が顧問を務める宝谷超分子柔構造プロジェクトに携わる機会を得ました。大沢先生は、おおらかで、放任主義、学生と同じ目線でディスカッションする方でした。それから、忘

れてはならないのが、ポスドク時代の指導教官 Donald L. D. Caspar 先生。彼も自由放任。研究も私生活も自由な雰囲気、さまざまな人とのディスカッション、最高の装置を使って研究に打ち込める環境。このポスドク時代があったからこそ、今の自分があると思います。世界が一気に広がりました。

―― こうした経験は、今の学生指導に も役立っているのではないですか?

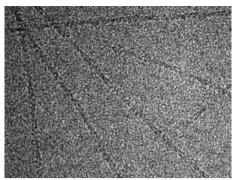
もちろんです。僕も放任主義です。こち らがピリピリしていたら、学生が萎縮し てしまいます。何も言わないようにして いますが、おもしろいデータが出たらい つでも持ってきてもらって、ディスカッ ションできるよう心がけています。僕が 学生にしてあげられるのは、自分の持つ ている知恵を提供することですから。そ れに、学生にはこうしたいい出会いとさ まざまな人との交流をしてもらいたいで すね。研究室間の垣根を低くして、いろ いろな人と交流することは重要だと思い ます。そうした中から新しい考えが生ま れるのです。海外にも積極的に行って欲 しいですね。設備環境だけを考えれば日 本で十分かもしれませんが、海外へ行く ことの重要性は、考え方の幅を広げ、多 くの人とつながりを持つところにあると 思います。

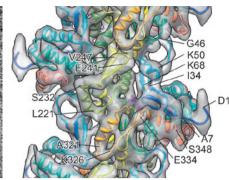
―― でも留学には、経済的な問題がありますよね。

幸い、これまではグローバル COE の予算で援助できたのですが、今後はいろいる策を講じて続けていきたいと思っています。政府も考えてはいるようですが。

――近年の科学政策は、研究所統廃合 案、緊縮財政など、疑問を感じる点があ るのですが。

実は、科研費は微増しているんです。でも、米国の足もとにも及びませんし、中国や韓国での投資の伸びはものすごいですからね。確かにロケット事業なんかも重要ですが、基礎科学にももう少し目を





アクチン繊維の電子顕微鏡写真とそれを解析して得られた立体像。

向けて欲しいですね。昨今は産学連携も 盛んですが、すぐにお金にならなくても、 将来何かの役に立つかもしれないといっ た研究も重要だと思うんですよ。意外性 があるのが科学ですから。短期的な目だ けで見ないで欲しいですね。

―― ここまでのお話ですと、ハッピーな研究生活だったように思えるのですが、実際はどうだったのでしょうか。

これといったデータが出ないときもありましたよ。そんなときでも少しずつ進んでいるという信念がありました。だから、停滞しているとは全く思いませんでしたね。いちばん辛かったのは、大学院の前半の頃。どうしたら見たいものが見えるようになるか、五里霧中のような状態でしたから。米国に渡ったときも、先の保証なんてなかったし。でもね、学生時代の教育実習のとき、とても楽しかったんですよ。だから、もしうまくいかなかったら、高校の物理の先生になろうと腹をくくっていました。

-----ポジティブ・シンキング、これが 未来につながるという感じがしますね。 ころいる化工与な性などかところ。 ##1

こういう能天気な性格だからこそ、難しい研究ができるんですよ。根底にあるのは「見たい」という気持ちです。アクチン繊維が見えたときは本当にうれしかった。長年の夢が叶ったのですから。でも、まだ見たいものがあります。原子分解能での生の生体分子です。細胞の中で実際に分子がくっついたり離れたりするのを見られたら、おもしろいじゃないですか。

―― さて、最後になりますが、若い学生に望むことは何でしょうか。

まずは、何をしたいのかを見つけること。いったん見つけたら、それにつぎ込めるエネルギーはめちゃくちゃ大きい。少々のことは苦に思わないし、ご飯を食べることだって忘れてしまいます。長期的な視点を持つことも必要です。そして、お金にならなくても、人に感動を与える研究をして欲しいです。僕もそうなりたいと思っています。科学は文化と同じで、飯の種にはならなくても、人間の心に必要なものだと思います。長い人生の中で1つでも皆が感動してくれる成果が得られたら、本当にハッピーじゃないですか。

―― ありがとうございました。

聞き手は田中明美(サイエンスライター)。

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

難波啓一(なんば けいいち)

大阪大学大学院生命機能研究科教授・研究科長。1980年大阪大学大学院基礎工学研究科物理系専攻博士課程修了。ブランダイス大学・ヴァンダービルト大学でのポスドクを経て、ERATO宝谷超分子柔構造プロジェクトグループリーダー。その後、松下電器(株)国際研究所および先端技術研究所でリサーチディレクターを務め、2002年より現職。2012年より日本生物物理学会会長。大阪科学賞、The 2009 Biophysical Society Founders Award など、受賞多数。

ミクログリア (黄色) は脳内免疫細胞であり、 活性化するとアメーバ状の形態になる。

ミクログリアは働き者の庭師

The constant gardeners

VIRGINIA HUGHES 2012年5月31日号 Vol. 485 (570-572)

脳内の免疫担当細胞であるミクログリアは、かつては消極的な監視役だと考えられていたが、 最近になって発生中のニューロンの「剪定」に積極的に関与し、 重要な役割を果たしているらしいことがわかってきた。

その研究には技術者の精神と外科医の腕前が必要だったが、Axel Nimmerjahnにはその両方が備わっていた。

Nimmerjahn が、脳内の「ミクログ リア」と呼ばれる謎の多い細胞の普段の 活動を探ろうとし始めたのは、マックス・ プランク医学研究所(独・ハイデルベル ク) でまだ大学院生だった 2002 年のこ とだ。すでにほかの研究者たちが、クモ のように枝状の突起を八方に伸ばした休 止状態のミクログリアを観察していた。 ただし、それらは死んだ組織の切片内だ けのことで、生きている脳の中のミクロ グリアを見ることは誰にもできなかっ た。その理由は、脳内のほかの細胞と違っ て、ミクログリアは免疫系の細胞であり、 きわめて鋭敏で刺激に対して反応しやす いためである。神経の切断や、脳組織内 への感染性細菌の侵入があると、ミクロ グリアはすぐに活性化し、伸びていた多

数の突起を引っ込めて大きく膨らんだアメーバ状に変形し、この状態で病原菌を飲み込んだり(「貪食」という)、細胞の残骸を取り除いたりする。

ミクログリアの活動を妨げずに観察し ようと、Nimmerjahn は、生きている マウスの脳を観察するために開発された 新しい撮像法¹を使った。マウスに麻酔 をかけ頭皮をはぎ取った後、頭蓋骨を表 面から厚さの3分の2まで除去し、そ の骨をさらに削って、わずか 20μm の 薄さにした。これは光が透過するのに十 分な薄さでありながら、ミクログリアの 活性化を避けるには十分な厚さである。 この作業はゆっくりと時間をかけて進め られた。骨を削る際に生じる熱でさえも ミクログリアを刺激してしまうため、処 置する部位は冷却液で冷まさなければな らなかった。そして、このような作業を 開始して数か月足らずのうちに、彼は低

速度<mark>撮影の</mark>映像を実験室でいくつか記録 することができた 2 。

その映像を見て、彼は衝撃を受けた。 「休止状態」であるはずのミクログリア が、ちっとも休止していなかったからだ。 ミクログリアの繊細な枝は、密に詰まっ た脳組織内を縫うように進み、絶えず伸 びたり縮んだり、また伸びたりしていた。 「その動きは、成人の脳内のほかのどの 細胞よりもダイナミックでした」と、現 在はソーク研究所(米国カリフォルニ ア州ラホヤ) にいる生物物理学研究者 の Nimmerjahn は話す。彼は、複数の ミクログリアが協調して動き、2~3時 間おきに脳全体を探査しているのではな いかと考えた。しかし、ミクログリアが なぜこれほどよく動いているのかはわか らなかったと Nimmerjahn は言う。「脳 はいったいなぜ、これほど多くのエネル ギーを投入しているのでしょう」。

シグナルをタグ化する

この疑問に興味をそそられた研究者は Nimmerjahn だけではない。ここ2年 の間に、成人の脳や発達中の脳へのミク ログリアの影響が次々と調べられ、先週 もその最新の報告が Neuron に掲載され た³。こうした研究結果によって、ミク ログリアは受け身の免疫監視員だという 見方が覆されつつある。形を変えるこれ らの細胞は、侵入微生物や損傷した組織 を貪食するだけでなく、ニューロン間の 弱い接続(シナプス)の剪定もしている という説を、いくつかの研究グループが すでに提唱している。この剪定過程は、 発達中の脳内で大規模に起こっており、 学習や記憶に重要なことがわかってい る。自閉症や統合失調症などの神経発達 障害は、この剪定過程の異常と関連付け られることが多い。また、2つの刺激的 な研究から、強迫神経症4や、自閉症ス ペクトラム障害の1つであるレット症 候群⁵のマウスモデルにミクログリアを 補充する処置をすることで、症状が著し く改善することが示唆されている。

しかし、疑問はまだたくさん残っている。ミクログリアがニューロンやほかの細胞とどうやって「会話する」のかも、ミクログリアの働きが特定の脳領域に限定されるのかどうかも、まだわかっていないと、Neuronの最新の論文の共著者であるクリーブランド・クリニック(オハイオ州)の神経科医 Richard Ransohoff は話す。しかし、だからこそ、この研究分野からじきに発見がもたらされるはずだと、彼は付け加えた。「これらの観察結果からみえてくる可能性は、自閉症などの発達障害に対してもアルツハイマー病などの神経変性疾患に対しても、実際のところ限りなく大きいのです」。

ニューロンは、1世紀以上にわたって神経科学の主役となってきた。しかし、ヒトの脳内にある細胞のうち、ニューロンはわずか10%にすぎない。残りの部分を構成するのは、さまざまな種類のグリア細胞であり、それらはニューロンを取り巻いて支持機能を果たしたり、

ニューロンのシグナル伝達に影響を及ぼしたりしている。例えばグリア細胞の一種のオリゴデンドロサイトは、ニューロンの長く伸びた軸索をくるむように脂質性の「髄鞘」を作り、電気的インパルスが高速で伝導するのを助けている。また、アストロサイトはシナプスを取り巻いており、ニューロン接合部で各種の化学的伝達物質を制御してニューロンのシグナル伝達に影響を与えていることがわかっている。

しかし、ミクログリアは脳内のほかの 細胞と全く違っている。ミクログリア は、ニューロンやほかのグリア細胞とも 異なり、胚の卵黄嚢内で免疫細胞の前駆 細胞として生じる。この分化過程は、外 来侵入者を探して血流中をパトロール する免疫細胞マクロファージの分化過 程とまるで同じである。ミクログリアは 出生前の発生期(マウスでは胚齢8日目) に脳へ移動し、そこで脳に特化した免疫 細胞となる。脳には血液脳関門という仕 組みがあり、これによって血中の毒素や 病原体、一部の薬剤などが脳に入らない ようになっているが、一方で血中の免疫 細胞も脳へ入ることができず、脳にはミ クログリアの存在が必要なのだと考え られている。

大半の脳疾患ではミクログリアが活性 化しており、病原体や死んだ細胞、折り たたみ異常のタンパク質などを貪食す る。また、傷害によって損傷したシナプ スを除去したりもする。したがって、健 康な脳でもミクログリアが同様の働きを していると考えることは、そう的はずれ ではないだろう。そう話すのは、もう 30年もこの細胞を研究している、マッ クス・デルブリュック分子医学センター (独・ベルリン) の神経科学者 Helmut Kettenmann である。続々と寄せられる 新しい撮像研究の成果を踏まえると、「ミ クログリアはおそらく、発生期のシナプ スの再編や可塑性 ※1 にきわめて重要だ と考えられます」と彼は話す。

この考え方は勢いを増しつつある。 2011年11月にワシントンD.C.で開催 され、約3万人の神経科学者が集まった神経科学学会の年次総会では、ミクログリアに関する初めてのセッションが行われ、会場は満員になった。同学会ではその後、最も検索された学術用語トップテンのリストを、総会のウェブサイト上に掲載した。「ミクログリア」は、ドーパミンや光遺伝学、統合失調症に続く第6位だった。

こうした機運の高まりは、2005 年 4 月 に Nimmerjahn が映像 2 を発表したのを 皮切りに始まった。その 1 か月後、ニューヨーク大学の神経科学者 Wen-Biao Gan の率いるチームが同様の結果を報告した 6 。Gan は、頭蓋骨を薄く削るという前述の手法を最初に考案した研究者だ。「これが大きなブレークスルーとなり、多くの研究者を発奮させたのです」と、ウィスコンシン大学マディソン校のポスドク研究員で、睡眠と覚醒におけるミクログリアの役割を研究している Marie-Ève Tremblay は解説してくれた。

2010年に Tremblay は同僚たちと、 幼少マウスの大脳視覚皮質にあるミクロ グリアの活動に関する論文を発表した。 齧歯類でもヒトでも、この脳領域には可 塑性があることがわかっている。つまり、 動物は生まれた当初は多数のシナプスが あるが、その後、両目からの光入力で活 性化されないシナプスはしだいに刈り取 られていく。Tremblay たちの研究で、 ミクログリアは生後2日以内の段階で、 消えていく小さいシナプスと相互作用し ているらしいことが明らかになった。さ らに、マウスを暗闇状態で一時的に飼育 したところ(この操作で、視覚皮質の神 経活動を効果的に低下させられる)、ミ クログリアは活性化したアメーバ状形態 へと変化し、シナプスに、よりぴったり と抱きつくような状態になった 7 。

同じ頃、別の研究チームが、発達中のマウス脳内でもう1つの非常に可塑性の高い領域に存在しているミクログリアを観察していた。その領域とは、学習と記憶に重要な海馬だ。彼らが調べたのは、フラクタルカイン受容体を欠損して

いる幼少マウスである。この受容体は、ニューロン表面に存在するフラクタルカイン **2 というタンパク質に結合するが、ミクログリアにしか発現していない。そこで、フラクタルカイン受容体欠損変異マウスについて調べた結果、このマウスの海馬には弱くて未成熟なシナプスが多数あることがわかった。これらの成果は2011年9月に発表された8。そして未発表データではあるが、研究チームは、このマウスが成体になると、シナプスの数は正常になるものの、ほかの何らかのシナプス関連の問題が残っていることを示すデータを持っている。

「私の推測では、おそらく、ニューロ ンとミクログリアの間には非常に密接な シグナル伝達が存在しています。こうし たシグナルの緊密なやり取りによって、 ミクログリアがどのシナプスを剪定する かを調整しているのだと思います」と、 この研究を率いた、欧州分子生物学研究 所 (イタリア・モンテロトンド) の神 経科学者 Cornelius Gross は話す。問題 は、これらの研究の中に、そのシグナル がどういうものであるのかを示唆するも のがないことだ。「剪定されるべきシナ プス上に提示されて『私を食べて』と告 げるマーカーを、ぜひ見つけたいもので す。『不思議の国のアリス』に出てくる ケーキに書かれていたメッセージみたい にね」と Gross は語っていた。Neuron に掲載された最新の論文には、そうした タグの1つが見つかったことが報告さ れている³。

補体の関与

研究の発端は2007年までさかのぼる。この年、スタンフォード大学(カリフォルニア州)の神経生物学者Ben Barres は、ポスドクのBeth Stevens や同僚たちとともに、視覚系の脳深部領域(外側膝状核^{**3}と呼ばれる視床の一部)でのシナプス剪定が、補体カスケードの特定のタンパク質に依存していることを明らかにした。補体カスケードは自然免疫系の一部で、病原体や不要な細胞の除

去に関与している。Barres たちは、補体タンパク質が未成熟なニューロン細胞に発現していることや、脳の発達の重要な期間において、ほかの場所よりも未成熟なシナプスの周囲に発現している傾向が強いことを示した。補体タンパク質を欠損したマウスでは、粗雑で乱れた神経接続が見られるのである。

Barres によると、この結果はすべて、 剪定対象となる弱いシナプスへのタグ付 けを補体系が担っていることを示唆して いるという。しかし、このタグ付けがど うやってシナプスの除去につながるのだ ろうか。「我々が当然のこととして考え た仮説は、ミクログリアは免疫系で働く 場合と全く同じやり方で働くのではない か、というものでした」と Barres は言 う。血中では補体タンパク質は有害な細 菌にタグを付け、マクロファージに「つ いて来て、これを食べて」と伝える。ミ クログリアは、脳内に定住するマクロ ファージであり、なおかつ、補体受容体 を発現している唯一の脳細胞でもある。 Nimmerjahn は Barres と同時期にポス ドク生活を始めたが、Barres がこの成 果を出した頃、Nimmerjahn は、ミク ログリアが成熟した脳内のシナプスと相 互作用していることをすでに明らかにし ていた。だが、幼若な脳内でミクログリ アがいったい何をしているのかは、まだ 誰もわからなかった。

2008年後半に生まれたこの疑問に、Stevensが取り組んだ。当時、彼女はボストン小児病院(マサチューセッツ州)に自身の研究室を立ち上げたところだった。Neuronの報告³は、彼女のチームが発表した論文第一号である。Stevensの研究室にいたポスドクのDori Schaferが、すでに開発されていた、紫外光を当てることでミクログリアが緑色に光る変異マウスを使って、外側膝状核を撮像するための方法を設計した。

Schafer はさらに、この変異マウスに 改変を加えて、一方の目に接続したシナ プスは赤色に、他方の目に接続したシナ プスは青色になるようにした。次に彼女 は化学物質を使って、一方の目のニューロン発火を増加させ、他方の目では減少させた。ニューロンの活動がシナプスを増強させる(情報伝達効率が高まる)ことはわかっているので、この操作によって一方の目のシナプスは弱まり、他方の目のシナプスは強まることになる。

適切な時期に適切な場所で

研究チームが撮影したカラフルな写真では、ミクログリアの「腹の中」に赤色や青色のシナプスの断片が写っており、ミクログリアが最も弱いシナプスを選択的に貪食していることを示していた(写真参照)。「これを見て本当に興奮しました。ミクログリアがニューロンの活動変化を何らかの形で実際に感知していることを、その写真が初めて明らかにしたからです」と Schafer は振り返る。

次に研究チームは、補体受容体を欠損したマウスを使って同様の実験を行った。彼らの仮説では、その受容体を取り除くことで、ミクログリアは補体でタグ付けしたシナプスを飲み込めなくなるはずだった。その予測どおり、この変異マウスのミクログリアはシナプスをあまり貪食しなかったのだ。

こうした知見があるにもかかわらず、 神経科学者の間ではいまだに、ミクロ グリアがシナプスの剪定に積極的に関 与しているかどうかが議論されている。 Stevens たちの撮った美しい写真は、ミ クログリアを適正な時期と場所でとらえ てはいたが、活動中のミクログリアを「現 場で押さえた」研究者はまだいないのだ。 「ミクログリアがシナプスを摘み取って いるところをリアルタイムで見ることは できない」と Schafer は言う。 Stevens たちの写真のミクログリアは、剪定作業 を開始したところかもしれないし、単に、 シナプスが破壊された後の残骸の後片付 けをするために駆けつけただけかもしれ ないのである。

スタンフォード大学の神経生物学者 Carla Shatz は、補体がタグを付ける過 程にニューロンの活動が影響するのかど

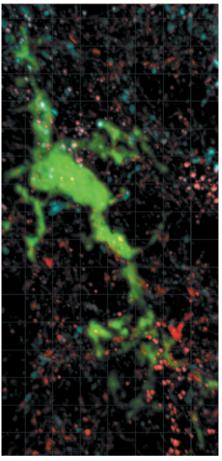
うかも明らかでないと指摘する。彼女は、 免疫系にかかわる主要組織適合複合体 (MHC)がシナプス剪定に必要なことや、 これらの分子がニューロンの活動の影響 を受けること、補体タンパク質の近くに 見られる傾向があることを示した¹⁰。「私 は、これらの観察結果のすべてをつなげ て、ミクログリアはすべてシナプス除去 のためのシグナル伝達系の一部だとする 説を実際に検証する方法があると思って います」と Shatz は話す。しかし、現 在の顕微鏡を使った解析法が制限要因の 1つになっている。「どの細胞がそれら の分子を作っているのか、どの細胞がそ のシグナルを受け取っているのかを知る ための解決策がないのです」。

その一方で、ミクログリアの研究から は思いがけない成果が次々と得られてい る。その一例として、毛を抜く強迫的行 動が特徴の精神疾患である「抜毛癖」の マウスモデルに関する、2010年の研究 がある。Hoxb8は脳内の特定種類のミ クログリアだけが発現している遺伝子だ が、この Hoxb8 を破壊すると、マウス に強迫的な毛づくろい行動を引き起こ し、体毛が抜けてしまうことが示され た 4。このマウスの全身に放射線照射し てから骨髄移植をしたところ、強迫的行 動は止まった。研究チームは、放射線照 射によって異常なミクログリア(と血液 脳関門)を取り除き、移植した骨髄由来 の新しいミクログリアと置き換えられる ことが可能だと考えている。

さらには、今年3月に報告された研究で、レット症候群のマウスモデルの寿命が骨髄移植によって大幅に延びることが明らかになっている 5 。

特異な力

こうした研究から、ミクログリアを操作することで神経発達障害を治療できるのではないかという魅力的な考えが生まれてきた。「ミクログリアは、補充が非常に簡単そうな唯一の脳内細胞群です」と話すのは、ヴァージニア大学(米国シャーロッツビル)の神経科学者で、



お腹いっぱい:マウス脳内で、1個のミクログリア細胞(緑色)が小さいシナプス(赤色や青色)を飲み込んでいるところ。

レット症候群に関する研究のリーダーを務めた Jonathan Kipnis だ。「脳の健康のためにミクログリアを活用する方法が得られれば、強力な臨床用ツールになると思います」。

ただ、これらの細胞移植研究の論文に対する疑問の声も少なくはない。その1つとして、細胞移植後に多くのミクログリアが脳内にどうやって定着し、増殖したのかがわからないという意見がある。また、動物個体の免疫系を除去すれば、宿主に種々の変化を引き起こすことは必至である。しかし、Stevens も Gross も、Tremblay やほかの研究者も皆、ゆっくりと前進しつつあり、自閉症のさまざまなマウスモデルにおけるミクログリアの役割の研究に取りかかっている。

研究者たちがぜひ手に入れたいと思っ

ている別のツールもある。それは、ミクログリアではノックアウトされるがほかの細胞ではされない遺伝子を持たせた変異マウスだ。こうした「コンディショナルノックアウト」マウス **4 を使うことで、ある遺伝子がミクログリアで果たす特異的な機能を調べ、アストロサイトなど他の細胞と対照することができる。

Gan によれば、彼の研究チームはすでに2つの遺伝子について、コンディショナルノックアウトマウスを作製したという。1つは、レット症候群のヒト患者で変異している MECP2、もう1つは、前頭側頭型認知症の遺伝性の型と関連する変異のある GRN である。この研究結果はまだ公表されていない。

「今、ミクログリアには興奮と期待の目が向けられています」と Gan は話す。「しかし、ミクログリアがやっていることを正確にとらえるには、まだ相当な努力を重ねる必要があるでしょう」。

(翻訳:船田晶子)

Virginia Hughes は、米国ニューヨーク市在住のフリーランスの科学ライター。

活動中のミクログリアの映像は go.nature.com/bpdd1tで見ることができる。

- ※1 可塑性:神経系が外界の刺激などによって機能的、 構造的な変化を起こす性質を可塑性と呼ぶ。特に、 シナプス可塑性は、シナプス伝導効率の促進や抑制 が、その原因の消失後も継続するシナプスの特性を 指す。
- ※2 フラクタルカイン: 別名 CX3CL1。ケモカインと 細胞接着因子の2つの性質を併せ持っているタン パク質であり、炎症反応、免疫応答などの生命維持 活動に関与している。
- ※3 外側膝状核: lateral geniculate nucleus (LGN)。 視床後部に位置し、網膜からの視神経が終止する部 位であり、LGN から大脳皮質の視覚野へと視覚情 報が伝えられる。
- ※4 コンディショナルノックアウトマウス:特定の遺伝子を任意の場所(臓器や細胞)、任意の時間(胎生期、生後週齢)にノックアウトできるマウス。特に、生命現象への関与が大きく、欠損すると胎生致死となるようなタンパク質の役割を調べるのに役立つ。
- Grutzendler, J., Kasthuri, N. & Gan, W. B. Nature 420, 812-816 (2002).
- Nimmerjahn, A., Kirchhoff, F. & Helmchen, F. Science 308, 1314–1318 (2005).
- 3. Schafer, D. P. et al. Neuron 74, 691-705 (2012).
- 4. Chen, S.-K. et al. Cell **141**, 775-785 (2010).
- Derecki, N. C. et al. Nature 484, 105-109 (2012).
 Davalos, D. et al. Nature Neurosci. 8, 752-758 (2005).
- 7. Tremblay, M.-È., Lowery, R. L. & Majewska, A. K. *PLoS Biol.* **8.** e1000527 (2010).
- 8. Paolicelli, R. C. et al. Science 333, 1456-1458 (2011).
- 9. Stevens, B. et al. Cell **131**, 1164–1178 (2007).
- 10. Datwani, A. et al. Neuron **64**, 463-470 (2009).

創薬

体内時計に効く薬

Time in a bottle

JOSEPH BASS 2012年5月3日号 Vol. 485 (45-46)

体内時計という仕組みは、動物の行動や生理を、地球自転の 24 時間周期に同期させている。 この時計のいわば歯車を標的とした薬剤が、肥満などの代謝障害に有望であることがわかった。

多くの国では、春が近づくと時計の針 を1時間進めて夏時間に変える。翌朝 は、いつもより早く起きなければならな い。しかし、体内時計はまだ1時間先 に進んでいないため、強い眠気に襲われ る。このような睡眠パターンの小さな乱 れは、実は、疲労やある種の心疾患を起 こりやすくする¹。概日(昼-夜)リズ ムを刻む体内時計は、睡眠パターンのみ ならず、日の出や日没などの周期的な環 境変化に対応する多くの生物過程につい ても制御している。それゆえ、体内時計 の突然の変化は、体全体に悪い影響を与 えてしまうわけだ。Nature 2012 年 5 月 3 日号で、Solt たち² (62 ページ) と Cho たち³ (123 ページ) は、マウスの 実験で、概日時計が代謝を調節する分子 機構を明らかにするとともに、この時計 の構成要素を標的とする薬剤が、肥満や 糖尿病のような疾患の治療に使用できる 可能性を提示した。

1990年代後半、培養繊維芽細胞を使って生体リズムに関する知見が得られ 4 、細胞生理における概日時計の広範囲にわたる役割が、明らかになった。そして、マウス組織における遺伝子発現の少なくとも 10%に、概日振動が観察された 5 (概日振動とは、生体内の分子ネットワークに見られる日周リズム)。分子レベルでみたときの概日時計は、共にタンパク質である活性化因子と抑制因子が、相互に影響し合う形のフィードバック・ループである。具体的には、活性化因子は抑制

因子の発現を誘導し、その抑制因子は活性化因子の発現を抑制する。そして、このフィードバック・ループが、24 時間単位で周期的に繰り返されている。

核内受容体ファミリータンパク質に属する REV-ERB- α は、概日時計の抑制 因子の 1 つであり 6 、活性化因子の遺伝子発現の調節に加え 7 、肝臓での脂質や胆汁酸の産生調節 $^{8.9}$ 、脂肪細胞の形成調節 10 を行う。ほとんどの核内受容体は、特異的なステロイドホルモンが結合することによって誘導・活性化されるが、REV-ERB- α の場合、ヘム(酸素結合分子)が結合する 11,12 。そして、REV-ERB- α はヘム合成を調節している 13 。これらの知見から、REV-ERB- α と結合してその機能を調節するような合成化合物への関心が、高まっているわけだ。

ところが、REV-ERB- α を欠損したマウスでは、概日行動リズムに目立った異常は認められず 7 、それもあって、REV-ERB- α が概日時計に対してどのような役割を担っているのかは、謎のままであった。しかし、培養細胞の研究 14 によると、非常に近縁なタンパク質にREV-ERB- β という分子があって、これがREV-ERB- α 欠損の埋め合わせをするらしく、このことがREV-ERB- α 欠損マウスで比較的小さな異常しか認められない理由と思われる。

そこで Cho たち 3 は、これら2つの REV-ERB タンパク質が概日リズムに与える機能を理解するために、この2つ

の抑制因子がマウス肝臓で支配下に置いているゲノム領域を同定した。その結果、概日時計のコア要素であるタンパク質だけでなく、さまざまな代謝経路に関与するタンパク質についても、それらの遺伝子の調節領域に両方のタンパク質が結合することが明らかになった。つまりREV-ERBは、概日時計そのものを超えた場面においても、概日振動を制御していると思われる。ただし、それが、脳などの他の臓器まで及んでいるのかどうかはまだわからず、さらなる研究が必要だ。

それはともかく、REV-ERB- α 欠損マウスは、死亡率が上昇することが示されていた 7 。そこで、REV-ERB- α 、 β 両方の欠損マウスを得るために、Cho たちは、Cre/lox 組み換えとして知られる遺伝子工学技術を用いて、成体期に両方の遺伝子の欠失を同時に誘導できるマウス系統を作製した。なお、マウスの概日リズム機能不全を調べるために、回転輪での走行リズムをモニターした。その結果、二重変異マウスの走行リズムは、対照マウスと著しく異なり、走行周期がきわめて短くなっていた。さらに二重変異マウスは、光に対する応答も変化していた。

さらに Cho のチームは、二重変異マウスとその対照である同腹仔マウスにおいて、いくつかの代謝パラメーターを比較した。すると、変異マウスでは、脂質であるトリグリセリドやグルコースの血中濃度が上昇しており、その一方で、遊離脂肪酸レベルや呼吸交換比(呼気二酸

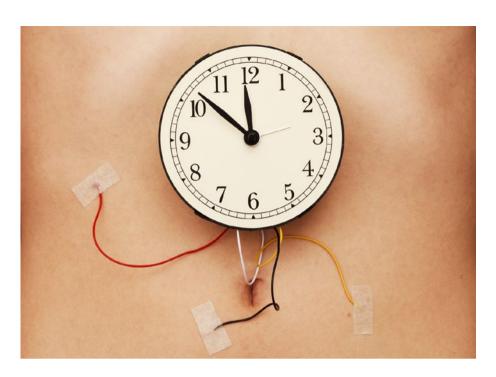
化炭素と吸入酸素の相対比) は低下していた。このような代謝の変化は、変異マウスにおいて脂肪組織からのエネルギー産生が増加している事実と一致する。

Cho たちの研究³からは、REV-ERBが概日時計の主要な構成要素であることを示す別の証拠も得られており、REV-ERBが肝臓の代謝制御に関与していることも実証されている。REV-ERBの機能についてさらなる知見を得るためには、この変異マウスにおける酸化的代謝(細胞が有機化合物の酸化によってエネルギーを得る過程)や運動耐性について、解析を進める必要があるだろう。例えば、高脂肪食摂取期間などの動的条件下で、経時的に代謝指標をモニターすることなどである。

もう一方の Solt たちの研究チーム 2 は、培養ヒト細胞を用いて、核内ホルモン受容体ファミリー全体に対してハイスループット・スクリーニングを実施し、REV-ERB- α および REV-ERB- β を選択的に活性化する一群の関連分子を同定した。このうち、マウスでの研究に適した 2 つの化合物について、さらに研究を進めた。

Soltたちの研究チームは、培養細胞 において、これらの化合物が概日振動を 示す時計遺伝子発現の「振幅」を減少さ せることを見つけた。これらの化合物を マウスに投与すると、時計遺伝子の発現 も抑制された。実際、化合物を投与され たマウスは、恒暗条件下では回転輪での 走行リズムが変化したが、標準的な明暗 条件下(12時間明期、12時間暗期)で は変化しなかった。明暗条件下でマウス の行動に与える化合物活性が低下した 原因については、さらなる検討が必要で あるが、時計機構を同避する光への直接 応答(「マスキング」として知られる効 果)を反映している可能性がある。Solt たちのチームは、培養細胞でも実験を行 い、マウスでのこれらの化合物の効果が 他のタンパク質の調節ではなく、REV-ERB の活性化によるものであることを 裏付けている。

Solt たちの研究チームは、これらの化



合物が概日時計に影響を及ぼすだけでなく、肥満や高脂肪食摂取に伴うある種の代謝障害を抑制したと報告している。これらの化合物を投与したマウスは、通常は眠っている明期の食物摂取が減少するともに、食餌性肥満への抵抗性や酸素消費の増加が見られた。さらに、このでは、肝臓、脂肪、筋肉での遺伝子発現プロファイルが変化していた。特に、代謝や脂肪酸の輸送に関与する酵素の発現が変化しており、酸化的代謝の上昇と脂質貯蔵の低下を示していた。また、ホルモンであるレプチンを欠損している遺伝学的肥満マウスの場合、代謝の変化も改善した。

このように、Cho たち³と Solt たち²が報告した結果から、概日時計と代謝が密接に関係しており、両者をつなぐ因子として、REV-ERB が特別な役割を果たしていることが再確認された。また、これらの論文を見れば、核内受容体であるREV-ERB は、これまで考えられていた以上に、多くの時計構成要素の発現を抑制している可能性がある。

さらに、これらの研究から、代謝障 害の治療を目的とした「時計に効く薬」、 つまり体内時計を操作する薬剤を開発 できる可能性がみえてくる。ただし、卵が先か鶏が先かという疑問は残る。なぜなら、REV-ERBの活性を標的とする化合物はすべて、代謝パラメーターに影響を与える可能性があるからだ。1つは、代謝標的の発現を調節して直接的に関与すること、もう1つは、概日時計に与える効果を介して間接的に関与することである。そのうえ、REV-ERBタンパク質の産生は周期的に振動するため、どんな薬剤の作用であっても、REV-ERBの発現による制限を免れることはできないであろう。

(翻訳:三谷祐貴子)

Joseph Bass はノースウェスタン大学ファイン バーグ医学系大学院(米国シカゴ)。

- 1. Janszky, I. et al. Sleep Med. 13, 237-242 (2012).
- 2. Solt, L. A. et al. Nature **485**, 62–68 (2012).
- 3. Cho, H. et al. Nature **485**, 123–127 (2012).
- Balsalobre, A., Damiola, F. & Schibler, U. Cell 93, 929-937 (1998).
- 5. Hughes, M. E. et al. PLoS Genet. 5, e1000442 (2009).
- Lazar, M. A., Hodin, R. A., Darling, D. S. & Chin, W. W. Mol. Cell. Biol. 9, 1128–1136 (1989).
- 7. Preitner, N. et al. Cell 110, 251-260 (2002).
- 8. Raspé, E. et al. J. Lipid Res. 43, 2172–2179 (2002).
- 9. Le Martelot, G. et al. PLoS Biol. 7, e1000181 (2009)
- Wang, J. & Lazar, M. A. Mol. Cell. Biol. 28, 2213–2220 (2008).
 Raghuram, S. et al. Nature Struct. Mol. Biol. 14, 1207–1213 (2007).
- 12. Yin, L. et al. Science **318**, 1786-1789 (2007).
- 13. Wu, N. et al. Genes Dev. 23, 2201-2209 (2009).
- 14. Liu, A. C. et al. PLoS Genet. **4**, e1000023 (2008).

宇宙物理学

太陽の 100 万倍のスーパーフレア

Startling superflares

BRADLEY E. SCHAEFER 2012年5月24日号 Vol. 485 (456-457)

太陽で見られた過去最大のフレア(太陽大気で起こる爆発現象)の実に 100 万倍以上ものエネルギーを持つフレアが、太陽とよく似た星で起こっている。この「スーパーフレア」現象について、今回、宇宙望遠鏡ケプラーの観測データが詳しく調べられ、その生成機構に関するこれまでの仮説に、疑問を投げかける結果が得られた。

スーパーフレアは太陽に似た星で見ら れる増光現象で、そのエネルギーは 1033から1039エルグ以上に達し、数分 から数日続く。太陽でもフレアは頻繁に 起こっていて、黒点(太陽表面の平均よ りも温度の低い領域) 上の磁場によって 起きる。しかし、太陽で観測されたこれ までで最大のフレア (1859年に英国の 天文学者リチャード・キャリントンが観 測したイベント)の総エネルギーは、約 10^{32} エルグにすぎない¹。太陽に似た星 はきわめて安定した天体であり、そこで 太陽のケースの 1000 万倍、10³⁹ エル グものエネルギーを持ったスーパーフ レアが起こるとは、まさに驚くべきこ と、エキサイティングなことだ。京都大 学大学院理学研究科附属天文台花山天 文台(京都市)の前原裕之・教務補佐員 らは、宇宙望遠鏡ケプラーの観測結果か ら365例のスーパーフレアを見いだし、 *Nature* 2012 年 5 月 24 日号 478 ページ で報告した2。

スーパーフレアの文献報告は、過去 120 年で約 50 件ある $^{3-5}$ 。しかし、これ 5 のイベントは常に特異な例外として 無視されてきた。1989 年になって、よ 5 やくこれらの報告が集約され、このイベントは「あらゆるタイプの通常の星で みられる同種の現象を表している」と見 なされるようになった $^{3-5}$ 。そして、太 陽表面で起こる通常のフレアと区別す

るため、スーパーフレアという名前が付けられた 5 。

スーパーフレアを起こす星は、伴星を 伴わない中高年の星たちで、自転速度 が遅く、中心核での水素の核融合によっ てエネルギーを得ている。そうした星 は、専門的にはスペクトル型が F8 型か ら G8 型までの主系列星といい、私たち の太陽に非常によく似た「ソーラーツイ ン」と呼ばれる星たちも含まれている。 スーパーフレアが太陽のフレアに似て いることは、スーパーフレアが磁気的効 果が原因で起こることを示唆している。 スーパーフレアの現在の標準的なモデ ルは、星とその周囲を回る「ホットジュ ピター」をつなぐ磁場が原因だとしてい る ⁶⁻⁹。ホットジュピターは、木星に匹 敵するかそれ以上の質量を持ち、親星と の距離が太陽・木星間よりもはるかに近 い惑星だ (図1)。

宇宙望遠鏡ケプラーが打ち上げられるまで、スーパーフレアの観測データは、質がばらばらだった。X線観測衛星のデータもあれば、分光観測、多色測光、目視観測データさえあった。そうした雑多なデータの集まりだったために、スーパーフレアの発生率を計算することや、観測された特徴の相関を調べること、統計的分析を行うことは不可能だった。最も明るいイベントの場合、再び起こるまでの期間の尺度は、平均して10年より

ずっと長い。そのため、スーパーフレア 観測の現実的な計画を立てるのは困難 で、この分野の研究は行き詰まっていた。

前原らは今回、ケプラーの観測データを分析することによってこの行き詰まりを打開した 2 。ケプラーのデータは、 10 万個以上の星の明るさを、 10 万分の 1 の精度で数年間連続して測定したものである。前原らは、約8万3000個のG型主系列星を調べ、 148 個の星の 365 例のスーパーフレアの光度曲線(ある天体の明るさの時間的変化を示すグラフ)を得た。こうして、以前にはなかった豊富なデータが得られ、統計的分析も可能になり、どの星を観測すべきかが正確にわかったのだ。

ケプラーで見つかったスーパーフレアは、持続時間は 1 時間から 12 時間、明るさの増加は 0.1%から 30%、総エネルギーは 10^{33} エルグから 10^{36} エルグだった。ある典型的な星は、100 日ごとに 10^{35} エルグのフレアを起こしていた。興味深いことに、前原らは、観測されたスーパーフレアはすべて、表面に大きな黒点を持つ恒星で起こっていることを見いだした。黒点があることは、その星の明るさが準周期的に変化することからわかる。この発見は、スーパーフレアが星の黒点に、ひいては磁場に関係していることを強く示唆している。もう 1 つの発見は、スーパーフレアを起こす星では惑見がある。スーパーフレアを起こす星では惑

星の前面通過がないらしいことだ。もしもすべてのスーパーフレアがホットジュピターと関係しているなら、約10%で惑星の前面通過が見られるはずなのに、である。したがって、スーパーフレアが起きるメカニズムは、まだはっきりしないままだ。

前原らの研究結果を得て、理論家たち が調べるテーマは山積み状態だ。一方、 観測家にとっても、新たな研究テーマが たくさんあると私は考えている。スーパー フレアを起こす星の視線速度を測定すれ ば、木星に似た惑星があることがわかる かもしれない。スーパーフレアを起こす 星のうち、最も明るいものは、その星の 磁場を決定できるほど明るい。9日ごと にスーパーフレアが起こっている最も活 発な星の高分解能スペクトルを測定すれ ば、ケプラーによるスーパーフレアの観 測と同時に、カルシウムのスペクトル線 (H線と K線) の形状変化を検出できる かもしれない。スペクトル線の形の変化 から、スーパーフレアの速度、温度、エ ネルギーに関する情報が得られるだろう。

フレアは星の明るさの変化のある特定の段階で起こるのか、引き続いて起こるフレアのエネルギーと時間間隔は相関するのか、といった問題も、ケプラーのデータをさらに詳細に分析して調べることができるだろう。前原らの研究は、すべてのタイプの星にも広げることができる。データからフレアを探す仕事は、「ズーニバース」プロジェクト¹⁰(一般市民を対象にした科学研究参加プロジェクト)の一部である惑星ハンター計画のように、市民向けプロジェクトにうってつけだ。

一方で、私たちの太陽はスーパーフレアを起こしていない。歴史的な記録と地球物理学的な記録から、太陽は過去 2000 年間にスーパーフレアを起こさなかったこと、約 10^{36} エルグよりも大きなスーパーフレアはおそらくこの 10 億年間なかったらしいことがわかっている 5 。前原らは、太陽に似た星でスーパーフレアが起こっているのは 0.2%だけな

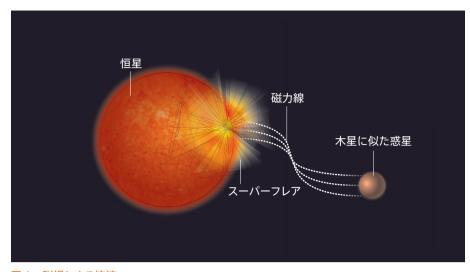


図1 磁場による接続

前原らが見つけたスーパーフレアを説明する 1 つの仮説は、強い磁場が原因というものだ 2 。磁場は、星とその星に非常に近い軌道にある木星に似た惑星をつないでいる。磁力線は惑星の軌道運動によってねじられ、強められる 6 。やがて磁力線は引き延ばされ、ねじられてちぎれるだろう。ちぎれた磁力線は粒子を非常に高いエネルギーに加速し、通常の太陽フレアに似た爆発的なイベントを起こしてエネルギーを放出するだろう。

ので、太陽でスーパーフレアが起こる可能性は低いことを示した。スーパーフレアの平均的な発生率(10^{35} エルグのフレアが100 日に 1 度)と、観測で得られたフレアの大きさの分布(べき乗則指数が約-2.0)を考慮すると、スーパーフレアが起こる星では 10^{32} エルグ規模のフレアはきわめて頻繁に起こっては 10^{32} エルグ規模のフレアが起きる頻度は約450年に 1 度で $^{1.11}$ 、太陽はスーパーフレアを起こす星とは全く異なっている。このことは標準的モデルでも容易に理解できる。太陽系にはホットジュピターはないからだ。

スーパーフレアは恒星物理学にとって解明すべき重要な現象だが、それにとどまらない意味を持っている。スーパーフレアのエネルギーが、もしもホットジュピターが軌道を回る運動エネルギーに由来しているなら、1年に3回のスーパーフレアが起これば、ホットジュピターは10億年のタイムスケールで親星に向かってらせん状に落下していくことになる。また、スーパーフレアが放つエネルギーは莫大なので、その星の周

囲のすべての惑星は、遠い未来に人間が移り住むには適さないだろう。一方で、もしそこに生命がいるならば、宇宙生物学者はスーパーフレアの及ぼす影響を考慮しなければならないだろう。スーパーフレアは有機分子を作るのに必要な高エネルギー放射として作用する可能性がある。だから、スーパーフレアがある恒星系には、巨大フレアの影響を避けるように進化した宇宙生命が存在するかもしれないのだ。

(翻訳:新庄直樹)

Bradley E. Schaefer は、米国ルイジアナ州 バトンルージュのルイジアナ州立大学物理・天 文学科に所属。

- Tsurutani, B. T., Gonzalez, W. D., Lakhina, G. S. & Alex, S. J. Geophys. Res. 108, 1268 (2003).
- 2. Maehara, H. et al. Nature 485, 478-481 (2012).
- 3. Schaefer, B. E. Astrophys. J. **337,** 927–933 (1989).
- 4. Schaefer, B. E. Astrophys. J. 366, L39-L42 (1991).
- Schaefer, B. E., King, J. R. & Deliyannis, C. P. Astrophys. J. 529, 1026–1030 (2000).
- Rubenstein, E. P. & Schaefer, B. E. Astrophys. J. 529, 1031– 1033 (2000).
- Cuntz, M., Saar, S. H. & Musielak, Z. E. Astrophys. J. 533, L151–L154 (2000).
- 8. lp, W.-H., Kopp, A. & Hu, J.-H. *Astrophys. J.* **602,** L53–L56 (2004).
- 9. Lanza, A. F. Astron. Astrophys. 487, 1163-1170 (2008).
- 10. www.zooniverse.org
- 11. Shea, M. A., Smart, D. F., McCracken, K. G., Dreschhoff, G. A. M. & Spence, H. E. *Adv. Space Res.* **38**, 232–238 (2006).

名誉毀損の訴えから率直・誠実な意見表明を守る

Honest opinions

2012年5月17日号 Vol. 485 (280)

英国議会で審議される名誉毀損法改革案は、科学者による抗議活動が実を結んだすばらしい成果だ。 名誉毀損を盾にして誠実な意見を封殺する行為は、絶対に許されない。

Nature は、2011年3月24日号の社説で、英国在住の読者に対して、イングランドとウェールズの名誉毀損法改革案への支持を訴える嘆願書を、英国の国会議員宛てに送るよう呼びかけた。それが実り、ついに、2012年5月9日の女王演説の中に、名誉毀損法に関して、必要性が高く、理にかなった改正点をほぼ網羅した法案が入った(女王演説には、英国議会がこの1年間に取り組まなければならない課題が列挙される)。

この大きな成果に対して、英国在住の Nature 読者は称賛されてよい。名誉 毀損法改革案は党派を超えて幅広い支持を得ており、今後、事態が順調に推移すれば、早ければ今秋に採決される見込みだ。なお今回の改革案は、英国在住の Nature 読者だけでなく、人権団体のアムネスティ・インターナショナルやグローバル・ウィットネス、またインターネットコミュニティーの Mumsnet など、多数の人々と組織による見事で確固とした運動があったからこそ達成されたといえる。

ロンドンに本拠を置く慈善団体 Sense about Science など、いくつかの科学団体もこの運動に協力した。名誉毀損法の改革が必要であることを示すため、さまざまな実例が出されたが、その多くは、率直・誠実な学術的批評として見解を表明したのに、名誉毀損訴訟に巻き込まれそうになってしまった科学者のケースだった。Nature は、このキャンペーン

を正式に支援した。なお、2012年5月 17日号の校了時点で、エジプト人研究 者 Mohamed El Naschie の本誌に対す る名誉毀損訴訟の判決は下っていない。

改革法案は、研究者や科学団体が抱いている懸念に、正面から取り組んでいる。第一に、査読付き学術雑誌に掲載された意見表明文書に対して、学術雑誌の編集者と1人以上の独立した立場の専門家による審査を経ていることを条件として、「制限的免責特権」の抗弁が認められる(抗弁とは、民事訴訟で原告請求の棄却につながる別の主張をすること)。この法的保護は、当初の出版物にとどまらず、公正で正確な原著の写しや抜粋を出版する者にも及ぶ。

第二に、「公正な論評」の抗弁が認められる。これも、名誉毀損の申し立てに対する既存の抗弁の1つで、公の利益にかかわる事柄についての公正な論評であるかぎり、名誉毀損に問われない。今回の改革法案では、この抗弁の適用範囲が科学活動の諸側面にまで拡大される。新法案では、公の利益にかかわると判断される記者会見や学会において、きわめて重要な意見表明を含む報告を保護するうえで、この抗弁が役立つことになる。この「率直で誠実な意見表明の保護」という仕組みは、学術会議議事録の詳細を出版する者にも適用される。

新法案には、このほかにもいろいろ な改革が定められている。その1つは、 責任あるジャーナリズムに基づく抗弁 (専門家の間では「レイノルズ・ディフェンス」として知られている)の正式化だ。これは、記者や出版社が、例えば、事実関係の確認を行って、相手方に正当な弁明権を与えたことを立証できれば、名誉毀損の申し立てに対する抗弁になるというもので、そうなると、今度は訴訟の原告側が、名誉が大きく傷ついたことを立証する責任を負うことになるのだ。

ただし、実際の法廷では、ほとんどの場合、原告側ではなく、被告側が、名誉毀損訴訟における立証責任を負うという状況は、依然として変わらないだろう。被告は、名誉毀損に当たると主張されている意見表明について、どうしてもその真実性を立証しなければならず、たとえ強力な武器を数多く持っていたとしても、厳しい戦いとなる可能性は高い。

それでも、世界の科学者は、英国において名誉毀損法が改正されることになったことを、祝福すべきであろう。科学的な事柄に関するジャーナリズムは、あまりにも長い間、脅威にさらされ、抑圧されてきたからだ。Natureの2011年3月24日号に掲載された社説には、こう記されている。「Natureでは、その法的リスクゆえに、核心的使命の達成を妨げられることが、あまりにも多かった」。改革はまだ正式には実現していないが、その見通しについて、楽観視してかまわないと思う。

(翻訳:菊川要)

反 GM 運動の一部は、地球規模の野蛮な行為

Misplaced protest

2012年5月10日号 Vol. 485 (147-148)

英国 Rothamsted 社における遺伝子組み換えコムギの試験圃場を、環境保護団体が破壊するという声明を出した。 科学的に未解明な問題と向き合わず、すでに結論ありきの破壊行為は、恥ずべき蛮行でしかない。

Rothamsted Research 社は、英国ハートフォードシャー州に事務棟と試験圃場を構え、世界で最も長い歴史の農業研究所を誇っている。ここで、アブラムシの警報フェロモンを発する遺伝子組み換えコムギ(GM コムギ)について、実際にアブラムシがたかるのが減るかどうかなど、その有用性を調べる実験準備が進められてきた。

しかし、ここの科学者は、GMコムギの成長を心待ちにするどころではなくなった。GM作物に抗議する環境保護団体が、5月27日に試験区を破壊すると予告してきたからだ。その組織は「小麦粉を取り戻せ(Take the Flour Back)」というすごい名前を付けており、一般市民の共感を得ていると思い込んでいるのは間違いない。GM作物の評判は、英国とヨーロッパ大陸のかなりの地域で、1990年代後半に痛手を受けてから回復していない。ドイツでは抗議団体による GM作物の破壊が日常的に起こっており、実験する科学者はいなくなってしまった。

Rothamsted 社の科学者は、実験の内容と実施理由を説明するメディアキャンペーンを実施し、一般市民の支持を得ようとしてきた。抗議団体が研究施設の「除染」計画を発表した後は、反対派との話し合いも試みてきた。その中で、何年にもわたる研究成果が永遠に失われるという、まさに取り返しのつかない事態となる前に、除染方針を再考するよう要請した。特に、この研究が環境保護をめざし

たものであること、GM 作物が順調に成 長すれば、環境を破壊する殺虫剤の使用 量が減ることを科学者は説明した。

抗議活動は、目に見える形で影響を与えている。2012年、ドイツの大手化学会社 BASF は、遺伝子導入植物事業の拠点を反対の多いヨーロッパから米国に移転させる方針を発表した。

全世界の農民が GM 作物を意欲的に 導入しているのに、ヨーロッパの農民だけが、例外はあるものの、導入のチャンスを逃している。北米では、除草剤耐性 セイヨウアブラナが導入されて、除草剤の使用量と耕耘の頻度が減少した。耕耘の減少で土砂流出が減るという副産物も 得られた。害虫に抵抗性を示す GM ワタの導入によっても、農薬の使用量は減っている。

しかし、ヨーロッパでは GM 作物は 敵視され続けている。それには明白な理 由があって、GM 主導型のビジネスモデ ルでは、食料全体が大手農薬会社の手に 委ねられてしまう危険性があることだ。 この点への不安はもっともである。とこ ろが、その不安感が、GM 技術が人間の 健康に影響を及ぼすことへの懸念と、巧 妙に結びつけられているのだ。健康への 影響という話は、一般市民には受け入れ られやすいが、実際には、現実味の乏し い主張でしかない。

世界人口は70億人に達し、なお増加 を続けている。抗議団体は地球環境を 守っていると主張するだろうが、いい加 減な根拠に基づいて作物の遺伝子組み換えを拒否することで、逆に環境が脅かされている。2100年には90億人を超える世界の人々に食料を供給するためには、今後、食料生産の方法を変える必要がある。昔の方法や有機農法では無理だし、遺伝子組み換えだけでも不十分だ。しかし、組み換え技術は非常に有効な手段となる可能性があり、感情やイデオロギーで反対するのは賢明ではない。

筋金入りの反対論者には、いくら論を 尽くしても、納得させるのは難しい。動 物実験の科学的価値を守るよういくら要 請しても、動物権利擁護運動の過激派の 信念は全く揺らがなかった。ただし、動 物権利擁護運動と同様、GM 抗議団体が いくら大量に Rothamsted 社に押しか けたとしても、一般市民の真の支持が得 られるかどうかは別の話だ。

GM 作物は、農薬、除草剤、肥料などの使用量を著しく減らし、気候条件が極端に変化してもそれに対する抵抗性を高める可能性を秘めている。この技術が初期段階にあるのは事実であり、この技術に対する懸念の一部、例えば GM 材料が栽培地の環境中に漏出するおそれなどについては、注意すべきである。しかし、Rothamsted 社の実験で未解決の課題が解明される前に、実験自体を破壊するという行為は、英国の片隅の蛮行では済まされない。これはまさに地球規模の無謀行為と言わざるを得ない。

(翻訳:菊川要)



Volume 486 Number 7401 2012 年 6 月 7 日号





特集:地球のための2度目のチャンス

SECOND CHANCE FOR THE PLANET: Can the Rio Earth summit reverse twenty years of failure?

地球に2度目のチャンスが到来した。20年ぶりに、再びリオデジャネイロで地球サミットが開催されるのだ。1992年にリオで開催された地球サミットでは、世界の指導者たちが地球の気候と生物多様性を守ることを宣言した。しかし現在、状況はさらに悪化している。今週号ではサミットを前に、どこで失敗したのか、そして今後どうすれば事態を是正できるのか、特集を組んでいる。一連の Review や論文では、生態系に対し、生物多様性の減少がどういった影響を及ぼしているのかということや、先進国世界の消費パターンがどれほど負荷をかけているのかが検証されている。

告した。発達期にギャップ結合を遮断すると、姉妹細胞間に最終的に生じるシナプス結合が形成されなくなり、同期的発火が起こらなくなったのだ。一方、Y. Dan たちは、マウス視覚皮質でが起こりでであり、ででした。出生直後にギャップ結合によるにした。出生直後にギャップ結合によるには、姉妹ニューロン間の特能構造が発達するには、この結果は、個体発生の際に近縁のニューロン群から機能構造が発達するには、電気的共役によるニューロン間コミュニケーションが必要なことを示唆している。

胞間に化学シナプスが作られることを報

環境:国際貿易が内包する生物多様性 というコスト

The biodiversity cost of international trade

今回、国際自然保護連合(IUCN)のレッ ドリストにある絶滅危惧種の記録と、生 物種への脅威を作り出している世界の 産業(農作物や木材などの商品の生産 など)とを結びつける地球規模モデルが 開発された。このモデルから、先進国 の消費者が、遠くはなれた開発途上国 の生物種に対してどれほど影響を与えて いるかが明らかになった。「生物多様性 への負荷」という観点から評価した結 果、絶滅が危惧される世界の生物種の 3分の1近くは、国際貿易によって脅威 にさらされていたことがわかったのだ。 また、生物多様性に最も破壊的な影響 を与えている産業として、コーヒー、ゴ ム、ココア、ヤシ油、水産および林業が 挙げられ、こうした商品の主な最終目的 地は、米国、欧州連合、および日本で あることが浮き彫りになった。

宇宙:紫外線によって浮かび上がった火星 メタンの新たな起源

New ultraviolet light on Martian methane

火星上でメタンが観測されたことが報告されてから、報告の信頼性とメタンの 起源について論争が続いている。この メタンの起源としては、生物学的なもの と地質学的なものが提案されているが、今回、隕石由来の有機物の光化学分解によってもメタンが生成されることがわかり、隕石も供給源になりうることが示された。マーチソン隕石の標本を火星上で予想されるのと似た条件下で紫外線照射したところ、メタンガスが放出されたのだ。このメタンガスの水素同位体の組成は「地球外」起源を示したが、炭素同位体の組成は地球の微生物起源のものと同じであった。この結果は、地球外生命であることを同定するのに、炭素同位体のデータが有効な手段とはならないことを示唆している。

脳:発達中の新皮質の姉妹ニューロン

Sister neurons in the developing neocortex

脳の発達過程では、クローン関係にあるニューロンは同一の放射グリア繊維に沿って移動し、機能的に類似した細胞集団を形成すると考えられてきた。この仮説が実験によって示されたことはこれまでなかったが、今回、2つのグロープがこれを実証した。発達しつつではルーる大脳皮質では姉妹ニューロン間にであることが示されたの共役が見られ、この共役がそのでも、と、Shi たちは、生後間もいマウスの新皮質組織で、姉妹ニューロン間の長距離にわたる結合が電気的共役を介して維持され、その後こうした細

構造生物学:ナトリウムチャネルの高 分解能構造

High-resolution sodium channel structures

電位依存性ナトリウム(Nav)チャネルは、 神経細胞や筋細胞、心臓での活動電位 の開始や伝搬において重要な働きをし ていることが知られている。しかし、チャ ネルの構造情報に関する報告は、カリウ ムチャネルのものに比べるとずっと少な い。今回、細菌の Nav チャネルについ て2つの研究グループが解析し、X線 結晶構造を報告した。双方から得られ たコンホメーションはどちらも「不活性 化」状態に当たると考えられる。細菌 の Nav チャネルは、構造・機能解析の よいモデル系となったわけだ。N. Yan たちは、アルファプロテオバクテリア HIMB114 として知られる海洋細菌由来の Na_vRh について 3.05 Å 分解能での結 晶構造を決定した。また W. Catterall た ちは、Arcobacter butzleri 由来の Na_vAb チャネルについて、2種類の不活性化 状態の結晶構造を 3.2 Å 分解能でとら えた可能性がある。今回の結果と、以 前に報告された「開口前」の状態にあ る NavAb のデータの比較によって、チャ ネルの電気機械的共役機構の基盤とな りうる大がかりなコンホメーション再編 成が明らかになった。この結果は、チャ ネル病だけでなく、神経刺激薬の設計 にも大いに役立つと考えられる。



Volume 486 Number 7402 2012 年 6 月 14 日号

旅の道連れ: HMP の最初の成果は、ヒトに棲み着いている微生物叢は健康な場合でも個々人で異なることを示した

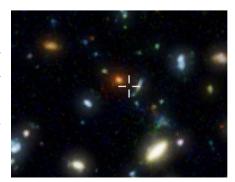
FELLOW TRAVELLERS: First results from the Human Microbiome Project highlight the healthy variation in our microbial selves

ヒトマイクロバイオームプロジェクト(HMP)の1つの目的は、体に棲み着いて作用している微生物群集について、病気の状態と健康な状態における特徴や違いを明らかにすることだ。今週号には、HMPコンソーシアムによる2つの論文が掲載された。これは個体群レベルとしては初めての詳細なデータであり、歯垢や鼻腔など5つの主領域にわたって、微生物叢の構成および機能的構成が明らかにされている。他誌に同時掲載された一連の論文と合わせると、現時点で、ヒトマイクロバイオームに関係する微生物と遺伝子を最も広くカバーしたカタログになる。News & Views では、この最初の成果を解説するとともに、HMPが今後取り組むことになる課題についても議論している。

宇宙:まだ謎が残るスターバースト天体 HDF 850.1

Starburst object HDF 850.1 retains some mystery

遠方宇宙をとらえたハッブル深宇宙画像の中で、HDF 850.1 は最も明るいサブミリ波電波源として知られている。精力的な探査が進められてきたが、可視光や近赤外波長域の放射は検出されず、この天体はなお謎が多い。なは長域で対応する天体が見つからなりを直接ができなかったのだ。しり測分子輝線のスキャン観測により、HDF 850.1 の赤方偏移が $z \approx 5.2$ であることがわかった。この値は予想しより、HDF 850.1 の赤方偏移が $z \approx 5.2$ であることがわかった。この値は予想 11 億年という宇宙年齢に相当する。新しい



データをもとに計算すると、星形成率は 1 年当たり太陽質量の 850 倍という高い値となり、天体の質量は太陽の 1.3×10^{11} 倍となった。それでもなお、光を放つ対応天体が存在する形跡は得られていない。

環境:樹木の年輪がとらえた8世紀の 宇宙事象

Tree rings capture eighth-century cosmic event

樹木の年輪の中の炭素 14 (¹⁴C) 濃度 は、宇宙線強度の指標として用いること ができる。¹⁴Cは、大気窒素と宇宙線中 性子の相互作用によって生じるからであ る。今回、三宅美沙(名古屋大学)た ちが、日本の杉の木2本について年輪 の高分解能分析を行ったところ、西暦 774 ~ 775 年に ¹⁴C 含有量が約 1.2% 増加したことが明らかになった。これは、 太陽活動の通常の変動で起こりうる変 化の約 20 倍に当たり、西暦 775 年前 後に宇宙環境できわめて高エネルギー の事象が起こったことが推論される。し かし、現時点では、超新星爆発、大規 模太陽フレアのいずれについても裏付 けとなる証拠は得られておらず、¹⁴C 増 加の原因は不明である。

植物:ようやく見つかったサリチル酸 受容体

Salicylic acid's elusive receptors

サリチル酸は、主要な植物ホルモンの 中で唯一、受容体が確定されていな い。植物において、サリチル酸は病原 体の攻撃に反応して作られ、二次感染 に対する全身的な獲得抵抗性を誘導す る。この過程には転写補助因子 NPR1 が必要であるため、NPR1 がサリチル 酸受容体である可能性が考えられてい た。しかし、NPR1は、単独ではサリチ ル酸に結合しない。今回 X. Dong たち は、NPR1のパラログである NPR3と NPR4 が、異なった結合親和性を持つ サリチル酸受容体であることを突き止め た。彼らは、サリチル酸の濃度の違い に応じて、NPR3と NPR4が NPR1を 調節するモデルを提案している。

脳:大脳基底核による遠隔学習

Remote learning by basal ganglia

ヒトが言語を習得したり鳴禽が複雑な さえずりパターンを習得したり改変した りする場合、試行錯誤に基づくスキル 学習が行われる。その際、大脳基底核 回路が重要な役割を果たすことが知ら れているが、解明は依然進んでいない。 これまでの研究では、基底核回路の1 つである前脳前部経路(AFP)が鳴禽 のさえずり学習に寄与していることがわ かっている。今回 J. D. Charlesworth たちは、この回路の出力を一時的に遮 断すると、訓練中のさえずりの行動的 改善が妨げられることを見いだした。し かし意外なことに、十分な訓練を施し た後に AFP 出力の遮断を解除すると、 その直後に、完全に習熟した状態のさ えずりが発せられた。つまり、鳥のさえ ずりが未習熟状態から習熟状態へと急 速に移行したのだ。この結果から、運 動性基底核回路は、さえずりの実践や 訓練に直接寄与できない状況下にあっ てもほかの脳領域によって作られている 運動指令を監視しており、直接制御す る脳領域に習熟行動を実行するように 仕向けていると考えられる。



Volume 486 Number 7403 2012年6月21日号





「緑のサハラ」での酪農を調べる:アフリカでの最初の乳 製品使用は紀元前5千年紀頃であることが、陶器に残っ た残渣の年代測定から明らかになった

MILKING THE GREEN SAHARA: Chemical residues in pottery data earliest use of dairy products in Africa to fifth millennium BC

表紙の岩絵は8000~5000年前のもので、家畜化さ れたウシが描かれている。こうした岩絵は、リビア西部・ サハラ砂漠のタドラット・アカクス山脈のあちこちに見ら れ、中には搾乳の風景が描かれたものもある。完新世 の「緑のサハラ」で暮らす古代人にとってウシが重要だっ たことが示唆されるが、通常、岩絵の年代測定は困難 であり、岩絵をもとに酪農が行われていた年代を特定 することは難しい。今回 J. Dunne たちは、ローマ大学 ラサピエンツァ校の考古学調査隊がリビア・サハラの Takarkori 岩石壕で発掘した陶器に吸着していた食物残 渣の同位体分析の結果を解析した。その結果、酪農が 紀元前5千年紀に行われていたことを示す明確な化学 的証拠が得られた。これは先史時代のアフリカでの酪農 の記録として最古である。古代サハラ人の生活にウシの 家畜化や酪農経済が存在していたことが裏付けられた。

物理: 二重魔法核を持つスズのベータ 崩壊

Double-magic tin passes beta test

多くの天体物理学的過程には放射性 ベータ崩壊が関係しており、その重要 な特徴の1つにガモフ・テラー (GT) 遷移がある。しかし通常、ベータ崩壊 の実験では全 GT 強度のごく一部しか観 測できないため、GT 強度の決定は難し い。そうした中、短寿命の「二重魔法 核」スズ同位体 100Sn は、陽子殻と中 性子殻の両方がいっぱいになっている ため比較的安定であり、容易に GT 遷 移を調べられる可能性が示唆されてい た。今回 C. Hinke たちは、259 個の ¹⁰⁰Sn 核を生成するという画期的な実験 を行い、その測定結果を報告した。こ の実験で観測されたエキゾチック原子 核の数は、これまでの10倍以上に当 たる。半減期は 1.16 ± 0.20 秒であり、 GT強度は、これまで測定された核ベー 夕崩壊において最大で、「超許容」遷移 であることが確かめられた。この研究に より、100Sn は原子核の殻構造計算の モデルとなることが立証されたわけだ。

医学: H5N1 ウイルスの伝播にかかわる因子 **Elements involved in H5N1 transmission**

H5N1 鳥インフルエンザウイルスがヒト の間で伝播する能力を獲得できるかど うかは、はっきりしていない。これまで の実験では、ウイルスのヘマグルチニン (HA: 宿主特異的細胞受容体に結合す る際に必要なタンパク質)が変化してヒ ト型受容体に結合できるようになるだけ では不十分であることがわかっている。 今回、今井正樹(ウィスコンシン大学マ ディソン校) たちは、パンデミックを起 こしたヒト H1N1 インフルエンザウイル ス由来のウイルスに、H5 亜型ウイルス 由来の HA を持つ「リアソータント」ウ イルスを作成し、わずか4か所のHA の変異がフェレット間での伝播を可能に することを明らかにした。H5N1 鳥イン フルエンザウイルスそのものが哺乳類 に伝播するには、さらにほかの鳥ウイル ス遺伝子の変化が必要と考えられるが、 ヒト H1N1 と H5N1 のウイルスは遺伝 的に互換性があり、ヒトには H5 ウイル スに対する免疫がないため、H5 亜型

ミックを引き起こす可能性がある。哺乳 類間での伝播に H5 HA のどのような変 異が関係するかがわかれば、パンデミッ クを引き起こしそうな H5N1 ウイルス の発見と監視に役立つだろう。

物性:鉄ニクタイドにおける多重転移

Multiple transitions in an iron-pnictide 電子ネマティック性は、電子集団が一方 向性を持った自己組織化を起こして、基 本格子の回転対称性を破ろうとする性質 である。この性質は、鉄二クタイド系と 銅酸化物系の高温超伝導体で観測され ているが、外部からの駆動力がない場合 に構造相転移温度 (Ts) より高い温度で 存在しうるかどうかはわかっていなかっ た。今回、笠原成 (京都大学) たちは、 鉄ニクタイド超伝導体 BaFe2(As1-xPx)2 の磁気トルク測定を行い、ネマティック 性が Tsよりかなり高い温度で現れるだ けでなく、磁気秩序を持たない超伝導領 域まで広がっていて、その結果、銅酸化 物超伝導体の擬ギャップ相図に似た相図 が得られることを明らかにした。さらに 彼らは、真の相転移であるネマティック 転移が起こる T*と、真の相転移ではな いが「メタネマティック」転移を示す $T_s(T^*)$ 未満)という2つの温度も特定した。

遺伝: DNA を脱メチル化から保護する

Protecting against DNA demethylation 初期の胚発生では、父親由来と母親由 来の両方のゲノムで DNA の 5-メチル 化シトシン(5mC)修飾の消失が必須 であり、その時間的推移は両者で異な る。雌性ゲノムについては、脱メチル 化からの保護に、雌性因子 PGC7 がか かわっていることが以前報告されてい たが、その機構はわかっていなかった。 今回、中村肇伸(大阪大学)たちは、 PGC7と雌性クロマチンとの結合が、雌 性クロマチン上のジメチル化修飾を受 けたヒストン H3 リシン 9 (H3K9me2) に依存していることを明らかにした。ま た、PGC7が結合することで、5mCと 酵素 Tet3 の結合が阻害され、5-ヒド ロキシメチル化シトシン(5hmC)へ変 換されるのを防ぐことが示された。

の HA を持つウイルスの出現はパンデ



Volume 486 Number 7404 2012 年 6 月 28 日号

熱を感じる:スーパートルネードがコロナの温度を上げる 仕組み

FEELING THE HEAT: How super-tornadoes up the temperature in the Sun's outer atmosphere

コロナの温度は太陽表面よりもずっと高く、100万ケル ビン以上に達するが、それだけのエネルギーがどのよ うに外層に運ばれて散逸されるのかはわかっていない。 最近、太陽表面上の小規模な構造を高分解能で画像化 できたことで、太陽彩層(コロナと光球の間に挟まれて いる大気層)中の旋回運動が明らかになった。今回、 NASA の太陽観測衛星によって、この彩層の旋回運動と 関連があると考えられる渦跡が観測された。この渦跡 の特徴から、遷移領域とコロナ下層中に高速回転してい る磁場構造の存在が示された。それはまさに巨大トル ネード(超巨大な竜巻)であり、対流層から太陽大気 上層まで達している。これが太陽大気の下部から上部ま でエネルギーを運ぶ経路となり、コロナが高温になる仕 組みがうまく説明できそうだ。表紙は、太陽表面とコロ ナを連結している旋回磁気トルネードをコンピューター シミュレーションによって可視化したもの。

細胞:カロリー制限と腸

Calorie restriction and the gut

適切な栄養摂取を維持しつつカロリー摂 取を減らすと、さまざまな生物で寿命が 延びる。その理由は、幹細胞や前駆細 胞の機能が保持され、新しい細胞が供 給され続けるためと考えられている。今 回、D. Sabatini たちのマウスでの実験 から、生物の栄養状態と幹細胞機能の 直接的な関連が示された。カロリー制限 すると、腸では、腸幹細胞(ISC)に近 接するパネート細胞 (ISC ニッチの重要 な構成員)の mTOR シグナル伝達を介 して、自己複製能が増強された ISC が増 加することが明らかになったのだ。カロ リー制限によって、パネート細胞は Bst1 遺伝子を発現し、サイクリック ADP リボー スを分泌する。これが ISC 周辺で局所的 に作用して、ISC を増加させる。この結 果は、mTORC1 を阻害する物質や Bst1 を模倣する物質によって、腸の再生や機 能改善ができる可能性を示唆している。

物理:原子核の安全地帯を越えて

Beyond the nuclear comfort zone 自然界に存在することが知られている

288 種類の安定同位体は、目に見える 物質の 99.9%以上の質量を構成してい る。しかし、この「安定性の谷」を越 えた所にも、核力によって束縛された 同位体は多数存在しており、現在までに 約 3000 種類の原子核が実験室で合成 されている。原子核中にはいったいいく つの陽子と中性子を束縛でき、また何 種類の核が実際に存在しうるのだろう か。今回、理論研究によって、原子核 の安定性を決める不確実性が調べられ、 原子番号 2~120の間で、束縛核種と 思われるものが約 7000 あることが見 いだされた。こうした元素の大部分に は出会わないだろうが、存在する可能 性のある核種の境界近くの短寿命核は、 恒星の形成過程などに重要である。

化学:炭素 – 水素結合を活性化する革新 的な方法

An innovative route to carbon-hydrogen bond activation

活性化されていない炭素 - 水素 (C-H) 単結合の官能基化は、単純な分子から 複雑な分子を効率よく迅速に合成する 方法の1つである。しかし、対象分子 が等価ではない C-H 結合を複数持つ場合、C-H 結合を選択的に活性化することは難しい。今回、容易に取り外せる「テンプレート」によって、テザー型アレーンの離れたメタ C-H 結合 (結合 10 個分以上離れている)の活性化が導かれることが報告された。この方法で作られた構造は、従来法ではきわめて合成しにくい斬新なもので、C-H 活性化反応の開発に新たな道が示された。

免疫:T細胞はレヴィウォークで移動する

T cells walk the Lévy walk

T細胞は、免疫系と侵入してきた病原体 との間の最初の接触点として重要であ る。T細胞が侵入者と遭遇する免疫反 応初期段階のモデルとして現在受け入 れられている説は、ブラウン運動に当た るランダムウォークモデルである。T. H. harris たちは今回、多光子顕微鏡を使っ た in vivo 画像化技術でT細胞を追跡 し、ケモカイン CXCL10 が CD8⁺ T 細 胞を増強して、病原体であるトキソプラ ズマ (Toxoplasma gondii) を制御するこ とを実証した。その際、トキソプラズマ に感染したマウスの脳のT細胞の動き は、ブラウン運動型ではなく、意外にも、 移動がしばしば停止して中断される「レ ヴィウォーク」の運動パターンであるこ とが明らかになった。数理シミュレーショ ンからは、この運動様式によって、存在 場所がわからない標的を見つける機会 が増えることが示唆された。

||||||||||| 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) 夏の夜空を南北に横たわる天の川。都会ではよく見えませんが、これが私たちの住む天の川銀河です。その真ん中は射手座にあり、8月初旬には午後9時~10時頃に南中する辺りです。この私たちの銀河と隣のアンドロメダ銀河が、40億年後に合体するようです。壮大な宇宙に比べれば、人間の一生なんてちっぽけなものかもしれませんね。

nature news

語数:574 words 分野:天文学・宇宙物理学

Published online 31 May 2012 | Nature | doi:10.1038/nature.2012.10765



私たちの天の川銀河。

Andromeda on collision course with the Milky Way

The two galaxies will meet head-on in 4 billion years, astronomers say.

Ron Cowen

- 1. It's a definite hit. The Andromeda galaxy will collide with the Milky Way about 4 billion years from now, astronomers announced today. Although the Sun and other stars will remain intact, the titanic tumult is likely to shove the Solar System to the outskirts of the merged galaxies.
- 2. Researchers came to that conclusion after using the Hubble Space Telescope between 2002 and 2010 to painstakingly track the motion of Andromeda as it inched along the sky. Andromeda, roughly 770,000 parsecs (2.5 million light years) away, is the nearest large spiral galaxy to the Milky Way.
- **3.** Roeland van der Marel and Sangmo Tony Sohn, astronomers at the Space Telescope Science Institute in Baltimore, Maryland, announced the findings today at a NASA press briefing in Washington DC. The results will be reported in an upcoming issue of *Astrophysical Journal*¹⁻³.
- **4.** "We've been able to extract dynamical information about Andromeda that has been hidden from astronomers for a century," says van der Marel.
- 5. For decades, scientists have known that Andromeda is falling towards our home Galaxy at a rate of 110 kilometres per second and that the two might eventually collide as a result of their mutual gravity. But because astronomers could easily measure Andromeda's velocity only along the line of sight to Earth, no one could be sure whether the future encounter would constitute a major merger, a near-miss or a glancing blow.
- **6.** Hubble's visual acuity in recording the transverse or sideways motion of 15,000 stars in different parts of Andromeda has now provided the missing components of the galaxy's motion. In determining that the overall sideways velocity of Andromeda is much smaller than its line-of-sight speed, van der Marel and his colleagues have shown that a merger of Andromeda and the Milky Way is inevitable. Four billion years from now, the two galaxies will pass through each other and, 2 billion years after

- that, they will fall back in a permanent embrace to form a single galaxy, the team's simulations show.
- **7.** The detection is "impressive", says Jeremy Darling, an astronomer at the University of Colorado in Boulder. "It is just at the limit of what can be done."
- **8.** The measurement is also key in understanding the evolution of a collection of nearby galaxies known as the Local Group, among which Andromeda and Milky Way are the most massive. Darling says that the new Hubble data allow simulations to "run time forward or backward" to learn about the future and the past of the Local Group.
- **9.** The team's simulations had to account for the Sun's motion as well as the gravity of a satellite galaxy of Andromeda called M33, which the researchers say has a 9% chance of plowing into the Milky Way before Andromeda does.
- **10.** The Milky Way-Andromeda collision will almost certainly move the Sun outwards from its current position 8,000 parsecs (26,000 light years) away from the Galactic centre. The simulations show a 10% chance that the Solar System will be exiled to a Galactic Siberia, more than 50,000 parsecs (160,000 light years) from the centre of the merged bodies.
- 11. Darling and his colleagues are now measuring Andromeda's sideways motion in another way, tracking the position of a collection of water masers that he discovered in the galaxy⁴. These objects are regions of radio-bright emission associated with star formation. In about two years, he says, he and his team expect to obtain an even more precise value than Hubble's for the sideways motion.

Reference

1. Sohn, S. T., Anderson, J. & van der Marel, R. P. Astrophys. J. (in the press).

2. van der Marel, R. P. et al. Astrophys. J. (in the press).

3. van der Marel, R. P., Besla, G., Cox, T. J., Sohn, S. T. & Anderson, J. Astrophys. J. (in the press).

4. Darling, J. Astrophys. J. 732, L2 (2011).

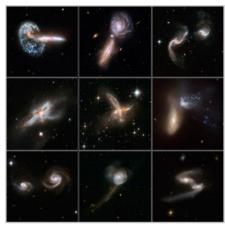
TOPICS

銀河の衝突と合体

銀河間の距離は、銀河の大きさに比べてそれほど離れていない。このため、意外と頻繁にニアミスや衝突を起こしている。その際、お互いの重力により相互作用が生じる(銀河相互作用)。銀河相互作用は、銀河の重力により相互作用は、銀河の重力により相互作用は、銀河の銀河が触れ合うと、十分なるで脱出できず合体する。合体する。大きさが大きく関や相対速度で決まる。大きさが大きく異なる銀河どうしの衝突では、小さな銀河に飲み込まれていく。一方、銀河に飲み込まれていく。一方、銀河に飲み込まれていく。一方、銀河にかりで離れていく。

銀河の衝突で、内部の恒星どうしが衝突することはほとんどない。恒星どうしはその大きさに比べ、非常に離れているからだ。だが、星間ガスは急激に圧縮されるため、爆発的に新しい星が形成される(スターバースト)。また、合体中の銀河の中心では、相手銀河の重力により角運動量を失ったガスがブラックホールに吸い込まれる直前に、莫大なエネルギーを放出して活動銀河核となることもある。

銀河の衝突や合体は、遠方の銀河、つまり初期宇宙の銀河でよく見られる。このため、 銀河は衝突・合体を繰り返して、進化してき たと考えられている。



さまざまな銀河の衝突と合体。

SCIENCE KEY WORDS

タイトルAndromeda: ここでは、アンドロメダ (座大) 銀河のこと

約230万~250万光年離れた渦巻銀河。直径は22万光年以上。2つの巨大ブラックホールが中心核、中心部のガスが少なく楕円銀河に似た性質、そのわずかなガスが銀河面に直角に渦を巻いている、などの特異な性質を持つ。こうしたことから、伴銀河が合体してできたと推察される。

タイトル Milky Way: 天の川銀河、銀河系

直径約10万光年の棒渦巻銀河で、約2000億個の恒星とその質量の10%のガスからなる。大量のダークマターもあると考えられている。太陽系は中心から2万5000~2万8000光年の位置にある。中心は射手座の天の川の中にあり、巨大なブラックホールが存在する。

リード galaxy: 銀河

恒星や星雲、星間物質、ダークマターなどが重力の相互作用で集まった天体。ほとんどの銀河は中心に巨大ブラックホールを持ち、銀河の動力となっているといわれている。矮小銀河と巨大銀河に大別され、巨大銀河はさらに、渦巻銀河(下記参照)、楕円銀河(円盤を持たず、扁平な楕円から球状の形態。星間物質が非常に少ない)、レンズ状銀河(渦巻を持たないレンズ状)、不規則銀河に分けられる。

2. parsec: パーセク

地球から見た年周視差が1秒となるような星の太陽までの距離。1パーセクは約3.26光年。

2. light year: 光年

光が1年間に進む距離。約9兆4600億km。

2. spiral galaxy: 渦巻銀河

円盤状に分布した恒星が、渦を巻いているように見える銀河。

中心に棒状の構造を持つ銀河を棒渦巻銀河ともいう。円盤部 (ディスク) の中心は膨らんでおり、バルジと呼ばれる。これらをハロー(星間物質や球状星団からなる領域) が球殻状に取り囲んでいる。渦巻状の明るいらせんパターンは渦状腕と呼ばれ、若い星と星間物質が多い。一方、中心部には古い星が多く、巨大ブラックホールが中心核と考えられている。

5. gravity: 重力

5. major merger: メジャー・マージャー

質量がほぼ等しい銀河どうしの合体。対して、質量比が大きく 異なる銀河どうしの合体をマイナー・マージャーという。

6. line-of-sight speed: 視線速度 (line-of-sight velocity) 物体の運動速度のうち、視線方向の成分。天文学では、天体が観測者に近づく場合は正、遠ざかる場合は負で表す。

8. Local Group: 局部銀河群 (local group of galaxies) 天の川銀河が属する銀河群(数十個の銀河が重力によって集まったもの)。アンドロメダ銀河や大小のマゼラン雲など、約50個の銀河からなる。

9. satellite galaxy: 伴銀河

重力相互作用により、大きな銀河の周りを回っている銀河。

11. water maser: 水メーザー

水分子が発するメーザー。メーザーは、誘導放射により増幅されたコヒーレントなマイクロ波のこと。星間ガスの分子が、反転分布(基底状態より励起状態のほうが多くなっている)状態になっているとき、外部から電波が入ると発生する。分子の種類によって、増幅される電波の波長が異なる。星形成領域や活動銀河核付近などで見られる。

WORDS AND PHRASES

リード meet head-on:「正面衝突する」

1. definite: 「間違いない」、「確実だ」

1. collide with ~:「~と衝突する」

1. titanic tumult: 「巨大な動揺」

1. shove:「追いやる」、「押しやる」

1. outskirts:「外辺」、「はずれ」

1. merge:「合体する」

2. painstakingly: 「丹念に」、「綿密に」

2. inch:「少しずつ進む」

5. mutual:「相互の」

6. visual acuity:「視力」

6. inevitable: 「不可避」、「避けられない」

6. in a embrace: 「抱き合って」

7. at the limit of: 「~の限界にある」

9. plow into: 「~と衝突する」、「~に突進する」

10. be exiled to: 「~に追放される」

参考訳

アンドロメダ銀河が 天の川銀河と衝突する

天文学者によると、この2つの銀河は40億年後に正面衝突するという。 ロン・コーウェン

- 1. 衝突は確実に起こるらしい。本日(2012年5月31日)、天文学者のグループが、今から約40億年後にアンドロメダ銀河が天の川銀河と衝突すると発表した。この衝突で太陽やその他の恒星が破壊されることはないようだが、衝突に伴う巨大な動揺により、太陽系は、合体した銀河のはずれに追いやられてしまう可能性が高い。
- 2. この結論は、2002 年から 2010 年にかけて、天空をゆっくりと移動していくアンドロメダ銀河の動きを、ハッブル宇宙望遠鏡を使って丹念に追跡することによって得られた。アンドロメダ銀河は、我々の天の川銀河に最も近い大型の渦巻銀河で、約77万パーセク(250 万光年)の彼方にある。
- **3.** 宇宙望遠鏡科学研究所(米国メリーランド州ボルティモア)の 天文学者 Roeland van der Marel と Sangmo Tony Sohn は、本日開かれた NASA の記者会見(米国ワシントン D.C.) で、この新知見を発表した。彼らの研究結果を報告する論文は、 Astrophysical Journal に掲載される予定である ¹⁻³。
- 4. 「我々は今回、アンドロメダ銀河に関する動力学的情報のうち、 過去 100 年間、天文学者が手にすることのできなかった部分 を抽出することに成功しました」と van der Marel は言う。
- 5. アンドロメダ銀河が天の川銀河に向かって秒速 110km で落下してきており、銀河相互の重力により最終的に衝突する可能性があることは、数十年前からわかっていた。しかし、アンドロメダ銀河の速度のうち、天文学者が容易に測定できるのは、視線速度だけであるため、将来、2 つの銀河がもっと接近したときに、合体(メジャー・マージャー)するのか、ぎりぎりのところで接触を回避できるのか、ごく一部だけが接触するのかはわからなかった。
- 6. 今回、アンドロメダ銀河内のさまざまな位置にある1万5000個の恒星の横方向の動きを記録できるだけの「視力」を備えたハッブル宇宙望遠鏡が、アンドロメダ銀河の動きの未解明部分を明らかにした。van der Marel たちは、アンドロメダ銀河の全体的な横方向の速度がその視線速度に比べてかなり遅いことを突き止め、アンドロメダ銀河と天の川銀河の合体が避け



左の銀河の直径は約14万光年、右の銀河の直径は約11万光年。2つの銀河は近づいたり離れたりしながら、約10億年後には完全に1つになると思われる。未来の天の川銀河とアンドロメダ銀河もこのようになるのだろうか。

られないことを明らかにした。彼らのシミュレーションは、今から 40 億年後に 2 つの銀河がお互いの中を通り抜け、その 20 億年後には恒久的に抱き合う形で落ち着いて、1 つの銀河を形成することを示している。

- 7. アンドロメダ銀河の横方向の速度を検出できたことは「見事」としか言いようがないと、コロラド大学ボールダー校(米国)の天文学者 Jeremy Darling は言う。「現在の観測技術の極限での成果です」。
- 8. 今回の測定結果は、局部銀河群の進化を解明するうえでもカギとなる。局部銀河群は、天の川銀河とその近くの銀河が属している銀河の集団で、アンドロメダ銀河と天の川銀河は、その中で質量が最も大きい銀河である。Darling は、ハッブル宇宙望遠鏡がもたらしたこの新しいデータによって、「過去へも未来へも」シミュレーションができるようになり、局部銀河群の過去と未来の解明が進むだろうと言う。
- 9. van der Marel たちのシミュレーションでは、太陽の運動と、アンドロメダ銀河の伴銀河 M33 の重力を明らかにする必要があった。彼らによると、M33 がアンドロメダ銀河より前に天の川銀河と衝突する確率が 9%あるという。
- 10. 太陽は現在、天の川銀河の中心部から8000パーセク(2万6000光年)の位置にある。天の川銀河とアンドロメダ銀河の衝突によって、太陽がこの位置よりも外側に移動することは、ほぼ確実だ。シミュレーションでは、太陽系が、合体後の銀河の中心部から5万パーセク(16万光年)以上も離れた、銀河のシベリアともいえる場所に「飛ばされる」確率も10%あるという。
- 11. Darling たちは現在、別の方法でアンドロメダ銀河の横方向の 運動を測定している。それは、彼がアンドロメダ銀河内に見つ けた、いくつもの水メーザーの位置を追跡するという方法だ 4。 水メーザーは電波の波長域で輝線を発する領域で、星の形成に かかわっている。Darling によると、約2年後には、この横方 向の運動について、ハッブル宇宙望遠鏡を使った測定よりもさらに精度の高い測定値が得られる見込みであるという。

(翻訳:菊川要)



Nature ダイシ 全国の書店、

定期購読を始めたいな!





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。



全国の書店・生協

全国の書店、生協で 扱っています*。



amazon.co.jp

最新号の予約

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

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



BOOOB'S NOOB

たいへん悲しいことに、パンダの赤ちゃんは、誕生した喜びもつかの間、生後1週間ほどで亡くなってしまいました。飼育されたパンダの繁殖率と幼獣の生存率は、野生のものに比べて低く、世界に1600頭ほどのこの絶滅危惧ほ乳類は、保護によって簡単に増える動物ではありません。主食の竹は一斉開花後に枯死するため、パンダの生息には開花時期の異なる竹が数種あるような広さが必要です。しかし、木材用に森林伐採が行われて生息域が分断化され、パンダは数を減らしました。中国政府は1988年に森林伐採を禁じましたが、地域住民の新しい生活の糧はあてがないままです。かわいらしいあの目が、悲しみを湛えているものに見えてなりません。(う)

*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。



pg 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

© 2012 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: David Swinbanks

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。

▶ 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。

