

日本語で読む世界の最新科学ニュース

ノーベル賞特集

nature ダイジェスト

ゲームで“脳力”アップ!

ISON 彗星は生き延びるか!?

LPS は細胞内でも感知される

12
2013

新たな魔法数を発見

カエルを愛したスパイ

世界の注目を集める

サードロック・ベンチャーズ社

幽霊著者による
論文捏造事件

カーボンナノチューブでできた
コンピューター

特許収益に奔走する
大学にとっての落とし穴

FROM 日経サイエンス

SN2011dh は、超巨星の爆発

カメさん、あちらへ

10th
ANNIVERSARY
日本語でNature since 2004

定価 680 円

Nature Publishing Group の
メールマガジンは
発行日* に最新の情報を
日本語でお届けします！



nature

毎週木曜日配信

今週のハイライト、今週号の目次を日本語で紹介します。同日メディアで見たニュースや気になる記事をすばやく見つけ、サイトにすぐにアクセスできます。その他、お得な情報、Nature 以外のジャーナルの最新コンテンツ（日本語翻訳）もお届けします。役立つ情報満載のメールマガジンです。

nature
ダイジェスト

毎月 25 日配信

今月号の目次はもちろん、今月号の Hot topic、無料公開記事など紹介します。また、今年に Nature ダイジェスト創刊 10 周年の特別コンテンツを企画していますので、その最新情報も発信していきます。キャンペーン情報も見逃せません。

ご登録はたった 1 分、無料です。ぜひ、この機会にメールマガジンにご登録ください。

SCIENTIFIC
REPORTS

毎週火曜日配信

最新の論文、注目のハイライト、注目の論文を紹介。最新の論文は、「生物」、「化学」、「物理」、「地球、環境科学」、「医療」の分野にまとめられており、研究領域の論文に素早くアクセス可能です。毎日新しい論文が掲載される Scientific Reports、メールマガジンなら週 1 回まとめてチェックできます。


nature
COMMUNICATIONS

毎週水曜日配信

最新の論文、注目のハイライト、注目の論文に加え、毎月 1 本論文全文を無料公開しています。毎週発表される最新の論文には、日本語タイトルと要約を掲載し配信しているので、サイトにアクセスする前に、メールマガジンで内容をご覧ください。

*Scientific Reports, Nature Communications はオンラインジャーナルのため、この通りではありません。

メールマガジン登録
nature.asia/jpn-register

nature publishing group 



中性子数34は新たな魔法数 09

表紙画像：独立行政法人理化学研究所

NATURE NEWS

- 02 細胞内の小胞輸送を解明した人々
- 04 ヒッグス機構の提唱者に物理学賞
- 05 化学賞は、分子モデリング研究に
- 06 ISON 彗星は生き延びるか!?
- 07 最古の顔を持つ古代魚
- 08 糞便入りカプセルで腸感染症を抑える
- 16 ドイツの科学は絶好調
- 18 幽霊著者による論文のミステリー
- 19 特許収益に奔走する
大学にとっての落とし穴
- 27 自家製ソフトウェアの誤りを、
誰がチェックする？

TURNING POINT

創刊10周年特別企画インタビュー

- 11 電波天文学者にあこがれて
井口 聖
国立天文台 電波研究部主任
東アジア・アルマプロジェクトマネージャ

NEWS SCAN

- 10 SN2011dh は、超巨星の爆発
- 10 カメさん、あちらへ

JAPANESE AUTHOR

- 28 シーラカンスの全ゲノムが語る
脊椎動物の陸上化 — 二階堂 雅人

NEWS & VIEWS

- 31 LPS は細胞内でも感知される

EDITORIAL

- 34 インターネットを
科学者とエンジニアの手に取り戻せ！
- 35 新生児を対象としたゲノム解読による
病気診断の問題点

HIGHLIGHTS

- 36 2013年10/3 ~ 10/31号

都合により、「英語でNature」は休載致します。

東京大学と理化学研究所の研究チームが、エキゾチック原子核においては、中性子数34が魔法数であることを証明した。

22 カエルを愛したスパイ

100年前、野外調査と諜報活動の二重生活を送った悪評高き爬虫両生類学者がいた。その足跡をジャングルの中に追うと……。



SPENCER RESEARCH LIBRARY/UNIV. KANSAS LIBRARIES

12 世界が注目する ベンチャーキャピタル

サードロック・ベンチャーズ社は、起業させたバイオ技術企業に対する多額の投資で有名になった。



THINKSTOCK

30 カーボンナノチューブで コンピューターを試作

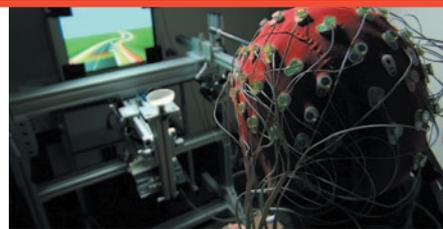
市場に出せるかどうか未来の話はさておき、新しい電子材料カーボンナノチューブが、まずは華やかにデビューした。



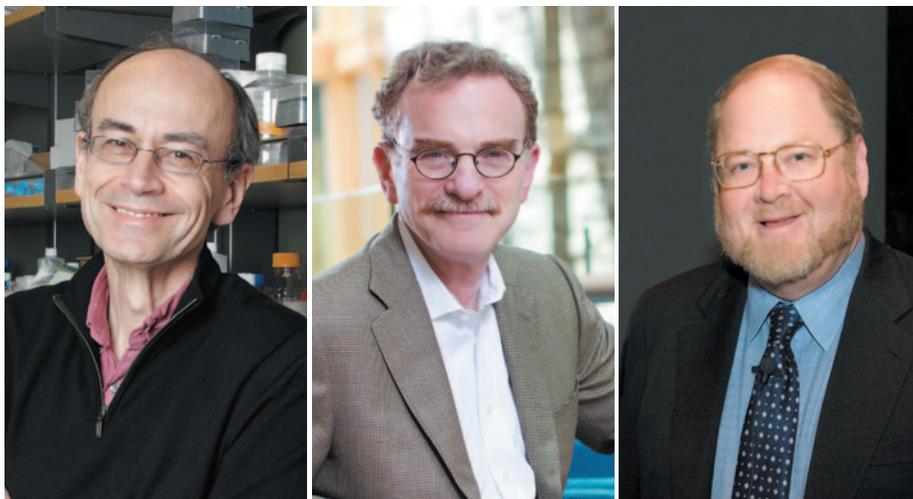
BUTCH CLOYEAR&MAX SHULAKER

20 ゲームでマルチタスク “脳力”がアップする!

認知能力は加齢に伴って低下するが、ゲームをすることでそれが回復するという高齢者待望の成果が現れた。



GLOBE TV



Thomas Südhof (左)、Randy Schekman (中)、James Rothman (右)は、小胞が目的の構造へと分子を送る仕組みを解明した (Rothman はイングランド王ヘンリー 8 世とよく似ているという)。

細胞内の小胞輸送を解明した人々

Cell transport carries off Nobel

EWEN CALLAWAY 2013年10月10日号 Vol. 502 (149-150)

細胞内で生体分子を生合成するには、ある構造体から別の構造体へ、作りかけの分子を移さなければならない。それが小胞輸送で、今年のノーベル医学生理学賞は、その機構を解明した3人に授与される。

今年のノーベル医学生理学賞は、細胞内“郵送”サービスの機構を説明した3人の科学者に贈られる。彼らの研究によって、細胞がどのような仕組みでタンパク質などの生体分子をある場所から別の場所へときちんと運ぶのか、明らかになった。また、この輸送過程は、細胞外への物質放出にも関与しており、神経伝達物質の放出やインスリンの分泌など、さまざまな場面で重要な役割を演じている。

エール大学 (米国コネティカット州ニューヘイブン) のJames Rothman、カリフォルニア大学バークレー校 (米国) のRandy Schekman、スタンフォード大学 (米国カリフォルニア州) のThomas Südhofの3人が、賞金800万スウェー

デン・クローナ (120万ドル、約1億2000万円) を三等分する。授賞式は12月10日、ストックホルムで行われる。

授賞理由は「細胞内における主要な輸送系である小胞輸送の制御機構の発見」である。小胞とは脂質膜に囲まれた小さな袋で、他の構造と融合・分離することによって、細胞内のあちらこちらに生体分子を運搬する。

ホワイトヘッド生物医学研究所 (米国マサチューセッツ州ケンブリッジ) の免疫学者Hidde Ploeghによると、3人の研究は細胞生物学では基本中の基本であるため、当たり前のことと思われやすいという。「学生や大学院生に細胞生物学を教えるときに、小胞輸送に関しては、

最初から多くのことが分かっていたかのように話してしまうのです」。

RothmanとSchekmanが研究を始めたのは1970年代の終わり頃だった。当時、すでに小胞が細胞輸送に関係することは知られていたが、この小胞が、雑然とした細胞内の管理にどう役立っているのかは、ほとんど解明されていなかった。2人は、小胞が細胞内でどのように作られ、どのようにして自分の行くべき目的地を知るのか、また、どうやって他の膜に融合するのかを調べようと取り組んだ。ただ、2人のとった方法は大きく異なっていた。

スタンフォード大学の若手研究者だったRothmanは、生化学の手法に基づき、小胞輸送の全過程を試験管内で再現することを目指して研究を始めた。哺乳類細胞にはあるウイルスが感染している場合があり、他のウイルスと同様、このウイルスは小胞輸送系を利用していった。そこでRothmanは、哺乳類細胞の抽出物を精製してタンパク質を探し、このウイルスのタンパク質の1つをマーカーとして利用して、小胞輸送を追跡することにしたのだった。Rothmanのチームは、標的となる膜に小胞が融合する際に不可欠なタンパク質をいくつか精製し、最初の1つをN-エチルマレイミド感受性因子 (NSF) と名付けた。

サンフランシスコ湾の対岸のバークレーでは、Schekmanのチームが、同じ問題の解明に別の方法で取り組んでいた。彼らは出芽酵母 *Saccharomyces cerevisiae* の変異株を作成し、特定の酵素の細胞内輸送ができなくなった変異株を探した。この研究によって最終的に23個の「分泌遺伝子」が明らかになり、そのうちの1個はNSFタンパク質をコードしていることが判明した。

これらの発見に対して、当初は多くの科学者が疑いの目で見ていた。マックス・プランク分子細胞生物学・遺伝学研究所 (ドイツ・ドレスデン) で細胞内輸送を研究している分子生物学者Marino Zerialはそう指摘する。「当時、生化学

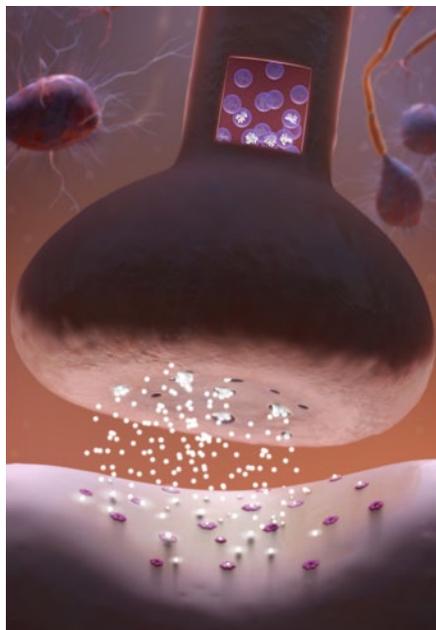
者は遺伝学的手法を好まず、一方、遺伝学者は生化学的手法に疑問を持っていたのです。

その後、1980年代後半から1990年代前半に行った研究で、SchekmanとRothmanのチームは、小胞の融合の基本的な仕組みを明らかにした。つまり、小胞の膜に埋め込まれたタンパク質は、目的地の膜上にあるタンパク質をカギとカギ穴方式で認識するというものだ。この機構の詳細は今でもはっきりとは解明されていない。「彼ら2人の相乗作用は本当に素晴らしいものでした。私にとって彼らは偉大な英雄です」とZerialは語る。

一方、Südhofは、ニューロンにおける小胞の融合に的を絞って研究した。ニューロンは、小胞に封入された神経伝達物質を利用して、他のニューロンと情報をやり取りする。1980年代後半に入って間もない頃、SüdhofはRichard Scheller（現在は、カリフォルニア州サウスサンフランシスコのバイオ企業、Genentech社に所属）のチームとともに、ニューロンでの小胞融合過程に重要な役割を果たすタンパク質をいくつも同定した。また彼は、カルシウムが引き金となって神経伝達物質を含む小胞の融合が起きる仕組みも明らかにした（写真）。

「これは素晴らしい物語です。細胞内の膜を介した物質輸送過程がどのように起きるのか、25～30年前は何も分かりませんでした。しかし今や、関与するタンパク質や要素が明らかになり、それらの働く仕組みについても合理的な説明ができるようになったのです」とダートマス大学医学系大学院（米国ニューハンプシャー州ハノーバー）の生化学者William Wicknerは言う。「この非常に大きな進歩は、彼ら3人の力によるものです」。

ドイツのカイゼルスラウテルン工科大学の細胞生物学者Johannes HerrmannはSchekmanの下で学んだことがあり、メンターだったSchekmanに対して称賛の思いでいっぱい、「今日は最高の日です」と言う。当時のSchekmanは、研究室に大きな目標を設定し、それを達



SPL/AMANIMAGES

Südhofは、ニューロンでの小胞融合過程に重要なタンパク質を数多く同定し、また、この小胞融合の引き金は、カルシウムであることを明らかにした。

成したときには、研究室全体に豪華な食事をご馳走してくれたという。またSchekmanは学生たちに、旅行や美術など、仕事以外のことにも関心を深めるよう勧めていた。Schekmanは2006年から2011年まで*Proceedings of the National Academy of Science*の編集長を務め、その後、オープンアクセス雑誌*eLife*の編集長に就任しているが、その理由も分かろうというものだ。

今回の授賞は、生物学と基礎研究の関連性にも光を当てたとPloeghは指摘する。「医学的問題の解決にすぐに必要というわけではなかった基礎的な発見が、今回、高く評価されたのです」。

なお、3人の授賞者はいずれもアルバート・ラスカー基礎医学研究賞の授賞者だ。この賞に選ばれると、後にノーベル医学生理学賞を授賞する可能性が高いと言われており、Südhofは、神経伝達物質放出に関する研究でSchellerと共に今年受賞した。SchekmanとRothmanは、2002年に共同で授賞している。■

（翻訳：宮下悦子）

nature ダイジェスト

この10年を振り返って

2004 2005 2006 2007 2008

2004年 Nature日本版創刊として「Nature日本版ダイジェスト」が開始されました。この年の記事も取り上げられています。そのほか、2004年のダイジェストが創刊したことで、2004年から2007年までのダイジェストが、2008年のダイジェストに収録されています。また、2004年のダイジェストが、2008年のダイジェストに収録されています。

2004年、Nature日本版創刊として「Nature日本版ダイジェスト」が開始されました。この年の記事も取り上げられています。そのほか、2004年のダイジェストが創刊したことで、2004年から2007年までのダイジェストが、2008年のダイジェストに収録されています。また、2004年のダイジェストが、2008年のダイジェストに収録されています。

創刊 10 周年 スペシャルページ!!

10th

ANNIVERSARY
日本語でNature since 2004

nature.asia/ND10th

この10年を振り返り、
話題になった出来事や
面白いニュースなどを紹介。

毎月、各年の「Editorial」より
記事を無料公開!

研究の道を目指すきっかけとなった
エピソードを伺うインタビュー記事
「Turning Point」もお見逃しなく!

どうぞ10周年コンテンツを
お楽しみください!

nature publishing group

WWW.NATURE.COM/NATUREDIGEST

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved.

3

ヒッグス機構の提唱者に物理学賞

Higgs theorists amass physics prize

RICHARD VAN NOORDEN 2013年10月10日号 Vol. 502 (150)

ヒッグス粒子探しが始まってから半世紀近くが経過し、昨年ようやくそれが発見された。そして今回、2人の理論物理学者にノーベル物理学賞が贈られることになった。

ヒッグス粒子の発見は、ここ10年の素粒子物理学における最大のニュースだ。実験には数千人もの科学者が関わったが、ノーベル物理学賞選考委員会が受賞者に選んだのは2人の理論家だった。2013年10月8日にストックホルム（スウェーデン）で行われた発表で、今年のノーベル物理学賞は、ヒッグス機構に関する理論を提唱したエディンバラ大学（英国）のPeter Higgsとブリュッセル自由大学（ベルギー）のFrancois Englertに贈られることになった。ヒッグス機構とは、宇宙を満たすヒッグス場が素粒子に質量を与える過程のことで、そこにはヒッグス粒子（ヒッグスポソン）の存在も含まれている。ジュネーブ（スイス）近郊にある欧州原子核研究機構（CERN）の理論物理学者John Ellisは、今回の選考について、「私でも同じ選択をしたでしょう」と語った。

ヒッグス粒子が瞬間的に生成したというニュースは、2012年7月4日に発表

された。それは、30億ユーロ（約4000億円）を投じて建設されたCERNの大型ハドロン衝突型加速器（LHC）で行われた高エネルギー粒子の衝突実験で得られた。ノーベル賞の発表を聞いてCERNの他の理論研究者たちと一緒にシャンパンを開けたというEllisは、もしヒッグス粒子を探す実験に参加した研究者にノーベル賞を授与しようとしたら、面倒なことになっただろうと言う。「EnglertとHiggsの先駆的な研究は、十分、受賞に値します」。

「私の研究がこの素晴らしい賞を受けたことを心からうれしく思います」と、Englertはコメントした。極端に内気で、9月に急性気管支炎の発作を起こしたばかりのHiggsは、インタビューを受けることができなかった。意外なことに、この2人の理論家は昨年7月にCERNで初めて顔を合わせたという。

既知の全ての素粒子と重力以外の力を

記述する素粒子物理学の「標準理論」をジグソーパズルにたとえれば、ヒッグス粒子は失われた駒だった。それはヒッグス場の最小のさざ波で、電子、クォーク、弱い核力を運ぶWボソンやZボソンなどに質量を与えるものだ。

Ellisの言葉を借りると、ヒッグス機構のアイデアが提案された1960年代、基本的な力を記述しようとする物理学者たちは、「理論のあちこちにぶかぶかと浮かんでいる質量ゼロの厄介な粒子」に悪戦苦闘していた。1964年に、ある「場」がこの問題を解決することを6人の物理学者が独立に明らかにした。1964年8月にRobert Brout（2011年に死去）とEnglertが最初の論文を発表すると、その3週間後にHiggsが論文を発表した。当時、この理論が意味していた重いボソンについて言及したのはHiggsだけだった。さらに、Tom Kibble、Gerald Guralnik、Carl Hagenも論文を発表したが、「ほとんど誰も注意を払いませんでした」とEllisは言う。主な理由は、そうした理論を使って計算する方法が分からなかったからだ。1971年にGerald 'tHooft（1999年にノーベル物理学賞受賞）がこの計算に必要な数学を整備したことで、彼らの論文の引用回数が急増し始め、ヒッグス粒子探しが本格化した。

このように、いわゆる「ヒッグス機構」の構築に関わった理論家の数は多く、Higgsがこれを「ABEGHKK'tH（Anderson-Brout-Englert-Guralnik-Hagen-Higgs-Kibble-'tHooft）機構」と呼んだことはよく知られている。しかし、ヒッグス粒子の実在証明に参加した実験家の人数は、これよりはるかに多い。

ヒッグス粒子発見の発表の際、HiggsはCERNに集まった聴衆に対して、「私が生きている間にこんな日が来るなんて、本当に信じられません」と語った。Higgsの同僚であるエディンバラ大学のAlan Walkerは、「あの日の名誉は実験家のものでした。だから、今回は理論家に名誉を贈ったのでしょう」と言う。■

（翻訳：三枝小夜子）



2012年7月にCERNを訪問したノーベル物理学賞受賞者Peter Higgs(右)とFrancois Englert。

化学賞は、分子モデリング研究に

Modellers react to chemistry award

RICHARD VAN NOORDEN 2013年10月17日号 Vol. 502 (280)

ノーベル化学賞は、コンピューターによる分子モデリングの開拓者に贈られる。
今回の授賞で、理論家は実験家に引けを取らないことが確認されたと言える。

2013年のノーベル化学賞は、スタンフォード大学(米国カリフォルニア州)のMichael Levitt、ストラスブール大学(フランス)およびハーバード大学(米国マサチューセッツ州ケンブリッジ)のMartin Karplus、南カリフォルニア大学(米国ロサンゼルス)のArieh Warshelに贈られる。3人の業績は、大きな分子(細胞内の酵素や光吸収色素など)のシミュレーション研究で、特に、拡大スケールと縮小スケールをきちんと橋渡しする分子記述の手法が評価された。

当たり前の話だが、Alfred Nobelが遺言状を記した時点(1895年)で予想できなかった科学分野はいくつもある。だから、Levittが言うように「ノーベル計算機科学賞は存在しない」。しかし、化学や生物学において計算科学はますます重要性を増しており、今回そのことが認められたわけだ。

「生物学分野では、計算科学は十分に評価されてきませんでした」とLevitt

は記者会見で語った。そして、受賞枠が4人だったら、計算能力の飛躍的向上に貢献したチップメーカーも受賞者になったかもしれない、と冗談を言った。

1970年代、3人はこの分野の草分けだった。当時、原子のクラスターより大きい物質について、結合の形成・切断時の詳細な量子力学的状態を計算することはできなかった。現在でも、量子力学モデルでは、数百個以上の原子からなるクラスターは複雑すぎて計算できない。そこで、例えばタンパク質を丸ごとモデリングすることは到底不可能である。このため、Levitt、Warshel、Karplusの3人は「マルチスケールモデル」を考案した。このモデルは、振動する非反応性の原子ボールがばねでつながったものとして分子を扱う簡易シミュレーション(古典力学モデル)と、量子力学モデルとを組み合わせ合わせたものだ。「計算できるほど単純ではあるが、有用な細部を見失うほど単純ではない。ほどほどの近似を見つける

のがこの技術の要です」とLevittは言う。

WarshelとLevittは1976年の論文で、マルチスケールモデルを使って初めて、リゾチームがグリコシド結合を切断する仕組みを説明した。今では、マルチスケールモデルは酵素反応の仕組みを研究するのに不可欠であることが証明されている。しかし、製薬業界ではこの手法はあまり広く利用されていない、とミシガン州立大学(米国ミシガン州イーストランシング)のKenneth Merzは言う。それより、例えば、工業用触媒の働きの説明や、半導体ナノ粒子表面の色素の光活性化の研究に使用されている、とミネソタ大学(米国ミネアポリス)の理論研究者Christopher Cramerは指摘する。

今回の授賞は、分子シミュレーションが認められたという面もある、と研究者たちは*Nature*に語った。「彼らは理論を実験と対等のパートナーにしました」とルンド大学(スウェーデン)の理論化学者でもノーベル化学賞選考委員会のメンバーでもあるGunnar Karlströmは語った。

それでも、はたして理論家は実験家を驚かせるような予測ができるのか、という問いは残る。コンピューターモデリングは「なぜ物事がそんなふうに進むのか、人々の理解をうまく助けてくれます。しかし、新しいことを予測するのはあまり得意ではありません。つまり、実験家に指針を与えるのは得意なのです」と、カリフォルニア大学ロサンゼルス校(UCLA、米国)でコンピュータープログラムを使って新しい酵素を設計しているKen Houkは言う。

だから、実験家はシミュレーション結果に注意を払った方がよい、とWarshelは同意する。しかしその一方で、「いずれは、強力なコンピューターで何でもできるようになるでしょう」とも予想する。

Cramerはこう付け加えた。「有害廃棄物の処理価格は年々高くなっているのに対し、コンピューターの処理費用は年々安くなっています。未来は、明らかに理論家に有利なのです」。

(翻訳: 藤野正美)



Michael Levitt

Martin Karplus

Arieh Warshel

ISON 彗星は生き延びるか!?

Comet expected to survive close Sun encounter

ALEXANDRA WITZE 2013年10月9日 オンライン掲載 (doi:10.1038/nature.2013.13924)

深宇宙からやって来た ISON 彗星が太陽に近づいている。
天文学者たちは最初で最後の機会を逃さないよう、観測の準備を整えている。

ISON (アイソン) 彗星は、内部太陽系を進んでいる。2013年11月28日には太陽に最も近づき、そのすぐそばを通過する(近日点通過)。天文学者たちの大きな興味は、この彗星が近日点通過を生き延びることができるかということだ。もし、ISON 彗星が生き延びることができれば、12月の星空に輝く姿が裸眼でも見えるだろう。たとえ、彗星が近日点通過によってばらばらになったとしても、そこから学ぶことがたくさんあるはずだ。

ISON 彗星は、太陽の極めて近く(おそらくロッシュ限界以下)を通過する非周期彗星で、このような彗星は少なくともこの200年間見つかっていない。非周期彗星とは、その軌道から判断して、深宇宙から太陽系内部に初めてやって来て、再び戻っては来ないとみられる彗星のことだ。また、このため、生まれたときの姿を保っていると思われる。

ローウェル天文台(米国アリゾナ州フラッグスタッフ)の天文学者 Matthew Knight は、「ISON 彗星の到来が非常に貴重な機会であるのは、そのためです。全く予想しなかったことが起こる可能性もあります」と話す。

ISON 彗星は、2012年9月21日、ロシアの天文学者が「国際科学光学ネットワーク」(ISON)という国際観測計画の望遠鏡を使って発見した。彗星の名前もこの計画にちなむ。天文学者たちは、この彗星は「オールトの雲」のはずれからやってきたと考えている。「オールトの雲」は、冥王星のはるか遠方に球殻状に分布している、水などの水でできた天体群だ。

太陽のそばをかすめる彗星は、太陽探査機 SOHO の観測データとプロおよびアマチュア天文学者たちの分析によって、この18年間で2000個以上が見つかっている。こうした彗星の多くは、太陽の重力の潮汐力によってばらばらになったか、もしくは太陽の熱で蒸発したが、こうした彗星の通過現象を解析することで科学的な知見を得ることができると。実際、天文学者たちは、2011年にラブジョイ彗星が太陽大気を通過したとき、彗星の尾がどのように揺れるかを観察し、その観測結果から太陽の磁場モデルの妥当性を調べた¹。

チャンスは一度

Knight とサウスウェスト研究所(米国コロラド州ボルダー)の Kevin Walsh は、ISON 彗星がばらばらになるのかわからないのか、数値シミュレーションを使って調べた²。ハッブル宇宙望遠鏡などの観測によると、ISON 彗星の直径は1~4kmとみられている。Knight らは、1965年の池谷・関彗星など、近日点通過を生き延びた他の彗星の例を踏まえ、ISON 彗星は蒸発してしまわない程度の大きさはあるとみている。

しかし Knight は、「ISON 彗星は、その密度によっては潮汐力によって分裂する可能性があります」と話す。それでも、ISON 彗星の密度が典型的なものであれば、ほとんど無傷のまま通過するはずだ。一方、密度が小さければ、1994年にシューメーカー・レビー第9彗星が木星に衝突する前に分裂したように、ばら

ばらになるかもしれない。

天文学者たちは、ISON 彗星が太陽に近づくにつれて起こる変化を探している。また、その速度や回転の変化も調べている³。2011年のラブジョイ彗星が発見されたのは近日点通過のわずか2週間前だったが、ISON 彗星の場合は接近するかなり前に発見できたので、天文学者たちは人や機材を準備することができた。ISON 彗星は、多数の地上の望遠鏡だけでなく、ガンマ線バーストを観測するために打ち上げられた米航空宇宙局(NASA)の観測衛星スウィフトでも撮影されている。

スウィフトは地球大気の外にあるので、紫外線波長で彗星を観測できる。紫外線波長でなら水酸分子(OH)を観測できるため、その量から ISON 彗星がどれだけの水をまき散らしているかが分かる。実際、スウィフトの観測では、ISON 彗星が水酸分子の巨大な雲に取り囲まれていることが分かった。メリーランド大学カレッジパーク校(米国)の天文学者 Dennis Bodewits は、「その雲は、私が予想したよりもずっと見事なものでした」と話す。

ISON 彗星は火星のそばを2013年10月1日に通過し、火星探査機マーズ・エクスプレスとマーズ・リコネッサンス・オービター(MRO)も、通過する ISON 彗星の画像を撮影した。

ISON 彗星の観測は、これから数週間でピークを迎えるだろう。11月28日は米国では祝日(感謝祭)にあたるが、Knight らにその日を家族と共に祝う予定はない。彼らは、米国立太陽天文台のアリゾナ州トゥーソン近くにある望遠鏡で、二度と戻って来ることのない ISON 彗星が太陽系を出て行くまで、その全てを観測し続ける。「観測のチャンスはこの1回だけなのです」と Knight は話す。

(翻訳: 新庄直樹、要約: 編集部)

1. Downs, C. et al. *Science* **340**, 1196-1199 (2013).
2. Knight, M. M. & Walsh, K. J. *Astrophys. J. Lett.* **776**, L5 (2013).
3. Samarasingha, N. H. & Mueller, B. E. A. *Astrophys. J. Lett.* **775**, L10 (2013).

最古の顔を持つ古代魚

Ancient fish face shows roots of modern jaw

ELIOT BARFORD 2013年9月25日 オンライン掲載 (doi:10.1038/nature.2013.13823)

4億1900万年前の化石魚類に高度な構造の顎があったことが分かった。
脊椎動物の「顔」のルーツは、従来考えられていたよりもさらに古い可能性が出てきた。

一見してそうは思えないだろうが、我々の顎は、古生代の化石魚類 *Entelognathus primordialis* の顎とそう違わないらしい。この古代魚は、4億1900万年前に、現在の中国にあたる一部の地域に生息していたもので、今回、現生脊椎動物と同じ顎を持つ脊椎動物として、知られるうちで最古の種であることが示され、*Nature* 2013年10月10日号に掲載された¹。

中国科学院古脊椎動物古人類学研究所(北京)の古生物学者 Min Zhu らは、今回、*E. primordialis* の化石を分析し、この化石魚を板皮類の新種として分類した。板皮類は、約4億3000万年前から3億6000万年前まで生息しており、哺乳類を含む多くの脊椎動物と同様に骨でできた頭蓋と顎を持っていた、甲冑魚の一群だ。

しかし、ほとんどの板皮類の顎は、骨板でできた、くちばしに似た単純なものだったため、古生物学者の間では、板皮

類の顎の特徴と我々ヒトの顎との関連性はないとされており、このため板皮類の「顔」は、進化の系統樹の中で闇に消えていき、現生まで存続しなかったと見なされていた。そして、現生の有顎脊椎動物(顎口類)の最終共通祖先には明確な顎骨がなかったというのが主流の意見である。つまり、現生有顎脊椎動物の最終共通祖先はサメに似た動物(軟骨魚類)であり、その骨格はほとんどが軟骨でできていて、骨はせいぜい小さい骨板として体を覆う程度でしかなかったと考えられている。

この理論によれば、「現代的な顎」を生み出したのは、硬骨魚類ということになる。硬骨魚類がその後進化し、顔面の大きな骨を独立に発達させた。そして、そうした顎のある魚類が海で優位を占めるようになり、そこからやがて陸生脊椎動物が出現したというわけだ。

しかし、今回の *E. primordialis* に関す

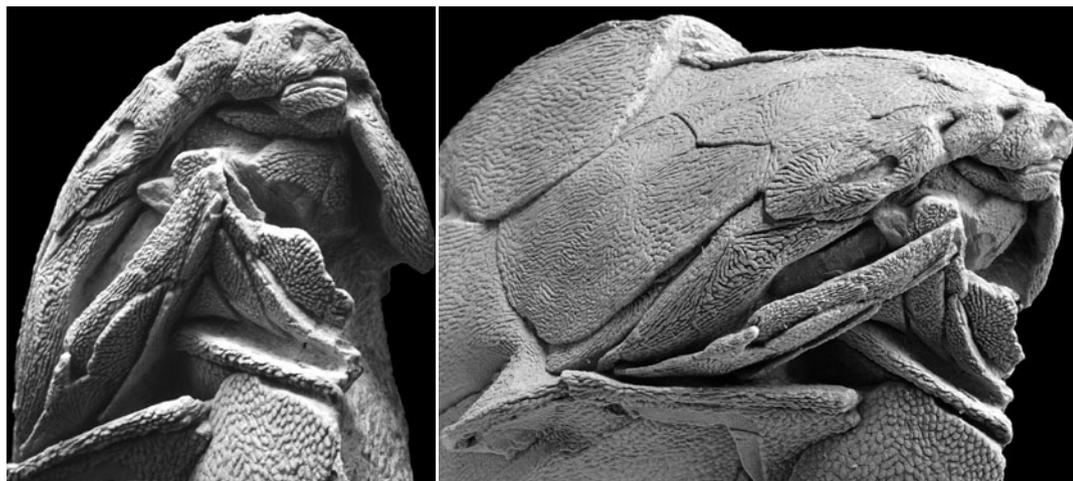
る知見¹は、その従来の考え方を覆すことになりそうだ。*E. primordialis* の化石は、これまでの多くの板皮類化石に比べてはるかに保存状態がよかった。そして、年代的には、知られるうちで最古の軟骨魚類化石や硬骨魚類化石よりも古いにもかかわらず、その顎は硬骨魚類の顎のようだったのだ。

Zhu らは、この結果を考慮に入れて有顎脊椎動物の系統樹を見直した。そして、現生脊椎動物の骨でできた顔が、今回見つかった化石魚類 *E. primordialis* の祖先動物に由来する可能性がかなり高いことを示した。つまり、この系統樹を踏まえると、現生有顎脊椎動物の最終共通祖先の見た目は、予想されていたよりもヒトに近かったという理屈になる。また、軟骨魚類は古生物学者が考えていたほど原始的ではなく、適応の結果として硬い骨がなくなったと考えられる。

しかし、この報告に関する News & Views (*Nature* 502, 175-177) では、今回の描き直された系統樹が最終的な結論だとはまだ言えないとしている。*E. primordialis* の顎が硬骨魚類系統とは独立に進化したものであり、従って我々の顎とのつながりはなく、両者が似て見えるのは単なる思い込みすぎないという可能性もまだ残っている。 ■

(翻訳: 船田晶子)

1. Zhu, M. et al. *Nature* 502, 188-193 (2013).



化石標本の詳細な画像から明らかになった下顎(左)および装甲版と上下の顎(右)。

糞便入りカプセルで腸感染症を抑える

Faeces-filled pill stops gut infection

SARAH ZHANG 2013年10月7日 オンライン掲載 (doi:10.1038/nature.2013.13885)

ふんべん
糞便入りカプセルにより、

クロストリジウム・ディフィシレ感染症の再発を抑えることができた。

しかし、コストや製造の問題で、市販薬として開発するのは難しいかもしれない。

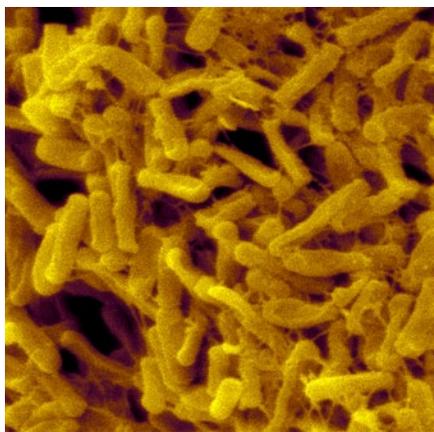
難治性の重篤な細菌感染症が、人間の糞便から採取された細菌で作ったカプセル剤で治療できるようになるかもしれない。

米国では、クロストリジウム・ディフィシレ感染症により、毎年約50万人が下痢と発熱に悩まされ、約1万4000人が死亡しているとされる。そして今では、再発性のクロストリジウム・ディフィシレ感染症を、「糞便移植」によって治療する医師も出てきた。糞便移植とは、健康な細菌をたくさん含む提供者の糞便を、浣腸、大腸ファイバー、または腸まで直接挿入された経鼻チューブを介して注入するという方法だ。

しかし、同じ提供者由来の細菌を含むカプセルを経口投与することでも「糞便移植」と同じ効果が得られることが、カリフォルニア州サンフランシスコで10月3日に開かれた学会で発表された。

カルガリー大学(カナダ・アルバータ)の感染症専門家Thomas Louieが、細菌の詰まったカプセルを31人のクロストリジウム・ディフィシレ感染患者に服用させたところ、1人を除いて全員が治癒した。カプセルの経口投与は、他の治療手法よりも侵襲性が低いため、より多くの患者に腸内細菌移植を適応できる。例えば、医学的理由により、浣腸や経鼻チューブを小腸に入れることが不可能な患者にも使えるだろう。そもそもLouieが最初にカプセルを作ったのは、そのような患者を治療するためだった。

クロストリジウム・ディフィシレ感染は、抗生物質の使用によって腸内細菌の



毎年約50万人のアメリカ人が、クロストリジウム・ディフィシレ感染症にかかっている。

正常なバランスが乱された後に起こることが多い。健康な提供者の糞便由来の細菌を使った腸内細菌移植によってそのバランスを回復させれば、抗生物質では治療が非常に困難なクロストリジウム・ディフィシレ感染症に対する極めて有効な治療手段になり得る。

腸の反応

Louieの研究に参加した患者はそれぞれ、作られたばかりの細菌入りカプセルを24～34個服用した。カプセルはゼラチンでコーティングされていて、胃では溶けずに腸に達する。研究チームは、その後1年間、患者の腸内細菌の塩基配列を解読することで、経過を観察し続けた。その結果、クロストリジウム・ディフィシレは消失し、バクテロイデス属(*Bacteroides*)、*Clostridium* *coccoides*、*Clostridium* *leptum*、プレボ

テラ属(*Prevotella*)、ビフィズス菌(*Bifidobacteria*)、デスルフォビブリオ属(*Desulfovibrio*)など、健康な腸内細菌の数が増えたことが分かった。

「カプセルというアイデアは、本当に大きな進歩です」と、ブラウン大学アルパート医学系大学院(米国ロードアイランド州プロビデンス)の胃腸病学者Colleen Kellyは言う。彼女は大腸ファイバーを使って糞便由来の細菌移植を行っている。

将来的には、提供者の糞便から抽出した細菌ではなく、実験室で培養された細菌を含むカプセルも作れるようになる可能性がある。実際Louieは、このカプセルの商業化に興味を持ついくつかの団体から連絡を受けているという。彼は現在、クロストリジウム・ディフィシレ感染症治療のために細菌を冷凍する実験も行っていると、付け加える。

しかし、そのような合成カプセル剤を作るには大きな経済的障害がある。クイーンズ大学キングストン校(カナダ・オンタリオ州)の感染症専門家Elaine Petrofは、腸内細菌叢を模擬するために実験室で培養された33の異なるタイプの細菌のミックス“RePOOPulate”を作成した¹。彼女のチームは、細菌培養のために2年がかりで設備を整えたが、このプロセスはまだ費用がかかる上に、細菌の培養はなかなか順調にはいかない。彼女は、この技術を商業化しようとする会社には「正直に言って、よっぽど運がよくないと難しいでしょう」と伝えている。

ただ、このようなやり方で細菌を生産する場合にコストがかかるとしても、代替手段がそれほど安あがりでないなら、あまり大きな障害にはならないだろう。米国カンザス州ウィッチタの感染症専門医Tom Mooreが述べているように、「人間の糞便なら簡単に手に入り、コストもほとんどかからないので、これと競うのは難しい」のである。

(翻訳：古川奈々子)

1. Petrof, E. O. et al. *Microbiome* 1, 3 (2013).

中性子数 34 は新たな魔法数

Exotic nuclei held together by another kind of 'magic'

PHILIP BALL 2013年10月9日 オンライン掲載 (doi:10.1038/nature.2013.13918)

東京大学と理化学研究所の研究チームが ^{54}Ca の生成に成功し、エキゾチック原子核においては、中性子数 34 が魔法数であることを実験的に証明した。

電子が原子核の周りを軌道運動し、その軌道群が「電子殻」と呼ばれる殻構造を作っているように、原子核を構成する陽子と中性子もまた、軌道運動をしていて、その軌道群が殻構造を作っている。電子殻が順番に埋まると高度に安定した原子（希ガス）ができるように、原子核は、殻構造を埋める陽子または中性子がそれぞれ2、8、20、28、50、82、126個のときに、高度に安定化する。これらの数は、原子核の「魔法数」と呼ばれる。

しかし、陽子または中性子の比率が異常に高いエキゾチック原子核においては、中性子の魔法数がこれらと異なる可能性が1970年代から指摘されていた。どの数が「魔法数」であるかを特定できれば、陽子と中性子を結びつける核力に関する現在の理論を検証したり、非常に重い新しい人工元素の安定性を予測したりするのに役立つ。

エキゾチック原子核では、中性子数28が魔法数ではないことはすでに分かっ

ている¹。また2001年には、日本の研究チームが、中性子数34が代わりの魔法数になることを理論的に示していた²。この予想が正しければ、20個の陽子と34個の中性子からなるカルシウム54 (^{54}Ca) は、陽子と中性子の両方が魔法数である「二重閉殻」になっているはずだ。しかし、 ^{54}Ca を生成させるのは難しく、中性子数34が魔法数であるかどうかは10年以上も確認できないままだった。

「二重の魔法数」を実験で確認

東京大学の原子核物理学者David Steppenbeckらを中心とする研究チームは、理化学研究所仁科加速器研究センター（埼玉県）のRIビームファクトリー（RIBF）の粒子加速器を用いて、中性子過剰なエキゾチック原子核であるスカンジウム55 (^{55}Sc) とチタン56 (^{56}Ti) の高エネルギービームを標的原子核のベリリウム（Be）に照射し、 ^{54}Ca を生成させることに成功した。「 ^{54}Ca の励起

状態を測定できるだけの強度の ^{55}Sc および ^{56}Ti ビームを発生させられる施設は、世界中でここにしかありません」とSteppenbeckは言う。

^{55}Sc と ^{56}Ti をBeに衝突させると、ときに「励起状態」の ^{54}Ca が生成する。この原子核は余分なエネルギーを持っていて、ガンマ線を放出することによりそれを失う。従って、放出されるガンマ線のエネルギーを調べれば、励起した ^{54}Ca 原子核が、励起してない基底状態の ^{54}Ca 原子核に比べて、どのくらい大きいエネルギーを持つかが分かる。このエネルギー差が大きいほど、基底状態は安定だということになる。

Steppenbeckらは、 ^{54}Ca の基底状態が、陽子数20の他のエキゾチック同位体に比べて安定であることを見いだした。これにより、中性子数34も魔法数であること、 ^{54}Ca が二重の魔法数を持つことが実験的に確認された³。

ところで、エキゾチック原子核と普通の原子核とで中性子の魔法数が違うのはなぜだろうか。1つの可能性として、中性子が極端に過剰な原子核では、核力が2個の核子の間の相互作用（二体核力）の単純な和にはなっておらず、3個の核子の間の相互作用（三体核力）も考慮しなければならないことが考えられる。

ボルドー・グラディニャン原子核研究センター（フランス）の原子核物理学者Stéphane Grévyは、「今回の研究は、原子核相互作用における三体核力の重要性を裏付けるものだと思います」と言う。

今回の研究は、恒星における元素合成や超新星における重元素合成の理論を改良するのに役立つだろう。こうした理論には、すでに中性子が過剰になっている原子核がさらなる中性子を迅速に捕獲する「r過程」が含まれている。しかし、今回の知見とr過程との関係については、今後の研究を待たねばならない。 ■

（翻訳：三枝小夜子）



エキゾチック原子核の性質の研究に用いられた理研仁科加速器研究センターのRIビームファクトリー（RIBF）のガンマ線検出器。

1. Bastin, B. et al. *Phys. Rev. Lett.* **99**, 022503 (2007).
2. Otsuka, T. et al. *Phys. Rev. Lett.* **87**, 082502 (2001).
3. Steppenbeck, D. et al. *Nature* **502**, 207-210 (2013).

SN2011dh は、超巨星の爆発

子持ち銀河にあった黄色い超巨星の消失が確認された

宇宙の片隅でエキサイティングな現象が起き、それを人類が偶然目撃することがある。3000万光年彼方にある「子持ち銀河」に出現した超新星が、まさにそれだった。2011年5月末、この美しい渦巻銀河で爆発した星の光が地球に到達した。

天文学者たちは、この超新星SN2011dhが大質量星の崩壊によって生じたことをすぐに突き止めたが、最期を迎えたその大質量星がどんなタイプの星だったのかは謎として残った。何が起きたかを明らかにするにあたっては、この銀河が以前からよく観測されてきたという事実が役に立った。2005年にハッブル宇宙望遠鏡がこの銀河を詳細に調べており、その画像と2011年の画像を比較したところ、超新星が生じたちょうどその場所に、以前は平凡な黄色い超巨星があったのだ。

だが一部の天文学者は、超巨星が崩壊したにしては、超新星の温度が低すぎることを明らかにした。彼らのデータは、消滅したのは超巨星ではなく、もっと小さな青い星であることを示していた。それはおそらく、黄色い超巨星の非常に近くにあった星だ。「実際に爆発した青い星が黄色い星の陰に隠れていた、というのが私たちの推測でした」と、カリフォルニア工科大学の天文学者Schuyler Van Dykは言う。

しかし、ライバルの研究グループは別の結論に達した。英アイルランドにあるクイーンズ大学のJustyn Maundらは、ハッブルの画像で特定された黄色い星そのものが爆発したのだ、と推測した。だが2011年の時点ではどちらが正しいか誰も確かなことは言えなかった。超新星の明るい輝きはその領域全体を覆い隠していたからだ。

2013年3月には超新星の明るさがかなり落ち着き、Van Dykらはハッブルを使って再びこの領域を観測した。すると、黄色い超巨星は消えていた。超新星となったのは結局のところ、やはりこの星だったのだ。「Maundらのチームが正しかったのです」とVan Dykは認める。彼が主執筆者となった論文は*Astrophysical Journal Letters*誌に掲載された。

だが、この超新星の物語はこれでおしまいというわけではない。SN2011dhはII b型というまれなタイプの超新星であることが判明した。このタイプの超新星は、水素からなる外側の殻の大半をはぎ取られた巨星が崩壊して生じる。水素の殻をはぎ取るのは伴星の引力だろうと考えられており、もしそうなら、この超巨星の伴星がまだ存在しているはずだ。そして、超新星残骸の輝きが減衰するにつれ、ハッブル望遠鏡でもうすぐその伴星が見られるはずなのだ。 ■

(翻訳協力：栗木瑞穂)

カメさん、あちらへ

紫外線 LED 付き漁網で、ウミガメの被害が減少した！

最近の推定によると、マグロ、エビ、タイなどの漁に伴って網にかかって引き揚げられてしまうウミガメは、10年で何百万匹にも及ぶという。ほとんどが絶滅の危険性が高い「危急種」で、こうした混獲が、ウミガメの死の主因になっているとみられている。

漁業を完全に禁止すると地元の経済に大打撃となるので、自然保護活動家は漁網に近づかないようウミガメに警告する方法を探してきた。ウミガメは可視光に加え紫外線も知覚できることがこれまでの研究で示されている。これに対して、多くの魚は紫外線までは見えない。「ウミガメと魚の視覚スペクトルには違いがあるのです。つまり、紫外線域に、カメには見えるが魚には見えない選択的な波長域があるということです」とハワイ大学マノア校の水産技術研究者John Wangは言う。

混獲が4割減

Wangらはメキシコのバハ・カリフォルニア・スル州の漁師たちと協力して、再利用可能な電池式紫外線発光ダイオード(LED)を「ウミガメよけ」として利用する実験を行った。刺し網に紫外線LEDを5m間隔で取り付けて点灯させたところ、LEDを点灯させなかった網と比較して、ウミガメの混獲が約40%も減ったのだ。この結果は*Biology Letters*に報告された。

なお、LEDを点灯させた網は、点灯させなかった網に比べてかかった魚の数がわずかに少なかったが、経済的価値に有意な差はなかった。

漁師たちは当初この研究への参加に消極的だった。しかし、やがて「漁業を犠牲にしてまでウミガメを守ろうとしているわけではないことを理解してくれました」とWangは言う。長い目で見ると、こうした技術は漁師の経費節減につながる可能性もある。「ウミガメは漁具をメチャメチャにするので、混獲防止策が大きなメリットになる地域もあるので、今回の研究には加わっていないスタンフォード大学海洋問題解決センターの客員研究員Hoyt Peckhamは指摘する。LEDの現在の価格は1個2ドルほどだが、下がる傾向にある。

別の波長のLEDを使えば、カメを遠ざけると同時に、商品価値のある魚を引き寄せることができるともかもしれないとWangは考えている。2014年には、このアイデアをメキシコ、ブラジル、インドネシアで試してみる計画だ。 ■

(翻訳協力：栗木瑞穂)

電波天文学者にあこがれて

井口 聖

国立天文台 電波研究部主任
東アジア・アルマプロジェクトマネージャ

数十個ものアンテナからなる巨大な電波望遠鏡「アルマ」が、南米チリの高原に建設された。その国際プロジェクトを率いてきた1人、井口 聖^{いぐち さとる}氏。小さいときから抱いていた「電波天文学者になりたい」という思いをどう実現してきたのだろうか。



国際プロジェクトのリーダーとして活躍されていますね

学生時代、英語のテストは、ほぼゼロ点。英語は、私の「天敵」でした(笑)。そんな私ですが、今では国際会議に明け暮れる日々です。2001年に国立天文台のアルマ望遠鏡計画に携わり、助手であるにもかかわらず、2年目に日本のエンジニア部門のリーダーになり、その6年後に、東アジアを代表するプロジェクトマネージャに選ばれました。

アルマ望遠鏡計画は、東アジア、北米、欧州の共同プロジェクトで、南米チリの標高5,000mの高原に巨大な電波望遠鏡を建設し、遠方の銀河から惑星の誕生の現場までを観測しようというものです。電波望遠鏡のアンテナは大きいほど有利なわけですが、複数のアンテナをつなぐと、大きなアンテナに相当する能力が得られます。その原理のもとに、アルマ望遠鏡が計画されたのです。

苦手な英語はいったいどのように克服されて?

最初は、英語での討論になかなか加われなくて。ある程度議論が終わった頃になって、「実は、こう思います」と発言するのがやっと。でも、後から話を蒸し返しても、私の意見は採用されない。3~4年過ぎた頃、ようやく気がついたのです。大事なのは、発言のタイミングなんだと。

会議では、国益と国益がぶつかるときもあって、意見を主張することは極めて重要です。自分が日本あるいは東アジア

の代表なのだ^と自覚したとき、「負けられない」と戦闘モードになり、下手な英語でもかまわずに、タイミングよく発言するようになりました。

結局、コミュニケーションで最も大切なのは、話す内容そのもの。そして、情熱と信念なのだ^となっています。

その情熱と信念は、そもそもどこからきたのでしょうか?

小さい頃の思い込みで、案外大事ですよ。中学生のときにテレビ番組を見ていて、電波天文学に出会いました。「特別なアンテナを使うと、何十台もの望遠鏡が1つの大きな電波望遠鏡になる」という解説の言葉が頭から離れず、それについて知りたいと思い、電波天文学者になろうと決めたのです。これは、まさにアルマ望遠鏡の原理ですね。

大学は電気通信大学に入り、電子工学を専攻しましたが、大学4年からは、近所の国立天文台に通いました。大学の教授に、「天文学をやりたい」と伝え、知り合いの方を紹介してもらったのです。その後、電通大の受託院生という制度を利用し、天文台で博士課程まで研究しました。30歳までは好きなことに挑戦し、見込みがなかったら、やり直せばいいという思いでした。

電子工学と天文学は一見、遠い分野にも思えますが

そんなことはありません。電波望遠鏡は宇宙からの電波を捕らえるものですか

ら。電気回路学や電磁気学といった基礎力が重要なのです。

博士課程後期のときに、遠くに離れたアンテナを光ファイバー網でつなぎ、大きな望遠鏡の実現をめざした研究開発を行いました。そうした基礎力が大変役立ちました。そのときは、学生の身でしたが、「設計をやらせてください」と手を上げたのです。「好きにやらせてください。自分で考える力を身に付けたいから」なんて、ナマイキなことを言っていましたね。

国立天文台に就職しアルマ計画に携わりましたね

大学院修了後は、公募に応募し、運よくアルマ計画に採用されました。

まずは、望遠鏡の設計が大きな課題。我々は、外気温が20℃から-20℃まで変化する環境の中で、アンテナの熱膨張・収縮をいかに抑えるか、構造や設置法を決めるといった難題に取り組みました。そうした際にも、やはり電気回路学や電磁気学などが役立ちました。それから、物理学や数学を物作りに応用する工学的な発想も極めて重要です。アンテナ製造にあたる企業の技術者ときちんと議論できるようになりますから。

2013年3月に、アルマ望遠鏡は開所式を迎え、今後は、その運用が課題となってきます。生命物質の探索など、天文学の枠を飛び越えて、さまざまな学問にも応用し、新しい科学の扉を開いていきたいと思っています。 ■

聞き手は藤川良子(サイエンスライター)。

世界が注目する ベンチャーキャピタル

The start-up engine

HEIDI LEDFORD

2013年9月25日号 Vol. 501 (476-478)

サードロック・ベンチャーズ社は、
起業させたバイオ技術企業に対する
多額の投資で有名になった。
「起業エンジン」として資金を調達し続ける
同社の成果に、現在、注目が集まっている。



2007年のある日のこと、サードロック・ベンチャーズ社(米国マサチューセッツ州ボストン、以下サードロック社)で研修生として働き始めてわずか3週間のバイオ工学研究者 Mikhail Shapiro は、入社して目にした光景に言葉を失った。設立されたばかりの同社は当時、少数のバイオ技術エリートが率いるベンチャーキャピタル企業であった。入り口には「営業休止」という紙が貼られ、室内にあるデスクや備品、さらには巨大なガムボールマシンにまで、ありとあらゆるものに「For sale」の札が下げられていた。そして、「サードロック・ベンチャーズ社は資金難で閉鎖された」と書かれた通知書が置かれていた。

同社の経営者の1人である Kevin Starr (写真右) は、その話になると、今でも得意顔で笑う。事の顛末は、Shapiro のリアクションを撮影して記録しようと、Starr と仲間が仕掛けた悪ふざけであった。「Mikhail は『この会社ならいつかこうなると分かっていたよ』とでも考えていたんでしょね」と Starr は回想する。

現在はカリフォルニア工科大学(米国パサデナ)で教授を務める Shapiro がまんまとだまされたことを、笑う人はいない。2007年といえば、2000年代初頭の技術バブルはすでに崩壊していたし、サードロック社が投資するバイオテクノロジー製品の分野は、市場投入までの行程が長い上に成功率が低かった。そのため、投資家たちはこの分野への出資に尻込みしていた。Starr がもう1人の設立者 Mark Levin (写真左) とともに、「ゼロからバイオ技術企業を立ち上げる投資ファンド(投資を募りリターンを分配する仕組み)を作るためには、我が社に3億7800万ドル(約378億円)が必要だ」と話すと、投資家に笑われたという。「その10分の1くらいを目指すようにと諭されましたよ」と Starr。

大方の予想に反し、サードロック社はその創業資金を確保することに成功した。以来、右肩上がりに成長し続けている。同社はこれまでに13億ドル(約

1300億円)を稼ぎ出し、投資する新興企業数は30社を超える。投資先企業の多くは、がんエピジェネティクスや遺伝子療法、医療診断薬などの領域の最新研究を基盤としている(次ページ「投資先の評価」を参照)。

投資先企業の製品については、ようやく臨床試験に流れ始めたような状態ではあるが、同社の目が確かだったことを示す兆候が2013年に入って見え始めた。同年1月に同社は、Lotus Tissue Repair 社(米国マサチューセッツ州ケンブリッジ)を売却した。この組織工学企業は、ジストロフィー型表皮水疱症(皮膚を弱体化させる重篤で希少な疾患)に対する治療法を試験の段階ではあるが有している。売却条件では、Lotus 社がある中間的目標を達成できたら、サードロック社は20倍のリターンを得ることになっている。また3月には、同社は3回目の投資ファンドを組み、5億1600万ドル(約516億円)による新たな16社の立ち上げが行われた。そのファンドには野心的な投資家が集まり過ぎたため、一部は断らざるを得なかったほどだ。さらに夏には、同社のポートフォリオから2社の株式が公開され、株価はすぐさま急騰した。そして9月末、がん診断薬企業の Foundation Medicine 社(米国マサチューセッツ州ケンブリッジ)が、三番手としてそれに続こうとしていた。

マサチューセッツ工科大学(MIT; 米国ケンブリッジ)のバイオ工学研究者 Robert Langer は、「創業間もない企業への投資はあまり良くないと、長い間言われてきました。そのリスクを冒したサードロック社が今、利益を上げつつあるのだと思います」と話す。Langer 自身、彼の研究から数十社をスピンオフさせている(*Nature* 2009年3月4日号22~24ページ、および*Nature* ダイジェスト2009年5月号16~20ページ参照)。

ゆったりしたバイオ技術企業

サードロック社のオフィスは、ボストンのニューベリーストリートにある。流行

の最先端に行く高級ブティックやカフェがひしめくこの街で、サードロック社は2007年以来、オフィスを拡張させてきた。2013年の夏、焼け付くような日差しのある日のこと、オフィスの椅子に腰掛ける Starr は、「Beach Punk 1982」と書かれた緑色のTシャツに迷彩柄の短パン、それに銀色のアクセサリを身に付けていた。ワイシャツは、ハンガーにかけてしまわれたままだ。

Starr のゆったりしたスタイルにビジネス誌は大いに注目した。そしてあらためて、Starr がもう仕事をしなくても生きていける人物であることを人々に思い出させた。2003年、Starr はミレニアム・ファーマシューティカルズ社(米国ケンブリッジ、以下ミレニアム社)の最高執行責任者(COO)の職を辞した。バイオ技術大手のミレニアム社は、ブロックバスター抗がん剤のベルケイド(ボルテゾミブ)を発売したばかりだった。Starr が退社して間もなく、ミレニアム社を創業した Levin も同社を去った。2人はビジネスの世界を引退した。その後、世界旅行から自主製作映画やブロードウェー・ショーのプロデュースまで、大金を持つ若隠居が普通にやる道楽に明け暮れていた。2006年、毎年恒例となったラスベガスでの長期旅行でゴルフやカジノに興じているさなか、Starr は Levin から「なあ、また一緒に何かやってみないか」と言われたのだという。

ベンチャーキャピタルは、科学を医学的進歩につなげる上で重要な役割を担う。つまり、長期間に及ぶ不毛な研究に取り組む企業が、何らかの利益が期待できるようになるまで支える役割だ。毎年米国では、ベンチャーキャピタルの何十億ドルという資金がバイオ技術企業に流れ込んでいる。この金額を超えるのはソフトウェア業界だけだ。2000年代半ば、この莫大な投資の多くは、すでに臨床試験中の製品を持っている完成された企業に向かっており、未熟な企業への資金投入はごく一部分にすぎなかった。しかし、製薬企業は社内の研究予算を絞り、新薬

投資先の評価

サードロック・ベンチャーズ社のポートフォリオには、さまざまな分野で医薬品や治療法を開発中の企業が30社以上含まれている。



がん

1. Constellation Pharmaceuticals 社
ゲノムをエピジェネティックに調節するメチルトランスフェラーゼ EZH2 などのタンパク質を標的としている。
2. Igenica 社
がんに関連する抗体治療薬の発見を目指している。
3. Foundation Medicine 社
がんのプロファイルを遺伝学的に明らかにして患者と治療法とのマッチングを改善するツールを開発している。

代謝疾患

1. Ember Therapeutics 社
数ある機序の中で、体内に蓄積した褐色脂肪の活性化に基づいて、糖尿病薬と肥満症薬を開発している。
2. Zafgen 社
体が脂肪を代謝する仕組みを調節する酵素「メチオニウムペプチダーゼ 2」を標的としている。
3. Rhythm 社
食欲刺激ホルモンの調節によって肥満症を治療するペプチドを開発している。



装置

1. NinePoint Medical 社
生検を行わずに患者の組織の病変をリアルタイムに観察するシステムを開発している。
2. Seventh Sense Biosystems 社
皮膚の変化をモニタリングすることによって患者の健康状態を追跡する装置を開発している。
3. Cibiem 社
カテーテルを用い、交感神経系を調節することによって心血管疾患、糖尿病、腎不全の症状を制御する方法を試験している。

その他

1. Edimer 社
呼吸障害や汗腺欠損を伴う X 連鎖無汗性外胚葉形成異常症を研究している。
2. bluebird bio 社
鎌状赤血球貧血や小児副腎白質ジストロフィーなどの病態を治療する遺伝子療法を開発している。
3. Afferent Pharmaceuticals 社
炎症や傷害に伴う慢性疼痛状態を治療する P2X3 という神経受容体を標的としている。

を中小のバイオ技術企業に求めていた。

そうした変化の中に Starr と Levin はチャンスを見いだした。革新的なバイオ技術企業への需要はあるはずなのに、それを満たすベンチャー投資家はほとんどいなかった。2人はスターボックスで話し合いを重ね、柱となる高度なバイオ技術知識を持つ要員を集めることなど理想のベンチャーキャピタルの細部を詰めた。

目立つ

Levin と Starr、それにミレニアム社で研究開発を統括していた Bob Tepper は、典型的なベンチャー投資家とは一線を画したいと考えていた。一般的なベンチャーキャピタルは、社外の研究者の発想やビジネス提案をふるいにかけて、会社の設立を支援し、新規に集めた経営陣に経営を委ねる。Starr たちは、新しく立ち上げる会社でもミレニアム社で感じていた「何でもできる」というスローガンを持ち込みたかったのだという。そのた

めにまず、従業員は、候補者の面接が数カ月に及ぶことになろうとも、最適な人材に限定すると決めた。次に、社外からの提案に頼らずに投資先を選定する、つまり、自ら最新の科学に注目し、基本的にサードロック社のチームが考えた企業に投資することにした。「2012年は、社外から提示された計画が982件ありましたが、実際に投資した案件はゼロでした」と Starr は明かす。

ベンチャー投資家であれば、投資案件の科学的背景を理解する必要がある。サードロック社の特徴は、メンバー個人が背景の理解どころか細部にまでどっぷり浸かっていることだと、冒頭に登場したカリフォルニア工科大学教授の Shapiro は説明する。彼は現在、他のベンチャーキャピタル企業と提携している。「オタク集団なんです。実業界にいるのに、科学的厳密さはMITやカリフォルニア工科大学に匹敵するものだったのです」と Shapiro。サードロック社に在

籍している従業員約40人のうち、ベンチャーキャピタルで働いたことがあるのは Levin だけで、彼は化学工学者としての教育を受けた。他は、科学者、医師、バイオ技術企業トップとして、最前線でもまれた人々だ。Longwood Fund 社（米国ボストン）のベンチャー投資家 Michelle Dipp は、「数十年にわたる生の実験経験を持つ人たちです。恐ろしく優れたチームですよ」と高く評価する。

サードロック社は、手持ちの企業の経営を社外の経営者に移譲するときにも時間をかける。新しい経営者が来てくれるまで18カ月以上待つことも多い。最高の人材を連れてくるにはそれが大事だ、と Langer は言う。「優れた最高経営責任者の多くは、リスクの高い新興企業に手を出そうとしません。サードロック社の案件の場合、新しい経営者は、出来たての会社ではなく2年経った生きのいい会社を手に入れることができるのです。

育て上げるべき新しい会社を発見する

ためには、有望な発想を探索せねばならない。サードロック社は、その作業に3分の1ほどの時間をかける。そして選ばれた会社には、最高200万ドル(約2億円)が投資される。ただし、社内で「Third Rock Ultra Killer Criteria (サードロック超厳格基準; TRUKK)」と呼ばれる長く厳しい選別プロセスをくぐり抜けなければならない。TRUKKでは、医薬品の候補については、核となる知見が第三者の実験室によって再現され、毒性の危険性が認められないことが求められる。

サードロック社は、プロジェクトの発想を大手製薬企業の窓口にも流す。相手企業の社内に同じプロジェクトを進めている研究者がいれば、大抵の場合は競合を避ける。あるいは、製薬企業側から「発想は良いのだが、後期臨床試験のデータが分からなければ投資しない」と言われれば、そのプロジェクトは破棄する。可能性を追求するために、サードロック社は実際に役に立つかどうかを容赦なく検討する。

またプロジェクトは、TRUKKに適合させるために3年以内に臨床試験へ移行できるものでなければならない。厳しいことだが、投資サイクルが10年のベンチャーキャピタルでは宿命なのだ。Starrは話す。つまり、決定に痛みが伴う場合があるということだ。数年前、同社のチームは長鎖非コードRNAと呼ばれる種類の遺伝子発現調節因子について、治療薬としての有望性を評価した。ホットな領域で、チームはその可能性にほれ込んでいたが、サードロック社の基盤とするには臨床化までの時間が長過ぎた。

机上では冷徹だが、初期に行った投資では規則を曲げたこともある。アジオス・ファーマシューティカルズ社(米国ケンブリッジ、以下アジオス社)は、腫瘍の増殖を助長する代謝変化を標的とする薬剤を開発している。アジオス社は、サードロック社が2007年に支援した最初の企業群の中の1社だったが、アジオス社がそのリード化合物(代謝遺伝子*IDH2*に変異が生じた腫瘍を攻撃する

薬剤)の臨床試験を開始するときには、2013年8月になっていた。

アジオス社の最高経営責任者David Schenkeinによれば、初期のリード薬が狙いどおりに機能しなかったために新たな候補をゼロから開発することを余儀なくされたが、その際にサードロック社からの圧力は感じなかったという。Starrは、そのような失敗がいくつかあることは織り込み済みだと説明する。その遅れが双方にとって問題でなかったことは、2013年7月にアジオス社の株式が公開されたときに投資家によって証明された。アジオス社は1億600万ドル(約106億円)を調達し、株価は取引初日に56%上昇したのだった。

危険な前例

ミレニアム社の歴史を意識して、アジオス社のような企業に注意深いまなざしを向ける人もいるだろう。1993年に設立されたミレニアム社は、サードロック社に支援される多くの企業と同様に「製品エンジン」を目指していた。つまり、1つの科学的根拠や技術に立脚してさまざまな治療法を生み出すような会社だ。ミレニアム社の場合、その根拠になったのは、新しいヒトゲノミクスデータを基盤とする個別化医療だった。ミッションが破綻したことで、この時代の他の会社と同様にミレニアム社の社内研究プログラムも崩壊し、キャッシュは次第に枯渇した。しかし同社は、その専門性を利用して外部企業の有望な医薬品候補を見つけ出し、それを社内に導入して開発の最終段階を担い、上市に持ち込んだ。利益を得たのは長期の投資家だ。というのも、2008年、ミレニアム社は武田薬品工業(大阪)によって88億ドル(約8800億円)で買収されたのだ。

ミレニアム社が科学的に成功したかどうかについては議論があるかもしれないが、急成長するボストン・ケンブリッジ地域のバイオ技術産業に計り知れない影響を与えたことは間違いない。かつての従業員たちは現在、その地域のバイオ技

術企業の経営者になっていたり、中枢近くにいたりする。彼らの多くは、Levinその人や、Levinがミレニアム社で築いた文化について迷うことなく賞賛する。かつてミレニアム社で分子細胞生物学部門を統括し、現在は製薬企業Nimbus Discovery社(米国ケンブリッジ)の最高科学責任者を務めるRosana Kapellerは、「私たちは科学者として加わり、起業家として離れたのです」と語る。

明るい見通し

ミレニアム社が最初のミッションが失敗に終わっても成功することができた理由はその環境にある、とStarrは話す。「的確な方法と文化で会社を設立し、持続性のある素晴らしい会社に育てたのです。1つのモデルにはまって壁めがけて突き進む会社ではありません」。

アジオス社は、その点でミレニアム社とよく似ているかもしれない。アジオス社は2012年、新しい化合物の開発に加え、遺伝性の代謝疾患にも手を伸ばしてミッションを拡大した。重度の貧血を引き起こす希少な代謝疾患「ピルビン酸キナーゼ欠乏症」の治療を目指した化合物が開発され、2014年に臨床試験を開始する予定だ。

医学的な革新と投資家へのキャッシュリターンをいずれで判断するにしても、サードロック社が成功したかどうかの評価されるには数年かかるだろう。しかし、サードロック社のチームに近い人々はあることを確信している。それは、悪ふざけが続くということだ。2007年にStarrが演出したジョークの詳細を確かめようとすると、Shapiroは困惑して「どのジョークのことですか」と聞き返してきた。

「信じられないような業績を挙げた、能力の極めて高い人たちの集団です。でも、肩の力を抜いた人たちなんですよ」とShapiroは形容した。 ■

(翻訳: 小林盛方)

Heidi Ledford は、米国マサチューセッツ州ケンブリッジから *Nature* に寄稿している。



3期目を迎えるドイツのアンゲラ・メルケル首相。

ドイツの科学は絶好調

Germany hits science high

QUIRIN SCHIERMEIER 2013年9月19日号 Vol. 501 (289-290)

8年間のメルケル政権下で積極的な投資を受けてきたドイツの科学が絶好調だ。

しかし、2013年9月のドイツ連邦議会選挙をきっかけに、
予算上の圧力が科学への投資にブレーキをかけるのではないかと懸念も出てきた。

ドイツのアンゲラ・メルケル首相は、元は物理学の研究者だった。それもあってか、ドイツの科学研究は、彼女が最初に首相に就任した8年前から、政府からの豊富な資金提供を受けて繁栄を謳歌してきた。2013年9月22日にはドイツ連邦議会選挙が控えている（訳註を参照）。事前予想では、メルケル首相が率いるキリスト教民主同盟（CDU）と自由民主党（FDP）の連立与党が優勢だが、選挙後に政権が3期目に入ると、この満ち足りた日々が終わってしまうのではないかと科学関係者は懸念を募らせている。

表面的には、あまり心配する必要はなさそうに見える。ドイツ連邦政府の科学

関連の支出は、2005年には総額90億ユーロであったが、2013年には60%も増加して約144億ユーロになった（「ドイツ科学の興隆」参照）。ちなみに1995年から2005年までの期間、ドイツの科学予算は7.5%しか増えなかった。産業分野の研究も盛んになっている。ドイツは現在、国内総生産（GDP）の3%近い金額を科学技術のために支出している。この3%という数字は、EUの成長戦略「EU2020」の主要目標として掲げられたもので、今のところ、フィンランド、スウェーデン、デンマークしか達成できていない。

これらの投資は十分な成果を挙げた。2013年9月、世界経済フォーラム（ス

イス）は、ドイツの国際競争力ランキングの順位を2つ上げて、スイス、シンガポール、フィンランドに次ぐ第4位とし、研究開発への強力な投資がドイツの競争力を高めたと評した。

ドイツの82の研究所を運営するマックス・プランク学術振興協会の会長で、間もなく退任することが決まっているPeter Grussは、「科学を我が国の富と革新力の支えとしてしっかりと根付かせたことは、メルケル首相の大きな業績です」と言う。けれども選挙後に、債務削減、福祉、輸送などの予算上の圧力によって科学への投資が打ち切られるようなことになれば、バラ色の日々は終わってしまうと懸念している。

ドイツの政治状況は複雑だ。CDU・FDP連立与党の主なライバルは、Peer Steinbrückが率いる左派のドイツ社会民主党（SPD）である。けれどもSPDも、政権を奪取するためには、他の政党と連立を組む必要がある。連立パートナーの最有力候補は緑の党だが、このような小政党は、議席獲得に必要な得票率5%を達成できないことがしばしばあるため、CDUとSPDの大連立政権が誕生する可能性も否定できない。

科学をめぐる状況は、政治よりも単純だ。各党の選挙綱領を見ると、緑の党と左翼党を含め、現時点で議会で議席を持っている全ての政党が、科学を重視する姿勢を明確にしている。例えば、ドイツは現在、再生可能エネルギー源を柱とする脱原発、低炭素システムへの移行を計画しているが、全ての政党が、この「Energiewende (エネルギーシフト)」を支援するためのエネルギー研究を優先すべきだとしている (*Nature* 496, 156-158; 2013参照)。また、ドイツで急激に進んでいる高齢化に対応するため、健康関連の研究を強化・再編するとの政党間合意もある。

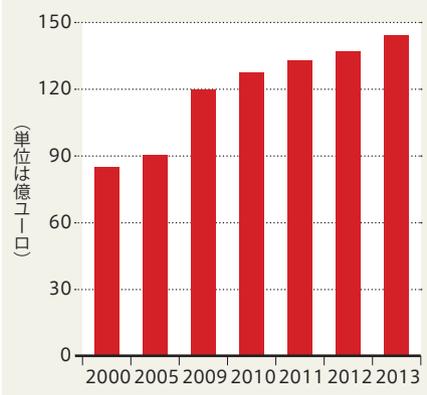
気候変化も同じだ。また、2022年までにドイツ国内にある原子力発電所を全て停止するという決定など、主要な科学的問題に関してすでに合意されている方針を覆そうとする政党はない。

メルケル首相自身は、GDPの3%を研究開発に支出するという目標達成にドイツが「後れをとることはない」と断言している。しかし、ドイツ政府は、債務危機に陥っているギリシャをはじめとするユーロ圏の国々に対する債務減免と資金支援という重荷を背負い、自らに厳しい財政的制約を課している。「Schuldenbremse (債務ブレーキ)」と呼ばれる2009年の憲法改正により、連邦政府は2016年から、州政府は2020年から、赤字を出すことが許されなくなる。

ドイツの科学ブームは当面は続くだろう。マックス・プランク学術振興協会、ドイツ研究センターヘルムホルツ協会、および、大学に対する主要な研究資金提供機関であるドイツ研究振興協会 (DFG) などは、第一次および第二次メルケル政権と共同で協議した結果、研究機関の財務計画を保障する「研究・イノベーション協定」をかちとり、過去8年間、その恩恵を受けてきた。各研究機関の予算は、2005年から2008年までは年3%、それ以降は年5%増額されてきた。また、ドイツ連邦教育研究省は、大学院や共同研究を支援する46億ユーロ規模の政府ブ

ドイツ科学の興隆

2000年以降、ドイツ連邦政府の科学関連の支出は約70%増加し、現在ではGDPの3%に近づいている。



ロジェクト「エクセレンス・イニシアチブ」のために34億ユーロを提供している (*Nature* 487, 519-521; 2012参照)。

DFGにとって、科学ブームはプラスとマイナスの影響をもたらした。財源は大きくなったが、DFGへの助成金申請の成功率は、2009年の47%から2012年の32%へと低下したのだ。その原因としては、助成金を申請する科学者の人数が増えたことや、助成金の規模が大きくなったことが考えられる。DFGのPeter Strohschneider会長は、「これは、優れた研究申請であっても助成金を獲得できない場合があることを意味しています」と言い、研究者のやる気が下がることを心配する。

とはいえ基本的にはムードは良い。この10年で、ドイツ科学はその欠点をかなり克服することができた。マックス・プランク研究所が過去10年間に採用したポストドクの90%近く、大学院生の50%、科学ディレクターの40%以上が外国人である。同研究所は、新興分野で最先端の研究所も設立している。ミュールハイムでは、科学者たちが化学エネルギー変換とエネルギー貯蔵の改良法を研究している。海洋科学者たちは、建造費4億5000万ユーロをかけた新しい砕氷船の完成を楽しみにしている。

しかし、今後の見通しは文句なくバラ色というわけではない。連立与党とドイツ

社会民主党 (SPD) は、2015年に終了する予定の研究・イノベーション協定を延長することに賛成しているが、延長が保証されているわけではない。また、2017年にはエクセレンス・イニシアチブが終了するため、期間雇用されている数千人の科学者が失業する恐れが生じている。

リスクにさらされているのは若手研究者である。ボン大学の幹細胞研究者 Oliver Brustle は、科学研究におけるドイツの存在感が増していることは認めながらも、「ドイツは若手科学者のキャリア開発に積極的に取り組む必要があります。ここには十分なテニュアトラックがないのです」と言う。ドイツの連邦制では、大学は16の州の管轄下にある。学生数の増加とともに、多くの研究機関、特に、北部と東部の財政的に苦しい州の研究機関が、資金不足気味になっている。そこで、憲法を改正して、中央政府が大学に資金を直接提供することを可能にし、講師と研究者の給料を増額することが提案されたが、州の支持を得ることができずに2012年に廃案となった。しかし、全ての政党が選挙後に再びこの問題に取り組むことを表明している。

ドイツ大学学長会議の Horst Hippler 会長は、「多額の資金が注入されても、資金の流れが続くという保証がなければ、大学は終身のポストを提供できません」と言う。「次の政府は、この問題に緊急に対処しなければなりません。さもないと、単なる科学バブルに終わってしまいます」。

(翻訳：三枝小夜子)

(追加報告は Alison Abbott による)

訳註：9月22日の選挙の結果、メルケル首相が率いるキリスト教民主同盟 (CDU) は大勝したが、単独過半数を獲得することはできなかった。連立パートナーであった自由民主党 (FDP) は、得票率が5%を下回ったために議席を獲得できなかった。そのため、CDU は緑の党との連立かドイツ社会民主党 (SPD) との大連立の可能性を探っていたが、緑の党が連立不参加を表明したため、現在は SPD との大連立交渉を進めている。

幽霊著者による論文のミステリー

Mystery over obesity 'fraud'

DECLAN BUTLER 2013年9月26日号 Vol. 501 (470-471)

自分の研究成果を、
明らかに悪意を持った幽霊によって発表されてしまった研究者がいる。

ゴースト・ライティング(代作)といえ、他の人のためにもものを書くことだが、このほど発覚した不可解な詐欺事件は、全く別の意味を持つ。2013年7月、肥満研究における重要な知見を報告する論文(A. Vezyraki *et al. Biochem. Biophys. Res. Commun.* <http://doi.org/nxb>; 2013)が発表されたが、この場合、論文の著者が幽霊だったのだ。著者とされる人物は、論文に掲載された研究機関には所属しておらず、研究者としての実績も何ひとつ見つからなかった。

これまでも、査読プロセス(ピアレビュー)の欠陥を指摘するためにダミー論文を投稿してくるケースはあった。しかし、今回、Elsevier社の学術誌 *Biochemical and Biophysical Research Communications (BBRC)* で発表された論文は、それらとは明らかに性質が異なっている。その内容は、脂肪細胞における2つの新規タンパク質の過剰発現が、マウスの糖尿病と肥満に関連した代謝過程の改善につながるというもので、そのこと自体は紛れもない事実だったのである。

「正し過ぎる」というのが、ハーバード大学医学系大学院(米国マサチューセッツ州ボストン)のダナ・ファーマーがん研究所の細胞生物学者Bruce Spiegelmanの意見である。彼は、この論文と同様の知見をこれまでに6回ほど発表したことがあり、学術誌に投稿する準備をしているところだった。彼は、BBRCに掲載された論文は、自分の研究室の研究を妨害するために投稿されたのではないかと疑っている。

問題の論文の著者とされる5人の研究者は、全員、テッサリア大学(ギリシャ・トリカラ)の保健学科に所属していると記されていた。論文のタイトルは、「新規分化促進アディポカインとしてのメテオリンとMETRNL: 脂肪合成とインスリン感受性の抑制における役割」である。アディポカインは脂肪細胞が分泌するタンパク質で、糖代謝、脂肪代謝、炎症、肥満に関連した代謝異常(インスリン抵抗性や糖尿病など)に強く関与している。

Spiegelmanは、論文を見た途端に怪しいと思ったという。メテオリンとMETRNLはほとんど研究されておらず、これらのタンパク質が肥満について何らかの役割を担っていることを示す論文は1本もなかった。「だから、これらが新規のアディポカインであり、脂肪細胞での過剰発現がマウスの糖尿病や肥満の改善につながったと報告する論文が唐突に発表されたのはおかしいと思ったのです」と彼は言う。その内容は、彼が学会で発表した研究の知見と全く同じだった。

7月20日、SpiegelmanはBBRCの編集長Ernesto Carafoliに電子メールを送って懸念を伝えた。彼はメールで、「見たところ、この論文の著者らはこれまでに学術論文を1本も発表したことがなく、掲載されている電子メールアドレスは学術研究機関のものではありません」と指摘した。「さらに奇妙なことに、Google、PubMed、著者らが所属していたとしたテッサリア大学のウェブサイトを調べても、そうした人物がテッサリア大学にいるという記述が見つからないのです」。

CarafoliはElsevier社とともに調査を開始した。Elsevier社は8月8日にBBRCのウェブサイトから問題の論文を一時的に撤回し、テッサリア大学に問い合わせをして、論文に掲載されている研究者が同大学で研究を行ったことがないことが確認できたため、この論文を完全に撤回する予定だ。

脂肪細胞の分化について研究しているSpiegelmanは、代謝異常の治療法を開発するEmber Therapeutics社(米国マサチューセッツ州ウォータータウン)の共同設立者でもある。彼は、問題の論文は、自分と自分の研究室に害をなすために投稿されたと考えている。科学者の不正行為は、自身の地位を高めるために行われるのが普通だが、問題の論文の著者は幽霊なので、投稿者が利益を受けることはできない。そうであるなら、自分に対する悪意という説明しか残らない、というのがSpiegelmanの主張だ。

「確かに電子メールのアドレスは変で、チェックすべきでした」とCarafoliは認めるが、それ以外には論文に怪しい点はなかったという。「非の打ちどころのない論文でした。著者が研究者であることは明らかでした」。

問題の論文が「捏造」されたものであると確信するSpiegelmanは、この件は犯罪として捜査するべきだと主張する。彼は弁護士から、今回の捏造論文は単なる科学者の不正行為ではなく、詐欺にあたるかと教えられた。Carafoliも同じように考えている。けれどもSpiegelmanは、たとえ犯人の標的が彼であったとしても、彼が訴訟を起こすことは、根拠がないのでほとんど不可能だろうとも助言されたという。これに対して、Elsevier社、BBRC、テッサリア大学には、犯人の詐欺行為を告訴する根拠が認められるかもしれないという。

Elsevier社はNatureに、関連当局とともに、「本件がインターネット詐欺の刑事事件に該当するかどうかを検討中です」と語った。

(翻訳: 三枝小夜子、要約: 編集部)

特許収益に奔走する大学にとっての 落とし穴

Universities struggle to make patents pay

HEIDI LEDFORD 2013年9月26日号 Vol. 501 (471-472)

ライセンス供与の申し出のない知的財産を多数抱えた研究機関が、不適切と思われる企業との協力関係に追い込まれている。

「物体の表面を画像化する方法の発明」に関する米国特許第7023435号は、カリフォルニア工科大学（米国パサデナ）が出願した特許であり、米国特許庁による4度の拒絶を乗り越えて、2005年によく権利化にこぎ着けた。同大学は、苦勞して勝ち取ったこの特許に価値があると信じているが、産業界からの反応はなく、3年経過しても実施権のライセンス契約には結び付かなかった。そこで同大学は、2008年にインテレクチュアル・ベンチャーズ社（米国ワシントン州ベルビュー、以下IV社）の子会社との間で、この特許を含む約50件の特許に関して、独占的ライセンス契約（独占的かつ排他的な実施権の付与。つまり他社に対し差止め請求などが可能）を締結した。要するに二束三文で処分したわけだ。

IV社がこうして買い集めた特許の数は4万件にも上る。同社は、集めた特許を武器に、年間30億ドル（約3000億円）ものライセンス使用料を荒稼ぎしている。彼らは、所有する発明や知的財産を自ら発展・展開することはほとんどなく、もっぱら、特許権の侵害訴訟ないしはそれを攻撃的交渉手段として、莫大な利益を上げているのだ。

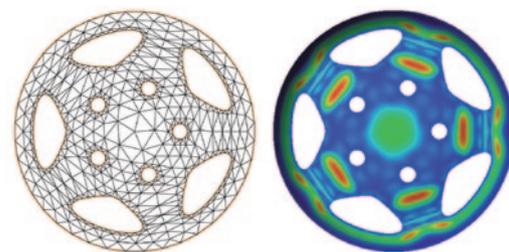
IV社のような合法的な“特許ゴロ”を、米国ではパテントトロール（特許の怪物）、あるいはアグリゲーター（特許収集屋）、マネタイザー（特許収益化事業体）などと呼ぶ。大学が所有する発明をそうした問題視される事業体に委ねることに

対しては、当然ながら、疑問の声が上がっている。しかし大学の技術移転部門は、研究成果を学外に展開させて利益を上げるよう強い圧力を受けており、契約相手をより好みできなくなっている。

「大学自体が収入源を見つけるのに苦しんでいるため、パテントトロール企業からの甘言が、非常に魅力的に映ってしまうのです。これは由々しき問題です」と話すのは、カリフォルニア大学ヘイスティングス法科大学院イノベーション法科研究所（米国サンフランシスコ）の所長Robin Feldmanだ。実際にその兆候が見られると話す彼女は2012年、全世界の45大学の特許がIV社のダミー会社群にライセンス供与ないしは売却された証拠を公表した（T. Ewing & R. Feldman *Stanford Technol. Law Rev.* 1; 2012）。

当のIV社は、パテントトロールという扱いに立ちを隠さない。同社の海外技術部門長を務めるPatrick Ennisは、商業活動している証拠として、新興企業3社の立ち上げに貢献したこと、またカリフォルニア工科大学などの大学とは、特許権譲渡の見返りに研究助成契約を結んでいることを挙げる。

大学が特許をライセンス供与する目的は、多くの場合、公的資金の助成を受けた研究を企業や製品に反映させることで、景気を刺激することとされる。しかし、別の狙いが隠されている。それは、研究に対する助成金と技術移転部門の運営費をもっと多く獲得することだ。



カリフォルニア工科大学が特許を取得した方法による表面の画像化。この特許は、問題視されているパテントトロール会社にライセンス供与されてしまった。

そう説明するのは、コーネル大学（米国ニューヨーク州イサカ）の技術移転担当官を務めたことがあり、現在はコンサルタントとして働くMelba Kurmanだ。この2つの目的は、矛盾することがある。「特許ポートフォリオの収益化が目的なのであれば、競売にかけて、最高価格で入札した者に売却するのが理にかなっています。しかし、税金で助成した研究による特許の場合、この方法は容認できません」とKurmanは話す。

しかし実際には、入札者を1人でも見つけられれば、技術移転担当官として評価される。というのは、彼らの多くは、実用化までに何年もかかるような特許を、数多く抱え込んでいるのが現実だからだ。デラウェア大学（米国デラウェア州ニューアーク）技術移転室で担当部長を務めるJoy Goswamiの見積もりによれば、ほとんどの大学では、保有特許のわずか5%しかライセンス供与できていないという。残りの特許には維持費や法務費などのお金がかかるばかりで、事務資源が無駄につき込まれている状況だ。

2013年9月9日と10日、米国マサチューセッツ州ボストンで大学技術マネージャー協会（Association of University Technology Managers: AUTM）の会議が開催され、ライセンス供与されていない95%の特許の負担を軽減する方法について、Goswamiが議論を主導した。1つの方法は、知的財産の取引を専門とするブローカーやオークション会社を使って

特許を売却することだ。この解決法には異論があり、一部の大学は尻込みする。「大学側としては、特許を公共の利益に最も資する方法で確実に管理したいのですが、特許を売却すれば、その手段を失うことになります」。こう話すのは、ノースカロライナ州立大学(米国ローリー)の技術移転室長Kelly Sextonだ。同大学はうまくいっている方で、特許の15%をライセンス供与している。

特許ブローカーのIPOfferings社(米国フロリダ州ボーカラトーン)の副社長Thomas Majorは、大学側の躊躇が理解できないという。彼は、ユタ大学(米国ソルトレークシティ)で9年間知的財産の管理に携わった経験があり、「大学がオークション会社を無視するのは無謀としか思えません。ユタ大学にいた頃、私はライセンス供与できないような特許はすぐに売却していました」と打ち明けた。

IPOfferings社がこの3年間に扱った大学の特許は約20件あり、これは同社

の総事業収入の約7%に相当する。特許のオークションで最も有名なOcean Tomo社(米国イリノイ州シカゴ)の最高経営責任者James Malackowskiによれば、同社に接触を図る大学の数が増えており、現在は大学からの収入が総事業収入の約20%を占めると話す。大学側の懸念に対し、MajorもMalackowskiも、「特許を購入する側、あるいは独占的ライセンスを受ける側について、会社で制限を定めることは可能だ」と説明する。たとえそれができても、ある大学はパテントトロールの提示額を見てオークションの申し込みを取り消したことから、「結局は、金額の問題なのです」とMajorは話す。

こうした大学側の決定は、100以上の研究機関が2007年に承認した倫理的な特許ライセンス供与の指針に関する覚書の精神に反する。この文書には、特許アグリゲーターと関係する際のリスクについての記述があり、署名者に

は、カリフォルニア工科大学をはじめ、Feldmanによる調べでIV社へのライセンス供与が明らかになったデューク大学(米国ノースカロライナ州ダラム)、フロリダ大学(米国ゲインズビル)、オタワ大学(カナダ)の名前も並ぶ。特許取引について問いただすと、上記の大学は全てコメントを拒否した。

カリフォルニア工科大学の数学者Peter Schröderは、米国特許第7023435号の3人の発明者の1人だが、「頭痛の種にはなっていません」とあまり気にしていない。もしIV社が彼の特許を使って他の会社を困らせているのなら気になるが、これまでのところ、そんなことが起こったという話は聞いていないからだ。 ■

(翻訳：菊川要、編集：編集部)

訳註：パテントトロールによる特許侵害訴訟を抑えることを目的とした米国特許法の改正案が、2013年10月23日、米連邦議会下院に提出された。

ゲームでマルチタスク“脳力”がアップする！

Gaming improves multitasking skills

ALISON ABBOTT 2013年9月5日号 Vol. 501 (18)

認知能力は加齢に伴って低下するが、
ゲームをすることでそれが回復するという研究結果が現れた。

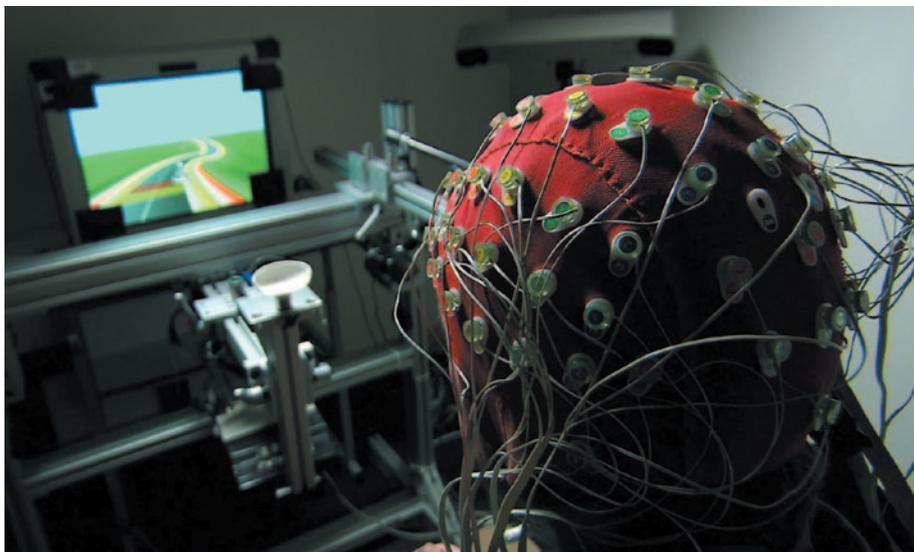
65歳の女性Ann Linseyは、近頃、何をやってもすぐに集中力が散漫になってしまうことが気になっていた。「年をとるにつれ、一度に複数のことをするのが難しくなってきました」と話す。そんな彼女が、ゲームをプレーすることによって高齢者の認知能力の衰えを改善することができるかどうかを調べる実験に参加

した。結果は実に素晴らしいものだった。「私は自分の能力が失われていくのをひしひしと感じて、失望していました。でも、この実験に参加して、注意を集中させる方法を学んだのです」とLinseyは語る。

ゲーム会社は何年も前から、コンピューターゲームをプレーするとユーザーは賢くなる可能性がある」と主張して

いたが、ゲームのスキルが上達してもそれが日常生活に反映されるという証拠はないと批判を浴びた¹。今回、Nature 2013年9月5日号に報告された研究²(Linseyが参加したもの)の結果から、特定の認知障害に適合するように作られたゲームであれば、実際に効果をもたらすことが示された。

カリフォルニア大学サンフランシスコ校(米国)の神経科学者Adam Gazzaleyらは、「ニューロレイサー(NeuroRacer)」と名付けた特製3Dビデオゲームを使って、高齢者にマルチタスク(ほぼ同時に複数の作業をする課題)のトレーニングをしてもらった。その結果、高齢者のマルチタスク能力は向上する可能性があり、その効果は日常生活での活動にまで及んでいるように見え、しかも6カ月以上持続した。またこの研究では、そうした認知能力の向上に応じて脳活動パターンがどう変化するかも明らかになった。



ビデオゲームをプレーすることで脳の活動が活発になり、それに伴って認知機能も向上する。

ニューロレイサーの概要はこうだ。プレイヤーは、画面中の曲がりくねった山道を走る車が道から外れないよう、左手の親指でコントローラーを操作する。そして標識がランダムにポップアップされるので、車の操縦に注意しながらそれを見逃さないように気を配り、特定の形と色の標識が現れたときには、右手の指でコントローラーのボタンを押して撃ち落とさなければならない。Gazzaleyによれば、このようなマルチタスク練習では、プレイヤーは実生活での活動と同じようにさまざまな認知能力を組み合わせるという。例えば、注意の集中、タスクの切り換え、ワーキングメモリ（作業記憶：情報処理のために複数の記憶を一時的に確保しておくこと）などだ。

Gazzaleyの研究チームは、まず、20代～70代の6つの年代から約30人ずつ集め、ゲームの成績で、マルチタスク能力が年齢に応じて直線的に落ちていくことを確認した。次に、60歳～85歳の実験参加者を46人集め、ゲームが上達すると難しさが増していくようプログラムされたニューロレイサーで4週間トレーニングしてもらった。

トレーニング後、被験者は、トレーニングをしていない20歳の若者たちよりも高いスコアを出すほどに上達した。し

かもこのスキルは、練習しないでも6カ月以上保たれた。

研究チームは被験者に対し、トレーニングの前後に一連の認知能力テストも実施した。その結果、ワーキングメモリや注意の持続など、ゲームで特にターゲットとしていなかった種類の認知能力の中にも改善が見られたものがあったのだ。しかもその改善は持続した。どちらの能力も、新聞を読んだり、食事を作ったりするといった日常の活動に欠かせないものだ。

「ニューロレイサーをプレーするときにはそれほど要求されない能力が改善したのです。この点が重要です。つまり、マルチタスクに挑戦することで認知制御システム全体に圧力がかかり、コンポーネントの全てのレベルが上がったようなのです」とGazzaleyは説明する。

またチームは、被験者がニューロレイサーをプレーしている間の脳の活動も脳波測定によって記録した。彼らの能力が向上するにつれ、脳の前頭前皮質の活動も活発になった。これは認知制御と関連していて、注意持続課題の成績向上との相関が見られた。さらに、前頭前皮質と脳の後部を連絡する神経ネットワークの活動も上昇していた。

脳トレーニング用コンピューターゲー

ムの有効性をめぐっては、両極端の意見があると、カロリンスカ研究所（スウェーデン・ストックホルム）の認知神経科学者のTorkel Klingbergは言う。「一部の会社は科学的根拠のない非現実的な主張をしています。一方で、心理学者の中には、ワーキングメモリや注意は固定されていて、トレーニングで向上させることはできないと主張する人もいます」。

もちろんGazzaleyの研究は、認知機能が改善可能であることを裏付けている。ただしそれは、トレーニング方法を正しくデザインした場合だとKlingbergは言う。彼は、1999年に、特に注意欠陥障害の人々を対象にしたコンピューターベースのトレーニング法を提供する会社Cogmedを設立し、現在コンサルタントを務めている³

Gazzaleyも昨年、Akiliという会社を共同設立し、アドバイザーを務めている。ニューロレイサーは研究用ゲームだが、Akili社ではニューロレイサーの商用版を開発中で、米国食品医薬品局（FDA）の承認を得て治療用として販売したい考えだ。ゲームアプローチは、例えばうつや統合失調症に見られる特定の認知障害の改善にも役立つかもしれないとDaphne Bavelierは言う。彼女はジュネーブ大学（スイス）の認知神経科学者で、脳機能を改善するためのコンピューターゲームを開発し、Akili社のアドバイザーも務めている。

Gazzaleyは「ビデオゲームを万能薬と考えるのは早計です」と過剰な売り込みに警鐘を鳴らす。しかし、冒頭で紹介したLinseyは、ゲームによって認知能力が改善したことを喜んでおり、研究に貢献できたことにも満足している。「高齢者の脳でも学べるのが分かって、胸がわくわくします。私自身の脳が、この発見を助けたのだと思うととてもうれしいです」。

（翻訳：古川奈々子）

1. Owen, A. M. et al. *Nature* **465**, 775-778 (2010).
2. Anguera, J. A. et al. *Nature* **501**, 97-101 (2013).
3. Klingberg, T. *Trends Cogn. Sci.* **14**, 317-324 (2010).



爬虫両生類学者でありスパイでもあった Edward Taylor。1912年撮影。

カエルを愛したスパイ

The spy who loved frogs

BRENDAN BORRELL 2013年9月12日号 Vol. 501 (150-153)

100年ほど前、野外調査と諜報活動の二重生活を送った悪評高き爬虫両生類学者がいた。現代の若い科学者が彼に関心を持ち、その足跡をジャングルの中に追ったところ、このスパイは、分類学者として、きちんと仕事を残していたことが判明した。

1992年、学部生だったRafe Brownは、フィリピンに旅立つ前に、これから出合いそうな生き物についてできるだけ多く知っておこうと、指導教官の本棚を探しまわった。そして、爬虫両生類学者として多くの業績を残したEdward Taylorが1922年に発表した研究論文を見つけた。その写真複写版をパラパラとめくるうちに、フィリピン産のトビヤモリ的一种 (*Ptychozoon intermedium*) にすっかり心を奪われてしまった。表皮は大理石模様で、指の間に水かきがあり、胴体の両脇には樹上から滑空できるようフラップ状の構造が付いていた。Brownにとって、こんな奇妙な動物を見たのは初めてのことだった。

Taylorは1912年にブナワンの町の近くで、このトビヤモリの最初の個体(タイプ標本と呼ばれ、新種の学名の基準となる)を採集し、それをマニラのフィリピン科学研究所(Philippine Bureau of Science)に預けた。しかし、その標本は第二次世界大戦で研究所の建物と一緒に破壊されてしまい、以後、このトビヤモリの目撃情報はなかった。「世界で最も希少なヤモリの1つを目にするチャンスは、どうすれば得られるだろうか」とBrownは思案した。

彼は、単なる好奇心だけに突き動かされたわけではなかった。フィリピンでは森林伐採が進んでおり、今のうちに、こ

のトビヤモリがまだ生息しているのかどうか、そしてまだ生息しているなら、他の地域で採集されたトビヤモリとどれくらい似ているのかを明らかにしたいと思った。つまり、70年前にTaylorが残した分類学が今も有効なのかどうか、知りたいと思ったのである。

野外調査の最初の夜、Brownは同僚たちと森の端までドライブして、ヘッドランプの光が照らす中に2つの赤い眼を見つけた。それはトビヤモリの仲間だった。ホテルに戻って採集したヤモリを写真に撮り、DNA解読のために組織試料を採取し、慎重に調整してそれを瓶に収めた。その個体は、Taylorの失われた標本に代わって新しい基準となる「ネオタイプ」標本となった。1997年、Brownはその種に関する新しい記載論文を発表した¹。これは、彼の執念を示す最初の証しであった。

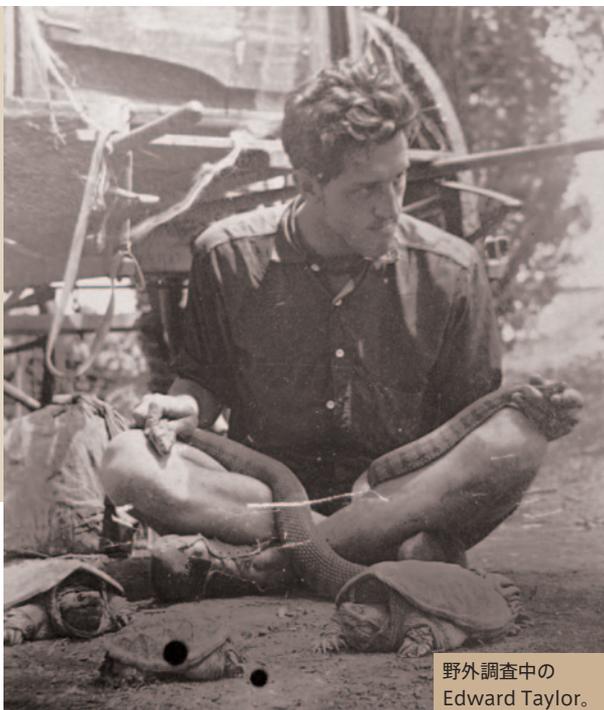
こうしてBrownは、約20年にわたってフィリピンの生物多様性を研究してきたが、その間、常にTaylorの影を感じていた。Taylorは一生のうちの23年間を野外調査域で過ごし、世界各地で7万5000体以上の標本を採集し、数百もの新種を命名した。

しかし、Taylorについて伝えられている話には暗い側面がある。彼は人種差別主義者で気難しく、被害妄想に悩まされていた。それはおそらく、米国政府の

スパイとして謎めいた二重生活を送っていたためと思われる。1978年に死ぬまで、彼は周囲の人間を次々と敵に回していった。彼の死亡記事の1つには、多くの人々にとって彼は「まさに鬼であり、その怒りを買った人間は誰もが災いを被った」と書かれている²。それよりも彼の評判を落としたのは、研究業績に対する批判であろう。フィリピンにあった彼の標本コレクションが消失した後、彼が命名した種の多くが無効もしくは重複だとされた。分類学の研究水準が上がって、Taylorの記載論文は古めかしくなってしまう、参照すべき標本も失われ、根拠が薄弱と思われたのである。

にもかかわらず、Brownはこの悪評高き先達との因縁を感じていた。それは、Brownが2005年にカンザス大学自然史博物館(米国ローレンス)で爬虫両生類学の学芸員になって一層強まった。ここは、Taylorが研究者人生の多くを費やした場所だったのだ。Brownはこの博物館で、Taylorの標本コレクションの一部を何年もかけて復元し、彼の記載した種の多くを復活させた。現在、彼はフィリピン産のカエルの一群に関する本格的な研究論文を仕上げつつあり、以前にも増して「Taylorは正しかった」と信ずるようになっていく。

Brownの再検討は、今後ますます重要な意味を持つに違いない。Taylorの



野外調査中の
Edward Taylor。



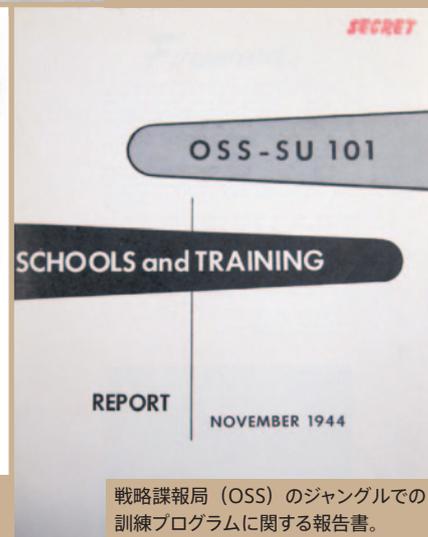
マニラにあったフィリピン科学研究所。
第二次世界大戦で破壊された。



1918年にシベリアでTaylorが
使った赤十字の身分証明書。



フィリピン産のトビヤモリ
(*Ptychozoon intermedium*)。



戦略諜報局 (OSS) のジャングルでの
訓練プログラムに関する報告書。

時代以降、分類学は単なる命名作業ではなくなっている。ある生物集団を新種として指定したり、あるいは既存の種にまとめるのもその仕事であり、それによって、法律による動物保護や保全用リソースの配分に影響することもあるのだ。特に両生類の減少は世界中で大きなニュースとなっており、存続の危うい生物種の純然たる割合を見ると、フィリピンはスリランカに次いで2位なのだ。

フィリピンの両生類の79%は地球上でこの地域にしか生息しておらず、46%は絶滅の危機に瀕している。しかしBrownは、Taylorの足跡を実際にたどることで楽観論の根拠を手に入れた。「多くの懸念が解消されました。Taylorが言った場所へ正しく行けば、今でも目的の種を見つけることができるのです」と彼は言う。

冒険への渴望

Brownは、カンザス大学自然史博物館の4階に保管されたTaylorの爬虫両生類学コレクションへと案内してくれた。黄色味がかかったアルコールの中にはトカゲが逆さまに漂っており、ヘビはコルクの栓抜きのように、らせん状に体を巻いている。また、ある標本瓶には20匹余りの小さくて黒っぽいカエルが詰められていた。棚に並んでいる瓶の蓋には、中身がタイプ標本であることを示す赤いリボンが巻かれていた。

見つけた個体が新種なのか、それとも既知の種の一形態なのかについて統一見解が得られない場合、タイプ標本を参照して再検討するか、その個体が採集された場所に戻る必要がある。Brownは1つの瓶を開け、胴体に小さいタグがひもで付けられた小型のトカゲを取り出した。

それはTaylorのオリジナルの標本コレクションの1つで、カリフォルニア科学アカデミー（米国サンフランシスコ）からの借り物だ。

博物館への収蔵は、全ての分類学者が憧れる研究業績の残し方であり、Taylorも例外ではなかった。彼は1889年4月23日に米国ミズーリ州メイズビルで生まれ、まだ10代の頃から、カンザス大学自然史博物館に標本を収め始めた。やがて23歳で行政職員になり、当時は米国植民地だったフィリピンで、1人だけの平和部隊としてミンダナオ島中部で首狩り族のための学校を作った。彼はこの地域で、例のトビヤモリや別のトビヤモリ種を採集した。次に彼は、マニラにある漁業関係の役所で働き、その後、フィリピン産哺乳類に関する研究でPh.D.を取得したが、彼が最も強い情

熱を注いだのは常に爬虫類と両生類だった。爬虫両生類学の研究のために、彼は人生のその他全てを犠牲にした。「私は約500種に命名しましたが、自分の子どもたちの名前を思い出せないときがあります」と後に記者に語っていたらしい。妻だったHazelは夫の長期不在に耐えきれず、2人は1925年に離婚している。

その頃までに、Taylorは、両生類42種、トカゲ類40種、ヘビ類30種をすでに報告していた。この数は、同じ分野の研究者の多くが一生涯の間に見つける数よりも多い。彼は標本の一部を米国内の博物館へ売却したが、多くはマニラの科学研究所に置いたままだった。彼は標本がそこで永遠に安全に保管されると思っていたのだ。1926年に彼はカンザス大学の教授陣に加わり、その後20年にわたって、メキシコやコスタリカからアフリカのいくつかの地域まで、世界各地を歩き回った。折りたたみ式の軍用簡易ベッドを持ち歩いて、米と練乳を常食にしながら標本を採集したのだ。

しかし60代を迎えて、Taylorは自分が批判されていることを知った。1954年、フィールド博物館(米国イリノイ州シカゴ)の爬虫両生類学者Robert Ingerは、フィリピン産両生類の分類に関する辛辣な再考察を発表した³。Ingerは、博物館に保管された標本だけを調べた上で、Taylorが個人的に命名もしくは認めた87種のうち、44種を否定したのだ。「Taylorが命名したカエルの種どうしの差異は、個体差として想定される範囲内であろう」とIngerは書いた。これでTaylorのプライドはズタズタにされた。彼はIngerの文を複写して、「こんちくしょう!」と殴り書きした。

さらに最近になって、爬虫両生類学者からTaylorの品性に対して重大な疑惑の声が上がっている。1993年、カンザス爬虫両生類学会は、Taylorが1916年に発表したカンザス産爬虫類に関する修士論文を公表した。そしてそのただし書きとして、彼の教え子だったHobart Smithは、Taylorが論文の大部分を19

世紀の古生物学者で爬虫両生類学者でもあったEdward Drinker Copeの論文から盗用していたことを明らかにしたのだ。それは、Taylorがきちんと原則を守る人だと思っていた人々にとって、まさに衝撃の新事実だった。しかし、これで、Taylorが修士論文を決して公表しようとしなかった理由が分かった。2002年には、マイアミ大学(米国フロリダ州コーラルゲーブルス)の爬虫両生類学者Jay Savageが、Taylorの別の悪行を公表した。コスタリカへの採集旅行でライバル研究者を出し抜くため、Taylorは、そのライバルの野外調査ノートをひそかに複写していたのだ⁴。

Taylorには他にも人の道を外れた部分があった。彼は優生学プログラムへの支援を訴え、伝えられるところによれば、ユダヤ人学生の指導を拒否したという。BrownはTaylorのことを詫げる立場にはないが、Taylorの良い評判も悪い評判もカンザス大学自然史博物館の歴史の一部として捉えている。「結局のところ、彼は我々自身でもあると思っています」とBrownは言う。

遺産の再検討

Brownは、1990年代後半にテキサス大学オースティン校(米国)で大学院に進んでから、Taylorに対する興味をいっそう強めた。彼はTaylorの研究論文をむさぼるように読み、自分なりの採集計画を立てた。また、博物館の記録を探してTaylorの標本がある場所を見つけ出し、それらを見るためにフィールド博物館やカリフォルニア科学アカデミーを訪れた。Brownは、Taylorがフィリピン科学研究所に収めたタイプ標本に関する情報を求めて探しまわった。しかし何度も行き詰まった。

そして、その科学研究所の悲劇的な結末を知った。1945年2月、米国陸軍元帥だったダグラス・マッカーサーは、日本軍を一掃するためにマニラに全面攻撃を仕掛けた。このとき、科学研究所はがれきりと化して、そこにあった動植物の標本

は全て破壊されてしまったのだ。そこにはTaylorの収めた32体のタイプ標本も含まれていた。「この損失は取り返しのつかないものです」と、Taylorの友人で伝説的な植物学者でもあるElmer Merrillは*Science*に書いた⁵。植物標本については徐々に補充されていったが、Taylorのやった仕事を系統的に再現しようとする者はいなかった。生物種の豊富な地域に非友好的な部族が住んでいたからだ。1990年代にはテロの脅威があり、Taylorが十数種のタイプ標本を採集したスル諸島などに近づくことは難しかった。このような危険はあったが、BrownはTaylorの足跡をたどってみようと思いを決めた。

1998年7月、ガイドの少年を1人雇い、調査チームはルソン島北部の山々に分け入った。そこは、Taylorが、腰布を付けてマチューテ(ナタのような山刀)を振り回す原住民に迎撃された場所であった。Taylorの足跡を探してBrownが河川を歩き回っているとき、下流の町では、西洋人たちが少年を誘拐したという噂が広まった。10人余りの地元民が、たいまつや杖やマチューテを持って、誘拐犯たちを見つけようと村長の家へ集まってきた。Brownが村に戻ったとき、彼の獲物がたくさんのカエルだけだったことから、混乱はさらに拡大してしまった。ちなみにTaylorのときは、待ち伏せ攻撃を受け、ライフルを取り出す羽目になった。

1998年の調査旅行で、Brownと同行者たちは、何十年もの間目撃情報のなかった爬虫類や両生類を5種見つけた。また、おそらく新種と思われる13種と、この地域ではそれまで未報告の30種も見つけた⁶。ある夜にBrownは、樹上の高いところで甲高く鳴くヒラタガエル属(*Platymantis*)のカエルを数匹捕まえた。それらは、Taylorが1920年に捕まえて種小名を*rivularis*と命名した種であることが判明した。そのタイプ標本はまだ存在していたが、色があせて形もかなり変わっており、種を検討するための他の標本例もあまりなかった。そのためIngerは、1954年に別の*hazela*とい

う種 (Taylorの妻の名をとったもの) と *rivularis* を一緒にまとめてしまったのだ。

しかし、実際にその求愛の鳴き声 (求愛音) を聞いたり、生存個体の体色を見たBrownは、*P. rivularis* を独立の種として復活させようと判断した。Brownによれば、Ingerは分類群のくくりを大きくしたがる傾向があり、また、その判断は厳格過ぎたという。「少しでも疑問がある場合、新種としては認めませんでした」。

フィリピン国立博物館 (マニラ) の爬虫両生類学者 Arvin Diesmos は、Brown と親しい共同研究者だ。2人は20年にわたって1万5000体以上のフィリピン産標本を収集してきたが、これはTaylorが生涯で集めた標本数の5分の1にすぎない。Brownは、進化的な類縁関係をはっきりさせるためにDNAも採取した。Taylorのホルマリン漬けの標本からはDNAを抽出できないからだ。またBrownは、カエルの種を特定するための重要な特徴の1つである求愛音も記録している。彼は、フィリピン産のヒラタガエル属に関する自身の再考察を2003年から進めているが、それが完了すると、種の数30から60に倍増し、Taylorの付けた学名の多くが復活するだろうと予想している。

カエルの鳴き声と短刀

BrownのTaylorに対する特別な関心は、分類学の範疇にとどまらなかった。Taylorの不正な活動にも興味を抱くようになった。Taylorは、野外調査のために紛争地帯も訪れたようで、回想録の中で科学研究以外の任務のことも、それとなく触れている⁷。Taylorはマニラで漁業関係の役所で働きつつ、英国人男性が殺害された事件の調査を手伝ったり、スウェーデンの諜報員との情報交換や、第一次世界大戦中に軍需物資として使われた可能性のある水銀の探索などを進めていた。彼は川旅をしながら時折日本人を見つけるとは、現地の知事に「日本人がこの国のことを探っている」と警告していた。

Taylorが、野外調査のために立ち入



Edward Taylor が 1920 年代に採集したヘビ成体の標本を持つ Rafe Brown。

る口実として戦争を利用していたのか、それとも逆に、野外調査を口実にして戦争に関わっていたのか、彼の少ない友人たちにも分からなかったようだ。追悼記事の中で教え子の1人は、Taylorの第二次世界大戦中の後半の活動は「おそらく決して詳細に分かることはないでしょう」と記している²。

しかし、ようやくTaylorの仕事の実態が明らかになりつつある。当時の諜報活動記録が機密扱いから外れ、研究資料が表に出てきたからである。それらによって、Taylorが本当にスパイであったことや、彼が第一次世界大戦後にシベリアに派遣されたときも諜報活動を続けていたことが明らかになった。表向きの目的は、赤十字に加わってチフスの流行を止めることだったが、ロシアの共産主義革命や、その後、殺された皇帝ニコライII世の娘、アナスタシア皇女の安否についての情報も集めていた。

Taylorは1944年に再び召喚されて任務に就いた。そのとき彼は54歳で、太平洋は戦場と化していた。米国の国立公文書館にある記録によると、Taylorは、中央情報局 (CIA) の前身である戦略諜報局 (OSS) に入り、スリランカで工作

員の訓練に当たった。その当時、スリランカは英国の植民地で、日本が進軍していたミャンマー、マレーシア、インドネシアその他の地域に容易に接近できる位置にあった。「科学的調査はこのうえない隠れ蓑になる」と、あるOSS職員はTaylorの上司に説明したという。

Taylorは、沿岸の湿気が多い開拓地「キャンプY」でジャングルでの生存術を教えた。彼は目つきが鋭く、下顎が突き出ている、1.8 mの身長よりも大きく堂々として見えた。彼は暇があれば時々銃声をかいくぐって標本用の動物を捕らえ、戦争が終わった後に、それらに関する研究論文を2本発表している。「この島で見つかった新しいメクラヘビを5種類報告した」と、若い鳥類学者のS. Dillon Ripley宛てに手紙を書いている。RipleyはTaylorとともにOSSで働き、その後、スミソニアン研究所 (ワシントンDC) の所長となった。Taylorはその後の手紙で、「約500種」の軟体動物の殻をスミソニアンに献呈することを伝えた。

第二次大戦後、Taylorはマレーシア滞在の英軍を手伝って、日本軍が市民に対して行った戦争犯罪を調査した。強姦や拷問、殺人を記録する仕事をしたこと

は、彼の日本人に対する嫌悪感をさらに強めたと思われる。彼は鷹揚なところのない人物で、戦争での体験は彼を蝕んだようである。彼はカンザス大学自然史博物館の館長になりたかったが、就任することはかなわず、日々の生活の中で次第に被害妄想を膨らませていった。また、ロシア語を勉強し、CIAのために働けないか問い合わせてもした。

今年3月に亡くなった教え子のSmithはNatureに、Taylorは自分の不在時にオフィスに侵入者があったかどうか分かるよう、床に小麦粉を振りまいてと話した。カンザス大学の爬虫両生類学者で、1951年にTaylorに初めて会ったWilliam Duellmanは、Taylorの症状は、現在なら心的外傷後ストレス障害(PTSD)に当てはまると考えている。しかし、そんな状態でもTaylorは研究を続け、その後の数年で、アシナシモリと呼ばれる一般になじみの薄い両生類の仲間を研究している。1968年には、アシナシモリの分類を再考察した80ページもの大部の本を出している⁸。

絶滅寸前

Taylorがフィリピンに残した爬虫両生類学の遺産は、この国が天然林の95%以上を失った現在、新たな重要性を帯びている。Brownをはじめとする生物種コレクターは、そうした仕事が生物保全にも関係することを承知しているが、科学研究の結果と保全のための分類は、異なる場合も多い。例えば、国際自然保護連合(IUCN)は1990年代後半に、フィリピンのポリロ島のカエル(*Platymantis polillensis*; Taylorが最初の報告者である)を「絶滅寸前(CE)」に分類した。ポリロ島の森林域のうち4km²の範囲を除く全てが、ココナツ農園のために伐採されていたからである。

しかし2004年、Brownは記録した録音を聞いていて、そのポリロ島のカエルの求愛音が、ルソン島で彼が採集したカエルの求愛音と似ていることに気付いた。許可を得て採集し、解析すると、予

想どおり、そのカエルは広く生息していることが確認された。昨年、彼は、かつてはIUCNが「危急(VU)」もしくは「絶滅危機(EN)」と判定したカエル7種が、実際にはルソン島内に広く生息していることを報告した⁹。

分類学者にとって難問なのは、地球全体の生物多様性が危機にあることを大勢が認めているにもかかわらず、さまざまな保護団体が勝手に声を上げ、現実のデータも乏しいため、危機的状況の程度をなかなか正確に測定できないことである。「大きな生物分類群の危機的状況を地球全体で捉えて評価することは、現時点では科学的な厳密さが非常に乏しいのです。我々はもっとしっかりと地に足を着ける必要があります」と、エール大学(米国コネチカット州ニューヘイブン)の生態学者Walter Jetzは話す。

Brownは一般的な生物保全の評価については懐疑的だが、フィリピン産両生類に対するカエルツボカビ(*Batrachochytrium dendrobatidis*)の脅威には不安を抱いている。このツボカビは、世界各地に生息する数百種の両生類で個体数の減少や絶滅を招いていると考えられている(Nature 465, 680–681; 2010)。2009年にBrownは、フィリピンのカエル5種にこのツボカビが感染していることを確認し、それ以降、確認例はさらに増えている。カエルツボカビの脅威は、生息域の破壊や気候変動と相まって、フィリピンの両生類を絶滅寸前に追いやってしまう可能性があるとは彼は懸念する。

フィリピンの生物多様性を記録するための時間はもうあまり残されていないが、Taylorの歴史上の位置付けを確認できる時間も同様である。Taylorによる種の記載論文は短い、多くの場合、近縁種と見分けるのに的確な形質的を絞っていることに、Brownは気付いた。「彼は鋭い観察眼を持っていました」とBrownは話す。Ingerによって学名を剥奪された十数余りの種やその他の種が、結局は妥当であったことが今では明らかになった。

Ingerは現在93歳になり、新たに得ら

れた証拠やBrownが対象に迫った方法に感心している。「彼はおそらく正しいと思うよ」と言いつつ、Ingerは「分類群を細かく分け過ぎている気がするけれどね」と付け加えた。

Brownは自然史博物館を案内してくれた後、カンザス大学校舎に戻って古文書図書館内の席に座り、Taylorの研究資料が入った保管箱に手を入れた。その中には、Taylorが野外調査ノートや標本カタログとして使ったポロポロの革表紙の本もいくつか入っている。Brownは、標本カタログの1つを初めてパラパラとめくり、あることに気づいて驚いた。Taylorが、ミンドロ島で捕まえたアジア産スキアシガエルの学名を、バツ印で消していたのだ。この奇妙なひよろ長いカエルは飛び跳ねずに這ってのろのろ進む。そのバツ印の隣にはTaylorの字で「新種だ!」とあった。実は2009年、Brownはそのカエルを新種として*Leptobranchium mangyanorum*という学名を付けていた¹⁰。新種としたのは、それまでに報告されていた近縁種とあまりに違っていただけだ。

「エド(Taylor)は我々よりもずっと先を行っていたのです」とBrownは言う。「彼はなぜこのカエルに学名を付けなかったのでしょうか。その理由は永遠に分からないかもしれませんが、この書き込みから90~100年後に同じ結論に到達できたことを、私はとてもうれしく思っています」。

(翻訳: 船田晶子)

Brendan Borrellは、生物学者から転身したニューヨークを活動拠点とするジャーナリスト。滑空動物に関する2007年の概説論文に関わり、その中にBrownの研究が含まれていた。

1. Brown, R. M., Ferner, J. W. & Diesmos, A. C. *Herpetologica* **53**, 357–373 (1997).
2. Webb, R. G. *Herpetologica* **34**, 422–425 (1978).
3. Inger, R. F. *Feldiana Zool.* **33**, 183–531 (1954).
4. Savage, J. M. *The Amphibians and Reptiles of Costa Rica* (Univ. Chicago. Press, 2002).
5. Merrill, E. D. *Science* **101**, 401 (1945).
6. Diesmos, A. C., Brown, R. M. & Gee, G. V. A. *Sylvatrop* **13**, 63–80 (2003).
7. Taylor, E. H., Leonard, A. B., Smith, H. M. & Pisani, G. R. *Monogr. Mus. Nat. Hist. Univ. Kansas* **4**, 1–160 (1975).
8. Taylor, E. H. *The Caecilians of the World* (Univ. Kansas Press, 1968).
9. Brown, R. M. et al. *Check List* **8**, 469–490 (2012).
10. Brown, R. M., Siler, C. D., Diesmos, A. C. & Alcalá, A. C. *Herpetol. Monogr.* **23**, 1–44 (2009).

自家製ソフトウェアの誤りを、 誰がチェックする？

Mozilla plan seeks to debug scientific code

ERIKA CHECK HAYDEN 2013年9月26日号 Vol. 501 (472)

科学の世界では、研究や解析のために、

多くの自家製ソフトウェアが作られている。

しかし、それが本当に正しいのかどうか、査読の手続きさえ存在していない。

カリフォルニア大学サンタクルーズ校(米国)の生態学者 Carl Boettiger は、研究論文に使われる科学ソフトウェアは、もっと厳格に審査(査読)されるべきだと考えている。そこで6月、この意見をブログに投稿した。すると、本人の予想に反して54件ものコメントが寄せられ、議論は大きな盛り上がりを見せた。どの程度細かく審査すべきなのか、研究者たちは議論を戦わせた。ある研究者は、論文掲載前の段階で、コンピューターコードに Boettiger の厳格な基準を要求するのは、「いささか傲慢ではないか」と反発した。

現在、この議論に、非営利インターネット組織「モジラ」の関連組織が関わっている。生態学や生物学から社会科学まで、多岐にわたる学問領域で自家製ソフトウェアが利用されている。「モジラ・サイエンス・ラボ」は、審査プロセスによってこうした自家製ソフトウェアの質が向上するかどうか、確かめたいのだ。

彼らが進めている実験では、コンピューター生物学分野の掲載済み論文から選んだコードを、ソフトウェア技術者がチェックした。責任者の Kaitlin Thaney は、「科学の世界のコードには、他にも応用できるような普遍性や、すぐに使えるような完成度の高さはありません。ですから、一緒にやろうというのではなく、問題点をつつき出してみようということです」と語る。

コンピューターへの依存度は科学のあらゆる部分で高まっているが、多くの研究者は、コーディングつまりソフトウェア作成法について、正規の訓練を受けていない。このことが重大な問題を引き起こしている。例えば、もしもデューク大学(米国ノースカロライナ州ダラム)のがん研究者 Anil Potti が、原著論文と一緒にデータとコンピューターコードを発表していたなら、2007年の臨床試験の根拠とされた不正な発表は、ずっと早く露見していたに違いない。

不正確、あるいはわずさんなコードは、他の研究者による確認作業を妨げ、場合によっては誤った結論を導いてしまう。2006年、スクリプス研究所(米国カリフォルニア州ラホヤ)の Geoffrey Chang は、他の研究室から提供を受けたコードに誤りを発見し、結晶構造に関する論文5編を取り下げる羽目になった。

モジラはある有望な方法を調べている。それは、市販ソフトウェアの世界で、発売前に一般的に実施されている「コードレビュー」をすることだ。Thaney によれば、その手順は科学論文の査読(ピアレビュー)によく似ているという。「文法やスペルから論理の正しさまで、すべての内容をよく調べるのです」。今回の場合、モジラは、*PLoS Computational Biology* の編集者が8月に選んだ同誌の論文9編と取り組み、それぞれ、論文に含まれる200行ほどのコード断片を

調べた。プログラミング言語は、R や Python や Perl など、広く使用されているものだ。

モジラの技術者は、得られた知見について、論文の著者と議論した。著者には、結果の公開の可否を含めて、いろいろな選択肢が用意されている。オープン・ユニバーシティ(英国ミルトンキーンズ)のコンピューター科学者 Marian Petre によれば、その知見によって掲載論文の価値が影響を受けることはないという。Petre は査読者と著者の両方に話を聞くつもりだ。Thaney は、数週間以内にプロジェクトの速報を発表したいと思っている。

コンピューター生物学者たちは、ソフトウェア技術者が科学プログラミングの中から多くの問題点を見つけ出すであろうことを予想している。同時に、技術者から学ぶところも多いはずだと考えている。「技術者は、調べているコードの科学目的を間違えないために、生物学のおさらいをしているかもしれません」と Brown は言う。

非営利出版組織 PLoS の生物学担当編集責任者 Theo Bloom も同じように予想しているが、モジラの査読者に生物学の専門知識がなかったとしても、このような査読は有用だろうと話す。しかし、それは別の問題を提起する。いったい、科学論文誌は、この種の査読をどんな方法で持続的に実施できるのだろうか。

それには時間と技能がかかるので、査読者への報酬が正当化されるだろう。それは、大規模な臨床試験の統計レビューへの報酬と同じだ。しかし、査読者によるソフトウェアの監視は、逆効果となる可能性もある。ジョンズホプキンス大学公衆衛生大学院(米国メリーランド州ボルティモア)の生物統計学者 Roger Peng は、「心配なのは、査読が行われることによって、科学者がコードを公表することに消極的になってしまうことです」と話す。「必要なのは、コードをどんどん出させることであって、見た目をよくすることではないのです」。

(翻訳：小林盛方)

シーラカンスの全ゲノムが語る 脊椎動物の陸上化

何億年もの間、ほとんど変わらない姿で現存し、「生きた化石」とも称されるシーラカンス。このほど、東京工業大学、国立遺伝学研究所、東京大学などによるチームが、約27億対に及ぶ全ゲノムの解読に成功した。みえてきたのは、シーラカンスの際立った特異性と、脊椎動物の陸上化に関わる分子メカニズムの一端だ。

—— Nature ダイジェスト：なぜシーラカンスのゲノム解読を進められたのですか？

二階堂：私は生物の適応進化に興味があり、1997年に、学部生として岡田典弘教授（現 東京工業大学名誉教授・国際科学振興財団）の研究室に入りました。岡田教授は、DNAの配列をもとに生物の系統を調べる分子系統学の第一人者で、魚類から哺乳類に至る複数のグループについて、系統関係の解明に成功していました。その中で私たちは、「クジラは、陸上に住む哺乳類が海へと戻っていった生物で、系統的に最も近いのはカバである¹」といったことを突き止めました。

一方で、タンザニアのビクトリア湖に生息するシクリッドという淡水魚の種分化や分子系統の解析も進めており、協力関係にあったタンザニア水産研究所から、シーラカンスが提供されることになりました。地元の漁師が、サメを捕るため深海に網を入れたところ、生きたシーラカンスがひっかかり、その冷凍個体をタンザニア水産研究所が保管していたということでした。「それなら、シーラカンスの分子系統解析もやってみよう」ということになり、私も加わることになりました。

—— シーラカンスは「生きた化石」などといわれますが、どんな生物なのでしょう？

現生種の成魚は、体長約1.5m、体重50～60kgで、寿命は100歳を超すとされています。出現は古生代デボン紀（約4億年前）で、その後、多様化し、さまざまな水域

で大繁栄を遂げたものの、約6500万年前の隕石衝突により、恐竜とともにほぼ全ての種が絶滅したと考えられています。現存するのは、インド洋のアフリカ大陸沿岸とインドネシア沿岸の、それぞれ深海に生息する2種のみとされています。染色体の型、受精方法などは不明ですが、母胎内で30匹ほどの卵がかえり、稚魚として出てくる卵胎生であることが分かっています。今のところは、胎内に卵や稚魚を宿していれば雌、そうでない場合は雌雄の判定が少し難しくなります。

形態的な特徴は、「肉鰭」と呼ばれる頑丈な鰭を持つことです。魚類の鰭にはわずかししか内骨格が存在しませんが、シーラカンスの肉鰭は根元から頑丈な筋肉と内骨格が備わっています。肉鰭の詳細な機能は分かっていませんが、私たちは、岩などの障害物をよけるために使われたのではないかなどと考えています。この特徴からシーラカンスは、肺魚などとともに肉鰭亜綱に分類されています。

「生きた化石」と呼ばれるのは、絶滅したかと思われていたところに、1952年になって、化石と全く変わらない姿で捕獲されたからでしょう。「太古と変わらない」という点では、ゴキブリやトンボも同じで、実はそれほど珍しいことはありません。

5頭のゲノムを調査

—— 今回は、どのような解析をされたのでしょうか？

まず2007年より、タンザニア産、「アクアマリンふくしま」が輸入したコモロ産な



二階堂 雅人

どの個体を対象に、1万8000に及ぶミトコンドリアの全塩基対を解読し、集団遺伝学的な解析をしました²。ただし、ミトコンドリアにある遺伝子を調べても、形態進化についての情報は得られません。

今回は、情報・システム研究機構 国立遺伝学研究所 比較ゲノム解析研究室の藤山秋佐夫先生、東京大学新領域創成科学研究科の菅野純夫先生、東工大大学院生命理工学研究科の伊藤武彦先生たちと強力なタッグを組ませていただき、タンザニア産の雌体内から見つかった稚魚1頭、別のタンザニア産2頭、コモロ産1頭、インドネシア産1頭の計5頭を対象に、次世代シーケンサーを用いた解読と解析を行いました³。

対象にしたのは、筋肉の細胞から抽出したDNAです。十分なカバー率を得るために、短い断片にしたDNAを800ギガベース分も読みました。その後で、伊藤先生が開発されたPLATANUS（プラタナス）というアッセンブラーを使い、全ゲノムの配列を再構築できました。

—— どのようなことが分かったのでしょうか？

まず、ゲノムサイズが約27億塩基対、遺伝子が約2万5000個と、ヒトやマウスと同程度であることが分かりました。遺伝子の基本セットとしても、哺乳類とそう違いませんでした³。ただし、シーラカンスと哺乳類とでは、形態や機能にかなりの違いがみられるので、遺伝子の調節領域については大きく異なっているのではないかと推測できます。



図1 今回のゲノム解読に用いられた5頭のシーラカンスの1つで、タンザニア産の雌の胎内に宿っていた稚魚（体長30cm強）。

次に、タンザニア産とインドネシア産とでゲノムを比較したところ、試料を取り違えたかと思うほど配列が似ており、その差はわずか0.18%にすぎないことが分かりました³。共通の祖先から、それぞれに分岐したのは3500万年くらい前だとされていますが、その後は遺伝的な交流がないのに0.18%分の配列しか変化していないとすれば、かなり特異な現象だと言えます。現在のゲノム進化の解釈では、DNAの置換や変異は、あらゆる生物において一定速度で起きているとするのが常識ですからね。シーラカンスのゲノム進化は、一般的な速度よりも40倍も遅いと推定されました³。

生物の陸上化に貢献した遺伝子

——生物の陸上化に関する興味深い成果も挙げられましたね。

今回、私たちは、水中と陸上とで機能が大きく異なる嗅覚と四肢形成に関わる遺伝子に注目しました。嗅覚については、水中生物では水溶性のフェロモンを感じ取る受容体が発達していますが、陸上生物では揮発性のフェロモンを嗅ぎ取るための受容体が発達しています。例えば魚類はフェロモン受容体を6つ持ちますが、哺乳類ではある特定のグループだけを持っており、今回、私たちはシーラカンスが、哺乳類と同じような嗅覚受容体遺伝子を持つことを突き止めました³。

一方の四肢形成についても同様でした。四肢形成遺伝子に関して、シーラカンス

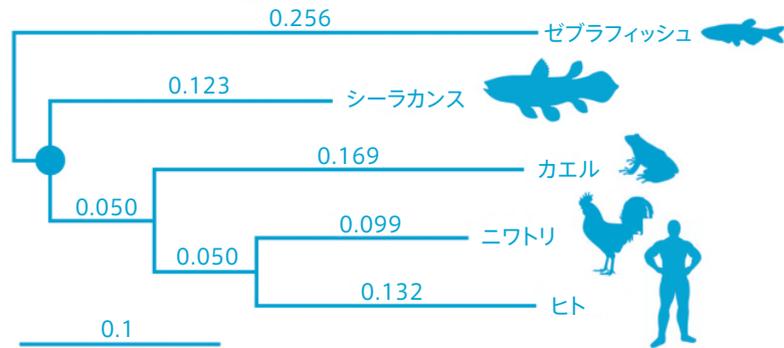


図2 脊椎動物の系統樹の一部と、遺伝子の進化速度。シーラカンスの進化速度を表す枝の長さは、他の生物よりもかなり短い（すなわち、進化速度が遅い）。

は、魚類にはなくて哺乳類にみられる調節領域を持つことが分かったのです³。

——それらをどう解釈したらよいのでしょうか？

シーラカンスにみられる嗅覚受容体や四肢形成の遺伝子は、哺乳類と同じように機能していたわけではありません。これは大事な点です。嗅覚受容体遺伝子は水中のフェロモンを「より強力に嗅ぎ分けるため」に、また、四肢形成遺伝子は「より強力な鰭を作るため」に使われていたと考えられます。これらの遺伝子が、脊椎動物の陸上化にあたって、揮発性物質の嗅覚や四肢形成にも都合が良かったために、それらに転用されたと解釈すべきでしょう。

生物が陸上化を果たす直前の海は、すでにパンク状態で、生物はあるとき一気に陸上化を遂げたと推定できます。このように「突然起きる大きな進化」を跳躍進化といいます。シーラカンスの嗅覚遺伝子や四肢形成遺伝子は、まさに跳躍進化のための材料として使われたのでしょう。ダーウィンの進化論に従えば、「海のキャパシティが足りなくなってきたから、ある確率で起きる変異の中で、より陸生に適応したものが徐々に上陸を果たした」ということとなりますが、私は、そんな悠長なことは言っていない状況だったと考えています。

——今後の課題や目標は？

1つは、調節因子をシーラカンスタイプに変えれば、同じ四肢形成遺伝子でも形態がドラスティックに変わるのかどうかを、実際の実験で検証することです。例えば、ゼブラフィッシュの四肢形成遺伝子にシーラカンスに特異的なエンハンサーを導入すると「頑丈な筋肉や内骨格」ができるのかどうかを確かめたいと思っています。さらに、タンザニアとインドネシアの種間に、本当に遺伝的な交流がないのかも確かめたいと考えています。私としては、インドネシアからの強い海流に乗ることで、アフリカなどに移動し、「嫁入り」や「婿入り」している可能性も否定できないと考えています。

——ありがとうございました。

聞き手は西村尚子（サイエンスライター）。

1. Nikaido, M. et al. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **96**, 10261-10266 (1999).
2. Nikaido, M. et al. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **108**, 18009-18013 (2011).
3. Nikaido, M. et al. *Coelacanth genomes reveal signatures for evolutionary transition from water to land. *Genome Res.* **23**, 1740-1748 (2013).*

AUTHOR PROFILE

二階堂 雅人（にかいどう・まさと）

東京工業大学大学院生命理工学研究科助教。2002年東京工業大学大学院生命理工学研究科修了（理学博士）。日本学術振興会特別研究員（PD、統計数理研究所）を経て、2006年より現職。井上研究奨励賞（2002）、進化学会研究奨励賞（2012）、文部科学大臣表彰若手科学者賞（2013）などを受賞。

エレクトロニクス

カーボンナノチューブでコンピューターを試作

The carbon-nanotube computer has arrived

FRANZ KREUPL 2013年9月26日号 Vol. 501 (495-496)

カーボンナノチューブで作った半導体トランジスターを回路に組み込み、コンピューターが試作された。市場に出せるかどうか未来の話はさておき、まずは、新しい電子材料としての華やかなデビューだ。

次世代のマイクロチップとして、カーボンナノチューブ製トランジスターが注目されてきた。その理由は、シリコン製トランジスターよりも、エネルギー効率が高いからである。しかし、カーボンナノチューブ製デバイスには不完全性がつきものであり、大型電子回路に組み込むのが難しく、技術はなかなか進歩しなかった。しかし、今回、初のカーボンナノチューブ・コンピューターがスタンフォード大学（米国カリフォルニア州）のShulakerらによって製作され¹、新たな段階を迎えた。

通常、正常に動作するコンピューターを一から設計・製作するには、大勢の技術者が必要である。だから、この小さな研究グループがどのようにしてナノチューブ・コンピューターを製作したのか、注目に値する。Shulakerらは2本柱のアプローチを採用した。1本目の柱は、基板上にカーボンナノチューブを成長・配列させる技術ノウハウと経験を積み重ね、それに基づいて製作を進めることだった。

半導体カーボンナノチューブに金属カーボンナノチューブが混ざると、システムに必要な半導体特性が損なわれる。この問題を解決するため、彼らは基板上で金属カーボンナノチューブを全て無効にする方法を開発した。その結果、基板表面に半導体カーボンナノチューブだけが並んだアレイを作ることができた。次に、先進的なトランジスターレイアウト設計とリソグラフィ法を駆使



して、複数本の半導体ナノチューブを平行に配置したトランジスターを作製し、各トランジスターが完璧に動作することを確認した。

さらに、Shulakerらは、ナノチューブ製トランジスターを配線をつなぎ、任意の論理素子と論理回路を作ること成功した。デバイスの基本論理は、初期の半導体トランジスターで用いられたp型金属酸化膜半導体 (PMOS) 論理と同じものである。PMOSトランジスターは、制御 (ゲート) 電極に負電圧を印加する

とオン状態になる。ちなみに、1970年頃からPMOSに代わってn型金属酸化膜半導体 (NMOS) が主流になったが、NMOSの方は、ゲートに正電圧を印加するとオン状態になる。

Shulakerらのアプローチの2本目の柱は、可能な限り単純なコンピューター設計を選ぶということだった。従って、ハードウェア回路の複雑度は低くなり、トランジスターの数が少なくて済んだ。Shulakerらは、1ビットで演算を行い、1つの命令を用いるコンピューターを選択した (ちなみに、現代のコンピューターは、通常、32ビットまたは64ビットであり、多くの命令を用いている)。複数の1ビット演算を行うことによって、時間はかかるが、あらゆるnビット演算が可能になる。従って、Shulakerらの方法は、一般性に関しては妥協していない。

このコンピューターが実行する唯一の命令は、SUBNEG (減算し、その結果が負であれば分岐する) コマンド²である。今回の設計では、たった20のナノチューブ製トランジスターで実装できる。SUBNEGは、第1のメモリアドレスの内容を読み取り、それを第2のメモリアドレスの内容から減算し、その結果を第2のメモリアドレスに格納する。この減算の結果が負であれば、第3のメモリアドレスに行く、というものである。この条件文を含むため、チューリング完全が保証される。つまり、コンピューターに十分な使用可能メモリがあれば、あらゆる

計算ができる。言い換えると、その命令によって、万能コンピューターの実現が可能になる²。Shulakerらのナノチューブ・コンピューターは、この命令1つで、数え上げアルゴリズムと整数ソートングアルゴリズムを同時に実行できた。

性能の点からは、このコンピューターは、現在の標準的なコンピューターの足元にも及ばない。だが、もしこれが1955年に作られていたとしたら、あるいは対抗できたかもしれない。Shulakerらが採用したPMOS論理だけでは、スケラビリティに限りがある。最大のトランジスタ幅を最小のトランジスタ幅の約20倍以上にしなければならないからだ。その上、基本回路にいつも電流が流れているので、常に電力を消費する。現代のシリコン系コンピューターマイクロチップは、直列接続したほぼ同じ幅のPMOSトランジスタとNMOSトランジスタを用いた相補型金属酸化膜半導体(CMOS)技術で動作する。CMOS論理を採用すれば、スケラビリティが大

幅に向上し、PMOS論理やNMOS論理より消費電力を少なくできるのである。

カーボンナノチューブ回路にCMOS論理を実装するのは容易である^{3,4}。製作工程数を2倍にするだけでよいからだ。しかし、もし工程数を増やしていたら、製作歩留まり(動作するトランジスタの数)は低下していたであろう。こうした歩留まり低下は、どの工程でも一定確率でデバイスに欠陥が生じるという事実起因する。つまり、工程数を増やせば、動作しないデバイスができる確率が増えるのだ。しかし、チップ製造の歴史が物語るように、歩留まり向上は基本的に努力の問題である。従って、CMOS設計のナノチューブ系回路の製造に障害はないといえる。

Shulakerらが用いた最小のトランジスタの幅は、ナノチューブ成長プロセスの統計的性質ゆえに、およそ8 μ mである。これは小さいとは言いがたい。果たしてカーボンナノチューブで究極のスケラビリティを実現できるのだろうか。

現行のシリコン技術と同等以上の水準に到達できるのだろうか。その答えは、基板上にどれほど精密にナノチューブを配置できるかにかかっている。幸いにも、この分野の進歩は止まっておらず⁵、近い将来、1 μ m当たり500本のナノチューブという密度が実現される可能性はある⁶。もしShulakerらのナノチューブ・コンピューターのスケールアップ版(64ビット)やスケールダウン版(20nmサイズのトランジスタ)の実現に研究努力が注がれるなら、ほどなくカーボンナノチューブ・コンピューターを使える時代が来るのかもしれない。

(翻訳: 藤野正美)

Franz Kreupl はミュンヘン工科大学(ドイツ)に所属。

1. Shulaker, M. M. et al. *Nature* **501**, 526-530 (2013).
2. Gilreath, W. F. & Laplante, P. A. *Computer Architecture: A Minimalist Perspective* (Springer, 2003).
3. Chen, C., Xu, D., Kong, E. S.-W. & Zhang, Y. *IEEE Electron Dev. Lett.* **27**, 852-855 (2006).
4. Wang, C., Ryu, K., Badmaev, A., Zhang, J. & Zhou, C. *ACS Nano* **5**, 1147-1153 (2011).
5. Franklin, A. D. *Nature* **498**, 443-444 (2013).
6. Cao, Q. et al. *Nature Nanotechnol.* **8**, 180-186 (2013).

免疫

LPS は細胞内でも感知される

Lipopolysaccharide sensing on the inside

VIJAY A. K. RATHINAM & KATHERINE A. FITZGERALD 2013年9月12日号 Vol. 501 (173-175)

グラム陰性細菌の外膜に存在するリポ多糖(LPS)は、宿主細胞の細胞表面にある受容体TLR4によってのみ感知されると考えられていた。しかし今回、LPSは、細胞質内でも感知されることが分かった。

自然免疫系は、微生物に対する精巧な防御系であるが、その過剰な活性化は危険でもある。すなわち、サイトカインと呼ばれる細胞情報伝達分子が過剰に産生されたり、死にゆく細胞から細胞内容物が過剰に放出されたりすると、それが直接あるいは間接的に、宿主組織を損傷する

こともあり、極端な場合には敗血症が引き起こされる。このような応答の最初の引き金となるのは、グラム陰性細菌の外膜の主要な構成要素であるLPSだ(LPSはリポ多糖と呼ばれる糖脂質のこと)。遺伝学的研究では、LPSは、感染性細菌の検知に特化した進化的に古い受容体

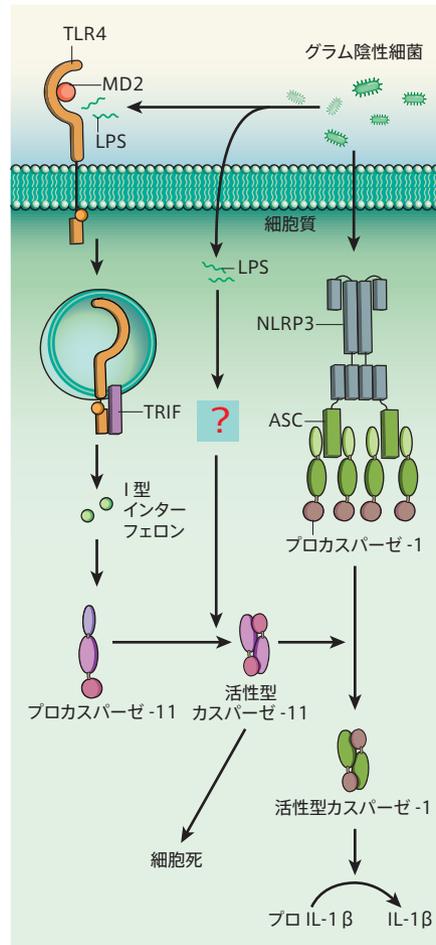
ファミリーの1つであるToll様受容体4(TLR4)によってのみ感知されることが示唆されていた^{1,2}が、TLR4非依存的に感知されることを示唆する報告もあった³。

このほど、^{かやがきのぶひこ}榎垣伸彦たちは、自然免疫細胞の一種であるマクロファージの細胞質内におけるTLR4非依存的なLPS感知

機構について、*Science*に発表した⁴。細胞質内で何がLPSを感知しているかは分かっていないが、著者たちは、細胞質内でLPSが感知されると、炎症性酵素であるカスパーゼ-11の活性化が引き起こされることを示した。この知見は、我々のLPS応答についての理解を大いに深め、また、敗血症の治療に関係してくる可能性もある。

榎垣たちは、グラム陰性細菌感染過程におけるインフラマソーム活性化についての実験から、この経路の発見に至った。インフラマソームは、多数のタンパク質から構成される大きな細胞質内タンパク質複合体で、病原体の認識により活性化され、IL-1 β などのサイトカインの成熟を引き起こす。また、インフラマソームはピロトーシス (pyroptosis) と呼ばれる炎症性細胞死応答の引き金にもなる。最もよく研究されているインフラマソームは、NLRP3タンパク質を含んだNLRP3インフラマソームである。NLRP3は細菌感染のセンサー分子で、アダプター分子ASCに結合し、次いで、エフェクター酵素カスパーゼ-1の動員および活性化を行う。ほとんどのNLRP3活性化因子が、この機構によりカスパーゼ-1の活性化を引き起こすが、榎垣たちの研究グループは、過去の研究⁵で、大腸菌 (*Escherichia coli*) やコレラ菌 (*Vibrio cholera*) のような腸内病原菌の感染過程では、カスパーゼ-11の活性化が、NLRP3-ASC依存的なカスパーゼ-1の活性化およびIL-1 β の成熟の促進に不可欠であることを示した (図1)。そして、このカスパーゼ-11経路は、LPS誘発性敗血症性ショックにおいても一部の役割を担っていることが示されている。

その後、広範なグラム陰性細菌に対するインフラマソーム応答にカスパーゼ-11が関与している (グラム陽性細菌への応答には関与しない) とする研究が報告され⁶⁻¹³、グラム陰性細菌の感染過程でカスパーゼ-11が活性化される仕組みを明らかにするための研究が行われてきた。今回、榎垣たちの研究グループ



は、細胞質内でのLPSの感知がカスパーゼ-11の活性化に役割を担っていることを示した。

この知見には、遠回りな方法でたどり着いた。榎垣たちは以前の研究⁵で、LPSに曝露された細胞では、コレラ毒素B (CTB) がカスパーゼ-11経路の引き金であることを明らかにしている。そして今回の研究で、大腸菌 O111:B4由来のLPSは、CTBによるカスパーゼ-11活性化を促進するが、他のグラム陰性細菌由来のLPSやリピドA (TLR4活性化の原因となるLPS成分) ではCTBによるカスパーゼ-11活性化を促進しないことを示した。つまりこれは、CTB自体はカスパーゼ-11活性化の引き金ではないものの、O111:B4由来のLPSを細胞内に送達する媒体として機能することを示している。著者たちはこの知見から、細胞質内LPSが、カスパーゼ-11を活性化する引き金であると推測し、LPSおよびリ

図1 カスパーゼ-11によるインフラマソームの活性化

グラム陰性細菌の感染は、宿主細胞において、NLRP3、ASC およびプロカスパーゼ-1を含むインフラマソームタンパク質複合体の形成の引き金になる。次に、活性化されたカスパーゼ-1は、IL-1 β などのサイトカイン成熟の引き金になる。大腸菌を含むグラム陰性細菌への応答過程では、プロカスパーゼ-1の活性化型カスパーゼ-1への成熟には活性化型カスパーゼ-11が必要である。カスパーゼ-11の発現はアダプタータンパク質 TRIF とI型インターフェロンを含むシグナル伝達経路によって調節される。このようなインフラマソームの活性化は、グラム陰性細菌の外膜の主要な構成要素であるLPSが、細胞表面受容体TLR4とそのコレセプターMD2からなる複合体によって認識された後に、開始する。榎垣たちは、まだ同定されていない受容体を介して宿主細胞の細胞質においてTLR4非依存的方法でLPSが感知されること、また、これによってカスパーゼ-11の活性化が引き起こされることを示した⁴。カスパーゼ-11は、カスパーゼ-1活性化の引き金になるという役割に加えて、カスパーゼ-1非依存的に宿主細胞死を引き起こすことができる。

ピドAを直接細胞質内に送達した場合にカスパーゼ-11の活性化が引き起こされることを示すことで、この考えが正しいことを確認した。

榎垣たちは、さらに、TLR4を活性化できる能力を持つ修飾型LPSは、細胞質内LPS感知経路の引き金にならないことを示し、細胞質内LPSはTLR4に非依存的方法で感知されると仮定した。この仮定を裏付けるため、彼らは、最初に他のToll様受容体 (TLR2あるいはTLR3) のリガンドでプライミング (前処理) することで、NLRP3、IL-1 β およびカスパーゼ-11の発現を誘導しておく、TLR4欠損マクロファージでも、LPSあるいはリピドAに反応して、正常なカスパーゼ-11経路の活性化が起こることを示した。生物活性のあるLPSを欠損した変異型大腸菌、あるいは野生型大腸菌を感染させて、プライミングしたマクロファージでカスパーゼ-11活性化をモニ

ターした結果、細胞質内LPS感知経路がグラム陰性細菌の認識に重要であることを示す説得力のある証拠も得た。つまり、正常およびTLR4欠損のマクロファージは共に野生型大腸菌に応答したが、LPS欠損の変異型大腸菌ではカスパーゼ-11依存的な応答を誘導できなかったのだ。

TLR4欠損マウスは、致死量のLPSを投与されても生存することが以前から知られている。そして、榎垣たちは、以前の研究⁵で、カスパーゼ-11を欠損するマウスも同様であることを観察している。榎垣たちは今回、最初に非致死量のTLR3リガンドでマウスをプライミングして十分なカスパーゼ-11発現を誘導するという条件で、TLR4欠損あるいは野生型のマウスにおいて、致死量のLPSに対する細胞質内LPS感知経路の意義を評価した。するとこのような条件では、LPS誘発性敗血症性ショックに対して、TLR4欠損マウスは野生型マウスと同様の感受性を示した。

以上をまとめると、今回得られた結果は、グラム陰性細菌感染の検知に細胞質内LPSセンサーが関与していることを強く示している。また、LPS誘発性死亡を引き起こす重度の炎症応答を誘導するには、TLR4およびこの細胞質内LPSセンサーの両方が重要であることをはっきりと示している(図1)。さらにこの研究は、抗菌防御について理解するための新しいテーマを浮かび上がらせた。つまり、複数のセンサーが、異なる細胞内コンパートメント特異的な方法で、同一の細菌産物を認識しているという考え方だ。

このような戦略は、宿主が微生物侵入の深刻度を正しく評価し、それに対する応答を調整するのに役立つ可能性があるため、脅威に見合った戦略と言える。例えば、ごく少量のLPSの場合には、TLR4依存性の炎症促進応答が引き起こされて、感染の存在を宿主に警告し、一方で、多量のLPSの場合には、それが細胞質へと到達し、インフラマソームの活性化、IL-1 β の産生および、最終的には細胞死の引き金になるのだろう。この戦

略は周到に計画されたものである可能性もある。というのは、細胞質内LPS感知経路は、TLR4を基盤とする認識よりも宿主に有害であると考えられるからだ。結果的には、この細胞質内LPS感知経路は、重度の感染が起こったときのみ機能すると考えられる。

この研究には、いくつかの早急に解決すべき疑問もある。最も重要な疑問は、LPSを感知する本体は何か、ということである。カスパーゼ-11活性化を調整するその本体が何をしているかが詳しく分かっていないのだ。また、ヒト細胞においても、細胞質内LPSは同様の事象の引き金になるのかどうか。これも重要な問題だ。ヒト細胞においてもこの経路が確認できれば、今回の知見は敗血症を治療する薬剤の開発に役立つだろう。例えば、非常に特異的にTLR4を阻害する薬剤であるエリトランは、最近、敗血症による死亡を減少させる目的でのヒト臨床試験に失敗したが¹⁴、これはエリトランが細胞質内LPS感知経路を阻害できないためではないだろうか？ LPS誘発性敗血症性ショックの症例のおよそ1/3は、グラム陰性細菌の感染によって引き起こされており、また、これらの症例の死亡率は高い。ヒトでのグラム陰性細菌の認識におけるカスパーゼ-11経路の臨床的意義をより深く理解できれば、このような感染の転帰が改善するだろう。■

(翻訳：三谷祐貴子)

Vijay A. K. Rathinam と Katherine A. Fitzgerald は、マサチューセッツ大学医学系大学院(米国)に所属。

1. Poltorak, A. et al. *Science* **282**, 2085-2088 (1998).
2. Meng, J., Gong, M., Björkbacka, H. & Golenbock, D. T. *J. Immunol.* **187**, 3683-3693 (2011).
3. Haziot, A., Hijiya, N., Gangloff, S. C., Silver, J. & Goyert, S. M. *J. Immunol.* **166**, 1075-1078 (2001).
4. Kayagaki, N. et al. *Science* **341**, 1246-1249 (2013).
5. Kayagaki, N. et al. *Nature* **479**, 117-121 (2011).
6. Gurung, P. et al. *J. Biol. Chem.* **287**, 34474-34483 (2012).
7. Broz, P. et al. *Nature* **490**, 288-291 (2012).
8. Rathinam, V. A. et al. *Cell* **150**, 606-619 (2012).
9. Aachoui, Y. et al. *Science* **339**, 975-978 (2013).
10. Case, C. L. et al. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **110**, 1851-1856 (2013).
11. Casson, C. N. et al. *PLoS Pathogens* **9**, e1003400 (2013).
12. Schaubli, R., Vanrobaeys, J., Schotte, P. & Beyaert, R. *J. Biol. Chem.* **277**, 41624-41630 (2002).
13. Suk, K., Kim, S. Y. & Kim, H. *J. Neurochem.* **80**, 230-238 (2002).
14. Opal, S. M. et al. *J. Am. Med. Assoc.* **309**, 1154-1162 (2013).

SCIENTIFIC REPORTS

We launched in
2011

You published
2000
research papers
with us

Our impact factor is
2.927

Discover
what we can do
together.

nature.asia/srep-japan

*2012 Journal Citation Reports® (Thomson Reuters, 2013)

nature publishing group 

インターネットを科学者とエンジニアの手に取り戻せ!

Spooked

2013年9月19日号 Vol. 501 (282)

安全保障の名の下に、市民的自由権が侵害されている。
安全なインターネットを再構築して人々の信頼を取り戻すために、
研究者と立法者は、より安全な標準プロトコルを開発するよう努力しなければならない。

暗号研究者 Matthew Green は、自身のブログで、米国家安全保障局 (NSA) が、インターネットのセキュリティ基盤となっている暗号化技術を、巧妙に迂回していることを暴露した。2013年9月9日、ジョーンズホプキンス大学(米国メリーランド州ボルチモア)はGreenに対し、このブログ記事の削除を命じた。しかし、逆にその知名度を高める結果となってしまう、同大学は命令を素早く撤回したのだが、全世界のメディアがGreenのブログ記事に関心を持ってしまった。

NSAの活動を問題視する一連の暴露記事や今回のGreenによる分析は、真剣に向き合うべき内容を含んでいる。「最悪の仮説が当たってしまったようだが、規模は、私の想像をはるかに超えているらしい」とGreenは記している。

NSA所属の数学者は、暗号研究やインターネットのセキュリティ標準の策定に深く関与しており、大学の研究者や重要機関、例えば米国立標準技術研究所(NIST)などとも密接に連携することが多い。9月上旬、NSAの内部告発者エドワード・スノーデンから提供された資料に基づいた記事が、ニューヨーク・タイムズ紙、ガーディアン紙、公益ジャーナリズムサイトのProPublicaに掲載されたが、それらによると、NSAは、暗号化標準を弱体化ないしは脆弱化するための工作さえ行っていたという。

この他にも、技術系企業と協力して、特定製品への侵入拠点を作ったり、イン

ターネット会社に暗号化キーの提供を強制したり、あるいは、サーバーから暗号化キーをハッキングしてセキュリティを無力化したことなどが指摘されている。

NISTは、9月9日、疑惑のある標準のうちの2つについて審査を開始するという前例のない措置をとり、暗号の専門家による脆弱性のダブルチェックが終わるまで、これらの標準を適用してはならないという警告をユーザーに発した。インターネットの中核的標準を開発するオープンな国際組織であるインターネット・エンジニアリング・タスク・フォース(IETF)は、NSA型の攻撃に対するセキュリティとプライバシー保護を増強するため、インターネットプロトコルを強化する方法を現在検討しており、この論点を次回の11月の会議(カナダ・バンクーバー)の議題とする予定だ。

サブプライムローンの不良債権によって金融機関に対する信頼が失われ、2007年の世界金融危機が起こった。同じように、NSAの活動は、インターネット世界を構成する全てのグループ(グーグルとヤフー、通信会社、クラウドコンピューティングプロバイダー、半導体チップやルーターのメーカーなど)に対する人々の信頼を損なってしまった。NSAの活動でインターネットの基本構造そのものが損なわれてしまったのだ。

暗号研究者でセキュリティの専門家である Bruce Schneier は、ガーディア

ン紙の記事の中で、インターネットを科学者とエンジニアの手に取り戻し、もっと多くの内部告発者が現れて、NSAや独裁国家による「電子の自由」の侵害を白日の下にさらすよう呼びかけた。

当然のことながら、NSAの数学者やNSAに協力する外部の大学研究者は、良心に基づいて自らを省みるべきだろう。また、NSAと結びつきのある数学系学会や大学は、暴露記事の内容について、もっと情報を公開し、発言すべきだろう。

Schneierは、IETFと同様、科学者がインターネットを設計し直して、安全性をより高めることを望んでいる。技術的改良は可能であり、誰もが審査できるオープンソースコードが、前に進む原動力となるだろう。インターネットの信頼性と安全性は失われたが、そもそも、インターネットは安全なものとして設計されたものではなかった。IETFがそのブログで指摘したように、NSAのような規模の攻撃は「プロトコルの設計時には想定されていなかった」のだ。

しかし、SchneierもIETFも認めているように、インターネットの監視や市民の自由に対する攻撃を規制するという課題は、技術問題というよりは政治問題だ。ここ数か月で、NSAによる自由侵害への対抗措置がほとんど存在しないことが明白となった。安全保障と市民的自由権のバランスが、明らかに間違った方向に傾いてしまっている。 ■

(翻訳: 菊川要)

新生児を対象としたゲノム解読による病気診断の問題点

Sequenced from the start

2013年9月12日号 Vol. 501 (135)

健康な新生児と病気を抱えた新生児を対象に、

ゲノム塩基配列に基づく病気の診断がどの程度有効かを調べる研究プロジェクトがスタートする。

データを適切に役立てる方法をさぐる予定だが、それには、いくつかの重要な倫理上の問題を解決しなければならない。

ゲノム塩基配列の解読は、病気の強力な診断方法としては確立しているが、病気予防や健康管理にどこまで有効なのかは、まだ明らかになっていない。2013年9月4日に発表された研究プロジェクト Genomic Sequencing and Newborn Screening Disorders (GSNSD) は、まさにその有効性をさぐるものである。対象は新生児、つまり研究が失敗すれば失うものが最も大きい集団だ。

GSNSD プログラムでは、4つの研究チームが、1500人以上の乳児のエキソーム(ゲノム中のタンパク質をコードしている領域)またはゲノム全体の塩基配列を解読する。対象には健康な乳児と病気の乳児の両方が含まれる。病気の乳児の場合、具体的な病気の診断がなされているかどうかは問わない。この研究プロジェクトの目的は、まず、塩基配列情報が家族と医師にとってどのように有効であるかを調べることで、そしてもう1つは、約60種の遺伝性疾患を調べる従来の新生児検診データと比べて、塩基配列情報が優位性を持つかどうかを調べることだ。

健康な乳児を対象にして塩基配列解読の有用性を検証する研究は、数は少ないものの増えてきており、こうした成果をつなぎ合わせるのが今回のプロジェクトだ。ただ、今回初めて健康な乳児と病気の乳児の両方を対象とするため、5つのホットな論点が浮かび上がっている。

第1は、遺伝子がどのようにコードされていれば健康な状態なのか完全に

分かっていないのに、ゲノムデータを病気の予防に役立てられるのか、という議論だ。これまでの研究では、塩基配列解読によって、その他の方法では診断できない小児病の15～50%が診断できたとされているが、健康な小児に塩基配列情報を役立てる方法を調べた研究はない。遺伝形質全てが健康に影響するわけではなく、また、特定の遺伝子的変異が特定の人に何らかの意味を持つのかどうか、全く分かっていない。

第2の論点は、医師はどんな種類の遺伝学的所見を患者に知らせるべきなのか、である。その内容は小児と成人で異なるのか、また病気の人と健康な人で異なるのか。乳児が生死の境をさまよっているとき、家族に、がん発症リスクといった仮定にすぎない将来の情報を受け入れる余地はない。一方、何か見つければよいという程度の家族の場合、がんのリスクが明らかになると、完全な健康体なのにずっと心配しなければならない。重要なのは、塩基配列情報によって最大の利益を得る小児を特定することだ。

第3の論点は、塩基配列の解読を迅速かつ低コストで行い、正確な情報を伝え、患者の治療に関する決定に反映させる方法を見つけ出すことだ。調べる疾患数を増やせば、必然的に偽陽性の数は増える。ある研究では、正しい陽性20回当たり1回の偽陽性が起こるといふ。こうした偽陽性は、医療費と患者の心配を増やしてしまう。

第4に、遺伝的データの所有者は誰かという点だ。GSNSDのいずれの研究においても、生の遺伝的データを乳児の家族に提供する計画はないが、乳児は、その一生を通じて、データの恩恵を受けられる可能性はある。

そして、この遺伝的データを他の研究者と共有すべきかどうかというのが第5の論点だ。データの共有は、疾患に対する遺伝子の寄与過程を明らかにする上で、最良の方法と考えられる。一方で、遺伝的データのプライバシーを保証することはますます難しくなっている(*Nature* 2013年1月24日号451ページ参照)。しかし、乳児自身が自らの情報開示に同意していないのに、その情報が一生にわたって公開されるのは問題だ。GSNSDプロジェクトでは、2つのプロジェクトがデータ共有をすでに決めていたが、残り2つは未定だ。

これらの問題への対応が進めば、塩基配列の解読自体は低コスト化するので、全ての小児のゲノム塩基配列が、少なくとも誕生時には解読されてしまうような日が近づくと考えられる。しかし一部の人は、それは政府の予算で市民全員のデータを保存する計画だとして、そうした動きを警戒している。新生児のゲノム塩基配列の解読によって多くの子どもの生命を救うという可能性を実現するためには、科学者はきちんと倫理を守り、科学を正しく進めることが不可欠である。 ■

(翻訳: 菊川要)



Volume 502
Number 7469
2013年10月3日号



過去の爆風：火星の謎のクレーターはずっと以前にあった超巨大火山の証拠



BLAST FROM THE PAST: Enigmatic craters are evidence of ancient Martian supervolcanoes

表紙は、火星の超巨大火山が噴火して、大量の火山灰を大気中に噴出している様子のイメージ画（垂直スケールは実際と異なる）。大気を舞う火山灰のうち、地上に落ちた細かい粒子は層状岩を形成し、それが広大な堆積層になったと考えられるが、^{しょうらん}残りの灰は長期間浮遊し続け、古代の火星気候を強く擾乱させた可能性がある。今回、これまで火山地帯とは考えられていなかった火星のアラビア大陸地域内に、超巨大火山が存在したことを示唆する研究結果が示された。この地域には、起源の分からない層状岩が多数堆積していた。火星の古いカルデラは、これまで侵食によって劣化した衝突クレーターと解釈されてきたが、その解釈が誤っている可能性が示唆された。超巨大火山が古代の火星に広く存在したならば、それは火山の脱ガス量、気候進化や、惑星表面の層状で断片化した上部地殻の形成などの評価に大きく関わってくる。

遺伝学：単一細胞 Hi-C 法によるゲノム解析

Single-cell Hi-C genome analysis

核内での染色体構造の三次元像は、3C法（chromosome conformation capture）を基盤にした Hi-C 法などの最新のゲノム解析技術によってクロマチンの相互作用を捉えることで、得られるようになった。ただし、こうした解析法で得られるデータは、数百万以上の遺伝子座を平均化したもので、単一細胞の染色体構造を直接示したものではない。今回 P. Fraser らは、個々の細胞のゲノムで同時に起こっている何千もの相互作用を検出できる「単一細胞 Hi-C 法」を開発することで、ゲノミクスと顕微鏡研究の間の橋渡しを試みた。このシステムと X 染色体の三次元構造モデルを併用することで、染色体テリトリーの構造、中でもドメイン間や染色体間の相互作用が細胞ごとに異なっていることが分かった。

細胞：細胞のほぼ全部が iPS 細胞になるという効率の良い変換法

Efficient and near-complete conversion to iPS cells

Oct4、Sox2、Klf4 および Myc（OSKM）

という4つの外因性因子を導入することで、体細胞を多能性状態へ再プログラム化できる。しかし、人工多能性幹（iPS）細胞への変換効率は悪い。この変換を阻止している障壁（群）は何か、また iPS 細胞への再プログラム化を決定論的かつ効率的に行うことができるのかも分かっていない。今回、J. Hanna らは、iPS 細胞への効率の良い変換は可能であることを示した。2i/LIF 増殖条件で OSKM を過剰発現させ、再プログラム化に対し抑制的に働く Mbd3/NuRD コリプレッサーを中和すると、多能性状態への決定論的かつ同期的な再プログラム化が起こることが分かった。この方法を用いると、OSKM の誘導後たった7日で、マウスおよびヒトの体細胞のほぼ100%がナイーブ iPS 細胞に変わる。

物理：2倍の量子

Quanta at the double

エネルギー量子の伝搬に関して、2つの異なる物理系で、束縛された量子対という同じ特異なダイナミクスが働いていることが、今週号の2つの論文で明らかにされた。O. Firstenberg らは、非線形媒質を用いることで、質量がゼロで通

常は相互作用しない個々の光子間にコヒーレントな相互作用を実現した。この媒質の内部では、光子1個1個が対を成し、相互に強く引き合って、質量のある粒子として伝搬した。この手法は、全光スイッチング、決定論的なフォトニック量子論理、光の強相関状態の生成などに応用できる可能性がある。一方、^{ふくはらたけし}福原武（ドイツ・マックス・プランク量子光学研究所）らは、光格子中の極低温ボソン原子系において2マグノン束縛状態を観測した。マグノンは磁性体においてエネルギーを運ぶ量子で、一次元量子磁性体に基本スピン波（マグノン）の束縛状態が存在するという予言が80年以上前になされていたが、これまで実証できていなかった。この結果から、量子磁性体の基本特性を研究する新しい方法が得られる。

進化：雄の派手さと寿命のトレードオフ

Putting a dampener on male exuberance

動物の雄は、雌を引きつけるために、例えばシカの枝角や鳥の飾り羽根のような、コストがかかる派手な装飾を誇示する機会が多い。しかし、こうした装飾が有利に働くからといって、これらの形質はすぐに集団内に定着するわけではない。誇示する装飾形質の大きさや派手さには、常にある程度の遺伝的変動が存在する。この説明として、複数遺伝子が関与しているため、もしくは雄の形質の派手さと雌の健康がトレードオフ関係にあると考えられている。今回、繁殖と生存率の間にトレードオフ関係があるという、非常に単純な別の説が提案された。ソアイヒツジでは、角の大きい雄の繁殖成功率が高いが、実際は多くの雄の角は極めて小さく、また角の大きさにはかなりの遺伝的変動が見られる。今回、角の大きさに強く関係するのは、RXFP2 というたった1つの遺伝子で、角を大型化させる対立遺伝子は繁殖成功率の高さと関係するのに対し、角の小型化をもたらす対立遺伝子は寿命の長さに関係することが分かった。これらの対立遺伝子をヘテロ接合体で持つと、角の大きさは中程度で、長命かつ繁殖成功率が高い。



Volume 502
Number 7470
2013年10月10日号

魔法の瞬間：中性子数 34 のエキゾチックなカルシウム 54 同位体は二重魔法数になる

MAGIC MOMENTS: Neutron number 34 makes exotic calcium-54 isotopes doubly magic

原子核中の陽子と中性子は、エネルギー準位間の大きなギャップに対応してそれぞれ異なる殻を形成する。これは、電子が原子中の軌道を回るのといくらか似ている。天然に存在する安定な原子核では、陽子あるいは中性子の数が 2、8、20、28、50、82 あるいは 126 といういわゆる「魔法数」の場合に、完全に占有された殻が生じる。陽子と中性子の不均衡が大きい不安定な原子核では、新しい殻が現れて他の殻は消え、魔法数が進化することがある。今回、理化学研究所 RI ビームファクトリーで発生させた高速の放射性入射核が引き起こす陽子ノックアウト反応を使って行われた中性子過剰核カルシウム 54 (20 個の陽子と 34 個の中性子) の分光学的研究により、この系では中性子数 34 が魔法数であることを示す直接的な証拠が得られた。ようやく、エキゾチックなカルシウム 54 同位体の中性子と陽子の数における「二重魔法数」が確認されたのだ。表紙は、カルシウム 54 から放出される γ 線を測定するのに使われたヨウ化ナトリウム検出器。

物性物理学：準結晶をオーダーする

Quasicrystals to order

準結晶は従来の結晶とは全く異なる。その構成部分は秩序性を持つが、結晶に見られるような精密な繰り返しパターンを示さない。こうした構造は、準結晶に有用な新しい特性をもたらす可能性があるが、準結晶が生じるのは特定の物質に限られている上、まれにしか存在しない。今回 W. Widdra らは、2 つの異なる周期系の間に存在する幾何学的不整合を利用することによって、規則正しい結晶性物質の薄膜に準結晶が生じることを示した。具体的には、ペロブスカイト型チタン酸バリウム薄膜を、適切な面方位の結晶性白金基板上に成長させると、十二角形準結晶構造をとるようになった。

遺伝：DNA メチル化と DNA 複製をつなぐ

Linking DNA methylation and replication

RING フィンガードメインタンパク質 Uhrf1 は、DNA 複製の際に DNA のヘミメチル化部位に DNA メチルトランスフェラーゼ Dnmt1 を誘導し、DNA メチル化パターンの維持に重要な役割を

果たしている。今回、中西真^{なかにしまこと} (名古屋市立大学) らはアフリカツメガエルの卵抽出液を用いて、DNA メチル化状態の維持を *in vitro* 系で再現した。また、Uhrf1 がヒストン H3 の E3 ユビキチンリガーゼであること、DNA 複製部位へ Dnmt1 を誘導するには H3 のユビキチン化が必要であることも分かった。

細胞生物学：オートファジーと繊毛形成とのつながり

Autophagy's links with ciliogenesis

一次繊毛は、シグナル伝達を行う非運動性の細胞小器官で、細胞膜の特定の領域に存在してシグナル変換と環境シグナル (栄養レベルなど) の感知の 2 つの働きを担う。今回、2 つの相補的な論文によって、繊毛形成とオートファジーの新たなつながりが明らかになった。Z. Tang らは、繊毛形成の負の制御因子 OFD1 が、中心小体サテライトでオートファジーによって分解されることにより、一次繊毛の形成が促進されることを示した。O. Pampliega らは、繊毛形成とオートファジーの間に逆の相関関係があることを見

いだした。一次繊毛は飢餓によるオートファジー活性化に必要であり、オートファジーは繊毛形成を負に調節する。

構造生物学：Na⁺、K⁺ の細胞膜勾配の構造基盤

Structures behind Na⁺ and K⁺ membrane gradients

Na⁺、K⁺-ATP アーゼは Na⁺/K⁺ ポンプとも呼ばれ、全ての動物細胞の細胞膜で発現されている。このポンプは、ATP1 分子の加水分解につき 3 個のナトリウムイオンを細胞から排出し、代わりに 2 個のカリウムイオンを細胞外液から取り込むことによって、細胞膜を挟んだ Na⁺ と K⁺ の勾配を作り出す。金井隆太^{かないりゅうた} (東京大学) らは、リン酸化中間体に先行する遷移状態にある、ブタ腎臓由来 Na⁺、K⁺-ATP アーゼの X 線結晶構造を複数解明した。この ATP アーゼは Na⁺ に対する親和性がかなり低いにもかかわらず、K⁺ と Ca²⁺ は輸送せず、Na⁺ 特異的ポンプとして機能する。その仕組みが、Na⁺ 結合部位の構造から明らかになった。また、オリゴマイシンの作用機構も明らかになり、3 個の Na⁺ イオンを閉じ込めたリン酸化中間体状態を安定化することにより、ATP アーゼを阻害する。

微生物学：細菌性髄膜炎の病原体は宿主の体温を測る

Bacterial meningitis pathogen takes host's temperature

ヒトの病原体である髄膜炎菌は、多糖からなり、莢膜 (細胞外液中での生存を助ける) などのさまざまな防御機構を進化させてきた。C. Tang らは、髄膜炎菌での莢膜の発現が、莢膜の生合成に必要な 3 つの遺伝子の mRNA の 5' 非翻訳領域 (5' UTR) に位置する RNA 温度センサーによって調節されていることを明らかにした。髄膜炎菌は、炎症や免疫エフェクター細胞の動員に伴う体温上昇を検出することで鼻咽頭粘膜の炎症状態を感知しているらしい。元来は共生細菌である髄膜炎菌は、こうして自己の防御機構を強化し、共感染しているウイルス病原体に対する宿主応答に抵抗できるようだ。



Volume 502
Number 7471
2013年10月17日号



特集：研究のインパクト：価値ありと見なされる科学研究を探す

IMPACT: The search for science that matters

研究費配分機関はどこでも、今までとは違った重要な研究を支援したいと考えているが、真に重要な研究を見分けるための単純な公式というものには存在しない。また、助成金の引き締めが進むにつれて、研究者たちの助成金供給資源や職をめぐる競争は激化しているが、どういものが優れた研究なのか、またそれをどのように見分けるかについては課題が多い。今週号の一連の特集や意見記事では、研究の影響度の測り方について検討が行われ、現在の評価システムが、科学研究が持つ影響力を最大限に引き出せているかどうかを検証している。

説明できると考えられていた対不安定メカニズムと矛盾する。この結果から示唆されるのは、極めてエネルギーの高いこうした超新星からのデブリが、マグネター（磁場を持つ中性子星）からエネルギー供給を受けているというモデルだ。

光学：レーザー周波数コムを利用したラマン分光

Raman spectroscopy with laser frequency combs

光学分光や光学顕微鏡の進歩は、物理学、化学、生物学の分野全体に多大な影響を与えた。特にコヒーレントラマン分光は、化学的な感度が高く、高い時間空間分解能を持つ上、無標識で分子を見ることができ、非破壊的に複雑な系を調べるツールとして応用化が期待されている。井手口拓郎（ドイツ・マックス・プランク量子光学研究所）らは今回、2つのレーザー周波数コムを用いればコヒーレントラマン分光を実施でき、マイクロ秒の時間スケールと高い分解能で広い帯域幅にわたるスペクトルを測定でき、その測定は単一検出器で可能なことを示した。開発がさらに進めば、分光学分野ばかりでなく、例えば生物学的過程のリアルタイム顕微鏡観察でもブレイクスルーがもたらされるかもしれない。

神経科学：性的に未成熟であることを示すフェロモンシグナル

Pheromone signal indicates sexual immaturity

齧歯類の社会行動はフェロモンによって突き動かされており、フェロモンは年齢や性別、生理的状态などの情報を他の個体に伝える働きをしている。今回 S. Liberles らは、生殖可能な時期に達していない若いマウスが産生する新規なフェロモンを見だし、ESP22 と命名した。ESP22 は涙を介して放出され、鋤鼻器のニューロンを活性化し、このシグナルを発現する個体に対する成体雄マウスの交尾行動は抑制された。つまり ESP22 は、マウスが性的に未成熟であることを示すシグナルとして働き、成体マウスの交尾行動の制御を助けるらしい。

がん：12種類の腫瘍のゲノムを展望する

Genomic landscape of twelve tumour types

がんゲノムアトラス全がんプロジェクトの一環として、12種類の腫瘍に由来する3000以上のサンプルで、点突然変異や小さな挿入欠失に関するデータが解析された。がんとの関係が明確な細胞過程と、がんとの関係が明らかになりつつある細胞過程の比較解析結果から、有意の変異を起こした遺伝子が127個見つかった。また、腫瘍形成に必要なドライバー変異の数が比較的少ないことも分かった。臨床との関連解析では、生存に大きな影響を及ぼす遺伝子が見つかった。さらに、腫瘍形成の間に起こる変異事象の時間的順序も推定された。

地球：拡散クリープ下でのカンラン石の結晶軸の整列

Alignment of crystallographic axes of olivine during diffusion creep

転位クリープ下で生じるカンラン石の結晶学的選択配向性は、地球上部マントルの弾性的異方性の主な原因と考えられており、地震学ではマントル流の方向を決定するために使われることが多い。宮崎智詞（東京大学）らは、鉄を含まないカンラン石粒子は、透輝石またはメルトと共存すると、拡散クリープの下で結晶学的選択配向性が発達しうることを示

した。さらに、固相温度付近でのこうした拡散クリープから、水平方向の強い異方性が予想されることも分かった。

創薬：多発性硬化症に対する再生治療

Regenerative therapy for multiple sclerosis

今回 P. Schultz らは、ラットのオリゴデンドロサイト前駆細胞（OPC）を用い、*in vitro* で OPC の分化を促進する低分子について、画像によるハイスループット・スクリーニングを行った。この方法により、多発性硬化症などの疾患でオリゴデンドロサイトによる再ミエリン化を促進できる低分子薬が見つかった。最も有効性が高かった化合物はベンストロピンで、これはパーキンソン病の治療薬として認可されている。ベンストロピンは、2種類の脱ミエリン化疾患モデルで *in vivo* での有効性を示したが、免疫系には目立った影響を与えなかった。

宇宙：マグネターがエネルギー供給する超高輝度超新星

Magnetar-powered super-luminous supernovae

最近発見されたゆっくりと暗くなる2つの超高輝度超新星は PTF 12dam と PS1-11ap と呼ばれており、その観測から、比較的急速な立ち上がり時間と青色のスペクトルが明らかになった。この2つの超新星は、超高輝度事象を最もよく



Volume 502
Number 7472
2013年10月24日号

燃料産生細胞：再生可能な資源からガソリンを作り出す改造細菌

FUEL CELLS: Engineered bacteria producing gasoline from renewable resources

表紙は、細胞内の代謝経路を石油生産プラントになぞらえたイラスト。再生可能な資源から持続可能なバイオ燃料を生産する研究は、原油価格の高騰と化石資源の枯渇が追い風となり活気づいている。その選択肢の1つに組換え微生物があるが、微生物によるガソリン生産はこれまで成功していない。その一因は、ガソリンがC4からC12までの軽い液体炭化水素の混合物であるのに対し、細胞の代謝は主として長鎖脂肪酸とその誘導体の生産に好都合な系になっているためだ。今回、Y. ChoiとS. Leeは、短鎖アルカン、遊離脂肪酸、脂肪酸エステルや脂肪族アルコールを生産するように遺伝子操作した大腸菌株群について報告した。組換え株は1リットル当たり580.8mgもの短鎖アルカンを生産し、その主成分はノナンおよびドデカンであった。この代謝経路操作戦略は、多数の有用な産業用燃料および化学物質として短鎖脂肪酸やその誘導体を生産する微生物の設計に使える。

神経科学：新たな角度から昆虫忌避剤を探索

A new angle in insect repellants

DEET（ディート、N,N-ジエチル-metaトルアミド）は主要な昆虫忌避剤（虫よけ剤）として60年以上も使われている化合物だが、その作用機構は完全には分かっていないため、新しい昆虫忌避剤の探索が進まなかった。今回DEETの作用を仲介する重要な要素が突き止められた。それは、高度に保存されている受容体（Ir40aタンパク質）と、ショウジョウバエの触角の小窩様構造にある感覚ニューロン群である。さらに、天然物、あるいはヒトへの使用がすでに認められている化合物の中から、ハエと蚊でこれと同じ神経回路を刺激する（つまり忌避反応を誘発する）化合物も見つけだされた。DEETに代わる安価で安全で効果の高い化合物による忌避剤が期待される。

宇宙：確認された最も遠方の星形成銀河

Most distant star-forming galaxy confirmed

ハッブル宇宙望遠鏡のデータから、ビッグバン後10億年以内の赤方偏移を持

つ銀河の候補が多数得られたが、距離が確定しているものは現在のところ数個しかない。S. Finkelsteinらは今回、KECK I望遠鏡に搭載され稼働を開始したMOSFIRE分光器を用いて、赤方偏移7.51に輝線を持ちビッグバン後7億年と特定される銀河を見つけた。この銀河は、分光学的に確認された中で最も遠方の銀河となる。この銀河の色は多量の金属の存在と矛盾せず、また星形成率は年に約330太陽質量と予想外に高く、天の川銀河の星形成率の100倍以上に相当する。この結果から、初期宇宙には、活発に星形成する領域がこれまで予想されていたよりも多く存在する可能性が示唆される。

生理：肝臓でのエネルギー代謝の調節

Regulation of energy metabolism in the liver

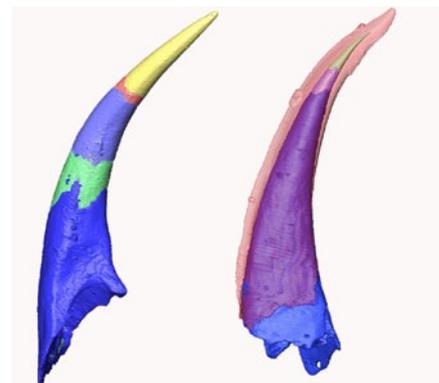
肝臓の代謝関連遺伝子の日周性や概日性の調節が代謝恒常性維持に重要な役割を担っていることは、最近得られた証拠から示唆されているが、肝臓が全身のエネルギー基質恒常性を調節する分子基盤は明らかになっていない。中でも懸案と

なっているのが、肝臓の脂質生成を末梢組織のエネルギー要求量と協調させる仕組みである。今回、核内ホルモン受容体であるPPAR δ が、肝臓でのde novo脂質生成を調節し、循環中の脂質を介して、筋肉による脂肪利用と協調させていることが分かった。高脂肪食を与えると血清脂質の周期的な産生が見られなくなるが、db/db糖尿病マウスでは血清脂質の投与により代謝恒常性が改善される。

古生物学：歯の進化的起源

The evolutionary roots of teeth

堆積岩には「コノドントエレメント」と呼ばれる歯に似た微化石が大量に含まれていることが多く、これは地層の年代特定に利用されている。コノドントエレメントは、ウナギに似たコノドント類という動物の咽頭の構成要素である。その組織学的特徴は脊椎動物の歯と極めてよく似ているため、歯の出現が口で起こったとする「内から外へ（inside-out）」進化モデルが唱えられている。しかし今回、形態の似ているユーコノドントとパラコノドントのエレメントの微細構造を、シンクロトロン放射X線断層顕微鏡法を用いて比較した結果、「内から外へ」モデルに疑問が投げかけられた。コノドントと有顎脊椎動物の最終共通祖先は、石灰化した骨格組織を持たないことが示唆されたからだ。歯は、顎の出現直後に、歯牙形成能力が外皮から内上皮へと拡張したことで進化したと考えられる。このモデルが正しければ、コノドントエレメントと歯は平行進化の典型例となる。



パラコノドント（左）とユーコノドントのエレメントの比較。



Volume 502
Number 7473
2013年10月31日号

もの言うごみ：廃棄物ピークの見通しは早急な対策を促している

TALKING TRASH: Peak-waste projections urge action

世界全体の固形廃棄物産出量が最大になる「廃棄物ピーク (peak waste)」は、人類が地球環境に最大の影響を及ぼすと思われる時期を示す有用な指標である。廃棄物ピークが起こる正確な時期の予測は難しいが、この号の Comment で D. Hoornweg、P. Bhada-Tata と C. Kennedy が、現在の社会経済学的な傾向に基づいて、廃棄物ピークは今世紀中に起こらないと予想している。つまり、我々が人口増加速度や物的消費速度を低下させないかぎり廃棄物は増える一方であり、地球は環境負荷を抱え込まねばならないことを意味する。また、廃棄物ピークを前倒しさせる手段として、人口の安定化や、資源消費量がより少なくよく管理された都市、公平性の拡大と技術使用についても検討している。

細胞：造血幹細胞ニッチの特徴を解析

Haematopoietic stem cell niche characterized

P. Frenette らは、造血幹細胞 (HSC) ニッチ内でのさまざまな細胞種の空間分布をホールマウント共焦点免疫蛍光画像化技術と計算モデリングを用いて解析した。その結果、休止状態の HSC が、骨内膜付近の骨髄に選択的に存在する小径の細動脈と特異的に関連しており、これらの細動脈が HSC の休止状態の維持に必須であることが分かった。これは HSC ニッチの違い、つまり HSC が休止状態になるか増殖状態になるかは、血管の種類の違いによることを示唆している。

構造生物学：Pol I の構造を決定

Pol I structure determined

RNA ポリメラーゼ I (Pol I) は、リボソームの組み立てに欠かせないリボソーム RNA の転写を行っている。それゆえ、Pol I はタンパク質生合成と細胞増殖の主要な決定因子である。また Pol I の誤った調節は数種類のがんとも関係があるため、Pol I は抗がん剤の新たな標的となっている。今回、酵母由来の 14 サブユニットからなる完全な Pol I の 3.0 Å と 2.8 Å 分解能の X 線結晶構造が、2 つの研究グループからそれぞれ発表された。Pol I の基本的な構造は Pol II や Pol III

と似ているが、DNA が結合する裂け目 (クレフト) は、他の RNA ポリメラーゼで見られるものよりも広がったコンホメーションをとっていた。その他の独自な特徴からも、Pol I の各要素の機能的な役割についての手掛かりが得られた。

生態：動物であるサンゴも行う DMSP 生合成

DMSP biosynthesis in coral animals

ジメチルスルホニオプロピオナート (DMSP) は広範に分布する代謝産物で、海洋細菌によって揮発性の気体であるジメチルスルフィド (DMS) に変換される。DMS に含まれる硫黄は、大気中に拡散して雲形成の核となるため、気候に影響を与える。今回 J. Raina らは、一般的な造礁サンゴ種であるハイマツミドリイシ (*Acropora millepora*) およびウスエダミドリイシ (*A. tenuis*) の 2 種が、単独で DMSP を産生することを報告した。これまで DMSP は、藻類 (サンゴへの共生種を含む) や一部の植物によってのみ産生されると考えられていたので、この結果は実に意外である。また、DMSP 生合成は、動物であるサンゴが熱ストレス条件下で生存するのに役立っている可能性が示された。今回得られた結果から、全球規模の環境変化は、サンゴやその共生者の DMSP 産生だけでなく、DMSP

を介した熱ストレスの軽減にも影響を与えている能性が示唆された。

量子物理学：注文に応じてレビトンを作る

Levitons produced to order

純粋な量子励起のオンデマンド生成は、量子系の操作に重要であるが、フェルミオンに対しては特に難しい。これは、摂動によって粒子励起と空孔励起の複雑な重ね合わせが生じる傾向があるためである。しかし、約 20 年前、L. Levitov は最小の励起、つまりたった 1 個の粒子だけで空孔のない準粒子が生成可能であると予言した。今回、「レビトン」と名付けられた準粒子の、電子系内でのオンデマンド生成が報告された。このレビトンは、量子情報や基礎研究に応用できると考えられる。

構造生物学：高分解能低温電子線トモグラフィによるファージの観察

High-resolution cryo-electron tomography

今回、ゼルニケ位相差 (ZPC) 法による低温電子線トモグラフィを使って、標識や切片作成を必要とせずに細胞内過程を調べた初めての研究成果が報告された。W. Chiu らはこの方法を使って、シアノファージ Syn5 が宿主細胞内で成熟する過程を観察し、細胞小器官を同定、また複数種の組み立て中間体を確認することにも成功した。

||||||| ネイチャーからのご案内 |||||

naturevideo

Web: www.youtube.com/NatureVideoChannel

モバイル:



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

nature podcast

Web: www.nature.com/nature/podcast

モバイル:



Nature に掲載された研究成果をポッドキャストでチェックできます。(英語; iPhone™のみ対応)

2013 年 12 月 24 日までの期間に、Nature ダイジェストを新規購読お申し込みいただきますと、

抽選で毎月 1 名様に

Nature 年間購読を

プレゼントいたします!



ますます科学が楽しくなる!



Nature ダイジェスト創刊 10 周年記念新規購読キャンペーンお申し込み nature.asia/nd10

nature publishing group 

EDITOR'S NOTE

生物学は科学なのか? — 10月号に続くもう一度問う。物理学や化学のように、生命科学も、実験や観測で測定/再現できる事実に基づいて普遍知識を構築できるのか。これは昔からある命題だ。11月号では、医学生物学系論文の実に70%以上が他者による再現実験ができないという驚愕の事実が報告された。今月号では、解析ソフトウェアの正しさが確認されぬまま科学論文となっている事実が明かされた(27ページ)。自らの存在を否定しかねないこうした問題と、現代の生命科学はどう向き合っていくのか。Nature 関連誌の怠慢が悪用された森口尚史事件、今月号の幽霊著者による論文詐欺(18ページ)など、同じ弱点を突かれているのではないかと。(YM)

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



nature publishing group 

ネイチャー・パブリッシング・グループ
〒162-0843
東京都新宿区市谷田町 2-37 千代田ビル
Tel. 03-3267-8751 (代表)
Fax. 03-3267-8754
www.naturejpn.com

©2013 Nature Japan K.K., trading as Nature Publishing Group. All rights reserved. 掲載記事の無断転載を禁じます。

広告のお問い合わせ
Tel. 03-3267-8765 (広告部)
Email : advertising@natureasia.com

編集発行人: Antoine Bocquet
副発行人: 峯村宏
編集: 松田栄治、宇津木光代
デザイン/制作: 村上武、中村創
広告: 米山ケイト、藤原由紀
マーケティング: 池田三智世、池田恵子
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。

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25年10月25日発行 第10巻 第11号
編集発行人: Antoine Bocquet

発行所: ネイチャー・ダイジェスト株式会社
東京都新宿区市谷田町2-37 千代田ビル

発行所: 日本出版貿易株式会社
ISSN: 1880-0556

