

CALL FOR SUBMISSIONS

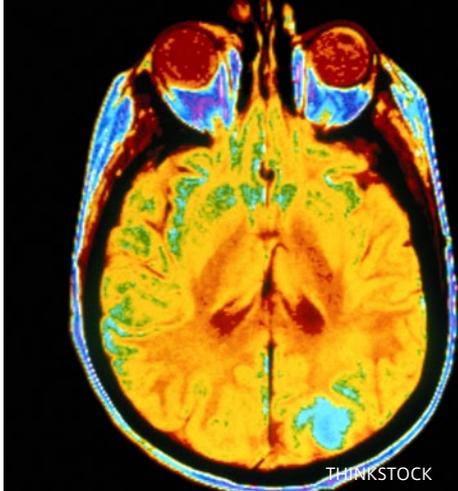
Credit where credit's due

Scientific Data is a new open-access, online-only publication for descriptions of scientifically valuable datasets. It introduces a new type of content called the **Data Descriptor** designed to make your data more discoverable, interpretable and reusable.

Why publish with us?

As part of your research, you probably already have all the information you need to publish with us, and by taking this extra step, you stand to gain a lot more:

	<p>CREDIT</p>	<p>Credit through a citable, peer reviewed publication for depositing and sharing your data.</p>
	<p>REUSE</p>	<p>Complete, curated and standardized descriptions enable the reuse of your data.</p>
	<p>DISCOVER</p>	<p>Find datasets relevant to your research.</p>



THINKSTOCK

脳科学で心が丸はだか？

07

表紙画像：HEIDE BENSER/CORBIS/AMANA IMAGES

脳活動から思考を読み取る「脳情報デコーディング」技術の研究が活発だ。見ているものだけでなく、見ている夢の内容も分かるという。

NATURE NEWS

- 03 毛を生む組織再生のカギは培養法にあった
- 04 バッタネズミは、毒サソリに刺されても平気
- 05 治癒を速める「若返り」遺伝子
- 14 臨床試験データ公開に立ちはだかる壁
- 15 IPCCの実態に切り込む社会科学の行方
- 28 RESEARCH HIGHLIGHT | 刺し網漁の禁止で、潜水鳥が増えた！

NEWS SCAN

- 06 リーダーに続け
- 06 細菌流の変身の術

NEWS & VIEWS

- 20 脂肪代謝のメヌエット
- 22 最も遠い銀河の発見

EDITORIAL

- 29 インパクトを重視することの危うさ

HIGHLIGHTS

- 30 2013年11/7～11/28号

RESEARCH ROUND-UP

- 34 Nature Genetics / Nature Medicine / Nature Chemistry より

02 3種の初期人類は同一種だったのか!?

ドマニシで出土した5点の頭蓋骨の比較結果は、当時3種いたとされる人類を1種に統合できる可能性を示唆するものだ。



GURAM BUMBIASHVILI, GEORGIAN NATIONAL MUSEUM

17 自然リンパ球の開拓者

新しい概念「自然リンパ球」とは何か、ナチュラルヘルパー細胞の発見をはじめ、この分野を牽引する小安重夫氏に解説いただいた。



24 ガイア衛星打ち上げへ

伝統ある位置天文学の期待を背に、2013年12月、ようやくガイア衛星が打ち上げられる。



D. DUCROS/ESA

12 新気象予報システムがアフリカを救う?

携帯電話中継塔に設置したアンテナで雷を検知するシステムの実演が、ギニアで行われた。設置費用はレーダーの10分の1だ。



THINKSTOCK

3種の初期人類は同一種だったのか!?

Skull suggests three early human species were one

SID PERKINS 2013年10月17日 オンライン掲載 (doi:10.1038/nature.2013.13972)

グルジアで出土した、単一集団とみられる約180万年前の頭蓋骨5点のうち、1つは飛び抜けて面長であった。この集団内に見られる個体差から、現在3種に分類されている初期人類は同一種にまとめられる可能性がある。

これまでに発見された初期人類の頭蓋骨の中でも極めて完全性が高いものの1つについての分析結果が報告された¹。その結果から、3種と考えられてきたヒト属は、実は同一種である可能性が示唆され、初期人類の系統分類に関する論争を巻き起こしている。

今回、グルジア・ドマニシで発掘された約180万年前の化石頭蓋骨を分析し、その解剖学的特徴を、同じ発掘現場から出土した別の4点の頭蓋骨と比較した結果、これら5点の解剖学的特徴には幅広い差が見られることが分かった。このことから、当時世界各地に存在していたとされてきた3種のヒト属、すなわち *Homo habilis*、*Homo rudolfensis*、*Homo erectus* が、同一種の個体差の範囲に収まる可能性があるというのだ。

新たに記載されたその頭蓋骨（一般には「スカル・ファイブ (skull 5)」と呼ばれている：写真）が発掘されたのは、2005年のことだった。その5年前に2mほど離れた場所で発見された下顎骨とこの頭蓋骨とを合わせると、「この年代の成人の頭蓋骨としては最も完全性の高いものになったのです」と話すのは、人類学研究所博物館（スイス・チューリッヒ）の古人類学者で、今回の研究チームに名を連ねる Marcia Ponce de León だ。

skull 5の脳頭蓋容量はわずか546cm³で、これは現生人類の3分の1程度だと、Ponce de Leónは指摘する。ただ、脳の容量はそれほど大きくないにもかかわらず、顔の大きさは、この遺跡で見つ

かった *H. erectus* のものとされている別の4点の頭蓋骨と比べると大きく、顎が前方に突き出ている。

Ponce de Leónと同じ研究所の神経生物学者で、この研究チームのメンバーである Christoph Zollikoferによれば、1つの遺跡から頭蓋骨が5点も出土したことで、同一の種族と考えられる集団内に見られるばらつきを研究する、またとない機会が得られたという。この場所で発掘された頭蓋骨5点の持ち主がそれぞれ生存した時期は、おそらく2万年の年代内に収まるだろう、と Zollikoferは推測する。

このドマニシの5点の頭蓋骨は、それぞれがかなり違った特徴を持つため、「別々の種として発表したくなってしまいます」と Zollikoferは話す。しかし、それぞれの個体は、同じ地質学的年代の同じ場所に由来していることが分かっており、基本的には単一種の単一集団のものである可能性が高い。

研究チームの統計データもまた、5点の頭蓋骨が単一種であることを支持する結果だった。例えば、skull 5の容積は、ドマニシで発掘された最大の頭蓋骨の75%程度で、これは大きな差にみえる。しかしこの差は、現生人類の間やチンパンジーの間に見られる変動の範囲内である。さらに Zollikoferによれば、そのばらつきは当時の世界中の全ヒト属に見られる変動の範囲にも収まっているという。

ケンブリッジ大学（英国）の古人類学者 Robert Foley は、「多くの頭蓋骨の発見が、必ずしも物事をはっきりさせてくれ



るわけではありません」と話す。ただし、今回の分析結果は、初期のヒト属の解剖学的ばらつきの傾向や程度に関する科学者の考え方を考えるはずだ、とも語る。

もし、約180万年前に地球上に存在していたその3種のヒト属が同一種ということになれば、*H. habilis* と *H. rudolfensis* は、*H. erectus* に組み込まれるだろうと、Zollikoferは考えている。ドマニシの頭蓋骨が *H. erectus* として知られるものに似ているためだ。

しかし、マックス・プランク進化人類学研究所（ドイツ・ライプツィヒ）の古生物学者 Fred Spoor は、アフリカからインドネシアにわたる広範な地域に存在していたその3種を *H. erectus* としてまとめることは科学的に妥当ではないと考えている。

Spoorによれば、今回の研究ではおおまかな頭蓋骨形状の統計的解析法を用いているが、この手法は、種と種とを区別するのに必ずしも適していないという。脳頭蓋の高さや眼窩の直径など、具体的な解剖学的形質を分析するべきだったと、Spoorは指摘する。これらの特徴は、種の同定と進化の系統樹の構築に広く利用されており、容易に定量可能なものだ。■

（翻訳：小林盛方）

1. Lordkipanidze, D. et al. *Science* **342**, 326-331 (2013).

毛を生む組織再生のカギは 培養法にあった

Cultured follicles offer hope for beating baldness

BRIAN OWENS 2013年10月21日 オンライン掲載 (doi:10.1038/nature.2013.13983)

毛包は、毛髪を生み出し支える皮膚内の器官で、毛髪再生に重要だ。

毛包の誘導は、これまでマウスでしか成功していなかったが、

今回、古典的な培養法を用いることで、ヒト毛包の誘導にも成功した。

昔も今も、脱毛症による頭髪の減少に悩む人々にとって人生は不公平なものだ。40年以上も前にはすでに、生まれつき毛のない齧歯類(無毛マウス)に、毛髪形成に重要な毛包と呼ばれる構造を生じさせる方法が明らかになっている。これは、シャーレで培養した皮膚細胞を皮下移植するという方法だ。ところが、これと同じことをヒトで試みてもいっこうに成功しなかった。しかし今回、細胞の培養法を少し変えるだけで、脱毛症の治療にとって有望そうな結果が得られることが分かり、2013年10月21日に *Proceedings of the National Academy of Sciences* に発表された¹。

毛包の形成には毛乳頭細胞と呼ばれる皮膚の細胞が大きく関わっている。この毛乳頭細胞を採取してシャーレで培養すると、マウスの場合は増殖して細胞塊を形成する。しかし、ヒト毛乳頭細胞の場合は細胞塊を形成しない。このことから、コロンビア大学(米国ニューヨーク州)の遺伝学者Angela Christianoと共同研究者であるグラム大学(英国)の細胞生物学者Colin Jahodaは、マウスで毛包誘導が成功するのは、その毛乳頭細胞の凝集塊形成能力であるからではないかと考えた。

そこで彼らは、ヒト毛乳頭細胞を懸滴培養してみた。この方法は100年ほど前に編み出され、シャーレの蓋側に培養液で懸濁させた細胞を付着させて培養す

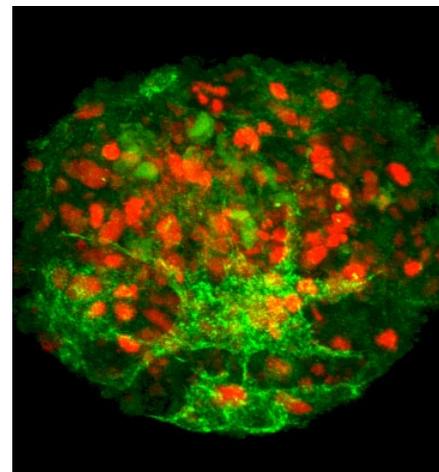
る。この培養法を用いると、細胞は平面状には広がらず、重力のために水滴の底部に集まって、より自然な三次元的配置の塊となる。

「懸滴培養法を使うことで、培養細胞は空間的配置を維持して細胞外マトリックスを形成することができます。そのおかげで、毛乳頭細胞は毛包形成を誘導できるようになるのだと思います」とChristianoは話す。

髪形に悩まぬ日も近い？

今回Christianoは、ラットの背中にヒトの毛のない皮膚を移植し、懸滴培養した細胞塊をその皮下に移植した。すると、毛包の発生が誘導されたことが確認できた。

またChristianoは、細胞を平らな面で二次元的に増殖させると、約4000個の遺伝子の発現が異常になるが、懸滴培養法を用いることで、それらの遺伝子のうち約22%の機能が正常に回復することを見いだした。従って、細胞が毛包形成の誘導能を持つには、それくらいの数の遺伝子が機能していればよいようだ。なお機能が回復した遺伝子の中には、細胞外から細胞内へシグナルを伝える重要なWntシグナル伝達経路に関わる遺伝子など、すでに発毛と関連付けられていたものも含まれていた。この結果についてChristianoは、「毛包形成を誘導するには案外少ない遺伝子で十分なのだ」と分



ヒト毛乳頭細胞を培養してできた細胞塊。この細胞塊をヒト皮膚に移植すると、ヒトの毛が新たに生えてきた。

かって驚きました」と話す。

上皮の生物学的特性に詳しいスタンフォード大学(米国カリフォルニア州)のAnthony Oroは、細胞塊の取る構造がこれほど重要だという知見は、そう驚くことではないだろうと話す。「美しい三次元構造のものを平たい二次元の構造にさせても、それを構成する細胞は本来の特性を保持するだろう、というのは我々の勝手な思い込みです。それは、細胞に尋ねるべき問題なのです」。

Oroはさらに、今回の研究成果は刺激的なものだが、マウスの背に毛が生えたといっても「まだ、ゴールデンタイムのニュースで取り上げられるほどのものではない」と付け加えた。なぜなら、今回の研究で得られた毛包全てが皮膚から生える毛を作り出したわけではなく、また、この毛包には色素や皮脂腺も備わっていなかったからだ。Christianoによれば、そうした問題点を解消して、この手法を実用化にこぎ着けるまでには、まだしばらく時間がかかるという。今回の手法はさらに、抜け毛防止剤や育毛剤を体外条件下で試験するための組織スクリーニングモデルの開発にもつながるだろうと、彼は語った。

(翻訳：船田晶子)

1. Higgins, C. et al. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1309970110> (2013).

バツタネズミは、毒サソリに刺されても平気

Rodent immune to scorpion venom

SARAH ZHANG 2013年10月24日 オンライン掲載 (doi:10.1038/nature.2013.14014)

今回、このネズミのサソリ毒に対する耐性のメカニズムが明らかになり、
薬剤標的として注目されている。



MATTHEW AND ASHLEE ROWE

クモ形類動物に属するサソリの一種バーク・スコピオンは、襲ってくる相手を毒針で刺して撃退しようとする。普通はこの毒針で刺されると強烈な痛みが引き起こされるが、バツタネズミは、この毒針で刺されても痛みをほとんど感じない。今回、その理由がようやく解明された。バツタネズミがサソリ毒の痛みを感じないのは、その痛み応答を制御する細胞経路に変異があるためだったのだ。

2013年10月24日の *Science*¹ で発表されたこの研究結果は、鎮痛剤を開発しようとしている研究者たちにとって、有望な薬剤標的候補のヒントになりそうだ。「これは素晴らしい完璧な研究です。行動から、その行動の説明となる分子の挙動まで、全てが明らかになりました」と、ケンブリッジ大学(英国)の神経科学者 Ewan Smith は言う。彼はこの論文には関与していない。

Onychomys 属の一種であるバツタネズミが暮らす米国南西部の砂漠では、バーク・スコピオンは豊富にいるものの他の食物源は乏しい。バツタネズミは、サソリ毒に対する抵抗性のおかげで、この砂漠でも生き残ることができた。今回、ミシガン州立大学(米国イーストラッシング)の進化神経生物学者 Ashlee Rowe らは、少量のサソリの毒液を、バツタネズミと、その遠縁にあたるハツカネズミの足に注射することで、バツタネズミはサソリに刺されても痛みを感じないという野外観察結果を検証した。すると、毒液の注射により、ハツカネズミは繰り返し自分の足をなめて不快

感を示したのに対し、バツタネズミはほんの数回足をなめただけだった。

Rowe らは次に、ハツカネズミとバツタネズミに、まず毒液を注射し、続いてホルマリン(痛みを引き起こすことが知られている化学物質)を注射する実験を行った。この場合でもやはり、バツタネズミが足をなめる回数は、ハツカネズミよりも少なかった。この結果から、バツタネズミのホルマリンによる痛みに対する感受性は、先に注射した毒液によって低下したことが示唆された。

さらに Rowe らは、バツタネズミのニューロンで変化が起きている分子経路を突き止めることにも成功した。哺乳動物で疼痛シグナルを伝えるには、2つのナトリウムチャンネルが必要である。1つは、シグナルを最初に発生させるチャンネル、もう1つは、それを伝播させるチャンネルだ。これまでの痛みに関する薬物研究では、主に前者のチャンネルに焦点が当てられてきた。サソリ毒は、疼痛シグナルを発生させるチャンネルを刺激する物質であるが、このサソリ毒が、バツタネズミではシグナルを伝播させるチャンネルを抑制することが今回分かった。その結果、バツタネズミは、サソリ毒が引き起こすはずの疼痛を感じなくなっているのである。

疼痛のスイッチ

Rowe らは、バツタネズミのサソリ毒への反応は、痛みを伝播するチャンネルのわずかな構造上の違いによって説明できると考えている。バツタネズミとハツカネズミでは、ナトリウムチャンネルを構成するタン

パク質のアミノ酸が1つだけ違っており、そのためにバツタネズミでは毒液による疼痛シグナルの伝播が抑制されるのだ。

Rowe は、バツタネズミの毒液に対する感受性の欠如には、他の分子に生じた変化が寄与している可能性もあるが、中心的役割を担っているのは、今回彼女が特定したアミノ酸の違いだと考えている。

「これは非常に傑出した論文です」とコロラド大学医学系大学院(米国オーロラ)の神経科学者 Rock Levinson は言う。彼は、この研究の学際的手法、すなわち行動、電気生理学、および分子生物学の実験により得られた証拠を組み合わせたやり方を賞賛する。

ハダカデバネズミで同様の疼痛抵抗性メカニズムを発見した²イリノイ大学(米国シカゴ)の神経科学者 Thomas Park も、2つの種で、似たような形質が平行して進化していることを知り、胸が高鳴ると言う。

バツタネズミの場合もハダカデバネズミの場合も、ある物質が、自身が生み出した疼痛シグナルを遮断する。その物質は、受容体を活性化して痛みを引き起こすとともに、その受容体の下流にある変異したナトリウムチャンネルに作用することで、疼痛シグナルをブロックするのである。これら2種類の動物の痛みを遮断する能力についての研究が進めば、将来的には医学的な応用につながる可能性もある。 ■

(翻訳: 古川奈々子、要約: 編集部)

1. Rowe, A. H., Xiao, Y., Rowe, M. P., Cummins, T. R. & Zakon, H. H. *Science* **342**, 441-446 (2013).
2. Park, T. J. et al. *PLoS Biol.* **6**, e13 (2008).

治癒を速める「若返り」遺伝子

Fountain-of-youth gene unleashes healing power

MONYA BAKER 2013年11月7日 オンライン掲載 (doi:10.1038/nature.2013.14128)

Lin28a タンパク質を成体組織で発現させると、傷の治癒力を高めたり、毛の成長を速めたりするなどの効果がもたらされた。

テキサス大学サウスウェスタン医療センター（米国ダラス）の細胞生物学者である Hao Zhu は、あるタンパク質の機能を調べるために遺伝学的改変マウスを作製した。マウスには腫瘍が発生すると予想していたが、実際には、このマウスが成長すると、体は野生型マウスよりも大きくなり、毛がフサフサになった。そして、仔マウスのときに個体識別のために切断した指先が、再生していた。

このマウスが野生型マウスと異なる点は、Lin28a というタンパク質の発現ただ1つである。Lin28a は、通常、発生中の胚^{はい}でしか発現していない。だがこのマウスは、常に少量の Lin28a を発現している。Lin28a は、幹細胞機能およびがんに関与することから、これまで注目を集めてきた。今回、この Lin28a が、胎仔だけでなく成体になった後でさえも、組織修復能を向上させることが示され、2013年11月7日に *Cell* に発表された¹。生涯にわたって Lin28a を産生するよう遺伝学的改変されたこのマウスは、野生型マウスよりも毛の成長が速く、耳にパンチで開けた穴に至ってはほぼ完全にふさがった。

「Lin28a の発現が少し変化するだけで、複雑な組織再生にこれほど大きな影響を及ぼすことに、本当に驚きました」と、この論文の著者である Zhu は言う。

胚に発現する遺伝子を用いた細胞の初期化手法で最もよく知られているのは、人工多能性幹 (iPS) 細胞の作製過程だ。この過程では、一連の遺伝子を活性化させることで、細胞が胚様の状態を獲得する。しかし、今回の研究は、そのような

老化状態からの脱却が、培養細胞のみならず、成熟した個体の組織でも可能であることを明らかにした。すなわち、老化した組織であれ、損傷の修復力をはるかに優れた、老化していない組織のようになり得ることが示唆される。例えば哺乳類の胎仔では、重傷であっても、傷跡が残ることなく治癒する。

「体は自分の年齢を知っており、遺伝子はその情報を調節しています。つまり年齢の情報を決定する遺伝学的調節因子があるということです。その全てが明らかになっている訳ではありませんが、Lin28a はそのうちの1つと考えています」と Zhu は言う。

効果は限定的

ただし、Lin28a による治癒力の促進は、全ての組織で観察されたわけではない。例えば、今回の論文で心臓の再生は促進されなかった。また、若齢成体期 (5週齢) に達すると、指先を切断しても再生しなくなった。しかし、毛、軟骨および耳の結合組織は、若齢成体期に達した後も引き続き野生型マウス以上の速度で再生した。

「Lin28a で治癒が促進されない場合があるというのは、大変興味深いです。何か重要な意味があるはずですよ」と、ゼブラフィッシュの網膜再生における Lin28 の役割を研究しているミシガン大学 (米国アナーバー) の Daniel Goldman は言う。彼は、心臓などの組織では、初期化に抵抗する機構があるのかもしれないと考えている。

特に興味深いのは、Lin28a が細胞の



CHRIS GILLOCH

生物学的年齢を初期化する仕組みである。Lin28a の機能で最もよく研究されているのは、let-7 と呼ばれる RNA 分子との相互作用である。let-7 は細胞増殖を制限し、成熟を促進する。しかし Zhu らは、Lin28a が、ミトコンドリア (細胞のエネルギー産生小器官) の機能に関与する複数の酵素の発現レベルを上昇させることにより、細胞代謝にも影響を与えることを見いだした。

治癒効果に代謝が関与しているという事実が、最も驚くべき結果だったと、今回の論文の著者の1人で、ボストン小児病院 (米国マサチューセッツ州) の細胞生物学者である Shyh-Chang Ng は言う。「ほとんどの生物学者は、治癒経路を生じるためには特別な因子が必要だと考えているでしょう。しかし、治癒を速めるにはあらゆる細胞が行っている代謝を高めるだけでよかったのです」。

とはいえ、Lin28a を基盤とした考えを医療へと応用するにはまだ程遠いと、Ng は言う。薬剤の標的という点、そのほとんどは酵素か細胞表面の受容体のどちらかであるのに対し、Lin28a は RNA 結合タンパク質で、核に存在する。そのため、従来型の薬剤では Lin28a を標的にすることは難しい。その上、Lin28a の効果は多様なため、そのうちのどの影響に焦点を当てるべきかもはっきりしないのである。

(翻訳：三谷祐貴子)

1. Ng, S-C., et al. *Cell* **155**, 778-792 (2013).

リーダーに続け

魚群のシンクロ遊泳の秘密が解明され始めた

ゴールドデンシャイナーとして知られるミノウ(ヒメハヤ)という魚は、オリンピックの最も厳しい審査員を感動させるほど見事なシンクロナイズドスイミングを披露する。こうした魚群が調和して方向転換する能力はかねて科学者の興味の対象で、群泳のメカニズムを数式で表す方法がいくつか開発された。だがそれらは単純化されていることが多く、魚がリアルタイムで感知する情報を全て考慮しているわけではない。

魚が群泳中に実際にしていることを詳しく把握するため、プリンストン大学(米国ニュージャージー州)の生物学者Iain Couzinらはゴールドデンシャイナーの群れに合図して全体をタイミングよく動かす方法を考案した。緑の光に向かえばエサがあることを数匹の魚に教えた後、群れに加えた。緑のランプを点灯すると、訓練された魚はそちらに向かって泳ぎ始め、これをきっかけに残りの魚たちも次々にリーダーの後を追った。

Couzinらはこの行動を高速ビデオカメラで撮影し、それぞれの魚の場所と頭の位置に基づいて、当の魚の視野をマッピングした。この結果、それぞれの魚は自分がこれから進む方向を最寄りの魚の動きに従って決めていたのではないことが分かった。視野に入った魚全体がどこに向かっているか、その方向を合成して決めていたようだ。この結果は*Current Biology*に報告された。

「1匹の魚が光に向かって動き始める瞬間を特定できました。このおかげで、視野に見えている個体のうち動き始めた魚に反応して動いていることが分かったのです」とCouzin。

群れの遺伝子

一方、そもそも魚がなぜ群れをなすのかを突き止めようとしている研究グループもある。フレッド・ハッチンソンがん研究センター(米国ワシントン州シアトル)の生物学者Katie Peichelらは、イトヨの群泳行動が少なくとも2つの遺伝子群によっていることを明らかにした。片方の遺伝子群は他の魚を大きな群れに迎え入れる傾向を調節しており、他方の遺伝子群はその魚が隣の魚と向きをそろえて整列隊形で泳ぐ能力に影響している。この成果は、*Current Biology*に報告された。

群れをなすという行動上の特徴と群泳を可能にする知覚能力によって、魚は捕食者から身を守るのに役立つ見事な泳ぎを実現している。「群れを作ることによって、魚は異なる方法で世界を感知しています」とCouzinは言う。

(翻訳協力: 栗木瑞穂)

細菌流の変身の術

無害な細菌が、悪役に変わるメカニズム

細菌は至るところにいる。体内にもいる。無害なもの、有益なもの、そしてもちろん一部は病気を引き起こす。だがその他の菌、例えばありふれた肺炎連鎖球菌(*Streptococcus pneumoniae*)は、この3つには分類できない。善玉から悪玉へと急に変身するのだ。

肺炎連鎖球菌は通常、人々の鼻腔におとなしくすみついている。だが時々、この細菌が危険を感じると自らを守ろうとして体内の別の場所に散らばり、人間を病気にする。こうして肺炎(世界的には子どもの死因のトップ)などの重い病気を引き起こすが、「基本的には偶発的な病原菌だ」と、バッファロー大学(米国ニューヨーク州)のAnders Hakanssonは言う。

インフルエンザとその後の肺炎連鎖球菌感染症に強い相関があることが示されてきたが、この細菌が悪玉になるメカニズムはいまだにはっきりしていない。そこでHakanssonらは、そのメカニズムを調べることにした。

人間のシグナルを細菌が傍受

その結果、インフルエンザに対する人間の免疫応答が引き金となって、細菌に変化が起こるらしいことが分かった。体がインフルエンザウイルスに反応して体温を上げ、ノルアドレナリンなどのストレスホルモンを放出すると、この細菌はそうした環境変化に反応する。コロニーから散らばった細菌は、別の場所に広がり、遺伝子の発現パターンが変わって呼吸器の細胞に致命的な影響を与えるようになるのだと、研究チームは*mBio*に報告した。

肺炎連鎖球菌がホルモンなどヒト細胞からのSOS信号を傍受できるのは「インター・キングダム・シグナリング(界間シグナル伝達)」の例だ。連鎖球菌の場合、細菌が動物界の生物のシグナルを聞いている。界間シグナル伝達は近年、重要な生物学メカニズムと見なされるようになってきた。

肺炎連鎖球菌はもともと人間にすみついている菌なので、人体内部の環境変化を読み取る方法を進化させたのは理にかなっていると、Hakanssonは言う。「私たち人間の体は、この細菌にとっての生態学的ニッチなのです」。

(翻訳協力: 栗木瑞穂)

カリフォルニア大学バークレー校(米国)の神経科学者Jack Gallantは研究室で、椅子から身を乗り出して食い入るようにコンピューター画面を見つめていた。そのコンピューターは、被験者の思考を解読した結果を表示しようとしていた。

コンピューター画面の左側には、Gallantが脳スキャン中の学生被験者に見せた映像の一場面が表示されている。画面の右側には、コンピューターの解読プログラムが被験者が見ていたものを推測した結果が表示されている。被験者の脳スキャン像の詳細データのみを使って、被験者が何を見ていたかを当てようというのだ。

画面の左側には、映画『ブライダル・ウォーズ』のあるシーンが映し出されていて、アン・ハサウェイの顔があり、ケイト・ハドソンと熱のこもった会話を交わしている。それに対し、コンピューターの解読アルゴリズムは自信たっぷりに、画面の右側に大きくはっきりした文字で、「woman (女性)」や「talk (話す)」などの言葉のラベルを着々と表示していく。終わると、左側の画面が別の映像に変わった。今度は、野生生物のドキュメンタリーからの水中シーンだ。この解読に四苦八苦したプログラムは、最終的に、自信のなさそうな小さく色の薄い文字で、「whale (クジラ)」や「swim (泳ぐ)」などのラベル付けをした。

「この動物はマナティーですが、解読プログラムはそれが何であるかを知らないのです」と、まるで出来の悪い学生を擁護するかのようにGallantはプログラムについて説明を始めた。彼らは、被験者にさまざまな画像や映像クリップを見せ、その際に生じた脳活動パターンをプログラムに取り込ませることで、このプログラムを「訓練」したという。この解読プログラムにはいくつかの大型の水棲哺乳類に関するデータはあったが、マナティーのデータはまだなかった。

この技術は「脳情報デコーディング (brain decoding)」と呼ばれ、現在、世界各国の研究グループがこれに取り組ん

でいる。この技術を使って、脳スキャンデータから、人が何を見たり聞いたり感じたりしているのか、何を思い出しているのか、どんな夢を見ているのかを読み取ろうというのだ。

マスメディアは、この技術によって「読心術が空想から現実に」とか「我々の社会生活のあらゆる面に影響を及ぼす」などと報道している。例えば *The Economist* (英国ロンドン) は読者に「恐れるべき」だと警告し、科学者が脳スキャンによるテレパシーを実現するのが何年後かを推測した。

対照的に企業は、脳情報デコーディングを市場調査や嘘発見法などに応用しようと、科学者に接触を図り始めている。しかし科学者の関心は、この技術を使って、脳そのものを知ることにある。Gallantのグループやその他のチームは現在、さまざまな脳活動パターンの基盤に何があるかを明らかにしようと取り組んでおり、脳が自身を取り巻く世界を理解するために使っている符号(コード)やアルゴリズムの解明を目指している。この技術を使えば、脳の働きを支配する基本原理や、脳が記憶や行動、情動を符号化する仕組みを知ることができると考えているのだ(「初心者のためのデコーディング入門」を参照)。

Gallantらの技術を、写真や動画などの視覚情報の符号化を超えた領域にまで適用するには、複雑さの点で極めて大きな飛躍が必要になるだろう。Gallantは、「私が脳の研究で視覚を扱うのは、それに最も興味があるからではありません。最も研究しやすい部分だからです。視覚は、私が死ぬまでに解明できそうかどうかという期待が持てる領域なのです」と説明する。ただし、理論上は「この技術を使えば、どの脳領域も基本的に解明できるはず」と彼は言う。

「斑点」解析を超えて

脳情報デコーディング技術の黎明は10年ほど前にさかのぼる¹。機能的磁気共鳴画像法(fMRI)を使って得られた脳ス

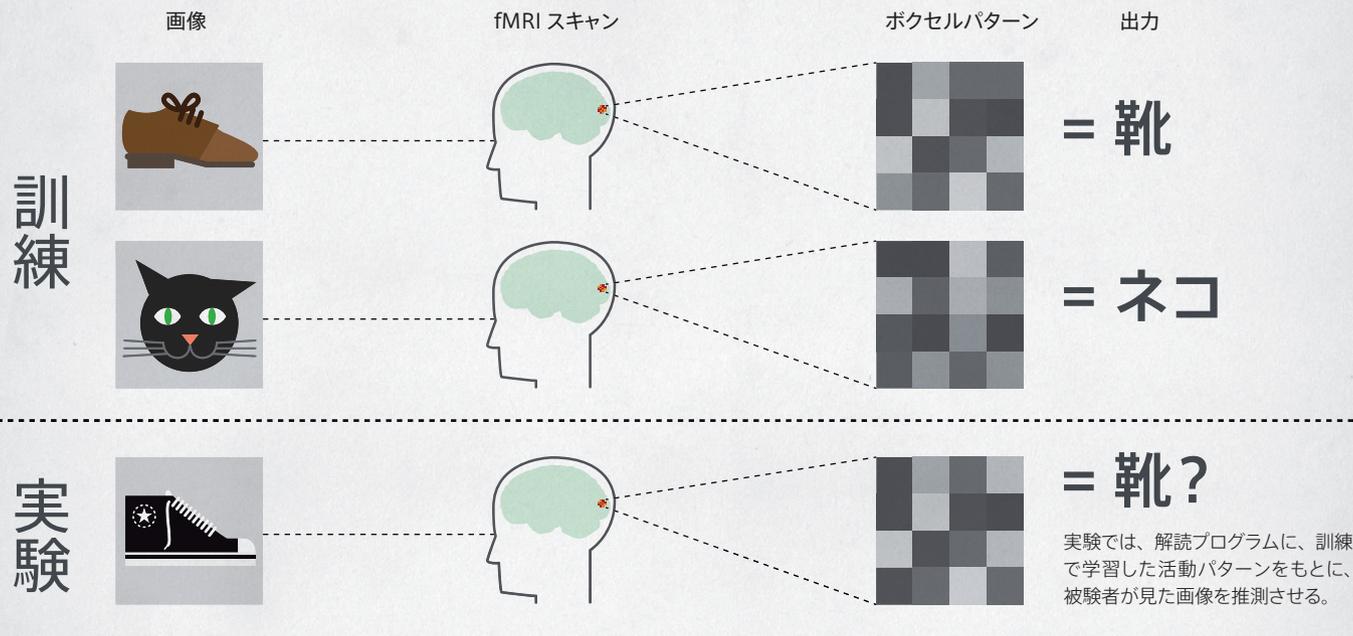
キャンデータの中に手つかずの情報が大量に埋もれていることに、神経科学者たちは当時から気が付いていた。fMRIは、酸素を多く含む血液が流れる脳領域を特定することで脳の活動度を測る技術で、活動度が高い領域は、スキャン像の中で色の付いた斑点として明るく浮かび上がる仕組みだ。活動パターンを解析するため、脳は小さい多数のボックス(「ボクセル」と呼ばれる、二次元画像の「ピクセル(画素)」に相当する三次元画像の単位)に分割される。例えば、fMRIを用いて顔の情報を処理している領域を絞り込む際には、誰かの顔を見るなどの1つの刺激に対して最も強く応答するボクセルを探し、応答の微弱なボクセルからのデータは捨てる。

デコーディング技術は、脳スキャン像に含まれる情報を、これまでの「斑点」解析よりも多く取り出すことができる。つまり、顔に対してどの脳領域が最も強く応答するかを調べるのではなく、強い応答と弱い応答の両方を使って、もっと微妙な活動パターンを捉えるのである。この技術を使った研究の初期には、例えば、対象物の符号化の際に活動するのは、fMRI上で非常に活動的と表示されるただ1つの狭い領域だけではなく、広く分布する一連の領域であることが明らかになった。

デコーディング技術は、「パターン判別器(pattern classifier)」と呼ばれる計算アルゴリズムに支えられており、パターン判別器に脳スキャンの記録を取り込ませることで、プログラムにそれぞれの画像や概念と関連する脳活動パターンを「学習」させる。このプログラムに十分な量のサンプルを取り込ませれば、被験者が見ているものや考えていることを推測できるわけだ。これは脳内の斑点マッピングをはるかに凌駕する技術である。脳活動パターンをさらに細かく見ること、単に「脳内のどの場所」かを問う段階から、心理過程の本質に関わる仮説を検証する段階にまで進むことができるのだ。例えば、何年もの間論争となっ

初心者のためのデコーディング入門

まず、コンピューター内の解読プログラムに、特定の画像とそれに関連する脳スキャンデータを取り込ませて、プログラムを「訓練」する。脳活動パターンのデータベースが出来上がったら、被験者に画像を見せたときの脳活動パターンを入力して、解読プログラムに被験者が見ているものを推測させる。このとき被験者に見せる画像は、必ずしも訓練時に見せたものと同じではない。



ている、記憶の強度や活動分布に関する疑問を検証することもできるだろう。fMRIに詳しいテキサス大学オースティン校(米国)のRussell Poldrackは、脳情報デコーディングによって、ヒトの脳が課題をどのように遂行するかを予測する心理学の既存理論について、検証が可能になるだろうと言う。「単なる斑点の解析を超えた先には、多くの道が開けているのです」と彼は話す。

初期のデコーディング研究^{1,2}では、脳活動パターンから、被験者が見ている対象物のカテゴリー(ハサミか、瓶か、靴かなど)を判別できる程度の情報が得られることが明らかになった。「我々は、この技術がちゃんと機能したことに驚き、この技術を使って分かったことにも驚きました」と、ダートマス大学(米国ニューハンプシャー州)のJim Haxbyは話す。彼は、2001年に発表された最初の脳情報デコーディング研究を率いた研究者である。

2005年には、ATR脳情報研究所(京都)^{かみたにゆきやす}の神谷之康とFrank Tong(現所属はバンダービルト大学;米国テネシー州ナッシュビル)のチームが、機械学習を用いた脳情報デコーディング法を開発し、微細な脳構造の基本原則をヒトで確認することに成功した。当時すでに、視覚野の多くは、物体の境界の傾き(エッジの方位)に強く応答し、それらの情報を組み合わせると外界の全体像を構築していることが、サルやネコの脳に電極を埋め込んで調べた研究から分かっていた。ただしヒトの脳では、こうしたエッジに好選性のある脳領域があまりにも小さく、従来のfMRI技術では捉えることができていなかった。神谷ら、および当時ロンドン大学ユニバーシティカレッジ(英国)で同技術を研究していたJohn-Dylan HaynesとGeraint Reesの2つのチームはそれぞれ、fMRIデータにデコーディング技術を適用すること

で、エッジのある画像が、ヒトでも非常に特異な脳活動パターンを引き起こすことを明らかにした^{3,4}。実験で被験者にさまざまな傾きの線を見せたところ、活動パターンを示すボクセル・モザイクが線ごとに異なる状態になったため、チームは被験者がどの傾きの線を見ているか知ることができた。

2008年になると、被験者に見せる画像は、エッジから複雑な絵になった。当時Gallantのチームは、被験者が120種類ある絵のどれを見ているかを特定できる解読アルゴリズム(デコーダー)を開発した。この解読は、被験者が見ている画像が属する大ざっぱなカテゴリーを推測したり、エッジを読み取ったりするよりもずっと難しい。同年、神谷らは、脳活動をもとに、被験者が見ているものを大ざっぱではあるが画像化することに成功した⁵。Gallantらはその後、動画を再現できるデコーダーを開発した⁶。

2006年頃になると、さまざまな課題に対応するデコーダーが開発されるようになった。課題には、例えば、被験者があるシーンを想像する「視覚心像」や、ある事実や数字を心に留めておく「短期記憶」、それから、2つの数字を足すべきか引くべきかを決定するときの「志向」などを調べるものがある。中でも「志向」は視覚系を解読するよりも難しいと、現在ベルンシュタイン計算論的神経科学センター（ドイツ・ベルリン）に所属するHaynesは話す。彼は、「志向は多種多様過ぎて、カテゴリー分けが可能かどうかすら見当もつきません」と嘆く。絵であれば、色彩や内容によってカテゴリー分けができるが、志向を支配する原理は、それに比べると確立するのが容易ではないのだ。

Gallantの研究室でも、志向の研究がいかに難しいかをすでに感じている。彼のチームは『カウンターストライク』という名の一人称視点の対戦型ビデオゲームを使って、プレイヤーが左右どちらに行こうとしているのかや、敵の追跡／銃の発砲のどちらをしようとしているのかについて、志向の読み取りを試みた。その結果、あちこち動き回るときの志向の読み取りはほぼできた。しかし、それ以外のfMRIデータ内の情報は全て、被験者がゲーム内で銃を撃ったり死んだりした際の情動で生じた信号に圧倒されてしまい、読み取れなかった。つまり、情動で生じた信号が、志向に関する繊細な情報を全てかき消してしまうのだ。特に強力な信号が生じるのはゲーム内で死んだときだとGallantは説明する。

夢についても同じことが言える。神谷のチームは2013年4月に、夢の内容のデコーディングを試みた研究結果を*Science*に発表した⁷ (*Nature* ダイジェスト 2013年7月号20～21ページ参照)。被験者にスキャナー装置の中で眠ってもらい、夢を見ていると思われるタイミングで被験者を起こしては、どんな夢を見たか思い出してもらおうことを繰り返した。チームは最初、夢の中の視覚情報を

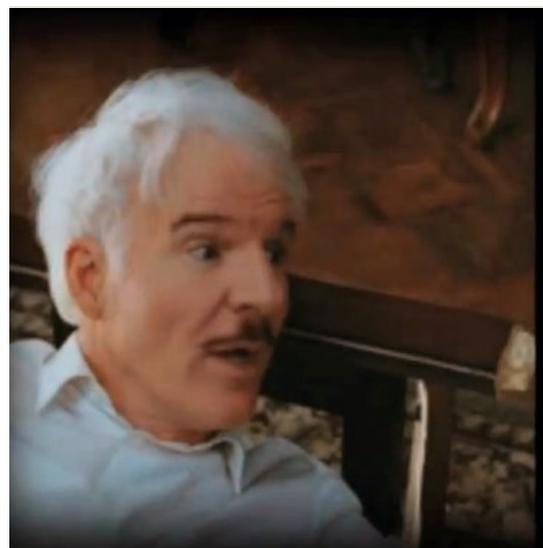
再構築しようとしたが、最終的には言葉によるカテゴリーで分類することにした。彼らの解読プログラムは、被験者の夢に出てきたもののカテゴリー(自動車、文章、男性、女性など)を60%の精度で推測することができた。

夢の内容は主観的なものであるため、情報をさらに抽出することが困難なのだと言ふ。「私は自分が見た夢の内容を考えると、実際に何かを見ているように感じます」と彼は言う。しかし、夢には脳の視覚領域だけでなく他の領域も関わっていると考えられており、そのため、信頼できるモデルを構築することはさらに困難になる。

リバースエンジニアリングの難しさ

脳情報デコーディングは、脳活動と外界との相関性を確立できるという事実の上に成り立っている。そして、例えば脳からの信号を使ってロボットハンドに指令を出したいだけなら、そうした相関性を見いだすだけで十分である (*Nature* 2013年5月9日号 176～178ページ参照)。しかし、Gallantをはじめとする研究者たちは、脳が使っている複雑なコードを解読したいと考えており、そのためには、相関性を見いだすだけでは不十分である。まず何よりも、脳内の構造がどうやって作られ、情報をどのように蓄積するかを解明する必要がある。

だがそれは容易ではないだろう、とGallantは言う。それぞれの脳領域は、他の複数領域のネットワークから情報を得て組み合わせる際、おそらく情報の表し方を変化させていると思われる。そのときにどんな種類の変換が起こっているかを、神経科学者は、事後の状態から明らかにしなければならない。脳は、他のエンジニアリング対象と違って、ヒトの頭脳や数理モデルで必ず理解できるような原理で組み立てられたものではない。「我々が脳を設計した訳ではないのです。脳はあくまで我々に与えられたものであり、我々は脳が働く仕組みを解き明かさねばならない立場なのです。この種のシ



ステムをモデル化するための数理学がある訳でもありません」とGallantは説明する。脳の各領域の内容について入手可能なデータが十分な量あったとしても、それらの領域自体や、領域どうしの関係性、領域の時間につれた変化の仕方などを1組の方程式で記述することは、おそらく不可能だろう。

医学研究会議(MRC)認知脳科学ユニット(英国ケンブリッジ)の計算論的神経科学者Nikolaus Kriegeskorteによれば、視覚情報が符号化される仕組みを解明するだけでも相当難しく、厄介だという。視覚系は脳の中で最も解明が進んでいる部分であるにもかかわらず、そう捉えられているのだ (*Nature* 2013年10月10日号 156～158ページ参照)。「視覚は、人工知能を構築する際の難題の1つです。我々がかつてこれを、チェスをしたり定理を証明したりすることよりも容易だろうと考えていました」と彼は話す。しかし実際には、多くの問題に直面することになった。例えば、多数のニューロンは顔のような対象物をどのように表現するのか、対象物の情報は視覚系の複数領域間をどのように伝わるのか、そして、顔に対応する神経の符号が顔を表現する際にどう変化するかなど、問題は山のようにある。個々のニューロンのレベルからモデルを構築するのはあまりに



デコーディング技術によって、被験者が見ているものを映像化することに成功した。

複雑な作業であり、「資源も時間も不十分」とKriegeskorteは言う。そこで彼のチームは現在、既存の複数の視覚モデルを脳データと比較して、何がぴったり合うかを見極めようとしている。

現実世界への波紋

多数の脳に広く適用でき、また、同一の脳では時間を超えても一般化できるようなデコーディングのモデルが求められているが、この開発は一筋縄ではいかない。デコーダーは普通、二者択一（例えばAとBどちらの絵を見ているか）などの比較的単純な脳活動の解読以外は、個々の脳について構築する必要がある。それに対し、いくつかの研究グループが現在、万能な「フリーサイズ」のモデルを構築しようと画策中である。Haxbyもそうした1人で、「脳はどれも、ほんの少しずつ違っています。活動パターンの個人差については今のところまだ十分に情報が集まっていないのですが……」と話す。

ニュースなどで話題になった脳情報デコーディングのアプリケーションの多くは、「誰か」の隠された思考や無意識下の思考を読み取ることを想定しておらず、そのためには標準化が必要になるだろう。そうした被験者を選ばないアプリケーションはまだ実現していないが、企業はすでに関心を示している。Haynes

によれば、彼は最近、自動車メーカーのダイムラー社の代理人から、市場調査のため、被験者から消費者の隠れた好みを読み取れないかと尋ねられたという。原理的には可能だろうが、現在の手法では、30種類の製品のうちでどれがいちばん好きかを判定することはできない、とHaynesは話す。また彼は、「マーケティング担当者は現在分かっている情報を大事にすべきです。従来の市場調査手法を使って調査したほうが、ずっと確実だと思います」と語った。

脳情報デコーディングには、捜査に関わるサービスを提供したいと考えている企業も関心を寄せている。例えば、ノライMRI社（米国カリフォルニア州サンディエゴ）は、デコーディングに近い技術を使って、脳スキャン像で嘘と真実を見分けることが可能だと言っている。スタンフォード大学（米国カリフォルニア州）の法学者Hank Greelyは、『オックスフォード版 脳神経倫理学ハンドブック』（Oxford University Press、2011）の中で、嘘を検出でき、記憶の信頼度をチェックでき、陪審員や裁判官の先入観を明らかにできるより優れた方法が登場すれば、司法に恩恵がもたらされるだろう、と記している。一部の倫理学者は、個人の心の中の思考や欲望はプライバシーであり、プライバシー保護法によって守られるべきだと主張している。一方、オックスフォード大学（英国）の脳神経倫理学者Julian Savulescuは、デコーディング技術を採用しても基本的には問題ないと見ており、「人々はこの技術を恐れていますが、正しく使えば大いなる自由がもたらされるでしょう」と話す。彼によれば、脳のデータも、他の証拠類と何も変わらないという。「人々の発する言葉を証拠とするのは構わないのに思考はダメだと特別扱いする理由が、私には分かりません」とSavulescu。

Haynesが現在行っている研究では、被験者に「仮想の家」をいくつか見て回ってもらい、その後、被験者に別の組み合わせの「仮想の家」群を見せながら脳を

スキャンする実験がある。予備実験の結果から、被験者が脳スキャンの前にどの「仮想の家」を訪れたかを特定できることが示唆された。つまり、この種の技術を使うことで、容疑者が以前に犯行現場を訪れたことがあるかどうかを明らかにできる可能性があるということだ。この研究結果はまだ発表されておらず、Haynesはこの話をするのと同時に、法執行機関でそうした技術を使うことの限界を指摘した。もし、ある人物が、そのビルの中にいたことがあるにもかかわらず覚えていない場合はどうなるのか。また、容疑者が、犯行の起こった日時の一週間前にそこを訪れていた場合はどうだろうか。それに、容疑者が脳スキャナーをうまく欺く可能性だってあるだろう。「人々がどんな対抗手段で応じてくるか分からないですよ」と彼は話す。

デコーディング技術によって、埋もれている記憶が確実に表出するという推測に対し、否定的で取り合わない研究者もいる。そういったことを別にしても、デコーディングには重さ15tで300万ドル（約3億円）もするfMRI装置が必要である上、被験者にはじっとしててもらわねばならず、なおかつ能動的にひそかに何かを考えてもらうことになる。そこまでして得た情報でも、「人の頭の中にあるからといって、それが正しいとは限らないのです」とGallant。目下のところ、心理学者たちには、現状のデコーディング技術よりも高い信頼度と安い費用で人々の思考を捉える方法がある。「現時点で、誰かが何をしようとしているかを知る最善の方法は、その当人に尋ねることですよ」とHaynesはきっぱり言った。 ■

（翻訳：船田晶子、編集：編集部）

Kerri Smithは、*Nature*（ロンドン）のシニアオーディオエディター。

1. Haxby, J. V. et al. *Science* **293**, 2425–2430 (2001).
2. Cox, D. D. & Savoy, R. L. et al. *NeuroImage* **19**, 261–270 (2003).
3. Kamitani, Y. & Tong, F. *Nature Neurosci.* **8**, 679–685 (2005).
4. Haynes, J.-D. & Rees, G. *Nature Neurosci.* **8**, 686–691 (2005).
5. Miyawaki, Y. et al. *Neuron* **60**, 915–929 (2008).
6. Nishimoto, S. et al. *Curr. Biol.* **21**, 1641–1646 (2011).
7. Horikawa, T., Tamaki, M., Miyawaki, Y. & Kamitani, Y. *Science* **340**, 639–642 (2013).

新気象予報システムが アフリカを救う?

Lightning network tested out in Guinea

JEFF TOLLEFSON 2013年10月31日号 Vol. 502 (604-605)

アフリカのギニアで、携帯電話の中継塔を利用して雲間放電を観測し、そのデータに基づいて暴風雨を予報するプロジェクトが進められている。

つまり、「雷センサー」による気象予報だ。

この気象予報システムは気象レーダーを使わないため低コストで済む。

2013年10月22日、気象学者たちは、中部ギニアの山岳地方で午後発生した雷雨の発達を見守っていた。夕方には、風雨はさらに強まって、その範囲は大西洋岸に向かって西に移動していった。その日の20時20分、気象学者たちは観測システムから「雷雨警報」を受け取った。それから45分間にわたり、フリ安市の13万人の住民は、豪雨と鉄砲水と秒速21mの強風に見舞われた。

この晩のような出来事は、ギニアでは珍しいものではない。雨季の間、フリ安市や海岸沿いの首都コナクリは、この規模の暴風雨に日常的に襲われるのだ。鉄砲水はいろいろな場所で問題になっているし、竜巻もしばしば発生する。

ただ、1つだけ普段とは異なる点があった。それは、その暴風雨を検知した

方法だ。雨の検知には、通常、ドップラー・レーダー・システムが利用される。けれどもギニアにはこの設備がなく、政府の気象学者たちはこれまで、ごく簡単な設備で気象観測を行ってきた。欧州と米国から提供される無料の衛星データと気象予報はあるものの、この情報は粗く、情報提供の頻度も低い。そこでギニアでは数カ月前から、これらに代わる最新かつ導入の簡単な方法で暴風雨を予報する取り組みが始まっている。観測するのは雨そのものではなく「雷」だ。

ギニア国立気象局が全国の暴風雨の発達状況を追跡することを可能にしたのは、わずか12カ所の携帯電話中継塔の頂上に取り付けられた雷センサーだった（「電光石火の早業」参照）。「このプロジェクトでは、全土からほぼリアルタイム

にデータを受け取ることができます」と、気象局長のMamadou Lamine Bahは言う。

今回、雷検知システムを利用すれば、貧しい国でも短期間で比較的安価に基本的な気象サービスを国民に提供できるようになることが、このプロジェクトで示された。アース・ネットワークス社（米国メリーランド州ジャーマンタウン）は、約100万ドル（約1億円）を投じて、ギニアに現在のネットワークを整備した。Bahによると、ドップラー・レーダー・システムを配備しようとするれば、ごく単純なものであっても約1000万ドル（約10億円）はかかるという。問題は、設置にかかる初期費用だけではない。ギニアのような国には、ドップラー・レーダー・システムの専門家など当然いないため、システムを配備しても、維持・運用することができないのだ。

アース・ネットワークス社は、現在は無料でギニアに雷の観測データを提供しているが、将来的には有料でこのサービスを提供したいと考えている。

同社はすでに、米国海洋大気庁（NOAA；メリーランド州シルバースプリング）や米空軍を含む米国政府関係機関と500万ドル（約5億円）相当以上の契約を結んでいて、北米とカリブ海域に広く設置された700台近いセンサーで観測した雷のデータを提供している。ゴルフ場や空港などの小さい顧客も持っている。アース・ネットワークス社の社長で最高経営責任者であるRobert Marshallは、「私たちのシステムは、世界中のどんな場所でも機能し、すぐに結果を出すことができます。これこそ本物のブレイクスルーです」と語る。

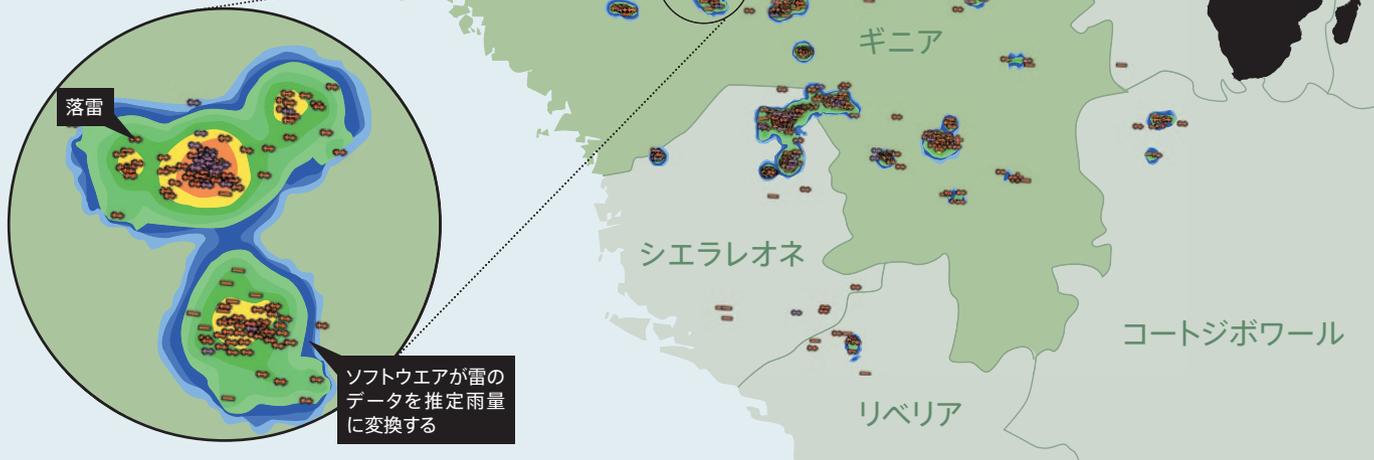
アース・ネットワークス社の雷センサーは、長さ26cmのアンテナを利用して、雷の放電からの高周波電磁シグナルを記録する。この技術は、マサチューセッツ工科大学（米国ケンブリッジ）で進められていた研究にルーツを持ち、同社は2006年にこの技術を取得した後、複数のセンサーが捉えた雷の位置を三角



雨の代わりに雲間放電の観測データを使って、暴風雨を予報することができる。

電光石火の早業

携帯電話の中継塔の頂上に取り付けた雷センサーのネットワークは、短期間に低コストで配備することができ、ドップラー・レーダーを持たない国が暴風雨を予報することを可能にする。これは2013年10月にギニアで暴風雨を観測したシステムの概要。



法により正確に特定するためのソフトウェアを開発した。

アース・ネットワークス社には、バイサラ社（フィンランド・バンター）をはじめとするライバル企業がいくつもある。けれども同社は2009年に、雲と地面の間で起こる大きな雷（対地放電）だけでなく雲から雲への放電（雲間放電）も追跡できるシステムを他社に先駆けて配備した。雲間放電は対地放電よりも頻繁に起こり、暴風雨が発達する過程で発生することが知られている。アース・ネットワークス社は、このデータを利用して暴風雨の活動の評価と雨量の推定を行い、ドップラー・レーダーを使用するNOAAの米国立気象局よりも9～16分早く暴風雨警報を出している。

NOAAは現在、暴風雨の追跡精度を高めるために、高解像度気象モデルに雷の観測データを組み込む方法を模索している。NOAA地球システム調査研究所（米国コロラド州ボルダー）のAlexander MacDonald所長は、「雷センサーは非常に強力な技術です」と言う。現在NOAAが使っている雷の観測データは、アース・ネットワークス社の携帯電話の中継塔に設置されたアン

テナからのものだ。しかし将来的には、2016年にNOAAが打ち上げ予定の次の静止気象衛星によってデータを収集する予定であるとMacDonaldは説明する。

それでも、アース・ネットワークス社の革新的な技術は、人工衛星やレーダーを利用した気象サービスを提供する余裕のない国々に大きな影響を与え続けるであろう。同社は、ブラジルの大半をカバーする50基以上のアンテナと、インド全土をカバーする50基のアンテナを所有していて、この2カ国だけで合計数百万ドル相当の契約をしているという。ギニアでのプロジェクトは、科学力がほとんどなく気象インフラもないに等しい国に、同社の技術を紹介する目的で行われた販促活動の一環だ。

オクラホマ大学（米国ノーマン）の大気科学者で、間もなく出版される世界銀行の報告書『発展途上国における気象サービス』の著者であるJohn Snowは、ギニアでのプロジェクトは発展途上国にとって魅力的なモデルであると言う。簡単な気象センサーを備えた携帯電話の中継塔は、気象観測点として理想的な条件を提供するものではないが、アース・ネットワークス社が提携する電気通信会

社が、安全と技術者と通信を提供してくれる点が重要と彼は指摘する。独自に気象観測点を設置すれば、より正確なデータを提供できるかもしれないが、既存の電話中継塔を利用の方が安価で確実であり、「これは実際的な解決策であり、私たちが正しい方向に導いてくれます」とSnowは語った。

Bahによると、ギニア国立気象局が次に考えるべきことは、人々に警報を伝える方法であるという。その手段はおそらく電話だろう。現時点では、同局は、1日に2回か3回、ラジオで気象予報を放送しているだけである。資金の問題もある。今後はアース・ネットワークス社に料金を支払わなければならないし、正式に雷の観測データを組み込んだ気象観測システムを構築するための資金も必要である。問題は残っているが、ギニアの気象サービスは、わずか数カ月で、おおまかな予報しか出せない段階から暴風雨をリアルタイムで追跡できる段階まで進歩することができた。「このシステムは、ギニアのような国でも配備できることが分かったとってよいと思います」とBahは言う。

（翻訳：三枝小夜子）

臨床試験データ公開に立ちはだかる壁

Secrets of trial data revealed

DANIEL CRESSEY 2013年10月10日号 Vol. 502 (154-155)

公開文書には、臨床試験で分かった記録の全てが記載されていないことが明らかに。

医薬品企業、規制当局、それに研究グループは、臨床試験から収集された、慎重な取り扱いが必要なデータ群を公開する計画をめぐって膠着状態に陥っている。3者間の争いが頂点に達し緊迫するさなか、制限されたその情報が研究者にとってなぜそれほどの価値を持つのか、ある研究が詳細を明らかにしている。

2013年10月に *PLoS Medicine* に発表された臨床試験情報の分析結果 (B. Wieseler *et al.* 10, e1001526) によれば、死亡率や重篤な副作用のように極めて重要な情報は、多くの公表データに含まれていないという。しかしそうした情報は、企業が作成する「治験総括報告書 (CSR)」と呼ばれる業界では一般的な非公開の文書には記載されていることが多い。今回の研究で発見された欠落情報

には、抗うつ薬試験のうつ症状の詳細もあれば、糖尿病薬試験の心臓発作や脳卒中の詳細も含まれている。この論文の筆頭著者であり医療サービス評価研究所 (IQWiG; ドイツ・ケルン) で薬剤評価部門を率いる Beate Wieseler は、「公表されていない情報には大変重要な変数や転帰が記されています」と語る。

Wieseler は全ての CSR を公開させることを強く支持している。「それはオプションではなく強制です。そうした文書は問答無用で公開させるべきです」と言う。

評価に必要な CSR 情報が共有されていないこの問題は、公開される臨床試験データを増やそうと最大限の努力を払ってきた欧州にとって、大きな障害となりつつある。医薬品企業は製品販売の承認を申請する際、欧州連合の機関である欧

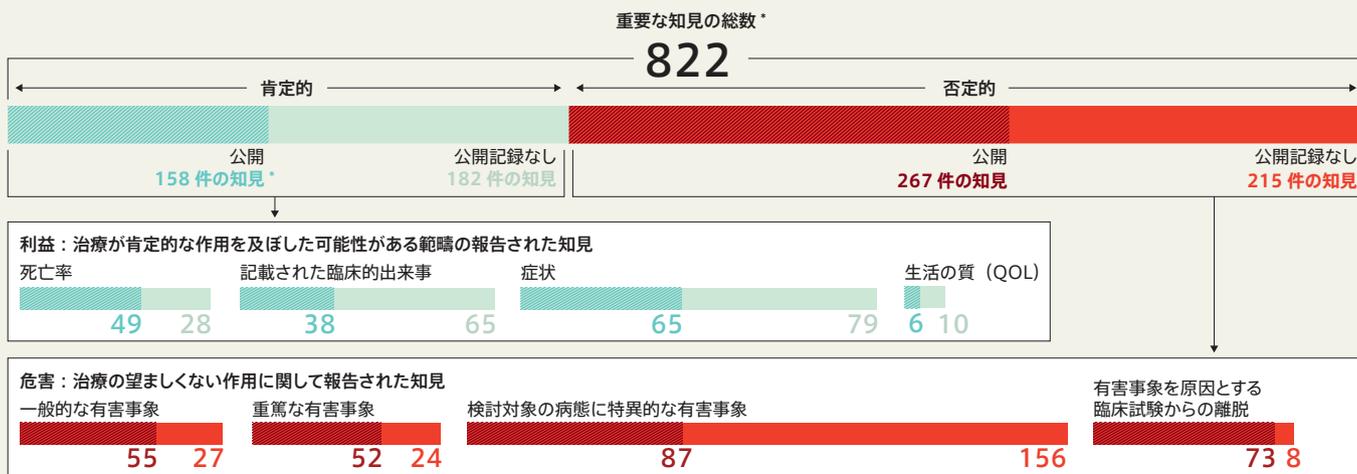
州医薬品庁 (EMA) に CSR を提出しており、EMA は透明性向上への一助として CSR を公開したい意向を表明している。現在は、その発効に向けて政策を詰めているところだ。透明性向上推進派は、この政策によって薬剤の功罪に関する監視の強化がもたらされ、疾患治癒を目指す研究者の助けになると主張する。

医薬品大手のロシュ社 (スイス・バーゼル) やグラクソ・スミスクライン社 (英国ロンドン) をはじめとする一部の企業はすでに、審査を通過した研究者に CSR を提供することを表明している。しかし業界は、さらに透明性向上を目指す EMA の動きに抵抗している。

欧州製薬団体連合会 (EFPIA) 理事長の Richard Bergström は、*Nature* への電子メールの中で、現段階では CSR は公表に不向きだと述べている。CSR の多くに企業秘密や個人情報が含まれているからだ。EFPIA としては、EMA が提案する仕組みではこうした情報の保護が十分にできないと考えており、情報の特定を不可能にした上で、真の研究目的に限って提供される仕組みにする必要があるというのだ。CSR を公表するには、そのような個人データは適切に編集しなければならないと Bergström は話す。

医薬品企業の情報保管庫の内側

臨床試験 86 件のデータの中で、治験責任医師は、死亡率への影響から致命的な心臓発作まで、重要な知見を 822 件記録している。調査では、公開された情報と医薬品企業の報告書の中に記載された非公開情報との比較が行われた。公開されている情報では重大な事実が伏せられていることが分かった。



「EFPIAの会員企業はこの点をとても心配しています。EMAが我々の編集を受け入れるならば、我々としては何も問題ありません」とBergströmは話す。逆に、EMAがEFPIAの懸念を無視すれば、EMAに対する提訴が続く可能性がある、とBergströmは警告する。

というのも、EMAはすでに、バイオ技術企業2社から訴えられているのだ。アuzzi社(米国イリノイ州ノースシカゴ)およびインターミュン社(米国カリフォルニア州プリズベン)は、EMAに対し、どんな研究者でも情報が請求できる現在の規則の下では、自社の情報を開示しないよう請求した。この訴訟は継続中であり、他の請求データの公開は厳しく制限されている。

しかし透明性向上推進派は、EMAの全データ公開を支持して活動中で、彼らはデータの匿名化は容易だと主張する。

今回の研究でWieselerらは、製薬企業から提供された101報のCSR情報を検討し、当該臨床試験に関して、発表論文や臨床試験レジストリーの報告書などのパブリックドメインにある入手可能な情報と比較した。

非公開の情報源であるCSRからは、評価対象の治療法について、死亡率や有害事象など重要な知見や転帰に関する情報が極めて多く得られた。そして研究チームは、当該臨床試験に関する患者関連の転帰情報を合計1080件発見した。CSRではその86%について完全な情報が得られたが、公開記録では39%にとどまった。有害な薬物反応などの「危害」に係る転帰に限ると、CSRでは転帰の87%に関して完全な情報があつたのに対して、公開記録ではわずか43%であることが分かった。極端な例では、CSRに対応する公開記録が全くない場合もあった。しかし、CSRと公開記録が共に存在する例に限ると、公開記録で欠落している情報の比率は同程度だった(「医薬品企業の情報保管庫の内側」参照)。

「この結果は意外ですか? そんなことはありません。隠された情報は本当に重要でしょうか? もちろんです」と語るのは、オックスフォード大学(英国)のEBM(根拠に基づく医療)センターの所長であり、臨床試験の透明性向上を目指して活動する組織「オールトライアルズ」の共同設立者であるCarl Heneghan

だ。「論文の世界で書かれたことが真実の全体を表しているわけではないことが、明らかになりつつあるのです」。

先週終了した公的な会議の中で、EMAの提案は他の出席者から支持を集めた。英国医薬品庁はEMAの提案を歓迎し、「足並みをそろえたい」と表明している。

ウェルカムトラストや医学研究評議会など、英国の生物医学研究を資金面で支援する団体の統一的な反応は、やはりEMAの構想を支持している。しかし、患者個人のデータの提供については懸念を示し、臨床試験の結果に「不当な反論」を行わない信頼できる研究者に限りデータが提供されるよう、さらにしっかりした対策を講ずるべきだと主張する。

EMAは、2014年頃にはこの政策を実施したいと考えている。個人データなどを含む文書は、匿名化処理後、審査を通った研究者にだけ提供されるが、そうした個人データを含まない文書であればウェブサイトからダウンロードできるようになる予定だ。つまり当面は、企業秘密を含む文書の公開は切り離して実施されることになる。

(翻訳: 小林盛方)

IPCCの実態に切り込む 社会科学研究的の行方

Study aims to put IPCC under a lens

JEFF TOLLEFSON 2013年10月17日号 Vol. 502 (281)

社会学者たちが、IPCCの組織内力学がその活動成果にどの程度影響を与えているかを調べる研究を提案している。

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)は、約6年ごとに、地球温暖化に関するあらゆる知見をまとめた報告書を作成・公表している。この報告書は、何百という科学者たちによる非公開の会合の

最終結果であり、こうした会合では、研究内容の精査や最新のモデル研究で導かれた結果の検討、人類に残されたオプションの評価が行われる。2013年9月にはIPCC第5次評価報告書の第一弾、第1

作業部会報告書(自然科学的根拠)が公表されており、2014年春には第2作業部会報告書(影響、適応、脆弱性)と第3作業部会報告書(気候変動の緩和)が続く予定だ。こうした報告書が具体的にどういった過程で作成されているのかは明らかにされていない。

2013年10月14～18日に黒海沿岸の都市バトゥミ(グルジア)で開催されたIPCCの第37回総会では、社会学者チームの提案が議題として取り上げられた。彼らは、IPCCの数多くの会合に録音装置を持ち込み、その場で起こる組織内の相互作用を研究したいと申し入れたのだ。この提案は、米国立科学財団(NSF;バージニア州アーリントン)の助成プロジェクト「評価の評価」の一環であり、実現すれば、IPCC内に存在す

る社会力学や無意識の偏見、一見平凡な規則などが最終成果にどのように影響を及ぼすのか、さらにはIPCCの評価プロセスを改善し得る方策について、手掛かりが得られる可能性がある。

「これまでの研究は、IPCCと外部世界との相互作用を調べるものが大部分でしたが、我々が関心を持っているのは、IPCCがそれ自体とどう関わっているのかという点なのです。実のところ、IPCCの評価プロセスが実際にどのようなものなのか、ほとんど分かっていません」。こう話すのは、プリンストン大学(米国ニュージャージー州)の気候科学者Michael Oppenheimerだ。彼自身、第1次～第4次の気候変動評価の参加者であり、そのときの自分に偏見があったことを自覚している。

科学社会学者たちは長年、社会力学が科学研究の過程をさりげなく揺り動かしていることに関心を寄せてきた。IPCCは、その国際的名声と政治的重要性のため特に注目の研究対象であり、IPCCをテーマにした研究はこれまでも行われている。最近2編の論文(K. Brysse *et al. Global Environ. Change* 23, 327-337; 2013 およびJ. O'Reilly *et al. Soc. Stud. Sci.* 42, 709-731; 2012)が発表された。それぞれの研究チーム(Oppenheimerは両方に加わっていた)は、研究の中心に2007年の第4次評価報告書における海水準上昇の扱いを据え、IPCCには「より劇的でない方に偏り過ぎた」警告を行う傾向があり、そのために判断を誤っているという見方を示している。この研究結果は、IPCCの文書と事後的なインタビューに基づいたもので、海水準上昇についての評価が徹底的に議論された会合に研究チームが実際に参加していたわけではない。

この2つの研究では、IPCCが、西南極氷床の挙動予測に用いられたモデルの不確実性を理由に、西南極氷床の融解そのものを検討対象から除外した決定に着目している。IPCCの最終評価報告書では、海水準上昇が2100年に最大59 cmに達するという予測が示されたが、これ

は最新の複数の研究で示唆されている氷床の融解加速に伴う海水準上昇予測値を大幅に下回るものだった。研究チームは、この除外決定に至った原因として、数人の重要な科学者の存在、コンセンサスを得る必要性、そして、過去・現在・将来の3つの章立てで海水について論じるという評価報告書の構成を挙げている。そしてこの構成のために、関与する科学者が増え、不確実性が過度に強調されて評価過程が複雑化してしまったと、彼らは主張した。

Oppenheimerらは今、この論点にさらに深く切り込みたいと考えており、実際のIPCCの会合への参加を申請している。科学者間の相互作用を実地に観察し、会合の中心人物にその場でインタビューできるようにすれば、これまでのように会合を事後的に再現する必要がなくなるからだ。ところが、科学者を被験者として扱うことで、プライバシーの問題が生じてしまう。IPCCには、審議内容を公開しないという方針がある。この方針は、科学者たちが、会合での思いつきの発言が世界中に広まってしまうことを恐れずに、率直に発言できるようにすることを目的に設定されている。Oppenheimerらは、この他にも観察行為自体が会合の過程に影響を及ぼす可能性があることを認める一方で、できるだけ会議の邪魔にならないようにし、会合の秘密を保持することを念頭に研究プロトコルを作成するとしている。

実は、OppenheimerらがIPCC会合への参加申請を行ったのはこれが初めてではない。彼らが最初の参加申請を行ったのは2010年で、このときIPCCは、上述の懸念からこれを拒否したのである。微妙なタイミングでの参加申請だったということもある。当時IPCCは、第4次評価報告書での見苦しい間違い(ヒマラヤ山脈の氷河の融解に関する誤り)と気候研究ユニット・メール流出事件(クライメイトゲート事件)をめぐる論争を受けて、組織内の手続きの精査を行っていた最中だったのだ。クライメイ

トゲート事件では、イーストアングリア大学(英国ノーフォーク州ノリッチ)を発信元とする数千点の私的な電子メールの流出により、主要な気候科学者間の非公式な議論の内容が暴露された。

また、前回の参加申請には、手続き上の問題もあった。IPCCが、科学者を招集して第5次評価に関する基本ルールを定めた後に、彼らの申請があったからだ。「一部の参加者にとって、この申請を認めることは、まるで試合途中のルール変更だと受け止められたのです」。こう話すのは、ルーヴァン・カトリック大学(ベルギー・ルーヴァン=ラ=ヌーヴ)の気候学者で、IPCC副議長のJean-Pascal van Yperseleだ。

van Yperseleは、今回の提案の方が参加国の政府に歓迎されるのではないかと推測する。このタイミングであれば、IPCCの評価プロセスの最初の段階から組み込むことが可能だからだ。

この社会科学的研究においてチームの一員となる予定のハーバード大学(米国マサチューセッツ州ケンブリッジ)の科学史家Naomi Oreskesは、IPCCの評価プロセスに民族誌学者を関与させれば、透明性が高まり、IPCCに対する一般市民や政策立案者の信頼を高めることができる、と主張している。「IPCCの外部にいる大部分の人々は、IPCCが何をしているのかを知りません」と彼女は話す。こうしたブラックボックス状態では疑いが生まれ、気候変動の懐疑論者たちの批判が激化することが避けられないからだ。IPCCの評価プロセスが明らかになれば、これまで手品のように思われてきたIPCCの評価報告書が、手作りソーセージのイメージに少し近づく可能性がある。ただし、知らなければよかったと後悔するかもしれないが……。

(翻訳：菊川要)

編集部註：残念ながら、今回の総会でもOppenheimerらの提案は承認されなかった。ただし、2014年中にこれを再検討するための執行委員会が設けられる見通しである。

自然リンパ球の開拓者

リンパ球といえば、抗原抗体反応、つまり「獲得免疫」で働く主役の細胞群として知られてきた。ところが近年、「自然免疫」で働くリンパ球が次々と発見され、この新種の細胞群は、「自然リンパ球」と総称されるようになった。こうした研究の火付け役の1人である小安重夫氏（理研・統合生命医科学研究センター）に、自然リンパ球とは何か、また発見の経緯について伺った。



小安 重夫

—— Nature ダイジェスト：自然リンパ球の研究が活発化していますね。

小安：新種のリンパ球を発見した私たちの2010年の論文（オンライン掲載2009年）¹によって自然リンパ球がほぼ出揃ったことを契機に、自然リンパ球への興味が研究者の間に一気に広まりました。そして、自然リンパ球の概念の整理と、細胞の整理や分類が必要になりました。2012年には、オランダの研究者の呼びかけでメール会議を行い、命名法を相談し、*Nature Review Immunology*²に発表しました。

自然リンパ球とは？

——そもそも自然リンパ球とは、どのような細胞なのですか？

「自然免疫で働くリンパ球」のことです。免疫で働く細胞は皆、造血幹細胞が分化

してできたもので、リンパ球系と骨髄球系細胞に大別されます（図1）。これまでリンパ球系といえば、獲得免疫で働くT細胞やB細胞がよく知られ、一方、骨髄球系細胞といえば、自然免疫で働くマクロファージや樹状細胞などが主流です。ところが最近の研究から、リンパ球でありながら自然免疫で働くものが複数見つかり、皆が驚いたのです。

具体的には、ナチュラルキラー（NK）細胞やリンパ組織誘導（LTi）細胞、私たちが発見したナチュラルヘルパー（NH）細胞などがあります。

——自然免疫と獲得免疫の違いは？

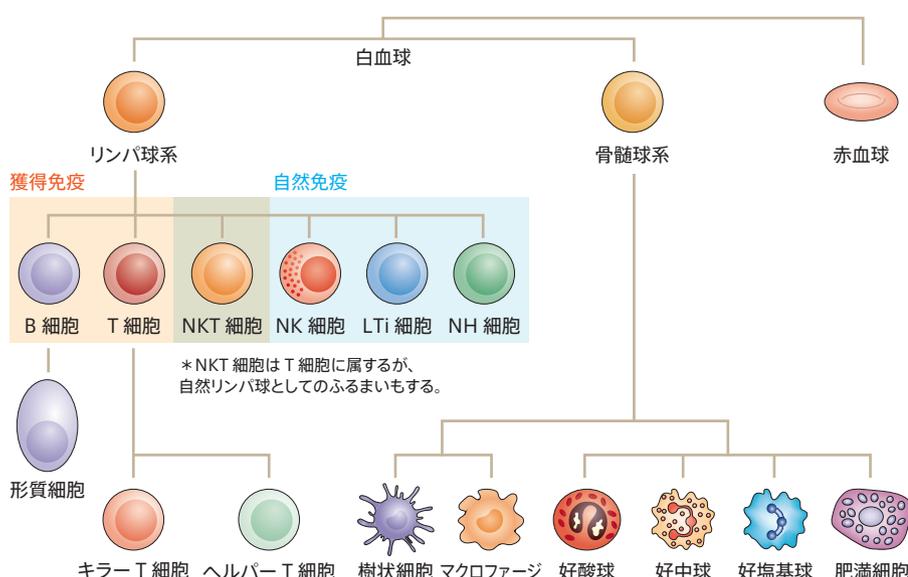
人が病原体に感染すると、病原体と戦うために免疫系が働きます。免疫系の反応には、獲得免疫と自然免疫の2種類があり、時間差で起こるのです。

時間軸でみると、感染直後から起こる素早い反応が自然免疫。感染後約1週間経ってから起こる遅い反応が、獲得免疫です。獲得免疫は、病原体に特異的な抗体反応などで強力なのですが、起動が遅い。それまでの間、病原体の種類を大ざっぱに見分け、攻撃し続けてくれるのが自然免疫といえます。

——自然免疫でのリンパ球の役割は？

自然免疫でも反応が段階的に起きていることが、自然リンパ球の発見により明らかになってきました。つまり、感染が生じると、感染部位周辺の傷害された細胞や病原体由来の分子により、まず初期応答が引き起こされます。その後、約24時間かかって、初期応答で作られたサイトカイン（細胞の情報伝達を担うタンパク質）に呼応した自然リンパ球による反応が立ち上がるのです（図2）。

図1 造血幹細胞から分化する細胞



自然リンパ球を3グループに分類

——自然リンパ球はどのように分類されるのですか？

病原体の種類などに応じ、働く自然リンパ球も異なっていて、今では、大きく3つのグループに分かれることが分かっています（図3）。病原体がウイルスや細菌か、寄生虫か、また細胞内感染か、細胞外感染かなどによって分かれるのです。グループ1の自然リンパ球にはNK細胞、2にはNH細胞、3にはLTi細胞などが含まれます。

——自然リンパ球の働きは？

感染に伴う刺激で増殖し、サイトカイン

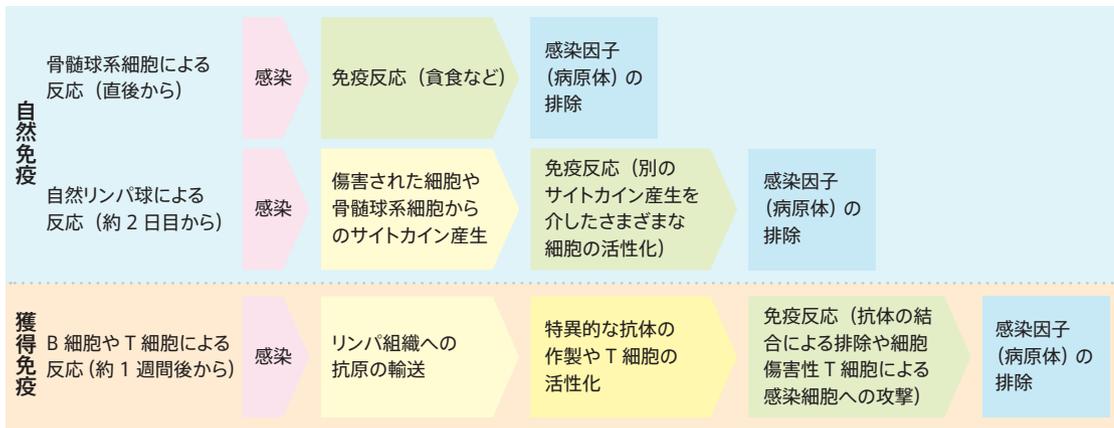


図2 感染後、時間差で起こる3つの免疫反応。自然リンパ球による反応では、病原体により傷害された細胞や骨髄球系の細胞が、病原体由来の分子に反応したサイトカインを産生するのに時間がかかる。

を分泌して作用を発揮します。例えば、グループ2に属するNH細胞は、主にインターロイキン33の刺激で増殖し、インターロイキン5、6、13などのサイトカインを多量に産生することで、さまざまな炎症免疫反応を誘導します。

——自然免疫と獲得免疫で働くリンパ球の関係は？

極めて興味深いことに、対応関係が見られるのです。つまり、産生するサイトカインや作用する病原体の種類が対応するのです。1型ヘルパーT細胞(Th1)がグループ1に、Th2がグループ2に、Th17がグループ3に対応します。例えば、獲得免疫で働くリンパ球であるTh2は、グループ2の自然リンパ球と同じ種類のサイトカインを産生し、同様に寄生虫感染防御に作用するといった具合です。

——自然リンパ球の英語表記は？

「Innate Lymphoid Cell (ILC)」と書きます。私は最初「Innate Lymphocyte」を提唱しましたが、ILCと同様に初期反応に関わる $\gamma\delta$ T細胞($\gamma\delta$ T-lymphocyte)やNKT細胞などと混乱するという理由から、前述の英語に落ち着きました。

ところで2012年の命名法提案では、「グループ」という単語を用いていますが、多くの論文では単にILC1細胞などとひとまとめに表記しています。これだと、ILCが多様な細胞種を含むグループであることが伝わらないので、私は、Group 1(あ

るいは2、3) Innate Lymphoid Cellと書くべきだと主張しています。

NH細胞発見を振り返って

——NK細胞は、古くから知られていた自然リンパ球といえますね。

NK細胞が自然免疫で働く例外的なリンパ球であることは以前から知られていましたが、LTi細胞が成体の自然免疫で働くことが発見されたのは、2009年です。でも、これらの全体像を自然リンパ球という枠組みで考えるまでには至りませんでした。私たちの論文が出てTh1、Th2、Th17との対応関係が見えたことで、初めてNK細胞とNH細胞とLTi細胞の共通性が見えたのです。

——NH細胞を発見したきっかけは？

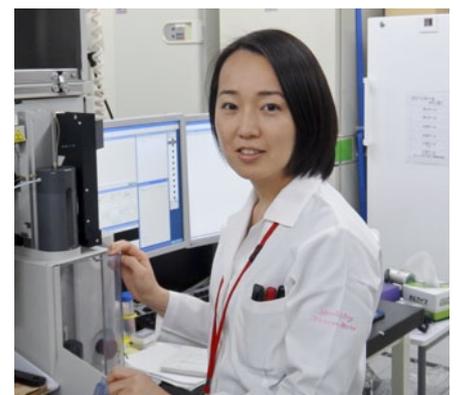
偶然によるところも大きいですね。当時大学院生の茂呂和世さんが、腹腔の腸管膜辺りを観察したときに、これまでに報告のないリンパ球細胞の集積を見つけました。研究テーマを探していた彼女は、この集積を調べてみることにしました。細胞表面のマーカータンパク質を調べると、教科書に載っていない新しいタイプのリンパ球が含まれていたのです。

——それが、NH細胞だったのですね。

そうなのですが、最初は、リンパ球の前駆細胞で未分化なのだと考えました。それで分化するのではと2年間調べましたが、何の細胞にも分化しなかったのです。

そこで、機能を調べようと、マイクロアレイで遺伝子発現を解析しました。すると、Th2型サイトカインの発現が高いことが分かり、また細胞を刺激すると、多量のIL5とIL13を産生したのです。驚きましたね。

IL5とIL13は、寄生虫に感染したときにTh2細胞が分泌するサイトカインで、その働きにより、寄生虫を攻撃する好酸球を誘導することや寄生虫を洗い流す粘液分泌が起こることが知られています。そこで、私たちが発見した細胞と寄生虫感染の関係を調べてみると、この細胞は、寄生虫感染の初期(感染後約2日目)からIL5やIL13を分泌し、Th2細胞が働き始めるまで、寄生虫を攻撃してい



NH細胞を発見・解析した茂呂和世上級研究員。「Natureに掲載されるまでは、学会でポスター発表などしても、誰も興味を示してくれませんでした」と言う。「でも私は、どの教科書にも載っていない、私の見つけた細胞がかわいくて、研究がつらいと思ったことは一度もありませんでした」。

獲得免疫	自然免疫	グループ	産生するサイトカイン	サイトカインの作用	免疫や疾患での働き
 Th1 細胞	 NK 細胞	グループ 1 ILC	INF- γ (Th1 型サイトカイン)	マクロファージの活性化	細胞内細菌感染の防御、ウイルス感染
 Th2 細胞	 NH 細胞	グループ 2 ILC	IL-5、IL-13 (Th2 型サイトカイン)	好酸球の活性化 杯細胞の活性化	寄生虫感染の防御 アレルギー（ぜんそくなど）
 Th17 細胞	 LTi 細胞	グループ 3 ILC	IL-17、IL-22 (Th3 型サイトカイン)	上皮細胞の活性化や 好中球の動員	細胞外感染細菌や真菌感染の防御 自己免疫疾患など

図3 自然免疫で働くリンパ球（自然リンパ球）と獲得免疫で働くリンパ球には対応関係がある。ILCはInnate Lymphoid Cell、ILはインターロイキン、INFはインターフェロンの略。グループ1には他にThymic NK、グループ2には他にNuocyte、グループ3には他にNKp46陽性LTiといった細胞が見つかった。

ることが分かったのです。この細胞は抗原特異的受容体を持たないことから、自然免疫の細胞と考えられ、ナチュラルヘルパー細胞と名付けました。

——これまで発見されなかったのはなぜ？

理由の1つは、脂肪組織に含まれていたことでしょう。免疫の研究では、「脂肪細胞はきれいに除去して実験する」が鉄則です。免疫細胞が脂肪細胞に付着して、収量が落ちてしまいますから。

また、茂呂さんが観察に用いたマウスが、出産年齢を過ぎた予備実験用の高齢マウスだったことも幸いしたと思います。若いマウスでは、このリンパ球の集積が少ないことが後になって分かりました。病気や加齢により、こうした集積が増えるようです。

今後の研究

——NH細胞はアレルギーにも関係するのですか？

はい。ダニなどのアレルゲンが気道の上皮細胞から入り込むと、その刺激によって作られるIL-33に反応してNH細胞が活性化されることが分かりました。免疫による炎症反応で制御を逸脱したものがアレルギーです。ぜんそくの治療薬ステロイドはNH細胞を殺す働きをしますが、重症化するとステロイドは効きませんが、このときNH細胞は、TSLPというサイトカインの働きで死ななくなっている

ことが分かりました³。今後も、アレルギーに関する研究を深めていきたいと考えています。

——理研の新センターの名称は「免疫」ではなく、「統合生命医科学」ですね。

人間の健康には、免疫だけでなく、代謝、神経系などさまざまな働きが関わっています。そのため、体の機能は少々の環境変化には影響されません。この「恒常性」を保つことが健康にとって大切です。恒常性が破綻するとさまざまな疾患にかかります。これまでの研究から、特定の疾患にかかりやすい遺伝子型（疾患関連遺伝子）が次々と明らかにされています。遺伝学などの情報に着目しつつ、恒常性の維持機構と破綻に至る過程を明らかにすることで疾患の発症機構を明らかにし、疾患の予測や予防につなげることを目指しています。こういう観点からの命名です。

個人的には、脂肪組織の恒常性と、それが逸脱して起こる代謝疾患の観点からも、自然リンパ球の研究を深めていきたいという希望を持っています。

——今後の抱負は？

いろいろな仕事があり、大変ではあります。若手には楽しそうな様子を見せなくちゃ、と感じています。自分が学生だった頃、教授や先輩たちはすごく楽しそうに研究していましたから。実は、研究テ

マはまず自分で考えるというのが私のラボの方針ですが、最近は、「テーマをください」と言う学生が時々いて、驚いてしまいます。今の教授や先輩研究者たちは、楽しそうに研究していないのかもしれない。だから、効率のよいテーマを求めのかもしれない。そこで、うそでも楽しそうな姿を見せようと、反省した次第です。もっとも、こんな発見ができて、本当に楽しいのですが。

——ありがとうございました。

聞き手は藤川良子（サイエンスライター）。

- Moro, K., et al. *Nature*. **463**, 540-544 (2010).
- Spits, H., et al. *Nat. Rev. Immunol.* **13**, 145-149 (2013).
- Kabata, H., Moro, K., et al. *Nat. Communication*. 10.1038/ncomms3675 (2013).

AUTHOR PROFILE

小安 重夫（こやす しげお）

理化学研究所 統合生命医科学研究センター センター長代行および免疫細胞システム研究グループ グループディレクター。理学博士。1978年 東京大学理学部生物化学科卒、81年 同大学院中退。81年（財）東京都臨床医学総合研究所 研究員。88年ハーバード医科大学ポスドク。助教授、准教授を経て、95年より慶應義塾大学医学部 教授（微生物学・免疫学教室）。2011年より理研 免疫・アレルギー科学総合研究センター 副センター長。2013年より現職。

生理学

脂肪代謝のメヌエット

A metabolic minuet

DAVID D. MOORE 2013年10月24日号 Vol. 502 (454-455)

日周性の脂肪代謝は、筋肉と肝臓に存在する2つの核内受容体の間で、1つの脂質メッセンジャーを仲介物質として受け渡すことで調節されていることが分かった。このシグナル伝達経路から、代謝に異常を来すさまざまな疾患についての理解が進むかもしれない。

メヌエットとは、バロック時代に人気のあった宮廷舞踊曲で、カップルは同じパターンの踊りを繰り返しながらパートナーを交換していく。今回の Sihao Liu らの研究¹で明らかになった脂肪代謝の仕組みは、まるで入念に振り付けされたメヌエットの踊りのようだ。というのも、2人のダンサーである核内受容体 PPAR α と PPAR δ が、もう1人のダンサーである脂質を交換することで、適切な脂肪利用を促進する働きをしていることが明らかになったのだ。

PPAR α は、筋肉と肝臓で脂肪の利用を促進し、フィブラート系脂質低下薬の標的としてよく知られている。PPAR γ はそれとは対照的で、脂肪の蓄積を仲介し、白色脂肪組織の発生に不可欠だ。PPAR δ は、前述の2つの兄弟受容体より広範囲に発現していて、機能もオーバーラップしているが、その働きには謎が多い。また PPAR δ は、筋肉では、脂肪酸の分解(酸化)を促進して筋持久性を高める^{2,3}のに対し、肝臓では、脂肪酸の生合成を促進することが Liu らによって2011年に示されている⁴。今回、PPAR δ による肝臓での脂質生合成活動によって生じた脂質が、PPAR α のダンス(脂肪の利用)のパートナーでもあることが示された。

この脂質の循環パターンは、肝臓の PPAR δ の日周性活動に由来している

(図1)。肝臓での脂質の生合成は、日中は、日周性の活動パターンを持つ2つの核内受容体 Rev-erb α および Rev-erb β によって抑制されている⁵。マウスが余分なカロリーを脂肪として蓄えるために夜間に餌を食べるのは、理にかなっているといえよう。Liu らによれば、肝臓の主要な脂質合成酵素のうち、少なくともその一部は、PPAR δ に依存して夜間に発現すると報告している。また、肝臓に PPAR δ がないマウスを調べると、筋肉での脂肪酸の取り込みに異常があるが、異常が見られるのは夜間のみであった。この意外な結果から、Liu らは、肝臓は夜間にシグナル伝達物質を生合成していて、それが分泌されると筋肉による脂肪酸の取り込みが促されるのではないかとこの仮説を立てた。

Liu らは仮説を確かめるため、実際に、1日のうちの暗期に、正常なマウスと肝臓に PPAR δ がないマウスから血清を採取して、それを培養筋細胞に加えた。すると、正常なマウスの血清は筋細胞の脂肪酸の取り込みを促進できるが、肝臓に PPAR δ がないマウスの血清では促進できなかった。

次に Liu らは、血液を介して PPAR δ の作用を筋肉中の PPAR α に伝達する因子を探すための大規模な分析を行い、候補を少数の脂質に絞った。候補脂質のうち、PC (18:0/18:1) と呼ばれるホ

スファチジルコリン(リン脂質の一種)で筋肉細胞を処理すると、*in vivo*でも *in vitro*でも筋肉細胞への脂肪酸の取り込みが誘発されたが、その他の近縁なホスファチジルコリン種を用いた場合は誘発されなかった。この現象は PPAR α 活性化機構の顕著な特徴であり、それと一致して、PPAR α が欠乏している筋肉細胞およびマウスでは、PC (18:0/18:1) が仲介する脂肪酸の取り込みは低下していた。

Liu らの実験結果から、このダンスのパターンが見えてくる。夜間に肝臓の PPAR δ が活性化されることで PC (18:0/18:1) 産生が増加する。次にパートナーの交換、すなわち肝臓で作られた PC (18:0/18:1) は筋肉へと移動して、そこで PPAR α とともに次のステップである脂肪の取り込みと脂肪酸の酸化を促進する。そして日中に、3つのパートナー全てで濃度または活動が低下するとサイクルは完了し、次のラウンドの準備に入る。

まるでメヌエットの踊りのようなこの仕組みは、比較的単純にみえるかもしれないが、非常に重要な意味を持っている。Liu らの研究から、高脂肪食を食べるマウスでは、PC (18:0/18:1) の日周性の産生が低下していること、また糖尿病マウスに PC (18:0/18:1) を投与すると代謝パラメータが改善され、トリ

グリセリドの血中濃度が軽度に減少し、グルコース恒常性が改善されることがはっきりと示されたのだ。これらの結果は、PPAR α を活性化するフィブラート系薬剤により得られる有益な効果と整合している。またLiuらによれば、フィブラート系薬剤の投与には時刻が重要である可能性があり、PPAR δ のみを標的とする薬剤であっても、PPAR α に関連した副作用が起こりうることを示唆している。

また、今回の研究成果から、多くの興味深い疑問が浮かび上がった。例えば、肝臓での脂肪酸の産生がなぜ、骨格筋における脂肪酸の酸化という反対の過程を促進するのだろうか？ また、もう少し取り組みやすい別の問題として、PC (18:0/18:1) が直接筋肉のPPAR α を活性化するかどうか、という疑問がある。別の研究グループが以前に、他のホスファチジルコリンもPPAR α を活性化することができ⁶、また、PC (18:0/18:1) とほぼ同一のPC (16:0/18:1) は肝臓のPPAR α の非常に特異的なリガンドである⁷ことを示しており、これらの研究結果を踏まえると、答えはたぶん「イエス」だろう。しかし、Liuらは、PC(16:0/18:1)は筋肉細胞のPPAR α を活性化しないと報告している。一見矛盾している理由は明白になっていないし、また3つのPPAR全てにおいて、その内在性の機能的リガンドの性質すら分かっていない。この長年にわたる疑問を完全に解決するには、徹底的な機能的、生化学的、構造的の研究が必要である。

それに、PC(18:0/18:1)とPC(16:0/18:1)は、どちらも細胞膜に豊富に含まれる成分である。となると、細胞に広く存在する分子が特異的な代謝シグナルとしてどのように機能できるかという、より広範な疑問が湧いてくる。これには、核でシグナルを出すリン脂質は細胞膜中の同じ分子種から分離されているという「細胞の区画化」が関わっている可能性がある。

別の研究グループによるいくつかの研

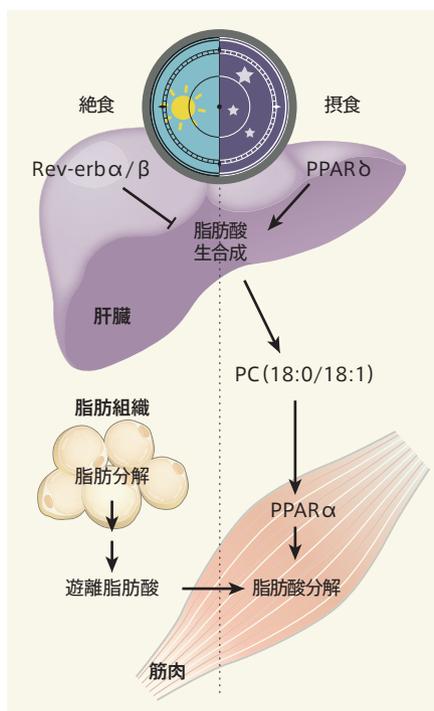


図1 組織をまたぐ脂肪代謝調節

マウスは、夜間の摂食によって得た余分なカロリーを脂肪として蓄積し、肝臓で脂肪酸を合成する。核内受容体 Rev-erb α/β は日中この過程を抑制する。Liuら¹は、PPAR δ が肝臓で夜間の脂質合成を促進することを示している。その後リン脂質 PC(18:0/18:1)が筋肉などの末梢組織へ移動し、そこで近縁の核内受容体 PPAR α が脂肪酸の分解を仲介する。脂肪組織での脂肪酸分解は筋肉にエネルギーを供給する。

究⁷⁻⁹から、肝臓での内在性 PPAR α リガンドの産生には、脂肪酸シクターゼ (脂肪酸合成酵素) に関わる特異的な「細胞の区画化」経路が必要であると示唆されている。このパスウェイは、栄養シグナルにตอบสนองして、特定の細胞内区画を介して脂質合成を導き、核 PC (16:0/18:1) を生成するとされる。この考え方では、新たに作られたホスファチジルコリンだけが機能できる。

この説は、Liuらが今回示した「脂質合成に PC (18:0/18:1) が関わる」という結果とよく一致する。しかし残念ながら、新たに産生された細胞内ホスファチジルコリンだけがリガンドとして機能するという考え方は、PC (16:0/18:1)

を人為的に加えた別の実験での生物学的効果⁷とも、この研究における PC (18:0/18:1) の効果とも一致しない。

それに、PC (18:0/18:1) が骨格筋で効果を発揮する仕組みも、そして、PC (18:0/18:1) が肝臓の PPAR α を活性化しないようにする仕組みも不明だ。後者は、PPAR δ が脂肪の生合成と酸化を同時に行わないようにする逆の作用だ。

そして、最後の疑問は、一般論として、この PPAR のダンスがメヌエットであるならば、より複雑なダンスであるガボットやリゴドン、スクエアダンスはどんなものか、ということだ。

ジアシルグリセロールやセラミドなどの脂質シグナル伝達分子の細胞内調節作用はよく知られている。また、脂肪組織からの特異的脂質制御ホルモンである炭素16脂肪酸 (パルミトレイン酸) の分泌は、筋肉でのインスリンの作用を促進して、肝臓での脂肪蓄積を抑制する¹⁰ことも明らかになっている。さらに核内受容体の SF-1 と LRH-1 は、今回分かった PPAR δ 、PC (18:0/18:1)、PPAR α による相互交換とよく似ており、リン脂質リガンドにตอบสนองして¹¹⁻¹³、直接的な代謝効果を発揮する。だが、これらは、脂肪代謝全体のごく一部にすぎず、どのように関わり合っているかも分かっていない。私たちは明らかに、ダンスマスターが振り付けたステップの全てを理解してはいないようだ。

(翻訳：古川奈々子)

David D. Moore はベイラー医科大学 (米国テキサス州ヒューストン) 分子細胞生物学部に所属。

1. Liu, S. *et al. Nature* **502**, 550-553 (2013).
2. Wang, Y.-X. *et al. Cell* **113**, 159-170 (2003).
3. Narkar, V. A. *et al. Cell* **134**, 405-415 (2008).
4. Liu, S. *et al. J. Biol. Chem.* **286**, 1237-1247 (2011).
5. Feng, D. *et al. Science* **331**, 1315-1319 (2011).
6. Lee, H. *et al. Circ. Res.* **87**, 516-521 (2000).
7. Chakravarthi, M. V. *et al. Cell* **138**, 476-488 (2009).
8. Chakravarthi, M. V. *et al. Cell Metab.* **1**, 309-322 (2005).
9. Jensen-Ustad, A. P. L. *et al. J. Lipid Res.* **54**, 1848-1859 (2013).
10. Cao, H. *et al. Cell* **134**, 933-944 (2008).
11. Urs, A. N., Dammer, E. & Sewer, M. B. *Endocrinology* **147**, 5249-5258 (2006).
12. Lee, J. M. *et al. Nature* **474**, 506-510 (2011).
13. Blind, R. D., Suzawa, M. & Ingraham, H. A. *Sci. Signal.* **5**, ra44 (2012).

天文学

最も遠い銀河の発見

New distance record for galaxies

DOMINIK A. RIECHERS 2013年10月24日号 Vol. 502 (459-460)

非常に遠方にあるとみられる 43 個の銀河の分光測定が行われ、

その 1 つが、これまでに確実な方法で距離が測定された中で最も遠い銀河であることが分かった。

この銀河では、私たちの銀河系（天の川銀河）の 100 倍以上の速さで星が生まれていることも分かった。

遠い銀河の星から放出された光は、宇宙空間を有限の速度で旅してきて、地球の私たちには距離に応じて遅れて届く。このため、さらに遠い天体を見つけるたびに、宇宙のさらに過去を探ることができる。地球からより遠くにある天体の探索は、宇宙の歴史をより深く理解するために重要であり、また、ビッグバン後に生まれた最初の世代の銀河たちを見つけるためにも欠かせない。

最初の世代の銀河たちは、宇宙の歴史における重要な出来事を引き起こしたと考えられている。その出来事とは、初期の時代に宇宙を満たしていた中性の銀河間水素ガスの再電離で、宇宙の夜明けと呼ばれている¹。

この 10 年を振り返ると、初めの頃は、天文学者たちは銀河を観測できる距離を何度も延ばした。しかし、その後、次第に技術的限界に阻まれるようになった²。今回、テキサス大学オースティン校天文学科（米国）の Steven Finkelstein らは、ビッグバンのわずか 7 億年後の時代にある、これまでで最も遠い銀河を発見し、*Nature* 2013 年 10 月 24 日号 524 ページに発表した³（図 1）。

遠くの銀河から放出された光の波長は、宇宙が時間の経過とともに膨張しているために、地球にたどり着くまでに赤方偏移する。この赤方偏移を観測すれば、その銀河までの距離を測定することになる。しかし、観測対象の銀河が遠ければ、

通常最も明るい水素のライマン α 線などのスペクトルの重要な特徴も、地球に届くまでに可視光の外に赤方偏移してしまう。このため、最も遠い銀河を分光で発見することは難しくなる。赤外線を高感度で捉えるハッブル宇宙望遠鏡の広視野カメラ 3 を使って深宇宙の撮影が行われ（図 2）⁴、「赤方偏移が非常に高い銀河」の有力な候補が数十個見つかったにもかかわらず、候補天体を分光により確認するペースは近年、著しく遅くなっていた。

この状況を打破してくれそうなのが、新世代の広視野赤外カメラだ。W・M・ケック天文台（ハワイ・マウナケア山頂）の広視野赤外カメラ「MOSFIRE」は通常、一度に数十個の銀河について、可視

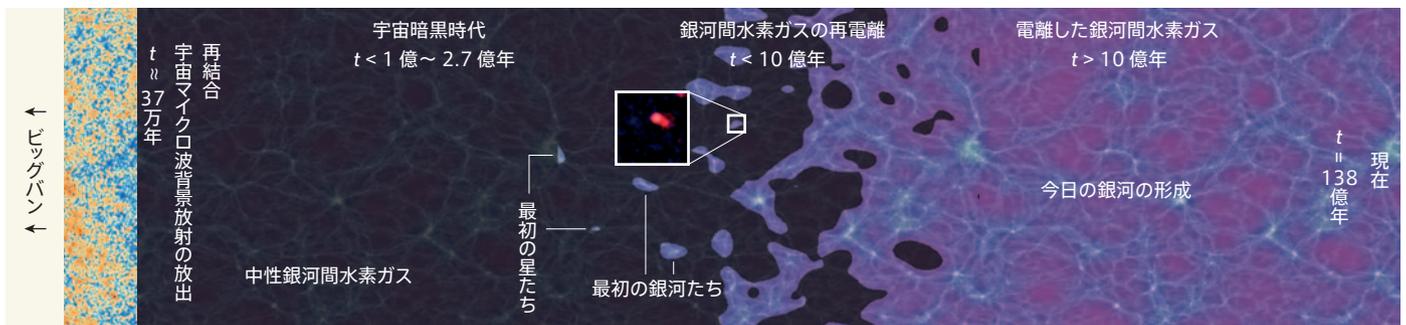


図 1 宇宙の歴史と最初の銀河たち

ビッグバンにより宇宙の拡大が始まってから約 37 万年後、宇宙は十分に冷え、陽子と電子は結合して中性水素ガスを作った（再結合）。このとき、宇宙マイクロ波背景放射が放出され¹⁰、宇宙は水素ライマン α 光子にとっては不透明になった。この再結合で始まった宇宙暗黒時代は、最初の星と銀河の誕生により、宇宙時間の始まりから 2 億 7000 万年後までに終わった。最初の星や銀河が誕生すると、これらは宇宙を再電

離し、ライマン α 放射は自由に伝わるようになった。再電離は、ビッグバンの 10 億年後までにほぼ完了した。再電離の時代以降は、銀河からのライマン α 放射を捉えて、銀河進化と宇宙の構造の形成を探ることができる。Finkelstein らは、ライマン α 放射を使って、宇宙年齢がわずか 7 億年の時代の銀河を発見し（図 1 の挿入図の中に示された赤い銀河。挿入図の 1 辺は約 1 万パーセク）、再電離の時代を深く探った³。

光よりも赤外側のスペクトルを高感度で得ることができる。ハッブル宇宙望遠鏡を用いた観測計画「CANDELS」で得られたデータの中に、赤方偏移の高い銀河の候補が多数見つかった⁵。Finkelsteinらは今回、MOSFIREを使ってこのうち43個の銀河を調べた。その結果、z8_GND_5296と名付けられた銀河で、赤方偏移したライマン α 線放射を検出することに成功し、z8_GND_5296はこれまでに分光により距離が確認された銀河の中で最も遠いことが分かった。なお、z8_GND_5296よりも確実に遠い所にある天体が、1個だけ発見されている。今回確認された銀河よりも約7000万年前に起こった大質量星の爆発によるガンマ線バーストだ⁶。しかし、このイベントに伴う銀河は見つかっていない⁷。

またz8_GND_5296は、私たちの銀河系(天の川銀河)の100倍以上の速さで星を活発に形成していることが分かった。これは、同程度の距離にある他の銀河の星形成活動度を大きく超えている。z8_GND_5296の後の時代には、宇宙のあらゆる時代を通じて最も極端な星形成環境が生じた。z8_GND_5296のように活発に星を作っている銀河は、その前段階なのかもしれない(参考文献8を参照)。

Finkelsteinらは、他の42個の銀河では、z8_GND_5296に匹敵する距離にあるライマン α 線放射を検出できなかった。この検出率は、彼らが事前に予想した値の6分の1にとどまった。z8_GND_5296以外にライマン α 線放射を検出できなかったのは、現在の技術的限界や、他の銀河の大多数がz8_GND_5296ほど遠くないためではなさそうだと、Finkelsteinらは考えている。検出率が低かった原因について、彼らはz8_GND_5296の異常な性質を踏まえて検討し、2つの仮説を立てている。それによれば、銀河から出てくるライマン α 線放射が予想外に少ないか、視線の大部分に沿って相当量の中性ガスがあるために、銀河から出てくるライマン α 線放射の予想外に高い割合が散乱されてしまうかの、いずれかのた

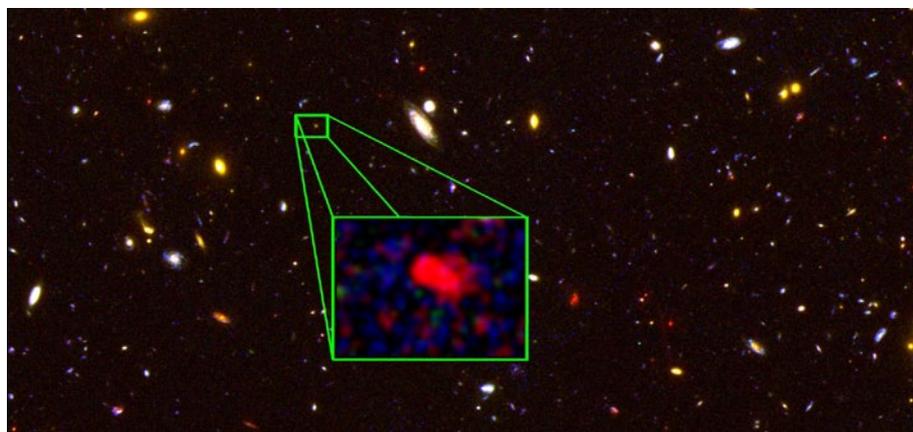


図2 ハッブル宇宙望遠鏡の広視野カメラ3が捉えた深宇宙画像。拡大部が、z8_GND_5296。

めではないかという。

どちらの可能性も広範囲にわたる意味を持つ。前者は、初期の時代の銀河は速い速度でガスを降着させるために、この大量のガスが、こうした若い銀河でのライマン α 線放射の大半を見えなくしているのかもしれないことを示す。後者は、z8_GND_5296の時代には、中性の銀河間水素ガスの再電離は、他の測定から予想されるほどには遠くまで進んでいなかったのかもしれないことを示唆する⁹。

今回のFinkelsteinらの研究によって、最も初期の時代の銀河を探す研究に弾みがつくことは間違いない。一方で、地上の望遠鏡で得られる1本の輝線の分光や、銀河の静止系での紫外と可視光波長での撮像から遠い銀河を見つけることが、最良の施設と最も質の高いデータをもってしてもいかに困難であるかも示している。この研究はさらに、宇宙が現在の年齢のわずか5%に達した時代でさえ、銀河はすでに化学的に塵や重元素(水素とヘリウムよりも重い元素)に富んでいたかもしれないことを示す。塵や重元素はもっと早い世代の星によって作られたに違いない。

炭素、水素、酸素などの重元素は強い輝線を作る。2018年に打ち上げ予定のジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡が稼働し始めれば、z8_GND_5296のような遠い銀河の輝線でも比較的容易に検出できるようになる。そうした観測が始まれば、

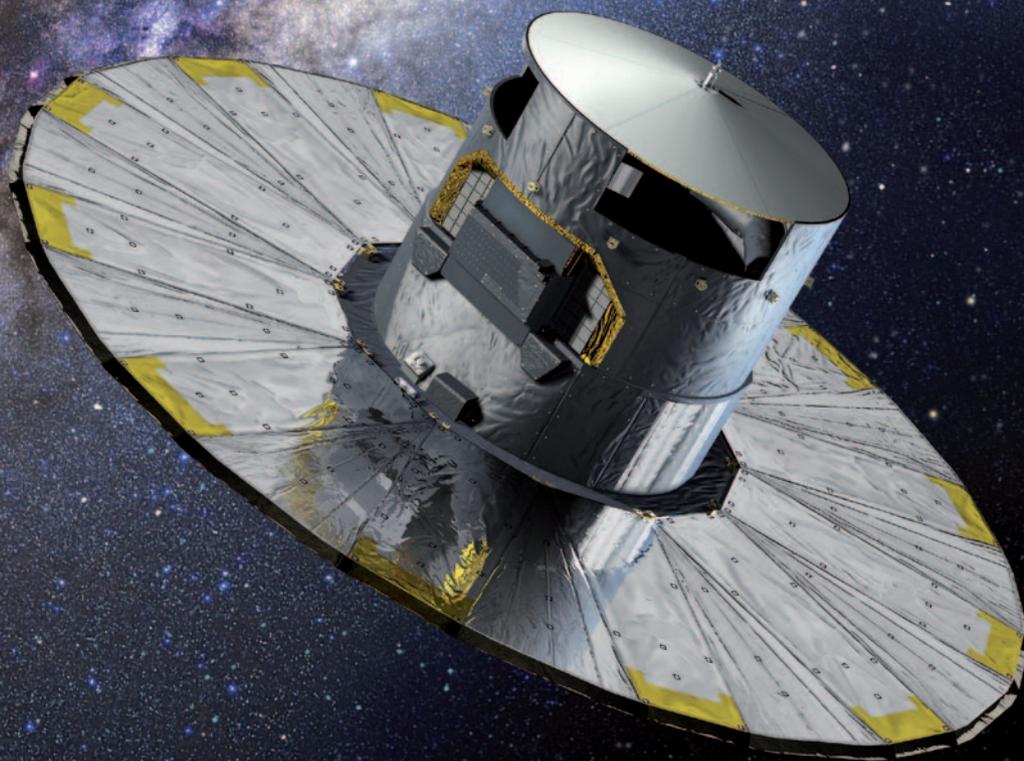
現在可能ではあるものの、非常に困難な銀河赤方偏移測定に残っている不確かさも取り除かれるはずだ。そして、星形成が起こっている銀河の物理的性質についても、より多くの情報が得られるだろう。

期待がかかるのはジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡だけではない。2013年3月に開所したアタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計(ALMA;チリ)では、重元素と塵からのスペクトル線の遠赤外線観測結果に基づいて、最初の世代の銀河の重元素量に、実質的な制限を初めて加えることができるだろう。また、チリ北部に建設され、2018年からの稼働が期待されているセロ・チャナンツール・アタカマ望遠鏡(CCAT)は、含んでいる塵の直接観測によって赤方偏移が非常に高い銀河を選び出し、そうした銀河のサンプルを与えて他の観測を補う。宇宙の最初の銀河に関する研究には、輝かしい未来が待っている。

(翻訳:新庄直樹)

Dominik A. Riechersは、コーネル大学天文学科(米国ニューヨーク州イサカ)に所属。

- Robertson, B. E., Ellis, R. S., Dunlop, J. S., McLure, R. J. & Stark, D. P. *Nature* **468**, 49-55 (2010).
- Iye, M. et al. *Nature* **443**, 186-188 (2006).
- Finkelstein, S. L. et al. *Nature* **502**, 524-527 (2013).
- Bouwens, R. J. et al. *Nature* **469**, 504-507 (2011).
- Grogin, N. A. et al. *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **197**, 35 (2011).
- Tanvir, N. R. et al. *Nature* **461**, 1254-1257 (2009).
- Chary, R., Surace, J., Carey, S., Berger, E. & Fazio, G. *GRB Coordinates Network, Circular Service* **9582**, 1 (2009).
- Riechers, D. A. et al. *Nature* **496**, 329-333 (2013).
- Bolton, J. S. et al. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **416**, L70-L74 (2011).
- Planck Collaboration. Preprint at <http://arxiv.org/abs/1303.5062> (2013).



ガイア計画（イメージ図）は10億個の星の位置を正確に測定するミッションである。

ガイア衛星打ち上げへ

Europe's star power

DEVIN POWELL 2013年10月3日号 Vol. 502 (22-24)

欧州宇宙機関（ESA）のガイア衛星が、これまでで最も高い精度で宇宙の地図を作成するミッションに着手しようとしている。

Lund天文台（スウェーデン・スコーネ）には、19世紀に作られた真鍮製の望遠鏡がある。あちこち壊れているし、もはや現在の科学研究に利用できるものではないが、その望遠鏡は、若き Lennart Lindegren の心を強く捉えた。

精巧で、かつては最先端であったこの技術に Lindegren が夢中になったのは、今から40年も前、Lund天文台の大学

院生だったときのことだった。当時の天文学者が星の運動を追跡し、時間を測定することを可能にしたこの望遠鏡には、精巧な機械式ストップウォッチが付いていた。もともとは、競走馬のタイムを計るために発明されたものであったという。望遠鏡には、角度を調節するための金属製の大きな車輪も付いていた。「私は、この望遠鏡の美しさに魅了され、修

理して再び使えるようにしたいと思ったのです」と、Lindegren は話す。彼は今、Lund天文台のスタッフである。

どうせなら、日時計に恋をした方がよかったかもしれない。天体の位置と運動の地図を作る位置天文学は、古代バビロニアと中国にルーツを持ち、かつては天文学の主要な関心事であったが、1970年代にはすっかり時代遅れの分野になっ

ていたからだ。地上からの観測では精度が頭打ちになってきたため、この分野の天文学者のほとんどが他の問題に移ってしまっていた。「位置天文学は発展の見込みがなく、若手科学者が志すような分野ではないと考えられていたのです」と Lindegren。

彼はその後、望遠鏡の修復は断念したが、位置天文学を復興させることは決して諦めなかった。天文学者がより良い星図を手にすることができれば、銀河系の進化の過程や、宇宙の質量の大半を占めるダークマター（暗黒物質）の組成などの根本的な問題の解決に役立つ可能性があるというのが彼の主張である。位置天文学が限界に来てしまったのは、地球の大気の乱れが星からの光を微妙に歪め、測定の精度に限界を設けているからである。ならば、観測機器が地球の大気の影響を受けないように、宇宙空間に打ち上げてしまえばよい。

Lindegren や、彼と同じ志を持つ科学者によるこの提案が、間もなく実を結ぼうとしている。欧州宇宙機関 (ESA) が、位置天文学衛星ガイアを打ち上げるのである。このミッションを実現させるためには、多くの妥協と、13年に及ぶ年月と、約10億ユーロ（1400億円）の費用を要した。この衛星は、打ち上げから5年間観測を行い、これまで地球近傍の250万個の星について作成されていた高精度地図の範囲を、銀河系の端、あるいはその向こうに分布する星にまで広げて、少なくとも10億個が含まれるようにする予定だ。そのうち約1000万個の星については、完全に三次元の地図を作成することになる。ガイア衛星は、これらの星の天球上の位置を測定するだけでなく、地球からの距離についても誤差1%未満の精度で測定するのだ。現時点では、この精度で位置が特定されている星は数百個しかない。

このミッションの前任のプロジェクト・サイエンティストであったプリストル大学（英国）の天文学者 Michael Perryman は、楽観的である。「ガイア

計画はとてつもないプロジェクトであり、位置天文学を大きく変えることになります。測定を行う星の数も、測定の精度も、以前とは段違いです」と彼は言う。

星の地図を作る

これまでにない精度の観測を可能にするのは、第一にガイア衛星のデジタルカメラによるところが大きい。このカメラは、市販のカメラに搭載されているものとよく似たセンサーで光を集めるが、その106個のセンサーは900メガピクセル以上の解像度を提供する。ちなみに、NASAのハッブル宇宙望遠鏡のメインカメラのセンサーは2個で、その解像度は16メガピクセルより少し大きい程度である。

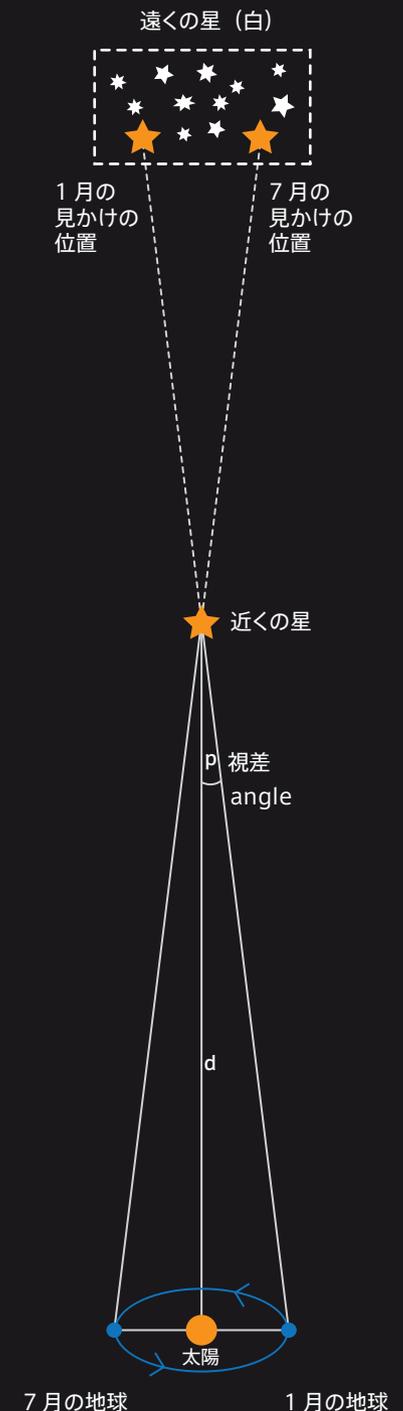
第二に重要な役割を果たすのが、星からの光をカメラに導き入れる2台の望遠鏡だ。この2台は、広い視野を得るために106.5度離れた方向を向いている。ガイア衛星は6時間で1回のペースで自転しながら、何カ月間も同じ星々を見渡している。それぞれの星は約70回撮影され、5年間で、ハッブル宇宙望遠鏡が軌道に投入されてからの21年間に生成した画像データ量の約2倍になる。

全てのデータが分析されると、個々の星に関する1対の座標が得られ、天球中での位置が6マイクロ秒角（1マイクロ秒角は36億分の1度）という小さな誤差で決定される。6マイクロ秒角とは、月面に置いた小さいコインを地球から観測したときの見かけの直径ほどである。ガイア衛星が作成する星表は、現代最高の星表より何百倍も高精度になるはずだ。今から2000年以上前に、古代ギリシャのニカイア生まれの天文学者ヒッパルコス（Hipparchus）の裸眼での観測に基づいて作成された西洋最古の星図と比べれば、何百万倍も優れているに違いない。

星の位置を三次元で決定するためには、さらなる測定が必要である。それには、視差と呼ばれる幾何学的な現象（「視差効果」参照）を利用する。太陽の周りを公転する地球から星を観測すると、星

視差効果

地球が太陽の周りを運動するとき、近くの星は遠くの星に対して位置を変えていくように見える。天文学者は、単純な幾何学と、地球の公転軌道の大きさと、視差 (p) の測定値を用いて、地球から星までの距離 (d) を決定することができる。視差が1秒角のとき、星までの距離は1パーセク（3.26光年）である。視差が小さいことは、その星までの距離が長いことを意味する。



の位置が1年を周期として変化するように見え(年周視差という)、地球に近い星ほど、年周視差は大きくなる。高速で走っている車から外を見ると、道端の木々が猛スピードで過ぎ去ってゆくのに対して、遠くの山はほとんど動かないように見えるのと同じである。地球の公転軌道の大きさは分かっているので、星の左右の動きを正確に測定することができれば、単純な幾何学により星までの距離を計算できる。

だが、大気の乱れはこうした努力を台無しにする。地上に設置された現代最高の可視光望遠鏡でさえ、年周視差を観測できるのは、地球からの距離が約100パーセク(326光年)の星までである。一方、大気の影響を受けにくい電波望遠鏡では、もっと遠くまで見ることができ、強い電波を発する天体しか観測できない。これに対し、大気の外にあるガイア衛星は、地球と太陽の両方に対して固定された安定な軌道に投入すれば、約1万パーセク離れた星の年周視差まで測定できるはずである。

高精度の観測ができるガイア衛星は、天球の中での星の「固有運動」についても、より遠くまで測定できるはずである。固有運動は、星が、視線に対して直角方向に実際に運動することで生じるもので、地球の公転運動による見かけの動きに重ね合わされた、横方向への安定した運動として現れる。

上述に加え、ガイア衛星はそれぞれの星が発する光のスペクトルの変化を利用して、星が地球に近づいたり遠ざかったりする速度も測定することができる。これらの能力を駆使して、三次元空間における星の位置と速度を表すための完全な情報を得る予定である。

生まれ変わった位置天文学

ガイア衛星は、実は2番目の高精度宇宙位置天文学衛星である。というのも、1989年にESAが位置天文学衛星として打ち上げた、精度視差収集衛星ヒッパルコスによって、この手法の有効性が実証

されていたからだ。5億8000万ユーロをかけて作られたヒッパルコス衛星は、打ち上げ直後にトラブルに見舞われた。ブースターロケットの不調により、予定とは異なる軌道に入ってしまったのである。それでもヒッパルコスは観測を行い、十分に役目を果たした。1993年のミッション終了までの間に、ヒッパルコスは約11万8000個の星までの距離を明らかにした。そのうちの約400個の星までの距離は1%の誤差で測定された。地上からこの精度で距離を測定できていた星は、それまでは50個しかなかった。ヒッパルコス星表は、今日でも最高の星表であり続けている。

しかしながら、ヒッパルコス計画では比較的近い星ばかり測定していたため、その星表は、科学の革命というよりは進歩という程度の位置付けであった、とカリフォルニア工科大学(米国パサデナ)の天文学者Shrinivas Kulkarniは言う。「ヒッパルコス計画は、星についての私たちの理解が基本的に正しいことを示しました」。ニールス・ボーア研究所(デンマーク・コペンハーゲン)の名誉天文学者で、このミッションの最初の青写真を描いたErik Høgは、「ヒッパルコス計画の成功は、原理の正しさを証明し、位置天文学を大いに活気づけました。人々は、このプロジェクトの周りに集まることができました」と言う。

けれども彼らは、ヒッパルコスの後継機を宇宙に送り出すことがなかなかできなかった。先進的な位置天文学ミッションが次々と提案されては、予算オーバーを理由に破棄された。その顕著な例が、NASAの宇宙干渉計ミッション(Space Interferometry Mission: SIM)であった。このミッションは意図的に焦点を絞っていて、地球から非常に近いところにあるわずか1万個の星の位置を正確に特定することに集中する代わりに、こうした星が、周りを軌道運動する地球ほどの大きさの惑星の重力によってふらつく様子を検出する予定だった。けれどもSIMは数度にわたって延期され、当

初は6億ドル(約600億円)とされていた予算も膨れ上がった。NASAがこのミッションに数億ドルもの開発費を投じてきたにもかかわらず、さらに12億ドルの費用を要するという見積もりが出たため、SIMは2010年に中止になった。「そんな資金はありませんでした」と、NASAジェット推進研究所(米国カリフォルニア州パサデナ)の天文学者でSIMのプロジェクト・サイエンティストだったMichael Shaoは言う。

一部の研究者は、SIMやその他の衛星がつかずいたところも、ガイア衛星なら乗り越えられるだろうと言う。人工衛星を建造する際のスタイルが、欧州と米国では違っているからである。ヴァージニア大学(米国シャーロットビル)の天文学者Ken Seidelmannは、「欧州のシステムでは、開発に際し科学者が希望する仕様を書き出すと、請負業者が、できるだけ安くそれを建造する方法を考えるのです」と説明する。この方法では、ミッションの能力が制約されることもある。「米国では、科学者が開発にもっと深く関わる傾向があります」と彼は言う。そして、科学者が目標について妥協することを拒むなら、開発費はうなぎ上りに上がっていく。

ガイア衛星の場合、2000年にESAがこのミッションを承認したときの予算を逸脱しないよう、いくつかの点で性能を落とさざるを得ず、その能力は当初の設計を大幅に下回るものになってしまった。なかでも大きかったのは、視差の測定精度を予定の半分にしたことだった。その結果、ガイアが取り組むはずだった問題のいくつかは、手の届かないものになってしまった。例えば、小惑星などの潜在的に危険な地球近傍天体の軌道を、次の世紀までに正確に予測できるだけの精度で追跡することは不可能になった。実はこれは、英国科学大臣の特別調査委員会が最優先事項として掲げていた目標であった。視差の測定精度の引き下げを受け、2000年から科学チームを率いていたPerrymanは、2006年にこのプロ

ガイア衛星の観測範囲

ガイア衛星は、視差と位置の非常に正確な測定値を用いて、銀河系の広い範囲に分布する星までの距離とその（横方向の）「固有」運動を調べる。ガイア衛星がもたらすこうしたデータは、銀河系の構造と力学と歴史を明らかにすることが期待されている。

ガイア衛星は
2万パーセクまでの
星の固有運動を
秒速1kmの精度で測定できる。

これまでのミッションでは、
10%の誤差で測定できる距離の限界は
100パーセクであった。



銀河中心

ガイア衛星は
1万パーセクまでの距離を
10%の誤差で測定できる。

*1パーセク = 3.26光年

プロジェクトから降りた。「科学的根拠に基づかずにプロジェクトの目標を引き上げる決定にひどく失望したからです」とPerryman。

けれどもガイアは生き延びて、早ければ2013年11月20日にも打ち上げられる予定である（訳註：その後、打ち上げ予定は2013年12月19日に延期されている）。ミッションから離れ、これまで断念されてきた数々の宇宙位置天文学ミッションのことを思うPerrymanは、今では、ガイア計画が大きな成果を挙げることが期待している。

銀河系へのまなざし

ガイア衛星は、ヒッパルコス衛星が始めた宇宙の国勢調査を引き継ぎ、その範囲を拡大する。これにより、新たに数百万の連星系と数万個の褐色矮星（質量が小さいため、軽水素の核融合を起こすことができず恒星になれなかった天体）が発見されると考えられている。地球に比較的近い恒星の周りで、木星サイズの惑星も1000個ほど発見できるはずである（厳密に言えば、発見できるのは惑星そのものではなく、惑星が母星に引き起こすふらつきである）。より地球に近いと

ころでは、ガイアの視野を横切ると考えられる数十万個の太陽系内小惑星に関するデータも得られると期待されている。

けれども、ガイア衛星の真価が発揮されるのは、位置天文学の範囲を銀河系全体に広げるときだ（「ガイア衛星の観測範囲」参照）。ESAの欧州宇宙技術研究センター（オランダ・ノールトウェイク）のシステム科学者でガイアの副プロジェクト・サイエンティストであるJos de Bruijneは、「私たち独自の科学的な目標は、銀河系の構造と力学と歴史を解明することにあります」と言う。

基本的な構造はすでに分かっていると彼は言う。銀河系は目玉焼きのような形をしている。その中心には星が球状に集まった「バルジ」があり、バルジの周囲には星が円盤状に集まった「ディスク」がある。ディスクは端に行くほど薄くなり、銀河系の渦状腕はここにある。さらにディスクの外側には、古い星がまばらに集まった大きな球状の「ハロー」があり、銀河系を包んでいる。けれども、これらの構造がどのようにして、どのような順序で形成されたのか、まだ解明されていない（Nature 2012年10月4日号24～27ページ参照）。ガイア衛星は、

星の組成と明るさを測定することで、1つの重大な手掛かりを提供してくれるはずだ。そのデータは、多くの星が形成された時期を初めて明らかにし、天文学者が銀河系のさまざまな部分の年齢を解明するのに役立つだろう。

ガイア衛星から期待される手掛かりがもう1つある。それは、星の運動の測定から得られるデータだ。天文学者は、この測定値に基づいて過去を推定し、銀河系の進化の過程を明らかにすることができる。非常に小さな誤差がみるみるうちに膨れ上がって大きな不確実性になるため、この作業は困難である。「どこまで時間をさかのぼることができるかは、まだ分かりません」とLindegrenは言う。けれども、ガイア衛星の観測精度の高さは、これまでよりはるかに古い時代までさかのぼることを可能にするはずだ。

ガイア衛星による測定は、銀河系の歴史における多くの荒っぽい出来事の解明にも役立つはずだ。銀河系は、他の小さい銀河を共食いすることで成長してきた。銀河系の重力が、近くにやってきた小さい銀河を捉えて、これを細長く引き伸ばし（恒星ストリーム）ながら、さまざまな角度で銀河中心に引き寄せるので

ある。2002年には、いて座矮小楕円^{だえん}銀河という死にかけの天体から数十億年前に引き出された恒星ストリームが確認されている。オハイオ州立大学（米国コロンバス）の天文学者 Andrew Gould は、「銀河系の周囲には、他にもいくつかの恒星ストリームがあり、銀河系の進化に関する情報を記録しています。ガイア衛星は、こうした恒星ストリームを発見することができるでしょう」と話す。そして、星の運動の測定値を用いて、小さな銀河がどのように解体されていったかを明らかにするだろう。

星の運動を正確に知ることができれば、銀河系の全体を満たす、目に見えないダークマターの分布を明らかにするのに役立つはずだ。ダークマターは光を発しないが、重力により星を引っ張って摂動を引き起こすため、その影響はガイア衛星の観測データに表れるはずである。天文学者はこれらを利用して、ダークマターがどのような塊を形成しているかを調べたり、理論家が提案し

ているようにディスクを形成しているのかどうかを調べたりすることができるだろう。

ガイア衛星がどのような発見をするにしても、1つだけ確実に思われることがある。2021年に発表予定のガイア星表をしのぐ星表は、その後数十年は出てこないということだ。ESAは、将来のミッションとしてSIMに似た惑星探索衛星の打ち上げを考えているが、ガイアの位置天文学ミッションを引き継ぐものはまだ選定していない。「15年後に何かを実現したいなら、今から考え始めなければなりません。けれども、どの方向に進むのがベストなのか、まだ分からないのです」とLindegrenは言う。精度を大幅に上げることは技術的に非常に難しい。それに比べ、20年後にガイアと同じ仕様の衛星をもう1機打ち上げるのは簡単だ。20年経てば、星の位置はかなり変わるのだから、その位置と速度をさらに正確に捉えることができるはずだ。

現在提案されているもう1つの後継

ミッション候補は、銀河系の中でガイアには見ることができない部分を調べるといものである。ガイアは可視光で観測を行うため、銀河系のバルジとディスクの遠方部分はダストに隠れてしまい見ることができない。それに対し、赤外光で観測を行う衛星ならば、この部分を何の問題もなく調べることができる。

もしかすると、ガイア衛星自身が、こうした議論を根底から覆すこともあるかもしれない。位置天文学の精度が高くなるにつれ、完全に予想外のものが見つかる可能性が高くなるからだ。そうなれば非常におもしろい。「科学はしばしば精密な測定によって前進してきました。時には、既存の理論から逸脱した測定値が得られ、その値に深い意味があることが分かる場合もあるのです」とKulkarniは言う。

（翻訳：三枝小夜子）

Devin Powell は、シンガポール在住のフリーライター。

RESEARCH HIGHLIGHT

刺し網漁の禁止で、潜水鳥が増えた！

Divers soar after net ban

2013年6月6日号 Vol. 498 (8)



OXFORD SCIENTIFIC/GETTY IMAGES

カーテンのような「刺し網」を使った漁法が1992年に中止されてから、潜水鳥類の繁殖集団では個体数増加が見られた。

ニューファンドランド記念大学（カナダ・セントジョーンズ）の Paul Regular らは、カナダ東方の魚類個体数の激減によってタラ・サケ漁が中止に追い込まれる前後に収集された、海鳥の個体群調査データを分析した。研究チームは、刺し網に引っかかることがあるウミスズメやシロカツオドリなどの潜水鳥類と、漁船から捨てられる魚を食べているカモメなどの水面採食類とで、個体数の比較を行った。刺し網が使われなくなってから潜水鳥類は増加し、特にウミガラス (*Uria aalge*、写真) の2000年代の個体群の成長率は、1970年代と比べて大幅に上昇していた。一方で、1970年代には増加していたセグロカモメ (*Larus argentatus*) の個体群は、2000年から2010年の間に縮小した。

漁業による意図せぬ捕獲が大型動物の個体群に深刻な影響を与えていると考える人々にとって、待望のデータだろう。

Biol. Lett. 9, 20130088 (2013)

この研究の詳細は go.nature.com/9lqmsd を参照のこと。

（翻訳：小林盛方）

インパクトを重視することの危うさ

The maze of impact metrics

2013年10月17日号 Vol. 502 (271)

科学者の研究評価を行う者は、特定の指標に重きを置いて研究のインパクト（影響度）を評価している。特定の指標を重視する際には、その指標がもたらす正負の影響を考慮し、また評価方法の公開をすべきだ。

科学論文はあまりに多く、時間はあまりに少ない。研究助成機関や研究機関は、重要な研究を発見し褒賞するために、大量の研究論文やデータセットに加え、さまざまな科学的成果にも目を通さねばならないが、時間が足りないのだ。今日では、短時間で多面的に研究を評価する方法の1つとして、インパクト（影響度）が取り入れられている。

従来の学術的重要性の尺度、すなわち、引用評価指標、有力学術誌での発表、論文やインタビューに示された同僚研究者からの評判などが重要な位置を占めることに変わりはない。そこへ、自身の研究が学界を超えた重要性を有することを示すための新しい指標が加わったのである。新指標には、論文のダウンロード件数と閲覧数／政策立案者、保健当局者や環境当局者に対する影響力／産業界と経済に対する影響／社会に対する教育・啓蒙効果などがある。

2013年に北テキサス大学学際研究センター（米国テキサス州デントン）の研究者が、56種類のインパクト評価指標を明らかにした（*Nature* 2013年5月23日号439ページ参照）。その中にはやや突飛な指標も含まれており、科学者にとって、自らの研究が注目と予算を集めるにふさわしい数々の特徴を有すると誇示するのが決して容易でないことが分かる。

これだけ多様な指標があることは賞賛すべきだが、多すぎるために混乱を引き起こす可能性もある。研究者と研究評価者は、数ある尺度をどのように取舍選択すればよいのだろうか。

2013年10月17日号287ページでは、研究の質を評価する伝統的な方法と新しい方法について考察した。*Nature*は、研究機関や研究助成機関が尺度を決定する際には、次の2点を考慮に入れるべきと考える。

1点目は、特定の指標の偏重によってもたらされるプラスの効果とマイナスの効果とを認識することが重要、ということだ。

例えば、影響力の大きい学術誌に発表された研究は高評価と強調した場合、研究者に野心的な研究目標を考えさせる効果をもたらせばよいが、過剰なプレッシャーにもなるため、再現不能な論文の増加を招くおそれもある。*Nature*は、これまでの数十年間、基準をほとんど変えることなく研究論文を出版してきたが、それを評価に使う側は、こうした影響力の大きい雑誌に掲載された論文をどの程度重要視するのか、基準を明確に定めるべきだ。

その過程で注意すべきことがある。インパクトファクター（被引用実績の指標）が高い学術誌に掲載された研究論文イコール重要な論文と捉えるべきではないということだ。本誌で何度も強調してきたように、同じ学術誌に掲載された論文であっても被引用実績はまちまちで、非常に大きな差が出る場合もある。それよりも、個々の論文の被引用数、閲覧数、ダウンロード件数に着目し、こうした指標が研究分野によって異なると認識すべきだろう。

研究の経済的影響を強調した場合、税金で賄われている研究が正当かどうかを

研究者に検討させ、研究資金の有効利用を促進できる可能性がある。その一方で、無意味な特許取得や無謀なスピンアウト会社起業などが研究者の頭にちらつき、研究に支障を来すおそれもある。

2点目は、研究のインパクトを計測するのに用いる方法を研究評価者が公開し、評価制度の公正性と透明性を確保すべきである、ということだ。

公開性は、信頼を獲得する上で必須の要素だ。評価者は、評価結果を採点する方法を示した作業事例と、そうした評点の根拠を公表すべきである。それができないのであれば、研究者に疑いを抱かれても仕方がないだろう。*Nature* 2013年8月15日号255ページでは、*Nature*の元ニュース記者 Colin Macilwainが業績評価の指標に対する疑念を示している。

「インパクト関連課題」が加わることに不満をぶちまける際に、一方で、科学者にも混乱が見られる。インパクトファクターの「インパクト」と混同して、主張が破たんしているのだ。多くの場合、本論である「利用可能な各種指標の検討」ではなく、インパクトファクターの誤用に対する文句に議論が終始している。インパクトファクター自体に誤解を招きやすいという議論があるためだ。こうした意味論的な相乗効果で、議論の論点がぼけているのだ。

研究評価者が上述の2点を考慮に入れずに研究を評価すれば、インパクトという新評価基準に対して強い拒絶反応が起こるだろう。

（翻訳：菊川要、要約：編集部）



Volume 503
Number 7474
2013年11月7日号

臨界点：Shank3 タンパク質は興奮と抑制のバランス維持と精神的健康に重要

TIPPING POINT: Shank3 protein is crucial for excitatory-inhibitory balance and mental health

シナプス足場タンパク質 Shank3 をコードする SHANK3 遺伝子の変異は、自閉症や知的障害、統合失調症との関連が知られている。しかし、SHANK3 の過剰発現の影響は、あまり分かっていない。今回、H. Zoghbi らは、マウスでの SHANK3 過剰発現が、躁病様の行動や発作、さらにニューロン活動の興奮と抑制のバランスの変化を引き起こすことを示した。マウスでの知見と一致して、2人の多動性障害患者において、第22染色体上の SHANK3 を含む領域に遺伝学的重複があることが分かった。つまり、発現が過剰であれ不足であれ、SHANK3 遺伝子量が不適切な場合には有害となるようだ。今回使われたマウスは、一部の薬理遺伝学的基盤のモデルになる可能性がある。

気候：気候強制力は自然起源と人為起源のエアロゾルのどちらが大きいのか

Natural versus anthropogenic aerosols in climate forcing

エアロゾルが雲のアルベドに与える影響、つまり気候に対するエアロゾルの強制効果を確定することは、現代の気候科学における難問の1つである。この強制効果は、主に人為起源の放出と関連しているとされてきた。つまり、人為起源の影響の理解が進めば、強制効果の全体像も理解できるということだ。今回 K. Carslaw らは、エアロゾルとその前駆気体の放出など、雲の明るさに影響を与える可能性がある28のパラメーターの解析結果を報告した。産業革命(1750年頃)以降のエアロゾルの強制力の変動のうち、人為起源の放出に伴うものは34%で、45%は火山性の二酸化硫黄など、自然源からの放出と関連することが分かった。この結果から、エアロゾルの強制効果の確定のためには、自然起源のエアロゾルが支配的であった産業革命以前の環境を調べる必要があることが示唆された。

応用物理学：自己組織化するマイクロロボットを目指して

Microrobots with self-organizing potential

自然界では、群泳する魚や集団移動する細菌など、あらゆるスケールの集団運動が観察されるが、そうした挙動を単純な物理モデルで捉えることは難しい。集団的挙動を示す人工的な「アクティブマター」系は、衝突の要素が大きく、相互作用の記述が複雑なためだ。今回、D. Bartolo らは、自己推進型の転がる球体からなる実験系を開発した。これらの球体は自己組織化し、数百万個の集団となって一方向に動く。球体は単純な流体力学的相互作用によって互いを「検知」するので、全てのパラメーターを容易に計算・調節できる。この研究は、均一な活動集団に安定な方向性運動をさせるには、個々のレベルでの純粋な物理的相互作用で十分なことを実証した。この系を用いれば、自然界での集団運動をモデル化したり、新しい自己組織化材料を設計したり、集団移動するマイクロロボットを設計したりできる可能性がある。

細胞生物学：筋ジストロフィーにおけるジストログリカンの役割

Dystroglycan's role in muscular dystrophy

ジストログリカンの細胞外表面周辺にある糖タンパク質部分は、翻訳後に糖による修飾を受ける。ジストログリカンが受容体として機能するには、グリカン(多

糖)付加が必要で、この付加は LARGE という酵素により行われる。LARGE によるグリカン付加が抑制された場合、さまざまな型の筋ジストロフィーにつながるということが分かっていたが、その機序は不明であった。今回 K. Campbell らは、ジストログリカン上の LARGE によるグリカン部分の伸長とその細胞外マトリックスリガンドに対する結合能との間に、直接的な相関関係があることを明らかにした。LARGE グリカン反復配列が短いと、ジストロフィーの素因となる筋肉の機能不全などのさまざまな欠陥が生じた。さらに、LARGE グリカンの短縮の度合いは、臨床的な重症度の高い筋ジストロフィー患者ほど大きいことも明らかになった。

進化生物学：違っている理由

Reasons to be different

自然選択は至る所で起こっており、情け容赦がないものであるが、それでもなお、集団内で多様性が維持されているのはなぜだろうか。今回 K. Hughes らは、グッピーを使った研究で、この難問に答えを出した。グッピーの雄の体色は、既知の生物の形質の中で遺伝学的な変動が極めて大きいものの1つであり、非常に有用なモデル系である。これまでの研究から、色鮮やかなグッピーの個体群では、希少な体色パターンの雄が繁殖に有利な傾向のあることが分かっている。今回著者らは、管理した野生個体群を用いて、雌のグッピーが希少な体色パターンの雄を好み、その結果、希少な体色パターンの雄の方が、ありふれた模様の雄よりも多くの仔を残すことを明らかにした。負の頻度依存選択として知られるこの現象から、排他性にはコストがかかることが明らかになった。またこの現象は、集団内の多様性を維持する機構をも示している。



グッピーの雄は希少なパターンのものの方が繁殖に有利となるようだ。



Volume 503
Number 7475
2013年11月14日号

天の崩落：チェリャビンスク火球の軌跡、起源と空中爆発 SKYFALL: The trajectory, origin and airburst behaviour of the Chelyabinsk fireball

2013年2月15日、ロシアのチェリャビンスク上空を巨大火球が駆け抜けた。今週号には、この事象を詳細に再構成した結果を報告した2つの論文が掲載された。J. Borovičkaらは、この火球の軌跡と速度を高精度で決定した。その軌跡は、小惑星86039 (1999 NC43)のものに類似しており、2つの天体は同一の小惑星族である可能性がある。また、この巨大火球は、高度45～30 kmの間でばらばらに砕けたことも分かった。一方、P. Brownらは、空中爆発で生じた被害の解析から、爆発のエネルギーが、TNT火薬400～600キロトン分に等しいと見積もった。表紙は、チェリャビンスク空中爆発の3Dシミュレーション結果を画像化したもの。

医学：HIV治療でのモノクローナル抗体の有効性

Monoclonal antibodies in HIV therapy

有効範囲が広く、阻害効果が強力な、新世代抗HIV-1モノクローナル抗体(mAb)の霊長類モデルでの効果が2つのグループにより検証され、有望な結果が得られた。今後、ヒトHIV-1感染に対するmAb療法研究を推進する可能性がある。D. Barouchらは、強力で広範囲にわたる中和活性を持つ抗HIV-1抗体PGT121、または、さまざまなmAbカクテルの1回の注射により、SHIV感染アカゲザルで、ウイルスがわずか1週間後に検出不可能なレベルにまで低下することを示した。また、新開大史(米国立衛生研究所)らは、2つのmAb(3BNC117と10-1074)の同時投与が、SHIV慢性感染サルウイルス血症を強力に抑制し、その効果が数週間持続したことを報告した。

古生物学：初期の昆虫群の多様性

Diversity in early insect populations

約3億年前に生息し、これまで知られていなかった昆虫種が複数発見され、初期の昆虫群の多様性が極めて高かったことが分かった。A. Nelらは今回、石炭紀後期層から得られた完全変態類の昆虫である膜翅類および鞘翅類の最古の化石、完全変態類幼虫であることが確実な最古

の化石、咀嚼類および半翅類の最古の化石について報告した。それらの化石は全て、実体顕微鏡でようやく分かるほどの大きさだが、古生代の「巨大」昆虫と同じ年代に生息していた。今回報告された化石の中には、後に甲虫類や半翅類、膜翅類(アリやハチ)へと進化した昆虫群のごく初期のものが含まれていた。この結果から、この時代の昆虫群は、予想外に多様に富んでいたことが分かった。



今回報告された最古の半翅目 *Aviorrhyncha magnifica* gen. et sp. nov. の前翅。

物理学：磁気モーメントの緩和時間を延ばす

Memory in a moment

磁性原子の個々の磁気モーメントは、メモリーや量子コンピューターへと応用できる可能性もあり、近年注目を集めてきた。しかし、磁気モーメントは、磁性原子とそれを載せる基板との相互作用によって不安定化される傾向があるため、緩和時間が数ミリ秒未満になることが多

い。宮町俊生(東京大学他)らは、希土類元素ホルミウムの単一原子を、高導電性表面に載せた系を調べた結果を報告した。この系では、ホルミウム原子と基板の両方の特性に関係する固有の対称性が組み合わさり、不安定化相互作用は最小限に抑えられた。結果として、ホルミウム原子の磁気モーメントの緩和時間は、数分間に達し得ることが示された。

地球：白亜紀海洋の原始海水

Intact water from a Cretaceous ocean

太古の海洋の温度と塩分濃度の推定のためには、間接証拠、すなわち深部堆積物コアの固体物質の分析結果に頼らざるを得ないことが多い。しかし今回、白亜紀初期の北大西洋のものと思われる海水の残滓である大量の地下水が、直接確認された。チェサピーク湾の衝突クレーターでの深部掘削によって得られた地下水は、モデル解析と合わせると、約3500万年前に起きたクレーター衝突の前に堆積層内に閉じ込められたことを示唆する同位体的組成と化学的組成の特徴を持っていることが分かった。この地下水は、1億4500万～1億年前のものとして推定され、長期にわたって擾乱を受けずに保たれていた可能性がある。また、この水の平均的な塩分濃度は、現代の海水の2倍である約70パーミルであった。

免疫学：クローン病での炎症

Inflammation in Crohn's disease

オートファジーに関わるタンパク質ATG16L1の変異は、クローン病のリスク因子である。しかし、よく見られるATG16L1のリスク対立遺伝子をホモ接合で持つマウスは、パネート細胞の機能に異常はあるものの、予想に反して腸炎を発症しない。R. Blumbergらは、パネート細胞でオートファジーか小胞体ストレス応答のどちらかを阻害した場合、この2つの間に相互的な補償作用が見られること、そして、両方の経路を同時に阻害した場合のみ、マウスは腸炎を発症することを明らかにした。オートファジー機能の薬物による増強は、腸の炎症を制御する治療法となる可能性がある。



Volume 503
Number 7476
2013年11月21日号

速く跳ね返るような形態を作る：対称性が破れた超疎水表面は接触時間を最短にする

SHAPING TO BOUNCE: Symmetry-breaking superhydrophobic surfaces cut contact time to a minimum

表紙は、水を弾く性質を持つモルフォチョウの翅に1滴の水が衝突する様子である。乾燥状態の維持、自浄性、着氷の防止などの機能を持つ疎水性表面には、さまざまな用途がある。疎水性表面にぶつかった液滴は、いったん広がり、そして元の形に戻った後に跳ね返る傾向がある。液滴と表面との接触時間を最短にすることは、多くの応用分野で有用で、一般に、接触時間が最短になるのは、衝突する液滴が対称的に変形する場合と考えられていた。しかし今回、K. Varanasiらは、液滴の広がりと戻りが対称的にならないよう液滴質量を再分配する形態を持つ超疎水性表面の方が、液滴が速く跳ね返ることを明らかにした。今回の研究により、跳ね返る液滴と表面との接触時間を、可能と考えられていた限界を超えて短くできることが確認された。

小集団では、複雑な作業を完遂したり単純作業を改善したりする能力を維持できないのに対し、より大きな集団では、どちらのタイプの作業も時間とともに改善された。

免疫：よく見られる皮膚疾患への細菌の関わり

Bacterial link in common skin disease

慢性炎症性皮膚疾患であるアトピー性皮膚炎の病因は十分に解明されていない。この疾患は、皮膚の障壁機能不全とマスト細胞の活性化が起こっている場合に、異常な免疫グロブリンE (IgE) 免疫応答を介して引き起こされる。また、アトピー性皮膚炎患者の90%以上では、皮膚病変部に黄色ブドウ球菌が定着している。今回、黄色ブドウ球菌とアトピー性皮膚炎の間にあると考えられる機構的関連が明らかにされた。G. Núñezらは、黄色ブドウ球菌が産生する毒素がマウスでマスト細胞の脱顆粒と炎症性皮膚疾患を誘導すること、そして、マスト細胞を欠くマウスではIgE応答と皮膚炎の兆候の両方が抑制されることを示した。

分子生物学：状況変化に応じた体温調節

Body temperature control in changing conditions

哺乳類の体温は、日ごとに概日周期で変動する。また哺乳類は、体の中心部の体温（核心体温）を低温から守っている。今回、転写リプレッサーである核内受容体 Rev-erb α が、褐色脂肪組織の働きを調節することで、概日ネットワークと熱発生ネットワーク、体温の日リズムの3つを結びつけていることが明らかにされた。Rev-erb α 量が非常に少ない朝に低温に曝されたマウスの方が、Rev-erb α 量が豊富な午後5時に低温に曝されたマウスよりも、うまく低温に対応できた。なお、Rev-erb α 遺伝子を欠失させると、低温耐性は改善された。Rev-erb α は、褐色脂肪組織の脱共役タンパク質1 (Ucp1) の生理的リプレッサーとして機能していることから、環境に反応できるように体温リズムを維持する役割を担うことが示された。

微生物学：持続生残細胞に効く抗生物質

An anti-persister antibiotic

細菌の中には、抗生物質に対して遺伝的耐性を生じるものもあれば、休眠細胞（抗生物質の酵素標的が不活性化されている）を形成することで抗生物質の存在下でも生存できるものもあり、後者は持続生残細胞と呼ばれる。今回、K. Lewisらは、細胞内の標的を改変することで、持続生残細胞を死滅させることができそうな化合物を探索した。その結果、アシルデプシペプチド系抗生物質ADEP4が、細胞内のClpPプロテアーゼおよびタンパク質分解装置を活性化し、持続生残細胞にさまざまな細胞タンパク質を強制的に分解させることで、持続生残細胞を死滅できることを実証した。ADEP4のような化合物と、従来の抗生物質との併用で、慢性感染を抑制するための新規でロバストな戦略になる可能性がある。

宇宙：地球に似ているが、暑過ぎる

Like Earth — but a lot hotter

地球と同程度の半径または質量を持つ系外惑星は、現在数個見つかった。今回初めて、そのうちの1つ Kepler-78b について、半径と質量の両方が決定された。2013年8月に発見されたこ

の惑星は、親星に近い軌道を8.5時間で周回している。今回2つのグループが、異なる望遠鏡を使ってドップラ分光観測を行い、この惑星の質量を測定した。A. Howardらは Kepler-78b の質量を地球質量の 1.69 ± 0.41 倍、F. Pepeらは $1.86^{+0.38}_{-0.245}$ 倍と推定した。また、Kepler-78bの平均密度を、それぞれ 5.3 g cm^{-3} 、 5.57 g cm^{-3} と算出した。この値は、地球のものに非常に近く、Kepler-78bの組成が、岩石と鉄という地球に似たものであることが示唆された。

進化：集団のサイズは文化的遺産に影響する

Group size influences cultural legacy

人類の重要な特性の1つに、文化を累積する能力、すなわち学習した行動を世代から世代へと伝えていく能力がある。理論的研究では、文化の発達の重要な要因は集団のサイズであり、集団が小さ過ぎると情報は徐々に失われ、集団が十分に大きいと情報は次第に増えていくと考えられている。M. Derexらは、被験者集団にコンピューターゲームをさせることで、こうした予想を裏付ける証拠を見いだした。ある過程を繰り返す際、



Volume 503
Number 7477
2013年11月28日号

太陽光を無駄にしない：可視スペクトルの光エネルギーを集める強誘電体材料

MAKE THE MOST OF THE SUN: Ferroelectric materials that harvest the visible spectrum

表紙は、入射光から電流を発生している酸化物結晶である。強誘電体材料の特徴である自発電気分極は、太陽電池への応用に有望とされ、関心を集めている。強誘電体材料は、光吸収によって生じた正電荷と負電荷が自然に分離する傾向を持つため、光エネルギーをより容易に、かつ効率よく集めることができるからである。しかし、既知の強誘電体のほとんどは、電子バンドギャップが広く、太陽スペクトルのほんの一部の高エネルギー光子しか吸収しない。今回、I. Grinberg らは、ある種の古典的な強誘電体は、化学的操作を行うことでバンドギャップを広い範囲にわたって調節でき、その結果、太陽スペクトル全域にわたる強い吸収と光電流発生を実現できることを示した。

医学：抗糖尿病活性を持つ低分子化合物

AdipoRon

AdipoRon, a small molecule with antidiabetic activity

アディポネクチンという脂肪由来のホルモンは、インスリン抵抗性 / 糖尿病とアテローム性動脈硬化症の予防に重要な役割を果たしているようだ。今回、^{かどわかたかし}門脇孝（東京大学）らは、東京大学創薬オープンイノベーションセンターの化合物ライブラリーから、アディポネクチンの抗糖尿病活性を仲介する受容体 AdipoR1 と AdipoR2 に結合して、それらを活性化する経口投与可能な化合物を見いだした。AdipoRon と名付けられたこの化合物は、高脂肪食を与えたマウスや遺伝的肥満マウス（db/db マウス）のインスリン抵抗性と耐糖能を改善した。また、AdipoRon は、高脂肪食を与えられた短命の db/db マウスの寿命も延長した。経口投与可能なアディポネクチン受容体アゴニストは、2型糖尿病などの肥満関連疾患の新しい治療法につながる可能性がある。

宇宙：降着がエネルギーを供給する超高輝度 X 線源

Accretion power for an ultraluminous X-ray source

超高輝度 X 線源（ULX）は、既知の恒

星過程よりも明るい、活動銀河核よりは暗い。ULX は一般に、中間質量のブラックホール、あるいは、より高率で放射している小型の恒星質量ブラックホールからエネルギーを供給されていると考えられている。M 101 ULX-1 は、近傍の渦巻き銀河 M 101 に存在する変動している X 線源であるが、この天体の可視光スペクトルの解析から、ULX は、従来考えられていたよりも複雑なものである可能性が示唆された。発見時の M 101 ULX-1 の輝度は、中間質量ブラックホールを持つ ULX として予測されていた範囲内であった。しかし、今回報告された可視光スペクトルは、太陽質量の 20 ~ 30 倍の質量を持つブラックホールが存在している状態と一致する。M 101 ULX-1 は、伴星の恒星風からガスを降着させるブラックホールにより駆動されていると考えられる。

医学：コウモリで見つかった SARS 様ウイルス

A SARS-like virus in bats

P. Daszak らは、チュウゴクキクガシラコウモリ由来の新規コロナウイルス 2 種を明らかにした。これらのコロナウイルスは、2002 ~ 2003 年に起こった世界的流行の原因である重症急性呼吸器症候群コロナウイルス（SARS-CoV）と極めて近縁で、

SARS-CoV と高い配列同一性を持つ。今回、SARS-CoV と同様に、受容体 ACE2 を使ってヒト細胞に感染できるウイルスが、コウモリから初めて分離された。この結果は、キクガシラコウモリが SARS-CoV の自然界でのリザーバーであることを示す、今までで最も強力な証拠である。

宇宙：火星高地から来たことの「石のように硬い」証拠

Hard evidence from the Martian heights

北西アフリカで見つかった NWA 7533 隕石は、火星の高地岩石試料であることが分かった。地球上で火星の高地岩石試料が見つかったのは初めてのことだ。M. Humayun らは、NWA 7533 の組成分析を行い、この隕石が火星高地の角礫岩であることを示す結果を得た。また NWA 7533 は、44 億年以上前のジルコンを含んでいた。この結果から、火星の初期地殻分化は、火星史の最初の 1 億年に起きたことが示唆された。この年代は、地球や月における最初の地殻形成年代と同じ時期に当たる。



NWA 7533 隕石の切断面。

LUC LABENNE

||||||| 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）

naturepodcast

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）

 HIGHLIGHT

痛覚を解明する

アルツハイマー病に関連する遺伝子多様体

P. Amouyel らは大規模な関連解析を行い、アルツハイマー病に関連する遺伝子多様体について報告した。彼らはまず、17008 人のアルツハイマー病患者と 37154 人の対照群を対象とした全ゲノム関連解析を行い、次いで、8572 例のアルツハイマー病症例と 11312 例の対照群を対象とした第 2 段階の解析を行った。その結果、すでに確立されている APOE 遺伝子座の関連に加えて、遅発性アルツハイマー病と有意に関連する 19 のゲノム領域が見つかり、そのうちの 11 領域は今回新たに感受性座位と分かった。これは、これまでアルツハイマー病の病態に関係すると考えられてきた経路（例えば、免疫応答、炎症、細胞移動、脂質輸送の各経路）の存在を裏付けるものだ。また Amouyel らは、アルツハイマー病の発症リスクに関わっていると考えられる新たな候補遺伝子と経路も指摘している。

 NEWS & VIEWS

エピジェネティクス、ビタミン添加と細胞の再プログラム化

ビタミン C を細胞培養液へ添加するだけで、細胞のエピゲノムの大規模なリモデリングを誘導でき、体細胞の多能性状態への再プログラム化を促進できる。新しい研究から、TET1 酵素の活性が、ビタミン C の存在の有無に依存して、再プログラム化の効率を抑制あるいは増強できることが示された。

Martin F Pera

小児腫瘍に頻発する H3.3 の変化

最近、良性および悪性の腫瘍の包括的な塩基配列決定から、小児腫瘍における新しいドライバー変異が明らかになっている。今回、軟骨芽細胞腫および骨巨細胞腫に頻発するヒストン H3.3 の変化が説

明され、小児がんにおけるこのヒストンバリエーションの重要性が浮き彫りになった。

Anders M Lindroth & Christoph Plass

乳がんにおける ESR1 変異の調査

2 つの研究から、アロマターゼ阻害剤抵抗性の転移性乳がんにおいて、ESR1 遺伝子の活性化変異が突き止められた。この治療抵抗性についての知見から、内分泌療法抵抗性乳がんの管理に役立つ可能性のある新しいアプローチが示唆された。

Steffi Oesterreich & Nancy E Davidson

nature
medicine HIGHLIGHT

血小板機能の人種による違い

黒人被験者の血液から得られた血小板は、白人被験者から得られた血小板よりも迅速に活性化されることが分かった。血小板の活性化は過剰な血液凝固につながる可能性があるため、この結果は冠動脈性心疾患の生存率が、黒人では白人に比べて低いことを説明する助けとなるかもしれない。P. Bray らは、人種が黒人か白人かを自己申告した 154 人の健康な被験者から得られた血小板を比較し、黒人由来の血小板ではマイクロ RNA の 1 つ miR-376c のレベルが低いことを見いだした。miR-376c のレベル低下は、その標的タンパク質、つまりトロンピンによる血小板の完全活性化に必要とされるタンパク質の増加につながっていた。これらの知見は、抗血栓剤に対する臨床反応には人種的な違いがあり、これはトロンピン活性を阻害するタイプの抗血栓剤を使う場合には特に考慮すべき問題であることを明確に示している。

 NEWS & VIEWS

α_v でなきゃだめ：筋繊維芽細胞のインテグリンは潜在型 TGF- β 1 を活性化する
細胞による潜在型 TGF- β 1 の活性化は、あらゆる臓器で繊維形成を促進する重要

な事象である。新たな研究によって、繊維形成に関わる筋繊維芽細胞中のインテグリン α_v サブユニットを選択的に標的とすれば、肝臓や腎臓、肺での繊維形成の発生と確立を効果的に低減させられることが明らかになった。

B Hinz

ポーカージェイスはそこまでだ：再発で明らかになったがんの手の内

原発腫瘍の見かけ上の「治癒」の後に見られる再発は、がん関連死のよく見られる一因である。新しい研究で、炎症性サイトカインのシグネチャーから、再発腫瘍の出現を示す臨床的兆候が得られる可能性が示された。つまり、この種のシグネチャーは、二次腫瘍を標的とする治療法の選択と実施の仕方を示唆している可能性がある。

C J Chan & L M Coussens

メトホルミンは脂質を減らしてインスリン感受性を回復させる

メトホルミンは糖尿病の治療薬として最も広く処方されている薬剤の 1 つだが、これが治療効果を発揮する仕組みはまだよくわかっていなかった。マウスを使った新しい研究で、メトホルミンが肥満状態でインスリン感受性を改善し血糖値を低下させるのには、アセチル CoA カルボキシラーゼ Acc1 および Acc2 の AMP 活性化プロテインキナーゼ (AMPK) による阻害的リン酸化が不可欠なことが明らかになった。

R J Shaw

アンモニアの神経毒性にアストロサイトが果たす役割の再検討

重度の肝疾患や尿素サイクル異常症で見られる高い血中アンモニア濃度は神経毒性があり、治療が難しい。新しい研究で、この毒性作用は、従来考えられていたようなアストロサイトの膨張が原因ではなく、アストロサイトのカリウム緩衝機能障害が原因と分かった。また、アンモニアの毒性作用は、利尿薬のブメタニドで一部防げることも明らかになった。

T Eid & T-S W Lee

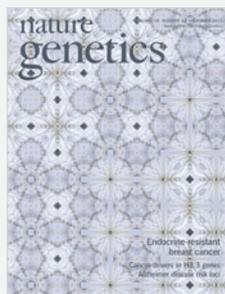
掲載論文一覧

COVER

- 生命のかたちシリーズ：シロモルフォ蝶

ANALYSIS

- 複雑な疾患：複雑な疾患の遺伝的構造の経験的な限界の評価



ARTICLES

- **ブタとイノシシの進化**：家畜化されたブタとチベットイノシシにみられる選択の特徴的なパターンをゲノム解析により同定
- **乳がん**：ホルモン療法抵抗性乳がんにおける *ESR1* のリガンド結合ドメインの変異

LETTERS

- **乳がん**：ホルモン療法抵抗性の転移性乳がんにおける *ESR1* の活性化変異
- **アルツハイマー病**：74,046 人のメタ解析からアルツハイマー病の新しい感受性座位 11 個が明らかに
- **膀胱がん**：膀胱がんの全ゲノムおよび全エキソーム塩基配列決定によって姉妹染色分体の接着や分離に関与する遺伝子に高頻度の変化が同定された
- **膀胱がん**：膀胱がんにおいて頻発する *STAG2* の不活性化は異数性には関連していない
- **肝内胆管がん**：エキソーム塩基配列決定から肝内胆管がんにおいて *BAP1*、*ARID1A*、*PBRM1* に頻発する不活性化変異が明らかになる
- **胆管がん**：エキソーム塩基配列決定から肝吸虫関連および非感染関連の胆管がんにおける異なる変異パターンが明らかになる
- **骨・軟骨腫**：*H3F3A* および *H3F3B* の異なるドライバー変異が軟骨芽細胞腫および骨巨細胞腫を定義する
- **神経内分泌腫瘍**：小腸神経内分泌腫瘍における *CDKN1B* の体細胞変異
- **食道腫瘍**：ゲノムワイド関連研究で食道腺がんとはバレット食道に対する新しい感受性座位が見つかる
- **小児急性白血病**：遺伝性の *GATA3* 変異が小児の Ph 類似急性リンパ芽球性白血病とその再発リスクと関連
- **B 型肝炎**：漢族中国人における B 型慢性肝炎ウイルス感染に関連する新たな座位
- **エピジェネティクス**：ビタミン C は体細胞再プログラミング過程で TET1 機能を調節する
- **キュウリ**：ゲノム多様性地図はキュウリの栽培化および多様性の遺伝的基盤についての手がかりとなる

COVER

- 無傷腎臓中の 1 個の有足細胞をとらえ、追跡するための方法がもっと進歩すれば、糸球体の損傷と再生の仕組みの解明がさらに進むと考えられる。J. Peti-Peterdi らは、Podocin-Confetti マウスを使って、*in vivo* でマウスの有足細胞を画像化した。表紙は、青、緑、黄、赤のうちの 1 色で標識した有足細胞と腎血管系。



REVIEWS

- **脳**：血液脳関門の発生、維持と崩壊
- **ワクチン**：現代のワクチンにアジュバントが果たす重要な役割

ARTICLES

- **血液学**：ヒト血小板 PAR4 の反応性に見られる人種差は *PCTP* と *miR-376c* の発現を反映している
- **繊維症**： α_v インテグリンを標的とすることにより見つかった、複数臓器で繊維形成を調節する中核的分子経路
- **がん**：早期の腫瘍再発を自然免疫エフェクターへの耐性によって検出し標的化する
- **免疫**：CD28 シグナルおよび ITK シグナルは自己反応性 T 細胞の移動を調節する

LETTERS

- **肝炎**：感染量以下の C 型肝炎ウイルスへの暴露はその後の急性感染に対する T 細胞応答を抑制する
- **神経疾患**：アンモニアはアストロサイトのカリウム緩衝機能の障害により神経の脱抑制と痙攣を引き起こす
- **代謝**：*Acc1* および *Acc2* に存在する単一のリン酸化部位は脂質恒常性とメトホルミンのインスリン感作効果を調節する
- **腎疾患**：*UMOD* 遺伝子のよく見られる非コード変異体はウロモジュリンの発現を高めて食塩感受性高血圧と腎臓損傷を引き起こす

TECHNICAL REPORTS

- **画像化法**：蛍光性細胞系譜タグを持つ新規マウスモデルでの、シリアル多光子画像法による糸球体上皮細胞の *in vivo* 運命追跡
- **画像化法**：個々の脳の局所組織の体積および組成の磁気共鳴画像化法による定量的測定

ネオンサインに隠された秘密

ネオン (Ne) は希ガスの中でも特に変わった性質を持つ 10 番元素だ。この元素が周期表の右 2 段目の位置にあるのが妥当かどうか、トゥーシャ大学の Felice Grandinetti が考察した。

希ガス (He, Ne, Ar, Kr, Xe など) は全て、空気中の微量成分である。「空気に含まれる」というと簡単に手に入る元素のように聞こえるが、これらの希ガス元素が発見されたのは 19 世紀末のことだ。希ガス中で最も存在量の多い Ar は、1894 年にウィリアム・ラムゼーとジョン・ウィリアム・ストラット (レイリー卿) によって新元素として発表された。実は 1785 年に、ヘンリー・キャヴェンディッシュによってすでに未知の成分として単離されていたが、当時彼は、新元素とは気付いていなかった。ラムゼーらは Ar の発見を機に、その後わずか数年で、第 18 族の新元素をほぼ全て単離した。

これらの希ガス元素のうち、Ne と Kr と Xe は、液化空気の分留によって得られた。効率よく大量の液化ガスを生成できるこの分留装置は、当時、ウィリアム・ハンブソンとカール・フォン・リンデという 2 人のエンジニアによって発明されたばかりであった。現在、夜の街を明るく照らすネオンサインに使われている Ne を含む留分が得られたのは、1898 年 6 月のことである。後に単離されたこの 10 番元素は、明るい赤橙色の光を含む特有のスペクトル線を示し、ネオンサイン以外にもバーコードスキャナーや CD プレーヤー、レーザー眼科手術、血液細胞の解析などに用いられるヘリウムネオンレーザーにも利用されている。ちなみに、「ネオン (neon)」は、ラムゼーの息子 (当時 13 歳) の提案で「新しい」という意味のギリシャ語「νέον」から名付けられた。

1912 年、ジョゼフ・ジョン・トムソンは、イオン化した Ne から得たカナル線 (陽

極線) が、磁場と電場を通過する際に 2 つの異なる軌跡をたどることを観察した。彼はその理由を、原子質量の異なる 2 種類の Ne 原子 (^{20}Ne と ^{22}Ne) が存在するためと推論し、安定元素として初めての同位体を発見した。トムソンが開発したイオンを質量で分離する技術は、トムソンの教え子であるアーサー・デンプスターとフランシス・アストンによって間もなく改良され、やがては現代の質量分析法へと発展を遂げる。

また一方で、化学者たちは希ガスを反応させようと試みた。初期の試みはどれも失敗に終わったものの、これほど有益な情報をもたらした失敗は他にはないだろう。というのも、価電子殻に注目する現代の化学結合理論の基本原則、つまり、希ガスは殻が完全に満たされているために不活性である、という考えは、希ガスの反応しにくい性質から誕生したのである。

けれども化学者たちは、その後も諦めずに希ガスの反応を試み続けた。化学結合が電子の共有や供与によって形成されるのであれば、希ガス元素の不活性さは、He から Ne, Ar, Kr, Xe という順に徐々に低下していくと考えるのが妥当である。実際、周期表をこの順に下っていくと、分極率が増加し、イオン化エネルギーは徐々に減少して、一般に酸化可能な分子と同等の値に達する。ネイル・バートレットはこれを根拠に希ガスの酸化を研究し、1962 年 3 月、六フッ化白金を用いた Xe の酸化を成功させた。程なくして Xe の化学反応が次々と報告され、現在、Xe の化学は十分に確立されたものとなっている。その後、Kr 化合物が数種類、Ar 化合物も 1 種類 (三原

子分子 HArF) が合成されているが、He 化合物と Ne 化合物については、まだ酸化に成功していない。

同じように考えると、Ne は He よりも反応性が高いはずである。ところが理論研究によると、HHeF、 H_3CHeF 、 $(\text{LiF})_2(\text{HeO})$ 、 FHeX^- (X = O, S, Se) などの中性種や陰イオン種は、He 共有結合を持つ準安定構造ではあるが、これらの種の He を Ne で置き換えても結合を形成しないことが予測されている。この計算結果は、Ne と中性金属アクセプターとの錯体 (最近、低温マトリックス中で検出された NeAuF や NeBeS 化合物など) が概して類似の He 錯体よりも不安定である事実と一致している。He 陽イオンと Ne 陽イオンの安定性の順序が逆転している例は、他にも複数存在する。

Ne は He よりも大きく、占有された p 軌道を持つ。そのため、Ne の方が静電相互作用効果が弱く、軌道反発が強いと考えられており、これらの要因が Ne 化合物を一般的に不安定 (あるいは辛うじて安定) にしていると推測されている。しかしながら、その寄与の実態についてはさらなる研究が必要だ。つまり、Ne を研究する化学者たちは 2 つの課題を抱えていることになる。Ne 化合物を実験的に合成すること、Ne 化合物について正確な理論予測を行うことだ。

周期表上で He を第 2 族、つまり水素 (H) の右隣、ベリリウム (Be) のすぐ上に移動させるべきだという提案がある。この提案の根拠は、最外殻に 2 個の電子を持つという等電子的類似性と隠れた周期的規則性の固定化で、これに従うと、He 化合物よりも Ne 化合物の方が不安定であることが周期表に反映される。He の不在により、Ne は必然的に第 18 族の最上段になるわけだが、この場所は最も不活性な希ガスとして実にふさわしい場所といえるだろう。 ■

(翻訳: 藤野正美)

Nature Chemistry | In Your Element 2013 年 5 月号





Nature Publishing Group のメールマガジンは 最新の情報を日本語でお届けします！

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。



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いた
だけます。

メールマガジン登録

nature.asia/jpn-register

nature publishing group 

EDITOR'S NOTE

12 月 4 日に日本分子生物学会にお邪魔し、弊社ブースにて数十人の方々と直接お話しすることができました。小誌を隅々まで読んでくださっている方が予想以上に多いことに大変嬉しく思ったのと同時に、身が引き締まりました。また、11 月号 28 ページ掲載の「医学生物学論文の 70% 以上が、再現できない！」の反響の大きさにも驚きました。「これは問題だ」「これではいけない」と、再現の難しい生命現象に日々向かい合われている研究者の方々から危惧の声を伺うことができ、頼もしく感じました。(う)

*翻訳記事は、原則として原文に沿っております。一部、編集部でより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 : 宇津木光代、松田栄治

デザイン/制作 : 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

「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



ネイチャー・ダイジェスト
1月号

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12月25日発行 第11巻 第1号
編集発行人: Antoine Bocquet

発行所: ネイチャー・シヤパン株式会社
東京都新宿区市谷田町2-37 千代田ビル

発売所: 日本出版貿易株式会社
ISSN: 1880-0556

定価 680 円

本体 648 円
Printed in Japan

雑誌 07271-01



4910072710140
00648