

Newton

GRAPHIC SCIENCE MAGAZINE ニュートン

最先端の脳科学が、最大の難問に挑む

脳と意識

ロボットに意識は生まれるか？ 自由意志はあるか？ クオリアとは？



第2特集

ブラックホールって本当に存在するの？

なぜそんな奇妙な天体を信じるのか？ 存在しない可能性もある！？

血液型の新常識

そもそも血液型って何？ 血液型がちがうと何が変わるの？

5

2012

コップは

なんでだろう？

ビー玉が入ったコップを薄いプラスチックのシートでつり上げています。シートとコップの間に、接着剤などは使っていません。上に置いただけのシートで、なぜ重いコップを持ち上げることができるのでしょうか？

！ そうなんだ

コップを持ち上げたのは空気の圧力（大気圧）です。密着するシートによってコップの中と外に圧力の差が生まれ、それがコップとシートを強くくっつけたのです。シートをコップに置くときは、軽く押しつけて密着させるので、コップ内の空気の体積が少し減少します。そのままコップをつり上げると、シートが上に引っぱられて、コップ内の空気の体積が少し増加します。つまり、空気の密度が低くなって圧力が下がります。すると、通常の大気圧がかかるコップの外側から圧力の低い内側に向かって、シートを強く押しつける力が働くのです。

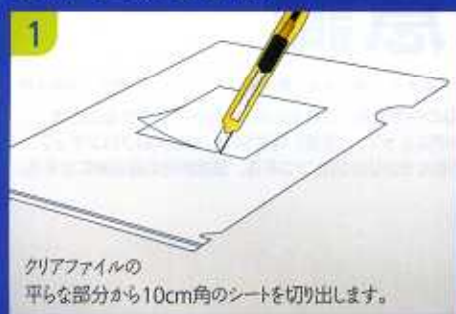


なぜ落ちない？

大気圧

を知る実験

工作・実験の手順



実験を応用してつりゲームができます。
フックと割りばしを糸で結び、糸がぬけないように
フックを折り曲げます。これをつりざおにして、コップを
つり上げて遊ぶことができます。コップに魚のイラストを
はりつけると、魚つりゲームになりますよ。
※シートがぐちゃぐちゃになる場合は、フックの反対側に
両シートの端をくっつけて調整します。

準備するもの



- ①クリアファイル 1枚 ②粘着テープ付きフック 1個
- ③プラスチックのコップ(口の直径7.5cmくらい)数個
- ④ビー玉(直径1.7cm)50個くらい ⑤割りばし 1本 ⑥糸 50cm
- カッターナイフ ●はさみ ●定規

もっと 知りたい！

気づかないけど意外に大きい大気圧

コップをつり上げるときに変化した空気の体積は、ほんのわずかです。それなのに、200g以上のビー玉を持ち上げることができました。普段はあらゆる方向から同じ力がかかってつり合っているので、大気圧を感じることはありません。しかし大気圧は、地表付近では1cm²あたり約1kg重にもなるので、密閉したコップ内の圧力が低下すると、大きな力となって現れます。

身の回りには大気圧を利用したものがいっぱい！

私たちは、日常生活でも意識せずに大気圧を利用しています。吸盤、灯油ポンプ、掃除機、ふとん圧縮袋…。これらは、いずれも内部の空気を抜いて圧力を下げることで大気圧を利用するものです。また、ストローで飲み物を飲んだり呼吸によって息を吸うのも、大気圧の利用です。肺の容積を大きくすることで内部の圧力を下げ、大気圧との差で飲み物や空気を吸い込んでいます。



くわしくはホームページへ

- ⚠ 実験の注意
- ここで紹介する実験は家庭で手軽にできる科学実験を目的としたものであり、工作物は市販品と同等もしくは代用となるものではありません。そのことを理解したうえで、個人の責任において実験を行ってください。
 - 小学生など低年齢の子どもが実験や工作を行うときは、必ず保護者の指導のもとで行ってください。
 - 器具や材料の扱いには十分注意し、ケガや事故のないよう気をつけてください。

実験監修 滝川洋二 東海大学 教育開発研究所 教授
NPO法人 ガリレオ工房 理事長



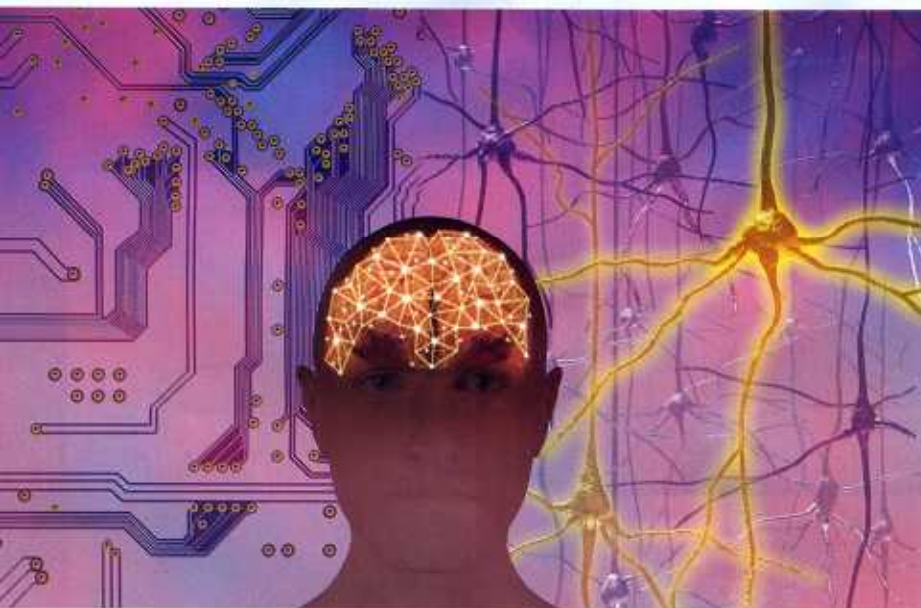
日本ガイシのホームページでは、さらにくわしい
内容やこのほかの実験も紹介しています。

<http://www.ngk.co.jp>



日本ガイシ

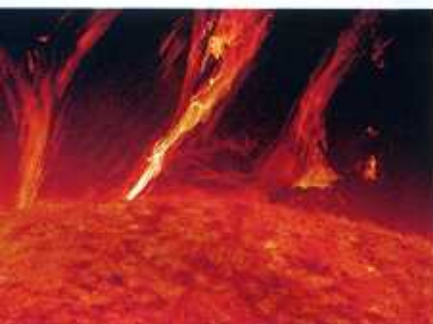
日本ガイシ株式会社 広報室 〒467-8530 名古屋市中村区南田町2番56号
Tel:052-872-7181 E-mail:pr-office@ngk.co.jp



16 **Newton Special**

脳科学がせまる 脳と意識

協力 伊佐 正／片山 容一／北澤 茂／國吉 康夫／櫻井 武／下塚 信輔／林 隆介／吉田 正俊
「意識」は各個人の「心の中の現象」であるため、科学的に研究することは簡単ではない。現代科学にとって、「意識」は究極にして最大のフロンティアともいわれる。脳科学者たちが切り開きつつある、意識研究の最前線にせまる。



58 **Cosmic Wonder**

灼熱の王者「太陽」ベストショット

間近にせまった「金環日食」を
より楽しむために

協力 常田 茂久

5月21日にせまるビッグ天体ショー「金環日食」。
太陽観測衛星が撮る最新画像を見て、一足先に「太陽通」になろう。



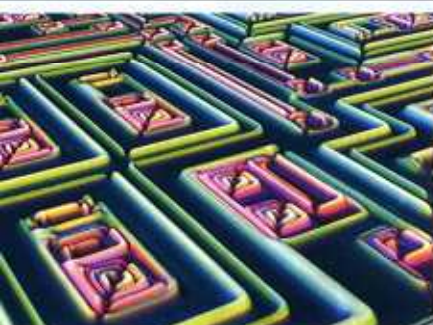
72 **Nature View**

知床の海に生きる

カラフルでゆかいな生き物たち

写真・文 吉野 雄輔

カモフラージュしていたり、愛らしい表情だったり、
一風変わった生物たちを紹介しよう。



84

ミクロの世界のショーケース

光学顕微鏡がとらえた異次元空間

協力 株式会社 ニコン／Nikon Instruments Inc.

集積回路から生物の微細構造まで、
肉眼ではみえない世界をカラフルにとらえた画像を紹介。

SCIENCE SENSOR

- 5 超光速に「待った」／豊富な栄養で成長抑制／
黒い始祖鳥／活発な太陽がこみを撃沈／マグ
マの上昇メカニズム
- 7 沈没船の積み荷／ピンぼけで距離測定／消え
た火星の海／暗黒流動はなかった？／睡眠で
固定される感情
- 8 宇宙の磁場を再現／強風仕様のアホウドリ／
活性酸素を見る／月の磁場はいつ消えた？／
再生医療ついに実現へ
- 9 暗黒物質にせまる／貝の構造をまねる／知能
は遺伝？環境？／時間を切り取る技

FOCUS

- 10 **Space Development**
宇宙のお掃除プロジェクト開始
協力 木部 勢至朗
- 11 **Biology**
生命の誕生は、海ではないかも？
協力 山岸 明彦
- 12 **Physics**
手のひらに N 極だけの磁石を
協力 多々良 潤／竹内 祥人
- 13 **Medical Science**
ヒトからヒトも？
議論よぶ鳥インフルエンザ
協力 河間 義裕

Newton第2特集 46 ブラックホールって 本当にあるの？

確証なき「黒い穴」。
その観測史と最新観測法

協力 堀重 慎／原田知広／三好 真

ブラックホールが存在する確証は、実はまだない。
「黒い穴」を直接「見る」ことはできるのだろうか？



Topic 98 「スマートグリッド」が 日本の電力問題を救う？

自然のエネルギーを取りこんだ新しい電力システム

協力 諸住 哲

太陽光発電、風力発電、燃料電池……。小さな発電設備からの大量送電を
可能にする送電網「スマートグリッド」のしくみを徹底紹介。



Topic 104 人類のやっかいな相棒「ピロリ菌」

全人類の2人に1人が、胃潰瘍や胃がんをひきおこす
ピロリ菌に感染している

協力 神谷 茂 島山昌博 山岡吉生

金属をとくすほどの強酸性となる胃に住むピロリ菌。
胃がんの原因ともなりうるこの不思議な細菌の真実を紹介。



Topic 110 血液型の新常識

性格診断はほんとう？
病気へのなりやすさとの関係は？

協力 奈良信雄 斎藤成也 佐藤達哉

「血液型とは？」、「血液型がかわることはあるのか？」、
「遺伝の例外はあるのか？」、など素朴な疑問に答えよう。



- 14 SUPER VISION
世界最小の新種カメレオン
協力 足田 努
- 118 パレオントグラフィ
樹上のサルから地上のヒトへ
霊長類 — 6550 万年の軌跡 —
協力 高井正成
- 120 身近な " ? " の科学
麴 / こうじ
協力 柏木 豊
- 122 Basic of Science
長さ
協力 尾藤洋一／平井亜紀子
- 124 STAR-WATCHING
からす座
源 潤一

6月号予告 128
NEWTON INFORMATION 131
LETTERS 133

CONTRIBUTORS 143
編集長室から 144



光の作用で自律移動する膜

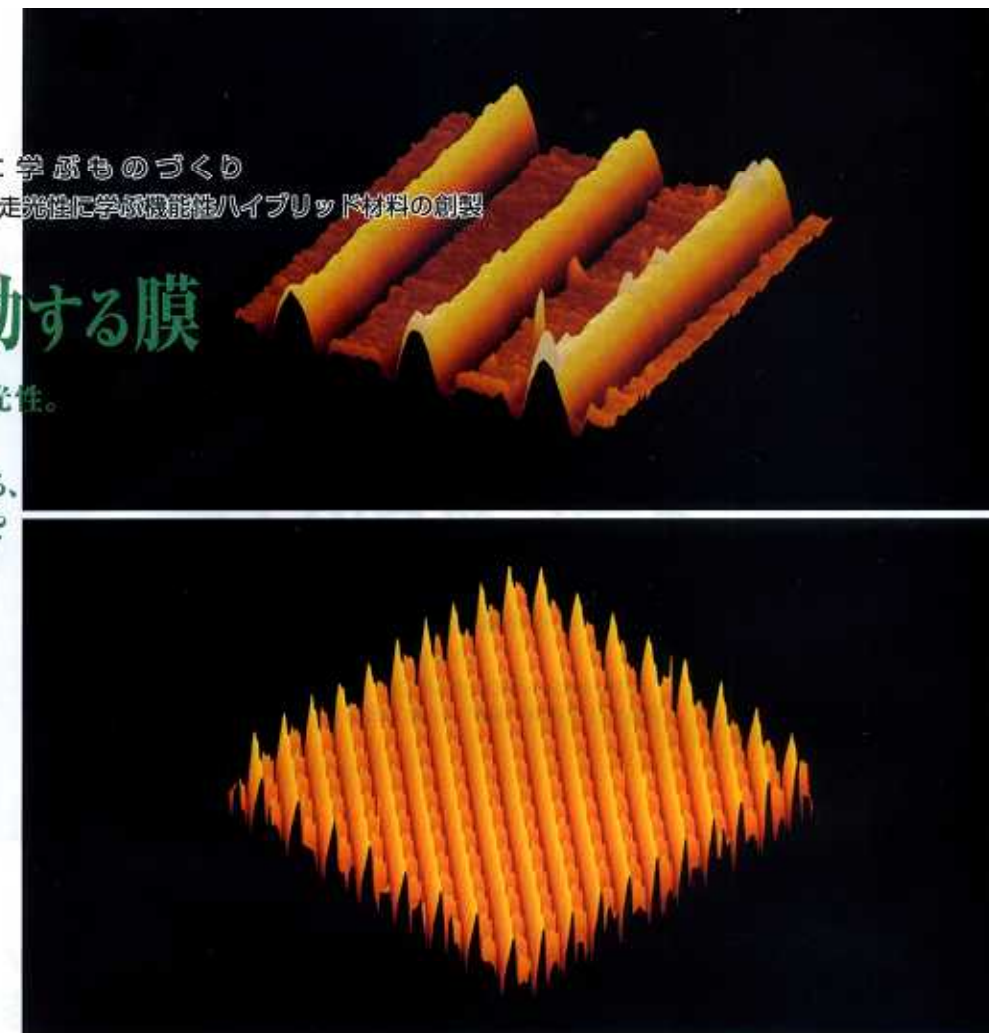
生存本能の1つとして、生物に備わった走光性。
光に集まったり、光から遠ざかったり、
生物のように自律的に移動することができる、
走光性に学ぶ機能性ハイブリッド材料とは？

多くの生物は光に反応して運動する走光性を示します。太陽の光に向かって動くひまわりの花、光に集まる虫、反対に光を嫌って逃げるミミズなどがその典型的な例といえるでしょう。そうした走光性をもった材料を開発しようという研究が、注目されています。光の照射で材料を自在に移動させ、基板上にさまざまなパターンを描画しようというのです。

有機系物質(高分子)には、波長によって光に集まる、あるいは離れるというフォトクロミック反応を示すものがあります。そうした材料を使い、光の当たる部分と当たらない部分をパターン化したマスク露光を行うことで、膜表面が移動してレリーフ(浮き彫り)構造を形成することが、過去に報告されています。その多くは、露光に数十分ほどかかる感度が低いものでしたが、近年になって、わずか10秒程度の照射、光量にして1000分の1ほどで鋭敏に移動する、高感度な高分子膜が開発されました。

この材料は加工後に元に戻すことも可能で、実験や分析用のマイクロ化学チップの流路作成などへ応用が期待されます。そして、金属酸化物を組み合わせ、無機有機ハイブリッド材料の研究も進んでいます。すでに酸化チタンとのハイブリッド材料が開発され、表面積の大きな太陽電池素子を簡便につくる新たな方法として利用できると考えられています。

露光によりパターンを描画する技術としては、現在、リソグラフィーが主流ですが、焼き付け後に現像というプロセスが必要となります。生物のような走光作用を利用した、この材料が実用化されれば、描画プロセスが簡略化でき、コスト面や環境負荷の低減にも貢献できるのではないのでしょうか。



有機無機ハイブリッド薄膜のレリーフ構造例

線状のマスク露光により作成したレリーフ構造(写真上)を90度回転し、再びマスク露光を行うと格子様のパターン(写真下)もできる。マスクのデザインにより、さまざまなパターンが可能となる。写真は原子間力顕微鏡で撮影したもの。

生物のようにダイナミックに 形を変える材料をつくる

名古屋大学大学院 工学研究科
関 隆広 教授



光機能性材料の研究を25年ほど続けています。かつて、フォトクロミック材料は色が変わることが注目されてきましたが、最近では、動く、形が変わる、向きが変わることを利用して、電気を使わずに光だけで駆動しようという研究が主流になってきています。光は、小さな動きを正確に操作するという点で優位です。レーザー光ならば遠くからでも精度よく操作できます。こうした光メカニカル効果の利用が世界的に活発化してきていますが、実は、この分野は日本が先行しているんです。生物は自らを守るために、少しの刺激に機敏に対応しています。しかも、一度形を変えたら終わりではなく、繰り返しの変形ができます。生物の複雑な仕組みを真似るのは難しいですが、単純な部分を抽出して材料開発に活かし、生物のようにダイナミックに形を変える材料をつくりたいですね。

積水化学は「自然に学ぶ」研究を
助成しています

百年先、千年先を見据えた、持続可能な社会の形成に向けて……。

『積水化学 自然に学ぶものづくり 研究助成プログラム』は、生物模倣科学、バイオ技術、再生可能資源などを活用する材料研究や関連技術の開発を応援しています。

積水化学工業株式会社

<http://www.sekisui.co.jp/>

お客様相談室 TEL:03-5521-0505(東京) TEL:06-6365-4133(大阪) 〒105-8450 東京都港区虎ノ門2-3-17(虎ノ門2丁目タワー)

<この広告に関するご意見・お問い合わせは、(E-mail)market@sekisui.jp までお寄せください。>

超光速に「待った」 ニュートリノが光速をこえた、とする実験結果に誤りがあったかもしれない。

● CERN Press Release
2012年2月23日

2011年、ニュートリノが自然界の最高速度であるはずの光速(秒速約30万キロメートル)をこえた、という実験結果がCERN(ヨーロッパ合同原子核研究機関)により発表された。この実験は、GPS(全地球測位システム)で測定された距離を、ニュートリノがどれだけの時間をかけて進むか、

原子時計によって測定するというものである。その結果によると、ニュートリノは光にくらべ、秒速約7100メートルだけ速いという。現在、検証が進んでいる。

実験装置の調査によると、GPSの信号を伝える光ファイバーの接続にゆがみがあったこと、さらに、ニュートリノの到着を感知する時計が正しく動作していなかった可能性があることが判明した。これらの装置の不具合により、今回の測定値に無視できない誤差が生まれた可能性があるという。

実験グループは、不具合を解消し、今年の5月にふたたび検証実験を行いたい、とのべている。

豊富な栄養で成長抑制 植物中の窒素はイナゴの栄養となるが、多すぎると成長が抑制されるようだ。

● Science 2012年1月27日号

多くの生態系で、タンパク質などに含まれる利用可能な窒素は貴重な栄養源だ。しかし近年、窒素の過剰摂取は、生物へ悪影響をもたらすことがわかってきた。

今回、アメリカ、アリゾナ州立大学のシーズ博士らは、ときに大量発生し、農作物に被害をあたえるイナゴに着目した。そして、窒素の摂取量とイナゴの成長や生存

能力の関係を調べるため、窒素を含むタンパク質と窒素を含まない炭水化物の量を調節したえさをあたえる実験を行った。その結果、窒素を多く含む植物を摂取したイナゴでは成長が悪くなり、炭水化物に対するタンパク質の比率が高い人工飼料では、生存率が低下することがわかった。また実際の畑で行われた実験でも、炭水化物に対するタンパク質の比率が高い穀物が育つ、窒素に富んだ畑では、生存率が低下したという。

この結果は、窒素肥料を用いることで、イナゴの大量発生を抑制するなどの新たな管理戦略につながる、と博士らはのべている。

黒い始祖鳥

始祖鳥の羽はカラスのように黒かったことが、色素の解析からわかった。

● nature communications
2012年1月12日

始祖鳥は、1861年にドイツのゾルンホーフェンにあるジュラ紀(約1億5000万年前)の石灰質堆積物から発見された。それ以来、鳥類の祖先と考えられている。だが、その羽の色についてはほとんど解明されてこなかった。

アメリカ、ブラウン大学のカーニー博士らは、始祖鳥の色をはじ



始祖鳥の羽は黒く、その構造は現生の鳥類とほぼ同じだったようだ。

めて明らかにした。博士らは、始祖鳥の羽毛の化石から「メラニン小体」とよばれる色素の粒の化石を発見した。この粒について、現存する鳥類のデータベースと比較した。その結果、この始祖鳥の羽は黒く、羽毛の先では、より濃い黒色をしていたことが明らかになった。また、ジュラ紀のはじめには、始祖鳥の羽毛の構造はすでに、現存する鳥類と同様の構造をもつことがわかった。

黒い色素の粒は、羽毛を補強するはたらきがある。この粒が多くなることで、羽毛は頑丈になっていき、飛行に適応していったのだろう、と博士らはのべている。

活発な太陽がごみを撃沈 宇宙ごみの地球への落下頻度が、太陽の活発化にともない高まっているようだ。

● NASA Orbital Debris Quarterly News
2012年1月号

地球をとりまく宇宙空間には、人工衛星の破片などの「宇宙ごみ」が無数にある。これらは地球になかなか落下せず、高速で地球を周回するため、新たな人工衛星を打ち上げる際の障害となる。

このたびNASA(アメリカ航空宇宙局)は、太陽の活発化が宇宙ごみを減少させている、と発表

した。太陽活動には約11年の周期があり、活発な時期には太陽はより多くの熱を放射する。現在、太陽活動は次のピークの2013年に向け徐々に活発化しているところだ。一方、地球の大気は熱せられると膨張する性質をもち、太陽活動が活発な時期には高層の大気が宇宙空間へと膨らみ出す。すると、宇宙ごみはより強い空気抵抗を受けるようになり、失速して落下しやすくなるわけだ。ごみの多くは地上到達前に燃え尽きる。

解析を担当したNASAのジョンソン博士は、こうした好ましい傾向は2013年ごろまでつづくだろう、と予測している。

マグマの上昇メカニズム ダイヤモンドを運搬するマグマの上昇メカニズムが解明された。

● nature 2012年1月19日号

地球のマグマとして最も深部に由来する「キンバーライトマグマ(KBLM)」は、アフリカなどの大陸の下からダイヤモンドを地表へ運ぶ。KBLMは、マントル(対流する岩石層)由来の比重の高い鉱物を運びながら約150キロメートル上昇する。だが、その上昇メカニズムは不明だった。

カナダ、プリティッシュェコロン

ビア大学のラッセル博士らは、高温実験からKBLMの上昇メカニズムを突き止めた。KBLMは、まず炭素に富むマグマとして産みだされ、マントル中のケイ酸成分(SiO₂)に富む「斜方輝石」という鉱物を取りこみながら上昇する。その結果、もともとマグマ中にあった二酸化炭素がわきだし、マグマの比重が下がるという。これにより、マグマの浮力が大きくなり、上昇が加速する。この加速過程は、大陸の下に厚いマントルを通過することで促進される。

これで、比重の高い鉱物を含みながらも上昇するKBLMを説明できる、と博士らはのべている。

iPad版『Newton』の刊行を始めます 購読はiPadの「Newsstand」で

いよいよ近日、iPad版の『Newton』を創刊します

弊社は2010年9月より、「Newton Digital Books」として、iPad向けの書籍アプリ「太陽と惑星」「iPS細胞」など10タイトルを刊行しました。

サイエンスをとことんわかりやすく、美しく、ますます興味を深めながら楽しめるデジタル出版をめざしました。お陰様で、10タイトルすべてが、App Storeの全分野総合でのアプリ売上ランキングで1位から10位以内にランクされるという予想外の反響を得ることができました。

ひとえに本誌購読者の皆さまのお陰によるものであり、誌面を借りてお礼申し上げます。

昨年10月、Apple社は、iPadを通じてデジタル雑誌を定期購読できる新たなサービスを「Newsstand」の名称でスタートさせました。現在、iPadを開くとNewsstandのアイコンがすでにホーム画面に表示されています。

このNewsstandを通じて、このたび弊社は、iPad版の『Newton』を、月刊の定期刊行物として発行することにいたしました。

いま、創刊に向けた作業は最終段階に入っています

iPad版の『Newton』では、これまでのような紙面への印刷では到底表現できなかった、科学の観察や疑似体験が可能になっています。

たんにNewtonのページをデジタル化して、iPadで読めるようにした出版物ではありません。指でさわって、眼と耳の両方を使って楽しむ、まったく新しいデジタル雑誌なのです。

iPad版『Newton』の創刊号でお届けするNewton Specialは、「生命の設計図 DNA」です。

ミクロな細胞の中をさらに拡大して見ていくと、細胞の中心に「核」と呼ばれるものがあります。さらにそれを拡大すると、折りたたまれた多くのひもが見えます。さらに拡大すると、ヒストンと呼ばれるタンパク質によってコンパクトに整頓された「DNA」が見えてきます。

そのDNAをもっと拡大して見ると、いくつかの種類の原子が集まった「2重らせん構造」とよばれるDNAの姿を目の当たりにすることができます。

iPad版『Newton』の創刊号では、このおどろくべきDNAの構造を、指と眼と耳のすべてを使って観察することができるのです。

まさにiPadの機能であるタッチ操作や動画、音声駆使して展開する、エキサイティングなサイエンスワールドです。ほかにもたくさんの興味深い記事があります。

定価は500円。年間購読料は3000円。ぜひ、iPad版『Newton』を体験してください。

沈没船の積み荷

ワイン用とされていた古代ギリシアのつぼの、多様な用途があかされた。

● *Journal of Archaeological Science*
2012年2月号

地中海で発見される沈没船には、液体運搬用の取っ手つきのつぼ「アンフォラ」が満載されていることがある。紀元前5〜3世紀のギリシア・ヘレニズム時代のアンフォラは、文献史料からワイン用と推定されてきた。しかし、中身は残っておらず実際に何を運んでいたかは不明だった。

アメリカ、ウッズホール海洋学研究所のフォーリー博士らは、この時代にギリシア沖で沈没した船から出土したアンフォラの内壁の付着物をDNA分析した。その結果、9個のアンフォラ中、6個にオリーブ、5個にブドウが入っていたことがわかった。また、ほとんどのアンフォラにはビャクシン（香辛料の一種）も含まれていたことから、アンフォラはことなる品物を運搬するために何度も利用されていた可能性があるという。

また今回、抗酸化作用のある木のDNAも検出された。博士らは、これをワインの保存料として利用していた可能性も指摘している。

ピンぼけで距離測定

ハエトリグモは目のピンぼけを利用してエサまでの正確な距離を知る。

● *Science* 2012年1月27日号

ヒトは両目の見え方のちがいを、使って対象物までの距離を知るが、ハエトリグモがどのように距離を知るかは不明だった。

大阪市立大学の寺北明久教授、永田崇研究員らは、ハエトリグモの網膜の構造を調べた。その結果、網膜は4層からなり、奥の2層で対象物までの距離をはかっていることがわかった。最も奥の層に焦

点を合わせると、奥から2層目では焦点が合わずにピンぼけとなる。そのピンぼけの度合いは、対象物までの距離に応じてかわる。そのため2層目でのピンぼけの程度から正確な距離がわかるのだ。

また、ことなる色（波長）の照明のもとで実験を行ったところ、緑色の光では正確にえさへ跳躍できたが、赤色の光では跳躍距離が短くなった。これは波長ごとにピンぼけの度合いが変化するためであり、ハエトリグモが緑色の光を利用していることを示すという。

このメカニズムはロボット工学などに応用することも可能だろう、と博士らはのべている。

消えた火星の海

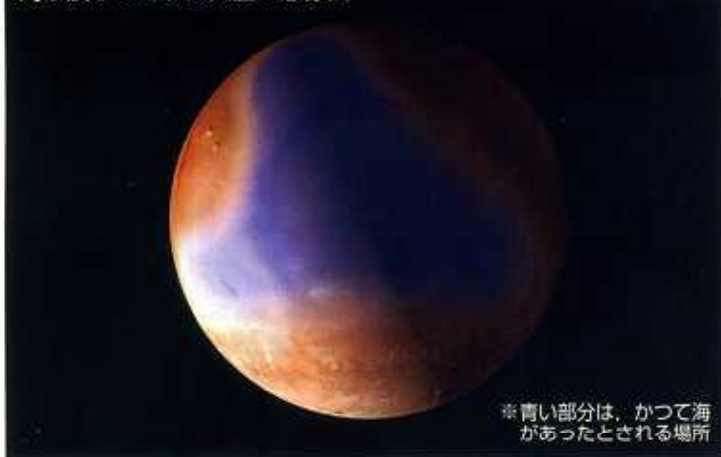
かつて火星に広大な海があったことの新たな証拠が得られた。

● *ESA news* 2012年2月6日

海岸線のような地形があることなどから、かつて火星には海があったと考えられている。

今回、ヨーロッパとアメリカの国際研究チームは、ESA（ヨーロッパ宇宙機関）の探査機「マーズ・エクスプレス」に搭載されたレーダーの観測データを解析した。その結果、海岸線のような地形の内側の地中には、低密度の物質から

海が広がっていた火星の想像図



火星はその名に似つかかわしくなく、かつては水の惑星だったようだ。

なる地層が広がっていることがわかった。これは水を多く含む堆積層と考えられ、ここに海が広がっていたことを示唆する。

さらに、堆積物から、温暖だった40億年前のみならず、30億年前にも海があったこともわかった。30億年前の海は火星の地熱活動により地底の水が一時的にとけ、その水が標高の低い部分に集まってできたものだ。この海は100万年ほどでなくなったという。

地中を探るレーダーにより、かつて火星に海があったことの新たな証拠が得られた。しかし、大量の海水がどこへ行ったのかというなぞは残される。

暗黒流動はなかった？

超新星を用い、多数の銀河団が一方向へ動く、原因不明の現象が再検証された。

● *イギリス王立天文学会誌*
2012年2月号

地球から約40億光年以内の1000個以上もの銀河団が、ケンタウルス座の方向に、秒速1000キロメートルで動いているという研究結果が発表されている。これは、WMAPという天文観測衛星で得られた、宇宙背景放射（電磁波の一種）のデータなどから推定されたものだ。この均一な移動は現在

のビッグバン理論では説明できないため、「暗黒流動」とよばれている。この流動は観測可能な宇宙の外にある物質の重力の影響だとする説があり、論争がつづいている。カナダ、ウォータールー大学のターンブル博士らは、距離が精度よく推定できる「Ia型超新星」に注目した。そして約2.4億光年以内の245個のIa型超新星のデータを分析した。その結果、均一な運動が検出されたが、その速度は秒速250キロメートルと小さく、ビッグバン理論で説明できる範囲内だという。

博士らは、研究をつづけ、精度をあげたいとのべている。

睡眠で固定される感情

トラウマのようなネガティブな記憶は、睡眠中に定着することがわかった。

● *Journal of Neuroscience*
2012年1月18日号

睡眠は、学習記憶の定着に重要な役割を果たしている。しかし、恐怖や喜びといった感情にかかわる記憶の定着も、睡眠と深い関係にあるかどうかは不明だった。

アメリカ、マサチューセッツ工科大学のバラン博士らは、睡眠を取ることで感情にかかわる記憶が強まり、ネガティブな感情を強く

示しやすくなることを解明した。博士らはまず、被験者にさまざまな写真を見せ、どのような感情が生じるかを調べた。その後、被験者を二つの組に分け、一方の組には睡眠を取らせ、もう一方の組は起きたままにさせた。12時間後、同じ写真をふたたび見せた結果、起きたままのグループは、ネガティブな感情を引き起こす写真に対してあまり強く反応しなかった一方で、睡眠を取ったグループは強く反応したという。

博士らは、睡眠を適切に制限することで、トラウマや、それによっておきるストレス障害を軽減できるかもしれない、と考えている。

宇宙の磁場を再現

銀河にある磁場がどのように現在の強度に達したのか、実験室で検証された。

● nature 2012年1月26日号

銀河には磁場が存在しており、銀河の構造などに影響をおよぼしている。この磁場はいかにして形成されたのだろうか？

原始銀河に超音速でガスが落ちこむと、衝撃波が形成され、場所によって圧力や温度の差が生まれる。すると、電気をおびた粒子が運動して電流が生じ、磁場ができる。それが乱流などで増幅され、

現在観測される強度にまで成長したというのが、標準的な考え方だ。

イギリス、オックスフォード大学のグレゴリー博士らは、原始銀河で生じる衝撃波に見た現象を、近年開発された高出力レーザーを使って再現した。そして、どれほどの磁場が生成されるかを測定した。その結果、実験で生じた磁場の強度を宇宙の規模にあてはめると、約7億年間、乱流で磁場が増幅されれば、現在観測される銀河磁場の強度に達することがわかった。

この実験は、従来の銀河磁場形成モデルと矛盾しないものだ、と博士らはのべている。

強風仕様のアホウドリ

乱気流に耐えるために、アホウドリは体重を増加させているようだ。

● Science 2011年1月30日号

アホウドリなどの海鳥は風を利用し、繁殖地と採餌地との間を移動する。最近、南極海では気候変動の影響で、風速が増していた。

フランス、シゼ生物学研究センターのバイメルクスキ博士らは、南極海のクロゼ諸島に生息するアホウドリの調査を行った。その結果、アホウドリの数がここ40年間で約15%も増加していること

を発見した。この原因は、強風によりアホウドリの飛行速度が増し、採餌のための移動時間が短縮され、繁殖成功率が上がったためだと考えられている。さらに、アホウドリの成鳥の体重は元々は約9キログラムだが、平均で約1キログラム増えていた。この増加は、乱気流の影響に耐える効果があるのではないかと推測されている。

今後、この海域ではより強風になるという。アホウドリはこの風に対処できなくなるため、採餌地への飛行が困難になる。海鳥の繁殖を考えると、生息域周辺の風の分布とその変化を考慮すべきだ、と博士らはのべている。

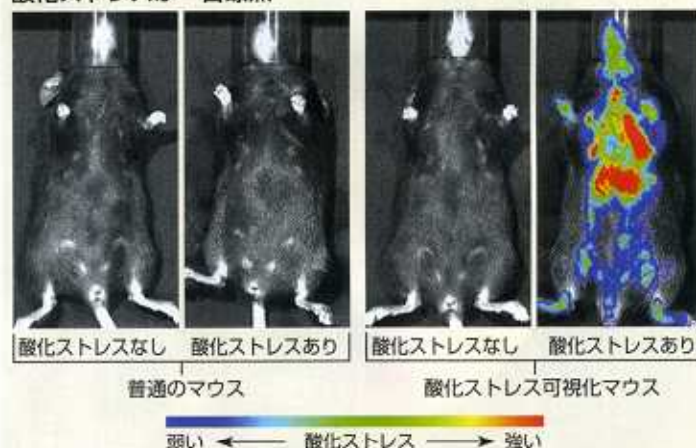
活性酸素を見る

病気の原因になる酸化ストレスを、体内で直接可視化するしくみが開発された。

● Scientific Reports
2012年1月19日号

細胞がエネルギーをつくりだすとき、細胞内に「活性酸素」が発生する。この活性酸素は、老化やがん、生活習慣病などにかかわっており、「酸化ストレス」とよばれる。酸化ストレスと病気との関係についての研究は、マウスなどを用いて行われてきた。しかし、動物の体内で酸化ストレスを直接計

酸化ストレスが一目瞭然



このマウスを使うことで、酸化ストレスが原因の病気の解明が進むと期待される。

測することはできなかった。

群馬大学の及川大輔博士らは、発光タンパク質である「ルシフェラーゼ」を利用し、酸化ストレスを可視化するしくみを開発した。これは、酸化ストレスに応じてルシフェラーゼがつくりだされるしくみと、酸化ストレスによってルシフェラーゼが分解されにくくなるしくみの、二段階構成となっている。このしくみを組みこんだ遺伝子改変マウスは、紫外線などの酸化ストレスを受けた部位が長時間光ることが確認された。

今回の研究によって、酸化ストレスがかかわる病気の解明が進むだろう、と博士らは考えている。

月の磁場はいつ消えた？

アポロが持ち帰った石の解析で、37億年前に月に磁場があったことがわかった。

● Science 2012年1月30日号

地球とことなり、現在、月には磁場がない。しかし、岩石に残された証拠から、月の形成直後(約42億年前)には月にも磁場があったとされる。この磁場は、月の中心部で金属の核が対流することによって形成されたと考えられている。形成直後の月の内部には大量の熱がたくわえられており、その熱が対流の駆動力となっていた

のだ。その後、冷却にともない対流が止まり月は磁場を失ったとされるが、その時期は不明だ。

アメリカ、マサチューセッツ工科大学のシェア大学院生らのグループは、アポロ11号が持ち帰った月の岩石を分析した。その結果、37億年前の月は、現在の地球の4分の1かそれ以上の強さの磁場をもっていたことがわかった。

これまでの月の冷却モデルでは、月がこれほど長く磁場を維持していたことを説明できない。そのため、月の冷却モデルか磁場形成モデルかのどちらかを見直さなければならない、と大学院生らはのべている。

再生医療ついに実現へ

網膜細胞をつくりだし、失明につながる病気の患者へ移植する試験が開始した。

● Lancet 2012年1月24日号

さまざまな細胞に変化できる「ES細胞」を再生医療に利用しようという試みがつづけられている。しかし、ES細胞が体の中でがん化したり、患者が拒絶反応をおこしたりするなど、実際の治療で成功した例はこれまでなかった。

眼の奥にある網膜の異常が原因となり、失明につながる主要な疾患として、「シユタルガルト病」や、

「加齢黄斑変性症」などがある。しかし、これらの疾患に現在、有効な治療法はない。アメリカ、アドバンスト・セル・テクノロジー社のランザ博士らは、ヒトES細胞を試験管内で網膜細胞に変化させ、これらの患者の網膜下に移植した。移植された網膜細胞は、異常な増殖や拒絶反応をおこさなかった。さらに、移植による視力の回復も認められたという。

これまで、ES細胞についての基礎的な研究は多く行われてきたが、臨床応用にはまだ結びついていなかった。今回の結果は、ES細胞を用いた治療の実現につながるだろう、と博士らはのべている。

暗黒物質にせまる

重力レンズの解析によって、暗黒物質の分布を詳細に推定することができた。

●イギリス王立天文学会誌
2012年3月号

宇宙には「暗黒物質」とよばれるなぞの物質が満ちている。その分布を調べることで、暗黒物質の特性を推定することができる。

東京大学数物連携宇宙研究機構の大栗真宗博士らは、暗黒物質を含む銀河団がひきおこす「重力レンズ効果」を利用し、銀河団内の暗黒物質の分布を推定した。重力

解析された銀河団の一つ（すばる望遠鏡で撮影）



重力レンズ効果によって、光ではみえない暗黒物質の分布を知ることができる。

レンズ効果とは、強い重力源によって、さらに遠方の天体からとどく光の像がゆがめられる現象だ。博士らは、すばる望遠鏡などで28個の銀河団を観測した。そして、わずかなゆがみも含めた、広い領域にわたる重力レンズ効果を解析し、暗黒物質の分布を推定した。その結果は、暗黒物質が、低速で運動する「冷たい」タイプのものだとするモデルで説明できたという。さらに暗黒物質は、大きくゆがんだ扁平な形に分布していることもわかった。

博士らはこのような観測をつづけ、暗黒物質の正体にせまりたい、とのべている。

貝の構造をまねる

補強剤となる微粒子を自在に並べ、複合材料をつくる技術が開発された。

●Science 2012年1月13日号

貝殻、歯、骨などの構造は、微粒子が3次元的に精巧に整列しており、これが効果的な補強剤となっている。人工的にも、繊維や微粒子（柱状や板状のもの）を素材にまぜて強度を高めた「複合材料」がつくられている。だが繊維をまぜたものは繊維間ではがれやすく、粒子をまぜたものも向きが制御できず、効果的な補強が実現し

ていなかった。微粒子を自在に並べられれば、ちょうつがいの穴のような、負荷がかかる特定部位の強化も容易になる。

スイス連邦工科大学のエルブ博士らは、磁性微粒子を使って精巧な複合材料をつくる方法を開発した。博士らは、柱状や板状のナノ粒子を酸化鉄でおおった。磁場をかけることで、このナノ粒子は、樹脂素材の縁や穴の周囲に、向きをそろえて並べることができる。

今回の手法は、補強だけでなく形状記憶などの機能を、さまざまな構造体の特定部分にほどこすことができるものだ、と博士らはのべている。

知能は遺伝？ 環境？

人の知能の維持には、環境だけでなく、遺伝子も重要であることが証明された。

●nature 2012年1月18日号

人の知能には、遺伝と生活環境と、どちらのほうが大きくかわっているのだろうか。

イギリス、エディンバラ大学のディアリー博士らは、60年前に知能検査を行った人（当時約11歳）に対して再度テストを行い、その結果を比較する調査を行った。調査対象は約2000人だ。さらに、知能と遺伝子が関係するか

を調べるため、約60万個の遺伝子について、そのはたらきぐあいのちがいを参加者どうしで比較した。この実験により、遺伝が知能にあたえる影響と環境が知能にあたえる影響とを区別できる。

その結果、子供のころ知能の向上にかかわる遺伝子は、大人になってもはたらき、知能の維持に関与することがわかった。こうした遺伝子の影響は、知能の変化のうち、約4分の1に関係するという。

今回はじめて、年をとっても知能を保つためには生活環境だけでなく、遺伝子のはたらきも必要だということがわかった、と博士らはのべている。

時間を切り取る技

特殊なレンズを使うことで、光にすき間をつくることに成功した。

●nature 2012年1月5日号

暗闇の中で光源と観測者が向かい合っている状況を考えよう。この間を仮にボールが通過すると、ボールに光があたって反射し、その反射光が目には届くことでボールの通過を知ることができる。

アメリカ、コーネル大学のフリードマン博士らは、光を一時的に「引きちぎる」ことで、ある時間がまるでなかったかのように見える



※nature 2012年1月5日号35ページの図をもとに作成

仮にサッカーボールが通過しても、観測者にはわからない。

技術を開発した（イラスト参照）。博士らは、同じ波長のレーザー光を特殊なレンズに通すことで、波長を刻々とかえ、さらに光ファイバーに通すことで、波長ごとに光の速度をかえ、光にすき間をつくった。その後、逆の機能をもたせた光ファイバー、レンズを通すことで、光をふたたび元に戻した。すると観測器では、とぎれることなく元の光が検出された。このとき、仮に途中でできたすき間をボールが通過したとしてもその存在に気づくことはできない。

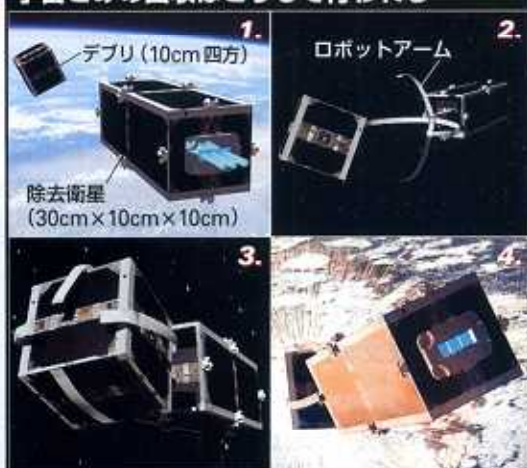
この手法は、ある時間内の現象をかくす技術に応用できるかもしれない、と博士らはのべている。

宇宙のお掃除プロジェクト開始

宇宙開発の脅威となる「宇宙ごみ」を 除去する衛星の開発がスタートした

2012年1月15日、ロシアの火星探査機が大気圏に再突入し、その破片が地球に降り注いだ。地球の周回軌道上に数多く存在するこのような“ごみ”は、今後、宇宙観測やロケットの打ち上げに重大な影響をあたえるという。この問題を解決すべく、スイス、ローザンヌ工科大学は、「宇宙ごみ除去衛星」の開発に着手した。

宇宙ごみの回収はこうして行われる



スイス、ローザンヌ工科大学によって開発されているデブリ除去衛星が、デブリを除去するまでの流れを上に表示した。1. デブリとぶつからないように、距離をはかりながら近づく。2. デブリと並行飛行し、アームを広げる。3. デブリをつかまえ、デブリの動きをとめる。4. デブリを保持したまま、大気圏に再突入し、燃えつきる。

運用を終えた衛星や、事故により飛散したロケットの破片など、地球の周回軌道上をまわりつづける“ごみ”を、「スペースデブリ（以下、デブリ）」とよぶ。

現在、宇宙空間をただようデブリは、確認されているだけで約1万6000個におよぶ。さらに、地上からはとらえられない、数ミリメートル未満しかない小さなデブリは、数千万個以上も存在していると考えられている。

このたび、スイス、ローザンヌ工科大学は、このデブリを除去する衛星の開発に着手する、と発表した。開発計画によれば、3～5年後の実用化をめざしており、もし開発に成功すれば、世界初のデブリ除去衛星になるという。

デブリのせいで宇宙開発がストップ？

なぜデブリを除去する必要があるのだろうか？

デブリは、秒速3～8キロメートルという非常に速い速度で地球を周回している。そのため、わずか1センチメートルほどしかない小さなデブリであっても、人工衛星に衝突すれば、その機能を停止させるほどの大きな破壊力

をもつ。つまり、デブリの増加はすなわち、宇宙開発の脅威なのだ。

NASA（アメリカ航空宇宙局）の見積もりによると、なんと今すぐすべての宇宙開発をやめたとしても、デブリの数は増加の一途をたどるといふ。それは、現在すでに宇宙にあるデブリどうしが衝突・破壊されることで、連鎖的に新しいデブリがふえるためである。

つまり、これからも宇宙開発をつづけていくためには、現状を維持するのではなく、積極的にデブリを除去する必要があるのだ。

困難をきわめるデブリ除去ミッション

今回のデブリ除去計画によると、開発される衛星は、右上のイラストのようにまずデブリに近づき、アームを使いデブリを捕獲するという。そしてデブリをつかまえたまま、大気圏に再突入し、自身もろとも燃えつきる算段だ。

こう書くと、いとも簡単そうに思える。しかし、デブリ除去に欠かせないJAXA（宇宙航空研究開発機構）末踏技術研究センターの木部勢至朗センター長は、デブリ除去のむずかしさについ

て次のように話す。

「デブリ除去とは、数百キロメートル上空を飛びまわる、速度も姿勢もコントロールされていない弾丸に接近し、捕獲するようなものです。どれほど困難か、容易に想像できるでしょう。さらに、もしデブリを捕獲できたとしても、正確にデブリを大気圏に再突入させるためには、技術的にクリアしなければならない課題が多く存在します」。

JAXAでもデブリ除去衛星の開発は進んでおり、今回の計画と同様、数年後には、試験衛星を打ち上げる予定だ。

今後も持続的な宇宙開発を行うためには、デブリ除去は一刻を争う問題である。今回の計画では、一つの衛星で小さなデブリを一つしか除去できない。しかし、一つの衛星で大きなデブリをたくさん除去する、というデブリ除去衛星の最終目標に向けて、確実な一歩となるだろう。

（担当：編集部 宮内 諭）

協力

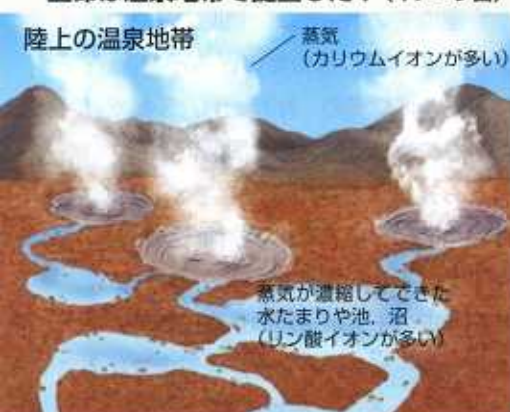
木部勢至朗 宇宙航空研究開発機構
末踏技術研究センター長

生命の誕生は、海ではないかも？

原始生命は、陸上の温泉地帯で誕生した可能性も

地球上の生命は、いったいどこで誕生したのだろうか。最近、海を起源とする説が有力だ。しかし、ムルキジャン博士らによると、細胞中のイオン成分の割合からすると、原始の海で生命が誕生したとは考えにくいという。原始生命は、温泉地帯の蒸気が濃縮されてできた水たまりや浅い池、沼などで誕生したのかもしれない。

生命は温泉地帯で誕生した？（イメージ図）



核酸の合成に必要な要素

要素	温泉地帯	海
リン	存在している	存在している
材料の濃縮	しやすい	しにくい
反応のきっかけ	紫外線	熱水

今回の着眼点

着眼点	温泉地帯	海	生命
Na ⁺ とくらべたK ⁺ の量	多いところも	少ない	多い

核酸の合成に必要な要素と今回の着眼点を示した。今回の発表によると、原始生命は温泉地帯の蒸気が濃縮されてできた池などで誕生したと考えられるという。蒸気にはカリウムイオンが多く、池にはリン酸イオンが多い。

原始生命は、以下のものからなると考えられている。それは、「設計図」の役割をになう核酸（RNAやDNA）、核酸を複製する「装置」であるタンパク質あるいはRNA、そして、それらを囲う「しきり」である脂質などの膜である。これらが自然にできる環境で、生命が誕生したと考えられている。

海は、生命の誕生には不都合？

生命の誕生した場所として、暖かい池、浅い海などの諸説が考えられている。とりわけ、最近、海底の熱水噴出地帯で生命が誕生したという説が有力だ。しかし、この説にも問題はある。

ドイツ、オスナブリュック大学のアルメン・ムルキジャン博士らによれば、原始の海のイオン成分は、現在と同様にカリウムイオン（K⁺）よりもナトリウムイオン（Na⁺）の方が濃度が高かったという。しかし、現生の生物の細胞内のイオン成分は、Na⁺よりもK⁺の方が濃度が高い。「原始生命の細胞と現生生物の細胞の中の化学組成は同じ」と仮定し、原始の海で生命が誕生したとすると、細胞内ではK⁺よりNa⁺の方が高くなるはずである。海のイオン成分と細胞内の成分の割合がちがう点に関して、不思議に思う研究者もいた。そして、今回、ムルキジャン博士らは、この矛盾を解決する新しい説を「アメリカ科学アカデミー紀要」電子版（2012年2月13日付け）で発表した。

温泉地帯は、生命の誕生にぴったり！？

ムルキジャン博士らは、カムチャツカ半島などの温泉地帯の温泉水とその蒸気を測定し、イオン成分を調べた。すると、蒸気中ではNa⁺よりもK⁺の濃度の方が高いところがあった。

また、現生生物のゲノム（全遺伝情報）の解析の結果、共通する生命の祖先は、K⁺に加え、亜鉛イオン、マンガンイオ

ンを利用していたこともわかった。これらのイオンは、海水中に少なく、温泉地帯に多い特徴がある。また、核酸の材料であるリン酸イオン（PO₄³⁻）も温泉地帯の水たまりなどで高濃度で存在できる。まさに、生命の誕生する環境がととのえられているのだ。

これらの結果から、生命の誕生は原始の海ではなく、温泉地帯の蒸気が濃縮してできた水たまりや浅い池などである可能性が示された。

海と陸での生命誕生の問題点と利点

生命の起源が海であるという説には、もう一つ問題点があった。生命の誕生には核酸の合成に必要なPO₄³⁻などが高い濃度で存在する必要があると考えられている。しかし、海では拡散してしまうため、高い濃度では存在しにくい。それに対して、温泉地帯では、PO₄³⁻が濃縮された状態で存在しうる。

一方、陸上の説にも問題点がある。陸上では有害な紫外線が今より強く降りそそいでいたと考えられる。ムルキジャン博士らは、紫外線を吸収する性質をもつ硫化亜鉛の利用で、その害を防げたはず、と説明する。

生命の起源に詳しい東京薬科大学の山岸明彦教授は、「生命の誕生で一番の問題は、核酸を合成することです。そのために、PO₄³⁻や生命の起源物質の濃縮が必要です。温泉地帯では、これらの要素がみたまされることになります。紫外線は本来、有害ですが、陸上で核酸の合成に利用したのではないかとこの報告があります」と話す。

今回の報告により、陸で生命が誕生したという説が補強されることになりそうだ。

（担当：編集部 浅見智子・市田朝子）

協力

山岸明彦 東京薬科大学生命科学部教授

手のひらにN極だけの磁石を

N極だけ、S極だけの粒子、 「モノポール」をつくる方法が提案された

磁石はどこまで小さく割っていても、かならずN極とS極がペアになって存在している。N極だけ、S極だけを取り出すことは通常はできない。しかし、実は特殊な条件がそろえば、N極だけ、S極だけで自由に動く「モノポール」が出現するという。このたび、モノポールを物質中で実現する方法が計算でみちびかれた。

鉄芯にコイルを巻いて電気を流すと、鉄芯の両端にN極とS極があらわれ、電磁石になる。逆にコイルの中で棒磁石を動かすと、コイルに電流が流れる。このように電気と磁気は深く結びついており、よく似た性質をもっている。

ただし、電気と磁気では大きくことなる点がある。電気の場合、マイナスの電気をおびた電子や、プラスの電気をおびたイオンなどがそれぞれ自由に動きまわる。一方、磁気の場合、N極とS極がかならず一組になっていて、分けることができないとされているのだ。しかし電気と磁気の性質がよく似ているのなら、N極だけ、S極だけをもち、自由に動きまわる「単極の磁気粒子（モノポール）」も存在するのではないだろうか？

宇宙の誕生直後、宇宙空間の膨張にともない、モノポールができたとする理論的な予測はある。しかし、このモノポールはいまだ見つかっていない。

磁石と白金の間にモノポールがあらわれる！？

実は、モノポールは物質中にもあらわれる可能性があるという。首都大学

東京の多々良源准教授、日本学術振興会の竹内祥人特別研究員PDらのグループは、白金と磁石を重ねると、その境目でモノポールが出現しうることとを理論的にみちびき、2月27日に日本物理学会論文誌(JPSJ)電子版で発表した。

これまでも、物質の内部でモノポールをつくる方法は考案されていた。しかし、非常に特殊な構造が必要なため、事実上、実現不可能だったという。

今回の成果は、2006年に報告された「スピン（後述）の流れ」によるとされる現象を、「モノポールの流れ」と考えた方が理にかなうことを指摘したのもである。物質中のモノポールの実現に向けてはずみがつきそうな成果だ。

では、モノポールはどのようにしてつくられるのだろうか？

白金のような金属は、無数の原子でできており、その間を電子が自由に動きまわっている。電子は、小さな磁石としての性質（スピン）をもつ。永久磁石が磁力をもつのも、内部に「極小の磁石」としての電子が無数にあるためだ。

多々良准教授らによれば、磁石と白金を組み合わせた構造で磁石の方向を

モノポールとは何か？



棒磁石ではN極からでた磁力線はS極に戻る。N極モノポールでは磁力線は周囲に出ていく一方だ。なお棒磁石を折っても断面にN極S極ができるだけで、モノポールにはならない。

どのように生じるのか？



宇宙が誕生した直後、空間の急膨張により空間の状態が変化し（対称性の破れ）、モノポールができたと考えられている。

磁石と白金を用いて、本来は自由な、電子の微小磁石（スピン）の運動を制限し（対称性の破れ）、同時に首振り運動させると、モノポールが生じるという。

ゆすると、電子のスピンが磁石と白金原子の影響を受け（スピン軌道相互作用）、特殊な首振り運動（歳差運動）をはじめ。このときスピンの複合構造としてモノポールがあらわれるという。

初期宇宙のモノポールとの共通点

今回のモノポールは、初期宇宙でのモノポールと同じものなのだろうか。「モノポールに特有の、N極だけ、S極だけのときに生じる磁力線を周囲にともないながら運動する点では同じです。また、空間やスピンの“変化”（対称性の破れ）からできる点も共通です。ことなる点は、初期宇宙のモノポールの生成には莫大なエネルギーが必要ですが、物質中では人間でもつくることができることですね」（多々良准教授）。

今後、多々良准教授らは、実際にモノポールを観測することをめざしているという。続報を期待したい。

（担当：編集部 市田朝子）

協力

多々良 源 首都大学東京 都市教養学部准教授
竹内 祥人 日本学術振興会特別研究員PD

ヒトからヒトも？ 議論 よぶ鳥インフルエンザ

哺乳類どうして空気感染する 「H5N1ウイルス」が誕生した

2011年12月、ある二つの科学論文の公表に待ったがかかった。致死率の高さで知られる「H5N1鳥インフルエンザウイルス」が実験の過程で変異し、哺乳類で空気感染するようになったものがみつかった、との論文である。この成果は、長らく懸念されてきたH5N1ウイルスのヒトでの感染拡大を予防するためにいかせると考えられる。その公表がなぜ、ひかえられたのだろうか？

「H5N1ウイルス」は、1997年に鳥類からヒトへの感染がはじめて確認された、インフルエンザウイルスの一つである。ヒトでの致死率は約60%（2012年3月現在、594件中349件）と高い。ヒトからヒトへの感染は確認されていないものの、いつヒトで大流行してもおかしくないとみられている。

このたび、東京大学医科学研究所の河岡義裕教授の研究チームと、オランダ、エラスムス医療センターのロン・フーシェ教授の研究チームがそれぞれ行った実験の過程で、哺乳類のフェレットどうして空気感染するH5N1ウイルスが誕生した。飼育ケージをはなしていても、感染が広がったという。

哺乳類どうして濃厚な接触なしにH5N1ウイルスが感染することが確認されたのは、はじめてだ。河岡教授らはイギリスの科学誌「nature」に、フーシェ教授らはアメリカの科学誌「Science」に、それぞれ論文を投稿した。

どんなウイルスがどうやって誕生した？

今回のH5N1ウイルスはどんな特徴をもつのだろうか？ このウイルスの表面には、感染にかかわるタンパク質分子が突きでている。それらが「ヘマグルチニン（H5タイプ）」と「ノイラミニダーゼ（N1タイプ）」である。ヘマグルチニンとノイラミニダーゼは、構造のちがいが少なくともH1～H16の16タイプと、N1～N9の9タイプに分けられる。HとNの組み合わせ（亜型）で、インフルエンザウイルスは分類できる。

実は同じ亜型でも少しずつちがいがあ。ウイルスが細胞に感染してふえるとき、ウイルスの遺伝情報は変化する（変異する）ことがあるのだ。すると、遺伝情報をもとにつくられるタンパク質分子の構造も変化する。とくに、細胞表面の分子に結合して感染の足がかりとなるヘマグルチニンが変化すると、感染のしや

すさがかわると考えられている。

河岡教授らは、ヒトで2009年に大流行した「H1N1ウイルス」のヘマグルチニンをH5N1ウイルスのものにおきかえる実験を行った。その過程で、フェレット間で空気感染する変異ウイルスがみつかったのだ。一方、フーシェ教授らは、H5N1ウイルスをフェレット間でくりかえし感染させて、変異ウイルスを得た。

これらのウイルスは、同じ哺乳類のヒト間でも感染しうる。また「テロなどに悪用されるおそれがある」とも指摘され、アメリカ政府の委員会が、実験の詳細は公表しないように勧告したのである。

今回の変異はすでに自然界にみられる

一方、河岡教授は今回の成果について「H5N1ウイルスは哺乳類間では感染できないのではないかと、この見方を私試したことが最も重要です。加えて、空気感染にかかわる新たな過程やしきみがあることも示唆されました」と語る。

また、フェレット間で空気感染するようになった原因の変異も特定しており、その一部は、H5N1ウイルス感染者や鳥類からみつかった変異と同じなのだという。今回の成果をふまえてワクチンを準備すれば、感染拡大にそなえられる。

2012年2月16～17日には、世界保健機関（WHO）の会合が開かれた。会合後WHOは、ウイルス実験施設での管理体制などについて議論が必要としながらも、公衆衛生の観点から二つの論文を全文公開すべきと発表した。

2012年3月13日現在、論文は未公表だ。有益性と危険性のかね合いを、だれがどうやって判断するのが問われている。今後の動向を注視したい。

（担当：編集部 松田壮一郎）

協力

河岡義裕 東京大学医科学研究所教授



世界最小の新種カメレオン

マッチの上にのるカメレオン、
爬虫類としても世界最小

協力 疋田 努

京都大学大学院理学研究科教授

ドイツ、バイエルン州立動物学博物館のフランク・グロー博士らは、インド洋の西部にあるマダガスカル島で、世界最小の新種のカメレオンを発見した。このほかにも新種のカメレオンが3種見つかった。これらの中で最も小さい種が、ミクロヒメカメレオン (*Brookesia micra*) だ。メスの成体の全長が、3センチメートルにもみない約28.8ミリメートルで、爬虫類としても世界最小という。普通のカメレオンは、20～30センチメートルの大きさのことが多い。このことから、この種がきわめて小さいことがわかる。

今回発見されたカメレオンは小さいことで有名なミニマヒメカメレオンのグループに属し、マダガスカル島の北部や離島の人里はなれた熱帯林に生息していた。どれも見た目がそっくりなため、遺伝子解析により、別々の種であることが確認され、アメリカの科学雑誌「PLoS ONE」電子版(2012年2月14日付け)に掲載された。

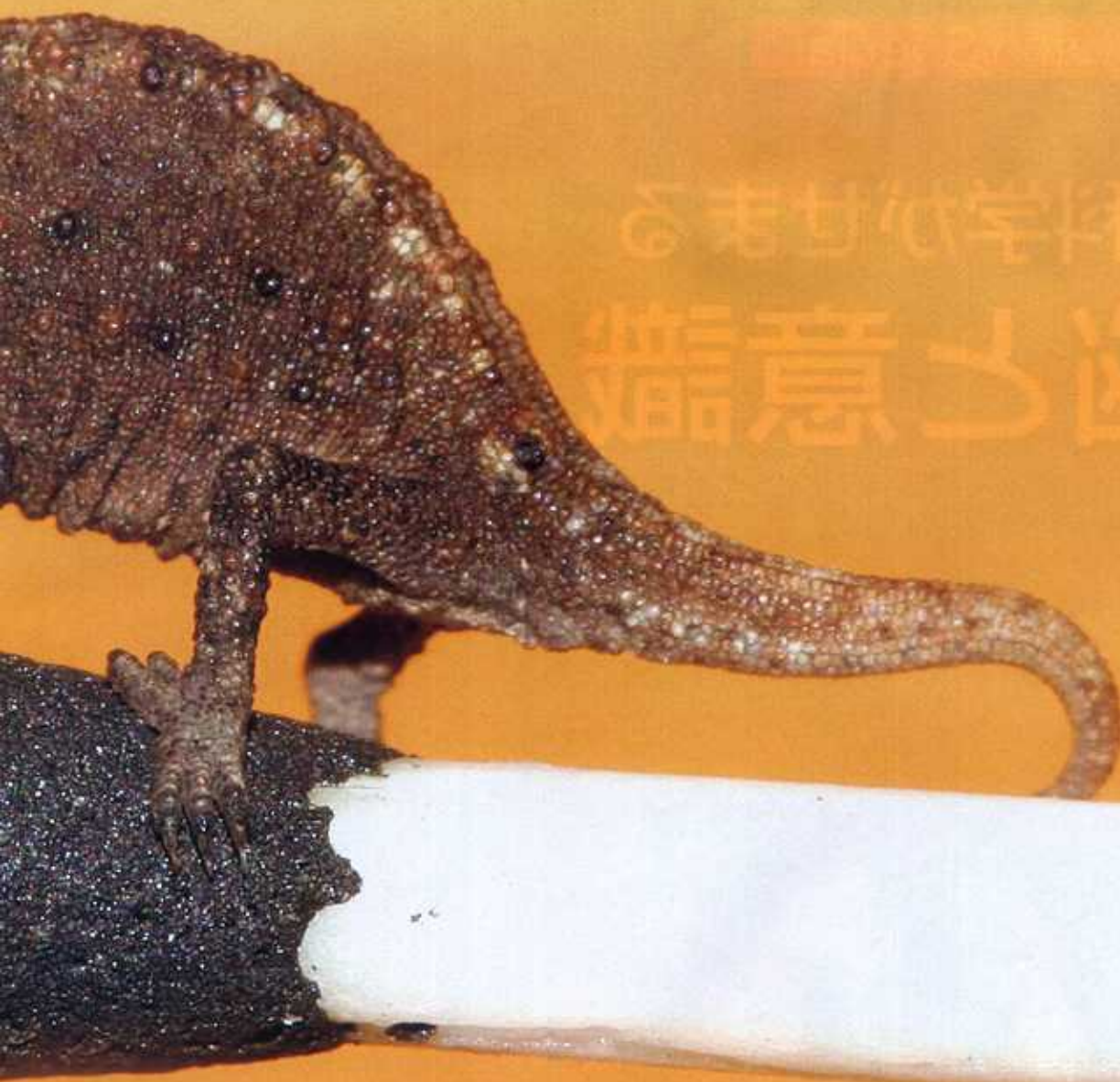
爬虫類に詳しい京都大学大学院理学研究科の疋田努教授は、「これらの種がほかの種とくらべて小型化した原因は、ダニやトビムシなどの微小な動物を食べるためでしょう。この大きさは、爬虫類が小さくなることのできる限界に近いと考えられます」と話す。

(担当：編集部 浅見智子)



世界最小のミクロヒメカメレオン

写真は、新種のミクロヒメカメレオンのオスの幼体(子ども)である。全長約15ミリメートルとマッチ棒の先ほどの大きさしかない。最小の種を決めるときは、その種の最大の成体の大きさを比較することになっている。この種ではメスの成体が最も大きく、全長(鼻先から尾の先までの長さ)は、約28.8ミリメートルだった。発見された残りの3種の大きさは、全長約30～48ミリメートルであった。ちなみに、これまでの世界最小の爬虫類は、1965年バージン諸島で見つかった「バージンイシヤモリ (*Sphaerodactylus parthenopion*)」、2001年カリブ海の小さな島で見つかった「ジャグライシヤモリ (*Sphaerodactylus ariasae*)」である。全長は30ミリメートルをこえる程度である。頭胴長(鼻先から肛門までの長さ)では、これらのヤモリの方が最小になる(16～18ミリメートル)。ミニマヒメカメレオンのグループの特徴は、ほかの多くのカメレオンで見られるような体の色をかえることはしないことだ。このカメレオンは、昼間は林床の落ち葉の上を歩き、1ミリメートル以下の小さな生き物を食べている。落ち葉の上で生活するため、色が茶褐色のまま変化しない。



ミクロヒメカメレオン 驚きの意匠

実物大のミクロヒメカメレオンの幼体と成体



15ミリメートル



23ミリメートル

- ・幼体（オス：左）は、全長で約15ミリメートル、頭胴長で約10ミリメートルの大きさだ。
- ・成体（オス：右）は、全長で22.5～23.6ミリメートル、頭胴長で15.3～15.8ミリメートルの大きさだ。メスは、全長で26.9～28.8ミリメートル、頭胴長で18.7～19.9ミリメートルの大きさである。メスの体はオスよりも大きい。

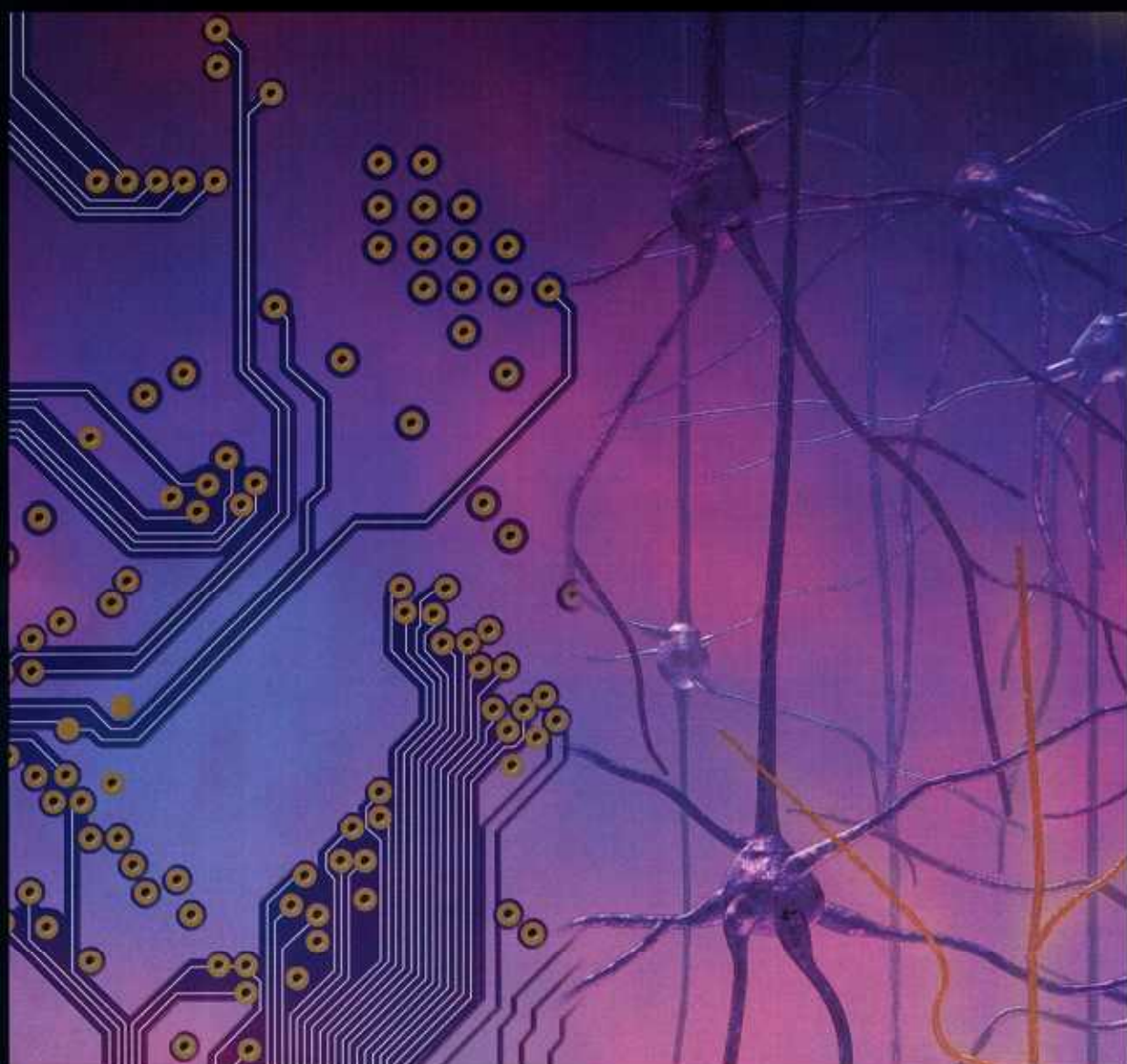
ミニマヒメカメレオンのグループの新種アンブレモリヒメカメレオン



今回見つかったミクロヒメカメレオンに最も近縁な2種のうちの1つ、アンブレモリヒメカメレオン (*Brookesia desperata*) が真正面を向いている。マダガスカル本島の北部に生息している。成体の全長は、オスで39.7～42.9ミリメートル、メスで43.3～47.6ミリメートルだ。ミクロヒメカメレオンよりも10ミリメートルほど大きい。

Newton Special

脳科学がせまる 脳と意識



現代科学が挑む、究極にして最大のフロンティア

「意識」とは何だろうか。

あなたは今、目が覚めて意識がある。眠っているときとおきているときで何が違うのだろうか。あるいは、集中して作業しているときには周囲の雑音が耳に入らない。いや、耳には入っているはずなのに、意識にはのぼらない。これも不思議なことだ。さらに不思議なこともある。脳という「物質のかたまり」から、どのようにして意識が生みだされているのだろうか。

人類は、古代から意識について関心をよせてきた。ところが、意識とは、各個人の主観的な“心の中の現象”である。このため意識を科学として客観的に分析することは、非常にむずかしい。しかしだからこそ、意識は現代科学に残された「フロンティア」として、より多くの関心を集めるようになりつつある。

脳科学者たちは、いかにして意識という巨大な壁に立ち向かおうとしているのだろうか。今月号のNewton Specialは、脳科学の立場から、意識研究の最前線にせまっていく。

協力

伊佐 正 生理学研究所認知行動発達機構研究部門教授
片山容一 日本大学大学院医学研究科教授
北澤 茂 大阪大学大学院生命機能研究科教授
國吉康夫 東京大学大学院情報理工学系研究科教授

櫻井 武 金沢大学医薬保健研究域医学系教授
下條信輔 カリフォルニア工科大学生物学部教授
林 隆介 産業技術総合研究所システム脳科学研究グループ研究員
吉田正俊 生理学研究所認知行動発達機構研究部門助教

「意識」 ——この実に興味深いもの

誰もが、自分自身に意識があることを知っている。そして自分の意識のことは、自分でよくわかっていると思っている。

しかし本当にそうだろうか。たとえば、あなたは今、『ニュートン』を読んでいる（つまり意識がある）。ここで誌面から目をはなすと、さっきまで気にならなかった周囲の雑音が耳に入ってくるだろう。雑音はずっと流れていたはずなのに、誌面に集中している間、雑音のことはあなたの頭にまったく思い浮かばなかった。いったいあなたの意識は、その間、何をしていたのだろうか。

意識とは何だろう？

意識についての著作も多いカリフォルニア工科大学の下條信輔教授は、次のように語る。「そもそも意識というものは、その定義さえ明確には定まっています。また、何を解明すれば意識を解明したといえるのか、研究者の間での合意もありません。これが、意識の研究をむずかしくしている原因の一つといえます。それぞれの研究者が、それぞれの立場から意識というものをとらえ、別々のやり方で研究を進めているわけです」。

たとえば冒頭で挙げた例は、「意識」というもののとらえ方として、「意識がある（目が覚めている）」という側面と、「意識を向ける（気づいている）」という側面についてのべたものだ。

あるいは、「無意識」という観点から意識について語ることもできる。これは下條教授も取り組んでいるアプローチの方法だ。「無意識というものを研究することで、意識というものを外堀から埋めていこうというわけです」（下條教授）。

今回の特集では、このようなさまざまなアプローチにもとづいた研究成果を紹介していくことで、意識研究の最前線の姿を浮き彫りにしていこう。

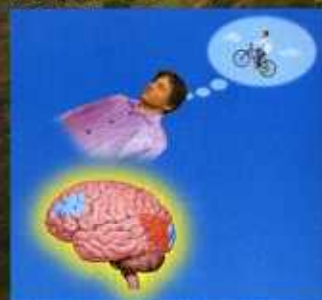
「意識」へのアプローチはさまざま

意識の研究を登山にみたてた。頂上である「意識の解明」へとたどりつくためには、さまざまなアプローチの方法（登山ルート）がある。今回の記事で紹介する、さまざまな「ルート」をイラストで示した。

「脳の構造とニューロン」のルート 「覚醒」のルート



意識は脳のはたらきによって生みだされているはずである。それなら、脳の構造や、脳をつくる神経細胞（ニューロン）について理解する必要がある。これらについては、24～27ページで紹介する。



意識というものを、覚醒しているか眠っているかという観点や、覚醒していても外界のようすを認識はできない「植物状態」の例をもとに考えることもできる（28～31ページ）。

ふもとは、さまざまなルートで意識の頂上の代りに

意識という高い山の山頂（意識の解明というゴール）が、脳に見立てた雲によって隠されている。ふもとは、さまざまなルート（研究）から、登頂が試みられている。

「意識と無意識」のルート



無意識というものを考えることで、意識にせまる方法もある。たとえば、見えているという意識はないのに「見えて」いる「盲視」とよばれる現象がある（32～33ページ）。

「自由意志」のルート



意識は、自分の行動を決定する「自由意志」との関係も深いように思われる。実は自由意志とは幻想であり、存在しないかもしれない（34～35ページ）。

「視覚の気づき」のルート



「両眼視野闘争」とよばれる現象を利用して、ある映像が見える（意識にのぼる）ときと、別の映像が見える（意識にのぼる）ときの脳活動を分析することにより、意識（専門的には「視覚の気づき」）を解明するヒントがえられると考えられている（38～39ページ）。

「ロボット」のルート



ヒトに似せたロボットをつくり、研究することで、ヒトの意識にせまる方法もある。ロボットに意識が宿る可能性はあるのだろうか（40～41ページ）。

自分以外の他者の意識を確認することはできるか？

意識をもっているものとは、どのようなものだろう。動いているものには意識があるのだろうか。では、たとえば斜面から岩石が落下してきたとしよう。この岩石は、動いている。しかし多くの人は、岩石に意識があるとは思えないだろう。岩石の動きには、意志のようなものを感じない。単純に物理法則にもとづいて、落下しているからである。

では、電気ポットに意識はあるだろうか。電気ポットは、お湯の温度を測定し、一定温度に保つことができる。自分以

外のものの状況（ここではお湯の温度）を認識し、それに対応した適切な行動（ここでは加熱のオン・オフの切りかえ）をとっているわけだ。このように考えれば、これは「意識的な行動」であるという主張も、なりたないわけではない。さらに、電気ポットよりもはるかに複雑な計算ができる、コンピューターには意識がないといえるだろうか。

一方、生物であるカマキリではどうだろう。カマキリがエサをつかまえる行動をとったとき、その行動が「意識的」な

意識の有無の判断は可能か

各対象物について、意識があるかどうかを考えてもらいたい。つきつめて考えると、自分以外の対象物が意識をもっているかどうか、その判断は、きわめてむずかしいことがわかる。

落下する岩石

動くものには意識がある？ 物理法則にもとづいて落下しているだけで、意識はない？



電気ポット

お湯の温度という情報を外界から入手し、それに対応して加熱のオン・オフを切りかえられるという意味では意識がある？



コンピューター

高度な計算をこなすという意味では意識がある？ プログラムどおりのことをしているだけで、意識はない？

ものなのか、それとも「本能的」な行動であって意識をとまなっていないのか、結論を出すことができるだろうか。

チンパンジーは上手に道具を使うことが知られており、そのようすを見れば、「意識」をもっているように見える。あるいは自分たちが飼うイヌやネコのようなペットも「意識」をもっていると考えている人も多いだろう。ただし動物は、自分の意識の有無について、しゃべってはくれない。

自分には意識がある。だから他人も意識がある？

ヒトについては、意識の有無を疑う必要はないように思う

かもしれない。しかしあなたが、あなた以外の他人にも意識があると判断する理由はなんだろうか。究極的には、自分以外の他人に意識があるのかどうかは、確認のしようがないだろう。

ただし、少なくとも自分自身は意識をもっているという実感が、あなたにはあるだろう。そして他人も、意識をもつ自分と同じヒトという種であることはまちがいない。さらに、意識があると判断するに足る振る舞いも、他人は見せてくれる。これらの事実をもとに、多くの脳科学者は、ヒトには意識があると考えている。



カマキリ

エサを捕食するという行為には意識がある？ それとも自動的（本能的）な行動？



チンパンジー

蟻塚に棒を入れ、アリをつかまえる。道具を使えるということから判断すると、よりヒトに近い意識がある？



（自分以外の）ヒト

自分自身と同様に意識がある？ 究極的には他人の意識は確認できない？

物質である脳から、どのようにして意識が生まれるのか？

脳でみられるさまざまな活動は、こまかく調べていけば、物理的（化学的、電気的）な振る舞いとして説明できるはずだ。このように、メカニズムとしては解明できるはずの現象（解明する手段があると考えられている現象）は「イージー・プロブレム（簡単な問題）」とよばれている。

これに対し、それら脳内でおきた物理的な現象をもとに、意識というものがどのようにして生まれるのかという問は、現在のところ、解明の手段がみつかっていないとされる。さらに、将来にわたっても、原理的に解明が無理かもしれないという主張もある。オーストラリアの哲学者、デイビッド・チャーマーズ博士による指摘だ。このような問は「ハード・プロブレム（むずかしい問題）」とよばれる。

たとえば赤いリンゴを見たとき、脳のどの部分が活動しているのかを調べることはイージー・プロブレムである。これに対して、赤い色の感じ（クオリア）がどのようにして生みだされているのかを問うことがハード・プロブレムである。

脳のどの部分が活動しているのかといったイージー・プロブレムは、外部から脳の活動を記録するなど、客観的な分析が可能である。しかしリンゴの「赤い」という色の感じが、どうして物質である脳の活動によって生みだされるのかという問に対して、脳の活動を調べるだけで答がみつかるだろうか。しかも自分の感じる「赤い」と、他人の感じる「赤い」が同一のものである保証もない。ハード・プロブレムに科学的に答えるためには、各個人の主観的な経験や感じ方を、万人に共通の科学の言葉で語らなければならないのである。

クリック博士の宣言が意識研究を変えた

意識の研究は、かつては科学の対象とはなり得ないとされ、タブー視されたこともあった。しかし DNA の二重らせん構造の発見者としても知られるフランシス・クリック博士（1916～2004）が、1990年代に意識研究に本格的に取り組むことを宣言して以降は、状況が変わりつつある（クリック博士らの主張は 36～37 ページで紹介）。脳科学の進歩によって、とくにイージー・プロブレムは進展しつつあり、近年は興味深い成果が見られるようになったという。

物質から意識が生まれる不思議

イラストの左半分はコンピューターの回路、右半分は脳の神経細胞「ニューロン」の回路のイメージをえがいている。脳という複雑な組織も、つきつめて考えれば、ある意味ではコンピューターと同じように、物質の集合体である。ところが、コンピューターには意識がないと思われるにもかかわらず、同じく物質である脳には意識が宿る。物質である脳から、個人的、主観的な意識がいかんして生みだされているのかを説明することは、「ハード・プロブレム」とよばれ、意識研究にとって最大の難関とされている。

コンピューターの回路



脳の神経細胞（ニューロン）の回路

情報処理によって意識が宿る脳

意識とのかかわりがとくに深いのは、大脳皮質である

脳は、大きく分けて、大脳、小脳、脳幹からなる。大脳は左脳と右脳の二つにわかれており、両者は「脳梁」とよばれる“橋”でつながっている。

大脳の表面は「大脳皮質」とよばれ、その内側は「白質」とよばれている。大脳皮質は、脳の情報処理の“主役”であるニューロンという神経細胞（26～27ページで紹介）が非常に密に集まっており、意識とのかかわりが非常に深いと考えられている。

一方、小脳は「運動の習熟」との関連が深いとされている。たとえば自転車に乗るとき、いちいちペダルをこぐ順番を考えたりしない。これは、ペダルをこぐという動作をするために必要な信号が、意識と関係の深い大脳皮質ではなく、小脳から発信されているからだと考えられている。いわば「無意識」の行動である。

脳幹は、生命を維持するために必要な、さまざまな機能をつかさどっている。また、意識とも関連する「睡眠と覚醒」（28～29ページで紹介）の調節は、脳幹でおこなわれているとされている。

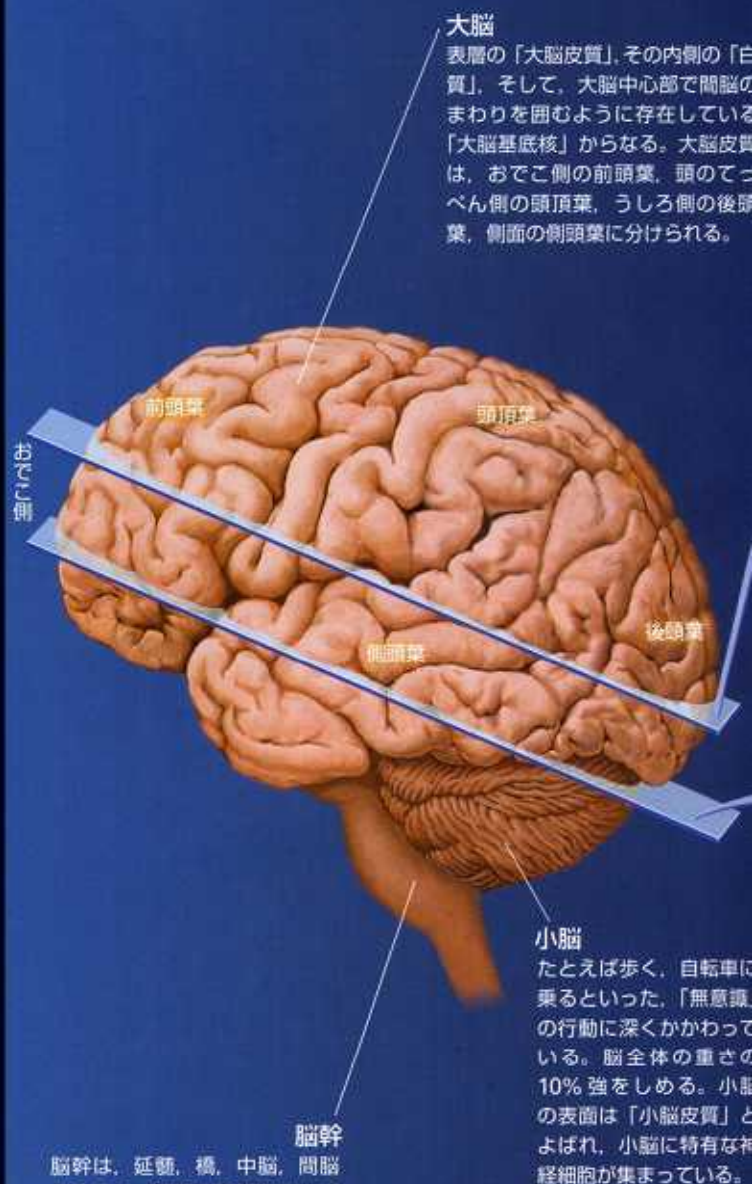
意識は脳のさまざまな領域の活動の結果、生まれる

具体的に、視覚の情報が意識にのぼるまでの経路をみてみよう。眼から入る視覚情報は、脳幹の中にある「視床」とよばれる部分を経て、「一次視覚野」に送られる。一次視覚野とは、大脳皮質のうしろ側の部分にあたる「後頭葉」の一部である。その後、視覚情報は、同じく大脳皮質である頭頂葉や側頭葉などに送られる過程で徐々に処理が進んでいき、最終的には前頭葉に到達する。このようなさまざまな領域の活動の結果として、「見えている」と意識されると考えられている。

このように、脳は各領域でさまざまな役割分担をし、情報を処理している。これを脳の「機能局在」とよんでいる。くわしくはわかっていないが、意識も、脳の各領域のさまざまな活動の結果、生じるものだと考えられている。

■ 脳の基本構造とは？

イラストは、脳の基本的な構造を示したものである。左ページは、脳を真横から見た状態である（左がおでこ側）。右ページは、左ページの脳の断面図である。



大脳

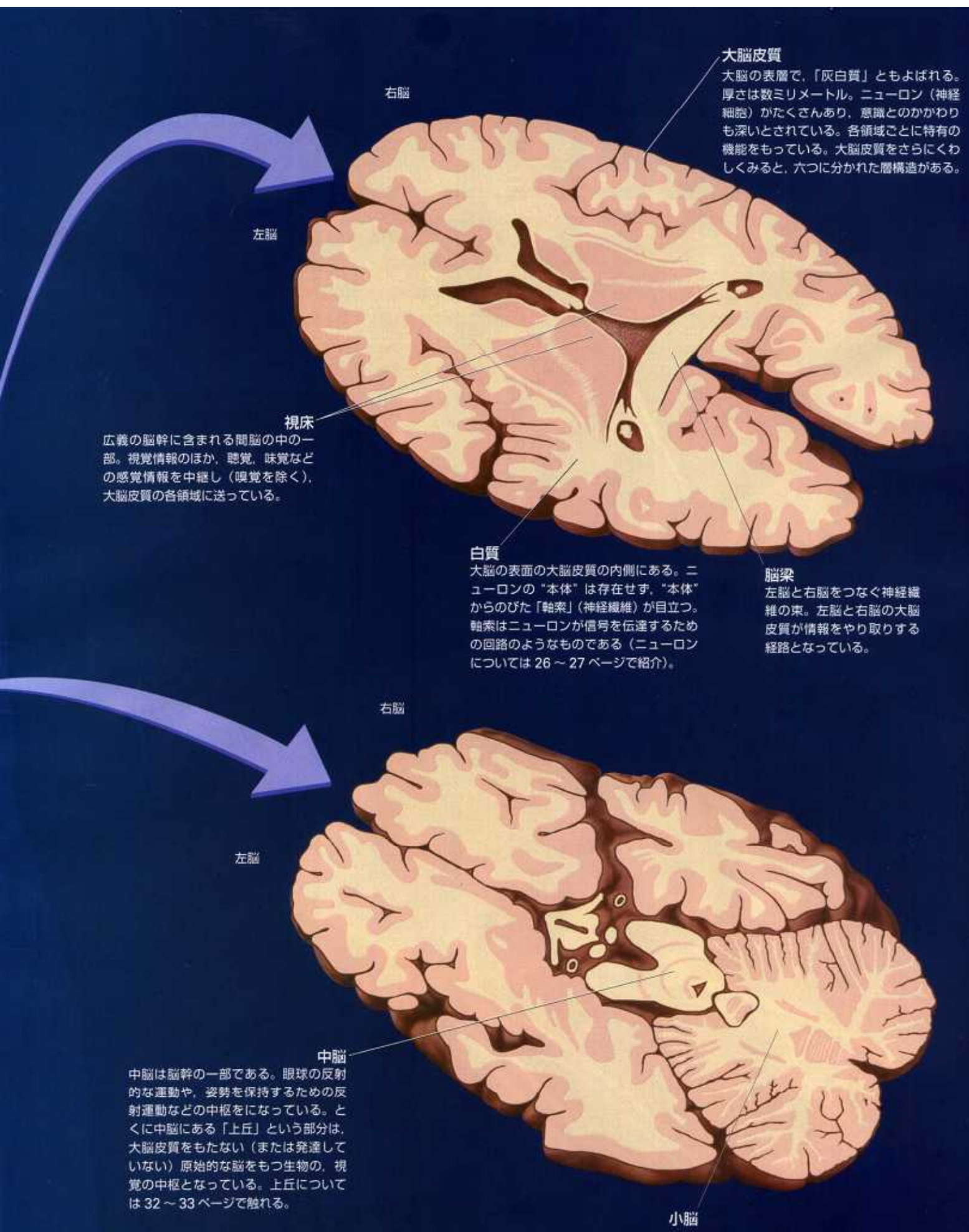
表層の「大脳皮質」、その内側の「白質」、そして、大脳中心部で間脳のまわりを囲むように存在している「大脳基底核」からなる。大脳皮質は、おでこ側の前頭葉、頭のてっぺん側の頭頂葉、うしろ側の後頭葉、側面の側頭葉に分けられる。

小脳

たとえば歩く、自転車に乗るといった、「無意識」の行動に深くかかわっている。脳全体の重さの10%強をしめる。小脳の表面は「小脳皮質」とよばれ、小脳に特有な神経細胞が集まっている。

脳幹

脳幹は、延髄、橋、中脳、間脳からなる（間脳は含まないとする分類もある）。脳幹には多数の神経細胞が集まった「神経核」がたくさんあり、生命を維持するための機能をつかさどっている。また、睡眠と覚醒の調節にも深くかかわっているとされる。



PART 1

脳とニューロンの基礎 ニューロン

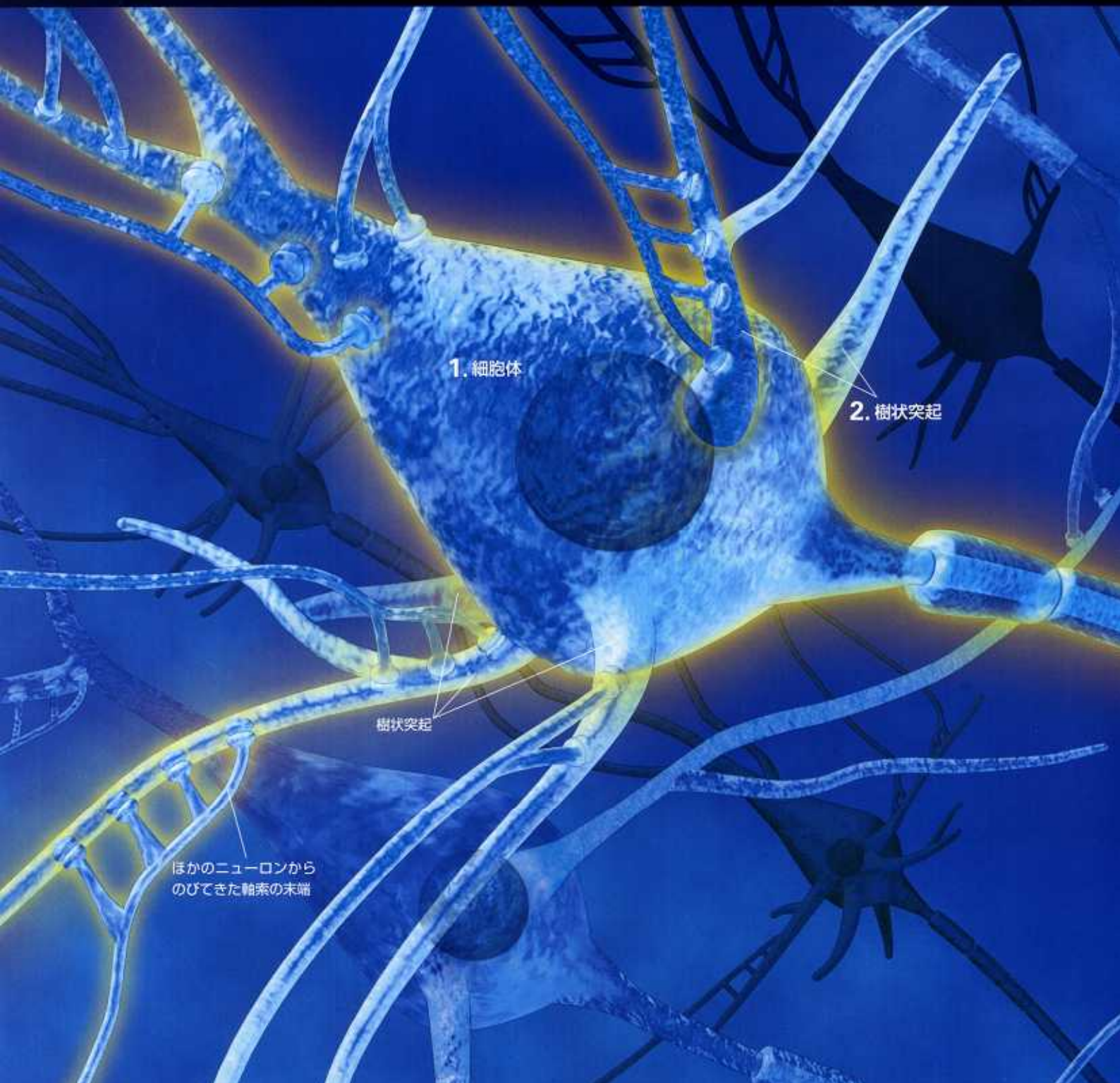
意識を生みだすもとなるのは、ニューロンどうしの信号伝達である

脳の主役は「ニューロン」とよばれる神経細胞である。ニューロンは、脳内におよそ 1000 億個も存在すると推定されている。これら 1000 億個のニューロンは、たがいに信号をやり取りする回路を形成している。

この回路でくり広げられる信号のやり取りこそが、脳の活動の基礎であり、つまりは意識を生みだすもととなっている

と考えられている。

ニューロンは、下のイラストのように、細胞の“本体”である「細胞体」(1)と、細胞体から周囲に伸びる「樹状突起」(2)および「軸索」(3)からなる。軸索は、樹状突起と同様に細胞体から伸びているが、樹状突起にくらべてその長さが長いことが特徴である。



脳の活動自体が、物理的な現象である

ニューロンの信号伝達は、「電気信号」と「化学信号」によっておこなわれる。電気信号は、細胞体から軸索を伝わっていく。軸索の末端は、次のニューロンの樹状突起へとつながっている(4)。この部分を「シナプス」とよぶ。

正確にいえば、軸索の末端と樹状突起は接触しているわけではない。両者の間にはわずかなすき間があり、軸索から伝わってきた電気信号は、このすき間を飛びこえて次のニューロンに伝わることはできない。

そこで、このすき間を飛びこえるために、化学信号が使われる。軸索の末端に電気信号が届くと、たとえば「グルタミン酸」のような「神経伝達物質」が軸索の末端から放出される。樹状突起側はその物質を受け取り、これによって信号が伝達されるのだ。

このように見ると、ニューロンの活動も、その実体は、物質がひきおこす電気的、化学的な物理現象に過ぎないことがよくわかる。だからこそ、意識というものを科学的に解明できる可能性があるともいえるのだ。

■ニューロンの構造と信号伝達

代表的なニューロンである「錐体細胞」の構造と、これらが信号を伝達しているようすをえがいた。細胞体から発せられた電気信号は、長く伸びた軸索を伝わっていく。次のニューロンとの接点を「シナプス」といい、シナプスにおいては、電気信号が化学物質に置きかえられて伝達される。なお、ここでは省略しているが、一つのニューロンには数千個ものシナプスが存在するという。

4. 次のニューロンとの接点(シナプス)

シナプスでは、電気信号が化学信号に変換されて伝えられる。

3. 軸索

電気信号の
伝わる方向

睡眠中に意識はあるのか？
無意識に行動する夢遊病とは何か？

睡眠の研究を進めている、金沢大学の櫻井武教授は次のように語る。「睡眠を研究する立場からいえば、意識がある状態とは、外界からの刺激に応じて、それに注意を向けたり適切な行動を選択して対応したりできる状態のことです。ですから睡眠中の意識レベルは、基本的にはゼロに近いということになります」。

睡眠には、大きく分けて二つのタイプがある。脳の活動が低い「ノンレム睡眠」と、活発な「レム睡眠」である。ヒトが眠りにつくと、まずノンレム睡眠となり、その後はレム睡眠、さらにつづいてノンレム睡眠といったぐあいに、二つの眠りが一晩で4～5回くり返される。

櫻井教授が語る。「まず、ノンレム睡眠中は脳の活動が全体的に低下しており、意識はありません。一方、レム睡眠中は脳の多くの場所が、目が覚めているときと同じくらいに、活発に活動します。しかし、脳の活動パターンは覚醒時とは大きく異なります。前頭前野の一部など、思考や判断にかかわる部分の機能低下がみられ、感覚系からの入力も視床の段階でブロックされています。感覚系から得た情報を適切に判断して注意を向けるということができないわけですから、レム睡眠中も、脳の活動が活発とはいえ、意識は無いということになります」。

意識とは、するべきでない行動を制限するもの？

一方、夢遊病（夢中遊行）という症例も知られている。深いノンレム睡眠の際、本人に意識はないのに、歩き回ったり、場合によっては料理をしたり車を運転したりといった、さまざまな行動をしてしまうのだ。脳全体の活動が低下している中で、行動にかかわる一部の領域が覚醒することによって、意識がない状態のまま、体が動いているのだという。「つまり、行動をする際に意識は必ずしも必要はないということです。意識というものは、その状況に応じて、適切な行動を選択するという機能とともに、『するべきではない行動を制限する』という意味で大きなはたらきをしているのです」（櫻井教授）。

睡眠の種類と脳の活動の変化

イラストの上段は、ノンレム睡眠、レム睡眠、覚醒時に比べて、脳の活動のようすを比較したものである。レム睡眠時には脳の活動が活発だが、意識はない状態だという。

ノンレム睡眠中
脳の活動は全体的に低下



青色は覚醒時にくらべて活動が低下していることをあらわしている。

睡眠の分類

睡眠は、大きく分けるとレム睡眠（黄色）とノンレム睡眠（青色）に分かれる。レム睡眠は、睡眠中に閉じたまぶたの下で眼球が小さく動き回る現象（Rapid Eye Movement）が観察されることから、その頭文字をとって「REM」と名づけられた。ノンレム睡眠は、その深さに応じて4段階に分類されている。グラフは、一晩のうちにあらわれる平均的な睡眠パターンをあらわしている。

レム
ノンレム（第1段階）
ノンレム（第2段階）
ノンレム（第3段階）
ノンレム（第4段階）



夢



レム睡眠中

脳の活動は全体的に覚醒時と同程度。前頭前野の一部や一次視覚野は活動低下。逆に視覚連合野は活動が活発化。

レム睡眠中には脳の多くの場所で活動が活発になっている。櫻井教授によると、この状態で目が覚めると、レム睡眠中の脳の活動が夢として認識されるという。

覚醒時

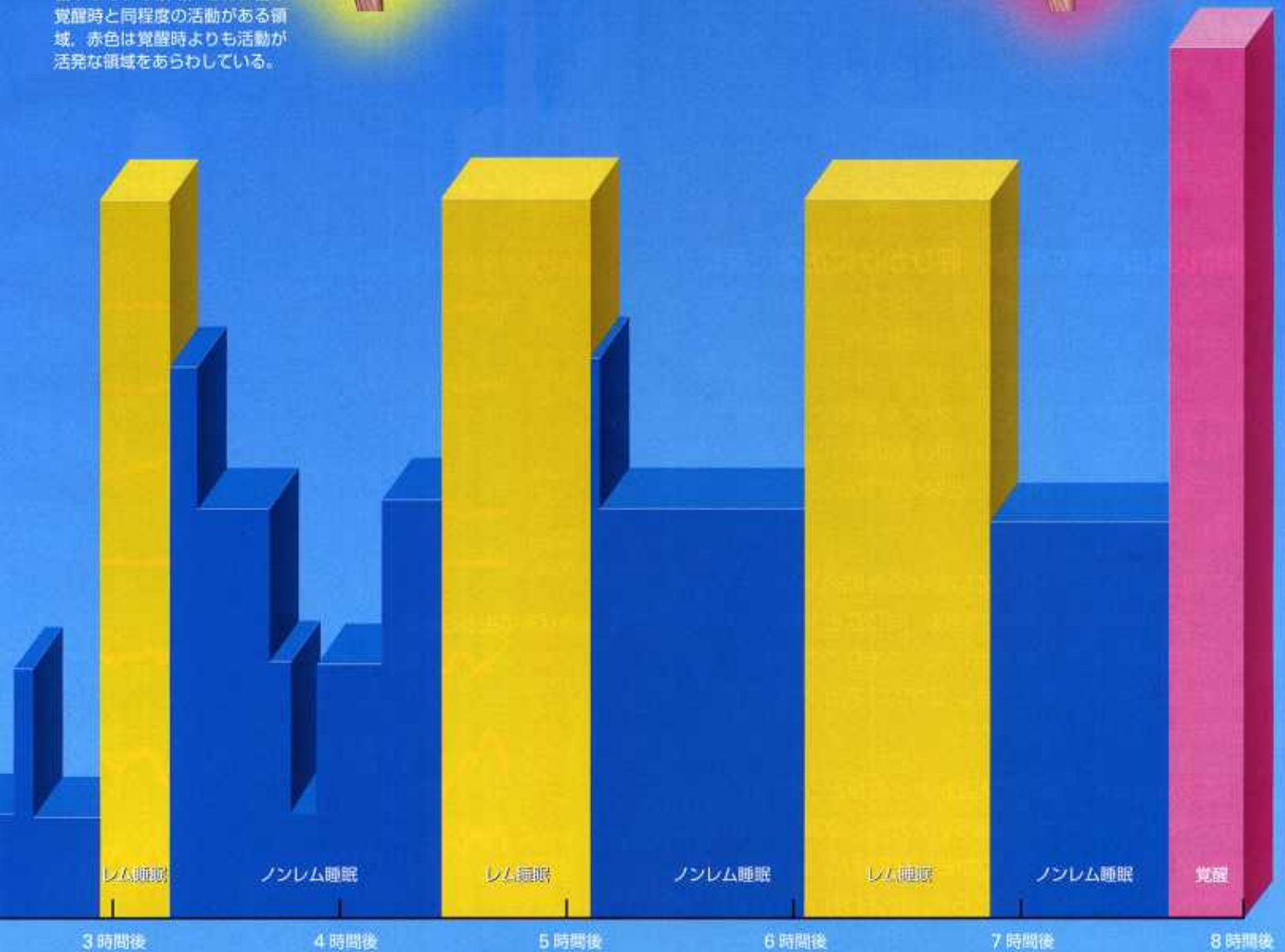
左に示したノンレム睡眠、レム睡眠の際の脳の活動の活発度は、各領域ごとに、覚醒時の活発度を基準として比較した、相対的なものである。

前頭前野の一部
(活動が低下)

視覚連合野
(覚醒時よりも活発に活動)

一次視覚野
(活動が低下)

青色は覚醒時に比べて活動が低下している領域。ピンク色は覚醒時と同程度の活動がある領域。赤色は覚醒時よりも活動が活発な領域をあらわしている。



脳に損傷を受け、植物状態となった患者に意識はあるか？

脳の損傷で植物状態となった患者の治療に取り組んでいる日本大学の片山容一教授は、「意識」という言葉を、「覚醒している」という意味と、「各感覚を統合して正常な認識ができる」という意味に分けて考えているという。

交通事故や脳梗塞などで脳を損傷すると、さまざまな影響が出る。生命を維持できてはいるが、脳の損傷がひどく、目を開けることがない状態のことを「昏睡」とよぶ。昏睡状態の患者は、脳の活動も低く、意識はないと考えられている。

一方、寝たきりであり、外部からの刺激に対する反応は見られないものの、目を開いたり閉じたりする（起きたり眠ったりする）状態のことを、植物状態という。この状態は、「覚醒している」という意味では意識があるともいえる。しかし外部からの刺激に対して反応できないことから、「各感覚を統合して正常な認識ができる」という意味での意識はないと考えられるという。ただし脳の活動自体は活発に行われている。しかしそれらの脳活動は、いわばバラバラの活動であり、正常な意識を生み出せないようなのだという。

植物状態の患者の脳が、呼びかけに正常に反応？

ところが2006年、植物状態と診断された患者にも意識がある場合がある可能性を示す実験結果が報告された。イギリス、ケンブリッジ大学のエイドリアン・オーウェン博士らは、交通事故で植物状態となったある患者の脳の活動を、「fMRI」で調査した。fMRIは、脳の各領域の活動の活発度について、脳を傷つけることなくリアルタイムで測定し、画像化できる。

この患者に「テニスをしている状態を思い浮かべてください」とよびかけると、患者の脳は、同じことをいわれた健常者と非常によく似た活動を示した。つまりこの患者は、健常者と同等に外界の言葉を理解し、正常な応答ができている（意識がある）のかもしれないのだ。

「この患者さんに本当に意識があるのかどうか、さらにくわしく検証する必要があります。ただし、意識があったとしても、きわめて特殊な例なのかもしれません。いずれにせよ、どの場所をどれだけ損傷したら意識が失われるのかなど、はつきりとわからないことが多いのが現状です」（片山教授）。

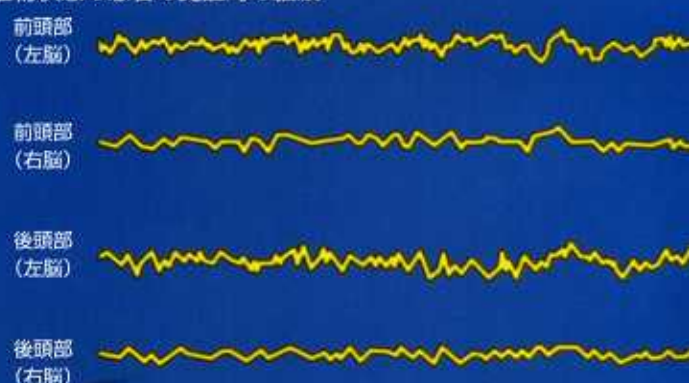
植物状態の患者の脳をデータでよみとく

下は健常者と植物状態の患者、昏睡状態の患者の脳波の例である。右ページ上段は脳波とその測定方法、右ページ下段は植物状態の患者の脳活動をとらえた画像である。

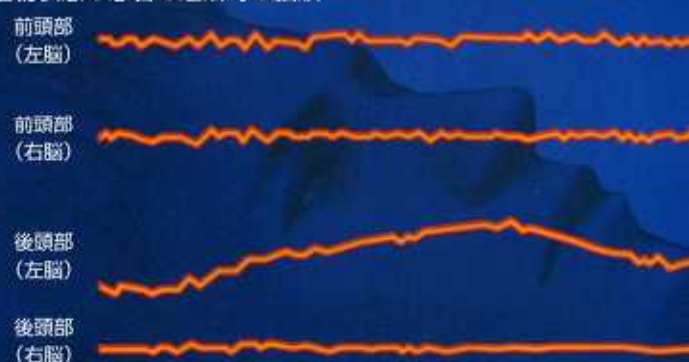
1. 健常者の覚醒時の脳波



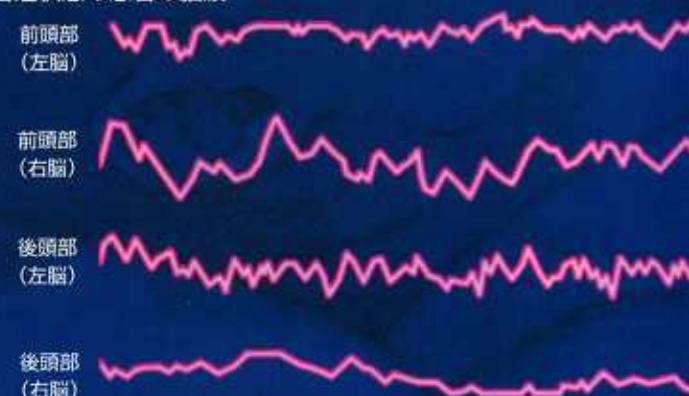
2. 植物状態の患者の覚醒時の脳波



3. 植物状態の患者の睡眠時の脳波

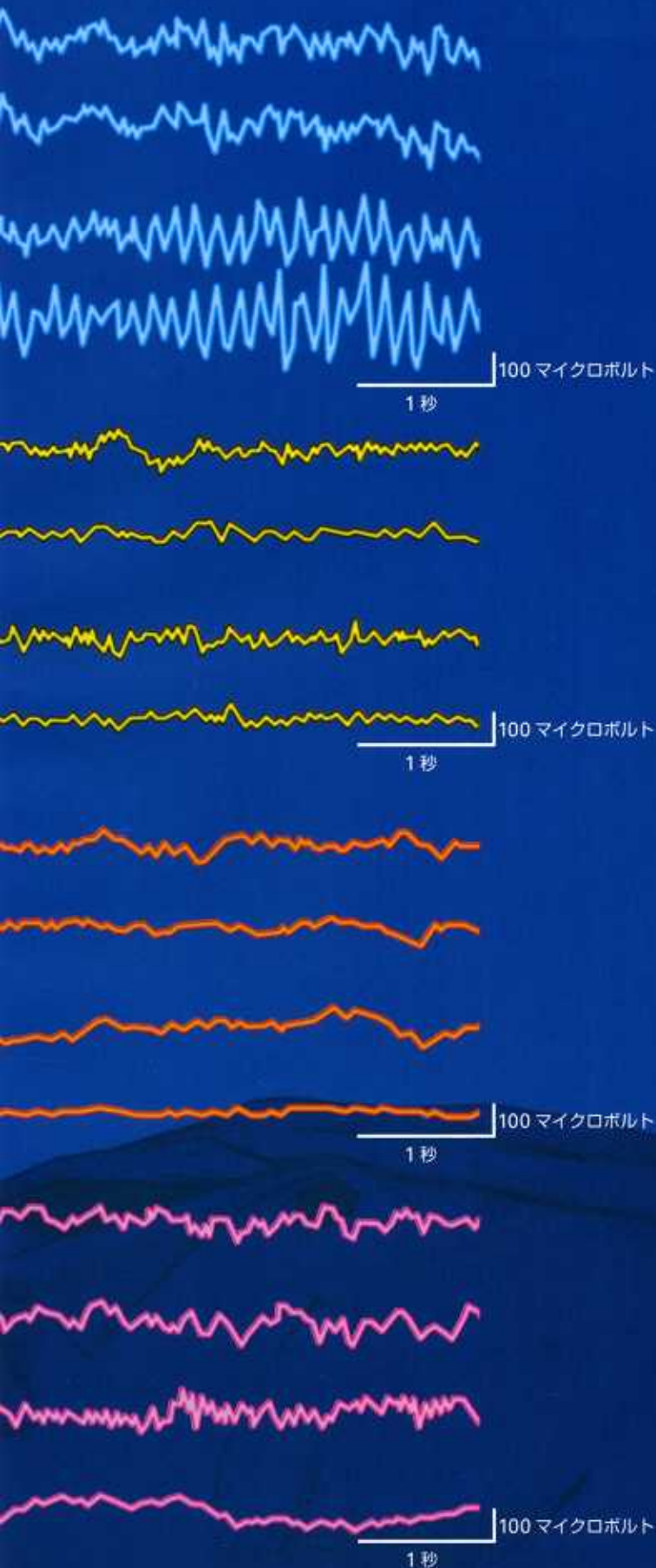


4. 昏睡状態の患者の脳波



脳は活動しているが、意識はない？

1 は健常者の覚醒時の脳波である。植物状態の患者の脳波をみると、覚醒時（2）、睡眠時（3）ともに、健常者ほどではないものの、脳が活動していることがわかる。しかし外部からの刺激に対して正常に応答できないことから、意識はないと考えられるという。昏睡状態の患者の脳波（4）は、比較的ゆるやかに変化する（周期が長い）特徴がある。振幅（上下動）が大きい。覚醒時の脳波とはことなる。

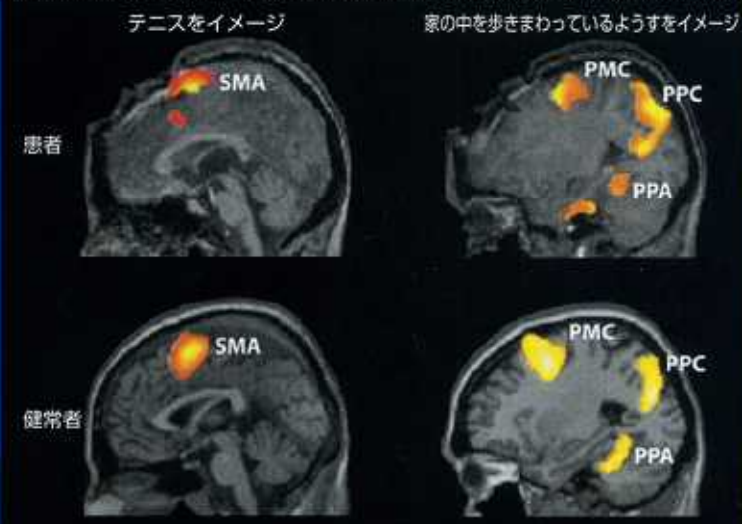


脳波とは何か？その測定方法は？



脳波とは、頭皮の上に電極を複数配置し、脳の電気的な活動（ニューロンが生みだしている電気信号の集合）を記録したものである。測定する際には、一般的には頭皮の上に電極を複数配置し、電圧の変化を読みとる。被験者の身体的な負担は小さいが、脳のどこの領域の活動を測定しているのか必ずしも明確ではない（空間分解能が低い）、小さく変化する（周期の短い）活動を測定しにくいといった欠点もある。脳波測定は、おおまかに脳の活動を把握するのに適している。

植物状態と診断された患者が意識をもっていることもありうる？



上は、植物状態と診断されたある患者（上段）と、健常者（下段）の脳の活動を比較したものである。「テニスをしている状態」や「家の中を歩きまわっている状態」をイメージするようによびかけたときの脳の活動は、患者と健常者で、非常に似ていた。実験を行ったオーウェン博士によると、この患者は、健常者と同じような意識をもっている可能性があるという。画像は「Science」2006年9月8日号より引用した。*

なお、画像はfMRI（functional Magnetic Resonance Imaging）という脳の活動の測定方法によるものである。fMRIは、脳の各領域の血液中の酸素の量を測定できる。ニューロンの活動が活発な場所は酸素の量も多くなるため、fMRIによって脳の活動をとらえることができる。

*：「Science」2006年9月8日号、p. 1402

見えないはずなのに見えている、不思議な現象

脳の視覚野とよばれる領域は、眼から入ってきた視覚情報を処理している。左脳と右脳にそれぞれあり、左脳の視覚野は視野のうちのおよそ右半分を、右脳の視覚野は視野のうちのおよそ左半分を担当している。たとえば左脳の視覚野を損傷すると、眼は正常であっても、「半盲」の状態となり、視野の右半分が失われる。

さて、この半盲の患者は、失われた側の視野の中にあるボールの位置をいいあてられるだろうか。患者の意識としては、失われた視野の中にある物は見えないため、「何も見えません」と答える。しかし「あてすっぽうでもいいから場所を示して欲しい」とお願いすると、偶然では説明できない確率で、ボールの位置をいいあてることができる患者もいるのだ。正解率が高いことを教えると、患者本人は見えているという意識がないため、非常におどろくという。この、見えていないのに見えている不思議な現象を「盲視」とよんでいる。

生理学研究所の伊佐正教授と吉田正俊助教授は、サルを使って盲視を再現し、研究を進めている。盲視がおきる原因について、伊佐教授は次のように語る。「眼の網膜に入った視覚情報は、視床とよばれる領域を経て視覚野に送られ、最終的に意識にのぼります。一方、視覚情報の処理には別ルートがあり、網膜から中脳の上丘とよばれる部分へと情報が伝えられ、処理されていることがわかってきました。このルートのはたらきにより、無意識のうちに見えている状態が生みだされているようです。脳の活動のうち、意識にのぼるのの一部であり、無意識のうちにたくさんの情報処理をしていることを示す例だといえます」。

盲視の“見え方”は原始的な意識？

なお、盲視が可能な半盲患者の中には、失われた視野の中に、「明確ではないが、なんとなく何かがある」と感じる人もいるという。伊佐教授は、これは非常に原始的な意識である可能性があると考えている。「爬虫類や両生類などの大脳皮質をもたない動物の原始的な脳では、中脳・上丘が中心的な視覚中枢となっています。盲視の状態は、進化的に古い部位である中脳・上丘の機能が「先祖がえり」したとも考えられます」（伊佐教授）。

正常な視野と半盲、盲視のちがい
健常者の視野



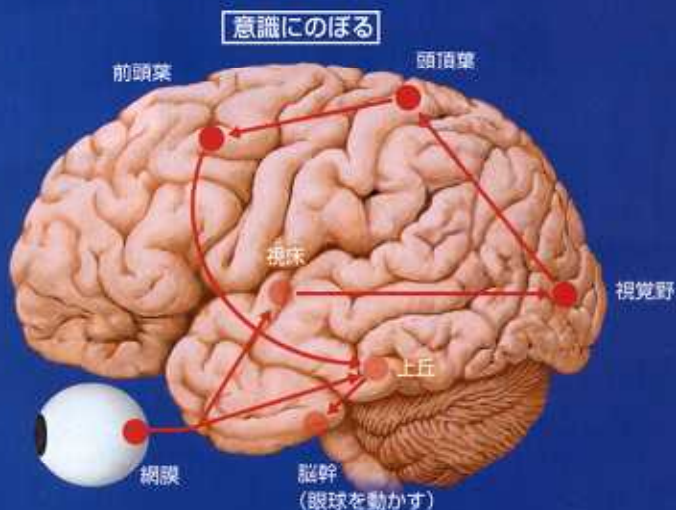
半盲患者の視野



盲視の状態



健常者の視覚情報の処理



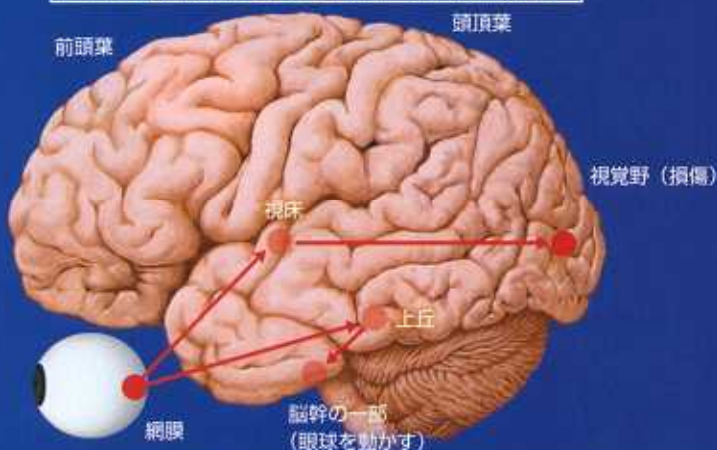
網膜からの視覚情報は、視床を経て、後頭葉にある視覚野に送られる。視覚野からほかの大脳皮質（頭頂葉や前頭葉など）へと進むにつれ、情報の処理はさらに進んでいき、意識にもぼる。

見えているつもりはないのに見えている、盲視のメカニズムとは？

左ページは健常者と半盲の患者、盲視の状態の視野のイメージをえがいたものである。右ページの脳のイラストでは、健常者と盲視の状態の患者の視覚情報の処理経路を比較している。

盲視の状態の視覚情報の処理

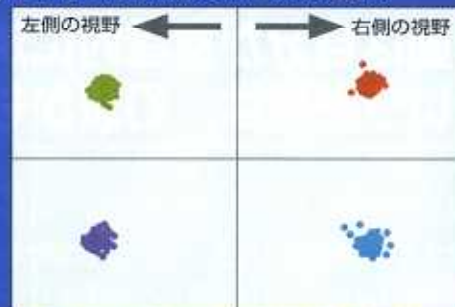
上丘などを通る別ルートで視覚情報が処理されることで、意識にはのぼらないが“見えて”いる



視覚野が損傷した場合、頭頂葉や前頭葉などの大脳皮質に視覚情報が伝えられない。このため視野が欠ける。しかし上丘などで情報が処理され、盲視が実現する。

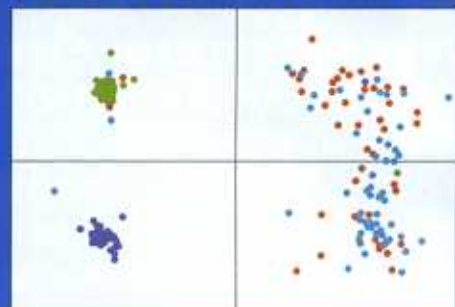
サルを使って盲視を再現

1. 正常なサルの視線の位置の測定結果



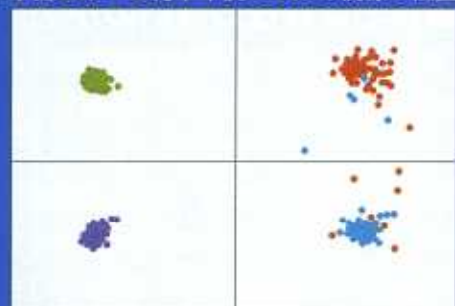
4分割した画面のうちのどれか一つの、中央あたりの1点に、課題として「印」が表示される。4色の点は、それぞれがサルの視線の位置をあらわしている。正常なサルは、訓練により、ほぼ正確に印の位置に視線を向けることができる。

2. 半盲となって1週間後のサルの視線の位置



赤色の点は、右上に印があらわれたときの視線の位置。水色の点は、右下に印があらわれたときの視線の位置である。右側の視野を失って1週間後のサルは、右側の視野の印に視線を向けられない。

3. 半盲となって約半年後のサルの視線の位置



約半年後、見えないはずの右側の視野の印に対しても、かなり正確に視線を向けることができるようになった。盲視ができるようになった状態。

伊佐教授らは、サルを使って盲視を再現し、その研究を進めている。実験の手順は、まず、コンピューターの画面を四つの領域に分け、四つの領域のいずれかに印があらわれるように設定する。ただし印のあらわれる場所は、各領域の中央あたりに固定してある。サルを訓練すると、印があらわれた場所に視線を向けることができるようになる（1）。次にサルの左脳の視覚野を損傷させて半盲の状態にし、同じ実験を行うと、半盲となった直後は、欠けた右側の視野の印に視線を向けることができなくなった（2）。しかし実験をつづけると、およそ半年後には、かなりの精度で、あらわれた印に視線を向けることが可能になった（3）。盲視が再現されたわけである。なお、伊佐教授らは、このような盲視のサルが、見えないはずの印の位置を数秒間覚えていられることも、2011年に実験で明らかにした。これは、意識にのぼっていないことでも記憶ができることを示しており、注目を集めている。

行動は自分が意識的に決めている という感覚は、幻想かもしれない

自分が行動しようと決定したのは、自分自身の意識である
と考えるのが普通だろう。しかしその考えは、くつがえされ
るかもしれない。カリフォルニア大学サンフランシスコ校の
ベンジャミン・リベット博士は、1980年代に非常に興味深
い実験を行った。実験はいたってシンプルで、被験者は、自
分自身の自由なタイミングで指（または手首）を動かし、そ
の前後の脳活動の状況^{しやうきよう}を記録するというだけだ。

被験者が、自らの意志で指を動かそうと思った時刻（1）と、
脳で運動の指令信号が発生した時刻（2）、そして実際に指が
動いた時刻（3）を測定した場合、これらはどのような順番
となるだろう。直感的には、このままの順番になりそうだと
考える人が多いだろう。しかし実験結果は、2→1→3の順
番だったのである。運動の指令信号は、被験者が意志決定し
た時刻の約0.35秒前に発生していた。被験者本人が指を動
かそうと決定するよりも以前に、脳は指を動かす準備をはじ
めていたというのである。

自由意志は存在しないのか？

この問題は、脳科学者の間でも大論争になったという。実
験結果を素直に受け取れば、いわゆる「自由意志」というも
のが否定される可能性が出てくる。一方で、実験結果はむし
ろ当然との考え方もある。もしも被験者の意志決定が1番に
発生するのなら、その意志決定は唐突に発生したということ
になる。それはつまり、意志決定というものが脳の活動とは
きりはなされるということにほかならない。脳と精神を分け
る「二元論」的な話であり、科学者としてはむしろそちらの
方が受け入れがたいともいえる。自由意志が存在するかどう
かについては、さまざまな見解があり、結論は出ていない。

大阪大学の北澤茂教授^{きたさわしげる}は、「リベット博士の実験の後にも、
同様の実験結果がたくさん報告されています。私たちが行動
する前に、無意識的に脳が活動する場合があることは事実で
しょう」と語る。意識というものは、私たちの行動や思考を
支配しているのではなく、意識はむしろ、自分自身のおかれ
た状況や思考、行動などを把握^{はあく}するためのチェック機構とし
てはたらいっている可能性があるという。

リベット博士による 実験の方法

脳波を測定

2.56秒で1周

センサーで指の
動きを感知

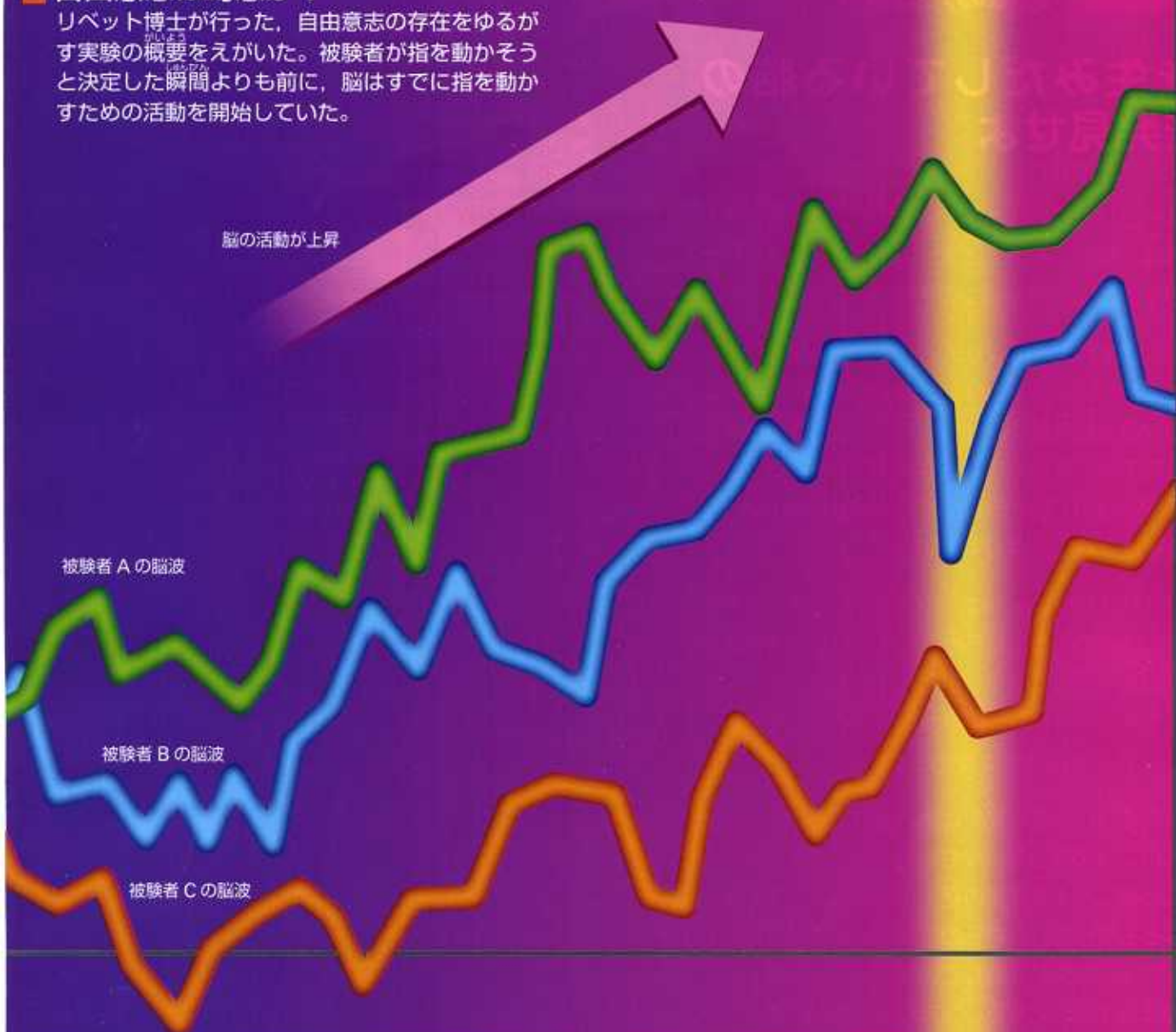
被験者は、2.56秒で1周する時計を見ながら、自分が指を
動かそうと決意した時間を覚えておく。被験者の脳の活動は
脳波で測定されており、また、実際に指が動いた時間はセン
サーで測定される。



脳はまだ活動していない

自由意志は幻想か？

リベット博士が行った、自由意志の存在をゆるがす実験の概要をえがいた。被験者が指を動かそうと決定した瞬間よりも前に、脳はすでに指を動かすための活動を開始していた。



縦軸：脳波の強さ

横軸：時間の経過
(左から右へ流れる)

グラフは、リベット博士が1983年にイギリスの学術論文誌『Brain』に報告^{*}した実験結果の一部を示したものである。3色の折れ線グラフは、それぞれ別の被験者の脳波の記録である。指が実際に動いた時刻を基準にすると、指を動かす準備段階の脳活動は、その約0.5秒からそれ以上前にあらわれた。そして被験者本人が指を動かそうと決心した(と思った)時刻は、平均すると、実際に指が動いた時刻の約0.2秒前だった。なお、この実験は、「自由意志」の存在を問う実験とはいえ、実際には、被験者は指をそのうち動かすことが前提であり、いつ指を動かそうかと待ち構えている状態である。北澤教授は、「被験者が完全に自由な状態だったかといえは必ずしもそうとはいえない部分もあるかもしれません」とも語っている。

※：『Brain』106号, p.623～642



脳の活動が活発化する。指を動かすための準備段階の活動が、脳波としてとらえられたと考えられている。被験者本人が指を動かそうと決心した(と思った)時刻よりも前であることが重要。

被験者本人が指を動かすことを決心した(と思った)時刻。

意識を生みだしている脳の活動を発見せよ

意識はニューロンの活動によって生まれていると考えられている。ならば、あることが頭に浮かんだとき（意識されたとき）、それに対応するニューロンの活動が存在するはずだ。

カリフォルニア工科大学のクリストフ・コッホ博士は、共同研究者であるフランシス・クリック博士とともに、そのようなニューロンの活動を発見、分析していくことが意識研究にとって重要であると提唱した。そのようなニューロンの活動は、「NCC: Neural Correlates of Consciousness（意識と相関する神経活動）」とよばれている。

気をつけなければならないのは、NCC とは、「あることが頭に思い浮かんでいるときに見られるニューロンの活動のすべて」ではないという点である。たとえば、あなたが今、交差点にいるとする。歩行者用の信号が青であることを確認して（意識して）、あなたは横断歩道を渡っていくだろう。

このとき、向こうから渡ってくる歩行者のことは、あなたの意識には明瞭にはのぼらないかもしれない。あるいは空の色や道の向こう側にみえる建物の壁、街路樹のようす、車のエンジン音なども同様だ。これらの情報は、眼や耳を通して脳に送られ、ニューロンが活動して処理されているはずなのに、意識にのぼらないのである。つまり脳の活動のすべてが意識にのぼるわけではないということだ。NCC とは、単に外部からの情報を処理しているニューロンの活動のことを指すのではなく、意識にのぼる情報と直接的に対応しているニューロンの活動のことを指しているのである。

NCC は意識研究の足がかりとなる

なお、NCC を発見したとしても、それで意識を完全に解明できたということにはならない。意識と直接関係しているニューロンの活動を発見しても、なぜ意識がニューロンの活動から生まれるのかという「意識のハード・プロブレム」に答えられるわけではないからだ。

しかしさまざまな角度から NCC を調べ、その共通点を探るなどしていけば、意識というものをより深く研究していくための足がかりになると期待されている。現在、多くの脳科学者が、NCC にかかわる研究を進めている。

■ 意識研究の足がかりとして期待される神経活動、「NCC」
脳に入ってきた情報のすべてが意識にのぼるわけではない。あるニューロンの活動と対応している情報が意識にのぼる一方で、別のニューロンの活動は意識にのぼる情報とはあまり関係がないということがありうる。意識と相関する神経活動（NCC）を詳細に調べることにより、意識を生み出す神経メカニズムを解明する手がかりが得られると期待されている。イラストは、交差点を渡る人の脳の活動を例に、NCC を説明したものである。たとえば「歩行者用の信号が青であること」が意識にのぼっているときには、これに関連する NCC があるはずである。



犬は意識にのぼっていない
犬の情報を処理しているニューロンもある。ただし犬のことが意識にのぼっていないときにそのニューロンが活動していたら、NCCには含まれない。

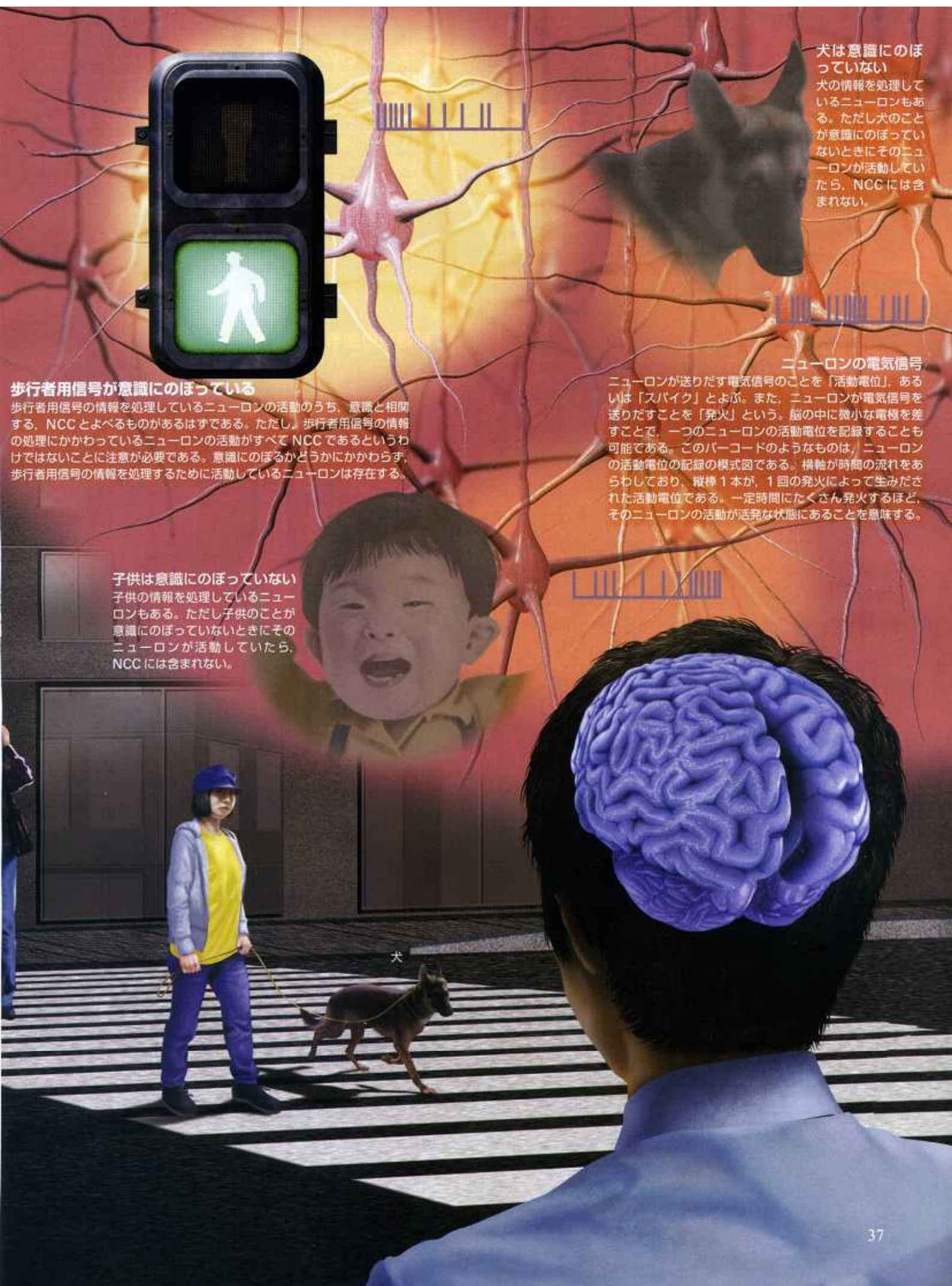
ニューロンの電気信号

ニューロンが送り出す電気信号のことを「活動電位」、あるいは「スパイク」とよぶ。また、ニューロンが電気信号を送り出すことを「発火」という。脳の中に微小な電極を差すことで、一つのニューロンの活動電位を記録することも可能である。このバーコードのようなものは、ニューロンの活動電位の記録の模式図である。横軸が時間の流れをあらわしており、縦棒1本が、1回の発火によって生みだされた活動電位である。一定時間にたくさん発火するほど、そのニューロンの活動が活発な状態にあることを意味する。

歩行者用信号が意識にのぼっている

歩行者用信号の情報を処理しているニューロンの活動のうち、意識と関連する、NCCとよべるものがあるはずである。ただし、歩行者用信号の情報の処理にかかわっているニューロンの活動がすべてNCCであるというわけではないことに注意が必要である。意識にのぼるかどうにかかわらず、歩行者用信号の情報を処理するために活動しているニューロンは存在する。

子供は意識にのぼっていない
子供の情報を処理しているニューロンもある。ただし子供のことが意識にのぼっていないときにそのニューロンが活動していたら、NCCには含まれない。



右目と左目で別々のものを見ると、意識にのぼるのはどっち？

右目と左目のそれぞれに、まったくことなる映像を見せたらどんなことがおきるだろうか。それぞれの眼に入る映像は完全に分けられており、一方の映像が逆側の眼に入ることはないとする。たとえば右目には人の顔を、左目には建物を見せると、両方が混ざって見えるのだろうか。実際には、右目の情報にもとづいた映像と、左目の情報にもとづいた映像が、数秒ごとに切りかわって見える。まるでそれぞれの眼が主導権を争っているかのような現象であることから、「両眼視野闘争^{りょうがんしやうけん}」とよばれている。

さて、両眼視野闘争によって見えるもの（意識にのぼるもの）が切りかわる瞬間とは、まさに意識（この場合、専門的には「視覚の気づき：visual awareness」とよぶ）が切りかわる瞬間である。重要なのは、それぞれの眼から入ってくる情報は変化していないということである。外部からの刺激^{しげき}は一定であるにもかかわらず、見えるもの（意識にのぼるもの）が切りかわるわけだ。意識の変化とともに活動が変化するニューロンがあれば、それがまさにNCC（意識と関連する神経活動）であると考えられる。

実際に、意識とともに変化する神経活動が見つかった

これまでの実験により、脳の側面にあたる「側頭葉」の一部で、顔が見えているときに活動するニューロンが集まる領域と、建物（正確には場所を感じさせる光景）が見えているときに活動する領域があり、両眼視野闘争によって見えるものが切りかわるたびに、それらの領域の活動が切りかわることが確認されている。

また、現在、脳科学者の間で議論の中心となっているのは、「一次視覚野」とよばれる、視覚情報処理の最初の段階を担当する領域の活動が、NCCに含まれるかどうかという点だ。産業技術総合研究所の林隆介博士^{はやしりゅうすけ}は、次のように語る。「一次視覚野の活動がNCCに含まれることを支持する実験結果と否定する実験結果の両方が報告されており、議論が分かれています。実験を地道に進めて、NCCの実体をさらにしぼりこんでいくことが必要です」。

■見えるもの（意識）が交互に切りかわっていく
両眼視野闘争を利用した実験の概要をえがいた。下のイラストのように、右目と左目に別々の映像だけが入るとすると、どちらか一方の映像が見える（意識にのぼる）。そしてそのまま見つづけると、元の映像そのものは変化していないにもかかわらず、右ページのように被験者の意識にのぼる映像が、くり返し切りかわっていく。下の写真では両眼視野闘争を実際に体験する方法を紹介した。

両眼視野闘争を体験！



紙を筒状に丸めて、望遠鏡のように左目に当てる。また、広げた手の平を右目の前に置く。この状態で前を見つめると、手の平に穴があいてるように見える（左目の情報が意識に上っている状態）。そのまま目線を動かさずに待つと、手の中の穴が消えたり（右目の情報が意識に上っている状態）、また穴があらわれたりするはずだ。このような実験で、両眼視野闘争を簡単に体験できる。見えにくい場合には、筒と手の平を入れ替えるとうまくいく場合もある。

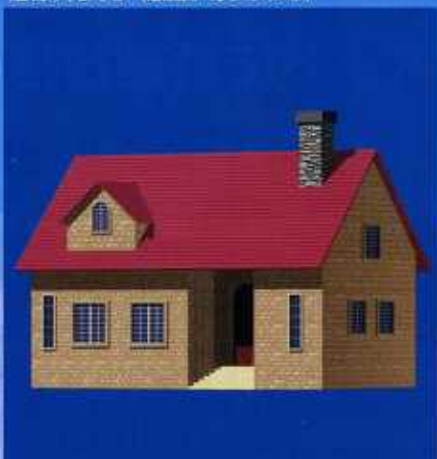


意識が切りかわるときの脳やニューロンの活動を、fMRIや、電極を埋めこむことによって記録し、分析する。被験者の意識が切りかわるたびに必ず活動が変化するニューロンがあれば、その活動がNCC（意識と関連する神経活動）であると考えられる。なお、両眼視野闘争以外にも、錯視を利用するなどさまざまな方法により、NCCを調べることができる。

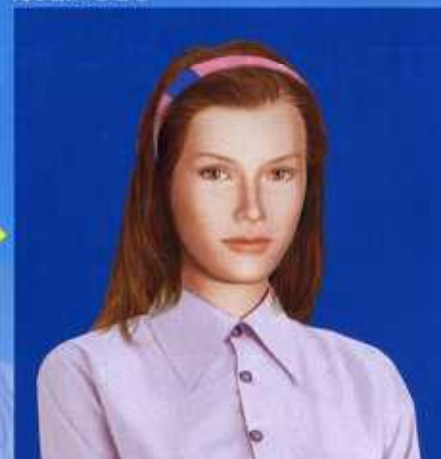
顔が見える（顔が意識にのぼる）



建物が見える（意識が切りかわる）



再び顔にもどる



右目

筒で仕切るなどして、
逆側の映像が入らない
ようにしてある

左目

建物

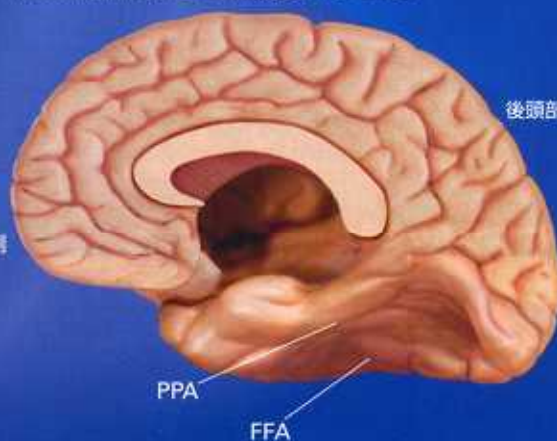


顔と建物の NCC はどこ？

側頭葉の最下部にある「紡錘状回」の一部の領域（FFA）は、顔に対して強く反応する。一方、「海馬傍回」の一部（PPA）は、建物（場所を感じさせる光景）に強く反応する領域である。これらの領域は、両眼視野競争を使った実験から、NCC にかかわることが示唆されている。

おでこ側

後頭部側



この脳は、左脳と小脳、脳幹を取り除き、
右脳を内側の側面から見た状態である。

コンピューターやロボットに意識が宿る可能性はあるか？

コンピューターと意識の関係は、物質である脳からいかにして意識が生まれるのかという「意識のハード・プロブレム」にもかかわる、興味深い問題である。東京大学の國吉康夫教授は、ロボットを研究することによってヒトの意識にせまる研究を進めている。國吉教授によると、意識が生まれるには、「身体」を通して周囲の環境と相互作用をしながら脳が発達していくことが不可欠だという。

まずは、チューリッヒ大学のロルフ・ファイファー博士らが考案した、単純なしくみで動く「かたづけロボット」について考えてみよう。車輪を持った箱形のロボットの、右前方と左前方にはセンサーがついており、障害物を感知すると、

ロボットは反対方向に曲がる。たったこれだけの機能しかもたないこのロボットを、障害物が散らばった場所に放つと、障害物を集め、「かたづけ」しまうのである（しくみはイラスト参照）。

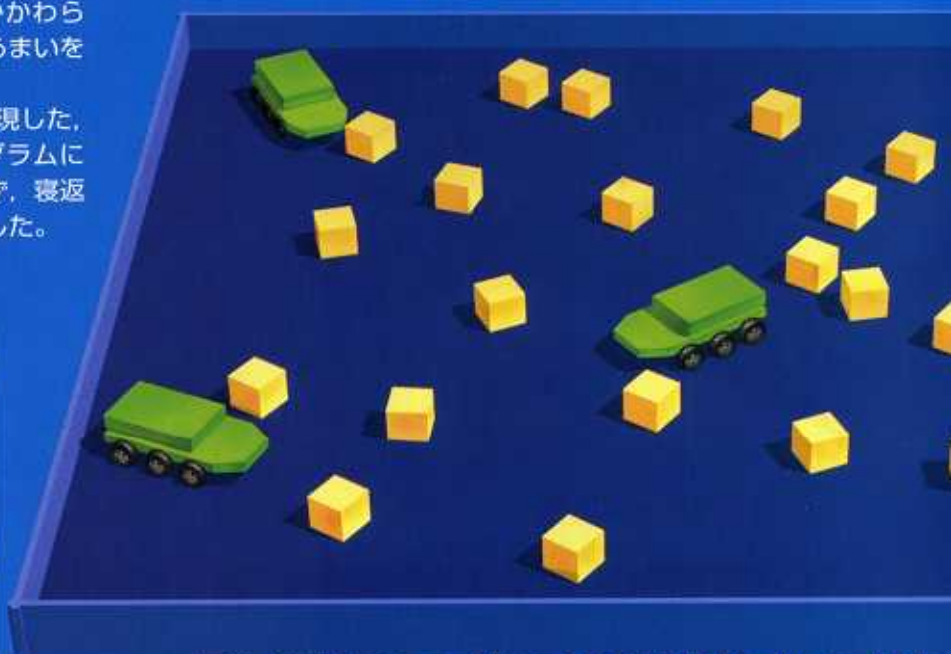
興味深いのは、このロボットには、「かたづけ」をするプログラムは組みこまれていないことだ。しかしロボットの行動は、あたかも意図を持ってかたづけを行ったかのように見える。このロボットの車体の形やセンサーの位置を変えると、「かたづけ」はできなくなる。つまり、身体の構造や感覚器官のあり方は、何か意味のある行動を生みだすうえで、重要な役割をになっているというわけだ。*

■「意図的な」行動をするロボット

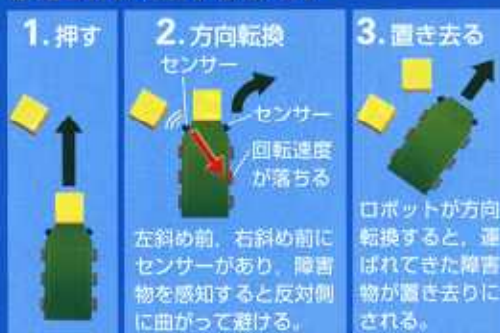
右は、プログラムを組みこんでいないにもかかわらず、かたづけという意図的な行動のようなふるまいを見せるロボットをえがいたものである。*

下段は、國吉教授がコンピューター内で再現した、「赤ちゃんロボット」のようすである。プログラムに組みこまれているわけではないにもかかわらず、寝返りやはいはいに相当する行動を自発的におこした。

障害物（箱）が散らばっている



かたづけロボットのしくみ



ロボットがたまたま一つの障害物を押して動かす（1）。ほかの障害物のそばを通る際、センサーが反応して進行方向が変わる（2）。運んできた障害物が置き去りにされ、結果的に障害物が集まる（3）。

障害物（箱）が散らばっている場所に、車輪で走行するかたづけロボットを放つ。このロボットには、障害物を集めさせるプログラムは組みこまれていない。車体の斜め前に付けられたセンサーが障害物を感知すると進行方向を変えて障害物を避けるという行動が決められているだけである。

自発的に寝返りをうつ赤ちゃんロボット



國吉教授がコンピューター内で再現した赤ちゃんロボットは、プログラムを組みこんでいないにもかかわらず、寝返りのような行動をおこした。外から見れば、赤ちゃんが意図的なものをもって体を動かしているようにもみえる。

自発的に行動をおこす“赤ちゃんロボット”

國吉教授は、このような考えにもとづいて、コンピュータ上で“赤ちゃんロボット”のシミュレーションを行った。赤ちゃんの身体を忠実に再現し、ヒトの脊髄に似せた情報処理の回路や触覚、^{せきすい}擬似的な^{しよくかく}脳皮質、^{せいてき}伸張反射（引っ張られるとちぢもうとする筋肉の動き）などを組みこんだところ、“赤ちゃんロボット”は、寝返りやはいはいを、自発的にはじめた。

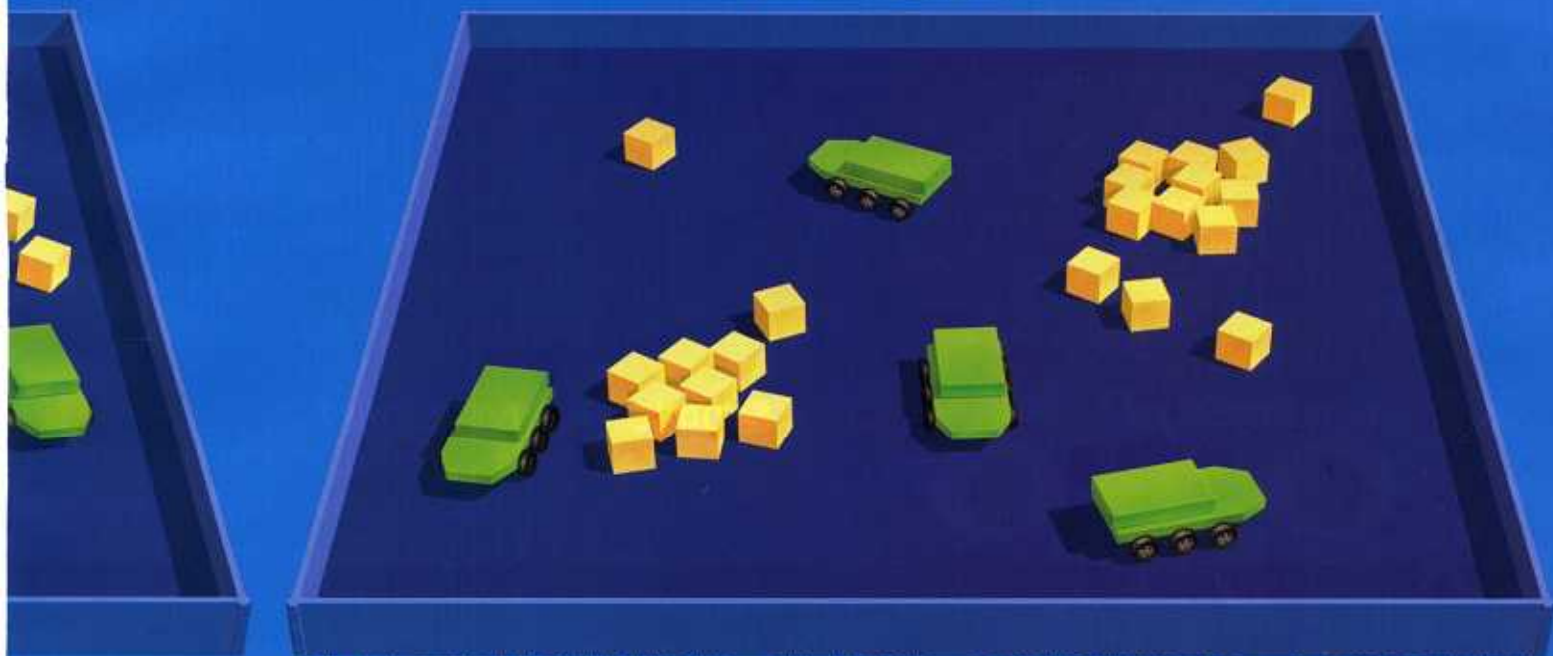
國吉教授が語る。「このロボットには、寝返りやはいはいのプログラムは一切入っていません。身体と環境との作用を通じて、ある意味では原始的な意図のようなものが生みだされたと言えるかもしれません。身体をもち、その身体で外界と相互作用しながら学習するロボットなら、その身体の特徴

にもとづいた意識が生まれる可能性はあると考えています」。

國吉教授がつづける。「赤ちゃんロボットでは、様々な感覚と運動が身体を通して相互に影響し合うことで全体的な行動が発生し、自発的に維持され、それが個々の感覚や運動にも影響します。これは、意識が発生する原理と同じではないかと考えています。ただし、もう一步進めて、主観的な意識経験を問題とするハード・プロブレムをさらに掘り下げるためには、これまでの科学のあり方とはちがう方法をとらなければならぬのかもしれませんが、私自身も、そのようなことに取り組みたいと考えているのですが、その方法は確立できていないのが現状です」。意識の研究は、科学のあり方さえも変えてしまう可能性を秘めているのかもしれない。

※：Rolf Pfeifer & Christian Scheier, 『知の創成』, 共立出版, 2001 による

障害物がかたづけられた



ロボットは、正面にある障害物は感知できない。走りまわるうちに、障害物を押す機会ができる。ロボットが、障害物を押しながらほかの障害物のそばを通り抜ける際、左ページで示したようなしくみにより、自分が押している障害物をほかの障害物のそばに置き去りにする。このようなことがくり返され、障害物が集められていく（かたづけられる）。なお、このロボットは、スイスのロルフ・ファイファー教授によって報告されたものである。ちなみにセンサーの位置を変えると、“かたづけ”はできない。

自発的にはいはいをする赤ちゃんロボット



赤ちゃんロボットは、はいはいのような動きも見せた。関節の位置や筋肉の動きなど、身体の特性は決まっていることから、國吉教授は、「うつぶせの状態です足を動かしていけば、そのうちはいはいのような動きになるのは自然なことかもしれない」と語る。

研究を進めるための準備は、着実に整いつつある

ここまでたびたび「意識のハード・プロブレム（むずかしい問題）」が登場してきた。おおまかにいえば、物質である脳から、どのようにして個人的、主観的な意識経験が生まれているのかという問題である。

ハード・プロブレムとは、「クオリア」の問題でもある。クオリアとは、「リンゴの赤い感じ」とか、「笛のピーッという音の感じ」とか、「タンスに足の小指をぶつけたときの痛い感じ」など、各個人が主観的に感じる「質」のことである。つまり、私たちが日常的に、ごく当たり前に経験していることだ。

あなたのクオリアと友人のクオリアは同じ？

さて、たとえば目の前にリンゴがあり、あなたはリンゴの赤いというクオリアを感じているとしよう。この過程を、現在の科学がどこまで解明できているかを考えてみる。

リンゴに光が当たると、光の一部は吸収され、一部は反射される。この反射される光が眼の網膜^{もうまく}に届くことで、私たちはリンゴを見ることができる。リンゴから反射される光は700ナノメートル（ナノは10億分の1）前後の波長のものが多い。網膜の視細胞^{しさいぼう}は複数の種類があり、光の波長に応じて反応の強さが決まっている。

リンゴを見た際には、700ナノメートル前後の波長の光に強く反応する視細胞が、リンゴからの光を受けて活動する（信号を脳に送る）。さらに、脳に送られた信号は、後頭葉から側頭葉、あるいは頭頂葉などを経て、色や形、位置や動きなどの要素ごとに処理されていく。ここまでの過程は、かなりのことが解明されている。

問題はこの後のステップである。このようにして処理され、送られてきた電氣的、化学的な信号から、いかにしてあの赤い感じが生みだされ、あなたの意識にのぼるのだろうか。

リンゴが反射した光自体が「赤い感じ」をもっているわけではない。また、脳内で処理され伝えられる信号も、単なる電氣的、あるいは化学的な信号であるので、「赤い感じ」をもっているわけではない。それなのに私たちは「赤い感じ」、つまりクオリアを、ありありと感じるのである。

困ったことに、この問題に答えようとしても、クオリアというものは個人の主観的な感じ方であるため、ほかの科学的な研究のように、客観的なかたちで計測するのがむずかしい。たとえばあなたが感じているリンゴの赤い感じと、あなたの友人が感じているリンゴの赤い感じは同じだろうか。これは確かめようがないだろう。これが、ハード・プロブレムが「ハードな（むずかしい）」理由の一つである。

脳の中に「私」がいるのか？

いっそのこと、脳の中には「小人」が住んでいるとでも考えてみたらどうだろう。この小人が外界からの情報をチェックすることによって赤いリンゴを見て、私たちがリンゴを赤いと感じているのなら、ハード・プロブレムに頭を悩ませる必要も、ある意味ではなくなるかもしれない。

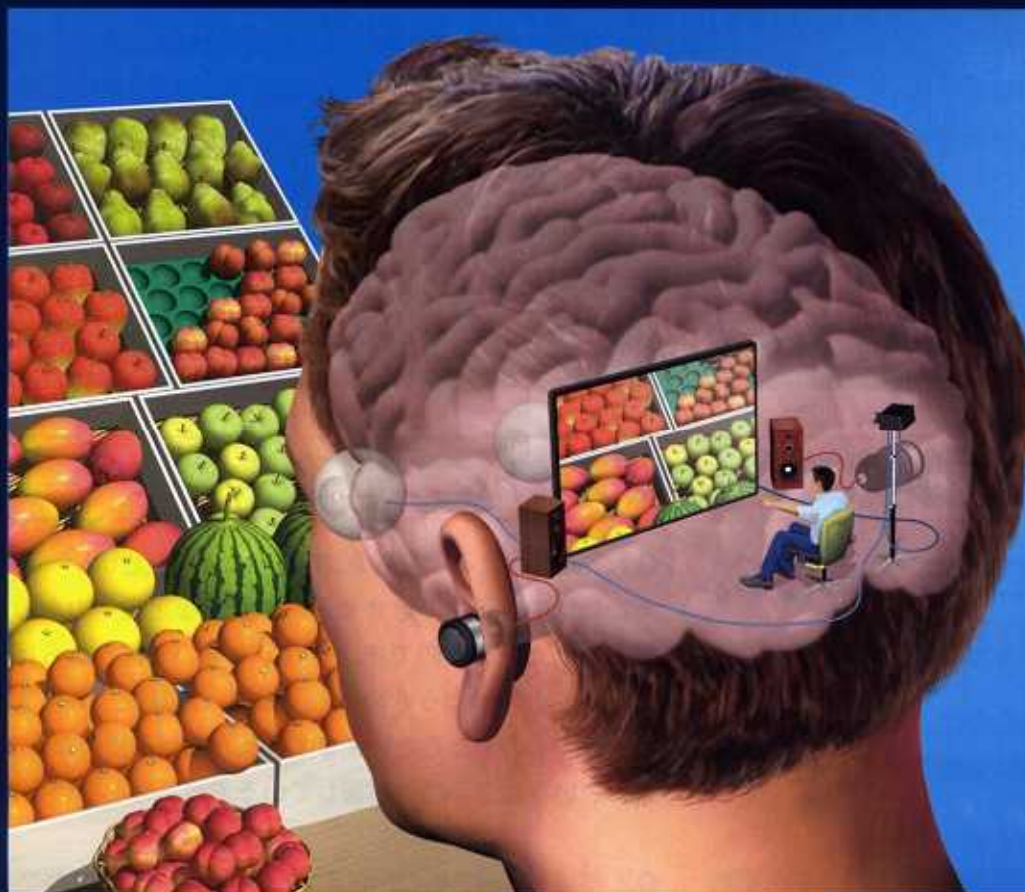
そんなばかなと思うだろう。実際、脳の中に小人など存在しない。しかし同じような誤りをおかす危険性が、脳科学の分野では常につきまとっているという。脳の中に「小人」がいるといういい方は、否定したい気持ちが強くなるかもしれない。では、脳の中に「私」がいるといわれれば、どうだろう。これは、多くの人の実際の感じ方に近いのではないだろうか。

この「私」の正体として、たとえば「魂^{たましい}」のようなものを想定するのであれば、それは脳の中に小人がいるという考

友人の「赤」はあなたの「緑」？



あなたの「赤」と友人の「赤」が同じである保証はない。たとえばリンゴを見て、あなたは「赤い」と感じ、友人も「赤い」と感じていると答えたとしても、言葉を聞く限りは、両者のクオリアに差はみられない。ところがひょっとすると、あなたの頭の中と友人の頭の中では「赤」と「緑」が逆転しており、友人はリンゴを見ると、あなたにとっての「緑」のクオリアを感じているかもしれない。しかし友人にとっては、それは「赤」とよぶ色にほかならない。仮にこのようなクオリアのちがいがあったとしても、クオリアは主観的なものであるため、そのちがいにきづくことも、測定することも、困難である。このように、クオリアは客観的に分析することができないため、科学的な研究がむずかしいのである。なお、実際にこのようなクオリアの個人差が生じるのかは不明である。



脳の中に「私」？

脳の中には意識の統括者である「私」あるいは「小人」が存在し、外界のようすをチェックしているという発想をえがいた。アメリカの哲学者であるダニエル・デネット博士が、デカルトのような二元論的な発想を批判するために提唱した概念であり、「デカルト劇場」とよばれている。このような発想は、現在の脳科学にもまぎれこんでいる場合があり、注意が必要である。

なお、デカルトに代表されるような脳と精神を別々の実体によって説明しようとする二元論は、「実体二元論」とよばれている。これに対して、意識や心は脳の活動によってすべて説明できるという立場は、「物理主義」とよばれている。

えと本質的に差はない。このような、脳（物質）と精神を分けて考える「二元論」的な発想は、意識が科学の対象となるよりもずっと以前から、哲学の分野で受けつがれてきた。たとえばフランス生まれの自然哲学者、ルネ・デカルト（1596～1650）は、脳と精神は、別々の実体をもつものだと考え、脳の中の「松果体」という部分で、脳と精神が相互作用するという説をたてたことが知られている。

デカルトのような脳と精神を区別する二元論は、意識を科学的に説明することをあきらめた立場であるともいえる。ややこしいことに、このような二元論的な発想は、意識を脳の活動のみによって説明しようとしている現在の脳科学者の間でも垣間見られることがあるという。

たとえば、「脳のうち、ある特定の領域が意識を生みだしている」という説明がそうだ。この場合、その領域が意識と関係あることは事実だとしても、「どのようにして意識を生みだしたのか」については説明できていない。つまり、その領域が「小人」であるという主張と本質的には同じであり、ハード・プロブレムを本当の意味で解決したことにはならないというわけだ。

ただし、「ハード・プロブレムやクオリアの問題は存在しない」という考え方もある。そもそも問いの立て方がまちがっているという立場だ。

意識の外堀から埋めていく

いずれにせよ、意識のなぞにせまるには、36～39ページで紹介したような、NCC（意識と相関する神経活動）を地道に探していくのが一つの有効な方法であるということについては、多くの脳科学者の一致した見解である。

ただしNCCと意識との関係は、あくまでも「相関」である。NCCが意識を生みだしているのかわかりはわからないし、仮にそうであったとしても、意識のハード・プロブレム（クオリアの問題）に答えたことにはならないのである。

しかし、NCCを発見し、分析していくことで、意識というものに対して、外堀からうめていくようにせまっていくことは可能だと期待されている。たとえばもしNCCに共通するニューロンの構造や回路のつながり方があれば、それを糸口に、意識が生まれるための条件を解明できる可能性もあるだろう。

脳の活動をとらえる技術は進歩

ところで、NCC とは、具体的には何を指しているのだろう。「意識と相関する神経活動」とはいうものの、どのくらいの数のニューロンが連携した活動なのだろうか。

また、仮に NCC をにやうニューロンの回路の構造が完全に把握できたとして、その回路内でおきている神経の活動の、

何が本質的に重要なのだろうか。ニューロンが信号を送る頻度（強度）だろうか。あるいは、信号をやり取りするタイミング（パターン）だろうか。現在のところ、これらの疑問に対する見解はさまざまであり、統一されるにはいたっていない。科学にのっとった意識の研究は、はじまったばかりなのである。

大きな問題として、脳の活動をとらえるための実験技術が、

特別 Q&A 下條信輔教授 カリフォルニア工科大学

意識は科学的なアプローチをこぼむ。しかし徐々に解明されるだろう

意識研究の今後はどうなっていくのか。第一線で活躍するカリフォルニア工科大学の下條信輔教授に、七つの質問に対して答えてもらった。



下條信輔

カリフォルニア工科大学生物学部教授。脳波や fMRI、心理物理学パラダイムなどを活用し、知覚や意志決定の潜在メカニズム、乳児の認知発達などを探究している。著書に「サブリミナル・インパクト」など。

Q1. 先生の考える、意識の定義を教えてください。

A1. 意識の定義はできません。学問的な定義そのものが問題をはらんでいるのです。それでも強いて言うならば、意識とは、心のはたらきのうち、潜在（無意識、無自覚）過程以外のものであるといえます。私たちが日常のなかで「意識」という語で漠然と把握しているすべて、ともいえます。

Q2. 意識を解明するのがむずかしいのは、なぜですか？

A2. 一つは上のように、意識の定義そのものがないということです。もう一つ、意識は主観的であるため客観的、科学的なアプローチをこぼむように見えることも意識の解明をむずかしくさせています。

Q3. 何を明らかにすれば、意識を解明できたと言えると思いますか。意識解明のゴール設定とは？

A3. これもむずかしい質問です。意識と、意識以外の、生物学的に重要な機能との関係をフルに解明することができれば、意識を解明できたと言えるのではないのでしょうか。具体的には、作業記憶（ワーキングメモリー）、注意、反身的行動、意図的な行為、無意識な過程をにやう潜在的な神経活動、身体や環境と脳との関係性などです。

Q4. 意識の解明を目指すために、どのような手段が有効だと考えていますか。

A4. たくさんのニューロンの活動を同時に精度よく測定するための新しい神経科学テクノロジーが必要なのはいうまでもありません。それと同時に、問題を思想的に掘り下げることによって、その問題をアプローチが可能な問題として再整理することが前提となるでしょう。

まだ十分とはいえないということがあげられる。たとえば脳の活動を画像化するfMRIは、脳のどの「領域」が活発に活動しているかということ、脳や体を傷つけることなく測定できる。しかしfMRIでは、ニューロンの活動を個別に測定することはできない。

逆に、サルやマウスなどの動物の脳に電極を差せば個別のニューロンの活動、つまり電気信号を送り出す「発火」現象

を測定することはできる。ただしそれは脳全体からみれば、ごくわずかなニューロンの活動を把握したにすぎず、意識にせまるには十分とはいえないという。

しかし実験技術は進歩をつづけており、数百個のニューロンの活動を同時に記録することも可能になりつつある。また、遺伝子操作技術の進展により、特定のニューロンの活動を実験のときだけ停止させてその影響を調べる、といったことも一部では実現している。研究を進めるための準備は着実に整いつつあるのだ。

Q5. 将来、コンピューターに意識が宿る可能性はあると考えていますか。

A5. コンピューターだけを考えるのであれば、意識が宿ることは無いと思います。ただし、ロボットのように、コンピューターを含む、より大きな身体システムに意識が宿る可能性は、もちろんあると考えています。

Q6. 物質である脳から、いかにして意識が生みだされているのかという「意識のハード・プロブレム」を、科学によって解明できる可能性はあると考えていますか。

A6. ある、と考えています。なぜなら、意識、たとえば、知覚のクオリアがハード・プロブレムだという認識そのものに誤解があると考えているからです。一言では説明しにくいのですが、まず第一に、ハード・プロブレムは、たかさんのサブ問題のあらい集合にすぎず、その一部は明らかに「イージー」であると考えています。第二に、一見「ハード」に見える場面には必ず外界との相互作用が必要とされているのに、それを無視していることがあげられます。第三に、たとえば「赤色のクオリア」のように一見「ハード」に見えるときも、実は知覚内容は、差異のネットワーク（緑や青とはちがうが、オレンジには近い、など）に支えられている（クオリアの差を生み出す元となる神経回路はある）ということです。

Q7. 意識の解明というゴールは遠いと感じていますか、近いと感じていますか。そしてあと何年すれば、意識を解明できると感じていますか。

A7. 1年という短い間にも多くの発見があるでしょうし、同時に、100年たっても完全な解明には至っていないかもしれません。意識は、ある日突然というわけではなく、じわじわと解明されていくのではないのでしょうか。

かつての遺伝のなぞと同様、意識も解明される？

NCCの探究を進めるべきであると提唱したコッホ博士は、著書『意識の探究』（岩波書店）の中で、こうのべている。

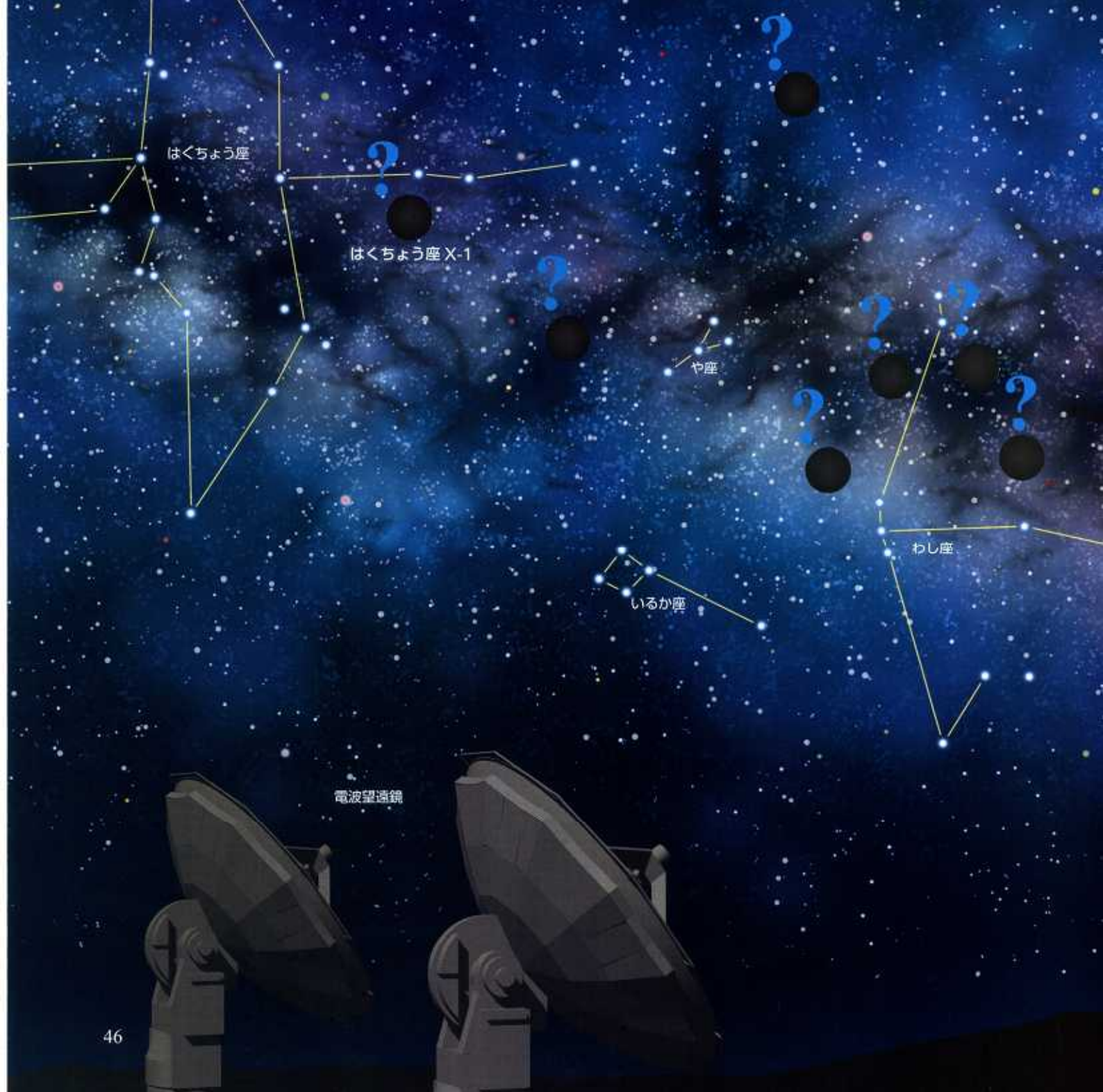
「NCCの発見が意識の探究について果たす役割という意味では、DNAの発見と生命にまつわる謎との関係がもしかすると良い例になるかもしれません。DNAが二重らせん構造を持っていることが解明されたことで、どれくらい遺伝の仕組み、すなわち、分子がどうやって複製を作っているかが明らかになったか思い出してください。～中略～ 遺伝情報はどう表現されているか、どう複製されるのか、そしてどう次の世代へと受け継がれていくのか、一気に遺伝の謎、生命の謎を解く鍵が示されました。遺伝のメカニズムは、DNA分子の構造を知らなかったそれ以前の世代の化学者や生物学者には、絶対に思いもつかなかったはずで、同じようなことが、意識の謎についても起きるかもしれません。ある特定の意識的知覚が、どの脳部位にあるニューロン集団によって生成されるのか、そのニューロン集団はどの部位へ出力を送って、どこから入力を受け取るのか、どんな発火パターンを示すのか、生後から成体になるまでの発達過程ではどうなっているのか。これらがわかれば、意識の完全な理論へとつながるブレイクスルーをもたらすかもしれません」。

特集の冒頭で、意識の解明を登山にたとえた。脳という複雑な装置は、まるで雲のようにその行く手を隠している。しかし脳科学者は、それぞれのルートから果敢に登山をつづけている。

いつの日か雲が晴れ、頂上にたどり着く日が来るものと期待したい。そのとき頂上から見下ろした風景は、現在の人間観、世界観をぬりかえるほどのインパクトをもっていることだろう。

ブラックホールって 本当にあるの？

確証なき「黒い穴」。その観測史と最新観測法



「黒い穴」を意味するブラックホール。『Newton』でもしばしば登場するこの有名な天体は、存在するのが当然のように語られることが多い。しかし実は、ブラックホールが実際に存在するかどうか、まだ確証はない。理論や観測をもとに存在が確実視されてはいるものの、ブラックホールを直接的に観測できているわけではないのである。ではなぜ、科学者たちは「ブラックホールはある」と考えているのだろうか？ 直接“見て”確認することはできるのだろうか？

協力
嶺重 慎

京都大学大学院理学研究科教授

原田知広

立教大学理学部准教授

三好 真

国立天文台電波研究部助教

天の川にはブラックホールがいくつもある？

夜空に横たわる天の川は、1000億個以上の恒星からなる天の川銀河を内部からながめた姿だ。上のイラストは、夏の天の川の一部をえがいたもので、黒い球体は、ブラックホールだと考えられている天の川銀河内の代表的な天体を示している（大きさは誇張しており、位置はおおよその場所）。イラスト左上の「はくちょう座X-1」は、太陽の9倍以上の質量をもつブラックホールだと考えられている。イラスト右下の天の川銀河の中心部に位置する「いて座A*」は、太陽の約400万倍にもおよぶ巨大な質量のブラックホールだと考えられている。

ブラックホールの存在は、主にX線や電波の観測により検証されてきた。イラスト左下が地上の電波望遠鏡である。一方、X線は地上にほとんど届かないため、大気圏外の天文観測衛星を使って観測する。ただし、どの方法でも、今のところ“ブラックホールそのもの”が観測されているわけではない。

背中側にある銀河

銀河 A
(実際の方角)

銀河 A
(宇宙飛行士の見る像)

宇宙飛行士が見る全天
(せまい円の中に集中)

実際に光が
届いた方角

背中側の銀河から
曲がって届く光

光が届いたと
認識される方角

密度が「無限大」

ブラックホールの中心には、質量が1点(体積ゼロ)に集まった「特異点」があることが理論的にみちびかれている。体積がゼロということは、特異点の密度(質量 ÷ 体積)は無限大になってしまう。

特異点

吸いこまれる光

ブラックホールに背を
向けた宇宙飛行士

背中側の星空が見える

ブラックホールは強大な重力で光を曲げる。そのため、ブラックホールに背中を向けて空を見上げたとしても、背後からの光も曲がって目に届く。ヒトは曲がって届いた光でも前方からまっすぐ届いたように認識するため、全天がせまい領域に集中して見えることになる。

光を飲みこむ

強大な重力で自然界の最高速度をもつ光すら吸いこみ、吸いこまれた光は出てこれない。そのため、ブラックホール自体は光を放たず、「黒い穴」のように見えると考えられている。

なぜ「ブラックホールが存在する」といえるのか？

前ページで、ブラックホールの奇妙な性質の数々を紹介した。このような天体が、なぜ存在すると考えられているのだろうか？ 実はブラックホールは、消去法によって「存在するとししか考えられない」とされている天体なのである。

18世紀末、「見えない星」として予言された

もともとブラックホールは、理論的に予言された天体だ。重力に関する二つの理論、ニュートンの万有引力の法則と、アインシュタインの一般相対性理論それぞれによってみちびかれる、「計算結果」なのである。

まず、18世紀末の科学者たちは、ニュートンの万有引力の法則にもとづいて「光でさえ脱出できない星」を考えたと。つまり、光を放たず見えない星だ。これがブラックホールの概念である。

天体の表面にある物体が受ける重力は、天体の密度（質量 ÷ 体積）が高いほど強い。つまり、天体の質量が大きいほど、また天体の体積が小さいほど、重力も強い。ロケットの打ち上げを考えればわかるように、物体に十分な速

度があれば、重力に打ち勝って天体から脱出できる。しかし、同じ体積のまま天体の質量を大きくしたり、同じ質量のまま天体の体積を小さくしたりすれば、重力が大きくなって光の速さをもってしても脱出できなくなるだろう、と考えられたのである。

1916年、相対性理論も「見えない星」を予言した

次に、一般相対性理論の基本をなすアインシュタイン方程式の計算でも、「見えない星」が予言された。一般相対性理論は、ニュートンの万有引力の法則を精密化したきわめて正確な重力理論で、1915～1916年に完成した。

ドイツの数学者カール・シュバルツシルト（1873～1916）は、アインシュタイン方程式から一つの解をみちびいた。その解は、次のことを意味する。「質量をせまい領域に集中させていくと、時空が極限までゆがんで、光さえ脱出できない領域ができあがる」。たとえば、太陽を押しつぶしていくと、光が脱出できない半径約3キロメートルの領域ができる、と計算される。

ブラックホールの条件①【巨大な質量】

太陽の1.4倍の質量



白色矮星？

この重さでは中性子星としてしか存在できない

中性子星

太陽の3倍の質量



中性子星？

この重さではブラックホールができる？

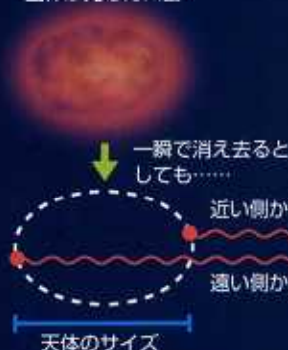
ブラックホール

大きな質量が小さなサイズ（体積）に押しこめられて極端に高密度になると、ブラックホールができると考えられている。実際、サイズの小さな星である「白色矮星」と「中性子星」の質量には、上限があるとされている。ある質量より大きいと、星の形を支える力より星自身の重力が大きくなって、つぶれてしまうのだ。

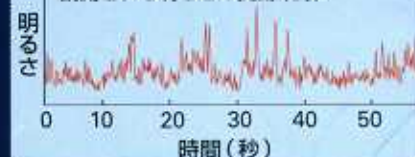
白色矮星は地球程度のサイズで、太陽の約1.4倍の質量が限界だとされる（イラスト上段）。この質量をこえる星は、半径10キロメートルほどの中性子星としてしか存在できないという。中性子星はせいぜい太陽の約3倍の質量が限界とされ、それをこえるとブラックホールができるといえる（イラスト下段）。たとえば「はくちょう座X-1」の質量は、少なくとも太陽の約9倍だと見積もられている。なお、天体の質量は、周囲の天体の軌道や運動のしかたから見積もることができる。

ブラックホールの条件②【小さなサイズ】

全体が光るガス雲



観測される明るさの変動（例）



明るさの変動には時間幅が生じる

質量の大きな天体であっても、小さなサイズ（体積）で密度が高くないと、ブラックホールだとは考えにくい。天体のサイズは、観測される明るさ（光度）の変動から見積もることができる。

仮に、全体が光っているガス雲が一瞬で消え去るといふ極端な例を考えよう（上のイラスト）。たとえ一瞬で消え去っても、ガス雲の中で衛星に近い側の光と、衛星から遠い側の光では、衛星に届くまでに時間差が生じる。これが、明るさ変動の時間幅として観測される。実際には一瞬（時間幅0）でも、時間幅のある現象として観測されるわけだ。その時間幅は、「天体のサイズ ÷ 光速」となる。これは、観測される明るさの変動幅の「最小値」だといえる。つまり「天体のサイズ ÷ 光速 ≤ 明るさ変動の時間幅」である。この式を変形すれば「天体のサイズ ≤ 明るさ変動の時間幅 × 光速」と同じことだ。そのため、天体のサイズの上限が、明るさ変動の時間幅から推定できることになる。

はくちょう座X-1の場合、明るさ変動の時間幅は数ミリ秒と短い。この時間幅に光速を掛け算すると、はくちょう座X-1のサイズの上限は数百キロメートルだと推定できる。太陽のサイズは約140万キロメートルもあり、太陽の約9倍の質量をもつとされるはくちょう座X-1は、きわめて高密度であるとわかる。

しかもシュバルツシルトの計算結果では、光が脱出できない領域の中心の1点において、重力と密度が「無限大」になってしまう。密度が無限大の状態など、想像できるだろうか？ 実際、無限大の点（特異点）ではすべての物理法則がなりたたなくなってしまう。そのため、多くの科学者は、特異点などというものをもちブラックホールの存在を、すぐには認めなかったという。

極端に重い星からブラックホールが誕生する？

現在では、天文学者や物理学者たちは、極端に重い恒星は最終的に「ブラックホール」に行き着くのではないかと考えている。なぜそう考えるようになったのだろうか？

太陽のような恒星は、質量のちがいによって“晩年”に白色矮星、中性子星などのことなる運命をたどると考えられている。白色矮星は、太陽程度の質量をもつ恒星が最後に行き着くとされる暗い星で、地球ほどの体積に太陽程度の質量がつめこまれている。1931年、ある質量より大きな白色矮星は存在できないことが理論的に示された。さらに1939年、白色矮星より小型で重い中性子星もまた、ある質量より大きくはなれず、その上限質量をこえた星はブラックホールになる、との結論も理論的に得られたのである（左ページ左下のイラスト）。

ブラックホールとしか考えられそうもない天体を発見

現実の宇宙にブラックホールが存在するかもしれない、と観測的に示されたのは、1960年代後半以降のことである。一見ふつうの星のようにみえるが、星だと考えると説明のむずかしい天体が数多く発見されたのだ。

たとえば、強いX線を主に放つ天体である。X線は、肉眼では見えない光（電磁波）であり、数千万℃もの高温の物体から多く放たれることが知られている。普通の恒星はそれほど高温に達しないため、強いX線を放つ天体の正体が恒星だとは考えにくい。これが、恒星以外の何か、つまりブラックホールだと考えられることとなった。

その代表例が、「はくちょう座X-1」だ。はくちょう座X-1は、可視光でみると一見、一つの青い恒星である。しかし実は、はくちょう座X-1は、青い恒星と、可視光では見えない強いX線を放つ天体のペアだった。X線を放つ天体の質量は、太陽の質量の少なくとも約9倍と見積もられた。これは、白色矮星の上限質量はもちろん、中性子星の上限質量をもこえている。

加えて、はくちょう座X-1が放つX線は、短い時間で

はくちょう座X-1のブラックホールはどんな姿？



はくちょう座X-1のX線観測画像

はくちょう座X-1のような、二つの天体がペアをなす「連星系ブラックホール」の想像図。ブラックホールとされる天体の周囲には、ペアとなる恒星からのガスが流れこんで円盤状の構造（降着円盤）ができると考えられている。また、円盤の中心からガスが噴き出す場合もあるとされる。観測されているのはブラックホール自身ではなく、降着円盤や噴きだしたガスが放つ光（電磁波）である。

明るくなったり暗くなったりする。この変動からは、天体のサイズの上限が推定できる（左ページ右下のイラスト）。見積もられるはくちょう座X-1のサイズは、数百キロメートル以下と極端に小さい。つまり、大きな質量が小さな領域に集まっていることになり、はくちょう座X-1はブラックホールだろうとはじめて認定されたのだ。

ブラックホールの姿を説明するモデルもできた

ところで、ブラックホールは光さえ飲みこむはずなのに、どうして強く輝くのだろうか？ それは、ブラックホールのまわりのガスが、光を放つからだと考えられている。それをあらわすモデルが、「降着円盤」である（上のイラスト）。

降着円盤とは、ぐるぐると公転しながら吸いこまれるガスの円盤だ。まわるあいだにガスどうしに摩擦がはたらき、高温になって光が放たれる。ガスが一気に吸いこまれるとすると、ガスの量が十分たまらず、あまり明るく輝かないが、ガスが天体をぐるぐるとまわりながら吸いこまれると考えれば、ガスの量が十分な密度に達して明るくなるのだ。

理論での計算結果として登場したブラックホールは、こうして現実の天体として存在することが現実視されるようになった。しかし、あくまで「ブラックホールが存在する」と考えればうまく説明できる」という状況であり、現在でも、ブラックホールが存在することを直接的に示す証拠が得られているわけではないのである。

銀河の中心にもブラックホールがある？

前ページでみたように、巨大な質量がせまい領域に存在することが、ブラックホールの条件である。一般相対性理論や恒星進化の理論では、太陽のせいぜい十数倍の質量までのブラックホールしか予言されていなかった。

しかし1960年代以降、さまざまな波長の光（電磁波）の観測結果を組み合わせることで、いくつかの銀河の中心のせまい領域に「ジェットを噴きだす、巨大な質量をもつ何か」があることが徐々にわかってきた。それこそが、太陽の100万倍以上もの質量をもつ、超大質量のブラックホールだと考えられている。

近年では、ほとんどの銀河の中心領域に、超大質量のブラックホールが存在すると考えられている。銀河どうしが合体するなどして成長していく過程と、超大質量ブラックホールには密接な関係があることがわかってきつつあるのだ。たとえば、銀河中心のふくらんだ部分（バルジ）の質量が大きいほど、中心領域のブラックホールだと考えられる天体の質量も大きいことが報告されている。

このページのイラストでは、数々の観測結果やシミュレーションによって明らかになりつつある、ブラックホールとその周辺の姿をえがいている。



我々の天の川銀河にも、超巨大なブラックホールがある？

上の画像は、超大質量ブラックホールだと考えられている「いて座A*（画像中央の明るい領域）」の周囲のシミュレーション画像である。周辺の複数の恒星を20年近く追跡した観測結果をもとにつくられた。青線が恒星の軌道を示しており、天体の位置は2011年のものである。恒星の軌道の形と質量がわかれば、中央のどれくらいの広さの領域に、どれほどの質量が集中しているのか、見積もることができる。その結果、いて座A*は、地球から太陽までの距離よりせまい範囲に、太陽の約400万倍もの質量が集中した天体だと推定されたのである。

画像内の赤線は、いて座A*に近づきつつあるガス雲の軌道だ。2013年以降、ガス雲の一部はブラックホールに飲み込まれると予測されている。この画像は、南アメリカ、チリにあるヨーロッパ南天天文台の大型望遠鏡「VLT」を使った赤外線観測をもとに作成された。

銀河の中心にもブラックホールがある？

前ページでみたように、巨大な質量がせまい領域に存在することが、ブラックホールの条件である。一般相対性理論や恒星進化の理論では、太陽のせいぜい十数倍の質量までのブラックホールしか予言されていなかった。

しかし1960年代以降、さまざまな波長の光（電磁波）の観測結果を組み合わせることで、いくつかの銀河の中心のせまい領域に「ジェットを噴きだす、巨大な質量をもつ何か」があることが徐々にわかってきた。それこそが、太陽の100万倍以上もの質量をもつ、超大質量のブラックホールだと考えられている。

近年では、ほとんどの銀河の中心領域に、超大質量のブラックホールが存在すると考えられている。銀河どうしが合体するなどして成長していく過程と、超大質量ブラックホールには密接な関係があることがわかってきつつあるのだ。たとえば、銀河中心のふくらんだ部分（バルジ）の質量が大きいほど、中心領域のブラックホールだと考えられる天体の質量も大きいことが報告されている。

このページのイラストでは、数々の観測結果やシミュレーションによって明らかになりつつある、ブラックホールとその周辺の姿をえがいている。



我々の天の川銀河にも、超巨大なブラックホールがある？

上の画像は、超大質量ブラックホールだと考えられている「いて座A*（画像中央の明るい領域）」の周囲のシミュレーション画像である。周辺の複数の恒星を20年近く追跡した観測結果をもとにつくられた。青線が恒星の軌道を示しており、天体の位置は2011年のものである。恒星の軌道の形と質量がわかれば、中央のどれくらいの広さの領域に、どれほどの質量が集中しているのか、見積もることができる。その結果、いて座A*は、地球から太陽までの距離よりせまい範囲に、太陽の約400万倍もの質量が集中した天体だと推定されたのである。

画像内の赤線は、いて座A*に近づきつつあるガス雲の軌道だ。2013年以降、ガス雲の一部はブラックホールに飲み込まれると予測されている。この画像は、南アメリカ、チリにあるヨーロッパ南天天文台の大型望遠鏡「VLT」を使った赤外線観測をもとに作成された。

ジェット



注：イラストは画像中央のごくごくわずかな領域にあたる

ブラックホールはジェットを噴く

上の画像は、太陽系から約1200万光年先にある銀河「ケンタウルス座A」をとらえたものである。電波と可視光の観測結果を重ね合わせたもので、画像中央から左上と右下に向かって噴きだしてみえる部分が、電波で観測された「ジェット」である。このジェットの長さは100万光年以上もあり、きわめて大量の物質が噴きでている。こうした観測結果から、銀河の中心にあるブラックホールは、吸いこみきれない大量の物質をジェットとして噴きだすと考えられている。

標準円盤

高温降着流

降着円盤
(高温降着流+標準円盤)

ブラックホール
(自転している)

観測結果とシミュレーションから明らかになってきた、ブラックホールの姿と、その周囲のようすをえがいた。このブラックホールは自転しており、周囲には、ぐるぐると公転しながら吸いこまれていくガスでできた「降着円盤」がある。降着円盤は、10万～1000万℃で薄い「標準円盤」の部分と、10億～1000億℃でドーナツ状をした「高温降着流」の部分からなると考えられている。円盤に垂直な2方向には、ほぼ光速にまで加速されたガスが噴きだす（「ジェット」という）。標準円盤と高温降着流の境目の状態は、よくわかっていない。多くの銀河の中心領域には、このような超大質量のブラックホールがあると考えられている。なお、質量の小さなブラックホールも、基本的には同じ姿だと考えられている。

ブラックホールは存在しないかもしれない

ブラックホールが存在する直接的な証拠はないが、さまざまな間接的な証拠による裏づけが進められている。たとえば、恒星からブラックホールができる過程は計算されている。しかし実は、「ブラックホールはできない可能性がある」と、理論的には考えることもできる。

ブラックホールは、どうやって誕生^{たんじょう}すると考えられているのだろうか？ 太陽の約25倍以上の質量をもつ恒星は、

最後にブラックホールになると考えられている。輝くための燃料が尽きた恒星では、自身の重力でつぶれないように恒星を支えていた内部の圧力が弱まる。そして最終的に重力によって、恒星の核がずぶずぶと急激^{きゅうげき}につぶれる（重力崩壊）。このとき、密度が無^む限大の「特異点」ができ、その周囲に光さえのがれられなくなる境界である「事象の地平面」がつくられることになる。これがブラックホールだ。

「一見ブラックホール」な天体たち

恒星（太陽の25倍以上の質量）の核が重力崩壊してブラックホールができる過程（イラスト左部分）は、アインシュタイン方程式を使った計算でよくわかっている。一方、さまざまな仮定や理論にもとづけば、ブラックホールに見えるが実はことなる天体ができる可能性も、理論上は考えられる。

ブラックホール

重力崩壊した恒星（太陽の25倍以上の質量）の核は、最終的にブラックホールになると考えられている。ブラックホールには、それより内側では光すらのがれられなくなる「事象の地平面」と、物質の密度が無^む限大の「特異点」がある。ちなみに、現実の天体としては、自^{みづか}転しない「シュバルツシルト・ブラックホール」と、自^{みづか}転する「カー・ブラックホール」があるとされている。

恒星

重力崩壊する恒星の核

事象の地平面

特異点

裸の特異点

周囲に事象の地平面をともしない状態の特異点。この場合、特異点は外から“見える”ことになる。理論上存在する可能性が指摘されている。一部の研究者は、ブラックホールができる^{はくはく}ときの爆発現象だと考えられている「ガンマ線バースト」は裸の特異点がおこす現象なのではないか、との見方を示しているという。ただし、観測的な証拠はない。

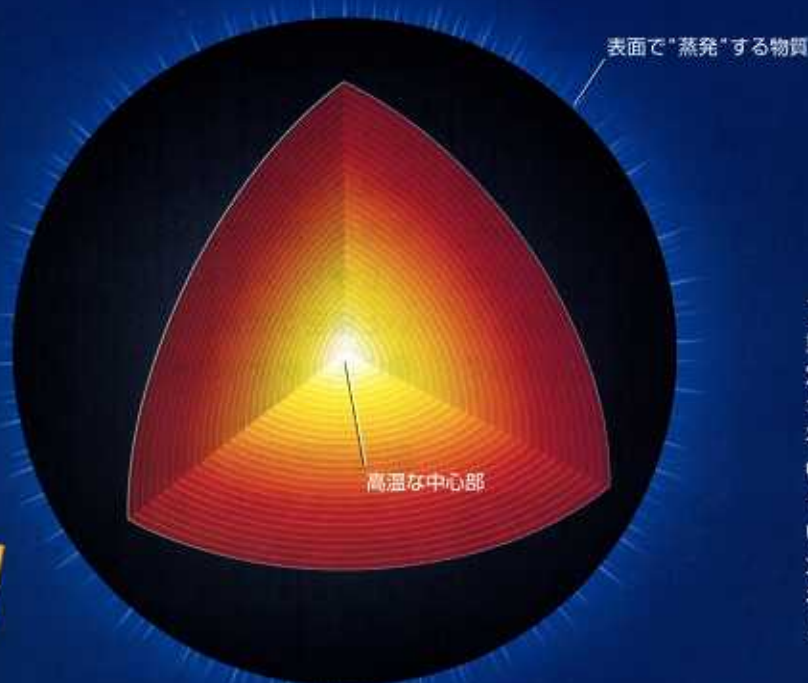
特異点

この過程の計算には、精密な重力理論である一般相対性理論の^{アインシュタイン}方程式などが使われる。

アインシュタイン方程式とブラックホールの関係に詳しい立教大学理学部の^{はら}原田知広博士によると、アインシュタイン方程式の解としては、「一見ブラックホールのように見える別の天体」もありうるという。たとえば、重力崩壊がゆっくりおきると考えた計算では、^{ひしう}微小な世界での重力の特殊な効果によって、物質は1点につぶれず、きわめて暗い星「ブラックスター」として形を保てる可能性が

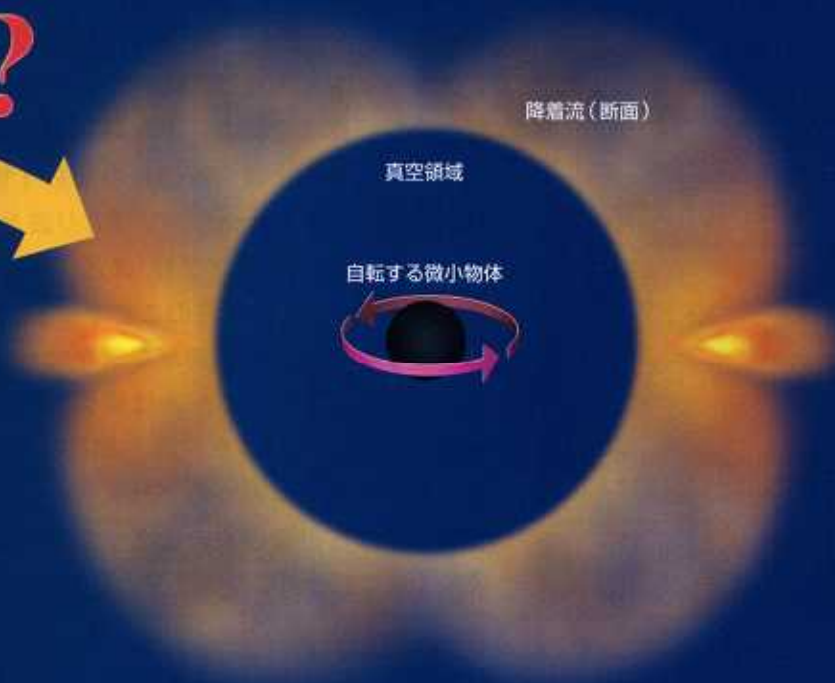
^{してき}指摘されている。また、密度が無限大で事象の地平面をともしない「裸の特異点」や、超高速で自転する有限密度の物体が特異点とおきかわった「スーパースピナー」も理論的に考えられている。

現在のところ、こうした天体のうち観測で証拠が得られたものはなく、「ブラックホールが存在する」と考えるのが主流の見方だ。しかし同時に、一見ブラックホールに見えるけれどもそうではない天体が、理論的にはいくつも考案されていることもまた、事実なのである。



ブラックスター

重力崩壊がゆっくりおきると仮定した計算によって出現が予想される理論上の天体。事象の地平面をもたない。内部の物質は中心に近いほど高温で、表面からはわずかに物質が“蒸発”しているという。微小な世界での重力の特殊な効果で、1点につぶれる前に崩壊がとまり、天体として安定できるとされている。



スーパースピナー

超高速で自転する直径 10^{-35} メートルの微小な物体と、その周囲の真空領域からなる理論上の天体。事象の地平面をもたない。真空領域の外側には、くびれた形の「降着流」ができ、そのガスは、天体の赤道面にリング状に多くたまる。微小な世界の重力の効果を説明できるとされる「ひも理論」を考慮したときに存在しうる。

ブラックホールを“見る”にはどうすればよい？

この宇宙にブラックホールは確かに存在するのか、それとも存在しないのか？ ブラックホールを“見る”ことができれば、議論の決着がつく。ここからは、ブラックホールを直接的に観測するための方法の最前線をみていこう。

光に包まれた影として「黒い穴」が見える？

そもそも、ブラックホールを直接的に観測できたら、どのような姿がみえると考えられているのだろうか？

もしブラックホールが存在しても、事象の地平面からは光がやってこないため、見えないはずだ。しかし52～53ページでみたように、ブラックホールと考えられる天体の周囲には高温のガスからなる降着円盤があり、光（電磁波）を放っている。そのため、事象の地平面の存在が、降着円盤の輝きにおおわれた「黒い穴」として観測できると考えられている。その姿は、一般相対性理論を考慮した正確な計算にもとづくシミュレーションによって示されている（下の画像を参照）。

シミュレーションにもとづいたブラックホールの姿

相対性理論を考慮しない場合



ガスのほとんどない領域

降着円盤

ブラックホール
(事象の地平面)

光速の半分程度の速度で自転するブラックホールを水平面から10度の角度で見下ろした場合、相対性理論を考慮したシミュレーション画像。中央の黒い半円がブラックホールと、そのすぐ周りのガスのほとんどない領域であり、赤や黄色の部分が降着円盤である。

左側の降着円盤は、奥から手前に向かって回転している。すると、こちら側に放たれた光の波長は、短くなる（ドップラー効果）。こちら側に向かってくる救急車のサイレンの音が高く聞こえるのと似た現象だ。回転速度が高速なため、光の波長が短くなるとともにエネルギーが高くなり、その効果で明るく見えている。逆に右側は手前から奥に向かって回転しており、光の波長が長くなるとともにエネルギーが低くなって、その効果で暗くなるのである。

さらに、ブラックホールの向こう側にある降着円盤がおき上がって、ブラックホールの上側に見えている。ブラックホールの強大な重力、すなわち時空の大きなゆがみによって、ブラックホールの向こう側からの光が曲げられて届くためだ。

「黒い穴」をアップで見るX線観測のハードルは高い

それでは、実際に「黒い穴」を見るためにはどのような方法があるのだろうか？ 降着円盤は、場所によって温度がことなり、さまざまな波長の光（電磁波）を放つ。観測する波長には、複数の選択肢があるのだ。

光（電磁波）は波長によって呼び名がかわり、波長の短いほうからガンマ線、X線、紫外線、可視光線、赤外線、電波とよばれる。そして一般に物質が放つ光（電磁波）の波長は、温度が低いほど長く、温度が高いほど短くなる。ブラックホールのまわりにある降着円盤は、中心に近い領域ほど高温で、強いX線を放つ。そのため、X線での観測が「黒い穴」への近道である。

しかし、X線は大気に吸収されやすく、大気圏外でないと精密な観測はできない。そのための宇宙望遠鏡の開発には、かなりの資金が必要である。

最も現実的な方法は、ある種の電波観測

有力な方法は、電波の観測だと考えられている。降着円盤の「黒い穴」に近い部分は、物質の温度とは別の要因で、X線だけでなく電波も放っているためだ。

加えて電波は、天体を細かく見る性能（分解能）を高める「干渉計」の技術を利用しやすい。干渉計とは、複数の望遠鏡を連携させて、巨大な望遠鏡と同じ分解能を実現する技術である（右ページのイラスト）。原理的には、連携させる望遠鏡どうしの距離をはなすほど、分解能を高めることが可能だ。ただし、集光能力は高められない。

ブラックホール候補天体の電波観測に取り組む国立天文台の三好真博士によると、最も早く「黒い穴」の観測を実現できる方法は、電波の中でも「サブミリ波」の観測だと考えられるという。サブミリ波とは、「ミリ」メートルの10分の1（「サブ」）ほど、つまり波長0.1～1ミリメートルほどの電波のことである。

なぜサブミリ波の観測が有望なのだろうか？ 銀河の中心にあるブラックホールは質量が巨大な分、「黒い穴」も大きいので観測しやすいと期待されている。しかし、銀河の中心領域は雲状のプラズマにおおわれており、電波のうち波長の長いものはプラズマを通過するあいだに散乱されてしまう。そのため、「黒い穴」の形が“ぼけて”

しまう。サブミリ波は、電波の中でも波長が短いため、プラズマによる散乱の影響が小さい。そのため「黒い穴」の形を正確に観測できると期待されているのである。

“視力 600 万以上の眼” が必要とされる

「黒い穴」の見かけのサイズは、天の川銀河中心の「いて座 A*」が最大だと考えられている。それでも、地球から見た角度の広がりにして、せいぜい 10 マイクロ秒角 (= 3 億 6000 万分の 1 度。1 秒角は 3600 分の 1 度、マイクロは 100 万分の 1) 強である。これは、ヒトの視力でいうと 600 万以上でないと判別できない小ささだ (60 分の 1 度を見分けられる視力が 1.0 であり、視力検査で使われる「C」の 1.5 ミリメートルの切れ目を 5 メートルはなれて判別できることと同じ)。まだ実験段階ではあるが、サブミリ波の干渉計では 10 マイクロ秒角の分解能が実現できると考えられているという。この分解能は、ブラックホールを直接見られるぎりぎりの値である。

サブミリ波は大気中の水蒸気に吸収されやすいため低地での観測はむずかしい。そこで、南アメリカ、アンデス山脈の高地にあるアタカマ砂漠に、サブミリ波望遠鏡「ALMA」の建設が進んでいる。加えて、ALMA から 1000 ~ 2000 キロメートルの範囲のところどころにもサブミリ波望遠鏡を設置して干渉計の技術を使えば、いて座 A* の「黒い穴」は見えると考えられている。三好博士は「一般相対性理論の発表から 100 年の節目である 2016 年までに観測が実現されるかもしれません」と話す。

地上と天上で一つの望遠鏡をつくることも可能

干渉計の技術を、地上だけではなく宇宙で利用する計画もある。大気圏外に打ち上げた天文観測衛星と地上の望遠鏡を連携させたり、天文観測衛星どうしを連携させたりして、観測を行うのである。

前者の例には、JAXA (宇宙航空研究開発機構) が中心に進めていた「VSOP-2」計画がある。電波観測衛星を打ち上げ、地上と連携させる計画だった。2011 年、予定の予算内で十分な精度のアンテナをつくるのが困難になったため中止されたが、新たに計画をやり直し、再始動しようとしているところだという。

後者の例には、NASA (アメリカ航空宇宙局) の「MAXIM」計画がある。複数の X 線観測装置を打ち上げて、干渉計の技術を利用するものだ。原理的には、上でのべたサブミリ波の干渉計の 100 倍もの分解能にあたる、

“地球サイズの望遠鏡” でブラックホールを直接見る



0.1 マイクロ秒角を達成できると考えられている。

ブラックホールそのものを検出できる?

光を見ずに、ブラックホールを観測する方法も紹介しておこう。それは、「重力波」を検出する方法である。

重力波とは、水面を伝わる波紋のような現象だ。大きな質量をもつブラックホールのような天体は、周囲の時空を大きくゆがめる。天体がはげしく運動すると、ゆがみが波となって光速で伝わると考えられているのである。

重力波は、光や音と似ていて、波長や振動数がある。ギターの弦の長さや張力によって出る音の高さが決まるように、ブラックホールから出るとされる重力波の振動数は、質量の大きさや自転速度によって正確に決まる。ブラックホール特有の振動が検出できれば、ブラックホールの存在を直接確認できたことになるのである。こうした重力波は、たがいのまわりを公転する二つのブラックホールが合体した場合などに検出できるかもしれないと考えられている。

ブラックホールをめぐる研究は、天文学・物理学の両分野で精力的に進められている。「黒い穴」の姿をこの目にできる日を楽しみに待ちたい。

(担当: 編集部 松田壮一郎)

灼熱の王者「太陽」 ベストショット

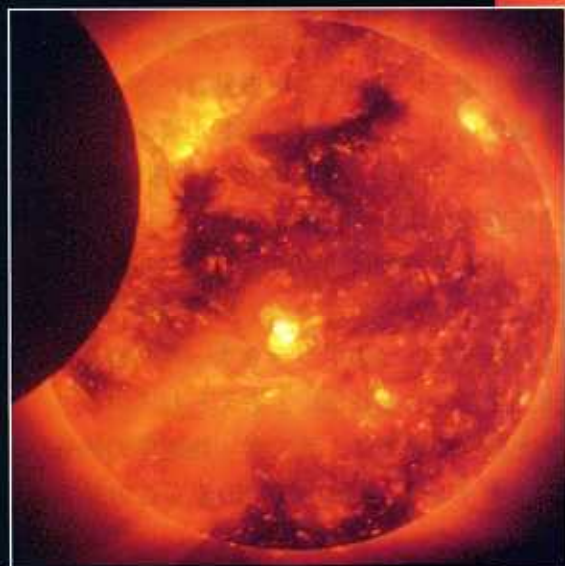
間近にせまった
「金環日食」をより
楽しむために

5月21日、日本の広い地域で「金環日食」が観察できる。太陽とはどんな天体なのか、NASAやJAXAの太陽観測衛星がとらえた最新画像を見ながら、太陽について“予習”をしよう。

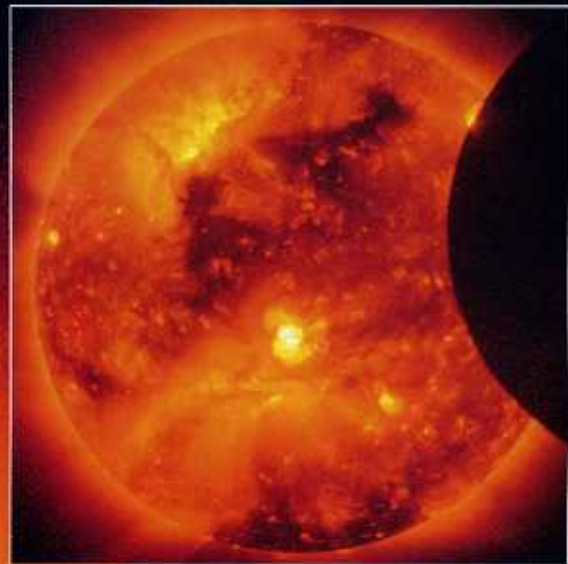
協力 常田佐久

国立天文台ひので科学プロジェクト長

欠けおわり



欠けはじめ



一足先にとらえられた金環日食

2011年1月4日、日本の太陽観測衛星「ひので」が、宇宙から金環日食を観測した。画像では、月が右から左に動いて太陽をかくしはじめ（右ページ上の小さな画像）、ついに太陽の前にたちはだかり（中央の大きな画像）、やがて、太陽の前を通り過ぎていった（左ページ下の小さな画像）。三つの画像に写しだされた光景は、わずか10分ほどの間におきた出来事である。

日食は、地球、月、太陽がちょうどこの順番に一直線に並んだときにおきる現象である。月が太陽をすっぽりおおってしまうタイプの日食「皆既日食」とことなり、画像で見られる「金環日食」では、月がおおいきれなかった太陽部分が、月のまわりでリングのように輝いて見える。金環日食で、月が太陽をかくしきれないのは、月が地球から遠い位置にあるためだ。

2012年5月21日、6時ころから9時30分ころにかけて、関東地方から九州地方の太平洋側の広い地域で金環日食が見られる予定だ。このように広い地域で金環日食が見られるのは932年ぶりだという。

Newton 5月号 臨時増刊
世界天文年日本委員会推奨

くっきり見える
高品質・高安全 日食メガネつき

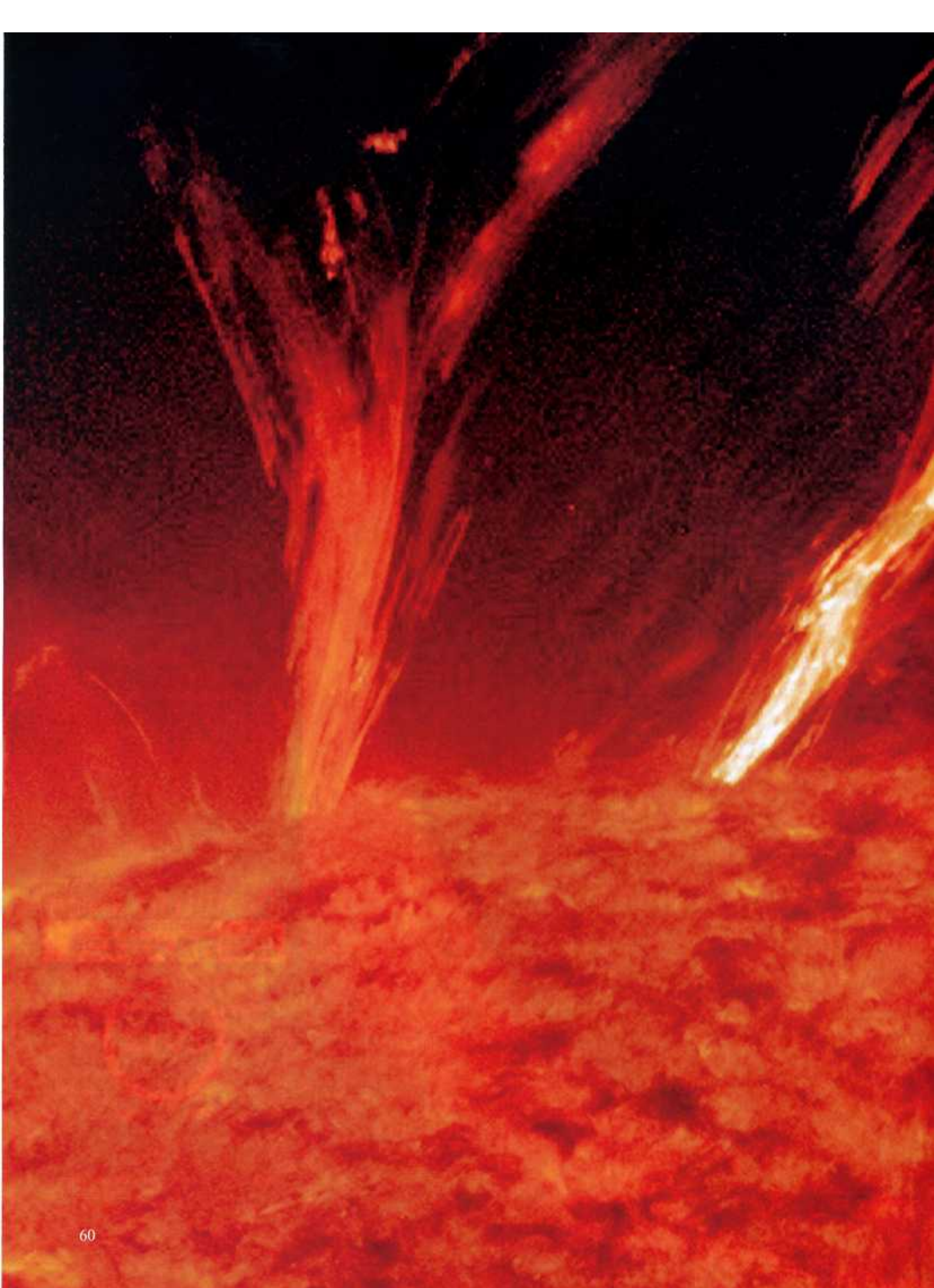
金環日食
2012

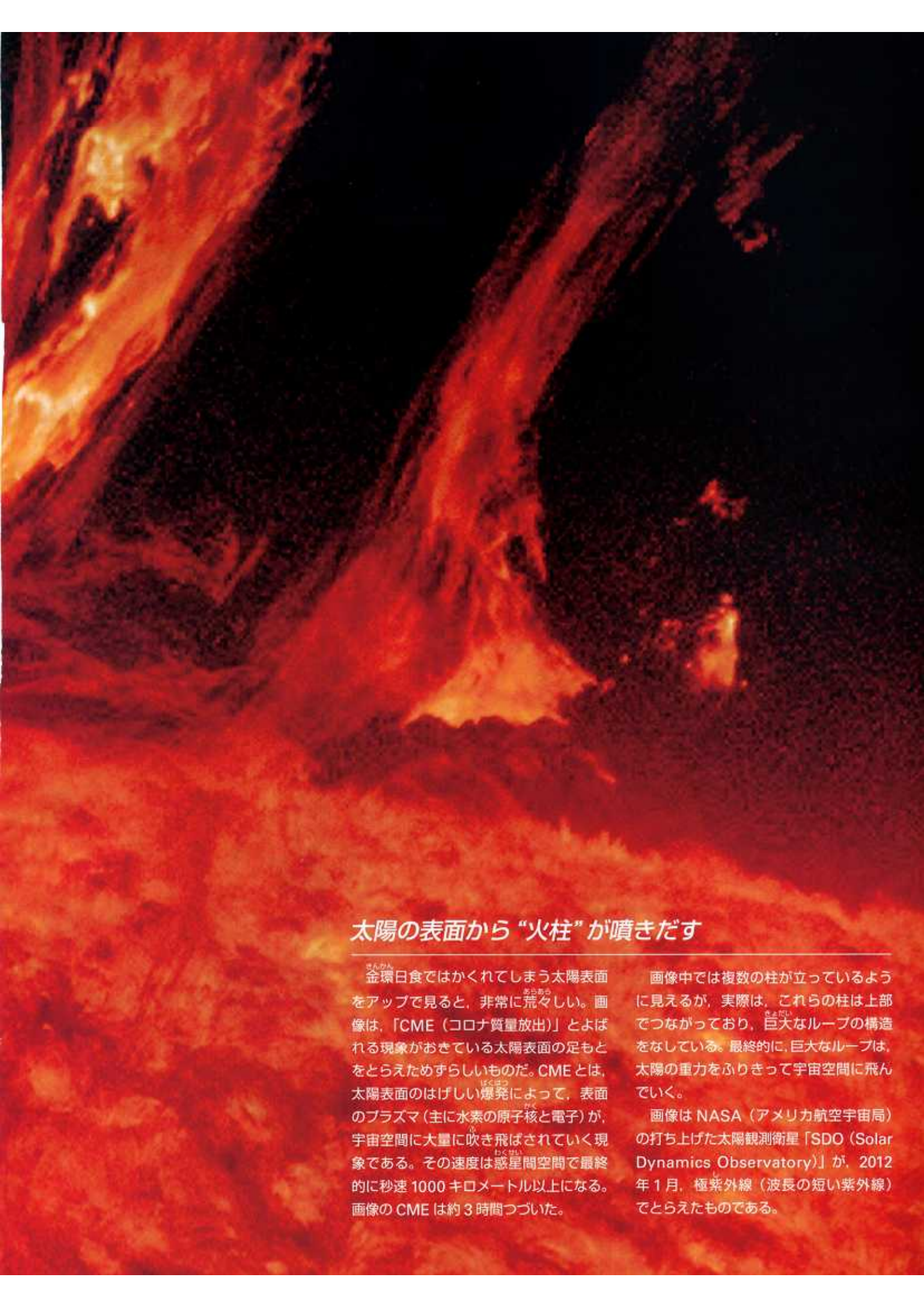
5月21日 午前
日食を安全に、高品質に
観望できるメガネです！

Newton

※日食タイムテーブル / 日食のしくみをイラスト解説 / 太陽観測の手引きを
別冊に添付

日食メガネつき 臨時増刊号「金環日食」も3月28日に刊行されます。“本番”の5月21日までに品薄になる可能性もあります。お早めにお買い求めください。





太陽の表面から“火柱”が噴きだす

金環日食ではかくれてしまう太陽表面をアップで見ると、非常に荒々しい。画像は、「CME（コロナ質量放出）」とよばれる現象がおきている太陽表面の足もとをとらえためずらしいものだ。CMEとは、太陽表面のはげしい爆発によって、表面のプラズマ（主に水素の原子核と電子）が、宇宙空間に大量に吹き飛ばされていく現象である。その速度は惑星間空間で最終的に秒速 1000 キロメートル以上になる。画像の CME は約 3 時間つづいた。

画像中では複数の柱が立っているように見えるが、実際は、これらの柱は上部でつながっており、巨大なループの構造をなしている。最終的に、巨大なループは、太陽の重力を振りきって宇宙空間に飛んでいく。

画像は NASA（アメリカ航空宇宙局）の打ち上げた太陽観測衛星「SDO（Solar Dynamics Observatory）」が、2012 年 1 月、極紫外線（波長の短い紫外線）でとらえたものである。

太陽に“雨”が降った

2011年6月7日、SDOは、前ページで紹介した太陽の表面でおきる爆発「フレア」を、極紫外線で上からとらえた。そのときの3枚の画像を、時間を追って上から下に順に並べている。

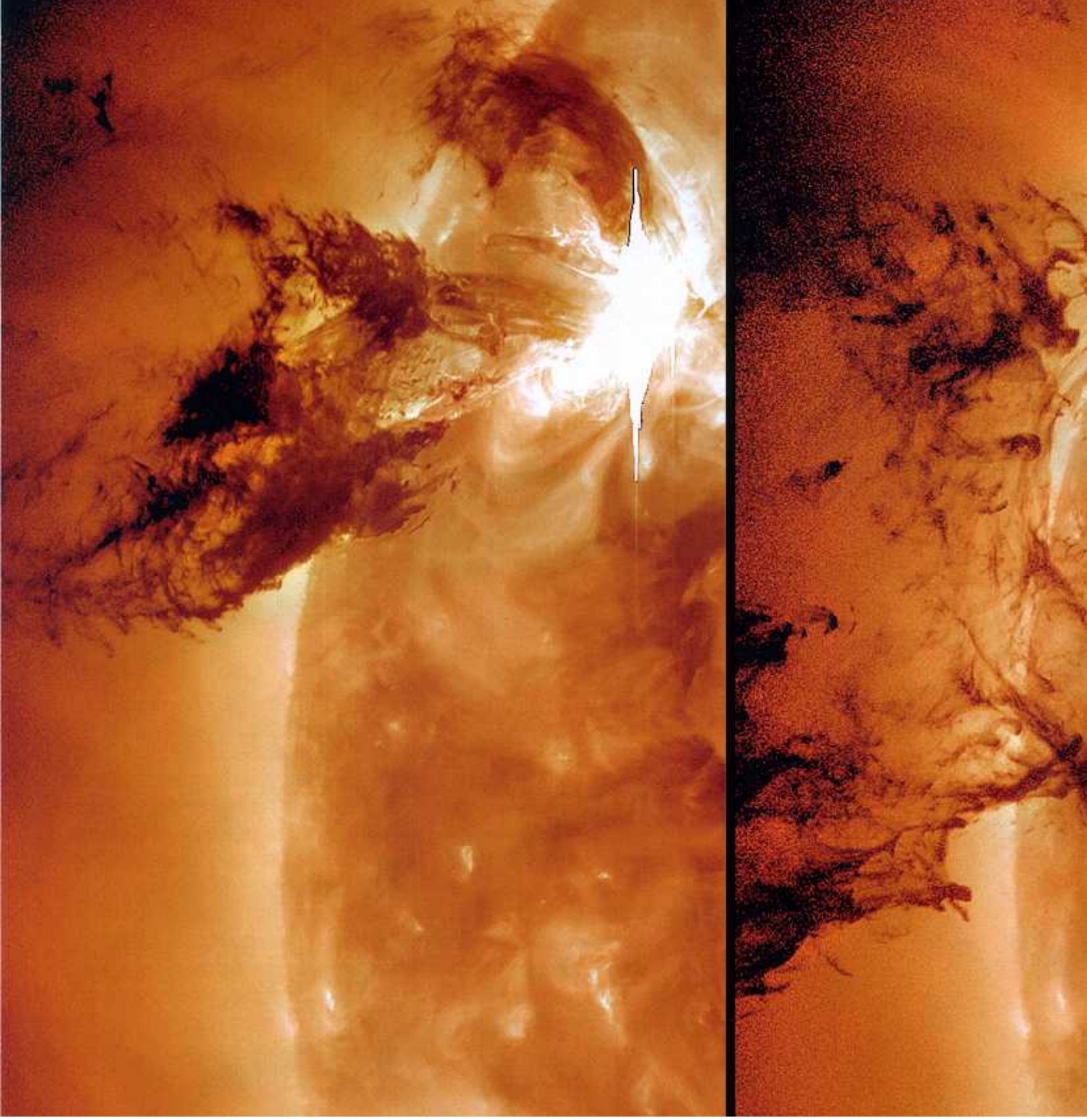
3枚の画像中で白く明るく輝いて見えるのがフレアだ。フレアは、太陽のもつ強い磁気のエネルギーが、熱と光にかわることによっておきる。

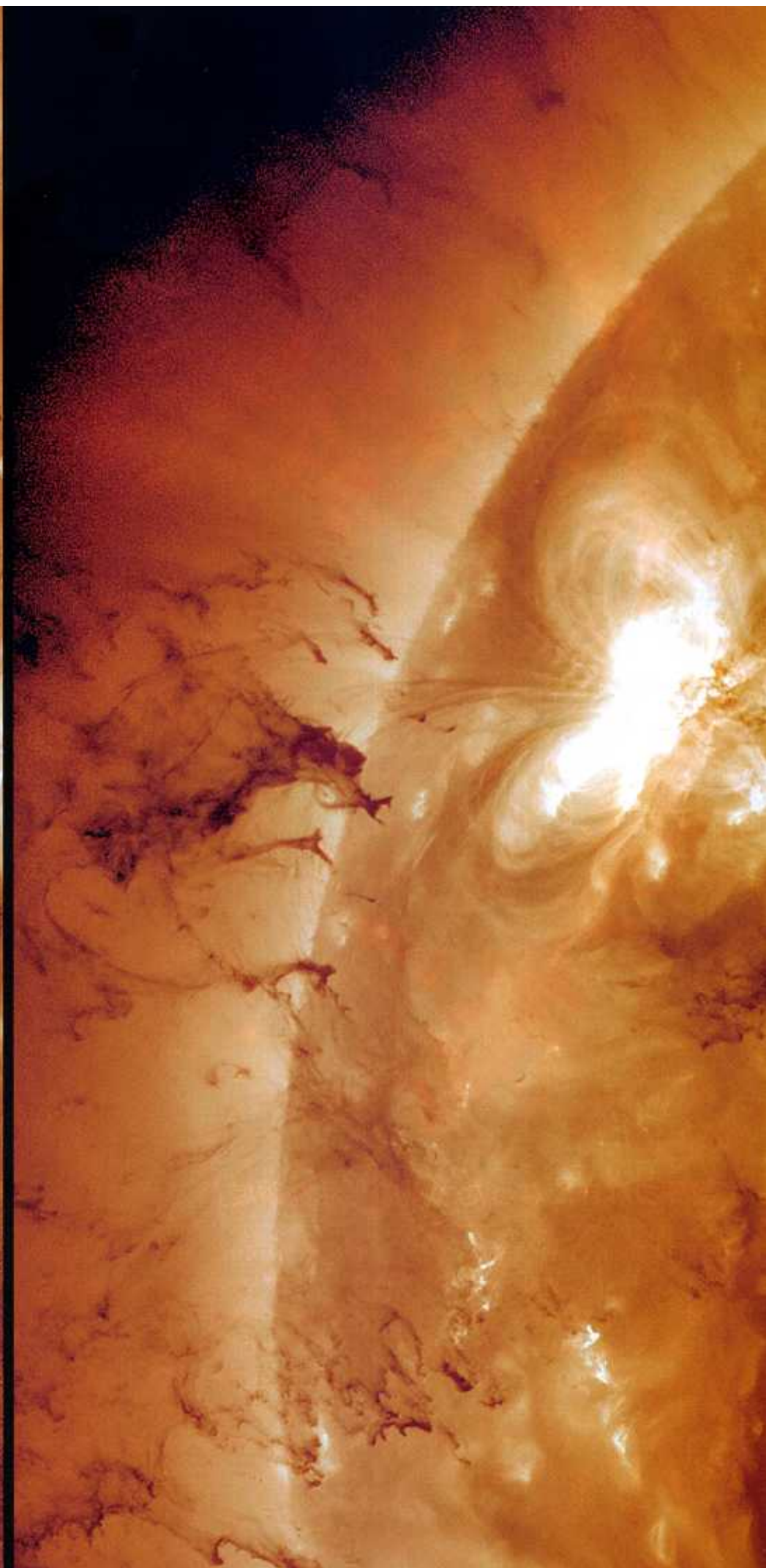
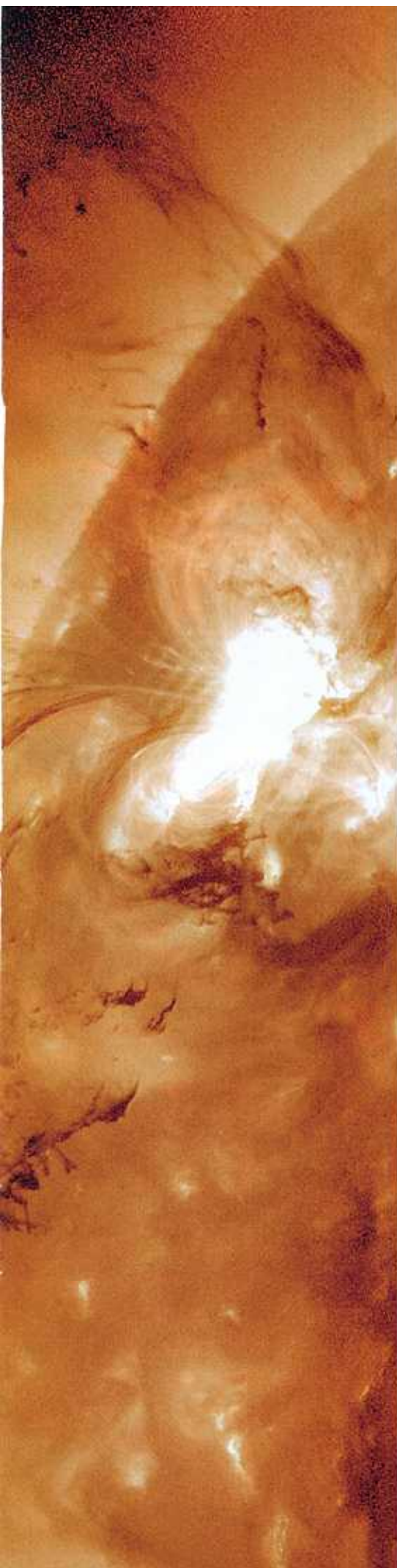
一番上の画像を見ると、フレアがおきたところから、薄黒い煙のようなものが噴きだしているのがわかる。これは、CMEによって噴きだした太陽表面のプラズマの雲である。このプラズマの雲は、太陽の上空で広がり（中央の画像）、やがて太陽表面に下降していった（一番下の画像）。裏に、太陽表面のほぼ半分をおおってしまうほどの規模であった。

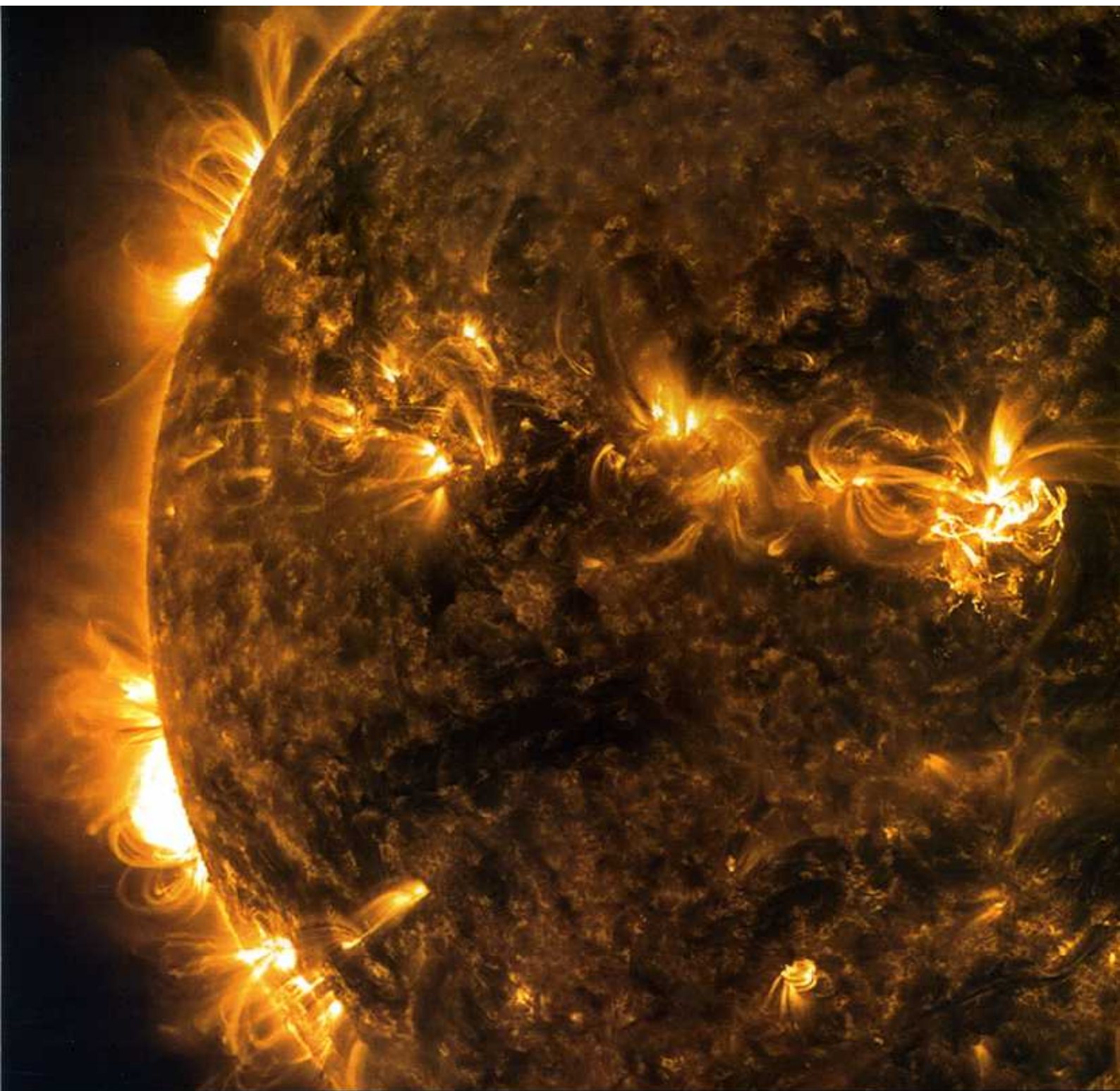
噴きだしたプラズマの雲が暗く見えるのは、温度が低いためだ。太陽表面を取り巻く大気「コロナ」の温度は100万度C以上もある。それにくらべて、噴きだ

したプラズマの雲の温度は1万度C程度だ。このため、背景の極紫外線を低温の雲がさえぎってしまう。太陽の上空に広がった“雲”から、冷たいプラズマが落下しているようすは、まるで太陽に雨が降り注いでいるかのようである。

これらの画像の出来事は30分の間におきたことである。ちなみに、前ページの画像と色がことなるのは、とらえている波長ごとに（極紫外線の中でも少しすつことなる波長で観測されている）、ことなる色を人工的につけているためだ。







数珠つなぎになった太陽の「活動領域」

上の太陽表面で黄色く輝いているところは、コロナ（太陽表面の大気）が高温の場所で、これまで見てきたフレアが活発におきる領域（活動領域）だ。画像はSDOが2011年9月から10月にかけて、極紫外線でとらえたものである。

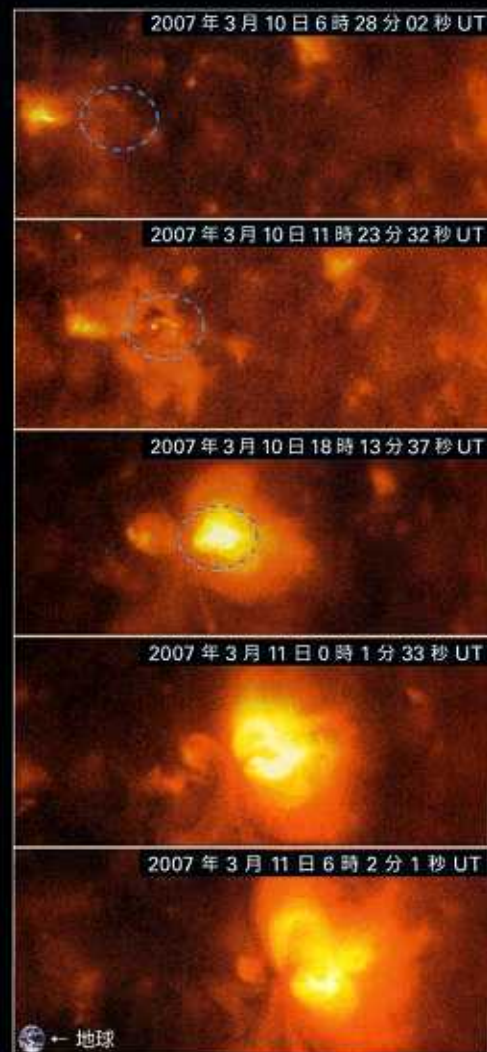
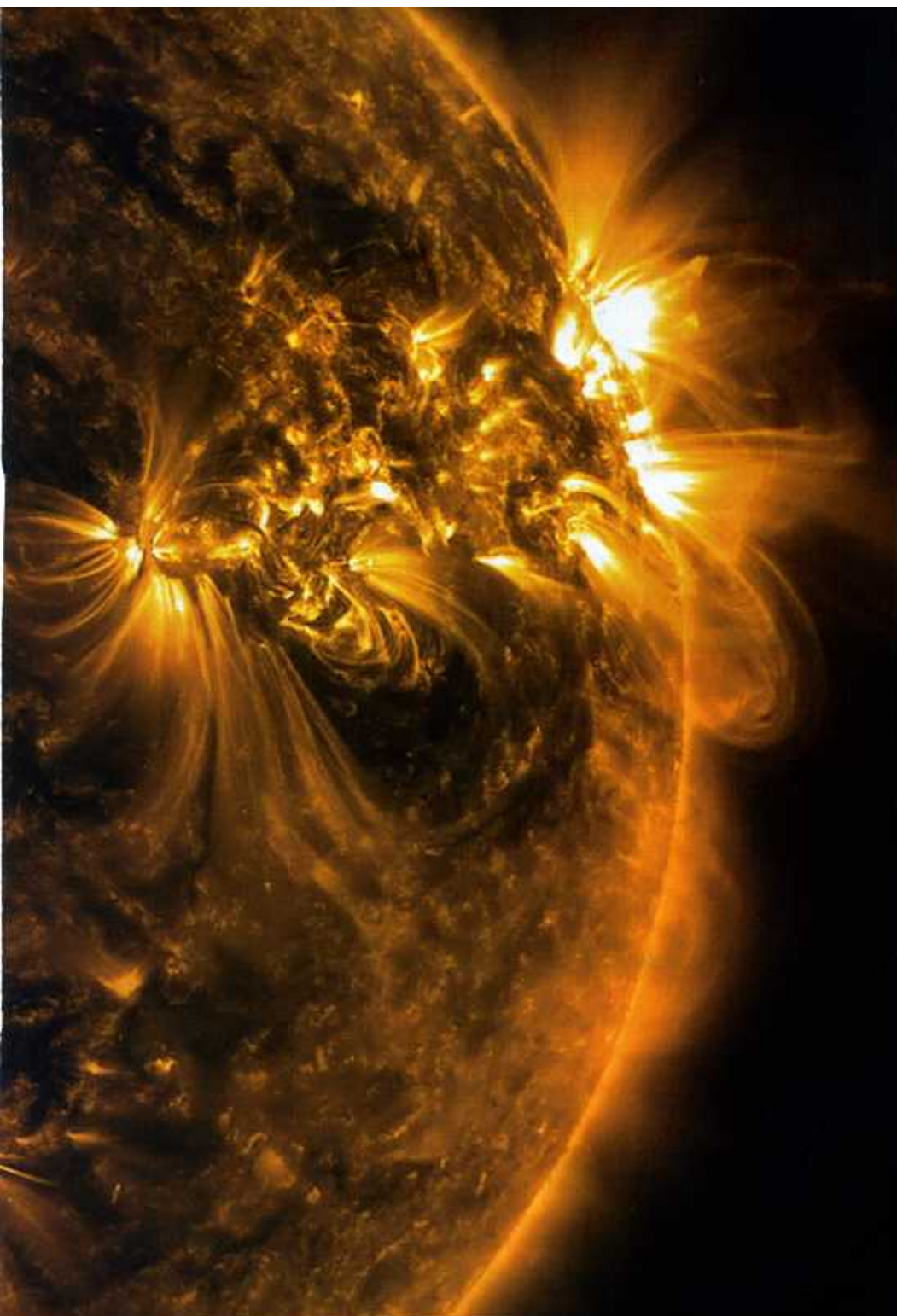
活動領域には、太陽の内部からのびる磁力線（磁力のようすをあらわす仮想の

線）が集まっていて、強い磁場が形成されている。この磁場のエネルギーが熱にかえられ、X線や極紫外線で明るく輝き、ときおりフレアやCMEが発生する。

上の画像を見ると、北半球（太陽の上半分）だけに複数の活動領域が並び、たくさんのループで数珠つなぎになっている。ループは磁力線に沿ってできている。

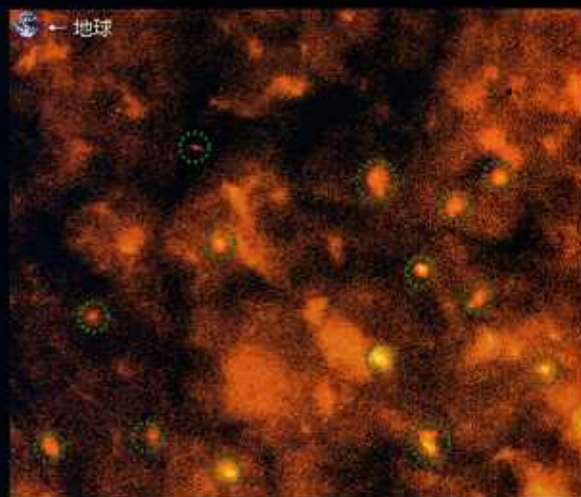
これらの活動領域は別々にあらわれたものと考えられる。別々の活動領域がつながることで、いったいどんなことがおこるのかは、まだわかっていない。

今、太陽は新たな活動周期（次の66ページで紹介）に入ったばかりだ。今後太陽は活発になり、南半球にも活動領域があらわれると予想される。



突然あらわれた活動領域

太陽の表面は、刻一刻と変化している。上の画像は、ひのでがX線の波長を使って、約24時間、太陽の表面を撮影しつづけたものだ。時間を追って上から下に並べている（UTは協定世界時）。X線は紫外線より短い波長の光で、太陽の高温の大気から放出されている。画像の太陽表面は自転にあわせて左から右へ移動している。画像を見ていくと、もともと何もなかった領域（一番上の画像の中の丸で囲った部分）が突然明るく輝きはじめ、徐々に大きくなっている（大きさの目安として地球を置いている）。これは活動領域だ。活動領域のプラズマの温度は数百万度Cに達する。一番下の画像では磁力線の形が見えている。活動領域はずっと太陽の表面にあるわけではなく、やがて消えていく。



ミニ活動領域が太陽表面に分布？

活動領域以外の太陽表面は、比較のおだやかな「静穏領域」である。左の画像は、ひのでが静穏領域に分布する「X線輝点」（緑の丸で囲ったもの）をとらえたものだ（大きさの目安として地球を置いている）。これまで、X線輝点はただの点にしか見えていなかった。しかし、ひのでのX線望遠鏡は、X線輝点が点でなく、活動領域に見られるような磁場をあらわすループ構造になっていることを、2006年9月に打ち上げられてからすぐに突き止めた。X線輝点は小さな活動領域であり、静穏領域は、小さな活動領域の集合でできている可能性もある。また、X線輝点のまわりのもやもやした構造の中にはさらに小さな活動領域がある可能性もあり、太陽表面でおだやかだと思われてきた場所も、実ははげしく活動しているのかもしれないことがわかってきた。

太陽の活動のカギをにぎる黒点

太陽を可視光で観測すると、その表面に、黒いしみが点在しているようにみえる(右)。これは「黒点」だ。前のページで紹介したような活動領域は、黒点が集まったところである。

黒点は周囲よりも温度が低く、そこからの可視光がほかの部分にくらべて弱い
ため暗く見えているのだ。可視光は、前ページで活動領域をとらえた極紫外線よりも、高度の低い場所の温度をとらえる。

太陽の黒点の数は、11年の周期で増減している。つまり、黒点の数は徐々にふえ、最大をむかえて次第に減っていくという一連の流れを、11年かけて経験するのだ。

太陽の黒点の数の変化にあわせて、太陽の活動(フレアやCMEの発生、コロナの明るさ)もかわってくる。黒点が多くなるにつれ、活動も活発になるし、黒点の数が減っていくと活動がおだやかになっていく。

右の画像は、2012年3月、SDOが可視光で撮影したものだ。この時期の太陽は、活動をはじめたばかりのころなので、黒点の数はそれほど多くはない。

黒点は、太陽の活動の源になっている。つまり、太陽の表面にあらわれる黒点の数は、太陽全体の活動状況を知るバロメーターになるのだ。



2012年1月5日



2012年1月8日

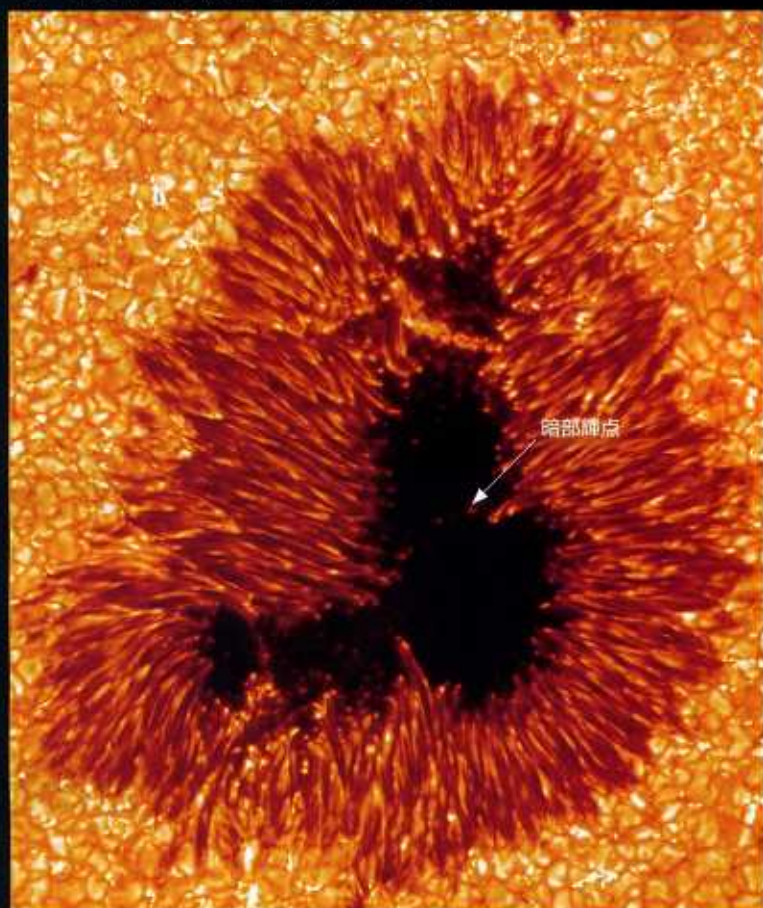


2012年1月9日

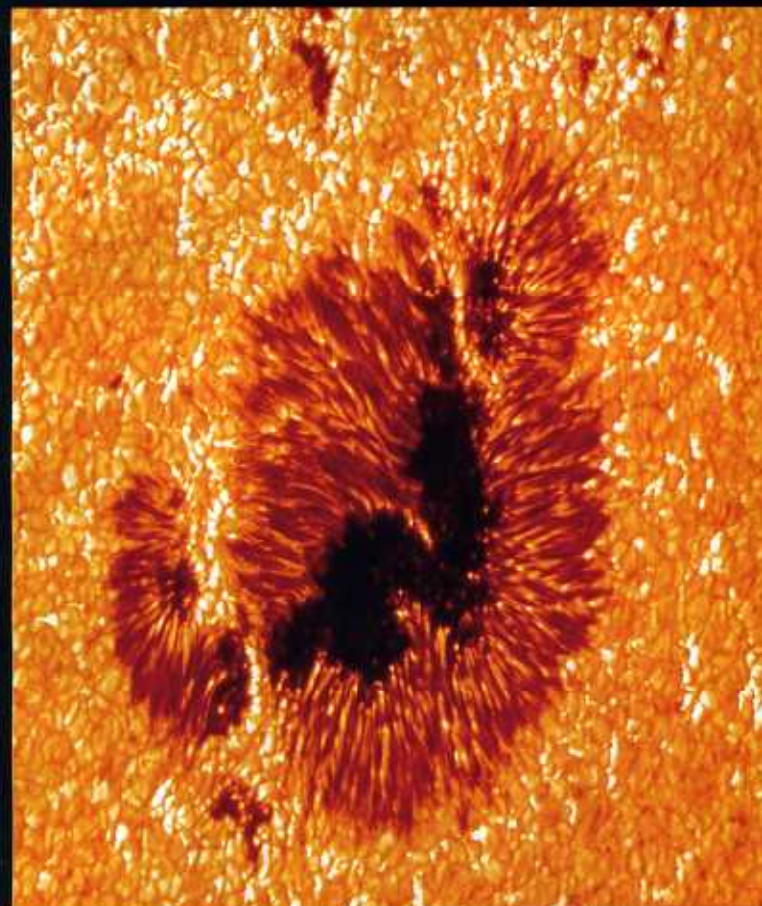
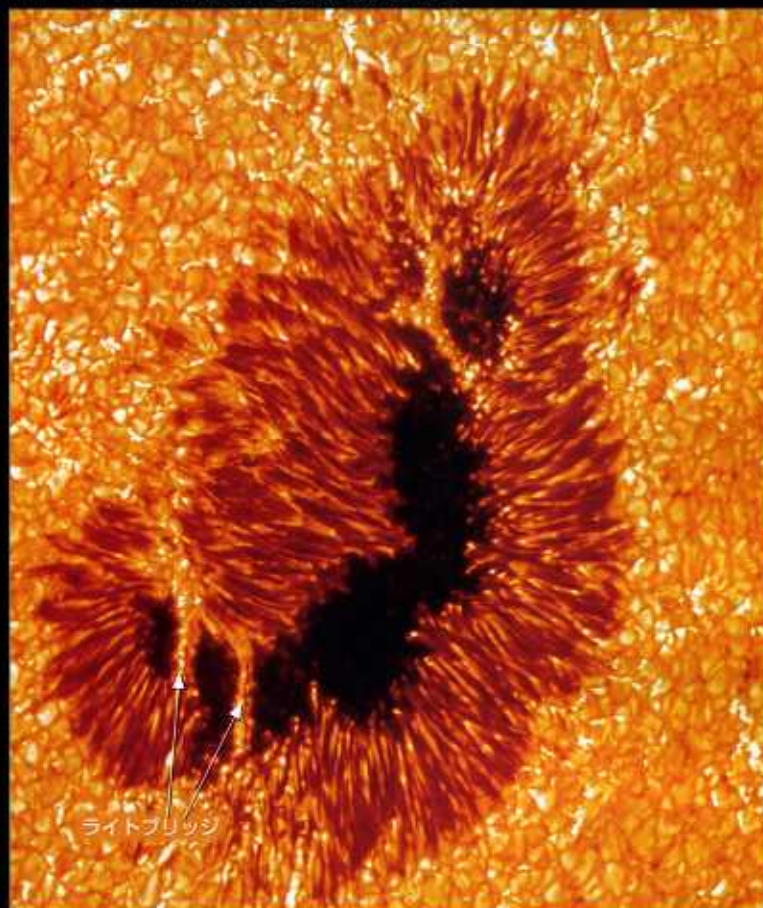


黒点の成長のようすをとらえた 上の画像は、太陽表面で黒点が生まれて成長するようすをとらえている。上から2012年1月5日、8日、9日にSDOが撮影したものだ。黒点は、太陽内部に埋まっている磁力線の束がわき上がり、表面に突きだした部分だ。磁力線はまるで、水中に沈められてから手を放された浮き輪のように、太陽表面にわき上がってくる。このため、黒点には強い磁場がある。通常、N極の黒点とS極の黒点二つが対になって太陽表面からあらわれ、磁力線でつながっている。画像の黒点は3日もかからない短い時間で成長した(一番上から中央の画像)。中央の画像で一番左に見える黒点は、地球5個分ほどの大きさだ。一方、黒点の消滅は、ゆっくりと進行する。

1. 2007年5月2日6時11秒 UT



2. 2007年5月4日6時23秒 UT



3. 2007年5月5日6時11分40秒 UT

黒点は内部から破壊されていく

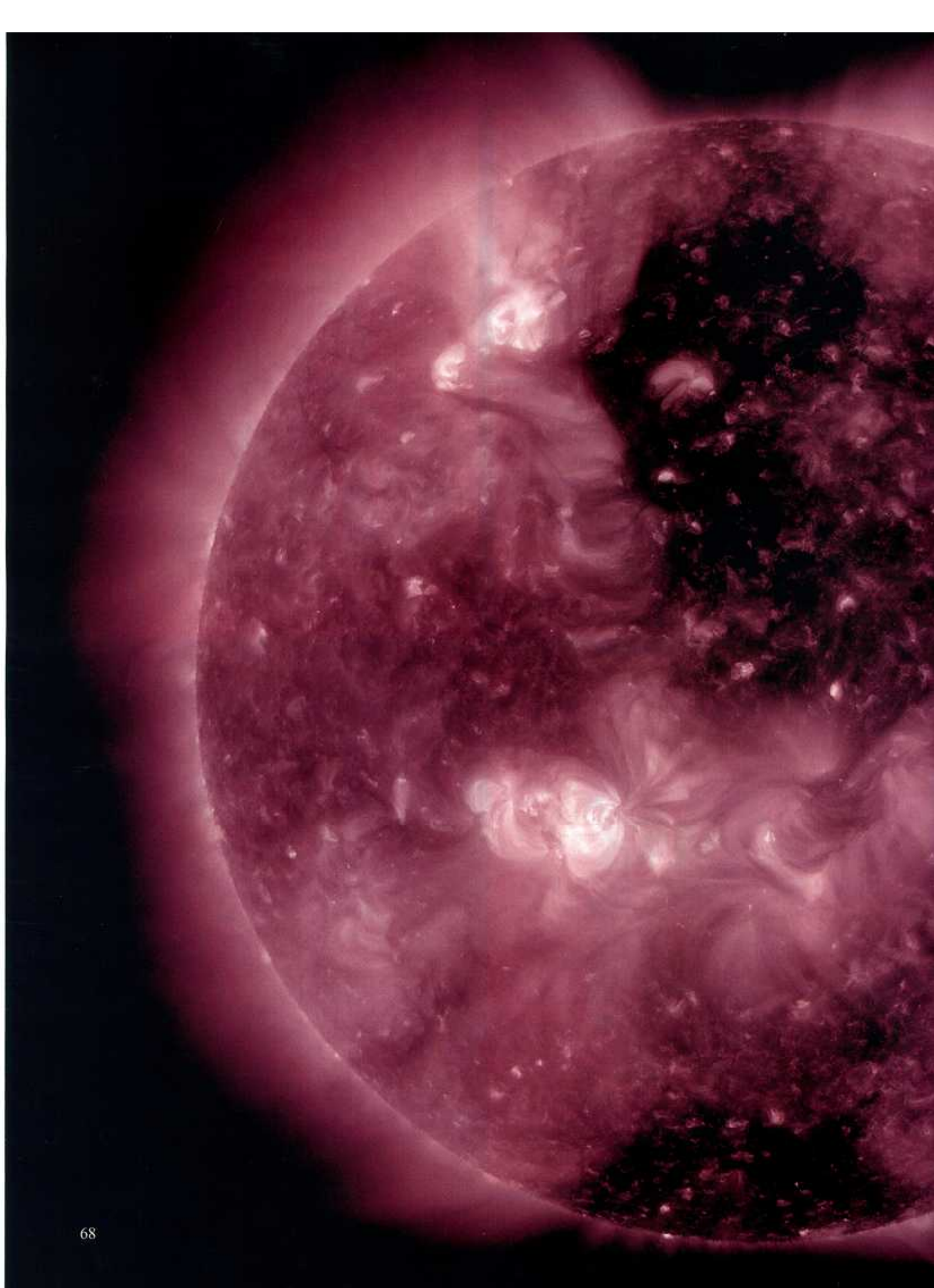
1～3の3枚の画像は、黒点が徐々にこわれていくようすをとらえたものである（UTは協定世界時）。ひのでが、可視光望遠鏡で撮影した。太陽の表面下では、たえずプラズマの対流がおきている。黒点には磁力線が多くあるが、磁力線を横切ってプラズマが動くのは困難なため、プラズマの対流はおきにくくなっている。このため、黒点では、太陽内部の熱エネルギーが対流によって表面に運ばれにくくなり、温度が周囲よりも低くなっているのだ。黒点の中心にあたる最も暗い部分を「暗部」、その周囲の少し暗い部分を「半暗部」という。

黒点の破壊は、このプラズマの対流によって引き起こされると考えられている。1～3の画像を見ていくと、黒点の暗部の左下で、暗部をまたがる橋のような構造が次第に成長していくようすがわかる。これは「ライトブリッジ」といわれるものだ。表面下でプラズマの対流がおこりはじめるために、ライトブリッジが成長すると考えられている。

さらに、暗部の中をよく見ると、小さな明るい点「暗部輝点」が見える。暗部輝点は時間がたつごとに次第にふえている。

このように、暗部を横断するライトブリッジと、暗部の中に発生する暗部輝点が、暗部を切りきざんでいき、最終的に黒点を破壊するものと思われる。

また、ひのでは最近、このライトブリッジに沿って、1日半近くもの長い間、ジェット（プラズマの噴流）が発生している現場もとらえている。くわしい観測から、今までみつかっていなかった新しい現象がライトブリッジでおきていることがわかった。この現象は、まだ1例しか確認されておらず、黒点に一般的におこる現象なのかどうかはわかっていないが、黒点の消滅のしくみに関する新しいヒントになるかもしれない。





北極から消えた“黒い穴”

ここまで、太陽表面のようすをくわしく見てきたが、太陽の表面は、100万度Cから数百万度Cのプラズマ「コロナ」でおおわれている。画像は、2011年2月、SDOが極紫外線でとらえた太陽の全体像である。北半球（太陽の上半分）の中央、および南極に、黒い穴のようなものが見えている。ここは、コロナの温度と密度が低いために黒い穴のように見えしており、「コロナホール」とよばれる。

プラズマは磁力線に沿って移動しやすい。この領域の磁力線は、宇宙空間に向かって開きながらのびているため、コロナが磁力線に沿って宇宙空間に逃げだして密度が低くなっているのである。

コロナホールからは、ほかの場所よりも高速で太陽風（プラズマの風）が噴きだしていることがわかっている。なぜ、温度が低いのに高速の太陽風が噴きだしているのかはわかっていない。

実は、このような大きく安定したコロナホールは通常、北極付近と南極付近に存在する。太陽全体が大きな磁石のようになっていて、両極がそれぞれN極とS極になっており、コロナホールはこの磁極に存在するのだ。

しかしこの画像が撮影された時期は、画像のように、コロナホールが北極付近よりも下の領域に広がって見られた。この現象から、磁極の位置が、北半球でコロナホールの見られる位置にまでずれてきているのではないかと推測されている。

太陽表面をすれすれに飛んで、生還したラブジョイ彗星

2011 年末、太陽に向かう大型の彗星「ラブジョイ彗星」が発見された。これは肉眼で観察できるほど大きな彗星であった。

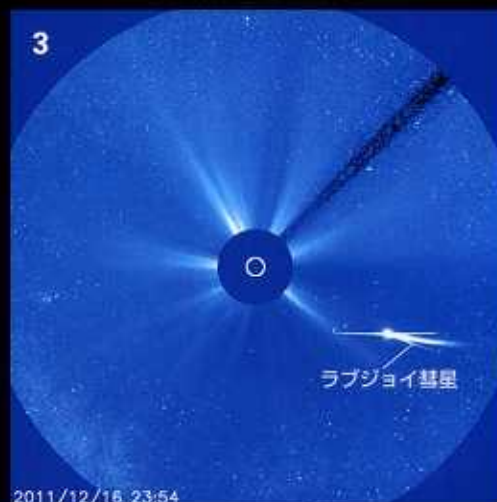
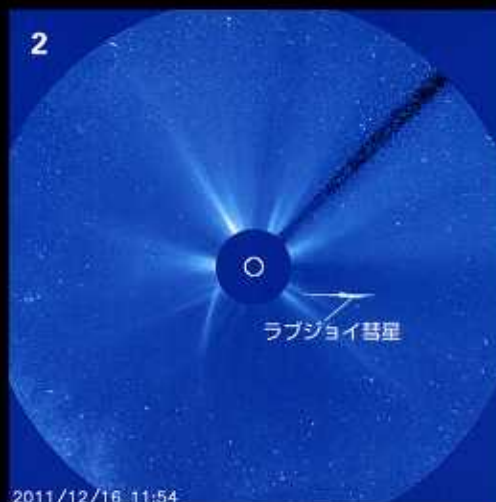
ラブジョイ彗星は、2011 年 12 月 15 日から 16 日にかけて、太陽表面から 14 万キロメートル地点（水星から太陽までの距離の約 400 分の 1）にまで接近した。

そしてその後、太陽の裏側からふたたび姿をあらわすところが観測された。

ラブジョイ彗星は、「クロイツ群」という種類の彗星に分類される。クロイツ群の彗星は、太陽の表面をすれすれにかすめて通過する軌道をめぐる。小さな彗星であれば、太陽からの熱で蒸発して消え

てしまうのだが、ある程度大きな彗星であれば、蒸発しきってしまわずに無事、太陽から生還することができるのだ。

ラブジョイ彗星は今後、太陽から遠ざかっていく。ラブジョイ彗星がふたたび太陽に接近して地球の空にあらわれるのは数百年後になるだろう。



太陽の裏側をまわって生還

上の画像は、NASA、ESA の太陽観測衛星「SOHO」がとらえた、ラブジョイ彗星の生還のようすである。中心にある丸い円は、太陽の光をさえぎるためにカメラの前に置いた円板である。一度太陽に接近したラブジョイ彗星は（1）、その後、太陽の裏側をまわってふたたび姿をあらわした（2、3）。生還した彗星の尾が、太陽とは反対の方向にのびているようすがはっきり見える。この尾の長さは数百万キロメートルにもなる。

彗星の尾が短くなった？

ひのでは、ラブジョイ彗星が太陽に最も近づいたところを観測した。右の画像を見ると、ラブジョイ彗星の尾が短くなっていることがわかる。本来、太陽風や太陽の引力、光の圧力を受けて、彗星から噴出した大量のガスやちりが尾を形成しているはずである。ところが、尾はそれほど見えていない。これは、彗星が太陽に近づきすぎたためではないかと考えられている。その後、太陽から遠ざかると、残っていた彗星の材料で尾はふたたび形成された。この観測結果は、彗星の尾の形成と消失のしくみについて、新しい事実をあたえてくれるものなのかもしれない。

ラブジョイ彗星の拡大画像



新たな発見はまだまだつづく？ 終わることのない太陽観測

太陽を最初に望遠鏡で観測し、黒点のようすをスケッチしたのは、イタリアの物理学者・天文学者ガリレオ・ガリレイ（1564～1642）であった。彼につづく多くの研究者により、その後も太陽の観測はつづけられ、人工衛星が打ち上げられる時代に入ると、世界各地の研究機関から、さまざまな太陽観測衛星が打ち上げられた。

太陽は、地球に最も近い恒星である。太陽を知ることは、地球から遠くはなれた、宇宙に無数に存在するほかの恒星を理解することにもつながる。また、太陽は地球に非常に多くの影響をあたえている。太陽の活動が弱いままであれば、地球の寒冷化が引き起こされる可能性があるし、CME（コロナ質量放出）によって地球に届くプラズマの風は、地球に磁気嵐（地球の磁場の攪乱）をおこす。磁気嵐は、大停電や長距離無線通信の障害をおこす危険がある。

21世紀に入り、これまでに3機の新しい太陽観測衛星が打ち上げられた。2006年9月には、日本の「ひので」、2006年10月にはNASAの「STEREO」、そして2010年2月には、NASAの「SDO」が打ち上げられた。本記事では、ひのたとSDOの画像を主に紹介している。

SDOは、太陽から放出される、可視光から極紫外線までさまざまな波長の電磁波をとらえ、太陽の全体像をとることができる。太陽表面でおきる爆発「フレア」の全体像やCMEの観測はSDOの得意分野だ。

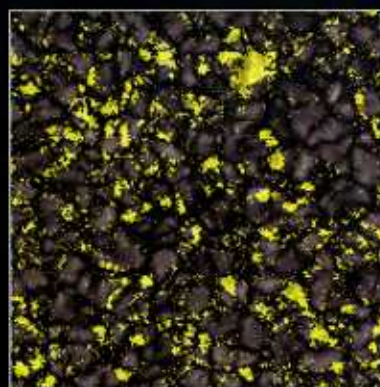
一方ひのでは、太陽からの可視光、極紫外線、X線をとらえることのできる衛星で、SDOとは対照的に、太陽表面のようすをアップで細かく観測することができる。

このように、それぞれの衛星が得意とする観測結果を組み合わせることで、太陽の素顔は明らかにされていくのだ。

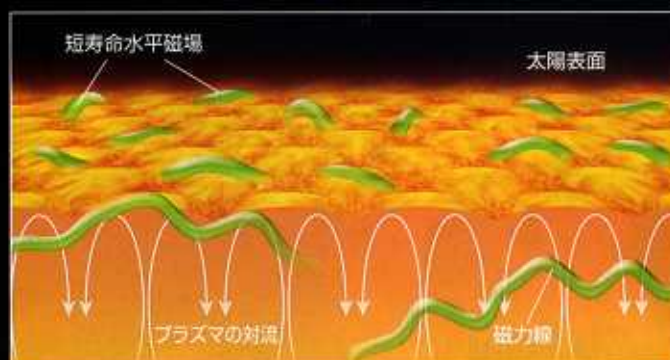
太陽にまったく新しいタイプの磁場を発見した

太陽の内部には、磁力線の束があり、太陽の東西方向にとぐろを巻いた形になって存在している。表面に飛びだしてきたこの磁力線の断面が黒点で、その磁場のエネルギーが、フレアやCMEなど、はげしい太陽の活動をおこすエネルギー源となっているのである。太陽を理解するうえで、磁場は大きなカギとなる存在だ。

長い間、太陽の磁場は黒点に見られるように太陽の表面にほぼ垂直だと考えられてきた。ところが、2009年のひのでの観測結果によると、黒点に存在する磁場とはことなつた特徴をもつ磁場が、太陽の表面をおおっているようなのである。新しくみつかったこの磁場は、「短寿命水平磁場」



「短寿命水平磁場」という磁場が見つかった。左の画像は太陽の直径約70分の1の範囲を撮影している。黄色の部分が短寿命水平磁場だ。この磁場は、太陽表面付近でねじ曲げられた内部の磁力線が表面に突きでた部分と考えられている（下の図）。磁力線はプラズマの対流でねじ曲げられた。



と名づけられた。

この磁場の特徴としては、非常に小さく、黒点の30分の1から100分の1の大きさであること、寿命が短く、黒点の寿命6日～2か月に対して平均4分しかないこと、磁場の向きが太陽表面に対して水平方向であること（上の図）、太陽の全表面に分布していること、があげられる。

この磁場は、太陽表面付近でねじ曲げられた磁力線が、表面に突きだした部分ではないかと考えられている。これはプラズマの対流によっておきる。

そして、短寿命水平磁場は非常に小さなものだが、太陽表面に広範囲に存在する短寿命水平磁場の磁気エネルギーを合わせると、11年の活動周期を通じて平均した黒点の磁場の磁気エネルギーよりも大きくなることがわかった。

この短寿命水平磁場が、いったいどのような役割をもっているのかはわかっていない。ただ、これらの磁場は、太陽の表面でフレアやCMEなどののはげしい活動をおこしたり、コロナを加熱したりするエネルギーに匹敵するほどの磁気エネルギーをもっているの、何か重要な役割をになっているのかもしれないと考えられている。

太陽には、まだ未知な部分も多く、今後も新たな発見が期待できそう。日本は2019年、次世代太陽観測装置を搭載した新しい観測衛星を打ち上げる予定である。

（担当：編集部 遠津早紀子・浅見智子）



知床の海に生きる

カラフルでゆかいな生き物たち

北海道知床半島は、世界自然遺産に登録される、日本でも有数の豊かな自然の残る地だ。知床半島では陸だけでなく、海にも多彩な生物が息づいている。カラフルだったり、愛らしい表情だったり、カモフラージュしていたり。知床の海で見られる、一風かわった生物たちを紹介していこう。

写真・文 吉野雄輔

大きなフサをもつ魚

写真の魚は、大きなフサが目玉を引くタウエガジ科のフサギンボだ。写真の個体は大型で80センチメートルほどある。水深30メートルより浅い沿岸域で生活し、岩の割れ目や海藻の間にひそむ。ナマコや貝などを食べる肉食魚で、うきぶくろをもたない底生魚（海の底付近に生息する魚）だ。この魚は、好奇心が強く写真のようにこちらを見ているときに見つけることが多い。男性のこぶし二つ分はありそうな大きなひょうきんな顔で見つめられると、思わず海底で笑ってしまう。時にはかくれがから出てきて、カメラにまわりついてくることもあり、ダイバーの間では人気者である。





鎧で守られたタラバガニ

知床半島^{しれとこ}に行くと、クマやシカ、キツネなどの大型哺乳類^{ほらうぶい}の暮らしが、人々のすぐとなりにあるのに驚かされる。知床半島のように森が豊かな地は、海もまた豊かだ。

知床にすむ人々は、カニやウニ、ホタテをはじめ、羅臼^{らうす}（知床の太平洋側）のコンブ、ウトロ（知床のオホーツク海側）のシャケといった海の恵みとともに暮らしてきた。知床の海には、イルカやシャチ、トドもあらわれるし、運がよければ、走る車の中から氷の上で寝るアザラシを観察することもできる。流氷の時期には北方の動物が大集合し、「ここは日本か」と感動させられる。多様な生物を育む海は、当然ながら、水中カメラマンにとってもすばらしい環境だ。

写真は水深8メートルで出会ったタラバガニの若い個体で、甲らの部分は幅7センチメートルほどである。これより大きな食べるほどのサイズのものにダイバーが出会えるのはまれである。ファインダーをのぞくと、体の大きさに対して甲らや歩脚^{ほふく}（はさみあし以外の脚）のとげが、成体よりかなり長いことにきづいた。身を守るための立派な鎧^{よろい}だ。立ち止まり、無表情な目でぐっとにらまれる。野生の迫力^{ひきよく}に満ちた眼光であった。

一見、派手にみえるが、この色でもイソギンチャクや海綿類のそばにいと目立たない。成長すると生活の場を少し深い所にかえ、おそらく産卵の時期だけ沿岸の浅場にもどるのだろう。

オオカミのようなキバをもつ魚

オオカミウオの仲間は、世界で5種、日本には写真の1種のみしか生息していない。岩礁^{がんしょう}地帯に生息し、ウニ、貝類、タコを好んで食べる。岩手県以北～北部日本海、オホーツク海からベーリング海に分布するが、知床では、オホーツク海であるウトロ側で多く見られる。

写真の個体は、全長は1.2メートルほど、頭部の高さは20センチメートル以上あるだろうか。その姿は、頭が大きく、体の後半が細長い。体には多数のしわがあり、いかにも丈夫^{ひく}そうな皮膚にみえる。大きな犬歯^{けんぐし}をもち、「オオカミウオ」という名にはじない迫力の顔つきである。

卵の見張り中だったところに近づいたときに、口を大きく開け威嚇^{いかく}されたことがあるが、基本的には、見た目とはことなりおとなしい魚だ。私がはじめて野生のものを見たとき、水族館で見たときよりも、かなり太っていて意外とかわいいという印象があった。知床の海には彼らの獲物^{えもの}は豊富にあるのだろう。

右の2匹は、産卵期（秋から冬）のペアだ。黄土色^{おうどし}が雌で、この色は産卵期のみに見られる婚姻色^{こんいんしき}だといわれている。われわれがオオカミウオを見られるのはこの時期のみだ。毎年9月ごろに水深10メートルもないような浅場の決まった穴や岩の割れ目にあらわれる。おそらく卵を守りやすいお気に入りの場所があるのだろう。産卵期を終えると、深い海へともどっていく。

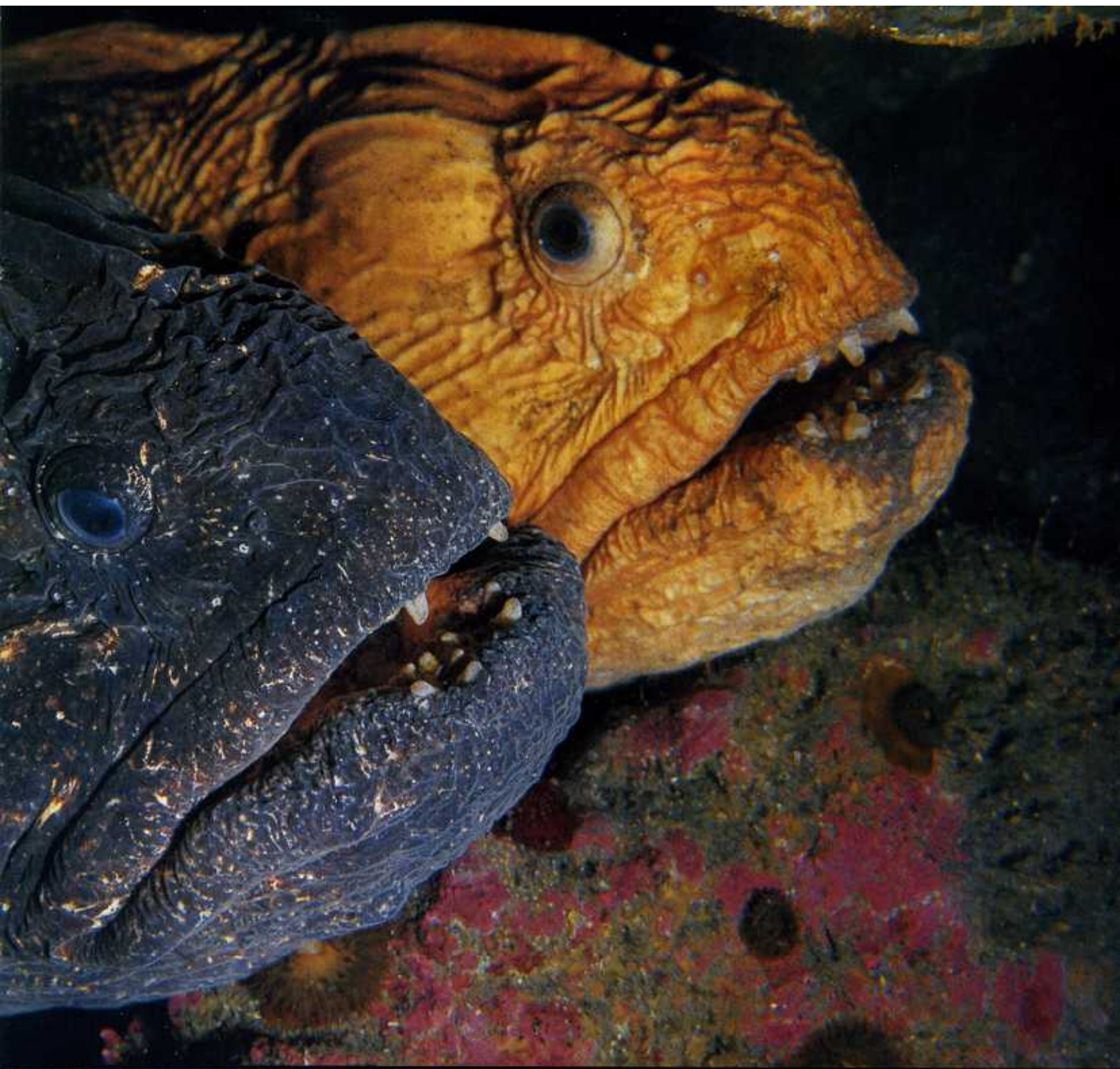


オオカミウオの子供もキバをもつ

右の二つの写真はオオカミウオの幼魚だ。8月の中旬、季節的にはまだ早いといわれたが、ぜひ見たいと思っていたオオカミウオの幼魚があらわれるという場所にもぐってみた。海藻のはえた岩場と砂地のまじる環境で、幸運にも発見した。息をつめて近づくと意外なほどよく逃げる。追いかけて回すと砂地に逃げていく。途中、クモヒトデが動いた瞬間、追いかけていることを忘れて食らいついた（右の写真）。撮影は幸運な一瞬だった。

左の写真では「オオカミの子はオオカミ」、立派な犬歯が見える。成魚より歯はとがっているので、成魚の歯は長い間にすり減ったのかもしれない。全長は25センチメートルほど。体の模様が成魚とはことなり、ひれの橙色が目立つ（右の写真）。さらに小さな個体はどうなのだろうと想像するが、9月初旬に沿岸にあらわれるのは毎年同じこの大きさのものだけで、写真の個体より小さいものは確認されていない。まだまだ謎の多い魚である。







つぶらな瞳のナメダンゴ

赤い海草に吸着した、ダンゴウオ科のナメダンゴである。成魚は全長5センチメートルほど。この仲間にはホテイウオ、フウセンウオ、コンベイトウなどゆかいな名前が多い。体は球形に近く、名前のとおりダンゴを連想させる。左右の腹びれは一つの吸盤になり、石や海藻に吸着することができる。北の海のうねりの大きい状況でも、吸着していればエネルギーのロスはなさそうだ。海が荒れた日に、海底の石に吸着したフウセンウオをみつけ、うねりに翻弄されながら撮影したときにそれを実感した。

さて、写真のナメダンゴ、まだ幼魚で全長1センチメートルほどの小さなものだ。水深28メートル、天気の良い日でも北の海底は薄暗い。水中ライトに照らされたナメダンゴをファインダー越しにのぞくと、つぶらな瞳が見上げていた。そのかわいさに笑みがこぼれるが、28メートルとはいえ、うねりで海藻は一瞬もとどまることがない。1ミリメートルほどのピンツの中に被写体がこないと何も見えない状態だが、この瞳と目があった一瞬にシャッターをきった。空気の残りや潜水病のことを考えると、この場にいられるのは数分。あせりながら撮影していると、その雰囲気は伝わるのか逃げだした。尾びれはほとんど使わず、胸びれだけで泳いでいくので速くはない。ちょうどヘリコプターの移動のようなイメージである（下の写真）。ほんの数センチメートル先の海藻にまた吸着した。おもちゃのようにかわいい魚である。



カモフラージュする、カジカの仲間たち

カジカの仲間は、世界で 300 種、日本では 80 種ほどが知られている。主に温帯域や深海域に生息するが、淡水域にも生息する。日本では、東北・北陸から北海道で多くの種が見られる。

カジカは、うきぶくろをもたない底生魚だ。カジカの仲間は成魚で 3 センチから 80 センチメートルまでさまざまな大きさのものがいる。下の写真は、全長 20 センチメートルのオニカジカだ。写真の左

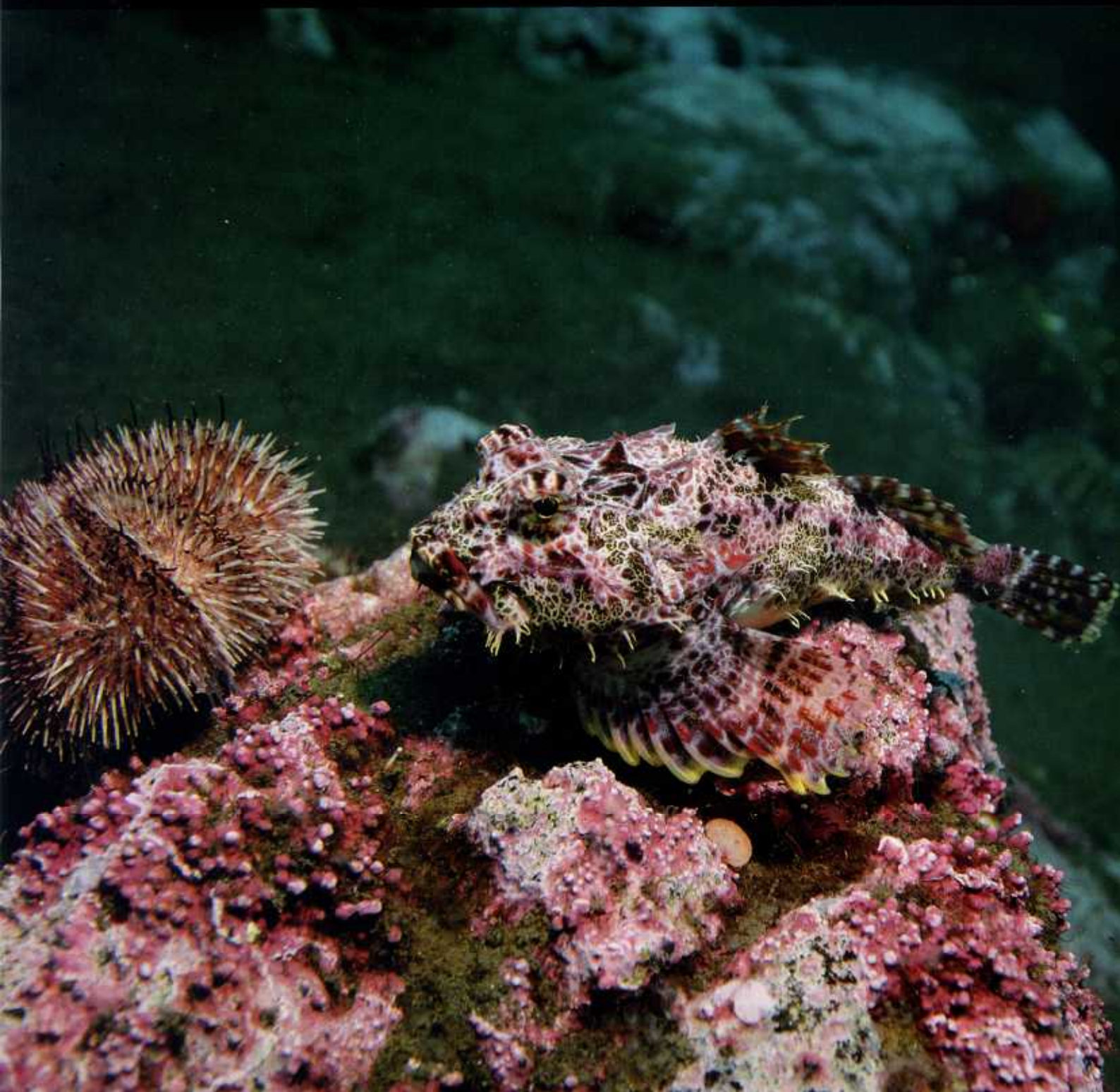
に見えるのは、エソバフンウニである。写真のオニカジカの赤い体色も、赤い岩肌のところにいるとカモフラージュになり、目立たないものだ。カメラまでの距離は 30 センチメートルほどだが、じっと動かない。しばらくにらみあった。

一見地味な色の風景が多いと思われている北の海底だが、イソギンチャクや海綿などがおおう岩肌や紅藻類など、意外と派手な赤などの色もよく見られる。そ

のためか、赤っぽい魚も多い。

また、水中では赤色の光は最も吸収されやすく、深くなると黒くみえることになる。その意味でも、赤はかくれるのによい色といえるのだろう。

北の魚は基本的にはじっとしているものも多く、見つけてしまえば撮影は比較的容易だが、どの魚もカモフラージュはうまい。なにより動かないことがいちばん目立たないことをよく知っている。



眼に赤い色素がある

ヨコシカジカの若い個体。全長8センチメートル。成魚は35センチメートルほどになる。目の角膜の上に色素が見える。近縁のオコゼカジカにも見られるが、あまりほかの魚類で見たことがない。いろいろな人に聞いてみたが、この色素がある確かな理由は不明である。夜にもぐるとこの色素は消えているそうなので、光の調節のためか、えさとなる生物を誘因するためか、目があることをかくすためのようにも思える。目は急所であり存在が知られるもとなので、魚類でも目の位置をかくすものは多いし、にせの目があるものも多い。いろいろ想像させてくれる魚である。



岩のようにみえる

ギスカジカの若い個体。全長20センチメートル。成魚では50センチメートルほどになる。岩盤や石の間でじっとしている。赤褐色か緑がかった褐色のものが多く、丈夫な皮膚をもち、うろこがほとんどない。そのせいもあり一見ツルリとして石のように見える。口は大きく肉食で、魚類、甲殻類などを食べる。自分と同サイズのものまで丸飲みするという。



“ヒゲ”をもち、多様な色が存在する魚——アツモリウオ

写真のアツモリウオは、トクビレ科の魚だ。名前の由来は、平敦盛の鎧甲の色に似ている所からつけられたという。北太平洋北部を中心に分布し、沿岸の砂泥域や岩礁域に生息する。体は骨板におおわれていて、骨板のせいか、こつこつした表面の質感が普通の魚とはちがひ、なにか原始的な印象の魚だ。

まず目につくのが、口のすぐ上にあるヒゲのようなものだろう。動きの遅い魚

なのでさわってみるとやわらかい。なぜこのようなものがあるのかは残念だが不明だ。

うきぶくろをもたず、普通は泳がずに海底をはいするよう動いている。胸びれを起点にして、下の写真のように体後部を曲げて尾びれを使い、体を押しだすようにして移動する。砂地の海底だと体をひきずった跡がついて、なれるとアツモリウオがその先にいることがわかる。

黒い個体は幼魚で3センチメートルほど。白いものもいる。写真のように貝殻のまじった砂礫底では目立たないのだろう。左下の個体は5センチメートルほどで、この色の個体は少ない。右下は成魚で15センチメートルほどあり、このような赤い個体は多く見られる。動き方といい、体形といい独特な魚で、アツモリウオを含めたトクビレ科の魚達は北の海を訪ねる大きな楽しみの一つだ。



まるまって動かない、水玉の魚——クサウオの仲間

クサウオ科の魚は、浅海にいる種から7000メートルをこえる超深海にいる種まで知られている。主に北日本から北海道に分布する。いまだ謎も多く、写真だけで種まで同定することはなかなかむずかしい。出会うのは、石や海藻に吸盤で吸着している幼魚がほとんどだ。写真は全長2センチメートルほどの幼魚である。

コンブのおいしげる海底で葉をかきわけながら探すと、コンブの葉の下の石に

写真の幼魚がいた。この仲間、基本的には写真のように体を丸めほとんど動かないが、突然なんの前ぶれもなく逃げる。どのように泳ぐのかは、速すぎてわからない。海藻の葉についているものは、裏側にすべるように消えていく。泳いでいる姿（下の写真）は、そんなときにシャッターを押したら偶然写っていた。

写真のような大きな水玉だけでなく、縞模様、小さな斑点模様、無地など、いろ

いろな色や模様のものがいる。海藻に吸着するものと石につくもので、微妙に体形がちがうように見えるので、種類がちがうのかもしれない。

クサウオ科の成魚を見るのはむずかしいが、羅臼と富山の海で「アバチャン」というこの科の成魚がまれに観察されるといふ。魚好きには夢のような話だが、冬の寒さの中で、夜に深くもぐらなければ見られる可能性はないそうである。🍎

(担当：編集部 森 久美子)

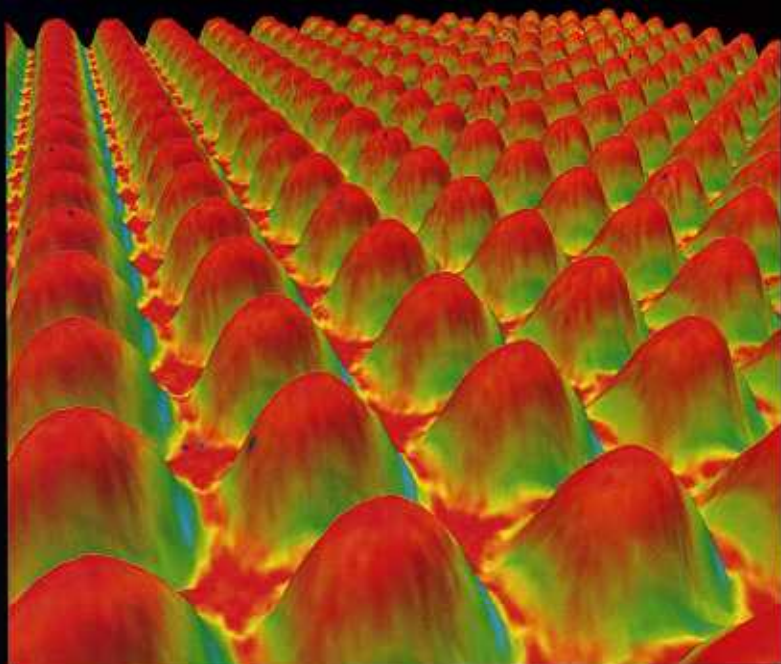


ミクロの世界の ショーケース

光学顕微鏡がとらえた 異次元空間

肉眼の領域をこえたところには、おどろくべき世界が広がっている。Nikon Small World は、1974 年から開催されている、光学顕微鏡画像の世界大会だ。過去 3 年間の優秀作品から選りすぐりの画像を紹介しよう。

協力 株式会社ニコン
Nikon Instruments Inc.



CCD センサー

デジタルカメラなどに使われる CCD センサーは、光を電気信号にかえる半導体素子だ。この画像は CCD センサーの表面。画素に応じた個々のセンサーが、格子状に並んでいる。

■共焦点レーザー走査型顕微鏡法

■観察倍率 1000 倍（誌面の画像と実物との倍率ではない。以降も同様）



マイクロチップ

マイクロチップ（超小型集積回路）の表面。

■ノルマスキー型微分干渉観察

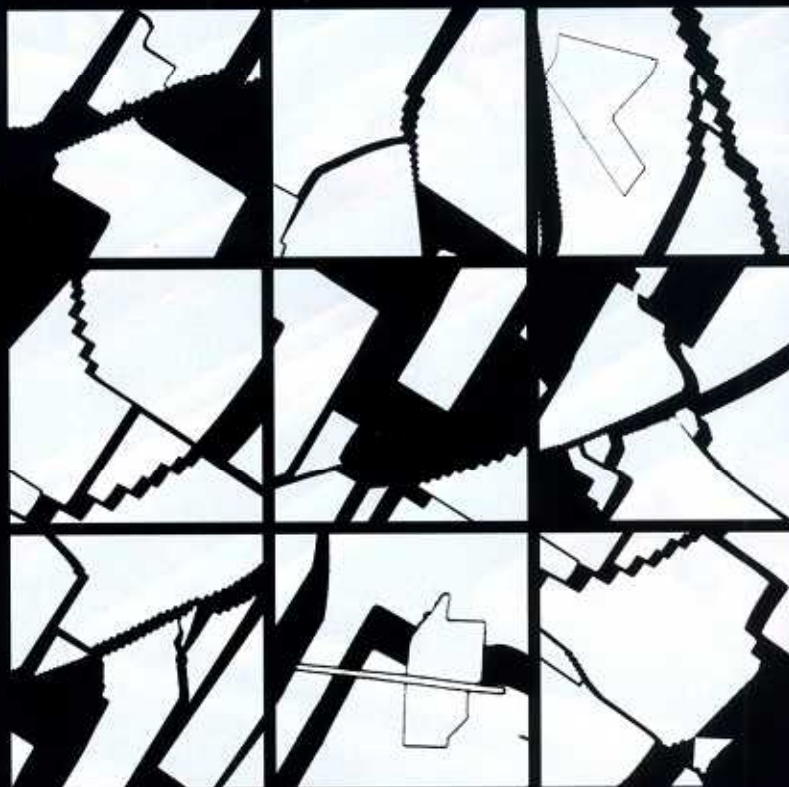
■観察倍率 500 倍



無機物による美術展

太陽電池フィルムがつくる抽象画
割れたガリウムヒ素 (GaAs) 太陽電池フィルム。フィルムの厚さは0.001ミリメートル。GaAs のような化合物系の太陽電池は、コストが高いが高性能で、人工衛星などに使われている。

■観察倍率 50 倍



結晶が描く風景

かつて解熱剤として使用されていたアセトアニリドという化合物の結晶と、硫黄の結晶を、とくして再結晶化させたもの。

■透過光、直交ニコル観察

■観察倍率 10 倍

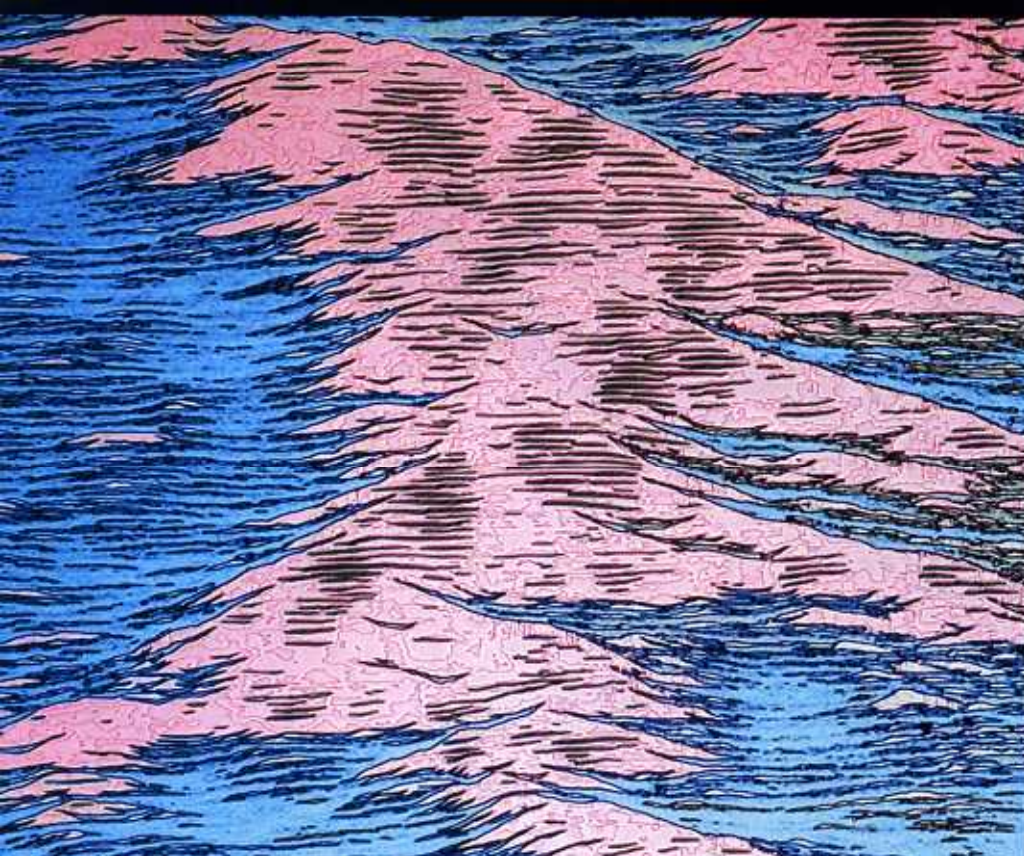




地中でつくられたアート

黒鉛を含有したグラニュライト。グラニュライトは、おもに長石や石英などの粒状の鉱物が地下の高温な場所で変化してできた岩石。

■偏光観察（透過光） ■観察倍率 2.5 倍

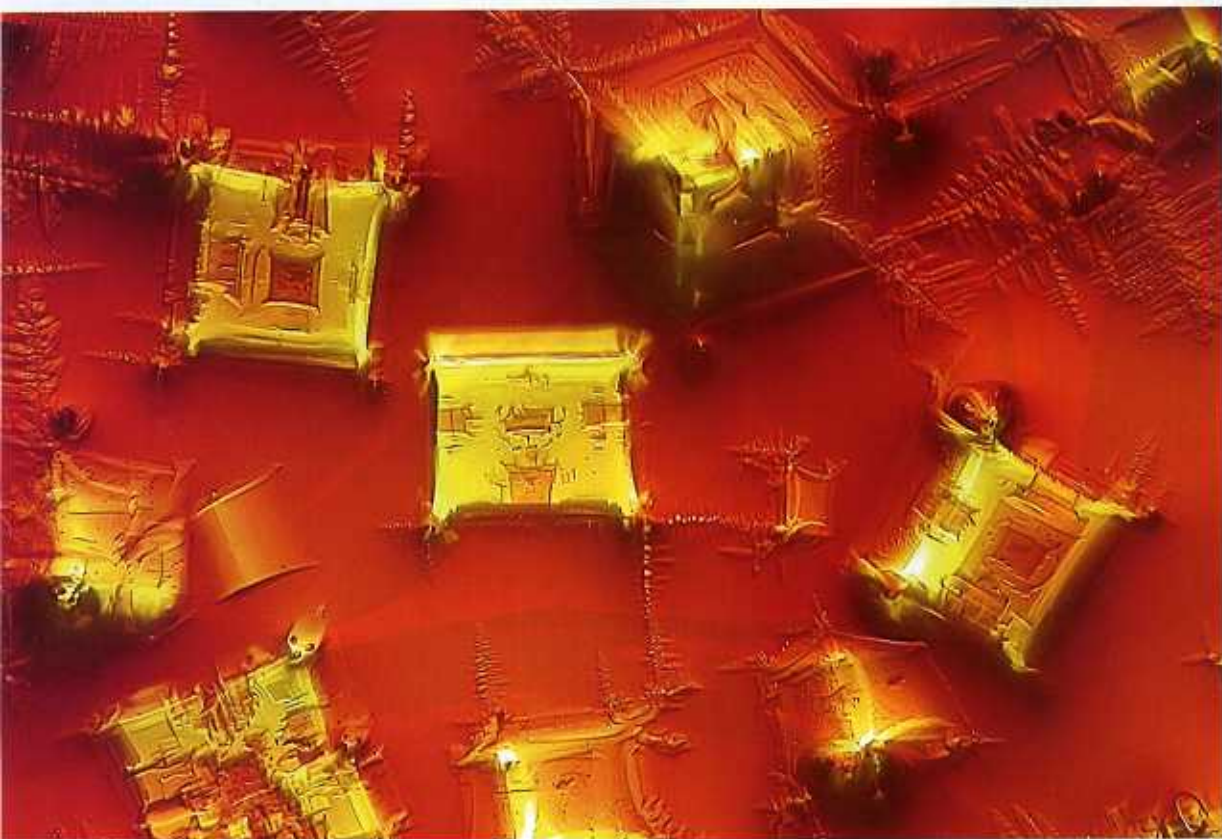


浮世絵のような化合物半導体の表面

金属剥離後のアンチモン化ガリウム（GaSb）半導体の表面。GaSb の結晶を基板に成長させた半導体は、赤外発光ダイオード（LED）などに使われている。

■明視野観察（一般的な光学顕微鏡の観察法）

■観察倍率 200 倍



しょうゆの結晶

中国のしょうゆから析出した結晶。

■横から光を照射 ■観察倍率 16 倍

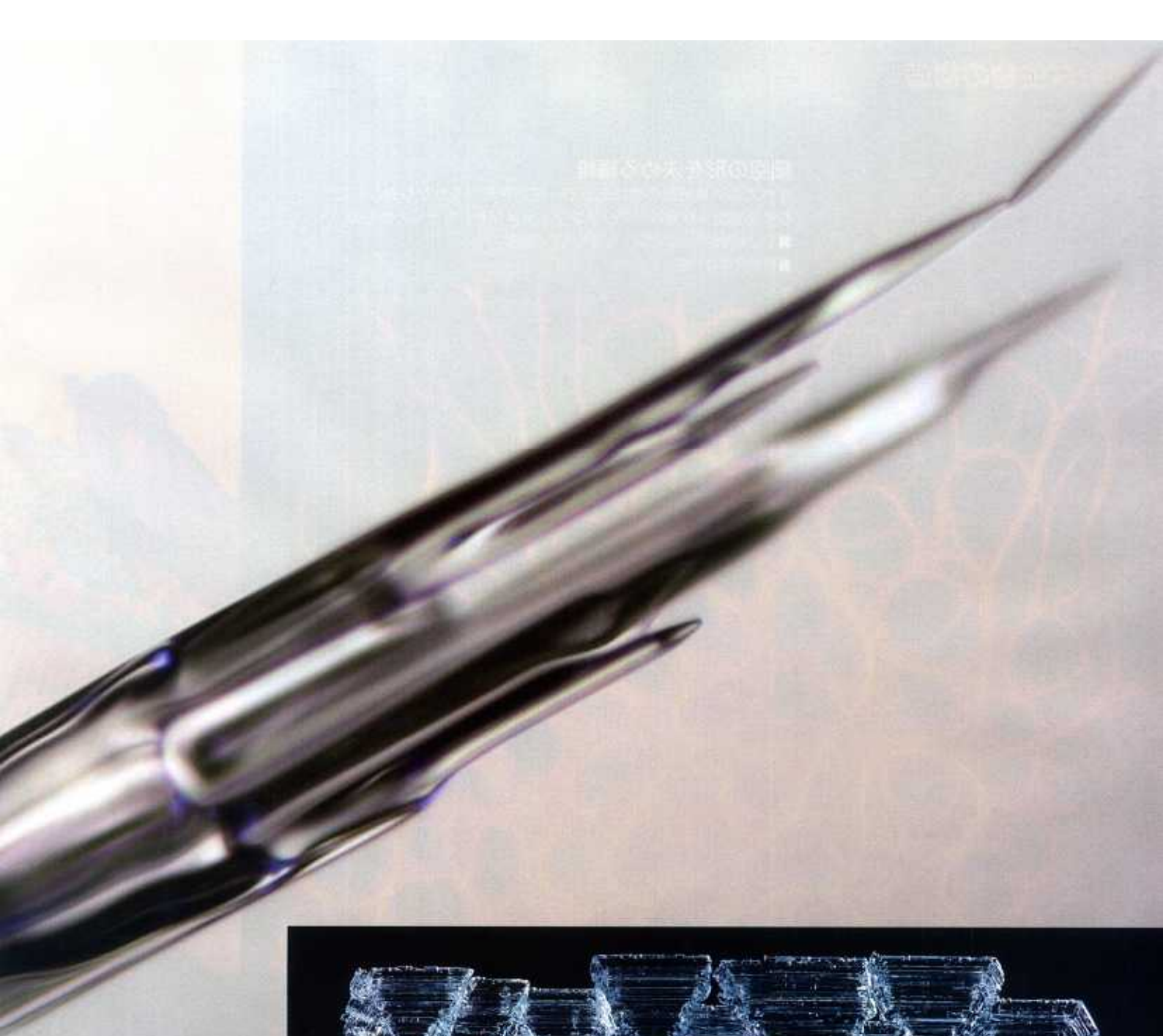


柱状の雪の結晶

両端が薄くなっている柱状の雪の結晶。

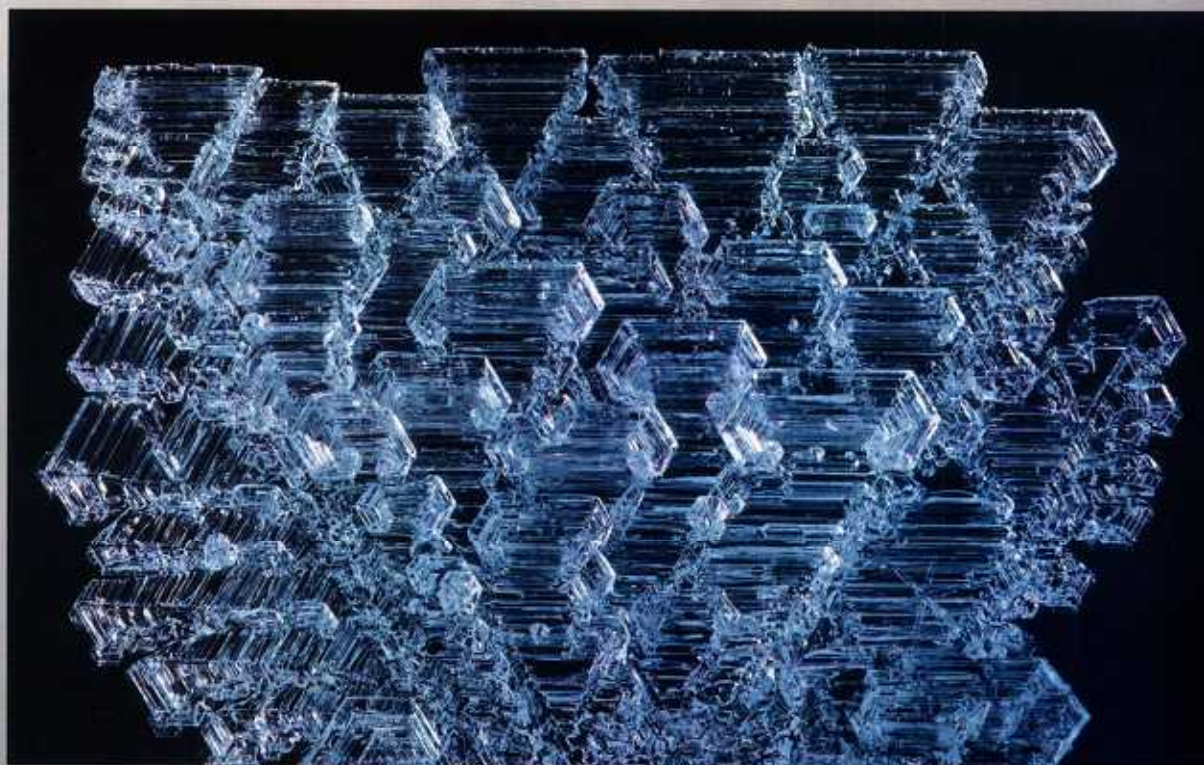
■明視野観察（斜め 2 方向から赤、青の光をあてている）

■観察倍率 26 倍



創製者の未来への思い

「筆は、人々の心を繋ぐための道具です。そのために、私たちは常に新しい技術を開発し、最高の筆を提供しています。未来への思いは、常に進化し続けることです。」



霜の結晶

ー15度Cに下がった深夜、フェンスの上で成長した霜の結晶。

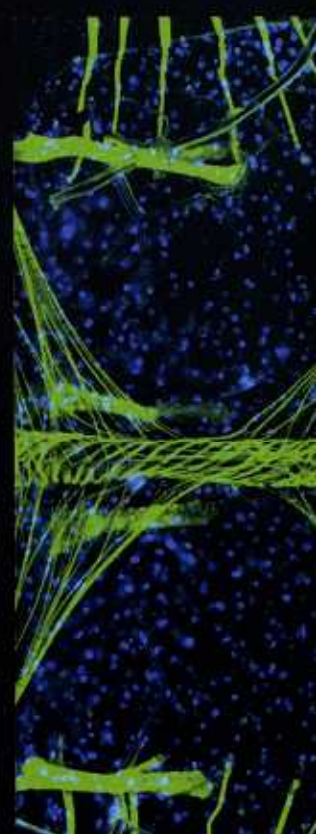
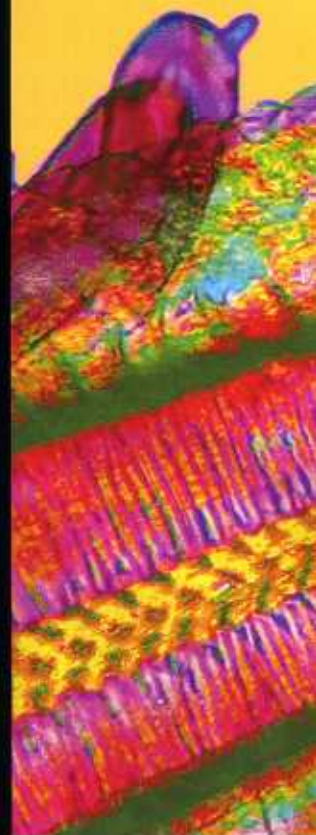
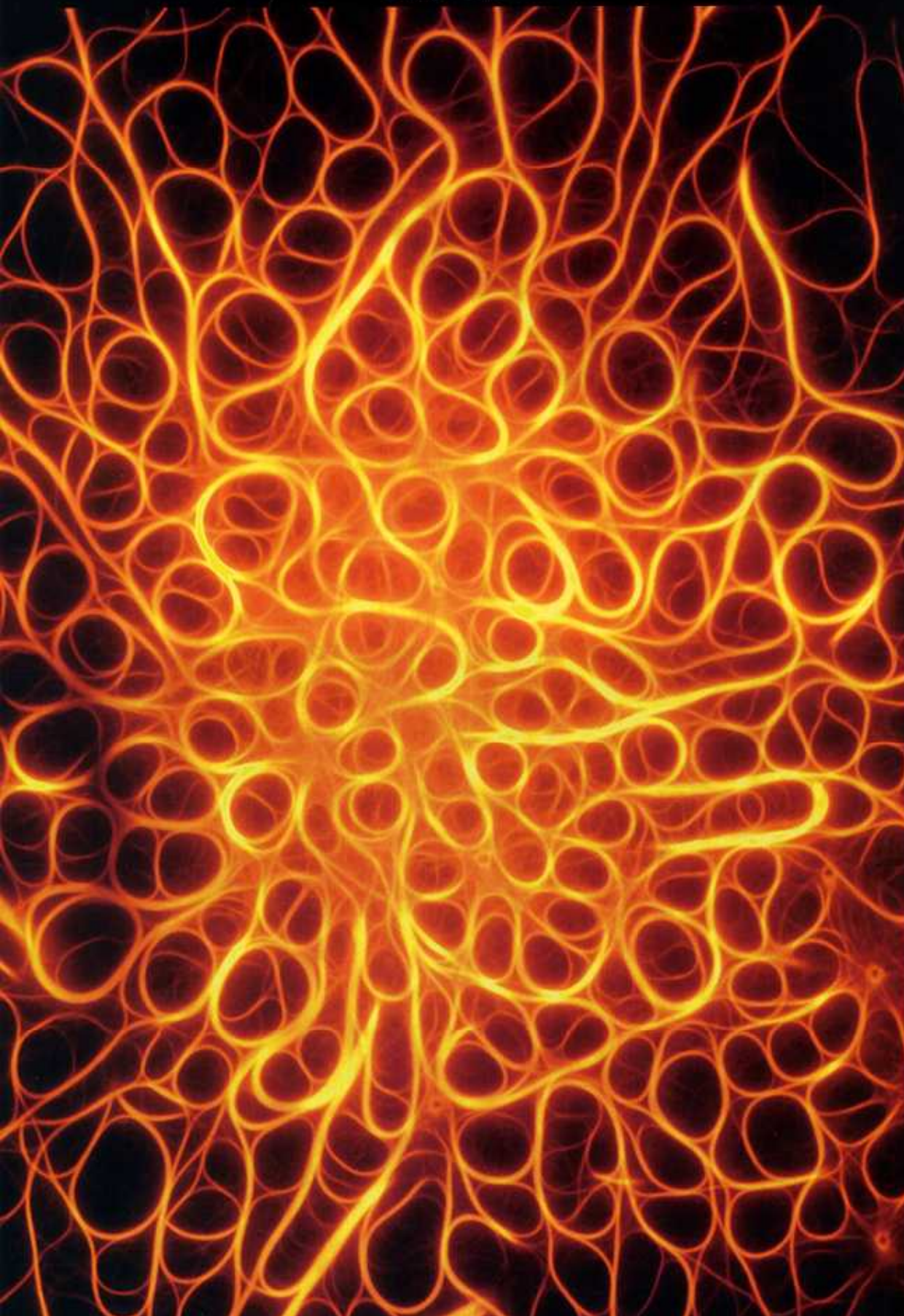
■暗視野観察 ■観察倍率5倍

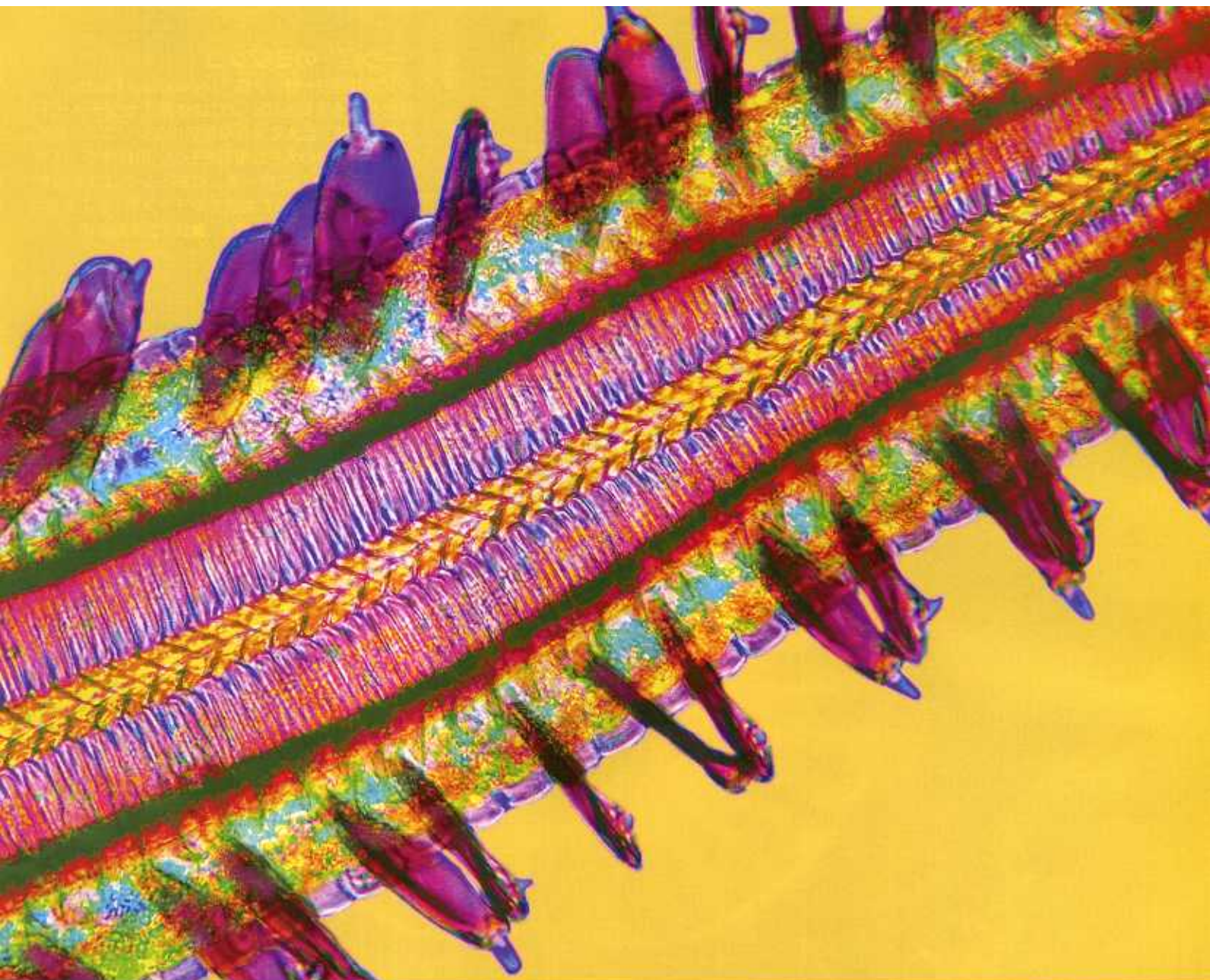
細胞の形を決める繊維

すべての真核細胞しんかくさいぼうの中うちにあって、細胞を形づくったり動かしたりする細胞骨格繊維「アクチンフィラメント」をとらえたもの。

■全反射照明蛍光顕微鏡／試験管内での観察

■観察倍率 63 倍

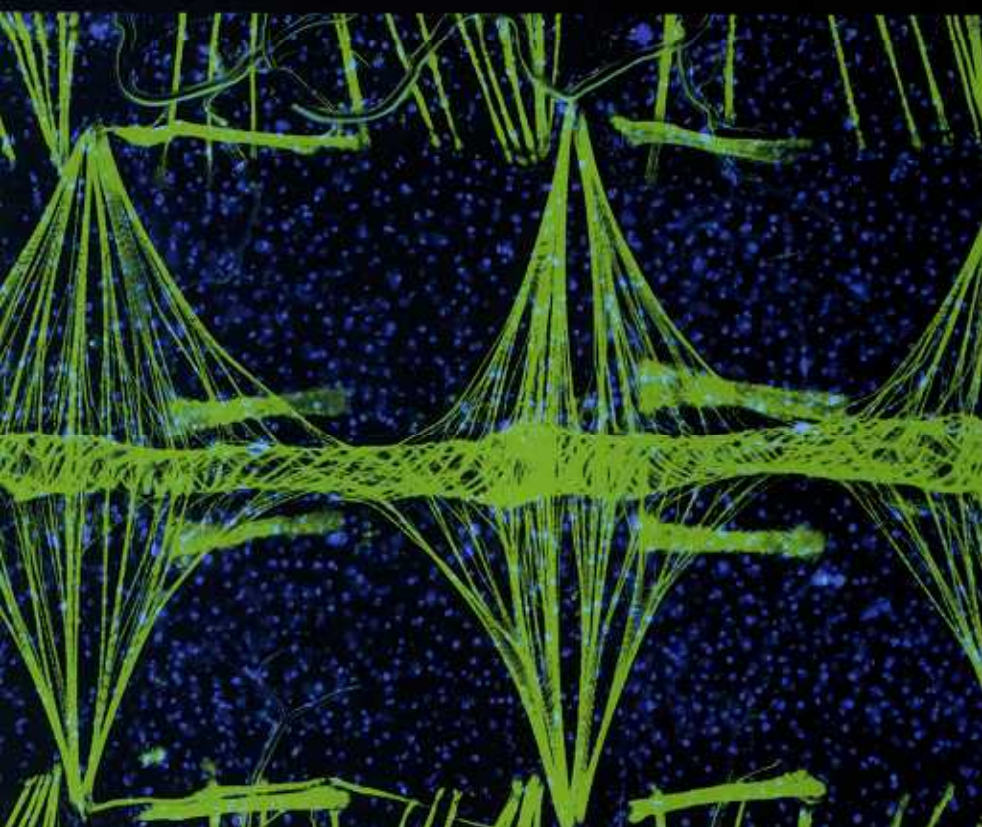




チョウの口吻のチャック

チョウが蜜などを吸うストロー状の「口吻」は、アゴの一部が変化したもの。羽化直後は2本に分かれているが、体が乾くころには、チャックのように一つに合わさってしまう。口吻の先端部には、画像のように突起状のものがついている。これは味を知るための感覚器官だ。

■偏光観察 ■観察倍率 720 倍



蚊の心臓

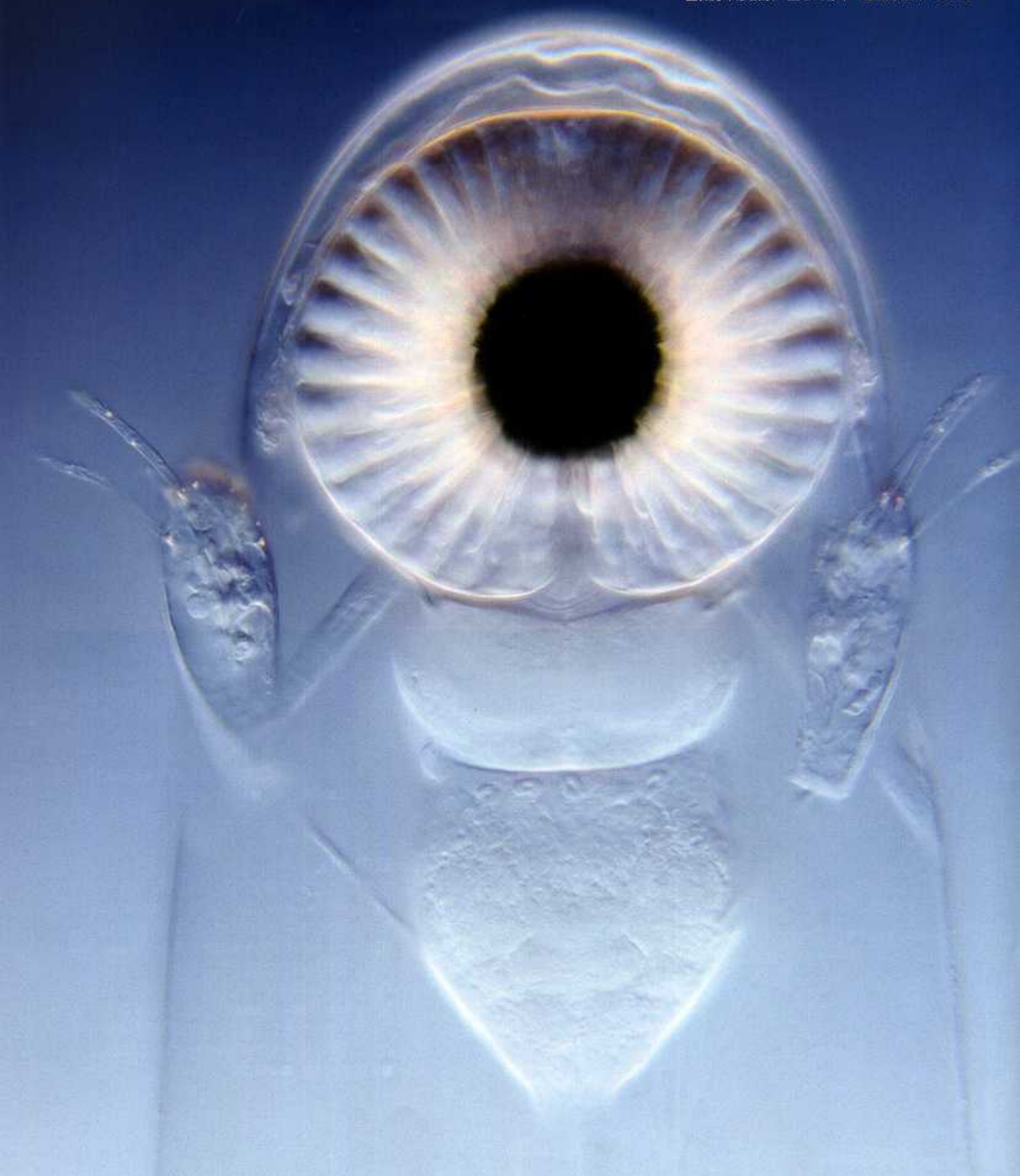
マラリアを媒介するガンビアハマダラカ (*Anopheles gambiae*) を、2色の蛍光色素を用いて観察。緑は筋細胞、青は細胞核 (DNA)。画像の中央を横向きに通る、筋繊維がらせん状になった部分は「背脈管」とよばれる器官。この管は、昆虫の背の部分につらなり、脊椎動物の大動脈と心臓に相当するもの。ダイヤモンド型に並ぶ筋肉は翼状筋とよばれ、これが収縮、弛緩して体液が送り出される。

■落射蛍光観察 ■観察倍率 100 倍

“一つ目” のミジンコ

ミジンコ目的一种、ノロ (*Leptodora kindtii*) の頭部をとらえたもの。ノロは体長1センチメートルにもなる。巨大で奇怪な形状のミジンコで、細長い頭部に一つの大きな複眼をもつ。肉食性で、ほかの生物を捕食して食べる。なおミジンコは甲殻類で、水中をただよって生活するプランクトンである。

■微分干渉観察／生きた標本 ■観察倍率 160 倍





アブの幼虫

アブの一種、ハマダラナガレアブ
(*Atherix ibis*)の幼虫。この幼虫は、
溪流などに生息する。手のように
みえる突起は擬脚とよばれるもの。

■実体顕微鏡 ■観察倍率 25 倍



若い二枚貝

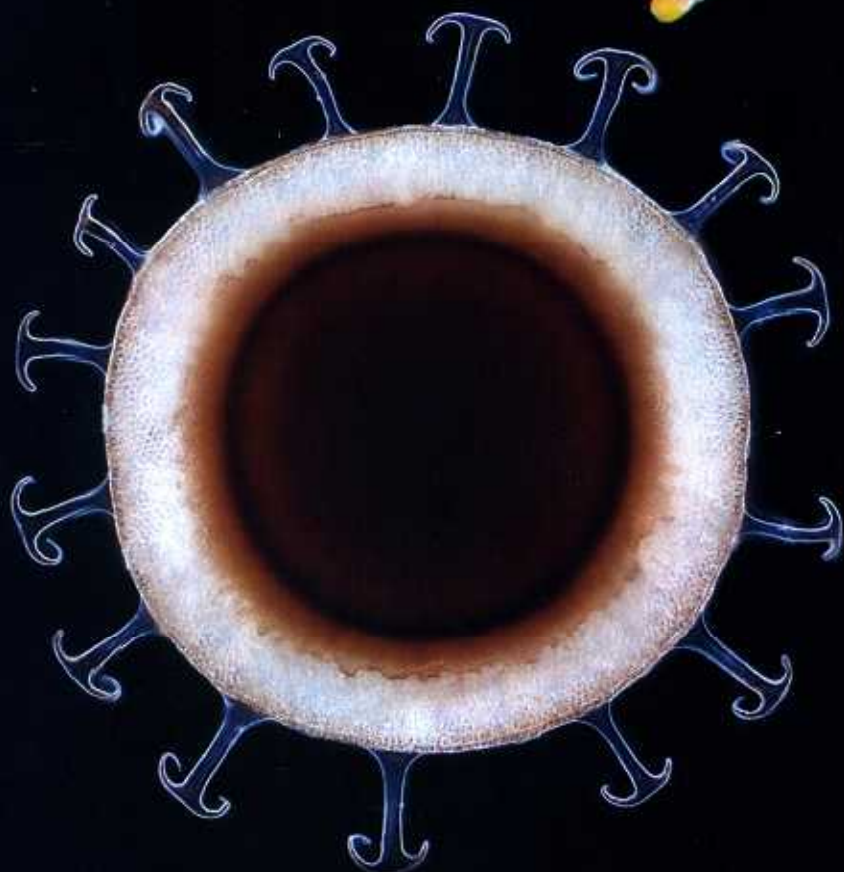
二枚貝は卵からかえると、浮遊性の幼生期に、しだいに殻ができてくる。画像は若いミノガイの仲間 (*lima sp.*) で、触手をもつ。

■実体顕微鏡、暗視野観察 ■観察倍率 10 倍

若いヒトデ

若いヒトデの口側をみたもの。まだ短い5本の腕に走る溝は、「歩帯溝」とよばれるもの。溝がまじわる部分に口がある。歩帯溝の中から「管足」とよばれる管をのばしている。多くのヒトデの管足は、その先に吸盤があり、これが移動やえさとり役に役立つ。

■暗視野観察 ■観察倍率 40 倍



コケムシの“タネ”

外肛動物（コケムシ）は、個体が多数集まって一つの集団（群体）をつくる。この標本は、無性生殖でつくられた「休芽」とよばれるもの。休芽は低温や乾燥にも耐えられる殻でおおわれ、時期がくると殻がわけて、中で成長した個体が出ていく。殻の外側にはトゲがある。

■暗視野観察 ■観察倍率 20 倍



スズメバチの巣

スズメバチの巣は、葉や樹皮などをかみ碎いて繊維を固めた、紙のようなもの。

■実体顕微鏡、被写界深度を拡張

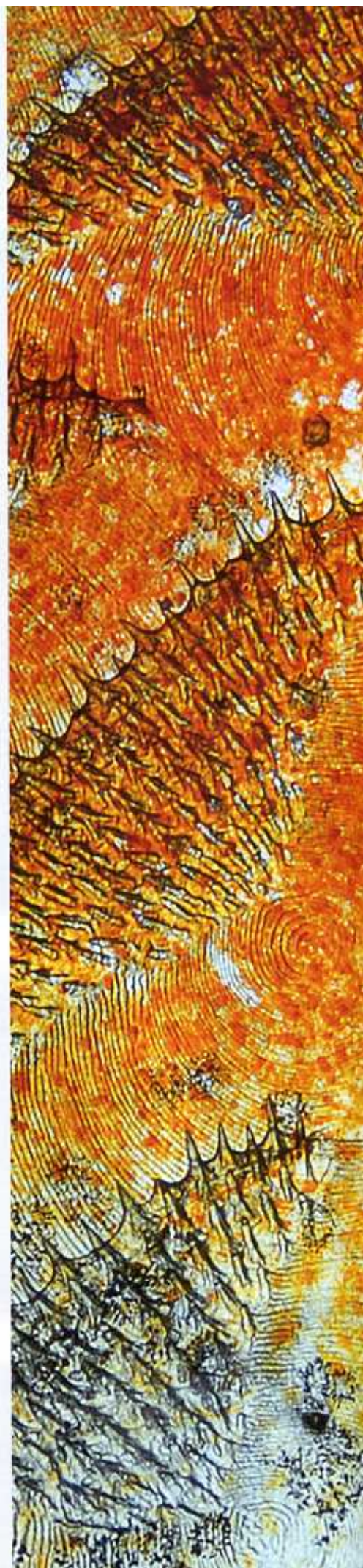
■観察倍率 10 倍

チョウの鱗粉

チョウ (*Cethosia biblis*) のはねをおおう鱗粉。鱗粉は、毛から進化したものと考えられている。

■暗視野観察

■観察倍率 20 倍





魚のうろこ

南アメリカ、アマゾン原産の淡水魚、「ディスカス」のうろこ。体色が美しく、動きも優雅なことから観賞魚として人気が高い。生まれたばかりのディスカスは、親の体にくっつき、体表から分泌される、タンパク質を含む粘液を栄養とする。

■透過光観察 ■観察倍率 20 倍

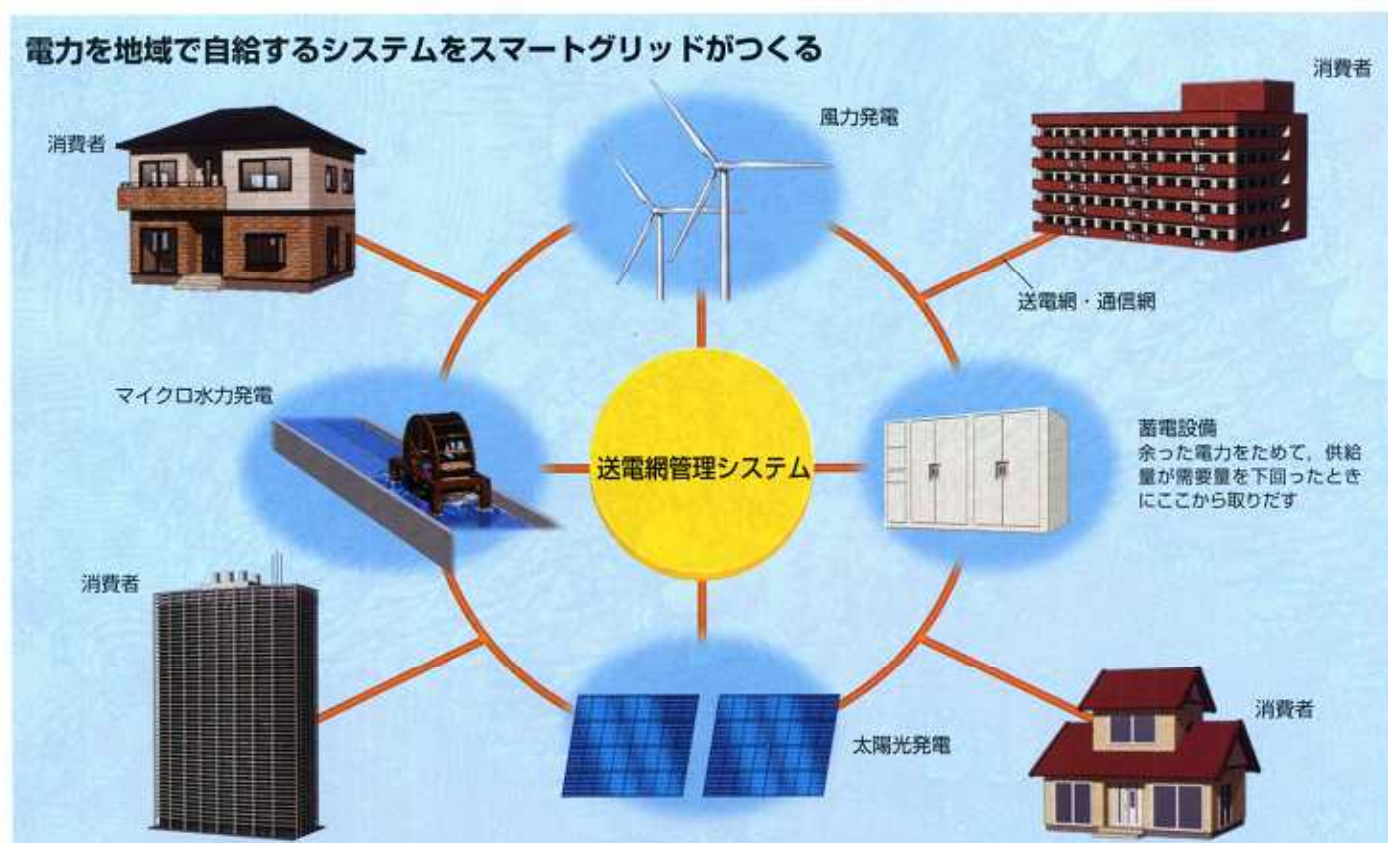
(担当：編集部 足田朋子)

「スマートグリッド」が日本の電力問題を救う？

自然のエネルギーを取りこんだ新しい電力システム

私たちの生活に欠かすことのできない電気。その電気を、私たちに供給してきた原子力発電所で、昨年大事故がおきた。いまだ日本の電力供給の先行きがみえない中、注目を集めているのが、太陽光発電、風力発電など、自然の力を利用した「再生可能エネルギー」である。気象に左右されがちなこれらのエネルギーを大規模に取りこむために、電力供給の急激な変動に対応できるよう、需要と供給の情報をとりまとめてバランスをとる新しい送電システム「スマートグリッド（賢い送電網）」が考えられている。スマートグリッドとは、いったいどのようなシステムなのだろうか。

協力 諸住 哲（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構 エネルギー・環境本部スマートコミュニティ部主任研究員



新しい送電システム「スマートグリッド」を導入してできる送電網の例をえがいた。太陽光発電、風力発電といった地域の小さな発電設備がつくる電力で、地域内の電力の需要をまかなう「地域自給型」システムだ。これは、スマートグリッドの一つの例で「マイクログリッド」とよばれる（非常時には火力発電所などの大規模な発電所から電気をもらうことも想定している）。太陽光発電、風力発電など、供給の不安定な電力を利用するので、供給量の急激な変化に対応できるよう、供給側と消費側の情報を統括・管理して需要と供給のバランスを保つ。

私たちはふだん、暗くなれば電気をつけるし、寒くなれば暖房をつける。買ってきた食べ物は冷蔵庫で冷やして保存し、料理を温めたいときは電子レンジを使う。私たちの生活は、電気がなければなりたない。そして、いつでも好きなだけ電気を使えることが、当たり前になっている。

私たちが電気に困らない生活を送れているのは、1970～1980年代という比較的最近に、発電・送電システムに大量の設備投資があり、他国にくらべて効率が極めて安定なシステムが構築されたためだ。

ところが、昨年おきた福島第一原子力発電所の事故が、事態を一変させた。現在、原子力発電所（原発）が運転を止めたり、運転を再開させる時期の見通しが立たなかったりしている。このままいけば、この春には日本中の原発の運転が止まるみこみだ。

これまで、日本の発電をにってきた大きな柱は、火力発電、原子力発電、水力発電の三つである。震災前、日本の全発電量に占める、原子力発電の割合は30.8%にもものぼっていた（2010年度）。原発で発電しなくなった分、火力発電所をたくさん運転させて、その穴埋めをしているのが現状だ。

しかし、そういつまでも火力発電にたよるわけにもいかない。火力発電では、石油や石炭などの限りある資源を使うし、地球温暖化の主な原因とされる二酸化炭素を排出する。

そこで今、注目を集めているのが「再生可能エネルギー」だ。再生可能エネルギーとは自然現象を利用したエネルギーで、石油や石炭のように使い切ってしまうことがなく、発電のためにふえる二酸化炭素の量は少ない。

再生可能エネルギーの例としては、「太陽光発電」、「風力発電」、「地熱発電」、「水力発電」、「バイオマス発電」などがある。

なお、再生可能エネルギーの中でも、「太陽光発電」、「風力発電」、「マイクロ水力発電」などは、これまでの火力発電、原子力発電、ダムを使った水力発電にくらべ、発電設備が小さい。再生可能エネルギーではないが、水素（都市ガスなどから得られる）や酸素などを使って電気をつくる「燃料電池」も、小さな発電設備として注目を集めている。これらの小さな発電設備は「分散型発電設備」とよばれる。

現在の電力エネルギーの発電状況

電力エネルギーの内訳



< 2012年1月のデータ >

電力エネルギーの前年同月比の増減率



< 2012年1月のデータ >

参考元：電気事業連合会ホームページ

2012年1月の日本全体での主なエネルギーの発電量の内訳（円グラフ）と、各エネルギーの前年同月比の増減率（棒グラフ）。震災前にくらべ、原発の発電量が劇的に減少した分、火力の発電量がふえている。震災前にくらべ、わずかに増加の傾向をみせる新エネルギーには、太陽光発電、風力発電などの再生可能エネルギーが含まれる。

電力の需要と供給のバランスをとれるスマートグリッド

電力不足がつづくともこまれている日本では、主に再生可能エネルギーを使った分散型発電設備の普及が進みそうだ。しかし、ここには大きな壁がある。

本来、電力というのは、需要と供給のバランスが完全にとられていなければならない。しかし、太陽の日照時間、風力などは時間帯や気象に左右されがちで、発電される電力の量が安定しない。このような不安定な電力が大量に送電網に組みこまれたら、送電網を流れる電力全体の供給量が急激に上下する。とくに、消費者からの需要を上まわる大量の電力が供給されると、需要と供給のバランスがくずれ、広域停電を引きおこしかねない。

電力の供給量が不安定なエネルギーを現在の送電網に組みこみながら、安定した電力の供給を実現するためには、供給量の「帳じり合わせ」をする必要がある。太陽光発電や風力発電からの発電量が不足していたら、その分、電力を供給し、過剰であれば、その分、供給をおさえなければならない。

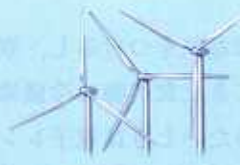
この帳じり合わせのスケジュールを組むためには、

今後、期待される電力エネルギー

従来の火力発電にくらべ、資源の枯渇や、二酸化炭素の排出の問題が、深刻でない再生可能エネルギーに期待が集まっている。再生可能エネルギーには、太陽光発電、風力発電、地熱発電などがある（右の図）。燃料電池も今後が期待される発電設備で、家庭用のコージェネレーションシステム（発電で生じた排熱を給湯、暖房などに利用するシステム）に使われたりしている。



マイクロ水力発電
小さな河川や水路の水の流れで水車をまわし発電機を動かす。



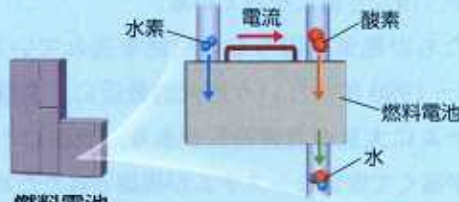
風力発電
風で風車をまわして発電機を動かす。



地熱発電
地下の熱水や蒸気を利用して発電機をまわす。



太陽光発電
太陽の光を電気に変換する。



燃料電池
水素と酸素を使って化学反応をおこし、発電する。

送電網内で、消費者にどれだけの電力が必要とされていて、どれだけの電力がどこから供給されるのかという需要と供給の状況を知ることが必要になる。

このように、電力を消費する側と供給する側の両方から、たえず情報を集めて、予測をしながら電力の需要と供給のバランスをとるシステムが「スマートグリッド（賢い送電網）」である。

現在の日本の送電網では、火力発電所など、大規模な発電所から送られる安定した電力が、変電所や電柱の変圧器を通り、電圧を徐々に落としながら、1軒1軒の消費者に送られている。このとき、電力の需要と供給のバランスをとることで、一定の周波数を維持できている。もし、バランスがくずれた場合は周波数や電圧の変動がおきてしまう。そうなると最悪の場合、発電設備がこわれたり、電気を受け取った機械が誤作動をおこす。そして、発電が不安定な再生可能エネルギーがふえると、従来のシステムではバランスをとることがむずかしくなる。

しかし、スマートグリッドを取り入れ、送電網全体における電力の需要と供給のバランスをとれるようになれば、不安定な電力源を含め、多くの発電設備から送電網に電力を送ることができるようになる。

スマートグリッドについて研究を行う、新エネルギー・産業技術総合開発機構、エネルギー・環境本部スマートコミュニティ部の諸住哲主任研究員は語る。「現在の日本では、ほとんど大手の電力会社のみによって売電が行われています。送電網の中に多数の発電設備を組みこみ、再生可能エネルギーのような不安定な電力エネルギーを大量に送電網に送りこ

んでも供給量の急激な変動をおさえることが技術的に可能になれば、新規の発電事業者が売電に参加しやすくなり、電気料金価格の競争をうながすことができるのです。このためスマートグリッドの導入は、原発事故がおきる前から検討されていました」。

電力供給の帳じり合わせには蓄電池が使える

ところで、このような不安定な電力エネルギーの帳じり合わせの発電は、いったい何にまかせたらよいのだろうか。一つは、安定していて柔軟に供給量をかえられる火力発電である。しかし、火力発電を使っても調節しきれないほどの電力の不足や過剰が発生した場合はどうするのか。そこで登場するのが大型の「蓄電池」である。余った電気を充電し、必要なときに放電できる便利な電池だ。

電気自動車やプラグインハイブリッド自動車に搭載されている蓄電池は、外部電源につなげることができ、将来的には、住宅などの電力の調整役に使われる可能性がある。

また、住宅などの建物専用の蓄電池も商品化が進んでいる。これを使えば、自宅の太陽光発電などで発生させた電力や、電気料金が安くなる深夜の電力を充電しておいて、必要なときに放電することができる。蓄電池にはさまざまな種類があるが、このような用途には「リチウムイオン電池」が普及すると考えられている。

なお、駅やビル、工場などの中には、ふだん余らせている電力を充電し、非常時に放電するような大型蓄電設備をすでに設置しているところもある。

地域単位で電気の自給自足をする

スマートグリッドがめざす送電システムの一つに、「マイクログリッド」がある。これは、地域内にある分散型発電設備や電力蓄電設備などを使い、その地域内で基本的に「自給自足」し、需要と供給のバランスを調整するシステムだ。ただし、地域内で調整できないときは、大型の発電設備からも電力を融通してもらうことも想定している。

このマイクログリッドの送電システムではどれくらいの地域を単位にするのだろうか。「1単位の規模はさまざま考えられますが、理想は500～2000戸ほどの規模です」と諸住主任研究員は語る。

電力の供給網の範囲を小さくすることで、管理すべき再生可能エネルギーの発電設備の数を減らすことができる。ただし、供給量の不安定さが相対的に大きくなるなどデメリットもある。「この小さな系統の単位は完全に孤立するわけではなく、上にはさらに大きな系統規模の管理システムが置かれます。従来の管理システムとはちがって、階層的な管理システムにすることを考えています」（諸住主任研究員）。

電気をつくる側と使う側の情報をやりとりできる

ところで、送電網内の電力の需要を知り、供給と

のバランスを上手にとるには、私たち消費者1軒1軒の電力の使用状況を知らなければならない。これらの情報はどのように把握されるのだろうか。

現在、住宅などの建物の電気の使用状況を知るために使われているのは、電気メーターである。電流が電気メーターを経由して流れたときに、電気メーターの円盤が回転する。円盤の回転数は、その家の電気の累積使用量をあらわしているのだから、前月までの回転数が差し引かれて、その月の電力使用量を知ることになるのだ。

スマートグリッドが取り入れられるようになった場合、このような電気メーターにかわる新しい電気メーター「スマートメーター」が使われることになる。

スマートメーターでは、電子センサーを使って電気の量を測定する。得られた情報は、半導体のメモリーにデータとしてためられていくのだ。

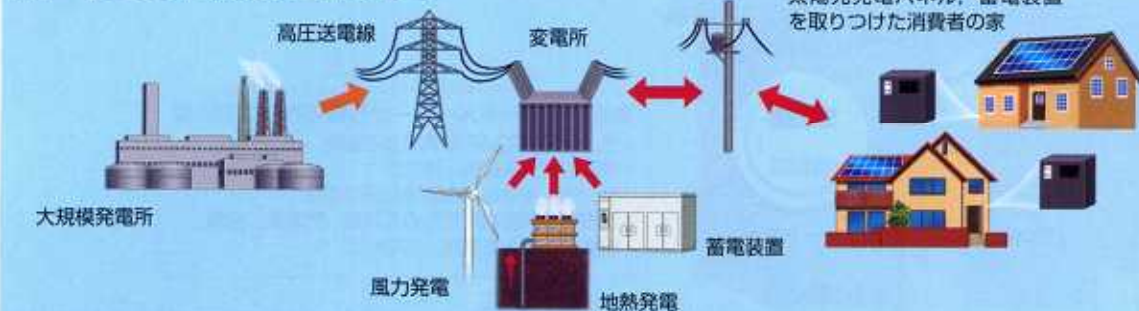
電力供給側は、コンピューターで消費者のスマートメーターに信号を送る。すると信号を送られたスマートメーターが、このコンピューターにデータを送信する。このやりとりには、無線、光ファイバー、電話線、電力を供給する電線などが使われる。こうして、消費者のデータは電力供給側に送られ、「それぞれの消費者の電気使用量」、また「電力網全体の電気使用量」を知ることができるのである。さらに、

送電システムの比較

現在の送電システム



スマートグリッド導入後の送電システム



現在の送電システム（上）と、スマートグリッドを導入した場合の送電システム（下）を比較した。現在の送電システムでは、ほとんど火力発電所などの大規模発電所から送電している。しかしスマートグリッドを導入すれば、需要と供給のバランスを柔軟にとることができるので、太陽光発電、風力発電など供給量が安定しない再生可能エネルギーを大量に供給することができる。

太陽電池パネルなどの分散型発電設備をそなえた建物については、発電設備の発電量や売電量、蓄電池をそなえた建物については蓄電池の充電や放電の状況を知ることにも可能だ。これらの情報は、そこからさらに、送電網管理システムに送られる。

そして、私たち消費者側が知ることのできる情報量もふえる。現在は、今月の電気使用量と電気料金が知らされるくらいのものである。しかしスマートメーターを使うと、「過去の電気使用量と現在の電気使用量の比較」、「1日のうち、どの時間帯で最も電力を使っているのか」などの細かい情報を簡単に知ることができる。情報は、屋内のモニターや電力会社のウェブサイトで見ることが可能になるという。

このような情報を見ることができれば、私たちは「1か月前にくらべて電気を使いすぎているから気をつけよう」、「暑くなる時間帯にたくさん電気を使っているから、冷房の設定温度を低くしよう」など、節電の対策を立てやすくなる。

さらに、スマートメーターは、送電網の管理者からのメッセージを受け取ることもできる。

電力網全体での需要と供給のバランスをみて、電力が不足しそうだと判断した管理システムは、スマートメーターを通じて、それぞれの消費者に電気の使用をおさえてもらうようにはたらきかける。具体的には、電気料金の値上げを知らせたりする。このような方法で、電力の需要が供給をこえた場合におきる大規模停電を回避しようというわけだ。逆に電

力網内で電力の供給量が過剰になる危険が出てきた場合は、消費者の売電を止めさせる。

さらに、時間帯ごとにリアルタイムで変動する料金制度が導入されれば、消費者は、スマートメーターを通じて、その情報を受け取り、「お得な」電気の買い物をするができるのだ。

世界で注目を集めているスマートグリッド

スマートグリッドは、もともとは2009年、アメリカの政府が導入の促進を提案して広く知られるようになった技術である。アメリカでは日本とことなり、多くの電力会社が電力取引に参加している。このため、多くの発電設備と消費者の情報をつなぐスマートグリッドは必要なシステムであった。

また、アメリカで電力設備に大きな投資があったのは1950年～1960年代である。このため、現在の電力設備は老朽化してきており、安定的に効率よく電気を送るシステムが求められていた。

アメリカは現在、東部、西部、テキサス州の三つの区域で送電網が分けられている。東部と西部では時差が4時間近くもある。4時間のずれでは、1日の中で、電力の需要ピークに明らかなずれが生じる。このため、三つの送電網をスマートグリッドで結び、ある区域で生じた余りの電力を、必要としているほかの区域に送るといった融通がきくようになれば効率がよい。現在、これら3区間を「スーパー（グリッド）ハイウェイ」とよばれる送電網で結ぶ計画が

スマートメーターが教えてくれる情報



送電網管理システムがスマートメーターから得られる情報の例

- ・電気使用量
- ・(時間帯別変動料金が導入された場合) ことなった料金単価で電気を使用した時間数
- ・(分散型発電設備をもつ場合) 売電した電気の量と単価

家庭がスマートメーターから得られる情報の例

- ・今、消費している電気の量と値段
- ・今日の電気消費量と電気代
- ・日、週、月ごとの電気使用量の変動
- ・家庭用分散型発電設備の発電量、売電量、金額
- ・家庭用蓄電池の充電・放電状況

※太陽電池パネル、燃料電池、電気自動車は分散型発電設備として利用できる

各家庭にスマートメーターが導入されたら、私たちは電力について、今までよりも豊富な情報を得ることができる。また送電網管理システムは、各家庭から電気使用量や売電状況の情報を得ることができる。そしてそれらの情報をもとに、送電網内での電力の需要と供給のバランスを安定的に維持するような対策をとる。たとえば供給が不足しそうな場合に、私たちには「電気の使用をおさえてほしい」などのメッセージが届くことになる。

日本のスマートグリッド実証試験

京都府けいはんな学研都市

- ・約900世帯からなる新興住宅地に擬似的な価格変動料金制度を導入し、住民の需要の変化を実証。
- ・家庭向けのエネルギーコンサルティング（エネルギー使用状況の“見える化”と省エネアドバイス）をモニターを使って行う。

福岡県北九州市

- ・新日本製鐵による電力の供給が行われている地域において、230世帯、50事業所にスマートメーターを設置し、需給状況に応じてリアルタイムで電力価格を変更する価格変動料金制度を実施。

愛知県豊田市

- ・太陽光発電、家庭用燃料電池、蓄電池、プラグインハイブリッド自動車などをそなえた家を67軒建設。
- ・擬似的な価格変動料金制度を導入し、住民の需要の変化を実証。将来的には家電の自動制御へ発展させる。

神奈川県横浜市

- ・みなとみらい地区、港北ニュータウン、金沢地区の広域で4000世帯を含む地域全体のエネルギー管理システムを技術実証。
- ・擬似的な価格変動料金制度を導入し、住民の需要の変化を実証。将来的には家電の自動制御へ発展させる。

資料提供元：経済産業省

日本では政府の主導により、2011年より四つの地域で「スマートコミュニティ」の実証計画が進められている。現在は、システムおよび機器の開発、設置を行っているところで、一部地域では先行的にデータ取りを開始している。2013年4月以降は本格的に実証試験が進められる予定だ。

進められており、各地域ではスマートメーターの設置が進められている。

EU（欧州連合）加盟国では、2022年までに全戸のスマートメーターの取り付けを完了する予定である。アメリカ同様、電力事業に企業が新規参入しやすく、もともとの電力設備が老朽化しているために、スマートグリッドの導入が必要だったのだ。

中国をはじめとする東アジア、東南アジアや中東、アフリカなどの地域でも、スマートグリッドに注目が集まっている。これらの地域には急速な経済成長をしている国が多い。経済成長にともなうのびる電力供給に対応するためには、安定して効率的な送電ができ、再生可能エネルギーなどを取りこめるスマートグリッドが望まれているのだ。

日本でもスマートグリッドの実証試験が行われている

現在、日本では、政府によって、神奈川県横浜市、愛知県豊田市、京都府けいはんな学研都市、福岡県北九州市の四つの地域の一部で、「スマートコミュニティ」の実証試験が計画されている。スマートコミュニティとは、スマートグリッドや、再生可能エネルギーの発電設備などを取り入れた地域のことである。具体的な計画の内容としては、消費者の家に太陽光発電を導入したり、スマートメーターを導入して料金値上げなどを意図的に行い、消費者の反応を

みたりする、といったことである。

この計画は2011年にはじまり、現在は設備を準備しているところだ。2013年4月以降から本格的に実証試験をはじめの予定である。また、日本はアメリカ、中国、インドなどと現地で実証実験を行っている。

「スマートグリッドの普及は、エネルギー資源の枯渇や環境の問題が軽減される再生可能エネルギーの今後の普及に必要なものです。しかし、スマートグリッドを導入することによって生じるであろう問題もあります」と諸住主任研究員は語る。

その一つが、設備にかかる高額な費用である。今後、設備費用を安くおさえられる技術が求められる。さらに問題となるのが、情報の管理問題だ。スマートメーターの取り付けで、消費者側から管理システムへ送られる膨大な量の個人情報（ほうだい）が盗まれる心配がある。さらに、電力の需要状況や発電設備からの供給状況を盗み見られ、最悪の場合は外部から勝手に送電を操作される危険性もともなう。これらの情報管理を安全に行う対策も必要になってくるだろう。

将来、スマートグリッドが導入されたら、私たちの生活は大きくかわるのだろうか。「おそらく、私たちはあまり生活の変化を感じることはないでしょう。そうやって気づかないうちに省エネができている、スマートグリッドはそういう時代をつくるのです」（諸住主任研究員）。

（担当：編集部 遠津早紀子）

人類のやっかいな相棒「ピロリ菌」

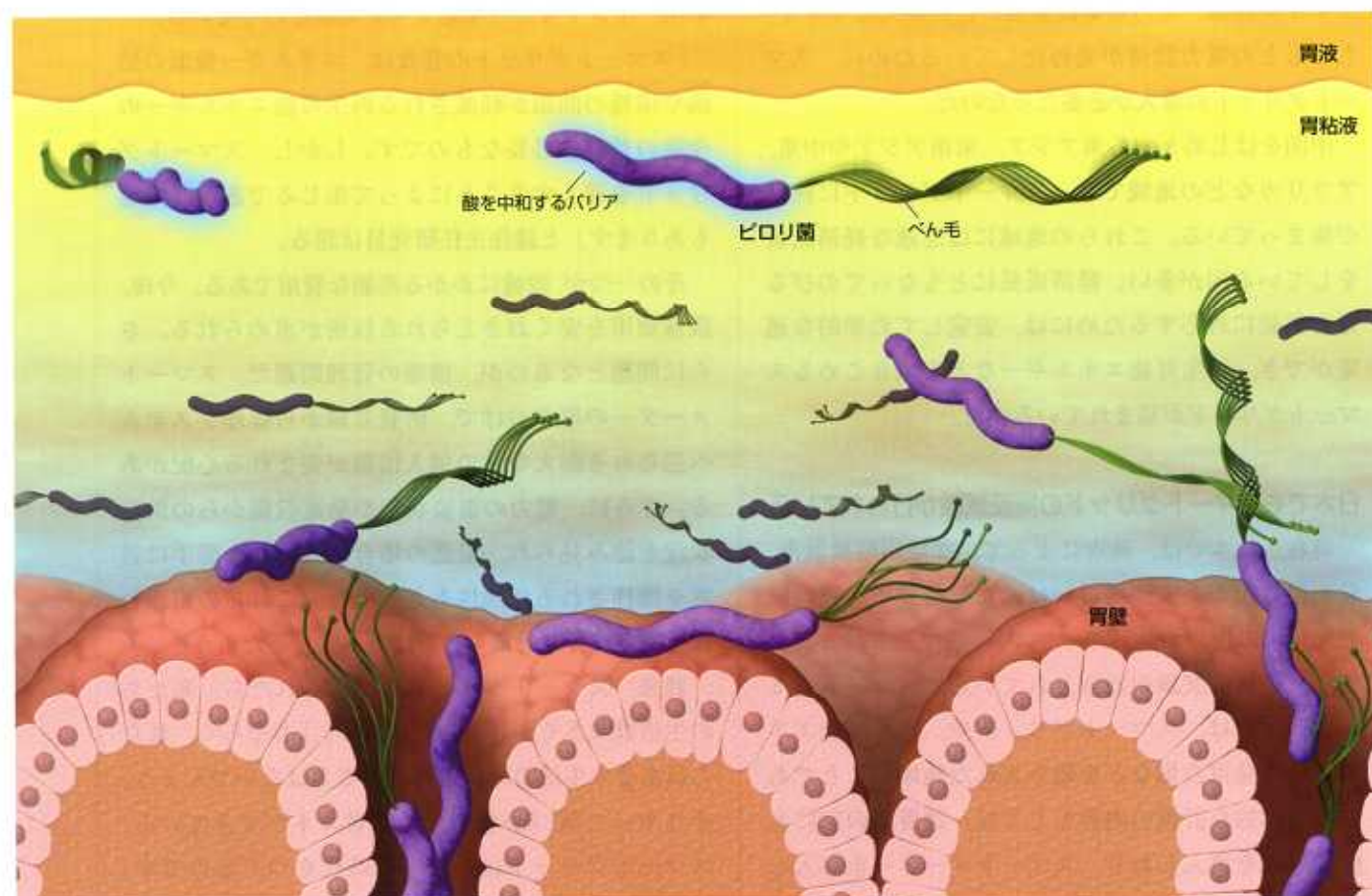
全人類の2人に1人が、胃潰瘍や胃がんをひきおこすピロリ菌に感染している

ピロリ菌の感染者は世界の人口の約半数、日本だけでも5000万人にのぼるという。この菌が発見されたのは今からおよそ30年前。当時、胃の中は強酸性のため無菌だというのが常識となっており、この菌が胃から発見されたことは大きなおどろきだった。しかし、ピロリ菌のおどろくべき点は、胃の中に住むことだけではない。近年、ピロリ菌は胃潰瘍や胃炎のみならず、胃がんなどの原因となることが次第に明らかにされてきているのだ。一風かわったこの菌は、あなたの胃の中にも潜んでいるかもしれない。

協力 神谷 茂
杏林大学医学部教授

畠山昌則
東京大学大学院医学系研究科教授

山岡吉生
大分大学医学部教授



胃の中のピロリ菌の想像図。紫色の細長いらせん状のものがピロリ菌、下のピンク色の部分は胃壁だ。胃壁は胃粘液でおおわれている。胃粘液の上には強酸性（黄色）の胃液が広がる。胃粘液中では、胃壁の近くは中性（水色）で、胃壁から離れるほど酸性度が高まる。ピロリ菌は胃粘液中に多く住む、体長約0.004ミリメートルの細菌だ。回転するべん毛や、酸を中和するバリアなどを使い、胃粘液中を泳ぐ。

私たちは食べ物とともに多数の細菌を口にする。胃は、これらの細菌の殺菌室だ。胃の内側には塩酸を分泌する細胞があり、空腹時、胃の中はpH1程度となる（pHは酸性度をあらわす単位で、数字が小さいほど酸性度が高い）。これは、金属をとかしてしまうほどの強酸であり、このような酸性下では細菌は死滅してしまうはずだ。そのため、胃に定住する細菌はいないと考えられてきた。しかし1983年、この定説をくつがえし「ピロリ菌」が発見された。

それまで、胃炎や胃潰瘍（みずからの胃酸で胃壁を傷つけてしまうこと）の原因は食事やストレスだとされてきた。しかしピロリ菌が発見され、ピロリ菌が胃炎や胃潰瘍の主な原因であることがわかった。

また、最近の研究により、ピロリ菌が胃がんをおこすしくみや、ピロリ菌の除菌で胃がんになるリスクを下げられるといったことも明らかになってきた。ピロリ菌は、細菌としては、がんとの関係が認められている唯一の存在である。

このように、ピロリ菌は医学の常識をかえてしまった細菌であり、発見者であるオーストラリアの二人の医師、ロビン・ウォーレン博士と、バリー・マーシャル博士には2005年にノーベル生理学・医学賞が授与されている。まずは、二人のピロリ菌発見の逸話を紹介しよう。

ピロリ菌をみずから飲んで病原性を証明

ウォーレン博士は胃炎をおこした胃から取り出した粘膜を顕微鏡で観察し、1979年、多くの患者に共通して、らせん状の細菌（らせん菌）がいることを明らかにした。ウォーレン博士は、この菌が胃炎の原因なのではないかと考えた。しかし、この菌が胃炎をおこした“犯人”だと断定するには、この発見だけでは不十分だ（くわしくは次ページ上の図）。

まずほかの要因によって胃炎になり、その後、細菌がそこに定着しただけかもしれないためだ。実は100年ほど前から胃の中に細菌がいるという報告はされていたが、それらは胃の中に住む細菌ではなく、観察の過程で混入したものでだろうとみなされていた。

ウォーレン博士の共同研究者となったマーシャル博士は、次なるステップである、細菌の培養に挑戦した。しかし、さまざまな条件の培地（細菌の培養に

使う、シャーレに寒天などをしいたもの）で培養を試みても、いっこうにこの細菌は培養できなかった。

しかし、この状況は突然打開された。1982年、マーシャル博士は、ピロリ菌を培地に放置したまま、4日間の休暇に出かけ、5日後にもどってきた。すると、培地に1ミリメートル程度の小さなコロニー（細菌が寄り集まったもの）ができていたという。実はピロリ菌は、それまでに培養に成功していたほかの細菌よりも増殖が遅かったのだ。

次に、この細菌が胃炎を引き起こすことを証明するため、マーシャル博士はブタなどの実験動物にこの細菌を飲ませた。ところが、動物たちは胃炎にならなかった。細菌によってはある動物にだけ感染するものもある。マーシャル博士は、このらせん菌は人間にだけ感染するのかもしれないと考えた。この仮説を確かめるにはどうすればよいのだろうか？ マーシャル博士は、自分を実験台にする道を選んだ。なんと、ピーカーに入れたピロリ菌を飲んだのだ。

その結果、マーシャル博士は急性胃炎となり、その患部から、らせん菌が検出された。こうして、このらせん菌が病原菌であることが証明できたわけだ。

その後、この細菌は「ヘリコバクター・ピロリ」と名付けられた。「ヘリコバクター」はらせん菌、「ピロリ」は幽門を意味する。幽門とは、胃とその後につながる十二指腸の境目のことである。幽門付近に多くいるらせん菌だったため、この名がついた。

圧倒的な感染者数。感染経路はなぞ

その後、各国でピロリ菌に感染しているかどうかを調べる検査が行われ、その感染者数は世界の人口の約半数にのぼることがわかってきた。

「現在、日本でも、人口の半分弱、およそ5000万人程度が感染しています。もっとも、1940年代生まれのいわゆる団塊の世代を境に、若い人では感染率は低下傾向にあります」と、ピロリ菌にくわしい杏林大学の神谷茂教授は語る。

ピロリ菌はどのようにしてこんなにも多数の人に感染したのだろうか？ 実は、ピロリ菌の感染経路ははっきりとはわかっていない。ピロリ菌に感染してもすぐには症状が出ないため、感染した瞬間を特定できず、感染経路の解明がむずかしいためだ。

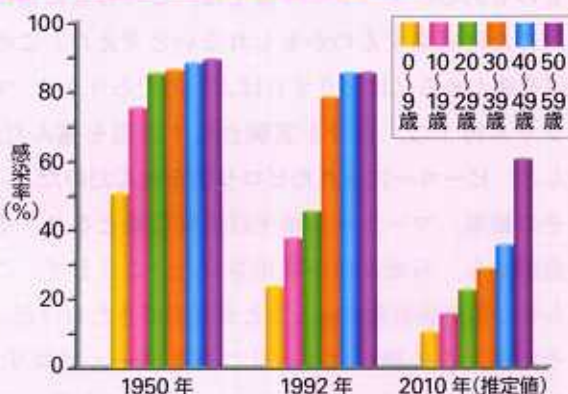
病原菌の証明に必要な条件(コッホの4原則)

※ピロリ菌の場合



コッホの原則は、ドイツの微生物学者、ロベルト・コッホ(1843～1910)により提唱された。この4つの条件をすべて満たすことで、ある病原体が特定の病気の原因だといえる。ピロリ菌の場合は、ウォーレン博士の観察により1は満たしたが、2～4を満たすのが容易ではなかった。マーシャル博士が休暇中にシャーレを放置したという偶然により2が満たされ、その後の3と4については、マーシャル博士がピロリ菌を飲むことで満たされた。

日本人の年代別ピロリ菌感染率



1950年、1992年、2010年における、各年齢層(当時)ごとのピロリ菌の感染率をあらわしたグラフ。2010年は推定値である。近年では感染率が低下してきており、とくに若年層では感染率が大きく低下していることがわかる。

※日本ヘリコバクター学会「市民の方へのピロリ菌解説」を参考に作成

一つの説は、水を介して感染するというものだ。発展途上国に感染者数が多いことや、日本のように、上下水道が整備されたところから急速に感染率が下がっていることなどがこの説の根拠となっている。ピロリ菌は、食物などにまじって胃から腸へと流出し、体外へと排出される。排出されたピロリ菌が井戸水などにまじり、ふたたび体内に取りこまれる可能性が考えられるという。

もう一つの説は、親から子へ口経路で感染するというものだ。実は、口からも少数のピロリ菌が検出されることがある。ピロリ菌の遺伝子を研究している大分大学の山岡吉生教授は、「母と子では、ピロリ菌の遺伝子が似ているという研究結果などから、主な感染経路は親から子だと考えられます」と語る。

日本で近年感染率が低下した理由としては、市販の離乳食の普及や、虫歯菌が子供にうつるのを気にする親の増加にともない、親が咀嚼した食べ物を子へあたえなくなってきたことなどが考えられるという。

一方、感染時期については、これまでの研究により、5歳未満の幼児期だということがわかってきた。「幼児期の、まだ体の免疫が完成していない時期に感染します。マーシャル博士のように大量のピロリ菌を飲めば話は別ですが、健康な大人が新たにピロリ菌に感染する心配はほぼありません」(山岡教授)。

たくみに胃に潜伏し、多様な毒素で人体を攻撃

ここからは、ピロリ菌が人体に入ったのち、どのように胃を傷つけるのかをみていこう。

まず、ピロリ菌が胃を傷つけるためには、胃に定住する能力が必要となる。ピロリ菌は胃の中に定住するが、実は酸に強いわけではない。それでも胃の中にとどまることができるのは、酸を中和する“バリア”をはる能力をもつためだ。

ピロリ菌は体内で「ウレアーゼ」という酵素をつくる。この酵素は、尿素(ウレア)を分解して、アンモニアと二酸化炭素にするはたらきをもつタンパク質である。尿素は肝臓でつくられる水溶性の分子で、血流と共に体中をめぐっており胃の中にも存在する。アンモニアはアルカリ性なので、胃酸を中和できるわけだ。

また、ピロリ菌は、人間の胃粘液もたくみに利用する。胃粘液は、強力な胃酸により胃壁が傷ついて

てしまうのを防ぐ役割をもっている。この粘液を分泌する細胞は、酸を中和する物質も分泌する。そのため、粘液の胃壁側は中性に近くなっている。ピロリ菌は、この粘液内に多く存在するのだ。

さらに、ピロリ菌の「べん毛」と「接着因子」も胃の中にとどまるのに役立つ。べん毛は、細長いチューブ状の構造で、運動するために使われる。ピロリ菌は4～8本のべん毛をもち、これらを高速で回転させ、1秒で体長（約0.004ミリメートル）の10倍ほどの距離を移動できる。また、接着因子は、ピロリ菌の表面にあるタンパク質で、ピロリ菌が胃の表面の細胞とくっつくのに使われる。

こうして胃にうまく潜伏するピロリ菌は、あの手この手で人体を傷つける。「コレラ菌ならばコレラ毒素」といった具合に、多くの病原菌は宿主を傷つける因子を一つしかもっていません。しかし、ピロリ菌の傷害因子（人体を傷害するタンパク質など）は多様です」と神谷教授は語る（右の表）。

これらの傷害因子は、細胞を空胞化させたり、細胞のつなぎ目を切断したりすることで直接胃の表面の細胞を傷つける。すると、粘液で守られていた胃の表面が、直接胃液にさらされるようになり、胃潰瘍などがおきるのだ。

「胃潰瘍で80%、十二指腸潰瘍で90%以上の患者がピロリ菌の感染者です。また、ストレスで胃潰瘍になるといいいますが、ストレス性の胃潰瘍ともピロリ菌は関連があるという研究結果もあります」（山岡教授）。阪神淡路大震災の際に、多くの人々がストレスにより胃潰瘍となった。その際、胃潰瘍とピロリ菌の関係を調べる研究が行われた。1999年に発表されたこの研究の結果によると、ピロリ菌感染者では、ピロリ菌に感染していなかった人の3倍以上もストレス性の胃潰瘍になりやすかったという。

ついにピロリ菌と胃がんの関係がみえてきた

胃がんは、日本ではがんの中で肺がんに次いで死亡者が多く、年間約5万人が死亡している。近年、胃潰瘍のみならず、この胃がんともピロリ菌が関係している証拠が次々と得られている。

日本の国立がん研究センターは、ピロリ菌と胃がんの関係を調べるため、約4万人を対象とした疫学

研究を行い、2006年にその成果を発表した。疫学研究とは、多数の集団を対象として、ある病気の原因と考えられることと、その病気の間に関係があるかどうかを統計的に調べる研究である。この研究の結果、ピロリ菌がいることで、胃がんのリスクは少なくとも5.1倍になることがわかった。

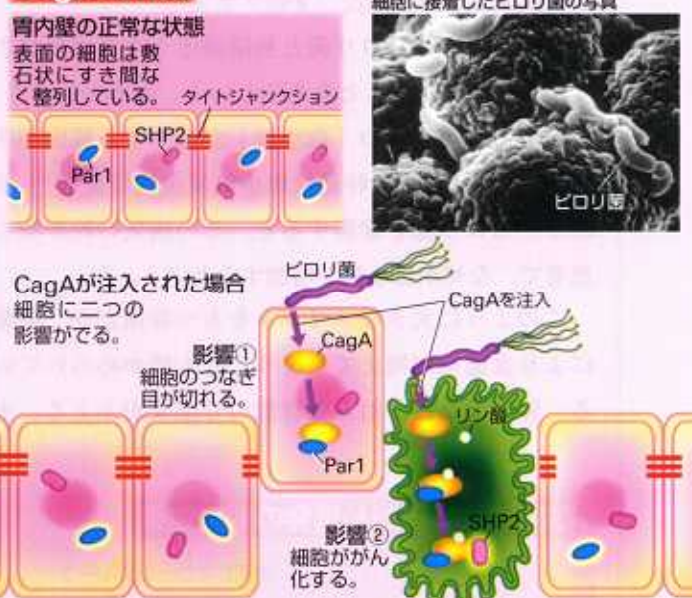
そして、2007年には、東京大学の^{はなけやま まさのり} 畠山昌則教授らの研究により、ピロリ菌がつくる傷害因子の一つである「^{キョウダニ} CagA」というタンパク質の作用でがんが引き起こされることが確かめられた（下の図）。

CagAは、注射針のような装置を通して胃の細胞内に注入される。注入されたCagAは、細胞の増殖などに関係する「^{スエーデン} SHP2」というタンパク質を活性化

ピロリ菌の主な傷害因子

傷害因子	主な作用
CagA	細胞のつなぎ目の切断、細胞のがん化など。
VacA	細胞の空胞化、アポトーシス（細胞の自死）誘導など。
OipA	炎症反応をうながし、胃粘膜を傷害する。
DupA	十二指腸潰瘍との関連が指摘されている。

CagAの作用



正常な胃の内壁表面の細胞は、となりあう細胞をつなぎとめる「タイトジャンクション」という構造をもち、整列している。このタイトジャンクションの維持に必要なのが、「Par1」というタンパク質だ。ピロリ菌に「CagA」というタンパク質を注入されると、細胞に二つの影響がでる。① CagAがPar1に結合し、Par1をはたらかなくしてしまう。するとタイトジャンクションが消失し、細胞どうしがばらばらになる。その結果、胃炎や胃潰瘍になる。② Par1と結合したCagAにリン酸がくっつく（リン酸化）。リン酸化されたCagAが「SHP2」というタンパク質に結合すると、SHP2が活性化する。SHP2は細胞の分裂にかかわるタンパク質であり、SHP2がはたらくと、細胞が異常分裂をおこす（がん化）。さらに、この細胞では、周囲の正常な細胞から出るがんを抑制する信号が受け取れず、がん化が進行しやすい。

させるなどして、細胞をがん化させる。CagA を体内でつくるように遺伝子操作したマウスで実験を行ったところ、そのマウスはがんになりやすいことも確かめられた。「細菌がつくるタンパク質の発がん性が確かめられたのは世界初です」(畠山教授)。

また、傷害因子^{やうがい}どうしが、おたがいの^{おたがいの}はたらきを促進^{そくしん}したり抑制^{よくせい}したりすることもわかってきた。たとえば、十二指腸潰瘍^{じふにしゅうくわん}をおこす「DupA」というタンパク質^{たんぱくしつ}がはたらくと、胃がんをおこすCagA がはたらかないといった可能性があるという。

ピロリ菌の除菌には多くのメリットがある

ここまで見てきたように、ピロリ菌は胃がんや胃潰瘍などの原因となる。それではピロリ菌がいなくなったら症状はよくなるのだろうか？

「ピロリ菌を除菌すると、胃炎や胃・十二指腸潰瘍は多くの場合、劇的に改善します。また、ストレスによる胃潰瘍のリスクも減らすことができるでしょう」と山岡教授は語る。また、2008年には、除菌により胃がんの再発率が3分の1に抑えられたという研究成果も発表された(下のグラフ)。

さらに、一見ピロリ菌と無関係^{むかんけい}そうな血液疾患^{けつえきしん}の症状が抑えられることもあるという。血液中にあり、止血する作用をもつ「血小板」が減少する原因不明の難病^{なんびょう}に「ITP(特発性血小板減少性紫斑病)」がある。ピロリ菌を除菌すると、この病気の約半数の患者で、なぜか血小板が増加するという。

このように大きなメリットをもつ除菌だが、除菌により食道炎が増えてしまうことも確かめられている。胃潰瘍などが治ると胃酸の分泌量がふえる。そ

の結果、食道に胃液が逆流するようになり、食道に炎症をおこすことがあるのだ。重度の食道炎は、食道がんの原因になる可能性も指摘^{してさ}されている。しかし、ピロリ菌の除菌後^{ちりうご}におきる逆流性食道炎については軽度なことが多いという。

このような根拠から、ピロリ菌の治療のガイドラインを作成している「日本ヘリコバクター学会」では、検査によりピロリ菌が発見されたすべての人に対し、除菌することを推奨している。

ピロリ菌の検査と除菌は「ピロリ菌外来」で

現在、健康な人のピロリ菌検査や除菌には医療保険が適用されない。しかし、除菌による胃がんなどの予防効果がわかってきたため、保険適用外でも検査や除菌を希望する人も増加しているという。そのような要望に応えるべく、近年では「ピロリ菌外来」という、ピロリ菌の検査と除菌を行う部門を設立している病院もある。

検査の方法は、内視鏡を使って胃の組織の一部を取り出す方法と、内視鏡を使わない方法がある。内視鏡を使わない方法には、抗体(人体に侵入してくる異物に^{こうたい}応じてつくられるタンパク質)を調べる尿検査や血液検査、体外に排出されるピロリ菌を調べる便検査、ピロリ菌の酵素であるウレアーゼの作用でできる二酸化炭素を検出する呼気検査などがある。

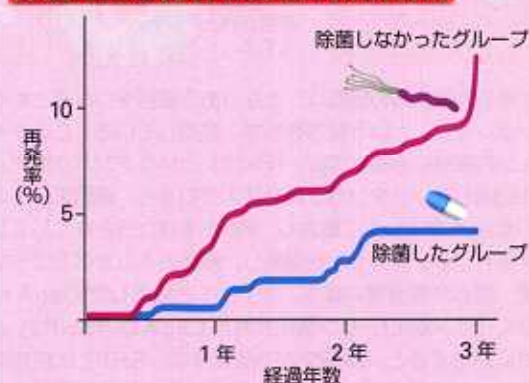
除菌では、2種類の抗生物質と、胃酸をおさえる薬を飲む。胃酸をおさえるのは、酸性^{さんせい}の環境下では抗生物質の効果が弱まるためだ。除菌はこれらを1日2回、一週間飲めば完了だ。「近年、抗生物質のきかない耐性菌^{たいせいきん}もふえてきていますが、最初の除菌で7割以上は成功します。失敗したら、抗生物質の組み合わせをかせ、もう一度除菌します。二度目の除菌も行えば約97%の人で除菌は成功します」(山岡教授)。

抗生物質での除菌以外でピロリ菌と戦うには

今後、もし抗生物質がきかないピロリ菌の割合が増加した場合、ほかの方法でピロリ菌による病気のリスクを下げることはできるのだろうか。

たとえば、ある種のヨーグルトなどがピロリ菌に有効だと聞いたことがあるかもしれない。「ある種のヨーグルトに含まれる乳酸菌や、ブロッコリー、コ

除菌による胃がん再発の抑制効果



胃がん切除後の、3年間の再発率を表したグラフ。除菌したグループ(青い線)の方が再発率が低いことがわかる。

※深瀬ら [Lancet] 372: 392-397 (2008) より作成

ピロリ菌から見てきた人類の移動経路

※『細胞工学』Vol.31 No.2 (2012)
219ページの図を参考に作成



左の地図は、各地の土着民族（アメリカの原住民、オーストラリアのアボリジニなど）のピロリ菌の型の分布と、そこから推定される人類の移動経路。右はピロリ菌の型の系統樹。アフリカ2型は、ピロリ菌とはことなる細菌の遺伝子配列に近く、もっとも古い型であると推測される。系統樹と各型の地理的な配置から、人類はアフリカ北東部から東へ拡散していったことがわかる。

コア、お茶などに含まれる抗菌成分がピロリ菌の数を減らすという研究結果は得られています。しかし、菌数が減ることが、病気に対して有効かどうかは確かめられていません」と神谷教授は語る。

つまり、これらの食品により、胃炎や胃潰瘍が改善したり、がんの発生率が下がったりするなどといった研究結果はこれまではないというのだ。「細菌が数十分ごとに分裂して倍加するということを考えると、一時的に細菌数が減少することはあまり意味がないのかもしれない」（畠山教授）。

ピロリ菌の行動に着目した研究も行われている。ピロリ菌は、尿素やアンモニアなどの特定の物質の濃度が高いほうに向かって泳ぐ性質（走化性）をもつ。また、ピロリ菌はフェロモンのような物質を使って、たがいにもコミュニケーションをとっており、仲間の密度を知ることができる（クオラムセンシング）。クオラムセンシングを行うある種の細菌では、密度が一定以上になると、毒素を一斉に放出することが知られている。「これらの行動の研究は、抗生物質が効かないピロリ菌にも有効な薬剤の開発につながるかもしれない」と神谷教授は語る。

ピロリ菌で人類の歴史もわかる

ピロリ菌の傷害因子を解き明かすため、これまで世界の各地でピロリ菌の遺伝子解析がおこなわれてきた。その結果、地域ごとに、ピロリ菌の遺伝子は大きくことなっていることがわかってきた。

「人種がちがっても、ヒトでは遺伝子の配列はほぼ同じです。しかし、日本人のピロリ菌とアフリカ人

のピロリ菌では遺伝子の配列に50%ほどものちがひがあります。このちがひから人類の足跡をたどることができます」と山岡教授は語る。

ことなる型のピロリ菌の遺伝子を比較して似ていれば、それらの型は分かれてから間もないことがわかり、ちがひが大きければ、分かれてから長い時間が経過したことがわかる。そのためピロリ菌の遺伝子を調べ、比較することで、ピロリ菌の系統樹（おおとの型から枝分かれしていくようすを示した図）をえがくことができる。この系統樹と各型の地理的な分布から、ピロリ菌がどのように世界に広がったかを知ることができるのだ。

山岡教授らが2007年に発表した解析結果によると、ピロリ菌は5万8000年前にアフリカから世界へと広がったという（上の図、左）。ピロリ菌は人と移動をとるため、ピロリ菌の拡散経路と年代は、すなわち人の移動経路と年代といえるわけだ。人類がアフリカに起源をもつことは、これまでの考古学的な研究や遺伝学的な研究でも示されている。

「これまでの結果は、ピロリ菌の1500の遺伝子のうち、7つの遺伝子のみを比較してえられたものです。すべての遺伝子を比較すれば、さらに詳細な人類の移動経路も解明可能です」（山岡教授）。

6万年間にわたり人類と共に歩んできたピロリ菌。近年の研究により、その不思議な素顔が徐々に見えてきた。しかし、私たちはピロリ菌のすべてを知ったわけではない。今後の研究により、人類の移動の歴史や、ピロリ菌と病気の関係について、意外な事実が見えてくるかもしれない。

（担当：編集部 向井伸生）

血液型の新常識

性格診断はほんとう？ 病気へのなりやすさとの関係は？

A 型、B 型、AB 型、O 型……。日本人の 9 割以上が自分の血液型を知っているという。では、血液型とはどんなもので、何に重要なのだろうか。また、血液型のちがいは何をあらわすのだろうか。性格に関係することを信じている人もいるが、科学的にはどうなのだろうか。最近、血液型と病気のなりやすさに関する研究結果が発表された。いったいどのようなものだろう。

協力 奈良信雄

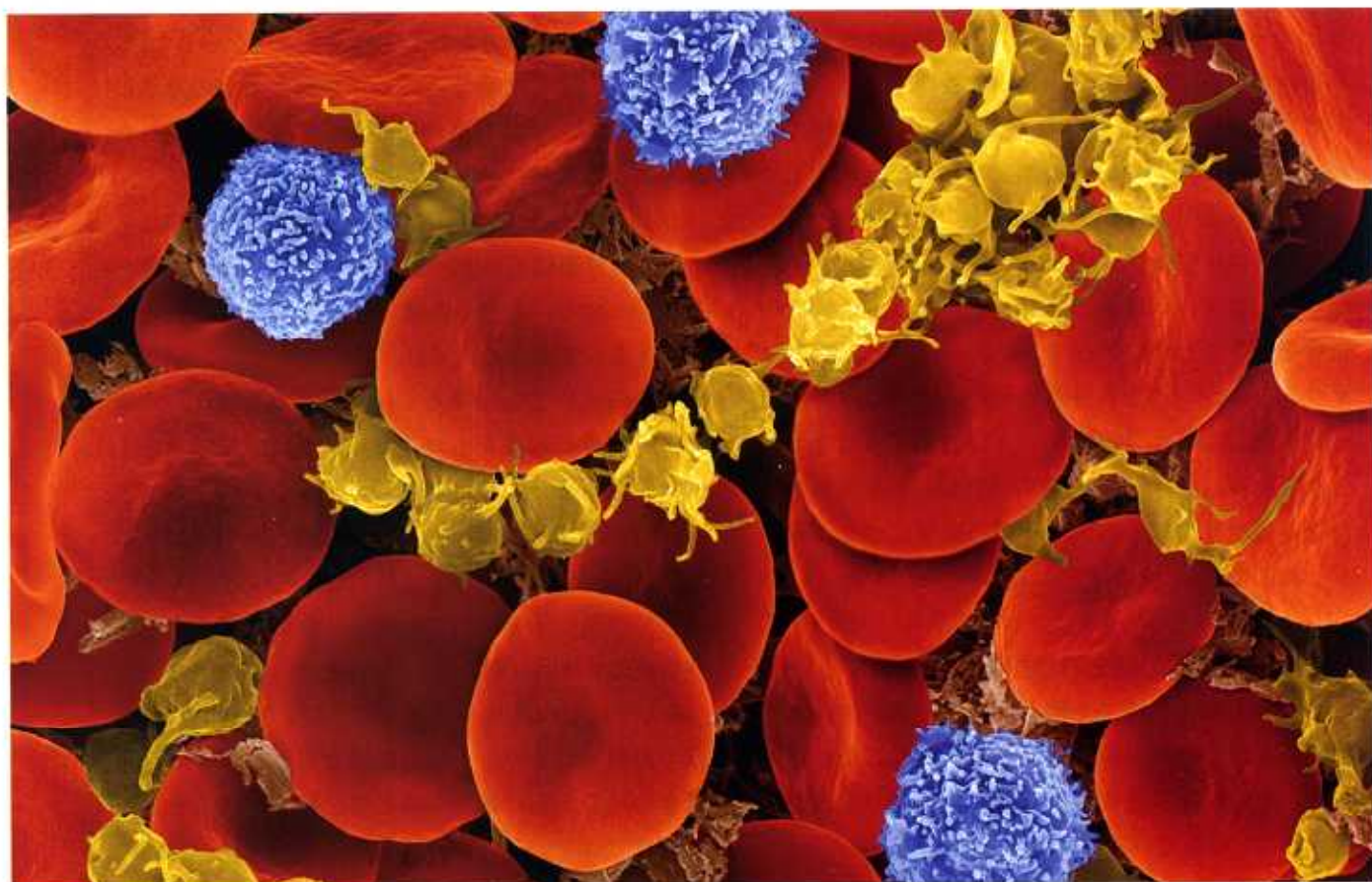
東京医科歯科大学
医歯学教育システム研究センター教授

斎藤成也

国立遺伝学研究所教授

佐藤達哉

立命館大学文学部教授



赤色の円盤が赤血球だ。血液型は赤血球表面の物質の種類をさす（写真の拡大率ではその物質は見えない）。青色の球が白血球だ。写真の拡大率では見えないが、その表面には白血球の“血液型”を決める物質 HLA がある。黄色は、血小板。

「血液型」と聞くと、輸血や親子鑑定、血液型と性格の関係など、人によってさまざまなものを思い浮かべるだろう。ではそもそも血液型とはなんだろうか。最近「O型の人A型にくらべて、十二指腸潰瘍に1.43倍なりやすい」という研究結果も報告された。血液型と病気は関係するのだろうか。

血液型の種類は ABO 式だけではない

血液型とは、一般に赤血球の表面にある物質の種類をさす。赤血球とは血液中で酸素を運ぶ細胞だ。血液型とされる、赤血球の表面の物質（血液型物質）の型は、50種類以上存在する。200種類以上存在するという説もある。

そのなかで、私たちにいちばんなじみがある血液型は、A 型、B 型、O 型、AB 型とあらわされる「ABO 式血液型」（ABO 型）だろう。ABO 型では、赤血球の表面にある、糖がつながった「糖鎖」の種類で型が決まる。A 型では A 型特有の糖が、B 型では B 型特有の糖が糖鎖の先端につけられている。O 型の糖鎖には A 型、B 型のどちらの糖もない。AB 型は、A 型の糖鎖も、B 型の糖鎖も両方もち。

ABO 型の次に有名な血液型が、Rh 式血液型 (D タイプ) だ。Rh+ (陽性) 型と Rh- (陰性) 型がある。Rh 型は糖鎖ではなく、赤血球表面の Rh タンパク質の種類がちがう。では、なぜ数多くの血液型が存在するなかで ABO 式血液型が有名なのだろうか。

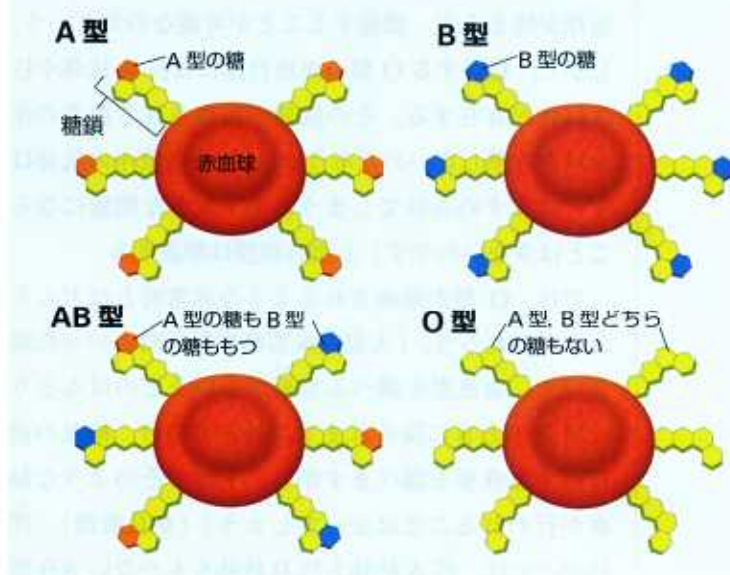
ABO 式血液型が輸血に重要なわけ

献血会場近くで、「B型の方、とくに献血をお願いします」のように特定の血液型の人に向けてよびかけが行われていることがある。輸血は、基本的に患者と同じ血液型の血液が使われる。ことなる血液型の血液を患者に輸血すると、赤血球がこわれてしまうからだ。では、なぜこわれるのだろうか。

実は、私たちは、自分とことなる血液型の糖鎖にくっつき攻撃する「抗体」をもっている。A型の人こうげきはB型糖鎖にくっつき攻撃する抗体（抗B抗体）を、B型の人こうだいはA型糖鎖にくっつき攻撃する抗体（抗A抗体）を、O型の人はその両方をもち、AB型の人こうだいはどちらの抗体ももっていない。たとえば、A型（抗B抗体をもつ）の患者に、B型の人の血液を輸血し

ABO 式血液型とは？

ABO 式血液型のちがいは、赤血球表面の糖鎖の種類のちがいだ。構造上、O 型の糖鎖に、A 型特有の糖がつくと A 型、B 型特有の糖がつくと B 型の糖鎖になる。AB 型は両方の糖鎖をもつ。図ではわかりやすく、糖鎖を誇張して大きくえがいている。



たでしょう。すると、患者の体内で抗 B 抗体が B 型の赤血球にくっつく。その攻撃の結果、輸血した赤血球どうしが固まり、赤血球がこわれてしまうのだ。

この抗体は、生後3か月～生後6か月ごろに血液中に存在しはじめるという。しかし病原体などの敵を攻撃する役割をになう抗体は本来、敵が体内に入ってからつくられるものである。たとえば、インフルエンザウイルスに感染後、インフルエンザウイルスに対する抗体がつくられるといったぐあいだ。しかしABO型物質（ABO型の糖鎖）に対しては、ほかの血液型の血液が体内に入った経験がなくても、抗体ができてしまうのだ。

なぜ抗体ができるのかは、いまだ謎のままだ。一説によると、腸内細菌の表面にABO型物質に似た物質があり、その細菌に対抗するために抗体をつくっているという説明がある。しかし明確に証拠があるわけではないようだ。このように抗体ができるのは主にABO型に対してであるため、輸血ではABO型が重要とされるのである。

○型はすべての血液型の人に輸血可能、はほんとう？

○型の血液はどの血液型の人にも輸血できると聞いたことがあるがほんとうだろうか。

血液内科が専門の東京医科歯科大学奈良信雄教授

は「非常時には可能です」と話す。O型の赤血球は、抗A抗体や抗B抗体から攻撃を受けない。そのため、ほかの血液型の患者に、O型の血液を輸血しても赤血球が固まらず、機能することが可能なのだという。しかし、輸血するO型の血液自体には抗A抗体や抗B抗体が存在する。その抗体が輸血される患者の赤血球を攻撃しないのだろうか。「輸血血液中の抗体はすぐにうすめられてしまうので、大きな問題になることは少ないのです」と奈良教授は解説する。

では、O型が輸血されるような非常時とはどんなときなのだろう。「大規模災害時や戦争時といった場合です。血液型を調べる余裕がないなどのほんとうに緊急のときに限られます。通常の場合、輸血の前に必ず血液型を調べますから、平時でそのような輸血が行われることはないでしょう」（奈良教授）。理屈の上では、抗A抗体も抗B抗体ももたないAB型の人へは、どの血液型の血液も輸血できる。ただしこれも通常おこなわれることはないという。

出産時に重要なのは、Rh式血液型

Rh式血液型が合致しない血液を輸血した場合、輸血1回目は問題にならない。抗体がないためだ。し

かし1回目の輸血によって抗体がつくられる（Rh-の患者内にRh+に対する抗体ができる）と、その後の輸血は問題が生じる場合がある。そのため実際には、Rh型が合致する血液が輸血されている。ちなみに日本人では、Rh+が95.5%、Rh-は0.5%存在する。

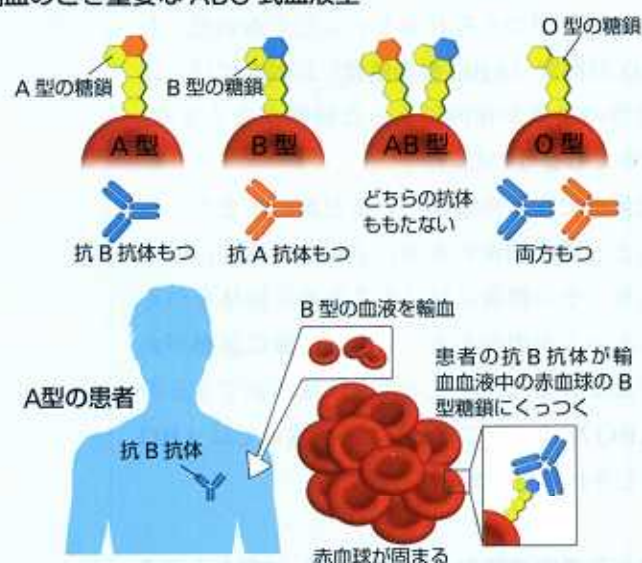
輸血時以外で血液型が重要視されるのが、出産のときである。とくにRh-の人が出産するときに注意が必要だ。Rh-の母がRh+の子を出産したとする。すると、出産時の傷などを通じて子の血液が母親に入り、母親の体内ではRh+に対する抗体がつくられてしまう。次に第二子としてRh+型の子供を妊娠したとしよう。すると、母の抗体が胎盤を通り、へその緒を通じて胎児の体内に入って、胎児の赤血球を敵として攻撃してしまうことになる。その攻撃で、胎児の赤血球がこわれ、貧血などの症状がおき、流産や早産の危険性が高まってしまうのだ。

ただし現在では適切な治療がなされれば、問題なく出産できることが多いという。現代では、Rh-の人がRh+の第一子を出産するとき、抗体ができないように薬が投与される。もし抗体ができていても、出産後、子に輸血するなどの治療があるという。

では、母親と子でABO型がちがう場合は、なぜ

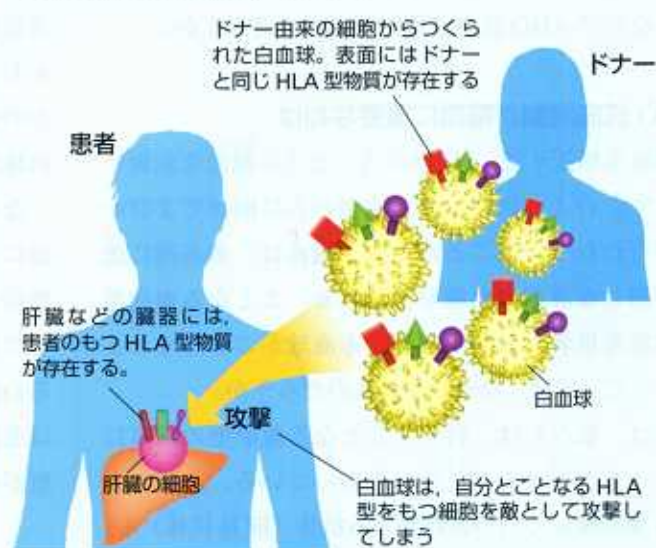
「輸血」と「骨髄移植」でことなる事情

輸血のとき重要なABO式血液型



それぞれの血液型の人のもつ抗体を上にとまとめた。下の図は仮に患者とちがう血液型の輸血を行ったときの例だ。A型の人にB型の血液を輸血してしまうと、A型の人のもつ抗B抗体が、輸血されたB型赤血球にくっつき、赤血球は固まってこわれてしまう。このような反応を防ぐため、輸血は患者と同じ血液型の人の血液が用いられる。

骨髄移植では白血球型が重要



骨髄移植で重要なのが白血球の「血液型」、HLA型だ。骨髄を提供するドナーと患者のHLA型がよく合致していないと、新しくつくられた白血球が患者の臓器を攻撃してしまう。攻撃された臓器は機能を失い、最悪命も落としてしまう。HLAは多様なため、完全な一致はむずかしいが、主要なタイプが一致するドナーからの移植が行われている。

問題にならないのだろう。それは抗体の種類がことなるからだとされている。ABO 型に対する抗体は胎盤を通過せず、Rh 型に対する抗体は胎盤を通過する。そのため、ABO 型の抗体はお腹の子を攻撃することがないと考えられている。

骨髄移植で、血液型がかわる！?

白血病の治療に骨髄移植がある。骨髄とは骨の中にあり、血液細胞をつくる細胞が含まれた部分だ。骨髄移植でも血液型が重要なのだろうか。奈良教授は「骨髄移植で重要なのは、赤血球の血液型ではなく、白血球表面の『HLA』という物質の種類です。血液型がちがっていても、骨髄移植は可能です」と話す。骨髄移植を行う場合、まず患者がもつ、血液細胞（白血球や赤血球など）をつくる機能をなくす。そして、提供者（ドナー）の骨髄からの骨髄液を採取して患者に移植する。すると、患者の体内でドナーの細胞が新たに血液細胞をつくりだすようになる。抗体をつくるのも血液細胞であり、移植の過程で患者がもっていた血液型抗体がなくなる。そのため、血液型のちがいは問題にならないという。そして骨髄移植後、患者の血液型はドナーと同じ血液型に変わる。

骨髄移植で重要な「HLA」とは、いわば白血球の“血液型”だ。HLA は、白血球表面にある糖タンパク質で、多様な種類がある。大きくクラス I、クラス II に分類され、クラス I は A、B、C に、クラス II は D、DR、DQ、DP に分けられる。さらにそのそれぞれに多数の型がある。ちなみに HLA は白血球だけでなく、肝臓や腸などさまざまな臓器の細胞表面にも存在する。

白血球は、体を守る免疫細胞の一種である。白血球は、自分とことなる HLA 型をもつ細胞を敵（非自己）とみなして攻撃する性質がある。ドナーと患者の HLA 型が大きくことなると、ドナー由来の白血球が、患者の臓器を攻撃してまう。攻撃された臓器は障害をおこして、最悪、患者は死に至る。

HLA 型が完全に一致していればそのような反応が起きることは少ない。しかし「数多くの型が存在する HLA 型が完全に一致する人から骨髄移植するというのは現実的ではありません。経験的に重要だとかっている部分の型が合致したドナーの移植を受けることになります」と奈良教授は話す。主要な HLA 型が一致したドナーから骨髄移植を受け、合わせて免疫反応をおさえるための治療が行われている。

基本は、親の血液型から子のなりうる血液型が決まる

父 母	AA	AO	BB	BO	AB	OO
AA	AA	AA AO	AB	AO AB	AA AB	AO
AO	AA AO	AA AO OO	BO AB	AO BO AB OO	AA AO BO AB	AO OO
BB	AB	BO AB	BB	BB BO	AB BB	BO
BO	AO AB	AO BO AB OO	BB BO	BB BO OO	AO BB BO AB	BO OO
AB	AA AB	AA AO BO AB	AB BB	AO BB BO AB	AA BB AB	AO BO
OO	AO	AO OO	BO	BO OO	AO BO	OO

各色があらわす血液型 ● A 型 ● B 型 ● AB 型 ● O 型

父と母の血液型から、子になりうる血液型を表にまとめた。ABO 型では、A 遺伝子、B 遺伝子、O 遺伝子の三つの組み合わせで血液型が決まる。遺伝子は母から一つ、父から一つ受けつづ。たとえば父が AA (A 型)、母が OO (O 型) の場合 (表の左下)、父から A 遺伝子を母から O 遺伝子を受けつづ、子供は必ず AO (A 型) となる。このように親の血液型から子になりうる血液型の組み合わせは決定する。

血液型遺伝の例外もある！

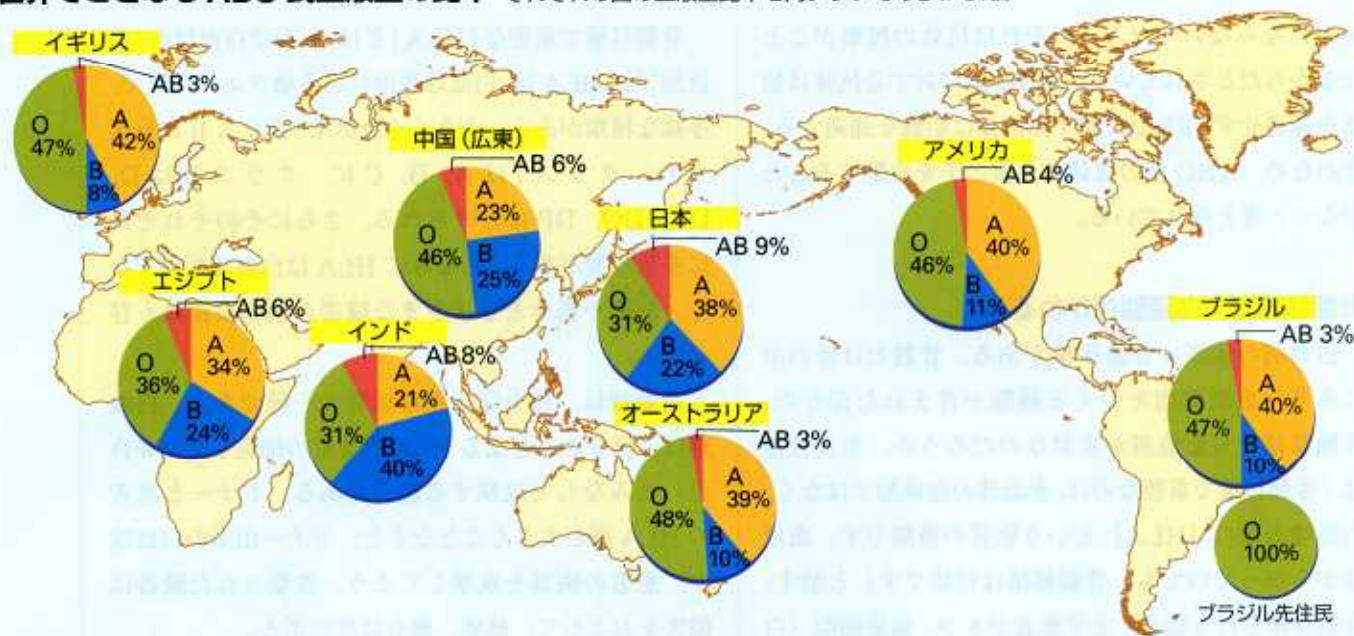
シス AB 型

父 AB 型 × 母 OO 型 → 子 AB 型

A 遺伝子、B 遺伝子、O 遺伝子の三つの遺伝子とはちがう、「AB 遺伝子」がごくまれに存在する。この場合、左の表とはことなり、たとえば上のように遺伝する。この「シス AB 型」かどうかは、遺伝子を検査しないと明らかにできない。およそ 10 万人に 1 人という、めずらしい血液型だ。

ほかに特殊な例としては、A 遺伝子や B 遺伝子をもつのに、血液型検査では O 型と診断される「ポンペイ型」がある。インドのポンペイで見つかったことからその名がついた。日本では 30 万人に 1 人のまれな血液型だ。この場合、O 型 (遺伝子的には O 型ではない) と A 型の親から B 型の子が生まれるということがおこりえる。ポンペイ型では、A 型の糖や B 型の糖がくっつく部分の糖鎖 (O 型糖鎖) をつくるできない。そのため、A 型糖鎖も B 型糖鎖も O 型糖鎖も存在しない。ポンペイ型は O 型糖鎖に対する抗体をもつため、O 型の血液を輸血しても問題がおきる。同じポンペイ型の血液を輸血する必要があるのだ。

世界でことなる ABO 式血液型の比率 それぞれの国の血液型比率を円グラフであらわした。



親の血液型がわかれば、子の血液型もわかる？

血液型は親子鑑定に使われることもある。親の血液型によって、子のとりうる血液型が決まるためだ。たとえば AB 型の父と O 型の母から生まれる子は、A 型か B 型のどちらかにしかならない。親の血液型によって、子の血液型が何型になるかは、113 ページ下の表にまとめた。

ABO 型を決める遺伝子は、A 遺伝子、B 遺伝子、O 遺伝子の三つだ。血液型の遺伝子は両親から一つずつもらい、その組み合わせでどの血液型になるかが決まる。A 遺伝子をもつ以上受けつげば A 型に、B 遺伝子をもつ以上受けつげば B 型になる。たとえば、父から A 遺伝子をもつ、母から O 遺伝子を受けついだ、AO の子は A 型といったぐあいだ。遺伝子の組み合わせが AA と AO は A 型に、BB と BO は B 型に、AB は AB 型に、OO は O 型になる。

一見、親子とわからない、例外的な遺伝もある

この遺伝にも例外が存在する。たとえば原則に従えば、AB 型と O 型の親からは、A 型か B 型の子しか生まれないはずだ。しかし、AB 型の子が生まれるケースがある。これは「シス AB 型」といわれるタイプである。シス AB 型は、A 遺伝子と B 遺伝子とはことなる、その中間のような「AB 遺伝子」によって生まれる。通常、AB 型の人には A 遺伝子と B 遺伝子をもつが、上の例のシス AB 型では、AB 遺伝子

と O 遺伝子をもつ。

なぜこのような遺伝がおこりえるのか。そもそも A 遺伝子とは、A 型の糖を糖鎖にくっつけるタンパク質（酵素）をつくる設計図だ。B 遺伝子は、B 型の糖を糖鎖にくっつけるタンパク質をつくる設計図である。A と B の設計図は、ほんの数文字（数塩基）しかちがいがなく、つくられるタンパク質も少しちがうだけだ。AB 遺伝子は A 遺伝子のなかの文字にわずかな変化（変異）がおきた遺伝子だ。この遺伝子をもつヒトは、A 型の糖も B 型の糖も糖鎖にくっつけることができるタンパク質をつくることができる。この一つのタンパク質のはたらきで、赤血球にどちらの糖も存在するようになるので、AB 型となるのだ。ちなみに 1990 年に ABO 式血液型遺伝子の文字列（DNA 塩基配列）を解明したのは、日本人（山本文一郎氏と箱守仙一郎氏ら）である。

自分が思っていた血液型とちがった！？

大人になってから、献血や妊娠の際に血液型を調べてみると、自分が思っていた血液型とちがったという人がある。骨髄移植するといったことなどがない限り、成長とともに血液型が変わることはない。ではなぜそのようなことがおきるのだろうか。

主に三つの可能性がある。(1) 血液型を調べたことがなく親などが推測してただけ、(2) オモテ試験だけを行うなどで誤判定した、(3) 生後数か月と

いった乳児のころに調べた、である。

血液型は、オモテ試験とウラ試験という2種類の試験で判定される。オモテ試験は採取した血液に抗A抗体と抗B抗体を加えて、赤血球が固まるかをみる。ウラ試験では、血液中に抗A抗体や抗B抗体が存在するかを確認する。原理的にはオモテ試験だけで血液型はわかるはずだ。なぜウラ試験も行う必要があるのだろうか。

血液型には糖鎖の形が微妙にことなる重型が存在する。A型の中にもA2型、A3型などのタイプが、B型の中にもB3型などといったタイプが重型としてある。これらの重型の中には、オモテ試験の抗体と反応しにくいタイプがある。反応が弱いと、オモテ試験だけでは判断がつかない場合もあるのだ。そこでウラ試験で抗体の存在も確認する。

輸血などの治療が行われる場合は、オモテ試験とウラ試験の両方が必ず行われる。しかし、簡易的に血液型を調べるだけの場合、数滴血液があれば検査可能なオモテ試験だけが行われることがあり、誤判定される可能性もある。

また生後数か月のころは、血液中の抗体の量が少なく、判断がむずかしいこともある。昔は病院で生後すぐに血液型を検査することが多かったが、現在では上記の理由から治療の必要がない限り、血液型を調べることは少なくなっている。

日本とはことなる、世界の血液型比率

日本人の血液型の割合はおよそ、A型38%、B型22%、AB型9%、O型31%だ。AB型が少ないものの、どの血液型も比較的まんべんなく存在している。しかし世界をみてもみると、その割合はさまざまだ。たとえば南北アメリカ大陸は大部分がA型かO型だ。ヨーロッパも同様である。韓国などの東アジアの人々の分布は日本と似ている。オーストラリアの先住民はB遺伝子がきわめて少なく、南アメリカの多くの先住民はO遺伝子しか存在しないという。なぜこのような地域差があるのだろうか。そもそも、私たちの先祖は何型だったのだろうか。

血液型遺伝子の進化の研究を行う、国立遺伝学研究所の斎藤成也教授は「ヒトと類人猿の祖先はA型だったと現在のところ考えています。しかしその後

の進化は単純ではないようです」と話す。2012年、斎藤教授が茨城大学の北野 誉准教授らと発表した論文によれば、進化の過程で一度A型はいなくなり、その後の進化で、残っていたB遺伝子とO遺伝子が組みかわって再びA型があらわれたという。血液型のちがいは遺伝子の数文字のちがいしかないため、遺伝子が増える進化の過程で、血液型があらわれたり、なくなったりしたらしい。

では世界の血液型分布は、人類の移動の歴史など、何かをあらわすのだろうか。斎藤教授は「そう単純ではなさそうです。それぞれの地域で、特定の遺伝子が減少したり、増加したりしながら今の比率になっているのでしょう」と話す。

動物の血液型は？

血液型をもつのは人だけではない。たとえば類人猿にもヒトに似たABO型がある。オランウータンにはA遺伝子とB遺伝子の両方があるが、ゴリラはすべてB型で、A型は見つかっていない。チンパンジーはA型とO型があり、B型は見つかっていない。これら類人猿の血液型も、原始的な種類が何型で、といったように単純に分類できるものではないという。斎藤教授によると、これらは、それぞれの種の進化の過程で、ABO式血液型のなかの特定の遺伝子がなくなったり、復活したりといった複雑な進化をとげているようだ。ちなみに人の血液型とは微妙にことなるため、もちろんこれらの動物から人へ輸血することはできない。

霊長類の血液型



オランウータン
A型遺伝子、
B型遺伝子両
方を持ち、A
型、B型、AB
型が存在する。

ゴリラ
すべてB型。



チンパンジー
A型とO型。
B型はみつか
っていない。



ニホンザル
すべてB型。

霊長類以外でも、ヒトの血液型と似た血液型をもつ動物がいる。身近な動物では、ネコにはA型、B型、AB型があり、日本のネコは9割以上がA型だという。ブタも9割がA型だ。イヌはABO型ではなく、「DEA」という9個のタイプにわけられる血液型があるという。血液型ではないが、ABO型物質に似た構造をもつ物質は、植物にもあるらしい。「A型物質はアオキ、ヒサカキ、B型物質はイヌツゲ、ツルマサキ、O型物質はダイコン、カブ、モミジなどにあります」(奈良教授)。

ヒトでも、ABO型物質は赤血球の表面だけでなく、胃や腸など体中の細胞の表面に存在する。だ液や髪の毛にも含まれている。そのためたとえば、たばこの吸い殻や飲みかけの缶からだ液をとって、血液型を検査するといったこともできる。

血液型で病気へのなりやすさはわかる？

血液型と一部の病気へのなりやすさには傾向が見られるという研究報告がある。とくに胃腸疾患にその傾向が見られるという研究が多い。

2004年には、胃や十二指腸の潰瘍の原因となるピロリ菌が、ABO型物質に結合するという研究結果が発表された。胃や腸の細胞に接着するときに利用している可能性があるらしい。また、冒頭で紹介したように、2012年2月に発表された東京大学医科学研究所などの調査では、O型がA型にくらべ1.4倍ほど十二指腸潰瘍になりやすかったという。

血液型物質は全身にある

臓器	分布割合(%)	臓器	分布割合(%)
食道	70	胆のう	78
胃	100	膀胱	40
十二指腸	90	耳下腺	40
空腸	80	顎下腺	76
回腸	56	腎臓	37
結腸	23	前立腺	34
肝臓	34	肺	29
すい臓	66	精巣	16

ABO式血液型物質は、赤血球だけでなく、全身の細胞に存在している。各臓器の細胞のどのくらいの割合が血液型物質をもっているのか、その割合を表にまとめた。割合のちがいはあるが、全身に分布していることがわかるだろう。細胞の表面だけでなく唾液などの体液にも、分泌された血液型物質が存在する。

ほかに関係があるとされているのが、ノロウイルス感染だ。ノロウイルスは人に感染すると、腸の細胞をこわし、下痢や嘔吐などの症状をひきおこす。ノロウイルスの感染機構はいまだ謎だが、ABO型などの血液型物質に結合して感染を開始するのではないかと推測されている。

ノロウイルスは培養ではふやせず、ヒト以外の動物には感染しない。そのため、感染のしくみを理解するにはボランティアによる実験が大きな役割をになう。たとえば、2003年にアメリカの研究者らが発表した論文に、次のようなボランティア実験がある。

実験では「ノーウォークウイルス」というタイプのノロウイルスをボランティアに飲んでもらい、経過を観察した。その結果、まず腸の上皮細胞に血液型物質がない人は全員感染しなかった。また、血液型物質がある人のうち、B型の人には感染しなかったという。これらの結果、使用したノロウイルスはA型やO型の血液型物質を認識して感染したと推測できる。ただし、B型の人にはノロウイルスにかからないというわけではないという。ノロウイルスにはほかにもたくさんの種類がいて、その中にB型の血液型物質を認識して感染するものもいるらしい。そのため、ノロウイルスにかからない血液型というのは存在しないとされる。このように血液型物質は、病原体に利用され、病気へのかかりやすさに関係があるらしいということが近年、明らかになってきた。

進化の過程で特定の血液型だけにはならず、A型、B型、AB型、O型のすべての血液型が現在も存在している理由は、このような病気との関係にあるのではないかという説もある。

「病気へのかかりやすさが血液型によってことなるとすれば、血液型のバリエーションは進化にとって有利となるでしょう。A型がかかりやすい病気がはやった場合、そのほかの血液型が生き残る。B型がかかりやすい病気がはやった場合は、またそのほかの血液型生き残るといったぐあいに、現在存在する血液型のバリエーションは病原体との戦いの歴史の反映なのかもしれません」と斎藤教授は話す。

血液型性格診断をなぜ信じてしまうのか

他人の血液型を聞いて、「O型ならば△△という性

あなたに当てはまる性格は？

「性格検査の妥当性とはなんだろう」日本大学人文科学研究所研究紀要(44),p69～91,1992より。一部表記を変更。

フランス版血液型性格診断を利用して、日本の大学生に行った実験を紹介しよう。実験では、回答者に下記の内容の性格診断を見せ、自分の実際の性格がどれにあてはまるかを選んでもらった。読者の方は、どの性格が自分の実際の性格にあてはまっていると感じるだろうか。

A型 メロディ型

五線譜の上を上下する音符のように落ち着きがない、ムラ気な性格である。楽天的で、だれとでもすぐ仲良しになれるが、気分の波ははげしく、ちょっとしたことで突然怒りだしたりする。しかし、この型の人は怒ってもカラリとしているので、けんかしてもそう深刻な争いにはならない。

B型 ハーモニー型

調和を好む性格である。グループのなかにとけこんで生活するのを好む。その意味では社交的である。ただし、自分が気に入ったグループでなければならぬ。この好みはうるさいので、ときには頑固でもある。また、自分の属する集団の変化を嫌う保守的な面をもっている。先輩・後輩の序列や礼儀にも気がつくが、それは集団のなかで自分がどのような位置にいるかが、この型の人には重要だからである。

O型 リズム型

自分のリズムで行動するのを好むタイプである。リズムによって、行動してから考える猪突猛進型になったり、あくまでもマイペースの独立独歩型になったり、自分の思いどおりにならないと気がすまない負けず嫌い型になったりする。どれも、相手に合わせるよりは、自分のペースに相手を巻きこもうとするタイプだ。だから、押しつけに対しては猛烈に反発する。

AB型 複雑型

A型とB型の両面をもっている複雑型である。この型の人は、自分でも自分の性格がわかりにくいことがある。ときにA型、ときにB型の性格を示すわけだからそれも当然である。そのためか、ユニークな行動をとることが多い。

結果

■ラベル表示にひっかかった人

□本来の診断で自分の血液型とされる内容を選んだ人

選んだラベル 回答者	ラベルO (実はA)	ラベルA (実はB)	ラベルB (実はO)	ラベルAB (そのまま)	全体
O型の人	74	24	6	10	114
A型の人	53	53	6	22	134
B型の人	15	21	29	15	80
AB型の人	8	6	2	26	42

上の各性格には **A型** といった血液型のラベルがはられている。実は、この実験では、血液型のラベルを本来の性格診断とは、はりかえている。O型のラベルをA型に、A型のラベルをB型に、B型のラベルをO型にはりかえたのだ(上もはりかえたもの)。実験の結果、ラベルをはりかえているにもかかわらず、自分の血液型と表記されたものを選んだ「にせの表示に引っかかった人」は47.6%もいた。「本来の性格診断で自分の血液型とされる性格を選んだ人」は24.4%しかいなかったという(どちらもAB型のぞいて計算)。このように「これが○型の特徴だ」といわれると、合致するところに目がいき、自分の性格にあてはまると思う人が多い。

格だよ」と推測することはないだろうか。A型ならば几帳面、O型だとおおらかといったぐあいだ。このように、血液型と性格に関係はあるのだろうか。

血液型と性格の心理学についてくわしい立命館大学の佐藤達哉教授は「血液型によって性格が分類できるとする研究の報告はありません」と話す。数多くの心理学者が、さまざまな形で調査を行っているが、現在までのところ血液型と性格を結びつける明確な結果は発表されていないという。多くの心理学者は、血液型と性格に関係はないと考えている。

ある調査では、日本人の6割以上が血液型性格診断を信じているという。ときには血液型が会社の採用や人事に影響したり、教育現場で性格を把握するために利用されたりといったこともあるらしい。科学的な結果がないにもかかわらず、血液型性格診断はなぜここまで日本に広まっているのだろう。

「まず広まったきっかけの一つが、ベストセラーとなった能見正比古氏の『血液型でわかる相性』(1971年)などの書籍だとされています」(佐藤教授)。その後、テレビなどで血液型と性格の関係が科学的な既成事実のように取り上げられた結果、血液型診断が定着してしまった、と佐藤教授は解説する。また信じている人がふえると、加速度的に広まっていく。

血液型診断ブームはその後、何度かおきている。なぜ何度もブームがおきるのか。「そのときの時代にあった形で提供されるからでしょう。たとえば自己実現が叫ばれる今、血液型の分類による自己説明は、自分とは何かを知りたいという欲求を簡単に満たしてくれるのでしょ」と佐藤教授は話す。

さて、研究結果がないと聞いても、「血液型別の性格はあっている気がする」と自分の経験から思う人もいるだろう。佐藤教授は「人は先入観やかたよったイメージをもって何かを見ると、それに合致したものだけに目がいき、合致しない部分を無視してしまいます。これを心理学では『認識のバイアス』とよんでいます」と話す。たとえば「A型は几帳面」というイメージをもっていると、A型の友人の行動のうち、A型的とされる行動(部屋をよく片づけているなど)ばかり目がいくようになってしまうのだ。

「現在では、BPO(放送倫理・番組向上機構)の要望により、テレビなどのマスコミで血液型性格診断が肯定的にとりあげられることはまずありません。もちろん学校の教育で習うこともありません。しかし多くの日本人が今も信じているのです」と話す。一度広まってしまったものを否定するというのはなかなかむずかしいことのようにだ。

(担当:編集部 森久美子)

樹上のサルから地上の

霊長類 — 6550 万年の軌跡 —

ヒトを含む、広い意味でのサルの仲間が「霊長類」である。霊長類は、「特徴に欠ける動物」だといわれている。哺乳類全体を見渡すと、足がひれ化したクジラ類や、鼻と牙がのびたゾウ類など、特殊化した形態の目立つ動物が多い。それに比べて、霊長類は特殊化した形態をあげにくいのである。

霊長類の進化の歴史は、約 6550 万年前の白亜紀末より昔にさかのぼる。当時の北半球では、リスやキツネほどの大きさの多様な動物が、樹上で虫などを食べて暮らしていたという。その中から、霊長類のグループがあらわれた。最古級の霊長類は、えさや枝をつかめる構造の足をもつ「カルボレステス」である。このつかむ能力こそが、霊長類の定義の一つとされている。同時代には、姿は似ているが、ものをつかめない足の哺乳類も多く、「偽霊長類」として区別される。

5600 万年前ごろに、「アダビス類」と「オモミス類」という 2 大グループが登場した。現在のアジアやヨーロッパにも広がったこれらの動物は、両目が体の前方

を向いており、広範囲の「立体視」ができたとされている。えさまでの距離感などを正確に認識できたのだ。

その後、現生種につながる多彩なサル類が誕生した。アダビス類からは、サルのイメージに一見似つかないキツネザル類やロリス類（原猿類）が進化してきたとされる。一方のオモミス類から進化してきたとされるのが、サルのイメージに近いグループ（真猿類）だ。北アフリカ近辺で誕生したとみられる真猿類は、頭骨に眼球を包む構造ができた。そのため、眼球がぶれにくくなり、視覚がさらに発達したとの見方がある。

約 2500 万年前までには、真猿類は、鼻幅の広い「広鼻猿類」と鼻幅のせまい「狭鼻猿類」に分かれていた。後者の中から、尾のない「類人猿」があらわれ、やがて木を降りて直立二足歩行をはじめた。そして、私たちヒトにつながることとなったのである。

(担当: 編集部 松田壮一郎)

協力

高井正成 京都大学霊長類研究所教授

1. 偽霊長類

6550 万年前ごろに生息していたグループ。体長は 10 ~ 30 センチメートルである。枝をつかめず、かぎづめを使って樹上で生活したと考えられている。眼球が体の側方を向いているため、ほぼ立体視はできなかったとされる。なお、このグループに最古の霊長類が含まれている可能性がある。

2. カルボレステス

最古の霊長類とされる動物の一つ。約 6000 万年前、北アメリカ大陸に生息していた。親指を残りの 4 本指と向かい合わせて、枝をつかめたと考えられている。体長は約 13 センチメートル。名は「果実泥棒」を意味する。

3-1. アダビス類



ヒトへ

paleontology

パレオントグラフィ

5-1. ティティ
(現生の広鼻猿類の例)

4. エジプトピテクス

約 3400 万年前に生息していた。最古級の真猿類。眼球が安定したことで視野がぶれにくくなるなどし、えさを樹上で食べながら周囲の状況を把握できたとの見方がある。名は「エジプトで発見されたサル（ピテクス）」を意味する。

5. 広鼻猿類と狭鼻猿類の祖先

広鼻猿類（いわゆる新世界ザル）は南アメリカ、狭鼻猿類（類人猿と、いわゆる旧世界ザル）はアジアやアフリカに生息している。最古の新世界ザルは約 2500 万年前のプラニセラとされ、それまでに狭鼻猿類と分かれていた。なお、最古の旧世界ザルは 1700 万年前ごろのピクトリアピテクスとされる。イラストでは現生種の例として、ティティとニホンザルをえがいた。

5-2. ニホンザル
(現生の狭鼻猿類の例)

6. プロコンスル

チンパンジーやヒトにつながる初期の類人猿（尾のないサル）の代表例。1900 万年前ごろに生息した。体長は約 60 センチメートルである。名の「コンスル」はロンドンの動物園で飼われていたチンパンジーの名前で、プロが「祖先」を意味する。

3-2. オモミス類

3. アダビス類とオモミス類

5600 万年前ごろまでに登場した、初期の霊長類の 2 大グループ。両目が体の前方を向いており、広範囲の立体視ができたとされている。アダビス類は鼻面が突きでており、全般に大型で、体長 1 メートル前後のものもいた。当初ウシのような動物だとされたため、「古代エジプトの聖牛アダビスの祖先」を意味する名をもつ。

一方、オモミス類は、鼻面が短く大きな目を持ち、体長はせいぜい 20 センチメートルと小型である。名は「肩乗りネズミ」を意味する。アダビス類がキツネザルなどを含む原始的なサルとされるグループ（原猿類）につながり、オモミス類がヒトなどを含むグループ（真猿類）につながったと考えられている。

8. ホモ・ハビリス

ホモ・サビエンス（ヒト）を含むホモ属で最古とされる原人。240 万年前ごろにあらわれた。直立二足歩行のみをしており、石器などの道具を使ったという。名の意味は「器用なヒト」。身長 130 センチメートル前後で、現生人類よりも腕が長い。

7. アルディピテクス・ラミダス

440 万年前ごろ、直立二足歩行をはじめたとされる最古級の猿人。一方で、足でも枝をつかむことができて、樹上でも動きまわったと考えられている。アルディは「大地」、ラミダスは「根（おおもと）」を意味する。身長は約 120 センチメートル。



身近な“?”の科学

【麹 / こうじ】

みそやしょうゆ、酒の醸造に欠かせない麹とは？

最近、麹に塩と水をまぜて熟成させた「塩麹」が、家庭で使う調味料として注目を集めている。麹といえば、みそやしょうゆ、酒などをつくる時に必要不可欠なものでもある。麹とはいったいどんなものだろうか？ また、どんな役割をはたしているのだろうか。

協力

柏木 豊 東京農業大学応用生物科学部醸造科学科教授

日本食の味を決める、みそやしょうゆ、日本酒や酢にみりん。これら食卓に欠かせない調味料には、かくれた共通点がある。それは、必ず麹が使われていることだ。また最近、食材のうまみや甘みを引きだす“万能調味料”として注目を浴びている「塩麹」は、漬け物の「漬け床」として昔から使われてきたものだ。

このように伝統的な発酵食品に欠かせない麹とは、どんなものなのだろうか。

麹とは、カビが生えた穀物

麹とは、蒸した穀物に、酒などの醸造に役立つカビ（糸状菌類）を生やしたものである。そしてそのカビは「麹菌」、あるいは「コウジカビ」とよばれている。「こうじ」という言葉は、カビが生えるという意味の「かむたち」の略、「かむち」が変化したもののだといわれている。

麹は、麹菌を生やした穀物の種類によって、米麹、麦麹、豆麹などよび分けられている。

穀物を“とくす” 酵素の宝庫

麹には、穀物を分解するさまざまな種類の酵素（タンパク質の一種）が、数多く含まれている。

麹に含まれる酵素によって、穀物の成分であるデンプンは糖に、タンパク質は、うまみ成分であるグルタミン酸などのアミノ酸に、脂質は脂肪酸やグリセリンに分解される。

この酵素は、麹菌が菌糸（糸状の細胞）の先から出したものだ。麹菌は、みずからの繁殖のために酵素を出し

麹とは、穀物に「麹菌」が生えたもの

麹菌の胞子（種類）

しょうゆ用
(*Aspergillus sojae*)
もしくは
(*Aspergillus oryzae*)



胞子のかたまり



白みそ用
(*Aspergillus oryzae*)



焼酎用
(*Aspergillus kawachi*)



清酒用
(*Aspergillus oryzae*)



泡盛用
(*Aspergillus awamori*)



蒸した穀物

米



麦



大豆



麹

米麹



米麹が、米に花がさいたようにみえることから、「粧」という日本特有の漢字も生まれた。

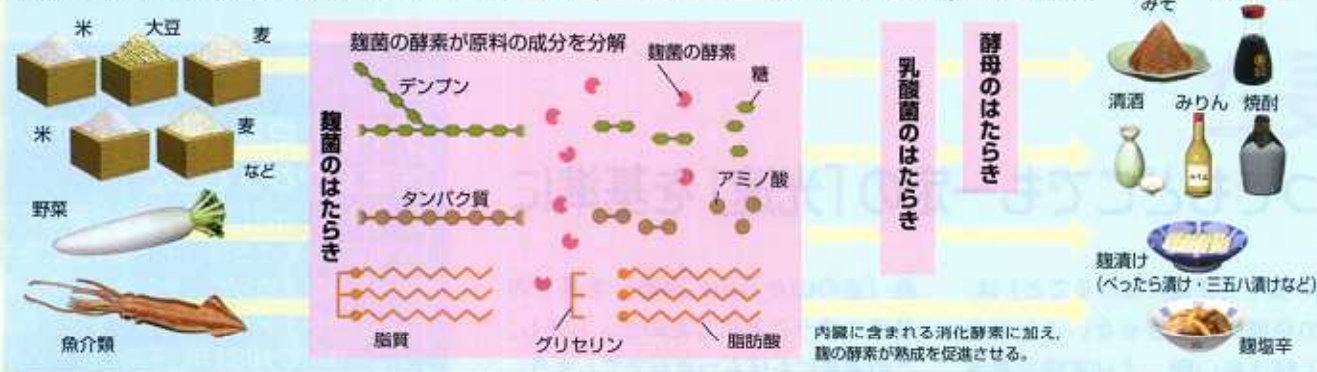


麹菌が菌糸をのびし、その先から酵素を出す。菌糸が穀物内部によくのびこんでいる（破精込みのよい）麹はできがよい。

現在、麹は麹菌の胞子である種麹（「もやし」ともよばれる）を、蒸した穀物にかけてつくられる。古くは、よくできた麹を次の麹造りに使う方式がとられていたが、室町時代以降、種麹を用いる方法が麹屋の技術として使われていたようだ。明治以降、菌の純粋培養が可能になり現在の種麹が完成した。

麹が発酵食品づくりで果たす役割

麹菌がつくる酵素が原料を分解し、アミノ酸や糖をつくりだし、乳酸菌や酵母などがはたらく場をととのえる。



て穀物を分解し、そこからできた成分を栄養源とするのである。

麹が「おいしさ」のかなめ

麹菌の酵素がつくりだした成分は、酵母や乳酸菌など別の微生物の栄養にもなる。酵母は、麹菌の酵素がつくりだした糖を食べ、これを体内の酵素でアルコールにかえ、ほかに香り成分などもつくる。醸造用の酵母は直接デンプンを分解することはできない。また、乳酸菌も糖を食べ、乳酸（有機酸の一種）などをつくる。有機酸による少量の酸味は、発酵食品の味をひきしめるという。

「麹菌は、アルコールや味、香りをつくる酵母や乳酸菌がはたらけるような「舞台」をつくる役割を果たしているのです」と、麹菌にくわしい東京農工大学の柏木豊教授は話す。麹菌はうまみ（アミノ酸）や甘み（糖）をつくるだけでなく、ほかの微生物のはたらきを助けることで、酒や発酵食品の味に深みを増すなど「日本の味のかなめ」となっているのだ。

なお、酵素をつくって舞台をととのえた麹菌は、残念ながらお払い箱になってしまう。仕込みの段階でまぜられる塩、あるいは酵母がつくる

アルコールによって、麹菌は死滅してしまうのだ。

1000年以上かけて人がきたえた麹菌

麹菌には、いくつか種類があり、色や性質もことなる。

日本の醸造用の麹菌のほとんどは、*Aspergillus oryzae* というものだ。これはデンプン分解力が高い。ほかには、一部のしょうゆに使われている *Aspergillus sojae*、沖縄特産の泡盛に使われ、クエン酸を多くつくる黒麹菌 *Aspergillus awamori* などがある。黒麹菌を使った酒は、クエン酸の効果で温暖な気候でも醸造中に雑菌が繁殖しにくい。酒を蒸留したあとの、酸っぱいクエン酸を含む酒かすは、「もろみ酢」にされる。

Aspergillus oryzae は、2005年にゲノム（全遺伝情報）の解析が完了した。麹菌には、約1万2000個の遺伝子があり、その数は二つの近縁種より3割多かったという。

「麹菌は1000年以上にわたり人に使われてきました。麹造りでは、麹菌はやや乾燥した過酷な生育条件で繁殖させねばなりません。麹菌の遺伝子数の多さは、この生育条件に対応するよう「きたえられ」、野生のこ

ろからの遺伝子を失わずにきたためと考えられています」（柏木教授）。

また麹菌からは、これまで知られていなかった酵素の遺伝子が多数みつかったという。「麹菌にはまだまだ産業に役立つであろう有用な酵素が眠っているのです」（柏木教授）。

東洋の文化、麹

麹の文化は、東アジア特有のものだ。たとえば中国では紹興酒や老酒、韓国ではマッコリが、麹を使ってつくられている。

一方、西洋では、穀物の分解に微生物を用いず、大麦の種子を発芽させた「麦芽」が使われている。麦芽が酵素をつくり、デンプンなどを分解するのだ。この麦芽からつくられるのがビールだ。

麹は、穀物だけでなく肉や魚介類もやわらかくし、うまみのもととなるアミノ酸をつくる。また、麹からつくられた糖分はしっかりとやわらかな甘みでおいしい。麹からつくる甘酒は、消化により栄養補給源としてもおすすめです。日々の食卓で麹を使ったおいしい食材を頂きながら、大事に育まれてきた麹菌に思いをはせるのもよいだろう。

（担当：編集部 正田朗子）

Basic of Science

—単位編—

長さ

いつでもどこでも一定の「光速」を基準に

「物の長さを正確にはかること」は、産業の発展には欠かせないことである。人類は長い間、より正確な長さの基準（単位）を求めつづけてきた。

古代エジプトでは、長さの単位に、ひじから指までの長さを使った。ヒトの体の一部を長さの単位に使う国や地域は多かった。しかし、その基準は国や地域でことになっていた。

1790年代、長さの基準を世界で統一しようという動きがフランスでおこり、単位に「メートル(m)」が使われるようになった。1メートルの基準となったのは地球の子午線（経線）の長さだ。北極から赤道までの子午線の長さの1000万分の1を1メートルにすると決められた。

しかし当時、子午線の測量は困難で一度の測量しか行われず、この結果をもとに白金製のメートル原器がつくられた。そして1889年、第1回国際度量衡総会で、「国際メートル原器」という、白金とイリジウムの合金製の器具が長さの基準に使われることになった。原器に記された二つの目盛り線の間隔を1メートルとしたのである。

しかしメートル原器は、熱で膨張したり、年月を経ると腐食して長さがかわったりする。また目盛り線の間隔以下の正確な基準とはならない。

1960年になると、地球や原器といった「物」でなく、自然現象そのものを長さの基準にするようになった。クリプトン86という原子が一定の条件下で放出・吸収する特定の光の波

長（波の山から山の距離）を長さの基準に使うことにしたのだ。しかし、この波長にもばらつきがでてしまう。

そこで1983年、第17回国際度量衡総会で、長さの単位を「光速」を基準に決めることが決定された。光速は自然界で最も速いと考えられている速さだ。レーザー光と原子時計による複数の測定結果から、真空中の光速(c)は秒速299,792,458メートルと求められていた。

光速は、光の波長、光源の運動、光が進む方向に影響を受けず、時間がたってもかわらないという性質をもつ。そのため現在、1メートルは「光が真空中で299,792,458分の1秒の間に進む距離」と定義されている。

「ものさしのものさし」を光ではかる

私たちがふだん、身近な物の長さをはかるときには、ものさしや巻き尺を使う。しかし機械工作など、精密な測定が必要とされる場面には精密なものさしが必要だ。

精密なものさしの精度はきびしくチェックされなければならない。このきびしいチェックに使われるのが、スチールやセラミックスでできた棒「ブロックゲージ」だ。精密なものさしで、長さの決まっているブロックゲージをはかり、正しい測定ができているかどうかを調べている。

当然、このブロックゲージの長さも厳密に測定されている。レーザー光をブロックゲージに当て、正確な長さを測定しているのだ。

(担当：編集部 遠津早紀子)

子午線、原器、光速。長さの基準は大きくかわってきた

「メートル(m)」という単位が最初に使われるようになったときは、子午線の長さをもとに1メートルが決められ、その後メートル原器という人工物が1メートルの長さをきざむようになった。やがて1983年、不変の値である光速が、長さの基準に用いられるようになった。現在、1メートルは、「光が299,792,458分の1秒に進む距離」と国際的に決められている。



ものさしの正確さをチェックする ブロックゲージ

機械工作などのときに長さを測定するために使われる、ノギスやマイクロメーターなどのものさしは、誤差を200分の1～十数分の1ミリメートルの範囲におさえなければならない。このような精密なものさしの精度をチェックするために使われるのが、右の写真にみられるブロックゲージだ。灰色のものがスチール製で、白色のものはセラミックス製だ。両端の面が平行かつ、磨かれてきれいな平面になっており、さまざまな長さのものがある。ブロックゲージを使ったチェックの精度は、測定環境や測定するものさしによってことなるが、およそ1万分の1の誤差まで見のがさないほどの正確さだ。これらのブロックゲージの長さも精密な測定で決められている。ブロックゲージにレーザー光を当て、その長さを測定するのである。

子午線の長さが1メートルの基準になった
フランスのダンケルクから、スペインのバルセロナまでの子午線の距離が測量された。それをもとに、北極から赤道までの子午線の長さが求められ、1799年、その1000万分の1を1メートルにすると定義された。

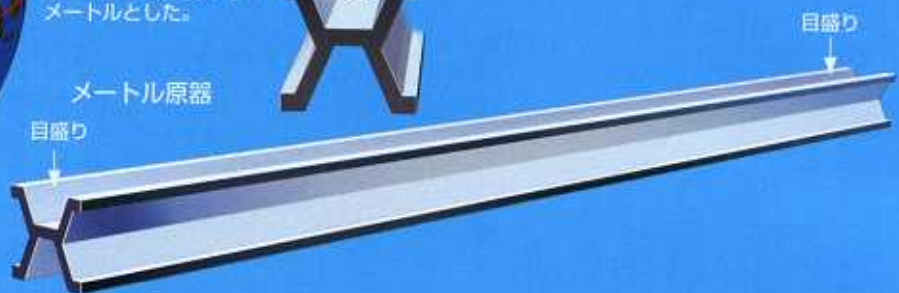


メートル原器の表面に
きざまれた目盛り。原
器の両端にある、二つ
の目盛りの中央の
線どうしの間の長さを1
メートルとした。



メートル原器

目盛り



メートル原器の目盛り線の間隔が
1メートルになった

1889年の第1回国際度量衡総会から、人工的につくられた国際メートル原器が、長さの基準に使われるようになった。メートル原器は白金とイリジウムの合金でできている。メートル原器の表面上に記された二つの目盛り線の間の長さを1メートルとしていた(0度Cの環境下)。



$$c = 299,792,458 \text{ m/s}$$

ブロックゲージ



光が299,792,458分の1秒に進む距離が1メートル
1983年以降、光速の値が長さの基準に使われるようになった。1メートルは、光が真空中を299,792,458分の1秒の間に進む距離であると、国際的に定義されている。つまり光速は、1秒間に地球の直径約23.5個分の距離を進む速さに等しい(上図)。以前は、定義された1メートルの長さをもとにして、光速の値が計測された。しかし現在では、この値が光速として定義され、逆に1メートルが光速の値から決められている。そのためは、光速をはかり直す必要はなくなっている。

右ページに見える、ゆがんだ小さな台形の星の並びが「からす座」である。写真で最も明るく目立つ青い星は、おとめ座の1等星スピカだ。なお2004年5月に撮影されたものであり、スピカの近くに土星はない（福島県にて、藤井 旭撮影）。

からす座

あまり知名度は高くはないが、ベテラン天文ファンならば春の星座としておなじみの星座に「からす座」がある。小さな台形の星座だが、なぜカラスに見たてられたのだろうか？ この時期近くに位置している、土星を使った見つけかたも紹介する。

国立天文台教授 **渡部潤一**

春の夜に輝く 小さな 台形の星座 「からす座」



2012年はスピカと土星が並ぶので、からす座をさがしやすい。

春の代表的な星座というと、皆さんが思い浮かべるのは何座だろうか。頭上をこえていくしし座、あるいは、そのあとにオレンジ色の光を放ちながら上ってくる、うしかい座だろうか。もちろん、それらをながめると、もう春だなあと思うのだが、私はこれらに加え、意外なほど小さな星座、からす座をあげておきたい。

からす座は、属する星がすべて3等星よりも暗いため、本来それほど目立たないはずだ。だが、四つのほぼ同じ明るさの星たちが、こじんまりとした台形をつくらせているので、一度覚えてしまうと、不思議に目につく星座となっている。なにしろ、プトレマイオスの48星座の一つでもある伝統の星座だ。

ただ、この台形がどうして「カラス」なのか、ずっと不思議であった。その

なぞはギリシア神話にかくされていた。

もともとこのカラスは、太陽神アポロンに仕え、人間の言葉を話し銀色の翼をもつ美しい鳥だった。アポロンは、音楽や医学もつかさどるたいへんそがしい神で、自分の妻コロニスにもなかなか会えないほどだった。そこでアポロンは、このカラスに妻コロニスのようすを伝える役目を負わせていた。

ある日、好奇心旺盛なカラスが勝手な道草をして帰りが遅くなった。カラスは遅れた理由に「コロニスが浮気をしていたので、それを報告しようかどうか、迷ってしまい遅くなった」とうそをついた。アポロンは怒りにわれを忘れて妻コロニスを殺してしまう。しかしのちに真相を知って激怒し、すべてのカラスから言葉を話す能力を奪い、美しい羽をすべて黒色に染めあげたう

え、うそをついたカラスを夜空にはりつけにしてしまう。四つの台形を形づくる星は、そのときカラスを夜空に固定した銀のくぎなのだ。まさに「闇夜のカラス」の言葉どおり、カラスの形が結べないわけだ。

日本では単純に「よつばし」とよばれ、能登では帆船の帆に見たて、「帆かけ星」といっていたようだ。また奥多摩などでは「むじなの皮(皮はり)」ともよばれ、むじな(アナグマ、タヌキ)の皮を広げて乾かす際のくぎに見たてていたのは、西洋の神話との面白い一致である。

今年は、土星がおとめ座にいてるので、からす座はさがしやすい。春の大曲線の終端に輝くスピカと、その東側で輝く土星とを結んでみよう。その直線を3、4倍西へのばすと、小さなからす座を見つけることができるはずだ。

星ごよみ

4月7日

★★★★★★

今年最も大きな満月。 月が最も地球に近づくタイミングで満月になるため、7日の明け方が、今年最も大きな満月となる。

4月7日

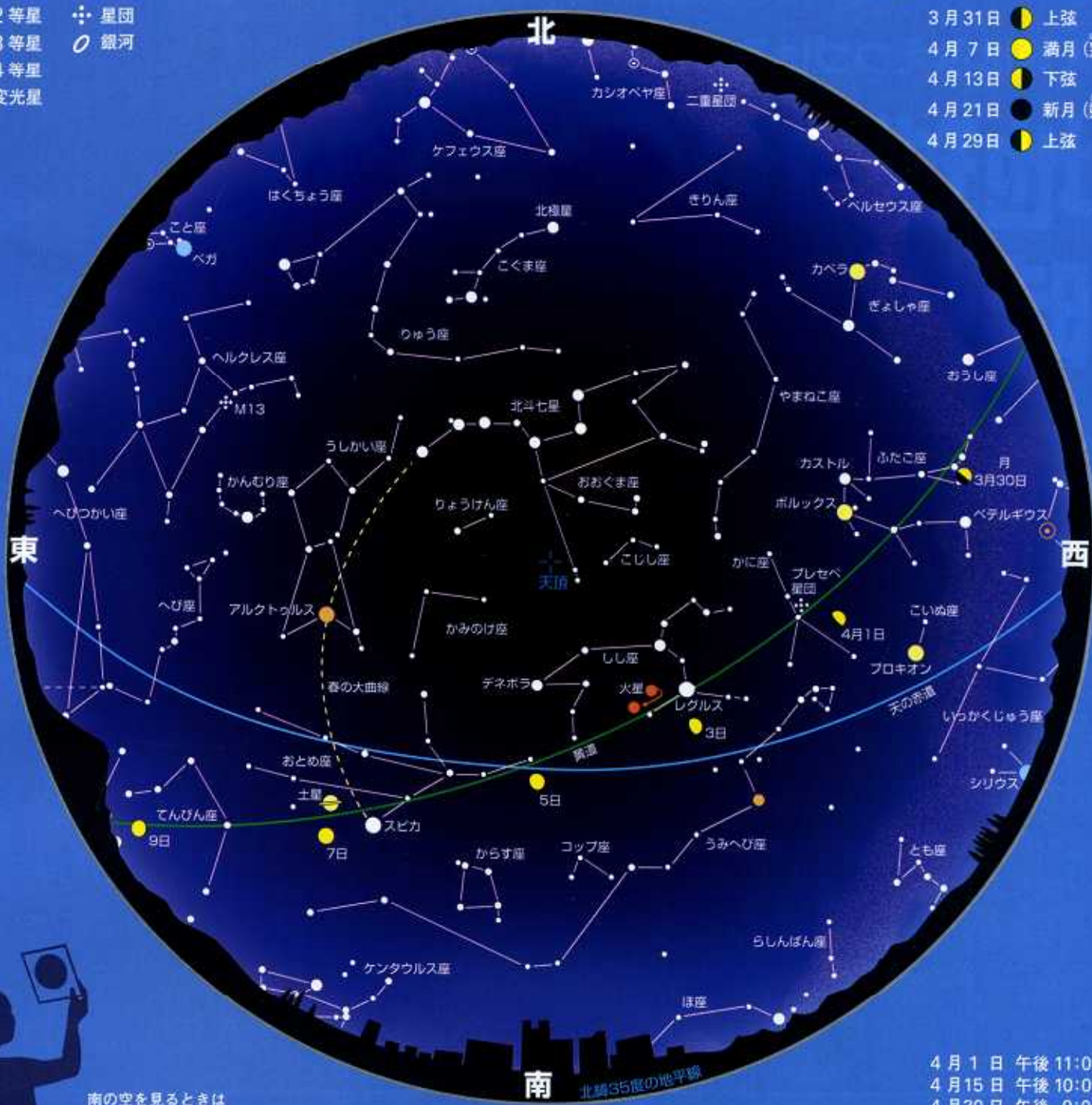
★★★★★★

月と土星、スピカの接近。 満月すぎの月が、土星とスピカの下をくぐり抜けるように接近する。

- 1等星
- 2等星
- 3等星
- 4等星
- 変光星
- ☁ 星雲
- ✦ 星団
- 〇 銀河

月の満ち欠け(午後11時の位置)

- 3月31日 上弦
- 4月7日 満月(望)
- 4月13日 下弦
- 4月21日 新月(朔)
- 4月29日 上弦



南の空を見るときは
星図の南を下にし
て、南の方向を向く。

この星図の日時

- 4月1日 午後11:00
- 4月15日 午後10:00
- 4月30日 午後9:00
- 5月15日 午後8:00
- 5月31日 午後7:00

4月16日

★★★★★★

土星の衝。土星がおとめ座で、太陽と正反対の位置にくる衝をむかえ、0.3等で輝く。前後、数か月間は見ごろ。望遠鏡では環が見える。

4月22日

★★★★★★

4月こと座流星群の極大。明け方によってくる、こと座に放射点をもつ流星群が極大に。多ければ1時間あたり10個ほどの流星が見える。今年は月明かりがなく条件がよい。

4月30日

★★★★★★

金星の最大光輝。宵の明星として輝く金星が、マイナス4.5等と、最も明るくなる。

人類はふえつづけるのか？ それとも …

地球 100 億人 時代

2011 年 10 月、世界の人口は 70 億を突破しました。1800 年ごろはおよそ 10 億でした。それがわずか 200 年ほどで 7 倍にふくれあがったのです。いったい何がこれほどまでの“人口爆発”を引き起こしたのでしょうか？

国連の推計では、今後も世界の人口はふえつづけ、21 世紀中に 100 億をこえると予想されています。ただし、100 億をこえたあたりから、今度は減少に向かうと予想されています。人口の増加・減少を決めている要因とは何なのでしょう？ 今後の人口増加あるいは減少によって、どんな問題が生じるのでしょうか？

次号の Newton Special では、人口変動のメカニズムと今後の人口予測、そして将来の課題を解決する可能性を秘めた最新の研究を紹介します。



主な内容 (予定)

- 西暦 1 年、世界の人口は 3 億だった。人類が 70 億人に達するまでの道のりをたどる
- どんな生き物であっても、自然環境の“収容力”以上にふえることはできない
- 農業革命、産業革命—たび重なる技術革新で人類は地球の“定員”を拡大してきた
- 日本でもおきた「多産多死」から「少産少死」への転換が、人口を爆発させた
- 2085 年ごろ、世界の人口は 100 億を突破する—人口推計が示す未来の世界
- 100 億人分の食糧やエネルギーを生産することはできるのか？
- 次世代のエネルギーの柱として期待される太陽光発電の課題
- 少子高齢化が進んだ社会で、ロボットは介護や労働のにない手になれるか？
- 100 歳まで生きるのはあたりまえの時代に！？ 寿命はどこまでのびるのか？



200 年あまりで人口は“爆発”した

人類が農耕をはじめたおよそ 1 万年前、世界人口は数百万～1000 万程度だったと推測されています。それから数千年をかけて数億人にふえた人類は、最近のわずか 200 年あまりで 10 億、20 億、30 億…と爆発的に増加しました。

人口増加の“裏”にはどんな出来事があったのでしょうか？ どういったしくみで人口は“爆発”したのでしょうか？

人口増加はどこまでつづくか？

国連の推計では、地球人口は 2085 年ごろに 100 億を突破すると予想されています。ただし、その後は増加が止まり、減少に転じると考えられています。人類が減りはじめるというのです。

現在、中東やアフリカの国々のように人口が大きくふえている国がある一方、日本のように少子高齢化が進み、すでに人口が減りはじめている国もあります。いったい何が人口の増加・減少に影響をあたえているのでしょうか？ 人口を左右する要因について、生態学や社会学など、さまざまな視点からせまります。

革新的な技術が世界をかえる？

国連の人口予測は、あくまでも現在の時点で想定されるシナリオにもとづく予測です。実際にどうなるかは、だれにもわかりません。もし技術革新によって食糧や病気の心配がなくなったとしたら、世界は現在想定されているシナリオとはことなる方向へと進みはじめるかもしれません。次号では食糧やエネルギー、医療などの分野で、世界をかえる可能性を秘めた最新研究を紹介します。

人口にかかわる問題は、現在の 70 億人を構成する私たち全員に関係する問題です。次号の特集にどうぞご期待ください。

協力

金子隆一 国立社会保障・人口問題研究所 人口動向研究部長

専門は人口学。少子化、長寿化など人口変動のメカニズムの解明と、将来人口推計を通してみえる社会の将来像について研究している。

大塚柳太郎 東京大学名誉教授、自然環境研究センター理事長

専門は人類生態学。とくにヒト個体群生態学の視点から、アジア・オセアニアの各地で人間の生存と健康について研究している。

ほか

Newton 読者の皆様へ あなたの「ご購入動機」を教えてください！

いつも Newton をご購入いただき誠にありがとうございます。Newton では、よりよい雑誌づくりのため、皆さまの声を募集しています。「あなたはどのように Newton を購入されたのですか？」住所とお名前を明記の上、800 字以内で、はがき、または電子メールでお寄せください。

- 宛先：〒151-0053 東京都渋谷区代々木 2-1-1 新宿マインズタワー (株) ニュートンプレス「購入動機」係
- 電子メール：letters@newtonpress.co.jp (件名に「購入動機」とお書きください)

※頂いたご意見を広告等に掲載させて頂く場合があります。

 特集

GREATEST TANK BATTLES MARATHON

世紀の戦車対決 一挙放送

シリーズ第2弾
いよいよ登場!

4月9日(月) 23:00~

人に薦めたい
チャンネル
6年連続No.1!

推奨 No.1

年間CSチャンネルブランド
調査2006-2011
(ジューシーチャンネル調べ)

ディスカバリー
チャンネル

DISCOVERY CHANNEL

ケーブル
テレビで見る!



スカパー!HDで見る!
☎0570-039-888



スカパー!e2で見る!
☎0570-08-1212



IPTVで
見る!



(10:00~20:00 年中無休) お電話頂く前に、有料放送約款契約約款(<http://www.skyperfectv.co.jp/top/legal/yakkan/>)の内容をご確認ください。

ご視聴に関する
お問い合わせは

カスタマーセンター



0120-777362
フリーコール 通話無料 10:00~18:00(年中無休)

ディスカバリーチャンネル

検索

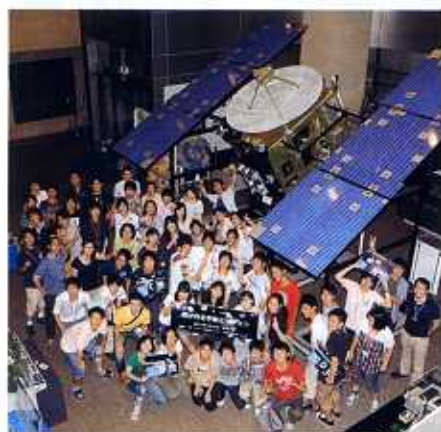
携帯サイト公開中
<http://dsc-ch.jp/>



●ディスカバリーチャンネルオリジナル動画をニコニコ動画、YouTube公式パートナーサイトで公開中!!

NEWTON INFORMATION

読者のための情報ページ



小惑星探査機はやぶさの実物大模型と記念撮影

「第11回 君が作る宇宙ミッション」参加者募集

宇宙航空研究開発機構（JAXA）では、高校生を対象とした体験学習プログラム「君が作る宇宙ミッション」の参加者を募集しています。JAXA 相模原キャンパスに滞在しながら、数人のチームを組み、自分たちのミッション計画をつくりあげてみませんか？

- 開催期間＝8月6日（月）～10日（金）
- 会場＝JAXA 相模原キャンパス（神奈川県相模原市中央区由野台 3-1-1）
- 対象＝高校生・高校生相当年齢の方
- 定員＝20名程度（応募者多数の場合は作文による選考を行います）
- 参加費＝期間中の食事代（4泊5日分で8,000円程度）、会場までの交通費
- ※遠方者には旅費の補助があります
- 応募方法＝下記ウェブサイトを参照
- 応募期限＝6月4日（月）必着で郵送。選考結果は6月下旬までに本人宛に郵送
- お問い合わせ＝
「君が作る宇宙ミッション」事務局
TEL：050-3362-4662
FAX：042-759-8612
（受付時間は平日9時30分～17時30分）
E-mail：kimission@jaxa.jp
URL：http://www.isas.jaxa.jp/kimission/



ノーベル化学賞を受賞した白川英樹博士と一緒に実験

白川博士と学ぶ「科学の泉—子ども夢教室」

ソニー教育財団では、自然や科学に興味・関心をもつ全国の小学校5年生から中学校2年生を対象に、第8回「科学の泉—子ども夢教室」の参加者を募集します。ノーベル化学賞受賞者の白川英樹博士を塾長とする本教室は、約30名の子どもたちが異学年のグループをつくり、自然豊かな環境で「自ら考え、行動する」探究活動を行うものです。白川博士が発見した導電性プラスチックの実験に取り組むなど、最先端技術も体感できます。

- 開催期間＝8月5日（日）～10日（金）
- 開催場所＝新潟県十日町市珠川
- 対象・定員＝小学5年～中学2年、約30名
- 募集期間＝3月3日（土）～4月16日（月）
- 応募方法＝①申込書、②推薦書、③課題作文（400字以内）、④自己紹介文の指定用紙をホームページ（http://www.sony-ef.or.jp/spring/）よりダウンロード、または電話で申し込みのうえ、必要事項を記入し下記住所まで郵送のこと ※当日消印有効
- 参加費用＝20,000円（交通費は自己負担）
- 郵送先・お問い合わせ＝
〒140-0001 東京都品川区北品川 4-2-1
御殿山アネックス2号館 公益財団法人ソニー教育財団「科学の泉」担当
TEL：03-3442-1005、FAX：03-3442-1035



口頭発表部門の受賞者8組が一同に介した

イベント多数！理研の和光研究所を一般公開

理化学研究所の和光研究所では、下記の日程で毎年恒例の一般公開（入場無料）を行います。研究室や施設の公開をはじめ、講演会、小学生でも楽しめる体験イベントなど、24のエリアで行われる多彩な企画を通じて、理研が誇る世界最先端の科学研究に親しむことができます。

- 開催日時＝4月21日（土）9時30分～16時30分（入場は16時まで）
- 開催場所＝埼玉県和光市広沢 2-1
- アクセス＝公開日のみ「和光市駅⇄理研」間で運行される無料シャトルバスで5分。また、和光市駅より徒歩13分
- ※本年より安全確保のため、車・バイクでの来場はできません。ただし、身体の不自由な方には専用の駐車・駐輪スペースを設けてあります
- お問い合わせ＝理研広報室
TEL：048-467-9954（直通）
URL：http://www.riken.jp/index_j.html
E-mail：event-koho@riken.jp
- ※身体障がい者補助犬以外のペットの同伴はできません。身体障がい者補助犬であっても入場できる場所は限られますので、あらかじめご了承ください

第1回「サイエンス・インカレ」を開催

文部科学省主催の「サイエンス・インカレ」は、自然科学分野を学ぶ全国の学部学生が、自主研究を発表し競い合います。そうした場を提供することで、学生の能力・研究意欲を高めるとともに、「課題設定能力」、「課題探求能力」、「プレゼンテーション能力」などをそなえた創造性豊かな科学技術人材を育成することを目的としています。

その第1回の研究発表会が、日本科学未来館および東京国際交流館プラザ平成において、2月18日（土）・19日（日）の日程で開催されました。40組が口頭発表、86組がポスター発表を行い、計126組の中から16組が表彰されました。

文部科学大臣表彰は、東京大学の王青陽さんが発表した「二光子共鳴レーザー誘起蛍光法を用いた水素分子の遷移寿命の回転依存性及びその同位体効果」に授与。独立行政法人科学技術振興機構理事長賞は、鳥取県、米子工業高等専門学校の村尾彰郁さんが発表した「新しいポリマーを正極活物質としたリチウム二次電池の作成と電池特性」におくられました。その他の受賞者の名前や発表テーマについては、ホームページ（http://www.science-i.jp）をご覧ください。

現代統計 実務講座

統計プログラム集
CD付き

ご案内

「文部科学省認定通信教育」

統計的手法を実際の仕事に活かす。

統計の資格と実力!

統計スペシャリストを養成。

- 文部科学省認定社会通信教育「現代統計実務講座」開講
- 修了者に「修了証書」授与。成績優秀者には表彰制度あり。

「統計士」資格認定制度

「統計士」資格が
取得できる!

(詳細は資料で)

本講座の受講実績企業紹介

- ★医薬 エーザイ/バイエル薬品/科研製薬/岩城製薬/久光製薬/山之内製薬/住友製薬/大鵬薬品工業/積水メディカル/第一三共/中外製薬/田辺三菱製薬/和光純薬工業/ジョンソン・エンド・ジョンソン
- ★サービス オリエンタルランド/ビデオリサーチ/マーケティングリサーチサービス/菱食/化学及血清療法研究所/関西電気保安協会/日本不動産研究所/関西大学/インテリサーチ/オリコム/ニッテクリサーチ/東京三菱UFJリサーチアンドコンサルティング/松山市役所/東京都下水道局/全日空システム企画
- ★化学 東燃ゼネラル石油/ボーラ化成工業/ブリヂストン/三菱化学メディエンス/ダイセル/旭硝子/宇部興産/花王/三菱マテリアル/三菱化学/住友化学/大阪チタニウム製造/大分石油化学コンビナート/中国化薬/トクヤマ/日本ペイント/日本精蠟/日本曹達
- ★金融 日本銀行/おきぎん経済研究所/静岡信用金庫/セディナ
- ★食品 ネスレ/ヤクルト本社/加ト吉/アサヒビール/エバラ食品工業/カルピス/キッコーマン/キリン/クノール食品/日本ホーネンコーポレーション/ハウス食品/雲海酒造/亀田製薬/江崎グリコ

●本講座はテキスト2冊、ガイドブック2冊、統計数値表、機関誌、他。標準学習期間は8ヵ月。8単元 32単位。統計入門、平均、分散、標準偏差、正規分布、推定と検定、比率、標本調査法、品質管理、実験計画法など基礎から統計データの作り方まで、実例を中心に体系的に学びます。

統計資料を無料進呈!

◆詳しい統計資料をご希望の方には、無料でお送りします。ご請求は下記へ。

財団法人

実務教育研究所 ニュートン係

〒160-0015 東京都新宿区大京町25の245

URL <http://www.jitsumu.or.jp>

メール jk@jm.md ※左記へEメールか二次元コードで

TEL 03-3357-8153

FAX 03-3358-7259



統計士になる

検索

●このような方におすすめします!

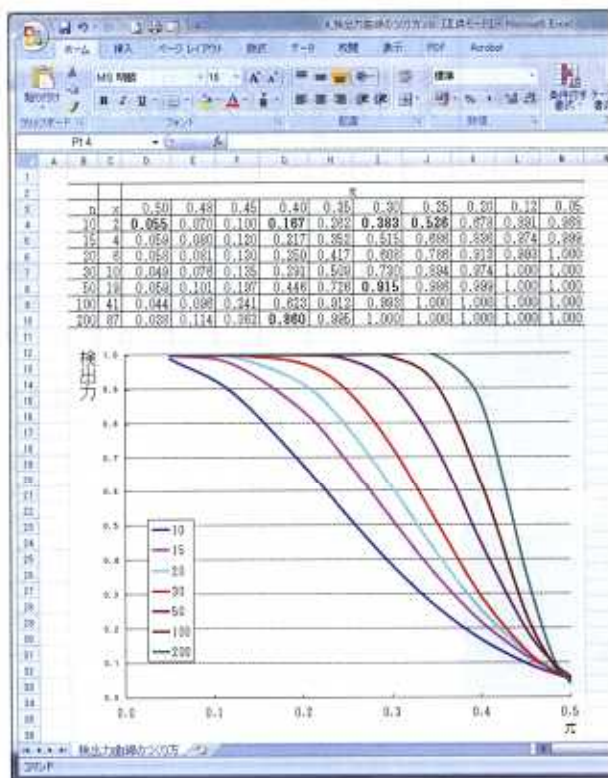
▼パソコンで簡単に統計値が出るが、その意味がわからない。▼市販の本をみるが、数学的過ぎてわからず、実務に役立たない。▼ある程度統計は使っているが、一度体系的に統計の基本、手法を学習しておきたい。

●統計的手法の重要性!

データや資料は加工・集約して生きたデータ(情報)とする必要があります。その手法が統計的手法です。パソコン(統計ソフト)が利用され、データの入力、出力は容易な今日、入力データの正しい吟味、出力データの的確な読み取り、説明をできる人の重要性が一層高まっています。今ほど統計の基本と統計的手法を身につけた人が要求される時代はありません。

●テキストと連動するエクセルプログラムの提供!

補助教材として、表計算ソフトエクセル上で稼働する統計解析プログラム集(芳賀敏郎指導委員開発)を提供します。このプログラムは実務にも即活用可能です。



Excelによる学習例 検出力曲線のつくり方

LETTERS

タイムトラベルの検証

中尾さくら／兵庫県西宮市

2012年3月号 Newton Special「タイムトラベルを科学する」を読みました。記事では、タイムトラベルがおりうるものなのか具体的に検証されており、とても興味深かったです。たんなるフィクションではなく、実際に議論されている問題なのだとあらためて知りました。今後の研究が楽しみです。

- 「タイムトラベルについて理解が深まった」、「SFの世界だけの話だと思っていたら、科学的に研究が行われていることを知り、おどろいた」、などのご意見が多数寄せられました。

矛盾の説明に納得

津曲真人／茨城県稲敷郡

「タイムトラベルを科学する」の記事は、たいへん興味深かったです。過去へのタイムトラベルと、すでにおきた出来事の矛盾の説明は納得しました。

- タイムトラベルにまつわる映画や小説の具体例もあげながら説明しました。楽しんでいただけたでしょうか。

手を洗うことが効果的

黒田佳樹／東京都八王子市

「体を脅かすウイルスたち」を読みました。多くの施設に設置されている消毒用のアルコールは、ノロウイルスなどには、ほとんど効果が無いということをはじめて知りました。今後は、今まで以上に手洗いやうがいをしっかり行い、予防していきたいです。

- 外側に殻を持たないノロウイルスなどは、アルコール消毒の効果がほとんどないことを紹介しました。感染予防として、水で手を洗うのは有効とのことですので、忘れずにしっかり行いたいですね。



ヒッグス粒子発見に期待

秋山 浩／大阪府大阪市

「特報第2弾 詳報 ヒッグス粒子」を読みました。ヒッグス粒子については、テレビや新聞などで報道されている程度のことしか知りませんでした。この記事でくわしく知ることができてよかったです。2012年、なんらかの結論が出るということですので、続報を期待しています。

- 多くの研究者をとりこにするヒッグス粒子。はたして「発見」となるのでしょうか。結論を楽しみに待ちましょう。

オーロラを見に行きたい

村田裕菜／福島県いわき市

「北極圏 オーロラ紀行」を読みました。オーロラの色は緑しかないと思っていたので、赤色のオーロラがあることにおどろきました。大きくなったら、実際に見に行きたいです。

- 夜空に輝く本物のオーロラを見ることが出来る日が早く来るといいですね。

みとれるほどの宇宙画像

小原祐一／熊本県熊本市

「ハッブル望遠鏡が解き明かす宇宙の新事実」を読みました。記事

を見ていると、吸いこまれてしまいそうでした。魅力的な羊毛銀河や、ガス、ちりによってまるで銀河の中で影絵をえがいているようなカーナ星雲など、どれも感動的でした。見入ってしまいました。

- 打ち上げから21年がたつハッブル宇宙望遠鏡がとらえた最新の画像を紹介しました。お楽しみいただけたでしょうか。

痛みをがまんしない

板倉洋治／愛知県知多郡

「痛みのサイエンス」を読んで、痛みにもいくつかの種類があることや、感情によっても影響されることなど、「なるほど!」と思いながら読みました。手足とちがい、内臓は痛みのセンサーが少ないために、痛みの部位が特定しづらいなど、日ごろの経験から納得させられました。痛みはがまんするよりも、早めに処置することを心がけたいと思いました。

- 「わかりやすいイラストのおかげで子どもにも痛みのしくみを教えることができてよかった」、などの多くのご意見をいただきました。

意外な果実の姿

中嶋灯奈／宮城県仙台市

「身近で意外な果実の世界」の記

事がとても楽しかったです。生物学的にくわしく見ると、いろいろな花や実の形態があることにおどろきました。とくにおどろいたのは、苦いイメージのあるゴーヤの実が、甘いということでした。これから果物を食べるときは、タネや実はどこだろうと考えつつ、味や香りも楽しみたいと思います。

- あざやかな写真をおまぜながら、果実のどこを食べているのか、などを紹介する記事でした。意外な果実の姿をたくさんみつてくださいね。

Newton2012年3月号の記事に一部誤りがありました。おわびして訂正いたします。

- ・11ページ上の画像の説明文、上から2行目「Kepler-22f」→「Kepler-20f」
- ・19ページ本文の左の列、上から12行目「2012年12月」→「2011年12月」
- ・115ページ、「タネやその周辺を食べる果実」の説明文、上から2行目「ニース」→「メース」

皆さんの声をお聞かせください

Newtonでは、読者の皆さんからのご意見やご希望、記事のリクエストなどをお待ちしております。住所、氏名、年齢、職業（学生の方は学年も）、電話番号を明記のうえ、はがき、または電子メールでお寄せください。LETTERSのコーナーに採用させていただいた方には、Newton特製図書カードをさしあげます。

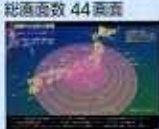
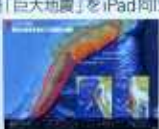
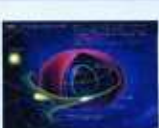
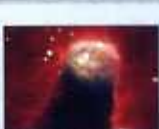
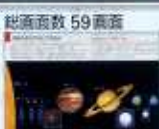
- 宛先：〒151-0053 東京都渋谷区代々木2-1-1 新宿マインズタワー（株）ニュートンプレス「ニュートン・レターズ」係

- 電子メールのアドレス：
letters@newtonpress.co.jp



Newton 特製図書カード

iPad でみるニュートンの電子書籍 **Newton Digital Books** が好評発売中です！

 「我が銀河」の観測 ギャラクシー for iPad for iPhone	総画面数 49 画面 (for iPad), 57 画面 (for iPhone)     
 化学反応のカラクリ イオンのふしぎ	総画面数 63 画面     
 首都圏、東海、東南海、南海 超巨大地震	総画面数 44 画面 ※ 2010 年 5 月刊のニュートン別冊「巨大地震」を iPad 向けに再編集したものです。     
 電子顕微鏡でみる 昆虫のすがた	総画面数 62 画面     
 光さえ呑み込む ブラックホール	総画面数 47 画面     
 世界のスーパー望遠鏡でみる 大宇宙観測	総画面数 66 画面     
 竜脚類大図鑑 巨大恐竜	総画面数 57 画面     
 Sun&Planets 太陽と惑星	総画面数 59 画面     
 アインシュタインの $E=mc^2$	総画面数 34 画面     
 山中伸弥教授の 万能細胞	総画面数 53 画面     

※ 価格は App Store でご確認ください。

● App Store でご購入ください (🔍 ニュートン) で検索すると見つかります。ご購入後のアップデートは無償です。

お問い合わせは ニュートンプレス Newton Digital Books 編集部 (E-mail : d-books@newtonpress.co.jp) まで