2020 Issue

Science

Japanese Scientists in *Science* 2019

サイエンス誌に載った

日本人研究者

COSMO BIO CO., LTD.
Inspiration for Life Science

Science
AAAS

このJapanese Scientists in *Science* 2019では、2019年の1年間に*Science*に論文が掲載された日本人研究者・グループを紹介しています。誌面の都合上、または著者本人のご意向により、すべての日本人著者を紹介しているわけではありませんが、その旨ご了承ください。

所属名、共著者名、本文から図表の選定まで、すべて著者の皆様からご提供いただいたものです。特に、掲載論文については、日本語で分かりやすくご解説いただいておりますので、*Science*に掲載された図表とは異なるものを使用している場合があります。また、記載の所属先やメールアドレス、URLなど一切の情報は、2020年1月時点のものになります。

内容については細心の注意を払っていますが、情報の正確性、専門性について発行者はいかなる責任を負うものではありません。正確な情報は、必ず原文にてご確認ください。

発行元
American Association for the Advancement of Science (AAAS)
1200 New York Avenue, NW
Washington, DC 20005
USA

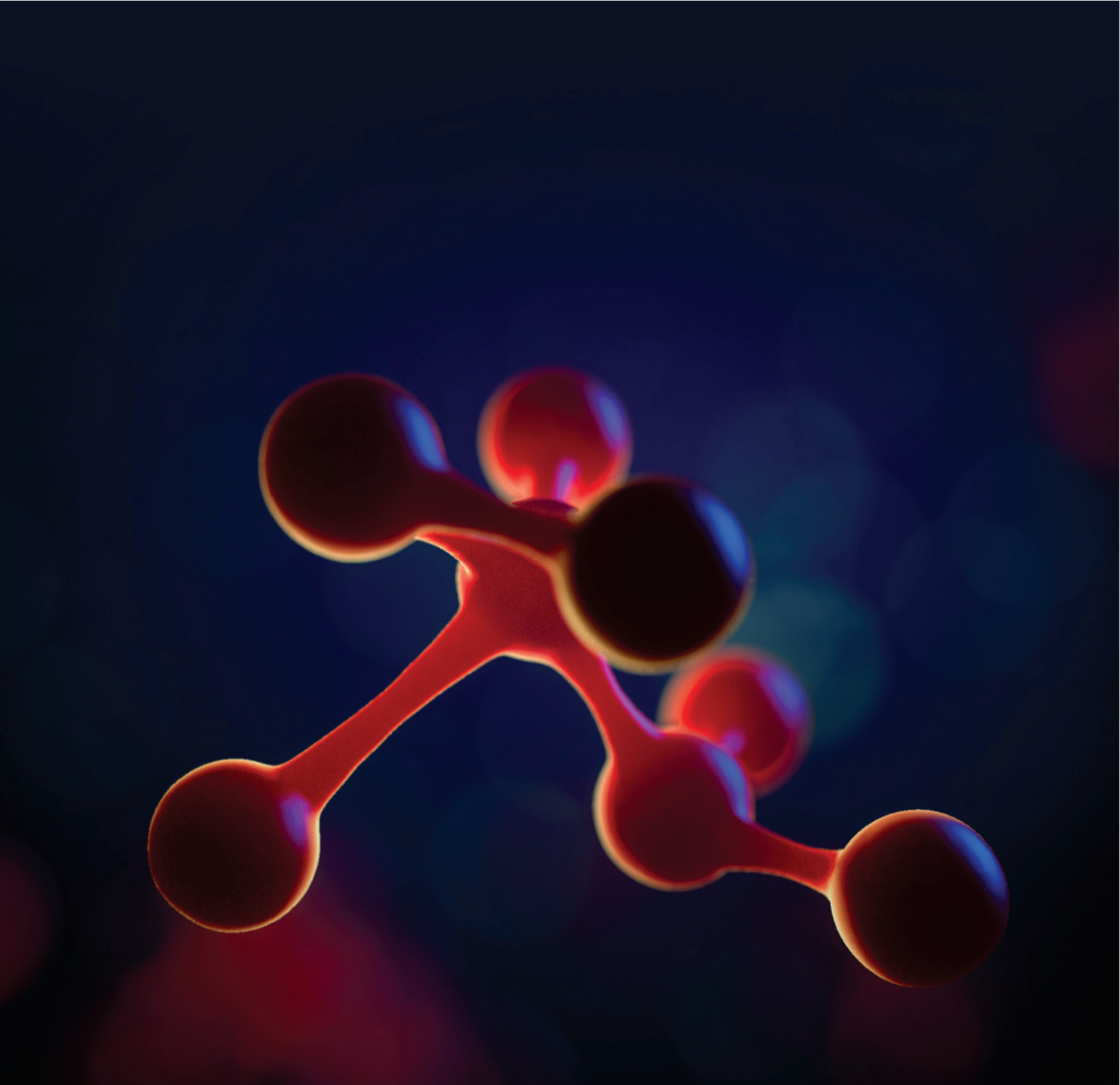
協　賛
コスモ・バイオ株式会社
〒135-0016 東京都江東区東陽 2-2-20 東陽駅前ビル
TEL：03-5632-9610　FAX：03-5632-9619
http://www.cosmobio.co.jp

企画・翻訳・編集
株式会社アスカコーポレーション（Science Japan Customer Service Office）
〒541-0046 大阪市中央区平野町 1 丁目 8-13 平野町八千代ビル
TEL：06-6202-6272　FAX：06-6202-6271
http://www.asca-co.com

表紙デザイン
株式会社 大伸社コミュニケーションデザイン
〒151-0051 東京都渋谷区千駄ヶ谷 2 丁目 9-9
TEL：03-3405-0603　FAX：03-3405-0653
https://www.daishinsha-cd.jp/

発行日
2020 年 3 月

© 2020 American Association for the Advancement of Science (AAAS). All Rights Reserved.



Publish your research in the *Science* family of journals

The *Science* family of journals (*Science, Science Advances, Science Immunology, Science Robotics, Science Signaling*, and *Science Translational Medicine)* are among the most highly-regarded journals in the world for quality and selectivity. Our peer-reviewed journals are committed to publishing cutting-edge research, incisive scientific commentary, and insights on what's important to the scientific world at the highest standards.

Submit your research today!

Learn more at **ScienceMag.org/journals**

Science JOURNALS AAAS

Science

Japanese Scientists in *Science* 2019

サイエンス誌に載った日本人研究者

ご挨拶

米国科学振興協会（AAAS）の公式刊行物である*Science*は、1880年に米国で創刊され、以来140年にわたりもっとも長い歴史を持つ科学学術誌のひとつとしてあらゆる分野の科学研究をリードしてきました。オンラインの姉妹誌である*Science Signaling*および*Science Translational Medicine*、さらに2016年に新たに創刊された*Science Immunology*と*Science Robotics*、*Science Advances*とともに、近年重要性を増す研究領域にフォーカスしながら、学問の新たな地平を切り拓く科学的知見を発信しています。

この「サイエンス誌に載った日本人研究者」は2007年に創刊され、*Science*に掲載された日本人による研究を選び取り上げています。今号では50件の研究の紹介に加え、*Science*が発表する2019年の最も顕著な10の科学的業績（Breakthrough of the Year）を日本語訳で掲載しています。2019年の最も注目すべきトピックには、ブラックホールの撮像に初めて成功したという“Darkness made visible”（可視化された暗闇）の研究が選ばれました。

ブラックホール同士が衝突した際に放出される重力波によって、ブラックホールの在存を知ることができたものの、これまでその姿を誰も見ることができませんでした。今回、日本を含む国際チームがブラックホールの「影」をとらえた衝撃的なクローズアップ画像を発表しました。その感動的な画像が今年のBreakthroughとして、読者と*Science*に選ばれました。その他にも、気候変動に対する政治的行動を求める活動に関するBreakdownsを含め、興味深い研究が紹介されています。

今年で14年続くこのプロジェクトですが、年々多様な大学や研究機関から新しい研究が紹介されるようになり、海外に住む、または海外との共同研究をする日本人研究者が多く紹介されるようになりました。メンバーの写真を含む、ラボ紹介もとても興味深く、読み応えがあります。どうして海外に行くことになったのか、海外での研究がどれほど刺激的なのか。繋がる、ネットワーク、楽しむ等のキーワードから、多くの研究者と一緒に創り上げていく素晴らしさが伝わってきます。

本誌は大学等研究機関図書館のほか、国内のスーパーサイエンスハイスクールに配布されています。未来の日本の科学界を担う学生・生徒の教育にも活用していただく目的で、従来に引き続き、*Science*の著者によるコラムを2本掲載しています。そのひとつはミニ臓器の研究をされている著者の思いを綴った「“セレンディピティ”と“ぶれ”と“ずれ”」、また、日本海溝の地震分布等について専門的な研究内容をわかりやすく紹介する「スロー地震ってなんだ？」の解説記事を執筆いただきました。本誌を日本の科学新興のためお役立ていただけることを祈念しております。

最後に、本誌の制作にあたり、ご多忙の中、ご協力いただきました日本人研究者の皆様に心より御礼申し上げます。そして、多大なるご支援を賜りましたコスモ・バイオ株式会社様に深く感謝を申し上げます。

2020年3月
編集チーム一同

サイエンス誌に載った日本人研究者2019に寄せて

小さなノーベル賞

2019年は吉野彰氏がノーベル化学賞を受賞されました。毎年のようにノーベル賞受賞の知らせに人々が沸き、そのたびに「基礎研究の今と未来への警鐘」が話題になります。残念なことに、基礎研究を支える具体策らしき姿は、まだ見えてきません。予算措置も必要ですが、背景としての教育制度や価値観そのものに課題があるように思えてなりません。これまでの受賞者の多くが戦後の混乱期に教育を受けた方々である事実は、現在の研究環境や資金に課題があるわけではないことを示しています。もちろん、社会性を顧みない自己陶酔に流れた研究に大きな予算が割かれることがあれば考えものですが、難解な多くの基礎研究について、難解というだけの理由で、価値が否定される社会では新しい発想は生まれません。

博士課程に進学する若者が減少しているとも言われます。学位取得後に学術研究を続けるポストがなくて将来性に魅力がない、という理由付けが多いようです。学位取得後に学術研究を継続する受け皿は将来性の一部に過ぎないという理解が広まらないのです。博士は、研究活動の専門家であることに間違いはないですが、研究を継続しないことがドロップアウトのように評価されたり、無意味と理解されたりするならば大きな間違いです。「事象の再現性から仮説を立て、論理的に検証を行うことで、仮説の合理性を論証する一貫した行程を完了させる」能力を持つことは、多様な社会活動においても、課題を見つけ、原因を推し量り、解決を進めることができるプロジェクトマネージメントの力を発揮できるということです。この力は、社会を動かす重要な機動力で、社会はその力を必要としています。もし、偏狭な価値観にとらわれ、博士教育の価値が見失われているなら、日本人のノーベル賞受賞の問題ではなく、「この国の論理性が失われてゆく」ことの問題としてとらえるべきです。幅広い論理性への希求が基礎研究であり、その先の応用開発を支える基盤です。

毎朝、元気に挨拶してくれる警備員さんが、小さなごみを拾ってポケットに入れる姿を見たときに、小さなノーベル賞があったら差し上げたいと思いました。日ごろの生活の中で「ちょっとした良いこと」の発見や工夫を、心の中の「小さなノーベル賞」として大切にできる社会であってほしいと思います。そんな社会であれば、きっと人は幸せになれます。小さな課題の発見と解決は楽しいはずです。時間や予算に追い立てられてばかりでは、楽しいことが見つけにくいかもしれませんからね。

*Science*は、「科学振興を通じて社会に貢献する(advance science and serve society)」ことを目的とした米国科学振興協会(AAAS)が発信する最先端の学術誌として世界的に最高水準の情報提供を続けています。私どもコスモ・バイオ株式会社は、様々な分野の最新の学術情報を提供する*Science*から、特に「日本人研究者」が活躍する姿をご紹介することで、次の世代を担う若い研究者の仲間が増えることを期待して、この冊子、「サイエンス誌に載った日本人研究者」の制作に協賛しています。

コスモ・バイオ株式会社
代表取締役社長　櫻井 治久

可視化された暗闇 Darkness made visible

天文学者の国際チームがブラックホールの撮像に初めて成功した。

Daniel Clery

ブラックホールは至る所に存在していて、なかには太陽系と同じくらい大きなものもある巨大な天体だが、周りの景色にまぎれていて見えない。その重力が周辺の物体に及ぼす影響や、最近では、ブラックホール同士が衝突した際に放出される重力波によって、ブラックホールの存在を知ることはできるものの、これまで直接見た者はいなかった。ところが2019年の4月、電波天文学者の国際チームが、ブラックホールの「影」をとらえた衝撃的なクローズアップ画像を発表した。この画像には、ブラックホールの暗い中心部を取り囲むように高速で周回する光子が、光の環として写っている。この画像を撮影したチームの一員である、オランダのナイメーヘンにあるラドバウド大学のHeino Falckeは、初めて見たとき「地獄の門を見ている」ように感じたという。感動的なこの画像は*Science*の2019 Breakthrough of the Yearに選ばれた。

天文学者にとってこの画像は、目に見えない謎の天体に関して数十年にわたり行ってきた理論研究の正しさを実証するものである。「まだ少し呆然としています」と、米国カリフォルニア州パロアルトにあるスタンフォード大学の天体物理学者Roger Blandfordは語る。「こんなに象徴的な画像が得られるなんて、だれも想像していなかったと思います」。事実、最近まで、このような画像が撮影できるとは天文学者でさえほとんど想像していなかった。ブラックホールは宇宙の尺度からすれば非常に小さく、当然ながら光をまったく放出しない。しかも、ブラックホールが銀河の中心で巨大に成長した場合、ガスや塵、恒星が非常に強い重力でかき回されて激しく渦巻くため、観測はさらに困難になる。

しかし20年前、一握りの天文学者が、巨大なブラックホールの境界（つまり事象の地平線）の近くで渦巻く高温のガスによって、ブラックホールが可視化できるのではないかと考えるようになった。そのガスはさまざまな波長で輝いており、そのうちのミリ波という短波長の電波は、銀河の中心を取り巻くガスや塵を通り抜けることができる。技術の進歩も一役買った。超長基線電波干渉法（VLBI）という技術は、遠く離れた複数の電波望遠鏡から得られたデータを組み合わせることで、はるかに大きな望遠鏡を仮想的に実現する技術であり、この技術によって遠方の天体をより詳細に知ることが可能になった。また、受信機やアンテナ設計、デジタル電子技術の進歩によって、電波天文学者はミリ波をとらえられるようになった。この波長で観測を行い、望遠鏡の間隔をできるだけ広げて分解能を上げれば、ブラックホールが詳細にわかるのではないか?

おそらく、質量が太陽の数百万倍もあるような怪物で、しかも比較的近くにある場合は可能だろう。天の川銀河の中心にあり太陽の400万倍の質量を持つブラックホール「いて座A*（Sgr A*）」は、まさにその候補であり、地球からわずか2万6,000光年という最も近い距離にある。Sgr A*は、その重さのわりに銀河の大きさに比べると非常に小さく、水星の軌道内に収まるほどのサイズであるため、VLBIの限界に挑戦し、この天体を撮影することになった。

ハワイと米国本土の望遠鏡を使って十数年前に行われた初期の試みでは、Sgr A*の近くにある超高温ガスの詳細が断片的に明らかになった。これらの望遠鏡は2番目に有望な観測対象を垣間見ることにも成功した。それが、近隣銀河であるメシエ87（M87）の中心にある超大質量ブラックホールである。M87は、Sgr A*と比べて地球からの距離が2,000倍もあるが、そのブラックホール（M87*）は質量が1,000倍以上あるので、地球の空から見るとほぼ同じ大き

さに見える。観測の成果が出始めたことを受け、各機関が資金援助を開始し、国際的な「イベント・ホライズン・テレスコープ（EHT）」が誕生した。

EHTは名前にテレスコープ（望遠鏡）とあるが、実は望遠鏡ではなく、世界中の200人以上の科学者が参加する共同研究プロジェクトである。このプロジェクトでは、できるだけ多くかつできるだけ遠く離れた既存の望遠鏡を時間単位で利用する。ほとんどの望遠鏡では、EHTのメンバーが高データレートのデジタル処理装置や原子時計といった機器を独自に導入して、VLBIに適した望遠鏡に変えなければならない。EHTに転機が訪れたのは、アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計（ALMA）の協力が得られたときだった。ALMAはチリ北部の高地砂漠に設置された66基のパラボラアンテナからなる、非常に大きなミリ波天文観測の施設である。EHTチームは、その中に入って、覆いを外し、米国・欧州・日本が15億ドルを共同出資した心臓部に手を加える許可を得るために、何年もかけて説得を続けた。何度も企画を却下された末に、ようやくALMAが加わることになり、EHTの感度は10倍になった。

メシエ87という銀河の中心にあるブラックホールをとらえた象徴的な画像。その重力で曲げられた光子の環が写っている。EHT Collaboration/CC 4.0

2017年4月、10夜連続の観測に向けてすべての準備が整った。ALMAのほかに米国、メキシコ、チリ、スペイン、南極にある7つの天文台も加わり、Sgr A*とM87*に対して終夜の長時間露光撮像を繰り返した。「天候に恵まれました」と、米国マサチューセッツ州ケンブリッジにあるハーバード・スミソニアン天体物理学センター所属のEHT創設所長、Shep Doelemanは語る。しかし、EHTチームがその成果（もしあればだが）を知るまでに、およそ2年もの歳月を要することになる。

ドイツと米国にあるデータセンターで並行して作業が行われ、各チームが数種類の方法で別個にデータの調整と処理を行う一方で、他のチームがその結果を独自に確認した。結果にバイアスがかかるのを避けるため、画像の生成は最後の最後に行われた。チームはSgr A*とM87*の作業を並行して始めたが、Sgr A*の周りでは渦巻く物質が時々刻々と変化するために画像がぼやけてしまうのがわかってからは、M87*に的を絞った。巨大なM87*周辺の活動ペースはゆったりとしており、一夜の間にほんのわずかしか変化しなかった。ついに2019年の4月、チームはM87*の画像を公開した。光の環に縁取られたブラックホールのシルエットは、世界中の新聞の一面やニュースで取り上げられ、米国国立科学財団のウェブサイトで史上最もダウンロードされた画像になった。今回の成果とその意味は、*Astrophysical Journal Letters*に6報の論文として掲載された。

ブラックホールの理論家にとって、かなりぼやけた初画像はそれほど驚くべきものではなかったが、目に見える形になったことで「理論の正しさが見事に認められた」と、Blandfordは述べている。アルバート・アインシュタインが重力について説明した一般相対性理論では、ブラックホールの影は完全な円になるはずだと予言されている。この予言が、M87*の画像によって、誤差10％の範囲で確かめられたのだ。これにより、相対性理論に取って代わろうとする一部の的外れな重力理論は排除されるかもしれない。だが、EHTチームは今後の観測でエラーバーを狭めることで、アインシュタインの理論をさらに厳密に検証する必要がある。

一般相対性理論を検証するのに最適なのはSgr A*の画像だとされており、チームは2020年にはその画像化を終えたいと考えている。Sgr A*の質量や大きさ、距離については、M87*よりもはるかに正確なデータが得られている。「（一般相対性理論に対する）制約の質がただちに向上するでしょう」と、チームの一員である米国トゥーソンにあるアリゾナ大学のFeryal Özelは述べている。しかし、まずチームはSgr A*の画像を鮮明にしなければならない。「解析ツールに癖があるため、うまく対処するための最終調整をしているところです」と彼女は言う。

EHTでは2020年に行われる次回の観測に向けて、11の施設が準備を進めており、そのなかにはグリーンランドや米国アリゾナ州の新たなアンテナや、フランスの改良されたアンテナ群も含まれている。近々、観測はさらに短い波長で行われ、これまでの1.3ミリから0.86ミリになる予定である。さらに将来、チームは十数基ほどの専用アンテナを世界各地に、そして何基かは宇宙空間にも追加して、分解能をより一層向上させたいと考えている。例えば、月までの距離の3分の1の大きさのアンテナならば、さらに20個の超大質量ブラックホールが撮像範囲に入る。

また、こうした増設によって、EHTは静止画像から「動画」の段階に進めるかもしれない。その動画では、ブラックホールが物質を吸い込むとともに、物質を強力なジェットとしてはき出し、そのジェットが数百万光年の長さで極から宇宙空間へ伸びる様子が見られるだろう。こうしたジェットが生じる仕組みは「天体物理学の大きな謎」だとBlandfordは言う。2019年の成功は「この研究プロジェクトのスタートであって、クライマックスではありません」と彼は付け加えた。

デニソワ人と向き合う Face to face with the Denisovans

Elizabeth Culotta

およそ40年前、チベット高原の端の高地にある白石崖溶洞（Baishiya Karst Cave）でひとりの僧侶が奇妙なヒトの下顎骨を発見した。2本の大きな大臼歯が残っていたこの顎骨は何か特別なもののように思えたので、彼はこれを別の僧侶に託した。そして、託された僧侶はこの骨を研究者に寄贈したが、これがいったい何の骨なのか、誰にもわからなかった。5月になって、研究チームは古代タンパク質を使った新しい分析手法を用い、奇妙な下顎骨がデニソワ人のものであることを突き止めた。デニソワ人は、ネアンデルタール人とほぼ同時期の約5万年前までアジア全域に住んでいた、謎多き人類の祖先だ。デニソワ人の謎を解き明かすこの研究は、タンパク質ベースの革新的手法によって古代の暮らしを解明する先駆け的研究となる可能性がある。

デニソワ人はこの10年間、人類進化の研究者たちを悩ませてきた。2010年、シベリアのデニソワ洞窟で化石化した1本の小指の骨が発見され、この骨から取り出したDNAの配列を調べることにより、研究者たちはデニソワ人を同定した。ひとりの少女から抽出されたそのDNAは、ネアンデルタール人のものとも現生人類のものとも異なっていた。デニソワ人の痕跡は、アジア全域に住む現代人のDNAの中にわずかに残っている。つまり、デニソワ人集団はかつて広域に分布していて、ネアンデルタール人や現生人類とも交配していたことが示唆されたのだ。しかし、2019年までに追加で見つかったデニソワ人の化石は、断片的なものが数個だけで、それらはすべてデニソワ洞窟から出土したものだった。デニソワ人がどんな外見だったのかについて、研究者たちは推測することしかできなかったのだ。

16万年前の白石崖溶洞から出土した下顎骨からはDNAが抽出できなかった。しかし，中国とヨーロッパの共同研究チームは、生体中に豊富にあるコラーゲンというタンパク質を下顎骨から抽出することに成功し、これがデニソワ洞窟の少女のコラーゲンと一致することを突き止めた。このことから、見つかった下顎骨がデニソワ人のものであることが示唆され、さらにこの謎に満ちた人類が頑丈な下顎骨や歯根が3本ある大きな大臼歯を持っていたことがわかったのだ。

9月に別の研究チームがデニソワ洞窟の少女のゲノムに対して、新しい研究手法を適用し、デニソワ人のよりシャープな実体を描き出した。彼らは遺伝子を不活化することができるメチル化と呼ばれるDNAの化学的変異を追跡した。そしてこの情報を、遺伝子が失われたり機能を欠いたりした場合に現代人の解剖学的特徴に及ぶ影響を記述したデータベースと突き合わせた。

その結果、DNAメチル化パターンがこの少女の身体的特徴を決めていた可能性があることがわかった。幅の広い骨盤、傾斜した前頭部、突き出た下顎を持つネアンデルタール人ととてもよく似ていただろうと、研究チームは結論付けた。しかし、彼女は現生人類やネアンデルタール人よりも顔の横幅が広く、顎骨に沿った歯列弓も長かった。研究者たちは、彼らの見解に基づくデニソワ人の微笑を、新たに同定した白石崖溶洞の下顎骨と照らし合わせたところ、両者はほぼ完全に一致した。

達成された量子優位性 Quantum supremacy attained

Adrian Cho

10月に、量子コンピューティングの時代が幕を開けた — かもしれない。Googleの物理学者たちは、量子コンピュータを使用して通常のコンピュータでは不可能なことを計算し、量子優位性として知られるマイルストーンに到達したと主張した。ライバルグループはこの主張に異議を唱えたが、その成果は大きなものとして広く歓迎された。しかし、実用的な問題を解決できる量子コンピュータができるのは、まだ数十年先のことになるだろう。

従来のコンピュータが扱うのは、多数のビットに0か1のいずれかとしてコード（記号）化された情報である。一方、量子コンピュータが使用するのは量子ビット（キュービット）と呼ばれるもので、0、1のほかに0と1の両方を同時に設定した状態をとることができる。そのため、ある問題の解の候補はそれぞれ、水面に起きる波のようにキュービットを伝わっていく量子論的な波として表現することができる。そして、間違った解は干渉しあって互いに打ち消しあい、正しい解のみが現れてくるのだ。このシステムは膨大な数の潜在的解を一度に探索するため、本格的な量子コンピュータが実現されれば、例えば、従来のコンピュータよりもはるかに高速で巨大な数を因数分解できる。そのため、量子コンピュータなら現存のインターネットセキュリティプロトコルを解読できてしまう。

Googleの研究者たちは、抽象的なテスト問題で量子優位性を達成したことで、実用的な量子コンピュータの完成に

向けて重要な一歩を踏み出したと言う。彼らは、超伝導金属の小さな回路で作られた53のキュービットを積載したチップを用いて、相互作用のセットをランダムに選んでこれを実装した。そして、マシンが実質的に正しい量子状態を出力することを示したのだ。数キュービットを必要とする計算については、スーパーコンピュータのシミュレーションで結果を確認した。キュービットの数が多い場合には、結果の確認を補助するために統計学的な方法を使用した。これらの比較からわかったことは、スーパーコンピュータが1万年かかる問題を量子コンピュータは200秒で計算したことだ、と研究チームは述べている。

しかしその後すぐ、IBMの研究者たちは、Googleが本当にその段階に到達したかどうかを疑問視した。適切なアルゴリズムを使用すれば、スーパーコンピュータはわずか2日で同じ問題を解くことができる、と彼らは主張したのである。現実的な問題を解決するためには、量子コンピュータは自らのキュービット内のエラーを修正できなければならないと言う物理学者もおり、これはまだ達成されていない。また、数十個のキュービットを搭載する単一のマシンから、1億個（インターネット暗号を解読するのに必要な個数）のキュービットを搭載する膨大な数のマシン配列へのスケールアップにあたり、研究者たちは実用化への高い壁に直面している。量子コンピューティングの時代は夜明けを迎えたかもしれない。しかし言うなれば、われわれは、夜が明けたとしてもまだしばらくは朝食にもありつけないということなのかもしれない。

微生物は栄養失調と闘う Microbes combat malnourishment

Elizabeth Pennisi

毎年、何百万人もの重度の栄養失調児が、十分な栄養供給をしたとしても、完全な回復に至らず発育不全や病弱な状態から脱することができずにいる。10年間の研究の末、1つの根本的な原因が明らかになった。栄養失調児は、腸内微生物叢が成熟していないのだ。2019年、この研究を基に国際チームが作られ、有用な腸内微生物の成長を特異的に促進する、低コストかつ簡便に使えるサプリメントの生産が進められた。このサプリメントは小規模な試験で良好な成績を収めたため、現在は発育不全の予防に有効であるか、より大規模な臨床試験で検討されている。

先行研究によれば、回復に至らなかった栄養失調児の腸内微生物群（腸内微生物叢）は新生児のものと似ていることに加えて、栄養状態改善の鍵は微生物叢の成熟であるとされている。チームはまず、成熟した腸内微生物叢を特徴付ける15種の細菌に焦点を当てた。また、栄養失調の影響から回復したことを示すタンパク質などの血液マーカーも測定した。その後、発展途上国ですぐに手に入る食べ物をさまざまに組み合わせ、初めはマウス、次いでブタ、最後に栄養失調児の小規模集団で、15種の細菌がどのように応答するか調べた。

食糧援助として送られることの多い粉乳や米といった食品は、カギとなる15種の細菌の増殖を促進させることはほとんどなかったが、ひよこ豆、バナナ、大豆、ピーナツ粉を含むサプリメントは細菌叢の成熟を促した。短期間の臨床試験が終了したとき、サプリメントを投与された子どもたちでは、正常な成長のマーカーである血中タンパク質や代謝物が増えていた。

これらの変化が栄養失調からの回復と言えるのか、そして微生物叢の改善がこの世界規模の課題解決の助けとなり得るのか、といった疑問に最終的な答えを出すため、さらに多くの子どもたちを対象として長期間の追跡調査がなされている。もしこの治療が助けとなり、特に本課題への対処法として最近多くの人が開発を目指している病院外や自宅でも提供可能なものとなれば、「インパクトは絶大なものとなるだろう」と、米国イリノイ州シカゴ大学の研究医Eric Pamerは述べている。

隕石のキラーインパクトとその余波 A killer impact and its aftermath

Elizabeth Pennisi

6,600万年前、巨大な小惑星が地球に衝突し、巨大恐竜を含め地球上の生物の76％が消滅した。しかし、生物がいつ、どのようにして死滅し、生態系がどのぐらいの速さで回復したのかについては明確にわかっていなかった。今回、メキシコのユカタン半島の衝突地点で採取した堆積コアと米国で発見された豊富な化石群から、衝突時の壊滅とその直後の影響の詳細がわかってきた。

2016年、国際深海科学掘削計画（IODP：International Ocean Discovery Program）に携わる研究チームは、直径193キロメートルのチクシュルーブ・クレーターの中心部の周囲にある起伏の激しい丘陵を掘削した。現在、このクレーターの大部分は、ユカタン海岸の水面下にある。この掘削によって、小惑星が衝突した日に堆積した130メートルの堆積物を含む、835メートルのコアが採取された。2019年になってコアの調査結果が発表され、衝突後に起こったことがほぼ分単位で再現された。衝突のくぼみは溶岩で埋め尽くされ、その上を衝突によって生じたデブリの堆積物が覆った。海面は急上昇し、堆積物を巻き上げた。衝突の日が終わる頃には、さらに衝突による火災で生じた炭などの物質が、津波によってくぼみへと流れ込んだ。このとき硫黄を豊富に含有する物質が大量に存在していたはずだが、堆積コアにはほとんどなかったことから、かなりの硫化物が蒸発して太陽光を遮り、地球の急速な寒冷化をもたらしたと推定された。

衝突地点から数千キロメートル離れた米国ノースダコタ州の新しい発掘場所には、衝突が生物に与えた壊滅的な影響が記録されていた。衝突から1時間もたたないうちに、衝突が引き起こした地震活動によって、水波が河川系を呑み込み、生物は崩壊した堆積物の中に押し流された。魚の化石には衝突の生々しい痕跡が刻まれている。衝突によって生じたガラス粒子や大量のイリジウムがエラに残っていたのだ。

一方、米国コロラド州コラールブラフスの別の発掘現場から出土した花粉、植物化石、哺乳類の頭骨や他の骨の分析から、生物は予想以上に速く息を吹き返していたことがわかった。シダ類やラットほどの大きさの哺乳類は衝突を生きのびた。白亜紀は終焉を迎え、K-Pg境界が形成され、古第三紀が始まった。1,000年後にはヤシの木がシダ類に取って代わった。衝突の30万年後にはクルミに似た植物種が繁茂し、70万年後にはマメ科植物が出現した。最初の10万年間で哺乳類の体の大きさと種の数は倍になり、マメ科植物が出現した後には特にこの傾向が加速した。そして、70万年後には50kgを超える哺乳類も登場した。

チクシュルーブの掘削コアの中で見つかった有孔虫と呼ばれる小さな殻を持ったプランクトンの分析も行われ、クレーターの海洋生態系が3万年後には回復し機能していたと、2018年に報告された。これは予想をはるかに上回るスピードだが、他の場所よりも回復は遅かった。2019年は掘削コアや世界各地で採取された有孔虫の分析が進んだため、衝突の後に海洋の酸性化が急速に進んだことがわかってきており、海底に到達する有機物の量も半減したと考えられる。もしこの通りだとすれば、100万年間にわたって海洋生物の回復が抑制されていた可能性がある。

ストックホルムのスウェーデン自然史博物館の古生物学者Vivi Vajdaは、このような成果が挙がった2019年はK-Pg境界大量絶滅研究の「スーパーイヤー」になった、と話している。

はるか遠方にある天体のクローズアップ画像 A close-up of a far-out object

Paul Voosen

2018年までは漆黒の宇宙空間に浮かぶ小さな灰色の点にすぎなかったものが、現在、アロコス（Arrokoth）と呼ばれている。2019年の1月1日、NASAが8億ドルを投じた探査機ニューホライズンズは「2014 MU69」のそばを通過した。2014 MU69は幅36キロメートルの天体で、地球から約66億キロメートル離れており、海王星軌道の外側に広がるカイパーベルトという領域内にある。カイパーベルトではこれまでに何千個もの天体が見つかっており、そうした天体に含まれる物質は太陽系の初期からほとんど変化していないと考えられている。しかし、これらの天体が至近距離から観測されたことはなかった。

ニューホライズンズによって、アロコス（MU69の新たな正式名称。ポウハタン／アルゴンキン族の言葉で「空」を意味する）が、2つの原始的な惑星からなり、でこぼこのパンケーキが細い「首」のような部分で連結した形をしていることが明らかになった。比較的クレーターが少なく氷で覆われているアロコスの二葉部分は、それぞれ太陽系の誕生時に別個に生じたものであり、おそらく同じ塵の雲が凝集してできたものと思われる。その奇妙な形と無傷で均質な表面は、惑星を構成する部品がどのようなものであるかについて、新たな考えを裏付けるものである。つまり、惑星の構成要素は相次ぐ衝突によって成長したのではなく、太陽の誕生直後に静電気によって塵の粒がお互いを引きつけ合い、センチメートル大の小石ほどの塊になった。その後、原始星雲が渦巻くと小石は寄り集まって雲になり、重力によって崩壊してキロメートル大の塊になった。この「ストリーミング不安定性」によって、アロコスが二葉性となった理由が説明できる。崩壊した際に小石でできた雲の回転が速くなり、乱流が生じて雲はバラバラになる。2つの断片が近づいて回転軸がそろうと、相互の引力によって引きつけ合い、やさしくキスをしたのである。

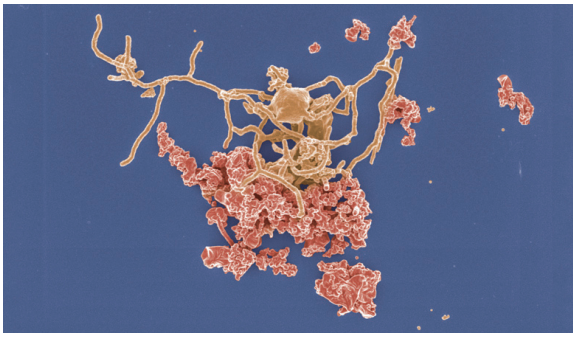
成すべきことはまだたくさん残っている。この探査機がアロコスの観測結果をすべて地球に送信し終えるのは2020年末の予定である。それでも、このミッションはまだ終わりではない。ニューホライズンズのチームは現在、探査機に搭載された望遠鏡を使って、小さすぎて地上の望遠鏡では見えないような、次に目標とすべきカイパーベルト天体を探している。

「ミッシングリンク」を埋める古細菌の発見 A 'missing link' microbe emerges

Elizabeth Pennisi

2019年、微生物学者は、真核生物の起源に関する論争の解決に向けて大きな一歩を踏み出した。真核生物とは、ヒトを含めすべての動植物が属する生物群のことである。12年もの試行錯誤の結果、日本の研究チームは深海の堆積物から謎に満ちた微生物の培養に成功し、その生理学的な特徴とゲノム配列を明らかにした。この成果は、われわれを含む全真核生物の究極の祖先に光を当てるものである。

この生物プロメテオアーカエウム(Prometheoarchaeum syntrophicum)MK-D1株は細菌とは進化的にまったく異なっているアーキア(古細菌)と呼ばれる生物で、近年発見された「アスガルドアーキア」類の一種である。アスガルドアーキアは、深海の堆積物やその他の極限環境から得られたDNA断片によってのみその存在が知られていた。驚くべきことに、これらのDNA断片には、以前は核やミトコンドリアといった細胞内小器官を持つ真核生物にのみ存在すると考えられていた遺伝子が含まれていた。DNA配列比較解析によれば、アスガルドアーキアもしくはその古代の近縁種が真核生物に進化した可能性があるという。この革命的とも言える発想が本当だとすると、生物のドメインは古細菌、真核生物、細菌の3種類から細菌と古細菌の2種類に縮小し、真核生物は古細菌の亜集団に格下げされることになる。しかし証拠が乏しいことから、多くの研究者はこれに懐疑的であった。



この「触手」を持った深海の微生物(明るい色)を培養できるようになるまでに12年間の歳月を要した。

Credit: Hiroyuki Imachi, Masaru K. Nobu and JAMSTEC

真核生物の祖先に近縁なアーキアを培養できるようになったことで、日本の研究チームは全ゲノム配列を解析し、この古細菌が真核生物の遺伝子を持っていることを確認することができた。さらに彼らは、この古細菌がある種の細菌や古細菌と共生し、長い触手のような突起を形成することも発見した。この発見からアーキアがミトコンドリアの祖先となる細菌と共生し、さらに突起を使って取り込んだと仮説を立てた。

(これらの発見の詳細を記載した論文は発表前アーカイブとしてbioRxivに投稿されたが、現在は*Nature*から出版されている。)

2019年に発表された他のグループからの研究では、別のアスガルドアーキア類のDNA断片からさらに多くの真核生物遺伝子が同定されている。また、アスガルドアーキア類の代謝に関するDNA配列情報も、3ドメイン仮説よりも2ドメイン仮説を裏付けるものであった。どちらの仮説の提唱者もこの結果には賛同しているが、この現象がおきたのはおよそ30億年も前のことであり、再現することは困難である。今後アスガルドアーキアについての研究が進み、さらに培養できるようになれば、真核生物細胞の誕生についてのさらなる仮説が生まれる可能性もある。とは言いながらも、今回手にした知見により研究者は遠い過去を見渡す、より明瞭な視界を得たのである。

嚢胞性線維症のほとんどの症例に適用される初の治療薬

In a first, drug treats most cases of cystic fibrosis

Elizabeth Pennisi

10月、ゲノム創薬の分野が到達したマイルストーンに研究者らは沸いた。嚢胞性線維症(CF)の大部分の症例に効果のある治療薬が承認されたのだ。Trikaftaと呼ばれる3剤を組み合せた治療薬は、この肺疾患の背景にある最も頻度の高い遺伝子変異の影響を改善することができる薬だ。全CF患者のおよそ90%がこの変異を持っており、このような患者に対してTrikaftaを使用することで、進行性疾患であるCFを管理可能な慢性疾患に変えることができるのだ。Trikaftaは、CFの原因遺伝子として*CFTR*が同定されてより30年にわたる研究の集大成なのである。

CFを発症するのは、子どもが変異型の対立遺伝子を2コピー受け継いだ場合である。罹患者の出生時平均余命は現代においても40代半ばである。Trikaftaは、Vertex Pharmaceutical社がCFTRタンパクに認められている他の機能欠損を標的として開発した別のCF治療薬を元にして作られている。はじめに作られたKalydecoは、米国でおよそ4%の患者にみられるG551Dと呼ばれる希少変異を標的とした薬だ。この変異を持つ患者では、他のCFTR欠損の場合と同様にCFTRタンパクが自身の「ゲート」を開くことができず、塩化物イオンを通すことができない。その結果、

肺における粘液の増加が生じる。Kalydecoはこの異常を改善する薬剤として2012年に承認された。次にVertex社は、CFTRに異常な折りたたみが起きることで細胞表面へのリクルートが阻害される別の変異F508delの影響を改善する薬をKalydecoと組み合わせた。しかしながら、この2種類の薬剤からなる新薬Symdekoは期待されたほどの効果がなかった。

そしてこの治療戦略の効果を改善するために3番目の薬剤を加えることで開発されたのがTrikaftaである。この3剤の組合せからなる薬は、少なくとも1コピーのF508del変異を持つCF患者のCFTRが細胞膜に到達するのを助け、そのイオンチャネルを開口させる。この薬は臨床試験において肺活量を10～15％増加させ、さらにCFの合併症を軽減させた。

どのくらいの年齢で治療を開始すべきかという問題に対する答えはまだ出ていない。現在この治療法は12歳以上の患者を対象に承認されているが、それより低年齢の子どもについては試験が続いている。さらにTrikaftaの適応とならない残りの10％の患者に対し、どのように新しい治療薬を設計するかが課題として残されている。

興奮のさなかではあるが、年間30万ドル以上というおそらく生涯をかけて捻出しなければならないであろうTrikaftaの薬価が暗い影を投げかけている。

ついに見えたエボラ患者への希望 Hope for Ebola patients, at last

Kai Kupferschmidt

1976年、コンゴ民主共和国（DRC、当時はザイール共和国）の熱帯雨林から新型ウイルスが出現した。ヤンブク村の280人が命を落とした後に、このウイルスは忽然と消え、その後は散発的に出現するのみであったが、その都度壊滅的被害をもたらした。それ以来、このウイルスは近隣の川にちなみ、死をもたらす不治の感染症であるエボラと同じ名で呼ばれている。だが2019年、この感染症は不治の病ではなくなりつつある。

コンゴ民主共和国史上最悪となったもう一つのアウトブレイクのさなか、科学者はついにこの病の死亡率を劇的に抑える2つの薬剤を見出した。いずれも抗体であり、ひとつは1996年発生時の生存者から単離されたもの、もうひとつは免疫系をヒト化したマウスで作製された3種の抗体の混合物である。4種類の薬剤を比較したランダム化比較試験では、ここに挙げた2つの薬剤のうちのどちらかを投与された場合には患者のおよそ70％が生存したが、別の2剤のいずれかを投与された場合の生存率は約50％にとどまった。この結果は非常に説得力のあるものだったため、試験は早期に終了となった。この試験を実施したことは、それ自体が注目に値する功績であった。危険な紛争地帯での壊滅的なアウトブレイクのさなか、急場しのぎの治療施設で行われたものだったからだ。

試験結果をこの疾患の制圧に活かすには、患者の生存可能性を向上させるだけでなく、人々がいち早く受診するよう動機付けすることも必要である。有効な薬が手に入らなかった頃は、症状が現れた人々はしばしば見つかることを避け、祈祷師を探し求めて治療してもらおうとしたが、これがエボラのアウトブレイクにおいて、火に油を注ぐ結果となっていたからである。

エボラ出現の驚異から40年余りが経ち、世界はついにこのウイルスに対して、より良い備えができるようになった。この勝利の立役者は、試験責任者でもあり、ヤンブク村でのエボラウイルス発見でも功績を残したコンゴ人のウイルス研究者Jean-Jacques Muyembe-Tamfumである。

人工知能がマルチプレイヤーポーカーをマスターする
Artificial intelligence masters multiplayer poker

Adrian Cho

2019年、人工知能（AI）プログラムは、最も人気があるポーカーのひとつであるノーリミット・テキサス・ホールデムで、世界最高レベルのプレイヤーを何人も打ち負かした。これは、ゲームの趨勢について各プレイヤーが不完全な情報しか得ることのできないマルチプレイヤー競技でAIが勝った最初の記録であり、画期的な出来事といえる。

AIは、ゲームにおいて人間を驚異的な速度で打ち負かしている。2007年、コンピュータ科学者はチェッカーで負けないことが保証されたプログラムを開発した。2016年には、別のチームが、チェッカーよりもはるかに多くの配置が可能なボードゲームである囲碁において、人間の最高峰を倒すAIプログラムを開発した。

ポーカーでは対戦相手のカードを見ることができず、情報が限られていることから、この課題をクリアするのはそう簡単ではない。2017年、コンピュータ科学者は2人用のホールデムでは無敵のAIプログラムを開発した。このゲームは、テーブルに表向きに置いた5枚のカードと、各プレイヤーの手札2枚を使って役（ハンド）を作るというものである。

8月に米国ペンシルベニア州ピッツバーグにあるカーネギーメロン大学のコンピュータ科学者が発表したように、現在、AIはフルマルチプレイヤーゲームで世界クラスのプレイヤーたちを破るまでになっている。彼らのプログラムPluribusは、自身と1兆回対戦することにより、インサイドストレート等のさまざまな状況でプレイするための基本戦略を生み出した。また、それぞれの特定の手に対して、カードがどのように展開していくかを考えることもできた。6人のプレイヤーと20,000回プレイした際には、ゲームあたりの平均勝率で15人のトップレベルプレイヤーを上回った。

Pluribusは、2人用ゲームのプログラムとはプレイスタイルが異なっていた。2人用ゲームのプログラムは、ナッシュ均衡と呼ばれる負けない戦略を探し出した。ナッシュ均衡は、まったく同じ戦略でプレイしない限り、平均して、対戦相手の分が悪くなることを保証する戦略である。対戦相手が複数いるゲームでは、そのような保証を得られる戦略がないため、Pluribusは与えられた状況において何が最も効果的かを単純に学習したのである。このプログラムは、単一のサーバー上で動かしながらプレイを学習させた際には64個のプロセッサを要したが、囲碁対戦プログラムには1,200以上のプロセッサが必要であった。

AI開発者たちはまだまだゲームを楽しむつもりでいる。ポーカーについてはまだ改善の余地がある。Pluribusはハッタリをかけることはできるのだが、相手の特定の弱点を利用するように戦略を適応させることはできない。コントラクトブリッジのようなもっと複雑なゲームに至っては、未だに勝つことができない。しかし、AI応用の中で最も関心を集めていたゲームは、コンピュータの手に落ちた。人類がチップを換金するときが来たのかもしれない。

アマゾンの災 The Amazon ablaze

Erik Stokstad

2019年、アマゾンの数千平方キロメートルが森林火災で破壊された。多くの市民が、ブラジルの新大統領Jair Bolsonaroの政策が火災を拡大させたと非難している。

ブラジル国立宇宙研究所（INPE）は、アマゾンでの火災数が2018年に比べて44％増加したと推定している。要因のひとつは森林伐採の増加で、その面積は7月までの12ヵ月間で約9,700平方キロメートルに達し、2007年から2008年の期間以来最大であったとINPEは11月に報告した。牧場主と農民は貴重な木を伐採して販売し、その後森林を燃やすことで、農作物や牛を育てるために必要な土地を作り出している。2019年の火災は、作物が栽培されている場所から遠く離れたところで起きている傾向があることがリモートセンシングによってわかり、このことはおそらく牧場主に火災の責任があることを示唆している。

1月に大統領になって以来、Bolsonaroはアマゾンの農業開発を推進し、環境保護のための予算を削減した。火災発生後、Bolsonaroは火災について非政府組織を非難し、森林破壊の数字を「ねつ造」であるとした。

機関の分析結果には問題がないと擁護に回ったINPEの所長は解雇された。大火災とブラジルの対応は、国際的な非難を浴びた。国連は支援を申し出たがBolsonaroはこれを断わり、ドイツとノルウェーは森林保護を支援するアマゾン基金への寄附を停止した。世界的な抗議を受け、Bolsonaroは、10月になって規模が衰えた火災に対処するべく軍隊を派遣している。

麻疹の再興 Measles resurgent

Meredith Wadman

2019年、麻疹は米国で息を吹き返し、世界中で患者が急増している。貧困、避難、紛争、そして特に米国やヨーロッパにおけるワクチンについての誤った情報、これらすべてが2018年に推定142,300人を死に追いやったウイルスの再流行の一翼を担っているが、この流行に対して非常に有効なワクチンが存在している。

米国では、12月5日までに1,276例の麻疹感染が疾病管理予防センター（CDC）に報告され、1992年以来最悪の集計結果となっている。症例の75％以上はニューヨークでの流行に関連しており、中でもユダヤ教正統派コミュニティのワクチン未接種の住民に感染者が多い。

世界保健機関（WHO）ヨーロッパ地域事務局の報告では、感染例数は2019年上半期で92,000例に達し、直近10年間で最悪だった2018年の総計を超えた。

世界規模で事態は悪化している。WHOは11月5日までに440,000例以上の麻疹感染確認の報告を受けた。この数字は、2018年の総感染者数よりも25％多く、2017年と比べると2倍を超えている。実数はさらに大きいと考えられ、WHOは報告されている症例数が10分の1以下に過ぎないと見積もっており、2018年の総感染者数についても980万人と推定している。

多くの国が非常に困難な事態に直面している。ウクライナでは、政治的混乱と誤ったワクチンの情報によって大流行が引き起こされ、9月までの感染者数が56,802例に上ったと報告されている。アフリカでは、全国的な緊急ワクチンキャンペーンが流行を劇的に抑え込むまで、マダガスカルでは1月から4月までの間に126,000例の感染者を出す事態に直面しなければならなかった。コンゴ民主共和国では依然として多くの人が感染しており、報告によると、12月2日までに明らかになった269,079例の感染のうち5,430例が死亡し、そのほとんどは5歳未満の子どもだったという。小国サモアでは、子どものワクチン接種率が約30％に落ち込んでおり、12月2日までに4,898例が感染し、71例が死亡している。

鳥の減少 Bird counts dwindling

Elizabeth Pennisi

1970年以降、スズメやクロウタドリといったよく見られる鳥たちが希少種とともに少なくなり、北米の鳥の数が30％程度減少したという驚くべき研究がある。こうした減少は、かつて非常に栄えたリョコウバトが1900年代初期に絶滅したように、多くの種が同じ道を辿るのではないかという懸念を生んだ。汚染、気候変動、開発によるストレス下に置かれた生態系や生息地の喪失は、その主要な原因のひとつである。

米国とカナダの研究者は、毎春の個体数調査、オーデュボン協会クリスマス・バード・カウント、海岸に生息する鳥類の国際評価、および空中調査のデータを合わせて、529種の個体数の変化を調べた。保全努力の甲斐もあり、水鳥と猛禽類は増加している。しかし、海岸線に沿って生息する鳥はそれほど増えておらず、ミユビシギとチドリは約3分の1減少し、草原に生息する鳥の数は過去50年間で約50％減少している。最も馴染みのある鳥でさえも危うい状況で、1970年以降、一般的に見られる19種がそれぞれ5,000万羽以上減少している。

北米では、現在全体で30億羽が減少しているものの、状況は絶望的ではないと研究者は述べる。喪失した生息地を回復させれば、個体群が安定する可能性があるという。猫を屋内で飼うことや、在来植物を植えるなどの簡単なことであっても、鳥たちのためになると、市民のための行動計画と政策提言を考案した保護団体連合は述べている。

気候変動に備える最後の機会？ An eleventh hour climate awakening?

David Malakoff

2019年、気候変動に対して米国がより積極的な行動をとるべきだと考える人々は、世論が動きつつある兆候を得て活気づいた。多数の世論調査が、気候変動は現実に起きており、人間活動がその一因であるため、政府と産業界はそれに対処するための措置を講じるべきだと信じる米国人の割合が増加していることを示したのだ。しかし、このような世論の変化は、国家レベルでの政治的行動には至っておらず、実際にトランプ政権は2019年、いくつかの重要な気候変動規制を撤回した。そして、オーストラリアと北米における前例のない山火事、太平洋でのサンゴの白化、ヨーロッパで大勢の人の命を奪った熱波といった現象の発生により、温暖化による被害は疑いようのないものとなり、温室効果ガスの排出を抑制する政策の国際的な失敗が世界中の抗議に火をつけた。

ワシントン・ポストとカイザーファミリー財団の調査によると、米国人のほぼ80％が、人間活動が地球温暖化に拍車をかけていることに同意しているという。また、気候変動を「危機」と考える人の割合は40％近くに上り、5年前にこの言葉を進んで使っていた人たちのおよそ2倍となった。

ピュー・リサーチセンターの調査でも同様の傾向が認められている。現在、米国人の57％が気候変動を米国における「重大な脅威」と考えており、2013年の約40％から増加している。しかし、年齢、地理、政治的所属によって、この認識に深い隔たりがあるとする調査結果もある。特に高齢者の場合、中西部およびロッキー山脈地域に住んでいる人や、保守的な政治的態度を自認している人のグループでは、気候変動が行動を必要とする深刻な脅威であると見なす人の割合が低いという。

米国の地方自治体は、社会的関心に応えはじめている。民主党の政治家のほとんどは、気候変動に関する政府の行動を長く支持してきたが、大部分の共和党員は支持してこなかった。しかし、2019年になって多くの共和党員が世論に従って考えを改めた。フロリダの共和党知事は、海面上昇やその他の気候関連の課題に、州としてどのように対処すべきかを導き出せるように、科学顧問制度を創設した。米国議会でも、気候変動について議論するために上院と下院の両方の議員が超党派の集会を設立するという、党を越えた協力の兆しが見えてきた。

しかし、トランプ政権は、依然として気候変動に関するパリ協定からの撤退や、発電所と自動車の排出制限の撤回を含む一連の政策を進めており、専門家によると、その政策が米国や世界における温室効果ガス排出量の抑制を困難にしているという。

米国外では、オーストラリアとブラジルの政府が、歩調を合わせるように気候変動対策から撤退した。
そして2019年12月、マドリードでの第25回気候変動枠組条約締約国会議（COP25）でパリ協定に調印した国々は、比較的控えめな取り決めを達成するための具体策でさえも合意に達することはなく、まして危険な気候変動を阻止するために必要なより厳しい排出量削減に至っては意見がまったく噛み合わなかった。

このような政治情勢は、世界の継続的な化石燃料要求とともに、温暖化を抑制する取組みに暗影を投じている。パリの国際エネルギー機関（IEA）は、先月、風力や太陽光などの再生可能エネルギー源の劇的な伸びにもかかわらず、エネルギー動向が現状のまま推移した場合、温室効果ガスの世界的な排出量は増加し続けるという結論に至った。IEAのFatih Birol事務局長は、真の発展を遂げるためには、「世界的な政治的意志の趨勢を見ていく必要がある」と述べている。

Japanese Scientists in *Science* 2019

サイエンス誌に載った日本人研究者

サイエンス誌に載った日本人研究者2019に寄せて …… 3

2019 Breakthrough of the Year …… 4

1月4日号 Research Article

シナプトタグミン3はAMPA受容体の
エンドサイトーシスとシナプス強度の低下、記憶の忘却を引き起こす …… 22

Synaptotagmin-3 drives AMPA receptor endocytosis, depression of synapse strength, and forgetting

Postdoc, Trans-synaptic Signaling Group, European Neuroscience Institute in Göttingen
（現 東京薬科大学 薬学部 医療衛生薬学科 公衆衛生学教室 准教授） 篠田 陽

1月11日号 Research Article

RNAポリメラーゼIIに結合したメチル化酵素が
mRNAの先頭にm^6A修飾を導入する …… 23

Cap-specific terminal N^6-methylation of RNA by an RNA polymerase II–associated methyltransferase

東京大学大学院 工学系研究科 化学生命工学専攻 教授 鈴木 勉

東京大学大学院 理学系研究科 生物科学専攻 教授 濡木 理

1月11日号 Report

周期的な原子欠陥を持つ有限長フェナインナノチューブ …… 24

Finite phenine nanotubes with periodic vacancy defects

東京大学大学院 理学系研究科 化学専攻 特任助教/JST ERATO 磯部縮退π集積プロジェクト 研究員
（現 天津大学 分子+研究院 教授） 孫 哲

東京大学大学院 理学系研究科 化学専攻 助教（現 講師）/JST ERATO 磯部縮退π集積プロジェクト 研究員 池本 晃喜

東京大学大学院 理学系研究科 化学専攻 教授/JST ERATO 磯部縮退π集積プロジェクト 研究総括 磯部 寛之

東京大学大学院 理学系研究科 化学専攻 福永 隼也

JST ERATO 磯部縮退π集積プロジェクト 研究員/理化学研究所 創発物性科学研究センター 研究員

東北大学大学院 理学研究科 物理学専攻 准教授 是常 隆

JST ERATO 磯部縮退π集積プロジェクト グループリーダー/理化学研究所 創発物性科学研究センター チームリーダー

東京大学大学院 工学系研究科 物理工学専攻 教授 有田 亮太郎

東京大学大学院 理学系研究科 化学専攻 特任准教授/JST ERATO 磯部縮退π集積プロジェクト グループリーダー 佐藤 宗太

1月11日号 Report

超分子重合によって引き起こされる
ネマチック相からカラムナー相への構造相転移 …… 25

Nematic-to-columnar mesophase transition by in situ supramolecular polymerization

東京大学大学院工学系研究科 化学生命工学専攻 准教授 伊藤 喜光

東京大学大学院工学系研究科 化学生命工学専攻 日本学術振興会特別研究員 [PD] 矢野 慧一

東京大学大学院工学系研究科 化学生命工学専攻 教授/理化学研究所 創発物性科学研究センター 副センター長 相田 卓三

1月25日号 Report

ナノポーラスソフトクリスタルにおける
ガス拡散プロセスの設計と制御 …… 26

Design and control of gas diffusion process in a nanoporous soft crystal

京都大学 高等研究院 物質ー細胞統合システム拠点 客員講師（現 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 物質系専攻 講師） 細野 暢彦

京都大学 高等研究院 物質ー細胞統合システム拠点 拠点長・特別教授 北川 進

2月1日号 Research Article

野生マウスの毛色遺伝の突然変異と適者生存の関連を実証 …… 27

Linking a mutation to survival in wild mice

藤田医科大学 医療科学部化学教室 特任教授 若松 一雅

2月1日号 Research Article

筋力トレーニングに着想を得た、
機械的刺激に応答して自己成長するハイドロゲル …… 28

Mechanoresponsive self-growing hydrogels inspired by muscle training

北海道大学大学院 先端生命科学研究院 准教授
北海道大学大学院 世界トップレベル研究拠点プログラム 化学反応創成研究拠点（WPI-ICReDD）研究協力者
国際連携研究教育局（GI-CoRE）ソフトマター グローバルステーション 准教授 **中島 祐**

北海道大学大学院 生命科学院（現 北海道大学大学院 先端生命科学研究院 博士研究員） **松田 昂大**

北海道大学大学院 先端生命科学研究院 教授
北海道大学大学院 世界トップレベル研究拠点プログラム 化学反応創成研究拠点（WPI-ICReDD）主任研究者
国際連携研究教育局（GI-CoRE）ソフトマター グローバルステーション 教授 **龔 剣萍**

2月1日号 Research Article

睡眠と免疫応答を結びつけるショウジョウバエの新規遺伝子：*nemuri* …… 29

A sleep-inducing gene, *nemuri*, links sleep and immune function in *Drosophila*

Research Specialist, Howard Hughes Medical Institute, Chronobiology Program, Perelman School of Medicine, University of Pennsylvania
（現 筑波大学 国際統合睡眠医科学研究機構 助教） **戸田 浩史**

2月15日号 Report

光電流検出法を用いたダイヤモンド単一窒素空孔中心のイメージングと
コヒーレントスピン状態の読み出し …… 30

Photoelectrical imaging and coherent spin-state readout of single nitrogen-vacancy centers in diamond

物質・材料研究機構 機能性材料研究拠点 ワイドギャップ半導体グループ 主席研究員 **寺地 徳之**

筑波大学 知的コミュニティ基盤研究センター 名誉教授（現 筑波大学 名誉教授・筑波大学 数理物質系 研究員） **磯谷 順一**

Postdoctoral Fellow, IMOMEC division, IMEC/Postdoctoral Fellow, Institute for Materials Research（IMO), Hasselt University
（現 Quantum engineer, QuTech, Delft University of Technology） **山本 卓**

2月15日号 Report

転写伸長因子を伴ったRNAポリメラーゼIIによる
ヌクレオソーム転写の構造学的理解 …… 31

Structural insight into nucleosome transcription by RNA polymerase II with elongation factors

理化学研究所 生命機能科学研究センター 転写制御構造生物学研究チーム チームリーダー **関根 俊一**

理化学研究所 生命機能科学研究センター 転写制御構造生物学研究チーム 研究員 **江原 晴彦**

東京大学 定量生命科学研究所 クロマチン構造機能研究分野 / 大学院理学系研究科 生物科学専攻 教授 / 理化学研究所 客員主幹研究員
早稲田大学 理工学術院 客員教授 **胡桃坂 仁志**

東京大学 定量生命科学研究所 クロマチン構造機能研究分野 助教 / 理化学研究所 生命機能科学研究センター 客員研究員 **鯨井 智也**

2月22日号 Research Article

リチウムイオン電池から着想を得た
大規模化可能で安全な有機電解還元 …… 32

Scalable and safe synthetic organic electroreduction inspired by Li-ion battery chemistry

Staff Scientist, Department of Chemistry, Scripps Research **川又 優**

3月1日号 Report

上皮における小胞体ストレスが防護的なIgA応答を制御する …… 33

Epithelial endoplasmic reticulum stress orchestrates a protective IgA response

Research fellow, Division of Gastroenterology, Department of Medicine, Brigham and Women's Hospital, Harvard Medical School
大阪市立大学大学院 医学研究科 消化器内科学 講師 **細見 周平**

4月12日号 Report

内温性獲得に伴って生じるホルモンによる心臓再生能力の制御 …… 34

Evidence for hormonal control of heart regenerative capacity during endothermy acquisition

Postdoctoral fellow, Cardiovascular Research Institute and Department of Physiology, University of California, San Francisco
Eli and Edythe Broad Center for Regeneration Medicine and Stem Cell Research, University of California, San Francisco
（現 GeneTech株式会社） **廣瀬 健太朗**

4月12日号 Report

脱ユビキチン化酵素USP10は
血管内皮のNotchシグナルを制御する …… 35

Deubiquitinase USP10 regulates Notch signaling in the endothelium

Postdoctral fellow, Angiogenesis and Metabolism Laboratory, Max Planck Institute for Heart and Lung Research **杉野 寿哉**

4月19日号 Research Article

小惑星リュウグウの地形、色および熱に関する特性：母天体のプロセスに関する考察 …… 36

The geomorphology, color, and thermal properties of Ryugu: Implications for parent-body processes

東京大学大学院 理学系研究科 地球惑星科学専攻 教授／千葉工業大学 惑星探査研究センター 杉田 精司

4月19日号 Report

はやぶさ2、コマ形状で瓦礫が集まってできた炭素質小惑星リュウグウ（確定番号162173）に到着 …… 37

Hayabusa2 arrives at the carbonaceous asteroid 162173 Ryugu–A spinning top-shaped rubble pile

名古屋大学大学院 環境学研究科 地球環境科学専攻 教授／宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 客員教授 渡邊 誠一郎

4月19日号 Report

はやぶさ2探査機の近赤外分光観測から示唆される小惑星リュウグウの表面組成 …… 38

The surface composition of asteroid 162173 Ryugu from Hayabusa2 near-infrared spectroscopy

会津大学 コンピュータ理工学部 准教授／会津大学 宇宙情報科学研究センター（ARC-Space）准教授 北里 宏平

4月19日号 Report

金ナノクラスターの結晶相とともに三桁の幅で変化するキャリア寿命 …… 39

Three-orders-of-magnitude variation of carrier lifetimes with crystal phase of gold nanoclusters

Department of Chemistry, Carnegie Mellon University 檜垣 達也

5月3日号 Report

統合的ストレス反応におけるeIF2B抑制の構造基盤 …… 40

Structural basis for eIF2B inhibition in integrated stress response

理化学研究所 生命機能科学研究センター 翻訳構造解析研究チーム チームリーダー 伊藤 拓宏

理化学研究所 生命機能科学研究センター 翻訳構造解析研究チーム 研究員 柏木 一宏

5月10日号 Research Article

M1およびM2ムスカリン性アセチルコリン受容体／Gタンパク質複合体の構造 …… 41

Structures of the M1 and M2 muscarinic acetylcholine receptor/G-protein complexes

Basic Life Science Research Scientist, Kobilka lab, Department of Molecular and Cellular Physiology, Stanford University School of Medicine 前田 将司

Professor, Department of Molecular and Cellular Physiology, Stanford University School of Medicine Brian K. Kobilka

5月10日号 Research Article

PD-L1とCD80のシス結合によるPD-1の機能制限が至適なT細胞応答を可能にする …… 42

Restriction of PD-1 function by *cis*-PD-L1/CD80 interactions is required for optimal T cell responses

徳島大学 先端酵素学研究所 免疫制御学分野 教授（現 東京大学 定量生命科学研究所 分子免疫学研究分野 教授） 岡崎 拓

徳島大学 先端酵素学研究所 免疫制御学分野 特任助教（現 東京大学 定量生命科学研究所 分子免疫学研究分野 助教） 杉浦 大祐

徳島大学 先端酵素学研究所 免疫制御学分野 特任助教（現 東京大学 定量生命科学研究所 分子免疫学研究分野 助教） 丸橋 拓海

徳島大学 先端酵素学研究所 免疫制御学分野 准教授（現 東京大学 定量生命科学研究所 分子免疫学研究分野 准教授） 岡崎 一美

徳島大学 先端酵素学研究所 免疫制御学分野 特任研究員（現 東京大学 定量生命科学研究所 分子免疫学研究分野 特任助教） 清水 謙次

徳島大学 先端酵素学研究所 免疫制御学分野 特任研究員 前田 武雄

徳島大学 先端酵素学研究所 発生生物学分野 教授 竹本 龍也

5月17日号 Report

立体配座が柔軟なグルコースモノマーが最小のシクロデキストリンの合成を可能にする …… 43

Conformationally supple glucose monomers enable synthesis of the smallest cyclodextrins

関西学院大学 理工学部化学科 助教 若森 晋之介

関西学院大学 理工学部化学科 博士研究員（現 東海大学 工学部応用化学科 助教） 苫米地 祐輔

関西学院大学 理工学部化学科 助教（現 北海道大学 大学院理学研究院 化学部門 助教） 池内 和忠

関西学院大学 理工学部化学科 教授 山田 英俊

5月17日号 Report
構造を縛ったシアル酸供与体がα-グリコシドの選択的合成を可能にする …… 44
Constrained sialic acid donors enable selective synthesis of α-glycosides
岐阜大学 研究推進・社会連携機構 生命の鎖統合研究センター(G-CHAIN)特任助教 河村 奈緒子
岐阜大学 研究推進・社会連携機構 生命の鎖統合研究センター(G-CHAIN)教授/岐阜大学大学院 連合農学研究科 教授
京都大学高等研究院物質ー細胞統合システム拠点(iCeMS)客員教授 安藤 弘宗

5月31日号 Report
くり返し生じた魚類の淡水進出と放散の鍵を担う代謝遺伝子 …… 45
A key metabolic gene for recurrent freshwater colonization and radiation in fishes
国立遺伝学研究所 生態遺伝学研究室 助教/総合研究大学院大学 生命科学研究科 遺伝学専攻 助教 石川 麻乃
国立遺伝学研究所 生態遺伝学研究室 教授/総合研究大学院大学 生命科学研究科 遺伝学専攻 教授 北野 潤

6月7日号 Review
オルガノイドのデザイン体系 …… 46
Organoids by design
Director of Commercial Innovation, Center for Stem Cell and Organoid Medicine(CuSTOM), Cincinnati Children's Hospital Medical Center
Assistant Professor, Division of Gastroenterology, Hepatology and Nutrition, Cincinnati Children's Hospital Medical Center
Assistant Professor, Division of Developmental Biology, Cincinnati Children's Hospital Medical Center
東京医科歯科大学 統合研究機構 先端医歯工学創成研究部門 創生医学コンソーシアム 教授/横浜市立大学 特別教授 武部 貴則
Chief Scientific Officer, Center for Stem Cell and Organoid Medicine(CuSTOM), Cincinnati Children's Hospital Medical Center
Professor, UC Department of Pediatrics, Cincinnati Children's Hospital Medical Center
Professor, Division of Developmental Biology, Cincinnati Children's Hospital Medical Center
Director for Research, Division of Endocrinology, Cincinnati Children's Hospital Medical Center James M. Wells

COLUMN
「セレンディピティ」と「ぶれ」と「ずれ」 …… 47
Director of Commercial Innovation, Center for Stem Cell and Organoid Medicine(CuSTOM), Cincinnati Children's Hospital Medical Center
Assistant Professor, Division of Gastroenterology, Hepatology and Nutrition, Cincinnati Children's Hospital Medical Center
Assistant Professor, Division of Developmental Biology, Cincinnati Children's Hospital Medical Center
東京医科歯科大学 統合研究機構 先端医歯工学創成研究部門 創生医学コンソーシアム 教授/横浜市立大学 特別教授 武部 貴則

6月7日号 Report
銅酸化物における
渦糸の周囲での磁場誘起超伝導対密度波状態 …… 48
Magnetic field-induced pair density wave state in the cuprate vortex halo
Staff Scientist, Condensed Matter Physics and Materials Science Department, Brookhaven National Laboratory
Visiting Scientist, Laboratory of Atomic and Solid State Physics, Department of Physics, Cornell University 藤田 和博
産業技術総合研究所 電子光技術研究部門 超伝導エレクトロニクスグループ 首席研究員 永崎 洋
東京大学大学院 理学系研究科 名誉教授 内田 慎一

7月5日号 Research Article
嗅覚神経回路の形成に必要な遺伝子発現パターンは
ニューロンのスパイク発火列によって規定される …… 49
Structured spike series specify gene expression patterns for olfactory circuit formation
東京大学大学院 薬学系研究科 薬品作用学教室 特任准教授
東京大学大学院 薬学系研究科 化学物質安全性評価システム構築社会連携講座 特任准教授 竹内 春樹
東京大学大学院 薬学系研究科 薬品作用学教室 特任助教 中嶋 藍
東京大学大学院 薬学系研究科 薬品作用学教室 日本学術振興会特別研究員(DC1) 伊原 尚樹
東京大学大学院 薬学系研究科 薬品作用学教室 教授 池谷 裕二

7月5日号 Report
アト秒過渡吸収分光法による
IBr擬交差ダイナミクスの直接マッピング …… 50
Direct mapping of curve-crossing dynamics in IBr by attosecond transient absorption spectroscopy
Department of Chemistry, University of California, Berkeley 小林 雄貴
Professor, Department of Chemistry, University of California, Berkeley
Division Investigator, Chemical Sciences Division, Lawrence Berkeley National Laboratory Daniel M. Neumark
Professor, Department of Chemistry, University of California, Berkeley
Division Investigator, Chemical Sciences Division, Lawrence Berkeley National Laboratory
Professor, Department of Physics, University of California, Berkeley Stephen R. Leone

7月19日号 Report

トポロジカル分子ナノカーボン：
オールベンゼンカテナンおよびトレフォイルノット …… 51

Topological molecular nanocarbons: All-benzene catenane and trefoil knot

名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所 拠点長・教授／名古屋大学大学院 理学研究科 物質理学専攻化学系 教授
JST ERATO 伊丹分子ナノカーボンプロジェクト 研究総括 伊丹 健一郎

JST ERATO 伊丹分子ナノカーボンプロジェクト グループリーダー／名古屋大学大学院 理学研究科 特任准教授 瀬川 泰知

JST ERATO 伊丹分子ナノカーボンプロジェクト 技術員／名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所 技術員 桑山 元伸

7月26日号 Report

磁気ノーダル半金属の特異角度依存磁気抵抗 …… 52

Singular angular magnetoresistance in a magnetic nodal semimetal

Research Scientist, Department of Physics, Massachusetts Institute of Technology 鈴木 健士

Associate professor, Department of Physics, Massachusetts Institute of Technology Joseph G. Checkelsky

7月26日号 Report

β-トリケトン系除草剤に対して
広範囲の耐性を与えるイネの遺伝子 …… 53

A rice gene that confers broad-spectrum resistance to β-triketone herbicides

埼玉大学大学院 理工学研究科 戦略的研究部門 グリーン・環境領域 教授 戸澤 譲

農業・食品産業技術総合研究機構 次世代作物開発研究センター 稲育種ユニット長 前田 英郎

富山県農林水産総合技術センター 副主幹研究員 村田 和優

8月9日号 Research Article

知覚認知を惹起する大脳皮質の層特異的な神経ダイナミクス …… 54

Cortical layer–specific critical dynamics triggering perception

Postdoctoral fellow, Department of Molecular and Cellular Physiology, Stanford University
（現 東京大学大学院 総合文化研究科 先進科学研究機構 准教授） 加藤 英明

Postdoctoral research fellow, Department of Bioengineering, Stanford University 井上 昌俊

東京大学大学院 新領域創成科学研究科 自然環境学専攻 准教授 吉澤 晋

8月16日号 Report

天の川銀河の中心にある超大質量ブラックホールを周回する
恒星S0-2の相対論的赤方偏移 …… 55

Relativistic redshift of the star S0-2 orbiting the Galactic Center supermassive black hole

Assistant Research Astronomer, Department of Physics and Astronomy, University of California, Los Angeles 酒井 彰子

8月23日号 Report

S-net海底観測網が明らかにした日本海溝のスロー地震分布 …… 56

The slow earthquake spectrum in the Japan Trench illuminated by the S-net seafloor observatories

京都大学防災研究所附属地震予知研究センター 学振特別研究員 西川 友章

防災科学技術研究所 地震津波火山ネットワークセンター 主任研究員 松澤 孝紀

京都大学防災研究所附属地震予知研究センター 特任助教（現 防災科学技術研究所 地震津波火山ネットワークセンター 特別研究員） 太田 和晃

東北大学大学院 理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター 准教授／東北大学 災害科学国際研究所 准教授 内田 直希

京都大学防災研究所附属地震予知研究センター 准教授 西村 卓也

東京大学大学院 理学系研究科 地球惑星科学専攻 教授 井出 哲

COLUMN

スロー地震ってなんだ？ …… 57

京都大学防災研究所附属地震予知研究センター 学振特別研究員 西川 友章

8月30日号 Report

フラストレートした三角格子磁性体における
巨大なトポロジカルホール効果を示すスキルミオン格子 …… 58

Skyrmion lattice with a giant topological Hall effect in a frustrated triangular-lattice magnet

理化学研究所 創発物性科学研究センター 強相関物性研究グループ 客員研究員
（現 Postdoctoral Fellow, Department of Physics, Massachusetts Institute of Technology） 車地 崇

理化学研究所 創発物性科学研究センター センター長／強相関物性研究グループ グループディレクター
東京大学大学院 工学系研究科 物理工学専攻 先端物質創成 卓越教授 十倉 好紀

9月13日号 Research Article

クライオEM構造によってとらえられたP4-ATPaseフリッパーゼの輸送サイクル 59

Cryo-EM structures capture the transport cycle of the P4-ATPase flippase

東京大学大学院 理学系研究科 生物科学専攻 生物化学講座 構造生命科学研究室 教授 濡木 理

東京大学大学院 理学系研究科 生物科学専攻 生物化学講座 構造生命科学研究室

田辺三菱製薬 創薬本部 創薬基盤研究所 研究員 平泉 将浩

東京大学大学院 理学系研究科 生物科学専攻 生物化学講座 構造生命科学研究室 助教 西澤 知宏

東京大学大学院 理学系研究科 生物科学専攻 生物化学講座 構造生命科学研究室 助教

理化学研究所 放射光科学研究センター 客員研究員 山下 恵太郎

9月20日号 Report

REM睡眠で活性化する視床下部のメラニン凝集ホルモン含有ニューロンは海馬を抑制して積極的に記憶を忘却させる 60

REM sleep-active MCH neurons are involved in forgetting hippocampus-dependent memories

名古屋大学 環境医学研究所 神経系分野2 教授 / 名古屋大学大学院 医学系研究科 器官系機能調節学（協力） 神経性調節学 教授

科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業（CREST）研究代表者 山中 章弘

名古屋大学 環境医学研究所 神経系分野2 / 名古屋大学大学院 医学系研究科 器官系機能調節学（協力） 神経性調節学

科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業（CREST）/ 日本学術振興会 特別研究員 伊澤 俊太郎

10月4日号 Report

原始銀河団中の活動銀河をとりまく宇宙網のガスフィラメント 61

Gas filaments of the cosmic web located around active galaxies in a protocluster

理化学研究所 開拓研究本部 坂井星・惑星形成研究室 基礎科学特別研究員

東京大学大学院 理学系研究科附属天文学教育研究センター 客員共同研究員 梅畑 豪紀

国立天文台 アルマプロジェクト 助教 / 総合研究大学院大学 天文科学専攻 助教 松田 有一

名古屋大学大学院 理学研究科 素粒子宇宙物理学専攻 天体物理学研究室 准教授 田村 陽一

10月4日号 Report

二量体型B-Raf:14-3-3複合体のクライオ電子顕微鏡構造解析によりB-Rafキナーゼの活性部位における非対称性が明らかとなった 62

Cryo-EM structure of a dimeric B-Raf:14-3-3 complex reveals asymmetry in the active sites of B-Raf kinases

Assistant Project Scientist, California Institute for Quantitative Biosciences, University of California, Berkeley

Department of Molecular and Cell Biology, University of California, Berkeley 近藤 泰史

10月18日号 Research Article

X線自由電子レーザーによって明らかになった光化学系IIにおける酸素-酸素結合形成のためのオキシル / オキソ機構 63

An oxyl/oxo mechanism for oxygen-oxygen coupling in PSII revealed by an x-ray free-electron laser

岡山大学 異分野基礎科学研究所 准教授 / 科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 さきがけ研究者 菅 倫寛

岡山大学 異分野基礎科学研究所 准教授 / 科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 さきがけ研究者 秋田 総理

理化学研究所 放射光科学研究センター 生命系放射光利用システム開発チーム 専任研究員 吾郷 日出夫

岡山大学 異分野基礎科学研究所 教授 沈 建仁

10月18日号 Report

時間領域多重2次元クラスター状態の生成 64

Generation of time-domain-multiplexed two-dimensional cluster state

東京大学大学院 工学系研究科 物理工学専攻 教授 古澤 明

東京大学大学院 工学系研究科 物理工学専攻 Warit Asavanant

10月18日号 Report

乱流量子気体における人工的散逸とカスケードフラックス 65

Synthetic dissipation and cascade fluxes in a turbulent quantum gas

大阪市立大学大学院 理学研究科 数物系専攻 教授 坪田 誠

東京大学 大学院理学系研究科 物理学専攻 日本学術振興会特別研究員

（現 名古屋大学 大学院工学研究科 応用物理学専攻 特任助教） 藤本 和也

11月1日号 Report

ネオニコチノイド系殺虫剤による食物連鎖の撹乱がもたらした漁獲量の減少 66

Neonicotinoids disrupt aquatic food webs and decrease fishery yields

産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 特定フェロー

東京大学大学院 新領域創成科学研究科 自然環境学専攻 教授 山室 真澄

11月15日号 Report
土壌機能と微生物多様性に対する複数の地球規模の変化要因の役割 …… 67
The role of multiple global change factors in driving soil functions and microbial biodiversity
Postdoctoral researcher, Institute of Biology, Freie Universität Berlin
Berlin-Brandenburg Institute of Advanced Biodiversity Research（BBIB） 梁 政寛

11月22日号 Report
共通の遺伝子がミヤコグサにおける側根発達と根粒共生との双方の経路を駆動する …… 68
A shared gene drives lateral root development and root nodule symbiosis pathways in *Lotus*
自然科学研究機構 基礎生物学研究所 共生システム研究部門 准教授／総合研究大学院大学 生命科学研究科 基礎生物学専攻 准教授
理化学研究所 環境資源科学研究センター 研究員 征矢野 敬
農業・食品産業技術総合研究機構 生物機能利用研究部門 植物・微生物機能利用研究領域 植物機能開発ユニット 主任研究員 下田 宜司
自然科学研究機構 基礎生物学研究所 共生システム研究部門 教授
総合研究大学院大学 生命科学研究科 基礎生物学専攻 教授 川口 正代司
理化学研究所 環境資源科学研究センター 植物共生研究チーム チームリーダー
農業・食品産業技術総合研究機構 農業生物資源研究所 植物共生機構研究ユニット ユニット長 林 誠

11月29日号 Report
Bi2212の臨界ドーピングを鋭い境界とするインコヒーレントなストレンジメタル …… 69
Incoherent strange metal sharply bounded by a critical doping in Bi2212
Staff Scientist, Stanford Synchrotron Radiation Lightsource, SLAC National Accelerator Laboratory 橋本 信

11月29日号 Report
積層造形によって作製された耐疲労高性能熱弾性物質 …… 70
Fatigue-resistant high-performance elastocaloric materials made by additive manufacturing
Professor, Department of Materials Science and Engineering, University of Maryland
Professor, Maryland Quantum Materials Center, University of Maryland 竹内 一郎

12月6日号 Report
AMPA受容体とcornichon補助サブユニットによる複合体の構造 …… 71
Structures of the AMPA receptor in complex with its auxiliary subunit cornichon
Associate Professor, Department of Molecular Physiology and Biophysics, Center for Structural Biology, and Vanderbilt Brain Institute, Vanderbilt University School of Medicine 中川 輝良

12月20日号 Report
塑性変形する多結晶材料における結晶粒内3次元応力テンソル場 …… 72
Intragranular three-dimensional stress tensor fields in plastically deformed polycrystals
株式会社 豊田中央研究所 分析部 研究員 林 雄二郎

12月20日号 Report
ボールミルと圧電材料を用いた有機小分子の酸化還元反応 …… 73
Redox reactions of small organic molecules using ball milling and piezoelectric materials
北海道大学 化学反応創成研究拠点（WPI-ICReDD）特任助教 久保田 浩司
北海道大学 大学院工学研究院 教授／北海道大学 化学反応創成研究拠点（WPI-ICReDD）副拠点長 伊藤 肇

Science 投稿について …… 74

SOMETIMES THE GRASS REALLY IS GREENER SOMEPLACE NEW.

Find your next job at ScienceCareers.org

There's scientific proof that when you're happy with what you do, you're better at what you do. Access career opportunities, see who's hiring and take advantage of our proprietary career-search tools. Get tailored job alerts, post your resume and manage your applications all in one place. Start here: sciencecareers.org

ScienceCareers

FROM THE JOURNAL SCIENCE AAAS

Science 1月4日号 Research Article
Science 4 Jan 2019: Vol. 363, Issue 6422, eaav1483
DOI: 10.1126/science.aav1483

シナプトタグミン3はAMPA受容体のエンドサイトーシスとシナプス強度の低下、記憶の忘却を引き起こす

Synaptotagmin-3 drives AMPA receptor endocytosis, depression of synapse strength, and forgetting

篠田 陽 *Yo Shinoda*
Postdoc, Trans-synaptic Signaling Group, European Neuroscience Institute in Göttingen
（現 東京薬科大学 薬学部 医療衛生薬学科 公衆衛生学教室 准教授）

Ankit Awasthi[1] Binu Ramachandran[1] Saheeb Ahmed[1,†] Eva Benito[2,3] Noam Nitzan[1] Alina Heukamp[1,‡] Sabine Rannio[1] Henrik Martens[4] Jonas Barth[2,3] Katja Burk[1] Yu Tian Wang[5] Andre Fischer[2,3] Camin Dean[1]

[1] Trans-synaptic Signaling Group, European Neuroscience Institute in Göttingen
[2] German Center for Neurodegenerative Disease
[3] Department of Psychiatry and Psychotherapy, University Medical Center Göttingen
[4] Synaptic Systems GmbH
[5] Brain Research Center and Department of Medicine, University of British Columbia
[†] 現 Department of Diagnostic and Interventional Radiology, University Medical Center Göttingen
[‡] 現 Department of Neurobiology, Weizmann Institute of Science

Contact

E-mail：shinoda@toyaku.ac.jp
所在地：192-0392 東京都八王子市堀之内1432-1
U R L：https://researchmap.jp/yoshinoda/

忘れるメカニズムに関与する分子シナプトタグミン3

適切な学びには、必要な事象を「覚える」ことと同様に、不要な事象を「忘れる」ことも重要である。しかしこれまでの記憶研究では、「覚える」メカニズムに重点が置かれており、「忘れる」メカニズムについての研究は多くない。われわれは本報告において、「忘れる」メカニズムに関与する分子としてシナプトタグミン3（Syt3）を同定した。

脳の主要なシナプス伝達物質はグルタミン酸であり、その受容体のひとつとしてAMPA型グルタミン酸受容体（AMPAR）がある。AMPARがシナプス活動量に応じてシナプス膜表面へ輸送、または細胞内取り込み（エンドサイトーシス）により除去されることでシナプス伝達強度が調節されるが、これが記憶の素過程であるシナプス可塑性のメカニズムであると考えられている。Syt3はシナプス活動依存的なAMPARの膜表面からの除去に関与し、Syt3欠損マウスの海馬においてAMPAR除去能の低下、長期抑圧（LTD）の鈍化が観察された。さらにSyt3欠損マウスは「覚える」ことは正常だが、一度覚えたものを「忘れる」ことが困難になっていた。今回の知見により、今後の記憶のメカニズム研究にさらなる広がりを与えるものと期待される。

Figure and Note

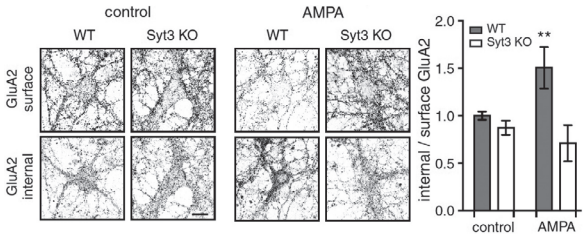


図1：活動依存的AMPARのエンドサイトーシスはSyt3欠損により抑制される
AMPAで海馬ニューロンを刺激するとAMPARのエンドサイトーシスが引き起こされるが、Syt3欠損ニューロンではAMPARのエンドサイトーシスが抑制される。

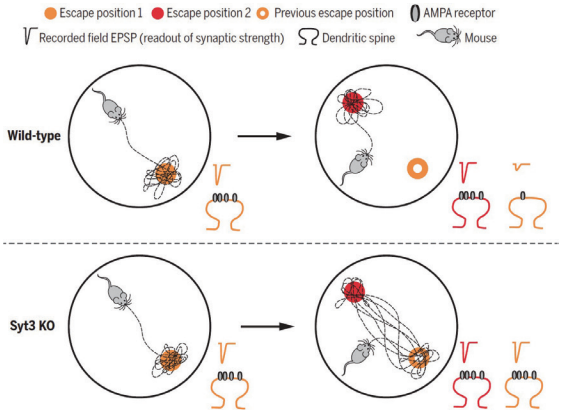
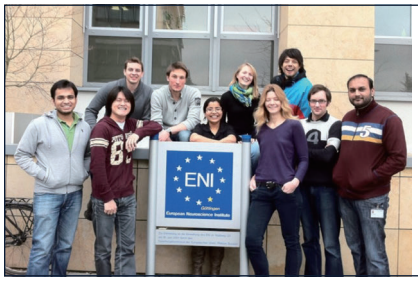


図2：モリス水迷路実験・Syt3欠損マウスは忘れることができない
野生型およびSyt3 KOマウスは同様に足場の位置を覚えることができる（矢印左側）が、別の位置に足場を移すと、野生型マウスは元の位置を忘れるのに対し、Syt3 KOマウスは忘れることができない（矢印右側）。



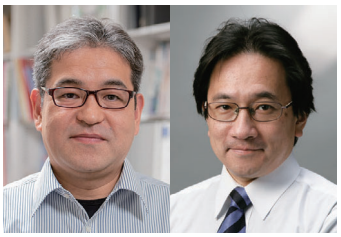
人との繋がりの大切さ

この研究は私がドイツ連邦共和国のEuropean Neuroscience Institute in Göttingenに留学していた時に最初に取り組んだ研究です。責任著者のCamin Dean博士とはお互いポスドク時代にゴードン会議で知り合い、ポスター前でSamuel Adamsを飲みながら長時間議論をした仲でした。博士がドイツでPIとなる際、ポスドクを一人雇いたいということで直接メールをもらい、ドイツで研究することも楽しそうだと二つ返事で渡独を決めました。その後もこういった感じで職場や共同研究が決まっていくことが多く、人の繋がりがとても貴重だと感じるエピソードのひとつです。

Science 1月11日号 Research Article
Science 11 Jan 2019: Vol. 363, Issue 6423, eaav0080
DOI: 10.1126/science.aav0080

RNAポリメラーゼIIに結合したメチル化酵素がmRNAの先頭にm^{6}A修飾を導入する

Cap-specific terminal N^6-methylation of RNA by an RNA polymerase II–associated methyltransferase



左から鈴木 勉、濡木 理

鈴木 勉 *Tsutomu Suzuki*
東京大学大学院 工学系研究科 化学生命工学専攻 教授

濡木 理 *Osamu Nureki*
東京大学大学院 理学系研究科 生物科学専攻 教授

穐近 慎一郎[1]　平野 清一[2]　七野 悠一[3]　鈴木 健夫[1]　西増 弘志[2]　石谷 隆一郎[2]
杉田 愛[4]　廣瀬 豊[4]　岩崎 信太郎[3]

[1] 東京大学大学院 工学系研究科 化学生命工学専攻
[2] 東京大学大学院 理学系研究科 生物科学専攻
[3] 理化学研究所 開拓研究本部 岩崎RNAシステム生化学研究室
[4] 富山大学大学院 医学薬学研究部（薬学） 遺伝情報制御学研究室

Contact

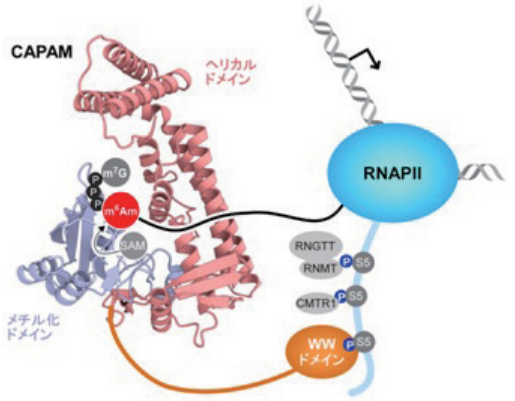
鈴木 勉　**E-mail**：ts@chembio.t.u-tokyo.ac.jp
所在地：113-8656 東京都文京区本郷7-3-1
U R L：http://rna.chem.t.u-tokyo.ac.jp/

濡木 理　**E-mail**：nureki@biochem.s.u-tokyo.ac.jp
所在地：113-0033 東京都文京区本郷7-3-1
U R L：http://www.nurekilab.net/

真核生物mRNAのキャップ構造におけるm^{6}A修飾酵素の同定

RNA修飾の研究は、最近はエピトランスクリプトームと呼ばれ、転写後段階における新しい遺伝子発現制御機構として、生命科学全体に大きな潮流を生み出している。脊椎動物では、mRNAの5'末端構造である7-メチルグアノシン（m^{7}G）キャップ構造に続く1塩基目にN^6, 2'-*O*-ジメチルアデノシン（m^{6}Am）が存在する。この修飾の生合成や機能はほとんどわかっていなかった。本研究では、このm^{6}Am修飾のN^6-メチル基を導入する酵素を同定し、Cap-specific adenosine methyltransferase（CAPAM）と命名した。CAPAMはm^{7}Gキャップ構造を特異的に認識してm^{6}Am修飾を形成することが明らかとなった。CAPAMを欠損した細胞は酸化ストレスに対する感受性が向上しており、この修飾の生理学的な重要性が示された。また、CAPAMは、セリン5番がリン酸化されたRNAポリメラーゼII（RNAPII）のC末端ドメインに特異的に結合し、転写と共役しながらm^{6}Am修飾を導入することが示唆された。また、X線結晶構造解析からCAPAMがm^{7}Gキャップ構造を認識し、m^{6}Am修飾を形成する分子基盤が明らかになった。またm^{6}Am修飾の担う機能としてmRNAの翻訳を促進していることを見出した。本研究は東大の鈴木研と濡木研が中心となり、理研の岩崎研と富山大の廣瀬研との共同研究でなされたオールジャパンの成果である。

Figure and Note



図：mRNAの転写と共役したCAPAMによるm^{7}Gキャップ依存的なm^{6}Am修飾形成

キャップ特異的なメチル化酵素CAPAMはWWドメインを持ち、これがSer5がリン酸化されたRNAポリメラーゼIIのCTDを認識することで、転写伸長初期段階にリクルートされ、m^{6}Am修飾のN^6メチル化反応を行う。同様に、CTDにはキャッピング酵素（RNGTT）、m^{7}Gメチル化酵素（RNMT）、2'*O*メチル化酵素（CMTR1）などもリクルートされており、これらが協調して、新生RNA鎖の5'末端にキャップ形成と、メチル化修飾を階層的に行う。

RNAの持つ化学的な性質をあぶりだす

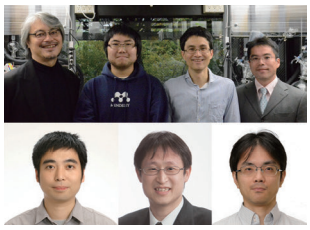
RNAには配列と発現量の情報以外に、転写後に付与される修飾や末端構造など質的な情報が含まれています。鈴木研究室は細胞内に存在する微量なRNAを単離し直接解析するための、革新的なRNAの解析技術を確立しており、この手法を駆使することで新しいRNA修飾の発見やその機能解析を通じ、RNA修飾が関与する生命現象を探求しています。濡木研究室では、生命現象を原子分解能レベルで理解することを目的として研究をすすめています。具体的には、非翻訳RNAによる遺伝子発現制御やゲノム編集に働くタンパク質・核酸、膜輸送体やGタンパク質共役受容体の立体構造をX線結晶構造解析やクライオ電子顕微鏡により決定します。さらに、そこから得られる情報にもとづき、機能発現のメカニズムについての仮説を立てます。そして、その仮説の検証を行うために、in vitroおよびin vivoでの変異体解析等を行います。

写真左：鈴木研究室、右：濡木研究室。

Science 1月11日号 Report
Science 11 Jan 2019: Vol. 363, Issue 6423, pp. 151-155
DOI: 10.1126/science.aau5441

周期的な原子欠陥を持つ有限長フェナインナノチューブ

Finite phenine nanotubes with periodic vacancy defects



上左から磯部 寛之、福永 隼也、
池本 晃喜、佐藤 宗太
下左から孫 哲、有田 亮太郎、是常 隆

孫 哲 *Zhe Sun*
東京大学大学院 理学系研究科 化学専攻 特任助教
JST ERATO 磯部縮退π集積プロジェクト 研究員(現 天津大学 分子+研究院 教授)

池本 晃喜 *Koki Ikemoto*
東京大学大学院 理学系研究科 化学専攻 助教(現 講師)/JST ERATO 磯部縮退π集積プロジェクト 研究員

磯部 寛之 *Hiroyuki Isobe*
東京大学大学院 理学系研究科 化学専攻 教授/JST ERATO 磯部縮退π集積プロジェクト 研究総括

福永 隼也 *Toshiya M. Fukunaga*
東京大学大学院 理学系研究科 化学専攻

是常 隆 *Takashi Koretsune*
JST ERATO 磯部縮退π集積プロジェクト 研究員/理化学研究所 創発物性科学研究センター 研究員
東北大学大学院 理学研究科 物理学専攻 准教授

有田 亮太郎 *Ryotaro Arita*
JST ERATO 磯部縮退π集積プロジェクト グループリーダー/理化学研究所 創発物性科学研究センター チームリーダー
東京大学大学院 工学系研究科 物理工学専攻 教授

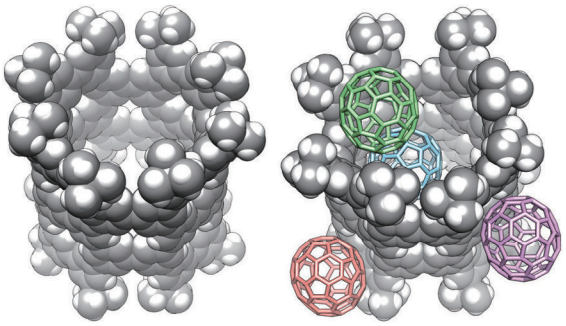
佐藤 宗太 *Sota Sato*
東京大学大学院 理学系研究科 化学専攻 特任准教授/JST ERATO 磯部縮退π集積プロジェクト グループリーダー

Contact
磯部 寛之 **E-mail**：isobe@chem.s.u-tokyo.ac.jp
所在地：113-0033 東京都文京区本郷7-3-1 東京大学大学院 理学系研究科 化学専攻 化学西館5階 物理有機化学研究室
U R L：https://physorg.chem.s.u-tokyo.ac.jp

新しいナノチューブ：フェナインナノチューブ

周期的に孔があいたナノメートルサイズの筒状分子。化学合成で新しく登場せしめたこのナノチューブ分子には、フェナインナノチューブ(pNT)という名を付けた。pNTは、平面三方に繋がるベンゼン環をフェナインと呼び、それを連ねて様々な形のナノサイズ分子を網羅的に設計合成しようという一連の研究の中から生まれた。筒をつくるのに使ったベンゼン環は40枚。これらを、9段階という簡便・高効率な化学合成により52本の結合で繋げた。精緻な分子設計に基づいたものである。pNTは分子量が3,917、直径・長さがおおよそ2ナノメートルの巨大な分子であり、結晶中で筒の内部にC_{70}分子を2つ、外部に2つも取り込んだ。また、pNTは240個のπ電子をもちながら無色透明。理論計算の結果とともに、周期的な孔がカーボンナノチューブの特性・電子物性を大きく変化させることを示唆している。フェナインを使った合成戦略で、機能・特性を含めたナノ分子の自在設計が可能となる日も近いのかもしれない。

Figure and Note



図：フェナインナノチューブ
単結晶X線構造解析が解き明かした、pNTの分子構造(左)。この巨大な筒は結晶中でフラーレンC_{70}分子を4つ取り込んだ(右)。

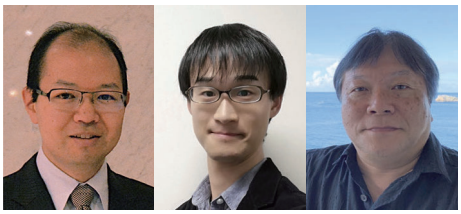
「分子」で不思議を探し、解き明かそう

東京大学大学院 理学系研究科 磯部研究室は物理有機化学を専門とし、「物理」と「化学」を「分子(有機)」で繋げようと日々の研究に勤しんでいます。とくにナノカーボン分子を対象とした「新しい分子を設計すること」を基本に、新現象・新機能の発見を目指しています。グッドデザイン賞受賞の美しい実験環境で、「科学の美」を追い求めています。

Science 1月11日号 Report
Science 11 Jan 2019: Vol. 363, Issue 6423, pp. 161-165
DOI: 10.1126/science.aan1019

超分子重合によって引き起こされるネマチック相からカラムナー相への構造相転移

Nematic-to-columnar mesophase transition by in situ supramolecular polymerization



左から伊藤 喜光、矢野 慧一、相田 卓三

伊藤 喜光 *Yoshimitsu Itoh*
東京大学大学院工学系研究科 化学生命工学専攻 准教授
矢野 慧一 *Keiichi Yano*
東京大学大学院工学系研究科 化学生命工学専攻 日本学術振興会特別研究員[PD]
相田 卓三 *Takuzo Aida*
東京大学大学院工学系研究科 化学生命工学専攻 教授
理化学研究所 創発物性科学研究センター 副センター長

荒岡 史人[1] 渡辺 豪[2] 引間 孝明[3]

[1] 理化学研究所 創発物性科学研究センター [2] 北里大学 理学部 物理学科 [3] 理化学研究所 放射光科学研究センター

Contact

伊藤 喜光 **E-mail**：itoh@macro.t.u-tokyo.ac.jp
所在地：113-8656 東京都文京区本郷7-3-1
U R L：http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/Aida_Lab/group_leaders/yoshimitsu-itoh.html
相田 卓三 **E-mail**：aida@macro.t.u-tokyo.ac.jp
所在地：113-8656 東京都文京区本郷7-3-1
U R L：http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/Aida_Lab/aida_laboratory/index.html

液晶中での超分子重合－光と電場で駆動する機能性液晶素子－

本研究で開発した光信号と電気信号に対して演算的に作動する機能性液晶素子は、信頼性の高い情報伝達を実現し持続可能な高度情報化社会に貢献する新しい光コンピューティングのための素子材料である。この材料は、互いの集合化様式が異なるため通常は混じり合うことがない棒状分子と円盤状分子のハイブリッド化により実現した。"混ざらない"という壁を突破したのが本研究で発見した、棒状分子からなるネマチック液晶の中で円盤状分子を1次元に超分子重合させると、両者がハイブリッド化したコアーシェルカラムナー液晶相へと構造相転移するという現象である。本カラムナー液晶は、電場を用いることで迅速に並べることが可能である。また、カラムナー液晶としては初めて直流電場と交流電場を使い分けることで、互いに直交する方向に自在に配向を変化させることができる。さらに、光応答性の棒状分子を用いることで、電場と光の両方に応答する性質が付与できる。これを用いることで初めての書き換え可能な液晶性AND論理回路を構成することが可能になった。冒頭で述べた機能性液晶素子はこのようにして誕生した。

Figure and Note

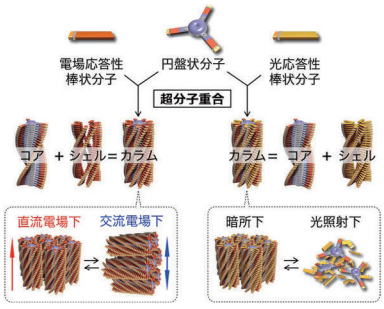


図1：液晶中で超分子重合することで形成する機能性カラムナー液晶

円盤状分子が棒状液晶分子中で超分子重合することでコアーシェルカラムナー液晶が形成。棒状液晶分子が持つ機能を変化させることで種々の刺激に応答するカラムナー液晶ができる。

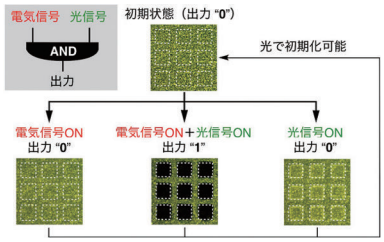


図2：電気信号と光信号によるANDロジック回路

電気信号と光信号を同時に入力したときだけ出力信号が得られる。

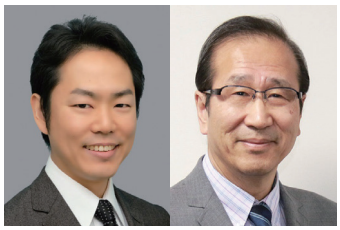
手が震えるような感動を

研究を進めて行くのは必ずしも楽しいことばかりではありません。しかし、闇の中をさまよっている中、突如として出現する光明に遭遇したとき、手が震えるような大きな感動があります。この研究においてそれはまさに現実でした。やっぱり研究は楽しい!!

Science 1月25日号 Report
Science 25 Jan 2019: Vol. 363, Issue 6425, pp. 387-391
DOI: 10.1126/science.aar6833

ナノポーラスソフトクリスタルにおけるガス拡散プロセスの設計と制御

Design and control of gas diffusion process in a nanoporous soft crystal



左から細野 暢彦、北川 進

細野 暢彦 *Nobuhiko Hosono*
京都大学 高等研究院 物質ー細胞統合システム拠点 客員講師
（現 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 物質系専攻 講師）

北川 進 *Susumu Kitagawa*
京都大学 高等研究院 物質ー細胞統合システム拠点 拠点長・特別教授

Cheng Gu[1] Jia-Jia Zheng[1,2] 佐藤 洋平[1] 日下 心平[1,§] 榊 茂好[2]

[1] 京都大学 高等研究院 物質ー細胞統合システム拠点
[2] 京都大学 福井謙一記念研究センター
[§] 現 名古屋大学大学院 工学研究科 応用物質化学専攻

Contact

細野 暢彦
E-mail：nhosono@k.u-tokyo.ac.jp
所在地：277-8561 千葉県柏市柏の葉5-1-5 新領域基盤棟4D5号室
U R L：https://www.nhosono.com

北川 進
E-mail：kitagawa@icems.kyoto-u.ac.jp
所在地：606-8501 京都府京都市左京区吉田牛ノ宮町
U R L：http://www.kitagawa.icems.kyoto-u.ac.jp

分子ゲート機構を持つ多孔性物質で高効率ガス分離・貯蔵を達成

多孔性材料は無数の小さな穴（細孔）を持つ物質であり、そこにガス分子などの小さな分子を取り込むことができる。その性質を利用したガス分離・貯蔵技術は産業的に重要な役割を持つ。例えば医療現場では空気の分離による酸素濃縮、天然ガス産業ではメタンと二酸化炭素の分離、石油化学産業では炭化水素の効率的な分離技術が重要となる。多孔性材料によるガス吸着・分離機能を高めるためには、物質内を拡散し移動するガス分子の速度を精密に制御する必要があった。しかし、多孔性物質内のガス拡散プロセスを合理的に設計し制御することは極めて困難であった。われわれは、多孔性配位高分子（Porous Coordination Polymer：PCP）と呼ばれる結晶性の金属錯体へバタフライ型の動的分子を導入することで、局所的な分子運動をガスの拡散制御に繋げることのできる「分子ゲート」の開発に成功した。この新機構により、アルゴンと酸素、エチレンとエタンといった従来分離に多くのエネルギーと手間がかかっていた混合ガスを効率的に分離させることを可能にした。さらに、ガス分子を常温・常圧下で細孔内に閉じ込めることにも成功し、ガスの物理的封入による貯蔵が可能であることを実証した。本発見は多孔性材料の新たな機能設計指針を与えるものである。

Figure and Note

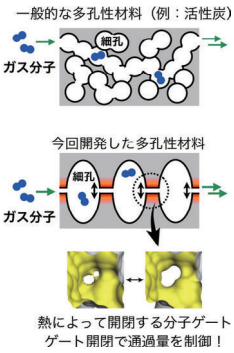


図1：分子ゲート機構によるガス拡散制御
細孔を連結するチャネルに分子サイズの開閉ゲートを設けることで、ガスの拡散速度を制御する。

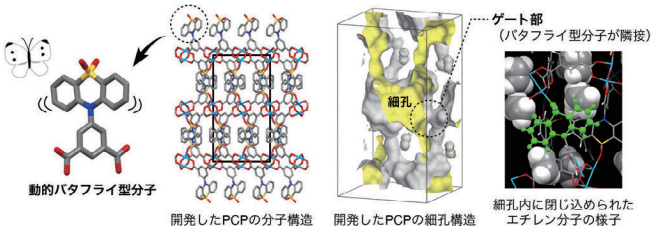


図2：開発した多孔性配位高分子の構造
熱により振動するバタフライ型の分子をチャネルに設置することで、分子ゲート機構を実現した。ゲートを閉じることで、ガス分子を細孔内に物理的に閉じ込めることができる。

材料化学で地球問題に取り組む：京都大学 iCeMS

地球環境にかかる負荷をいかにして削減するかという世界規模の努力が求められている中、われわれのグループは材料化学でその問題の解決へ取り組んでいます。自在にガスを分離し、貯蔵し、放出させる材料は、様々な工業プロセスのエネルギーコストの削減に繋がります。新しい多孔性材料の開発により、目に見えず、触ったり掴んだりすることもできないガスを自在に操り、大規模な環境問題やエネルギー問題の解消へと繋げていきます。

Science 2月1日号 Research Article
Science 01 Feb 2019: Vol. 363, Issue 6426, pp. 499-504
DOI: 10.1126/science.aav3824

野生マウスの毛色遺伝の突然変異と適者生存の関連を実証

Linking a mutation to survival in wild mice

若松 一雅 *Kazumasa Wakamatsu*
藤田医科大学 医療科学部化学教室 特任教授

Rowan D.H. Barrett[1] Stefan Laurent[2,‡] Ricardo Mallarino[3,4,§] Susanne P. Pfeifer[5]
Charles C.Y. Xu[1] Matthieu Foll[6] Jonathan S. Duke-Cohan[7] Jeffrey D. Jensen[5] Hopi E. Hoekstra[3,4]

[1] Redpath Museum and Department of Biology, McGill University
[2] School of Life Sciences, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)
[3] Department of Organismic and Evolutionary Biology, Museum of Comparative Zoology, Harvard University
[4] Department of Molecular and Cellular Biology, Howard Hughes Medical Institute, Harvard University
[5] School of Life Sciences, Center for Evolution and Medicine, Arizona State University
[6] International Agency for Research on Cancer, World Health Organization
[7] Department of Medical Oncology, Dana-Farber Cancer Institute and Department of Medicine, Harvard Medical School
[‡] 現 Department of Comparative Development and Genetics, Max Planck Institute for Plant Breeding Research
[§] 現 Department of Molecular Biology, Princeton University

Contact **E-mail**：kwaka@fujita-hu.ac.jp
所在地：470-1192 愛知県豊明市沓掛町田楽ヶ窪1-98藤田医科大学 医療科学部化学教室

野生マウスで突然変異を生存に結びつける

本研究では、野生の脊椎動物の単一研究で、形質適応を推進する生態学的および分子生物学的メカニズムの両方を同定するために、異なる生息地におけるシカネズミの野生集団を用い、実験室における遺伝的および分子生物学的試験と大規模な野外実験を組み合わせた。実験を行ったアメリカ・ネブラスカ州のサンドヒルズは、約8,000～10,000年前の明るい色の石英でできている。砂地は淡い茶色をしており、一方、それ以外の場所の土地は黒っぽい。それぞれの土地からまず481匹の野生シカネズミを集め、土地に適応しているかどうか実地で試すため、50m四方のネズミが逃げないように囲ったフィールドを用意し、各地から集めたマウスを放し飼いにし14ヵ月後、生存率を求めた。近くに棲息するフクロウに襲われるために、土地の色から浮き上がったネズミは淘汰されると予想される。実際、黒い土地のネズミを砂地で飼っていると、14ヵ月目にはほとんどのネズミが鳥の餌になる。同じように、砂地のネズミを黒い土に放した場合でも同じ結果に終わる。それぞれの土地にどのようなネズミが生き残れるかを調べると、砂地には背中の色が薄いネズミ、黒い土では背中の黒いネズミが生き残ることが確認できた。工業暗化と同じことが起こっている。茶色をコントロールするアグチ遺伝子の前後の塩基配列を詳しく調べると、それぞれの土地で生き残ったネズミで、多様化が起こっていた。そして、少なくとも黒い土の上での選択は、自然選択によりこの多様化した遺伝子の中から特定のSNPが選択されているという可能性が高いことを計算できた。次に、それぞれのSNPから自然選択されたことが間違いない7種類のSNPを特定し、この7種類が連鎖している3種類のブロックを形成していること、そのうちの一つはアグチのコーディング領域のセリンが欠落する変異であることを確認した。アグチにおけるアミノ酸のセリン欠損変異（ΔSer）に焦点を合わせ、実験開始3ヵ月後、ΔSerマウスが野生型マウスの毛髪よりも有意に少ない量のフェオメラニンを有することを見出した。

Figure and Note

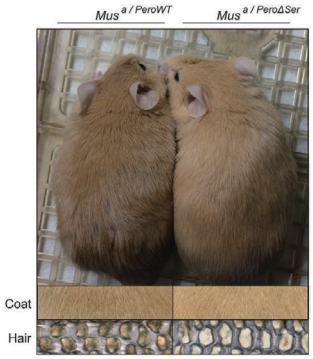


図1：野生型（暗い、左）またはΔSer（明るい、右）シカネズミアグチ対立遺伝子を発現するトランスジェニックマウスの一致系統
個々の毛の顕微鏡検査により、ΔSerマウスの毛はWTマウスの毛より質的に明るい色素を含んでいたことが明らかになった。

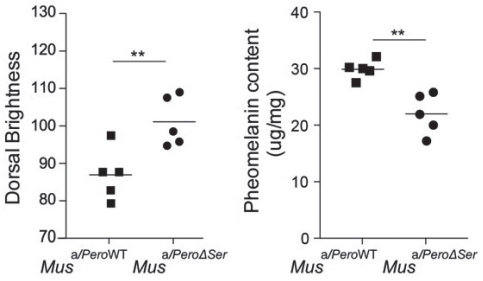


図2：ハツカネズミのトランスジェニックマウスにおける野生型とΔSerマウスの背中の色調の明るさ（左）と体毛中フェオメラニン値
トランスジェニックマウスの体毛の色調の明るさと体毛中のベンゾチアジン由来のフェオメラニン値をそれぞれ比色計とHPLCで測定した。

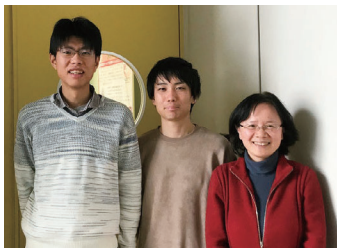
メラニン研究の中心地

メラニン色素の機能は、その複雑な構造により、カモフラージュ、光の吸収と発散、エネルギー調節、熱の保持、半導体の機能、紫外線による活性酸素の放出、Dark CPD生成の寄与などが知られており、当研究室ではこれまでに簡便な化学分析法を開発し、その方法を様々な生体の検体に応用してきました。近年では、化石中のメラニンの分析も行っています。今後はメラニン色素を分子レベルで捉えることにより、生命現象をより詳しく理解できるようになることを期待しております。

Science 2月1日号 Research Article
Science 01 Feb 2019: Vol. 363, Issue 6426, pp. 504-508
DOI: 10.1126/science.aau9533

筋力トレーニングに着想を得た、機械的刺激に応答して自己成長するハイドロゲル

Mechanoresponsive self-growing hydrogels inspired by muscle training



左から中島 祐、松田 昂大、龔 剣萍

中島 祐 *Tasuku Nakajima*
北海道大学大学院 先端生命科学研究院 准教授
北海道大学大学院 世界トップレベル研究拠点プログラム 化学反応創成研究拠点(WPI-ICReDD)研究協力者
国際連携研究教育局(GI-CoRE)ソフトマター グローバルステーション 准教授

松田 昂大 *Takahiro Matsuda*
北海道大学大学院 生命科学院
(現 北海道大学大学院 先端生命科学研究院 博士研究員)

龔 剣萍 *Jian Ping Gong*
北海道大学大学院 先端生命科学研究院 教授
北海道大学大学院 世界トップレベル研究拠点プログラム 化学反応創成研究拠点(WPI-ICReDD)主任研究者
国際連携研究教育局(GI-CoRE)ソフトマター グローバルステーション 教授

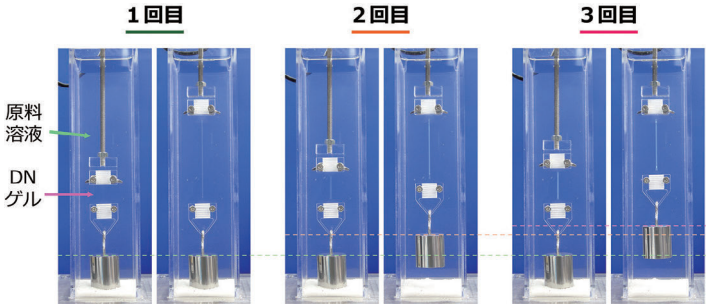
川上 るな　難波 遼
北海道大学大学院 生命科学院

Contact
中島 祐 **E-mail**：tasuku@sci.hokudai.ac.jp
所在地：001-0021 北海道札幌市北区北21条西11丁目
U R L：http://altair.sci.hokudai.ac.jp/g2/
龔 剣萍 **E-mail**：gong@sci.hokudai.ac.jp

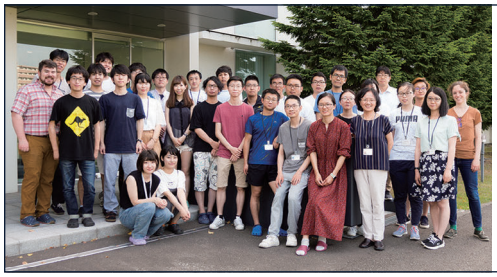
栄養を取り込んで成長する「生物様材料」

生体組織は、筋トレすると強く大きくなる筋肉のように、必要に応じて構造・機能・質量が成長する材料といえる。生体組織の成長は新陳代謝の一環であり、新陳代謝による材料成長には、外から栄養(原料)を取り込むこと(開放系)、その原料を用いた構造の作り変えが起こること(動的)が必須である。本研究では、開放系・動的人工材料として脆と柔の二重高分子網目を有するダブルネットワーク(DN)ゲルに着目し、生物様成長材料の創製を行った。詳細なメカニズムは割愛するが、DNゲルを自身の原料(モノマー・架橋剤)溶液に浸して引張などの力学負荷を加えると、1)DNゲルが溶液から原料を取り込むこと、2)ゲル内部で脆い網目が破壊され、同時に取り込んだ原料を用いた網目の再形成反応が生じること、がわかった。また本過程に伴い、DNゲルの強度・質量が力学負荷を加える前よりも増大することを見出した。さらに本溶液中でDNゲルに繰り返し力学負荷を加えると、負荷を加えるごとに新しい網目が内部で合成され、強度・質量が増大していくことがわかった。このように、栄養を取り込んで鍛えると成長する、まるで筋肉のような材料の創製に成功した。

Figure and Note



図：鍛えると強くなるダブルネットワークゲル
おもりを取り付けたダブルネットワークゲルをモノマー・架橋剤水溶液中で繰り返し延伸すると、延伸のたびにその強度・硬さが大きくなるため、おもりをより高い位置まで持ち上げることができるようになる。



ソフト&ウェットマターが拓く新材料世界

北海道大学グン研究室では、柔らかく溶媒を含んだ「ゲル」の特性を活かし、新コンセプトの柔軟材料を多数提案しています。例えば、90%が水でありながらゴム並みに丈夫なDNゲル、海中で可逆的に使えるゲル粘着剤、熱で瞬時に硬くなる熱強靭化ゲルなどを開発しています。本研究では生物の仕組みをヒントに、DNゲルを特殊な物質拡散場および化学反応場と捉えることで、世界初の「成長する材料」を生み出すことができました!

Science 2月1日号 Research Article
Science 01 Feb 2019: Vol. 363, Issue 6426, pp. 509-515
DOI: 10.1126/science.aat1650

睡眠と免疫応答を結びつけるショウジョウバエの新規遺伝子：*nemuri*

A sleep-inducing gene, *nemuri*, links sleep and immune function in *Drosophila*

戸田 浩史 *Hirofumi Toda*
Research Specialist, Howard Hughes Medical Institute, Chronobiology Program,
Perelman School of Medicine, University of Pennsylvania
（現 筑波大学 国際統合睡眠医科学研究機構 助教）
全著者リスト：https://science.sciencemag.org/content/363/6426/509.full

Contact
E-mail：toda.hirofumi.gu@u.tsukuba.ac.jp
所在地：305-8575 茨城県つくば市天王台1-1-1

ショウジョウバエを用いた睡眠研究
－新規睡眠誘導因子*nemuri*の発見から見える睡眠と生体防御の接点

睡眠は生命科学の大きな課題である。なぜ睡眠をするのか、あるいは、どのようなメカニズムで睡眠が制御されているのか、ほとんど理解がなされていない。われわれは睡眠の分子メカニズムに迫るため、順遺伝学のスクリーニングに適しているショウジョウバエを用いて睡眠のメカニズム解明に向けて研究を進めている。特に、睡眠を引き起こすメカニズムに迫るため、12,000系統を超すゲノム規模で無作為の機能獲得型の睡眠行動スクリーニングを行った（図1）。その結果、睡眠を非常に強く誘引する新規の睡眠誘導因子、'*nemuri*'を同定することに成功した。

驚くべきことに、*nemuri*は抗菌ペプチドをコードする遺伝子で（図2）、細菌感染後の生存に重要なことが判明した。また、*nemuri*遺伝子を欠く変異体は眠りが浅く、夜間の間、弱い刺激でも起きてしまい、眠りにつくまで時間がかかる。細菌感染などのストレスがかかるとショウジョウバエもヒトと同様、睡眠が誘発されるが、*nemuri*変異体では睡眠誘発がほとんど起きないことから、*nemuri*は特に細菌感染依存的に引き起こされる睡眠に重要な役割をしていると考えられる。確かに、*nemuri*は断眠や細菌感染などのストレスによって発現が誘導されることも確かめた。

以上の一連の*nemuri*を通しての睡眠のメカニズムを明らかにする研究から、生体防御という睡眠の機能が見えてきた。今後は*nemuri*が睡眠を引き起こすシグナルカスケードを探ることで、睡眠と生体防御を結び付ける分子的基盤の詳細に迫れることを期待している。

Figure and Note

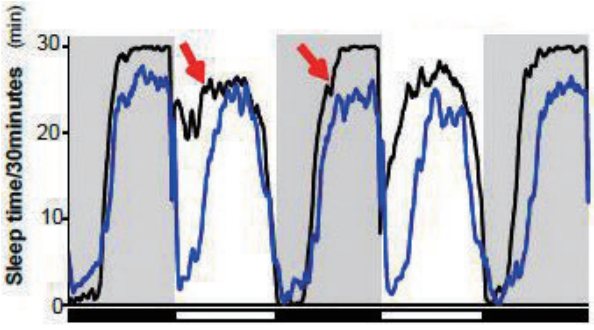


図1：*nemuri*の発現による睡眠誘導

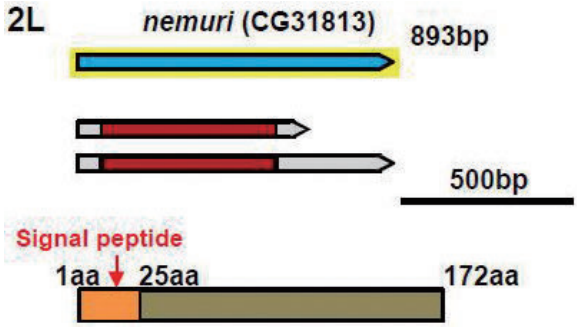
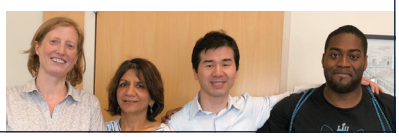


図2：*nemuri*遺伝子の構造

筑波大学 国際統合睡眠医科学研究機構 戸田研究室

大学院生の頃より、15年以上にわたり欧米を中心に研究活動を行ってきましたが、このたび、筑波大学（国際統合睡眠医科学研究機構）に研究室を構える幸運に恵まれました。学生、研究員、実験補助員を募集しておりますので、共に研究をしてみたいという方がいらっしゃいましたら、お気軽にお問い合わせください（todahirofumi@gmail.com）。また、分野の垣根を越えて共同研究を広げていきたいと考えております。小生の研究に興味をお持ちの方からのご連絡を、心よりお待ちしております。

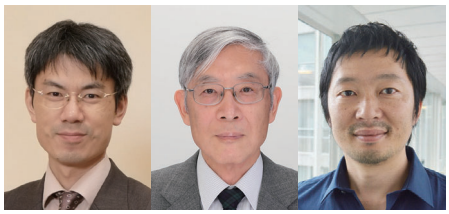


写真：共同研究者の方々と（左からJulie、Amita、筆者、Michael）

Science 2月15日号 Report
Science 15 Feb 2019: Vol. 363, Issue 6428, pp. 728-731
DOI: 10.1126/science.aav2789

光電流検出法を用いたダイヤモンド単一窒素空孔中心のイメージングとコヒーレントスピン状態の読み出し

Photoelectrical imaging and coherent spin-state readout of single nitrogen-vacancy centers in diamond



左から寺地 徳之、磯谷 順一、山本 卓

寺地 徳之 *Tokuyuki Teraji*
物質・材料研究機構 機能性材料研究拠点 ワイドギャップ半導体グループ 主席研究員

磯谷 順一 *Junichi Isoya*
筑波大学 知的コミュニティ基盤研究センター 名誉教授
（現 筑波大学 名誉教授・筑波大学 数理物質系 研究員）

山本 卓 *Takashi Yamamoto*
Postdoctoral Fellow, IMOMEC division, IMEC
Postdoctoral Fellow, Institute for Materials Research (IMO), Hasselt University
（現 Quantum engineer, QuTech, Delft University of Technology）

Petr Siyushev[1,2] Milos Nesladek[3,4,5] Emilie Bourgeois[3,4] Michal Gulka[3,4,5] Jaroslav Hruby[3,4] Michael Trupke[6] Fedor Jelezko[1]

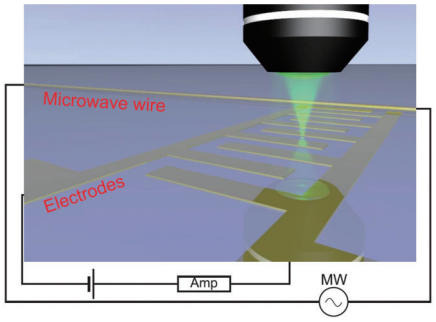
[1] Institute for Quantum Optics and IQST, Ulm University
[2] Corporate Research and Technology, Carl Zeiss AG
[3] IMOMEC division, IMEC
[4] Institute for Materials Research (IMO), Hasselt University
[5] Department of Biomedical Technology, Faculty of Biomedical Engineering, Czech Technical University in Prague
[6] Vienna Center for Quantum Science and Technology (VCQ), Faculty of Physics, University of Vienna

Contact
寺地 徳之 **E-mail**：TERAJI.Tokuyuki@nims.go.jp
所在地：305-0044 茨城県つくば市並木1-1
U R L：http://www.nims.go.jp/diamond/teraji/

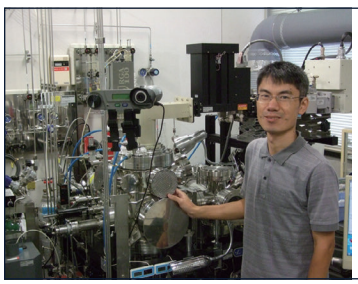
ダイヤモンド結晶中の電子スピンの状態を、電気的な手法で読み出す

窒素空孔中心（NVセンタ）を用いた磁気センサへの応用研究が精力的に行われている。従来はNVセンタの発光量から電子スピン状態を読み出していたが、本研究では光電流量により、それも単一のNVセンタに対して読み出すことに成功した。具体的には、光電流を用いた（1）単一NVセンタの検出とマッピング、（2）単一NVセンタの電子スピン共鳴スペクトル、（3）単一電子スピンのコヒーレント操作（ラビ振動）の読み出しを実証した。光電流読み出しは光読み出しに比べて素子の高感度化と小型化で利点がある。光検出ではダイヤモンドの高い屈折率のため光取り出し効率が低下するが、光電流検出では生成された電荷を効率的に検出することで高感度化できる。単一NVセンタのマッピングには、NVセンタがダイヤモンド表面近傍にのみ存在し、直径500nm周辺には他のNVセンタが存在しない試料が必要であった。本報告では、NIMSが持つダイヤモンド成長技術を活用し、NVセンタがまったく検出されない高純度層とNVセンタを極微量に含む層の積層構造を作製し、その層断面が表面に現れるように加工することで、所望の結晶を得ることに成功した。

Figure and Note



図：単一NVセンタの光電流検出のイメージ図
NVセンタの電子スピン状態は緑色光で初期化され、マイクロ波で重ね合わせ状態が形成される。外場によって変調されたスピン状態は櫛形電極で検出される光電流の電流量から同定できる。



結晶成長技術が拓く科学

他の半導体では極低温でしか見られない現象が、ダイヤモンドでは室温でも観測されます。ダイヤモンドは物性研究を行う上でとても興味深い材料です。今回の報告も、この「高温材料」の特徴を生かしたものです。ダイヤモンドの優れた物性を現実のものとするには、高品質かつ高純度な結晶の成長と不純物制御技術（今回は窒素ドーピング）が不可欠です。私は、今まで見ることができなかった稀有な物理現象を、ダイヤモンドを通して皆さんに紹介できることを目指して研究をしていきたいと考えています。そのために今後も、ダイヤモンド化学気相成長技術を高度化させることに携わっていきたいと思います。

Science 2月15日号 Report
Science 15 Feb 2019: Vol. 363, Issue 6428, pp. 744-747
DOI: 10.1126/science.aav8912

転写伸長因子を伴ったRNAポリメラーゼIIによるヌクレオソーム転写の構造学的理解

Structural insight into nucleosome transcription by RNA polymerase II with elongation factors

上左から関根 俊一、江原 晴彦
下左から胡桃坂 仁志、鯨井 智也

関根 俊一 *Shun-ichi Sekine*
理化学研究所 生命機能科学研究センター 転写制御構造生物学研究チーム チームリーダー
江原 晴彦 *Haruhiko Ehara*
理化学研究所 生命機能科学研究センター 転写制御構造生物学研究チーム 研究員
胡桃坂 仁志 *Hitoshi Kurumizaka*
東京大学 定量生命科学研究所 クロマチン構造機能研究分野 / 大学院理学系研究科 生物科学専攻 教授
理化学研究所 客員主幹研究員 / 早稲田大学 理工学術院 客員教授
鯨井 智也 *Tomoya Kujirai*
東京大学 定量生命科学研究所 クロマチン構造機能研究分野 助教
理化学研究所 生命機能科学研究センター 客員研究員
藤野 優佳[1,2] 白水 美香子[3]
[1] 東京大学 定量生命科学研究所 クロマチン構造機能研究分野
[2] 早稲田大学大学院 先進理工学研究科
[3] 理化学研究所 生命機能科学研究センター タンパク質機能・構造研究チーム

Contact

関根 俊一
E-mail：shunichi.sekine@riken.jp
所在地：230-0045 神奈川県横浜市鶴見区末広町1-7-22
U R L：https://www.bdr.riken.jp/jp/research/labs/sekine-s/index.html

胡桃坂 仁志
E-mail：kurumizaka@iam.u-tokyo.ac.jp
所在地：113-0032 東京都文京区弥生1-1-1
U R L：http://www.iam.u-tokyo.ac.jp/kurumizakalab/

転写装置がヌクレオソームを乗り越えるメカニズムを解明

遺伝子が機能を発揮するためには、はじめにDNAの塩基配列がRNAに転写される必要がある。RNAポリメラーゼII(RNAPII)は、この過程を担う巨大なタンパク質複合体である。一方、真核生物のゲノムDNAは、ヒストンタンパク質に巻き取られたヌクレオソーム構造を基本単位として、細胞核内にコンパクトに収納されている。ヌクレオソーム構造はDNAの転写にとって障害物となり、試験管内ではRNAPIIはヌクレオソームを乗り越えられずに停止してしまう。この問題を解決するために、細胞は、ヌクレオソームを乗り越えてDNAをスムーズに転写する機構を進化させている。今回われわれは、Elf1とSpt4/5という2種類の転写伸長因子がRNAPIIに結合することにより、ヌクレオソーム構造をとったDNAをスムーズに転写できるようになることを見出した。さらに、Elf1とSpt4/5が結合した状態のRNAPIIが、ヌクレオソームDNAを転写している途中の状態を試験管内で再現し、クライオ電子顕微鏡を用いた構造解析を行うことで、転写伸長複合体がヌクレオソームを乗り越える分子メカニズムを明らかにした。

Figure and Note

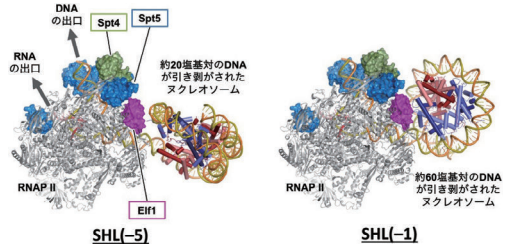


図1：クライオ電子顕微鏡により観察されたヌクレオソームを転写中の転写伸長複合体の立体構造

Elf1とSpt4/5は一直線に並んだ状態で、RNAPⅡとヌクレオソームの間に割り込むように位置している。この構造により、スムーズな転写が可能になる。

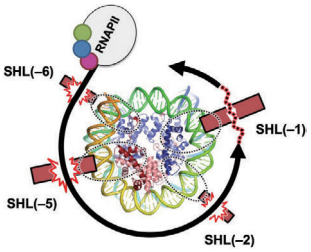


図2：ヌクレオソーム転写における転写伸長因子の役割

Elf1とSpt4/5は、ヌクレオソーム上の各SHLの障壁を低減し、RNAPIIのスムーズな転写を助ける。

遺伝子発現を分子レベルで理解する

私たちは、真核生物の遺伝子発現機構を分子レベルで理解していくために、様々な生化学的手法やクライオ電子顕微鏡等による構造解析を組み合わせた研究を行っています。2018年に引き続き*Science*に掲載される幸運に恵まれましたが、地道なサンプル調製の努力と最新のクライオ電顕技術の組み合わせ、さらには良き共同研究に巡り合えたためと考えています。今後とも複雑で興味深い生命現象の分子メカニズムの解明に挑戦していきます。

Science 2月22日号 Research Article
Science 22 Feb 2019: Vol. 363, Issue 6429, pp. 838-845
DOI: 10.1126/science.aav5606

リチウムイオン電池から着想を得た大規模化可能で安全な有機電解還元

Scalable and safe synthetic organic electroreduction inspired by Li-ion battery chemistry

川又 優 *Yu Kawamata*
Staff Scientist, Department of Chemistry, Scripps Research

Byron K. Peters[1] Kevin X. Rodriguez[1] Solomon H. Reisberg[1] Sebastian B. Beil[1] David P. Hickey[2] Michael Collins[3] Jeremy Starr[3] Longrui Chen[4] Sagar Udyavara[5] Kevin Klunder[2] Timothy J. Gorey[2] Scott L. Anderson[2] Matthew Neurock[5] Shelley D. Minteer[2] Phil S. Baran[1]

[1] Department of Chemistry, Scripps Research
[2] Department of Chemistry, University of Utah
[3] Discovery Sciences, Medicine Design, Pfizer Global Research and Development
[4] Asymchem Life Science (Tianjin)
[5] Department of Chemical Engineering and Materials Science, University of Minnesota

Contact **E-mail**：yukawama@scripps.edu **所在地**：10550 North Torrey Pines Road, BCC457 La Jolla, CA, 92037, USA

電気で芳香族化合物の実用的還元が可能に!

芳香環の直接還元法（バーチ還元）は、不活性な芳香環をより反応性の高い不飽和化合物へと変換する手法として重要である。液体アンモニウム中、極めて反応性の高いリチウム、ナトリウムといったアルカリ金属の単体で芳香環を処理するという手法が一般的であり、その危険性から大スケールでの実行は非常に困難である。危険なアルカリ金属の使用を避け、通常の有機溶媒中での還元が電気化学的に可能だということは知られていたが、特殊な器具や毒性の高い水銀陰極の必要性といった問題点から、実用的な合成手法として研究されたことはなかった。しかしながら、大スケールでのバーチ還元の必要性を認識し今回の開発に至った。開発中に最も問題となったのは、有機溶媒自体の還元とそれに次ぐ陰極でのリチウム塩の析出、最終的に陰極の不動化が起こることであった。この問題解決のヒントとなったのが、リチウムイオンバッテリーから着想を得た不溶性リチウム層の制御というアイディアで、添加剤を工夫することによりリチウム塩の沈殿が生じない条件を発見することができた。これを機に反応条件の改良は一気に加速し、最終的に単体アルカリ金属と液体アンモニアを使用しない芳香環の実用的還元反応が開発できた。

Figure and Note

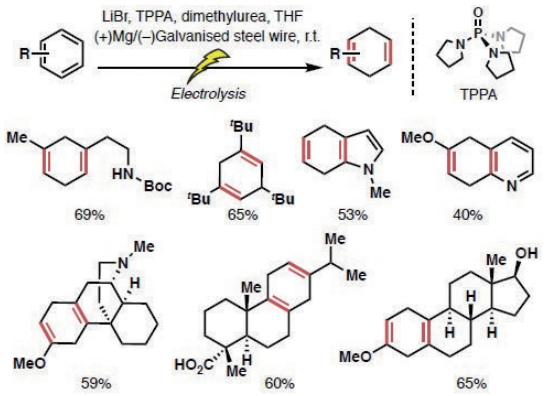


図1：反応の基質適用範囲（一部抜粋）
本反応は従来の方法では還元の難しかった嵩高い化合物やヘテロ環、複雑骨格を有するものまで幅広い芳香族化合物に適用可能。

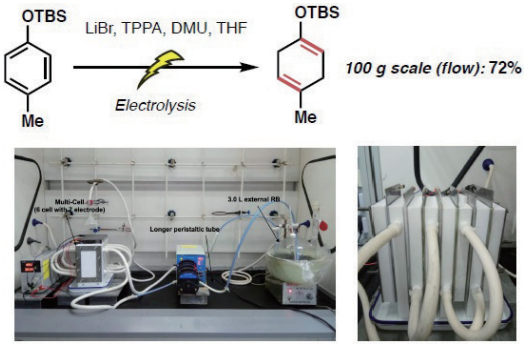
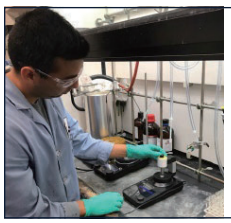


図2：フロー合成装置を用いた反応のスケールアップ
図左下の装置を用いて100gスケールまで室温で安全に実行可能。右下は電解セルの拡大写真。さらなるスケールアップは現在共同研究中。



We are electro-curious!

スクリプス研究所のBaran研究室では有用な化合物の合成や新しい反応開発のツールとして電気を使っています。電気化学的な酸化還元反応では常に何か（溶媒を含む）が反応するので、No Reactionは基本的にありえません! 最近は電解合成用の新しい装置ElectraSyn2.0をIKAと共同開発して、私たちcuriosity-drivenな化学者にとっては格好の「遊び道具」がますます増えてきています。

Science 01 Mar 2019: Vol. 363, Issue 6430, pp. 993-998
DOI: 10.1126/science.aat7186

上皮における小胞体ストレスが防護的なIgA応答を制御する

Epithelial endoplasmic reticulum stress orchestrates a protective IgA response

細見 周平 *Shuhei Hosomi*
Research fellow, Division of Gastroenterology, Department of Medicine, Brigham and Women's Hospital, Harvard Medical School
大阪市立大学大学院 医学研究科 消化器内科学 講師
全著者リスト：https://science.sciencemag.org/content/363/6430/993.full

Contact **E-mail**：shuhosomi@gmail.com **所在地**：545-8585 大阪府大阪市阿倍野区旭町1-4-3

腸管小胞体ストレスの腸管炎症保護作用としての一面を発見

これまでの研究で、Xbp1遺伝子を腸管上皮細胞で特異的に欠損させたマウスでは、過剰な小胞体ストレス状態が認められ、その結果としてクローン病に類似した自然発症小腸炎が生じることが知られていた。本研究では、この腸管上皮細胞特異的Xbp1欠損マウスの詳細な解析から、過剰な腸管小胞体ストレス状態が、免疫グロブリンA（IgA）の産生を誘導することが明らかとなった（図1）。T細胞やパイエル板も同時に欠損したマウスや、無菌条件下の腸管上皮Xbp1欠損マウスの解析から、IgAの誘導はT細胞や腸内細菌叢に依存しない（図2）、新たなIgA産生誘導機構であった。IgAやB細胞も同時に欠損した腸管上皮Xbp1欠損マウスの解析から、このIgAは腸管炎症に対して保護的な作用をもつことが見出された。本研究から、腸管小胞体ストレスは、腸管の炎症惹起作用（Distress）と同時に、腸炎の保護的な作用（Eustress）をもつことが明らかとなり、腸管恒常性維持機構を理解する上で重要な知見である。

Figure and Note

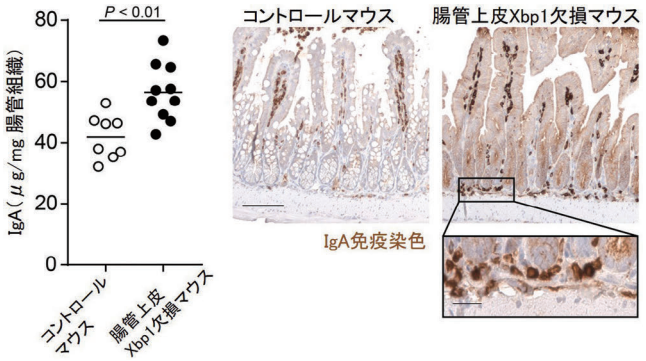


図1：腸管上皮細胞のXbp1欠損はIgAの産生を誘導する

腸管上皮細胞特異的Xbp1欠損マウスの小腸組織中のIgA濃度は、コントロールマウスに比較して高値であった。また増加したIgA陽性形質細胞は主に陰窩周囲に局在した。

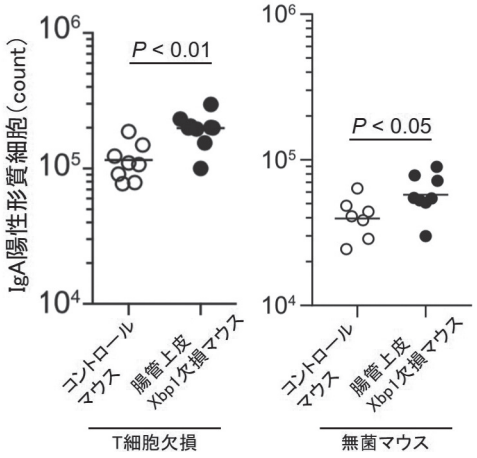


図2：Xbp1欠損によるIgA産生誘導機構

T細胞受容体と腸管上皮細胞Xbp1の二重欠損マウスにおいても、無菌条件下（Germ free）の腸管上皮細胞Xbp1欠損マウスにおいても、小腸におけるIgAが誘導されることが明らかとなった。

小さな発見から始まった長く大きなストーリー

本研究は私が米国のブリガムアンドウィメンズ病院に基礎研究留学中（写真左）に始まった研究を、帰国後は現在所属する大阪市立大学大学院 医学研究科 消化器内科学（写真右）との国際共同研究として継続し、発表に至りました。2012から2013年頃に得られたIgAが増加しているという（その時の私にとっては）小さな発見から始まった研究テーマは、腸管恒常性維持機能として重要な生理的役割の発見・証明につながる大きなストーリーとなりました。この過程で得られた知識や技術は、今の教室での新たな研究をも、より深く意味のあるものへと広げてくれる財産となっています。

Science 12 Apr 2019: Vol. 364, Issue 6436, pp. 184-188
DOI: 10.1126/science.aar2038

内温性獲得に伴って生じるホルモンによる心臓再生能力の制御

Evidence for hormonal control of heart regenerative capacity during endothermy acquisition

廣瀬 健太朗 *Kentaro Hirose*
Postdoctoral fellow, Cardiovascular Research Institute and Department of Physiology, University of California, San Francisco
Eli and Edythe Broad Center for Regeneration Medicine and Stem Cell Research, University of California, San Francisco
（現 GeneTech株式会社）

Alexander Y. Payumo[1,2] Stephen Cutie[1,2] Alison Hoang[1,2] Hao Zhang[3] Romain Guyot[4] Dominic Lunn[1,2] Rachel B. Bigley[1,2] Hongyao Yu[5] Jiajia Wang[5] Megan Smith[6] Ellen Gillett[7] Sandra E. Muroy[8] Tobias Schmid[9] Emily Wilson[3] Kenneth A. Field[10] DeeAnn M. Reeder[10] Malcom Maden[11] Michael M. Yartsev[9] Michael J. Wolfgang[12] Frank Grützner[7] Thomas S. Scanlan[13] Luke I. Szweda[14] Rochelle Buffenstein[6] Guang Hu[5] Frederic Flamant[4] Jeffrey E. Olgin[1,3] Guo N. Huang[1,2]

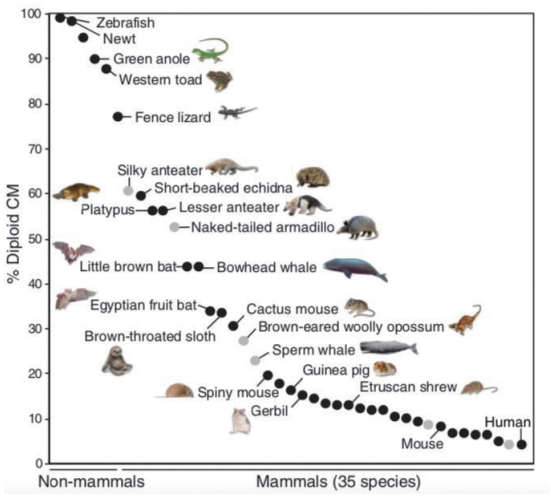
[1] Cardiovascular Research Institute and Department of Physiology, University of California, San Francisco
[2] Eli and Edythe Broad Center for Regeneration Medicine and Stem Cell Research, University of California, San Francisco
[3] Department of Medicine, Division of Cardiology, University of California San Francisco
[4] Department of Internal Medicine, Institut de Génomique Fonctionnelle de Lyon, Institut National de la Recherche Agronomique, Université Lyon 1, CNRS, École Normale Superieure de Lyon
[5] Epigenetics and Stem Cell Biology Laboratory, National Institute of Environmental Health Sciences
[6] Calico Life Sciences
[7] School of Biological Sciences, University of Adelaide
[8] Department of Molecular and Cell Biology, University of California, Berkeley
[9] Helen Wills Neuroscience Institute and Department of Bioengineering, University of California, Berkeley
[10] Department of Biology, Bucknell University
[11] Department of Biology and UF Genetics Institute, University of Florida
[12] Department of Biological Chemistry, Johns Hopkins University School of Medicine
[13] Department of Physiology and Pharmacology, Oregon Health & Science University
[14] Division of Cardiology, University of Texas Southwestern Medical Center

Contact
E-mail：hirosekentaro@outlook.jp　**所在地**：105-0012 東京都港区芝大門2-5-5 住友芝大門ビル11階
U R L：https://www.genetech.co.jp/

41種脊椎動物の解析結果を基に、心臓の再生能力を決定付ける因子を特定

ゼブラフィッシュの心臓は、損傷後も再生するが、マウス心臓は再生できない。ただし、マウスも生後直後に限定して、高い再生能力が確認されており、その能力は7日以内に消失する。この再生は、幹細胞に依存せず、増殖能力の高い単核二倍体心筋細胞（Diploid CM）が貢献することで起こる。そのためDiploid CMの存在割合は、再生能力にも依存し、ゼブラフィッシュや新生仔マウスでは90%以上を占めるが、成獣マウスやヒトでは10%以下であり、残りは多核および四倍体の心筋細胞である。われわれは、Diploid CMの割合の制御メカニズムに着目することで、心臓再生能力の制御メカニズムを理解できると考え、41種脊椎動物のDiploid CMの割合を解析した。その結果、動物種間で大きな多様性があることを発見した。さらに驚くべきことに、この割合が高い動物種ほど、3要素（体温、標準代謝率、それらの制御因子である甲状腺ホルモン量）が、低い傾向であることを見出した。結果を基に、心筋細胞特異的に甲状腺ホルモン経路を抑制するマウスを作製したところ、Diploid CMの割合が有意に高く、さらなる再生実験の結果、成獣マウスにおいて、より高い心臓再生能力を示した。加えて、ゼブラフィッシュの甲状腺ホルモンを活性化させると、心臓再生能力が低下した。これらの結果により、甲状腺ホルモン経路が心臓の再生能力を決定付ける因子のひとつであることを初めて明らかにできた。

Figure and Note



図：41種脊椎動物における単核二倍体心筋細胞（Diploid CM）の割合
それぞれのドットは、成体動物種のDiploid CMの割合を示す。黒色のドットは複数のサンプルの解析結果であり、グレーのドットは1サンプルの解析結果である。動物のシンボルを付加している動物種は、本研究で解析した値であり、それ以外は過去の研究結果を参照した値である。

Huangラボがホストしたハッピーアワーの告知ポスター

われわれの研究室は、2014年に立ち上がり、心臓の再生や心疾患等に着目し、研究を行っています。本研究成果は、われわれの研究室にとって、メジャーな論文としての第一報目であり、今後研究室のランドマークとなることを期待しています。私は、2016年よりポスドクとして所属してきましたが、今後は、研究からは離れ、企業に所属し、ビジネスの観点から、世界を変えることを目標とします。

Science 12 Apr 2019: Vol. 364, Issue 6436, pp. 188-193
DOI: 10.1126/science.aat0778

脱ユビキチン化酵素USP10は血管内皮のNotchシグナルを制御する

Deubiquitinase USP10 regulates Notch signaling in the endothelium

杉野 寿哉 *Toshiya Sugino*
Postdoctral fellow, Angiogenesis and Metabolism Laboratory, Max Planck Institute for Heart and Lung Research

Radiance Lim[1] Hendrik Nolte[2] Jorge Andrade[1] Barbara Zimmermann[1] Chenyue Shi[1]
Anuradha Doddaballapur[1] Yu-Ting Ong[1] Kerstin Wilhelm[1] Jannik W. D. Fasse[1] Andreas Ernst[3,4]
Manuel Kaulich[3] Koraljka Husnjak[3] Thomas Boettger[5] Stefan Guenther[5] Thomas Braun[5]
Marcus Krüger[2] Rui Benedito[6] Ivan Dikic[3,7] Michael Potente[1,8]

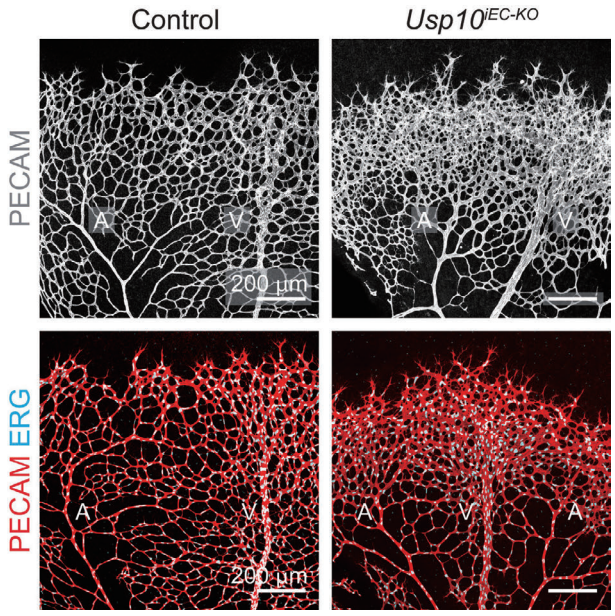
[1] Angiogenesis and Metabolism Laboratory, Max Planck Institute for Heart and Lung Research
[2] Institute for Genetics and Excellence Cluster on Cellular Stress Responses in Aging-Associated Diseases, University of Cologne (CECAD)
[3] Institute of Biochemistry II, Faculty of Medicine, Goethe University
[4] Fraunhofer Institute for Molecular Biology and Applied Ecology IME, Project Group Translational Medicine and Pharmacology TMP
[5] Department of Cardiac Development and Remodeling, Max Planck Institute for Heart and Lung Research
[6] Molecular Genetics of Angiogenesis Laboratory, Centro Nacional de Investigaciones Cardiovasculares (CNIC)
[7] Buchmann Institute for Molecular Life Sciences, Goethe University
[8] German Center for Cardiovascular Research (DZHK)

Contact
E-mail：Toshiya.Sugino@mpi-bn.mpg.de
所在地：Ludwigstrasse 43, D-61231 Bad Nauheim, Germany
U R L：http://www.angio-met-lab.com

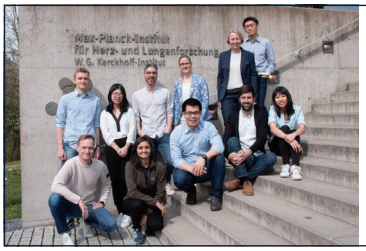
脱ユビキチン化による Notchシグナルの新たな制御機構

私たちの体には「血管」が張り巡らされ、その中を体液が通ることで体液循環を可能にしており、血管形成は臓器の発生から恒常性の維持まで必須の役割を担っている。それでは、その血管ネットワークはどのように構築されるのだろうか。血管新生過程では、Notchシグナルは血管網構築パターン決定に寄与しており、私たちはその新たな制御機構を明らかにした。細胞膜貫通型受容体であるNotchは、隣接した細胞に発現するDLL4などのリガンドと結合すると、活性型として機能するNotch細胞内ドメイン（NICD）が切断され、その遺伝子発現を誘導する。この仕組みによって細胞間の情報伝達が可能になり、Notchが活性化した細胞は他の細胞とは異なる性質を持つことができる。重要なことに、プロテアソーム分解によりNICDの半減期は比較的短く、その活性はユビキチン化修飾によって量的かつ時間的に制御されている。この研究を通して、私たちは脱ユビキチン化酵素USP10がNICDの半減期を調節することによって血管内皮のNotch活性を制御し、調和のとれた血管ネットワーク形成に重要であることを示した。

Figure and Note



図：血管内皮特異的USP10欠損型マウスにおける血管網形成
網膜血管は生後から血管網形成が始まるため、血管新生研究モデルに使われている。血管内皮細胞特異的にUSP10遺伝子（*Usp10*$^{iEC\text{-}KO}$）を出生後に欠損させると、NICD1のユビキチン化が促進され、その結果NICD1が減少することにより高密度の血管網を形成した。



Angiogenesis & Metabolism Laboratory

私たちの研究施設はフランクフルト近郊に位置し、フランクフルト、ギーセン大学と共にドイツ国内における心血管肺領域リサーチセンターの役割を担っています。私たちの研究室はどのように血管が形成、維持されるかを明らかにするだけでなく、その臓器特異的な機能や、どのように内皮細胞が環境変化を感知し、その情報をどう活かしているのか、など様々な観点からそのメカニズムを理解しようと努めています。

Science 4月19日号 Research Article
Science 19 Apr 2019: Vol. 364, Issue 6437, eaaw0422
DOI: 10.1126/science.aaw0422

小惑星リュウグウの地形、色および熱に関する特性：母天体のプロセスに関する考察

The geomorphology, color, and thermal properties of Ryugu: Implications for parent-body processes

杉田 精司 *Seiji Sugita*
東京大学大学院 理学系研究科 地球惑星科学専攻 教授
千葉工業大学 惑星探査研究センター
全著者リスト：https://science.sciencemag.org/content/364/6437/eaaw0422.full

Contact
E-mail：sugita@eps.s.u-tokyo.ac.jp
所在地：113-0033 東京都文京区本郷7-3-1

はやぶさ2探査が明らかにする小惑星リュウグウの進化過程

リュウグウのような1km程度の小惑星は、太陽系初期に形成された大きな母天体の衝突破壊で生まれたと考えられている。本論文では、母天体からリュウグウへの進化の全体像を提唱した。まず、リュウグウの母天体候補が、ポラナとオイラリアという小惑星帯の小惑星に絞られることがわかった。また、地球で得られていない未知の物質の可能性を別にすれば、リュウグウの表面物質の色は、部分的な加熱脱水を経た炭素質コンドライトと最もよく合うことと、リュウグウ表面の個々の岩塊の色が母天体内の異なる加熱脱水条件で形成した物質の混合で説明できることを明らかにした。これらの結果から、母天体における水質変成、加熱脱水変成、衝突破壊と再集積を経た進化の概略が浮かび上がってくる（図1）。進化のシナリオには複数候補が残っているが、現在までのデータに基づくと内部加熱（シナリオ1）の可能性が高い。また、ポラナとオイラリアは、含水鉱物や炭素を含む破片を地球に最も多く供給している天体である。このことから、小惑星帯から地球が受け取ってきた水や炭素の量が、母天体内での加熱脱水反応の軽重で決まっているのかもしれない。

Figure and Note

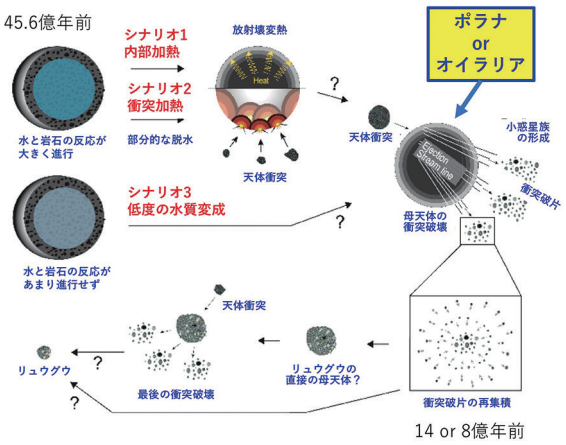
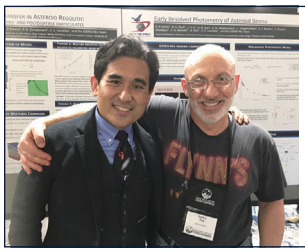


図1：はやぶさ2探査で明らかにされた小惑星リュウグウの進化過程
小惑星リュウグウの進化シナリオ。はやぶさ2のデータからは、母天体における水質変成、加熱脱水変成、衝突破壊と再集積を経た進化の概略が浮かび上がってくる。進化のシナリオには複数候補が残っているが、現在までのデータに基づくと内部加熱（シナリオ1）の可能性が高い。

図2：小惑星リュウグウの全体画像
画像提供：JAXA／東京大／高知大／立教大／名古屋大／千葉工大／明治大／会津大／産総研



世界の最先端に肩を並べつつある日本の惑星探査

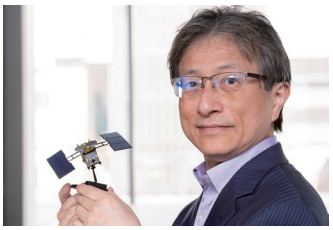
最近まで大型ロケットを持たなかった日本が本格的に惑星探査に乗り出したのは、21世紀になってからでした。ですが、月探査機かぐや、小惑星探査機はやぶさ、金星探査機あかつきなどの経験を経て、日本は惑星探査の分野で世界の第一線にまで達しました。はやぶさ2が達成した2度の着陸と人工クレーター実験は、世界のどの探査機もなし得たことがない快挙です。このような最先端技術を持って日本の惑星探査は今後さらに発展し、太陽系の謎も次々に解明されるでしょう。若い皆さんが宇宙探査に参加されることを期待しています。

写真：OSIRIS-RExのカメラ責任者のリズク博士（右）とお互いの探査機の成功を祝う筆者（左）。2019年3月のヒューストン郊外で開かれた月・惑星科学会議の会議場にて。

Science 4月19日号 Report
Science 19 Apr 2019: Vol. 364, Issue 6437, pp. 268-272
DOI: 10.1126/science.aav8032

はやぶさ2、コマ形状で瓦礫が集まってできた炭素質小惑星リュウグウ(確定番号162173)に到着

Hayabusa2 arrives at the carbonaceous asteroid 162173 Ryugu–A spinning top-shaped rubble pile



渡邊 誠一郎 *Sei-ichiro Watanabe*
名古屋大学大学院 環境学研究科 地球環境科学専攻 教授
宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 客員教授
全著者リスト：https://science.sciencemag.org/content/364/6437/268.full

Contact
E-mail：seicoro@eps.nagoya-u.ac.jp
所在地：464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町 D2-1(510)

すかすかで不思議な形をした小惑星の起源を探る

小惑星リュウグウは、事前の地上観測では形や地形、自転軸の向きなどは全く不明であった。2018年6月にこの天体に到着した探査機「はやぶさ2」から送られてきた画像に私たちは息を飲んだ。おもちゃのコマを2つ逆向きに重ねたような形(コマ形状)をしていて(図1)、表面には多くの大きな岩塊が散らばっていた。重力計測から明らかになった天体の平均密度は約1.2g/cm^{3}と非常に低く、隕石物質でできているとすると空隙が堆積の半分以上を占める「すかすか」な瓦礫(ラブルパイル)天体であることがわかった。コマ形状は高速自転する小惑星には見つかっていたが、自転周期が7.6時間と比較的長い天体で見つかったのは初めてである。そこでリュウグウの自転速度を速めるシミュレーションを行い、3.5時間の自転周期の時に自転による崩壊で現在の形が造られたとすると、表面傾斜の分布などが最も良く説明できることを示した(図2)。母天体が衝突で破壊され、破片が集積して生まれ、その後、高速自転による変形を経てリュウグウが生まれたことが推測され、「はやぶさ2」の持ち帰る試料でこのことを調べたいと考えている。

Figure and Note

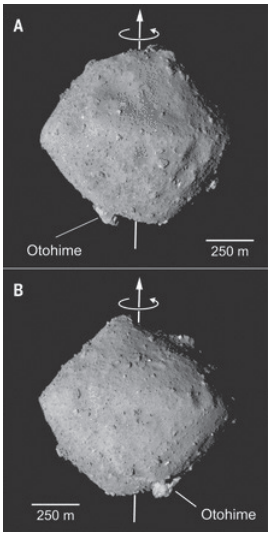


図1：小惑星リュウグウのコマ形状
光学航法カメラ(ONC-T)により高度20kmから撮像。白い矢印は自転軸方向を表し、南極付近のOtohimeは最大の岩塊(長径約160m)。

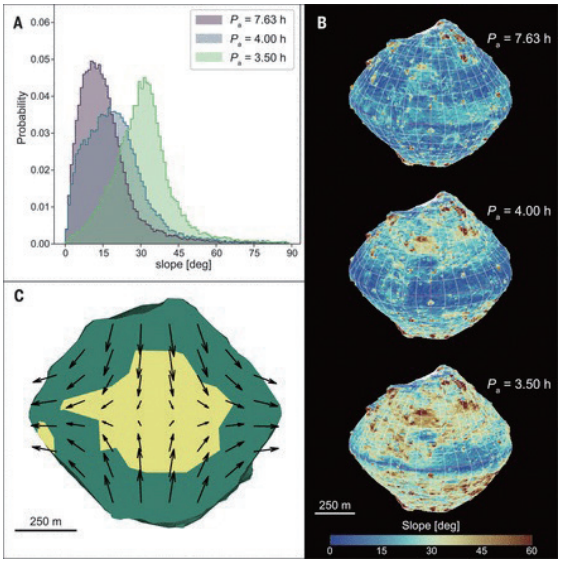


図2：表面傾斜分布と崩壊モード解析
リュウグウ形状モデルを周期7.6、4.0、3.5時間で自転させた際の表面傾斜の(A)頻度分布と(B)表面マップ。(C)崩壊モード解析の数値実験結果。断面図に崩壊域(黄色)と変形ベクトルを表示。

工学と理学の密接な協力で小惑星探査を実現!

私は「はやぶさ2」プロジェクト・サイエンティストとして、理学の成果創出を統括しています。プロジェクトには多くの大学研究者が参加しています。小惑星近傍での探査は、困難なものでしたが、工学メンバーと理学メンバーの密接な協力で実現できました。これからも多くの成果が発表されると思うので注目していてください。
(写真：2019年3月、米国での月・惑星科学会議での記者会見時に撮影。)

Science 4月19日号 Report
Science 19 Apr 2019: Vol. 364, Issue 6437, pp. 272-275
DOI: 10.1126/science.aav7432

はやぶさ2探査機の近赤外分光観測から示唆される小惑星リュウグウの表面組成

The surface composition of asteroid 162173 Ryugu from Hayabusa2 near-infrared spectroscopy

北里 宏平 *Kohei Kitazato*
会津大学 コンピュータ理工学部 准教授
会津大学 宇宙情報科学研究センター(ARC-Space)准教授
岩田 隆浩[1,2] 安部 正真[1,2] 大竹 真紀子[1,2] 松浦 周二[3] 荒井 武彦[4] 仲内 悠祐[1] 中村 智樹[5]
松岡 萌[1] 千秋 博紀[6] 平田 成[7] 廣井 孝弘[8] et al.

[1] 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所
[2] 総合研究大学院大学 物理科学研究科 宇宙科学専攻
[3] 関西学院大学 理工学部 物理学科
[4] 足利大学 工学部 創生工学科
[5] 東北大学 理学部 地球科学系
[6] 千葉工業大学 惑星探査研究センター
[7] 会津大学 コンピュータ理工学部
[8] Department of Earth, Environmental and Planetary Sciences, Brown University

全著者リスト：https://science.sciencemag.org/content/364/6437/272.full

Contact
E-mail：kitazato@u-aizu.ac.jp
所在地：965-8580 福島県会津若松市一箕町鶴賀
U R L：https://www.u-aizu.ac.jp

探査機観測によって明らかにされた含水鉱物

2018年6月にJAXAのはやぶさ2探査機が到達した小惑星リュウグウは、事前の地上望遠鏡観測からC型と呼ばれるスペクトルタイプに分類され、含水鉱物や有機物を含む炭素質隕石に似た組成を持つと考えられていた。しかしながら、地上からは地球大気の影響により、水酸基や水分子の赤外吸収が現れる3μm波長帯のスペクトルの取得が困難なため、その組成や含水鉱物の存在は確定的ではなかった。われわれは、はやぶさ2に搭載した近赤外分光計(NIRS3)を用いてそのスペクトルを取得することに成功し、含水鉱物の存在を示す吸収特徴がリュウグウ表面に見られることを明らかにした。また、全球観測の結果、リュウグウの表面組成は非常に均質であることもわかり、リュウグウが母天体の衝突破片でできたことと合わせて考えると、母天体内部も均質な組成であったことが示唆される。リュウグウと同じC型小惑星は地球に水をもたらした候補のひとつと考えられていることから、本研究の成果は、はやぶさ2が2020年に地球に持ち帰る小惑星サンプルの分析と合わせて、地球の水の起源解明に向けての重要な手掛かりになると期待される。

Figure and Note

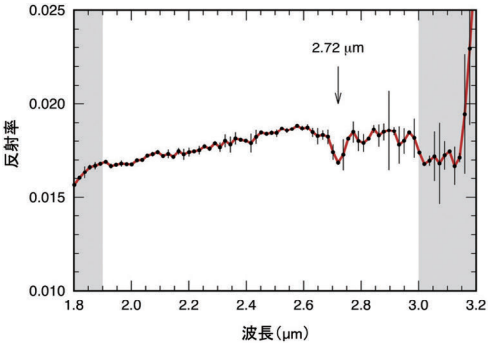


図1：NIRS3の観測から得られたリュウグウの近赤外反射スペクトル
2.7μmに見られる微弱な吸収が含水鉱物の存在を示す証拠。

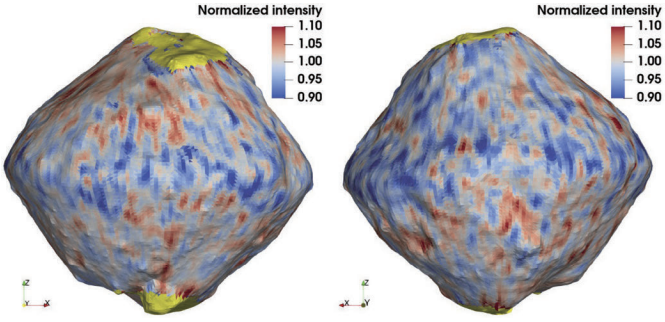


図2：2.7μm吸収の相対強度分布
2.7μmの吸収強度は含水鉱物の存在量を表す指標となるが、地形と対応するような有意な地域差が見られないことからリュウグウの表面組成は均質と考えられる。

実際に行ってみないとわからない

小惑星は太陽系形成初期の情報を保持する天体で、太陽系の広い範囲に数多く存在しています。これまで小惑星の研究は理論・観測・実験・分析・探査と様々な手法で進められてきており、それらの知見をもとにリュウグウがどのような天体かという予想は事前にされていました。しかし、はやぶさ2が実際に行って得られた結果はその予想に反する意外なものでした。次もまた違った小惑星を見てみたいものです。

(写真：はやぶさ2プロジェクト合同サイエンスチーム)

Science 4月19日号 Report
Science 19 Apr 2019: Vol. 364, Issue 6437, pp. 279-282
DOI: 10.1126/science.aaw8007

金ナノクラスターの結晶相とともに三桁の幅で変化するキャリア寿命

Three-orders-of-magnitude variation of carrier lifetimes with crystal phase of gold nanoclusters

檜垣 達也 *Tatsuya Higaki*
Department of Chemistry, Carnegie Mellon University
Meng Zhou[1] Guoxiang Hu[2] Matthew Y. Sfeir[3,†,‡] Yuxiang Chen[1] De-en Jiang[2] Rongchao Jin[1]
[1] Department of Chemistry, Carnegie Mellon University
[2] Department of Chemistry, University of California, Riverside
[3] Center for Functional Nanomaterials, Brookhaven National Laboratory
[†] 現 Photonics Initiative, Advanced Science Research Center, City University of New York
[‡] 現 Department of Physics, Graduate Center, City University of New York

Contact **E-mail**：thigaki@andrew.cmu.edu
所在地：Department of Chemistry, 4400 Fifth Avenue, Pittsburgh, PA 15213, USA

クラスター内部の結晶構造の制御により励起状態寿命の操作に成功

数十から数百個の金原子から構成される「金ナノクラスター」は、金ナノ粒子やバルク金では観測されない特異な幾何構造、電子構造を示すことから新たな機能性物質として注目を集めている。例えば、直径2nm以上の金ナノ粒子はバルク様の面心立方格子構造（fcc）を取ることが報告されているが、金ナノクラスターにおいては、通常のバルク金では観測されない六方最密充填（hcp）および体心立方格子（bcc）構造なども報告されている。しかしながら、金ナノクラスターの特異な構造がその機能性に与える影響については未解明であった。本研究では、特異な幾何構造を持つ金ナノクラスター、Au_{30}およびAu_{38}を用いて、その幾何構造の変化による光学特性への影響を明らかにした。通常、励起状態寿命はバンドギャップに依存することが知られているが、六方最密充填構造を持つAu_{30}と体心立方格子構造を持つAu_{38}は同程度のバンドギャップ（E_g：～1.5eV）を持つにもかかわらず、それぞれ1ナノ秒および4.7マイクロ秒という3桁も異なる励起状態寿命を持つことが明らかになった。本研究は、金ナノクラスター内部の結晶構造を操作することにより励起状態寿命が劇的に変化することを示した初めての成果である。

Figure and Note

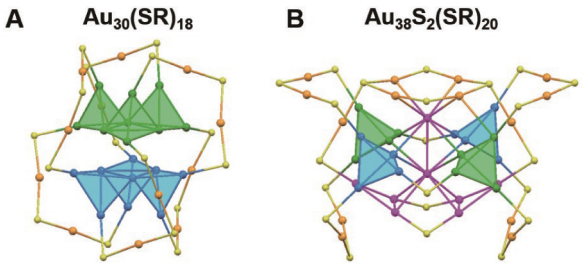


図1：金ナノクラスターの幾何構造
単結晶X線構造解析による（A）Au_{30}および（B）Au_{38}の幾何構造。SおよびSRはそれぞれ硫黄原子およびチオラート配位子を意味する。図中の黄色は硫黄原子、それ以外の色は金原子を意味する。

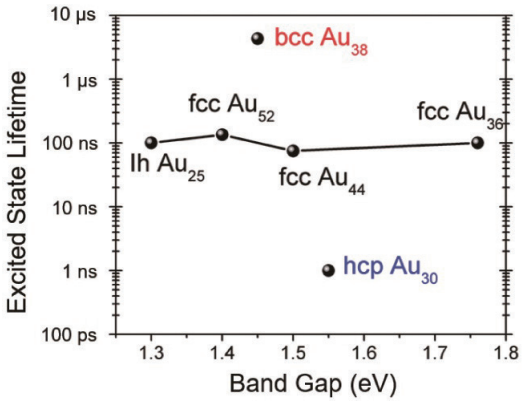
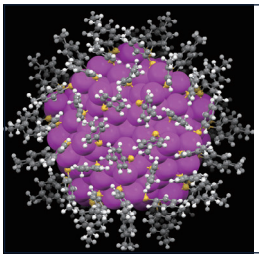


図2：金ナノクラスターのバンドギャップと励起状態寿命
六方最密充填構造のAu_{30}（E_g：1.55eV）と体心立方格子構造のAu_{38}（E_g：1.45eV）は1,000倍も異なる励起状態寿命を示し、この劇的な差は近い値のバンドギャップを持つ他のクラスター（Au_{25}、Au_{36}、Au_{44}およびAu_{52}）と比較しても明らかである。



カーネギーメロン大学化学科・Jin 研究室

Jin研究室では、金属クラスターの精密合成および単結晶X線構造解析による構造評価により、これまで大きさの異なる混合物としてしか取り扱えなかった金属ナノ粒子を、原子レベルでサイズの揃った「分子」として扱う研究に取り組んでいます。当研究室は他大学・他研究室との交流も盛んで、本研究もJiang Lab、Sfeir Labとの共同研究による成果です。今後も世界中から集まった優秀な研究者とともに、ナノサイエンスの新たな可能性を模索し続けていきます。

Science 5月3日号 Report
Science 03 May 2019: Vol. 364, Issue 6439, pp. 495-499
DOI: 10.1126/science.aaw4104

統合的ストレス反応における eIF2B 抑制の構造基盤

Structural basis for eIF2B inhibition in integrated stress response

左から伊藤 拓宏、柏木 一宏

伊藤 拓宏 *Takuhiro Ito*
理化学研究所 生命機能科学研究センター 翻訳構造解析研究チーム チームリーダー

柏木 一宏 *Kazuhiro Kashiwagi*
理化学研究所 生命機能科学研究センター 翻訳構造解析研究チーム 研究員

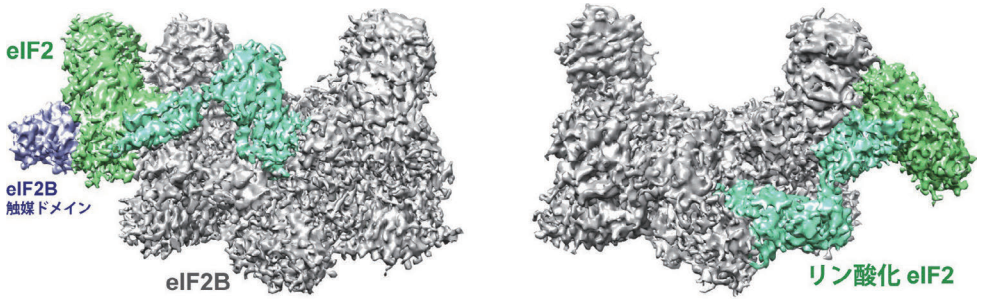
横山 武司　西本 まどか　髙橋 真梨　坂本 恵香　米持 まゆ美　白水 美香子
理化学研究所 生命機能科学研究センター

Contact
伊藤 拓宏　**E-mail**：takuhiro.ito@riken.jp
所在地：230-0045 神奈川県横浜市鶴見区末広町1-7-22
U R L：https://www.bdr.riken.jp/jp/research/labs/ito-t/index.html
柏木 一宏　**E-mail**：kazuhiro.kashiwagi@riken.jp

ストレスによってタンパク質合成が抑制される機構を解明

翻訳開始因子eIF2のリン酸化によるタンパク質合成の抑制は、すべての真核生物に保存されたストレス応答機構のひとつである。通常環境下では、eIF2はeIF2Bによるヌクレオチド交換反応によって活性化されて翻訳開始過程に関与するが、ストレス環境下では、eIF2のリン酸化によってeIF2Bによる交換反応は阻害される。その結果、細胞内の活性化eIF2レベルが低下し翻訳は開始段階で抑制されることが知られている。一方で、eIF2のリン酸化によるeIF2B阻害の分子機構についてはこれまで明らかにされていなかった。そこでわれわれは、eIF2BとeIF2またはリン酸化eIF2との複合体についてクライオ電子顕微鏡像と結晶構造の解析を行い、eIF2とリン酸化eIF2はそれぞれ全く異なる様式でeIF2Bに結合することを明らかにした。eIF2Bの触媒ドメインは非リン酸化eIF2との複合体でのみ観察され、eIF2の結合様式の変化によって交換反応の阻害が行われていることが示された。近年、eIF2Bの交換活性の促進が外傷性脳損傷や神経変性疾患に対する有望な治療法となる可能性が示唆されており、本研究から得られた知見は、ストレスへの応答という基本的な生物学的過程とeIF2Bを標的とした医学的応用の両面において、より詳細な理解をもたらすものである。

Figure and Note



図：eIF2Bに対するeIF2の結合様式
緑色で示されたeIF2（左：非リン酸化eIF2、右：リン酸化eIF2）は、eIF2B（灰色）に対して異なる配向で結合する。eIF2Bの触媒ドメイン（青）は非リン酸化eIF2との複合体でのみ観察された。

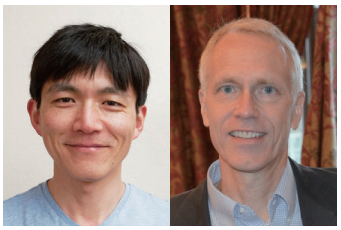
生命を分子の形から理解する

私たちのチームでは、X線結晶構造解析やクライオ電子顕微鏡解析を用いて、生命の基本的な活動のひとつである「翻訳」の制御機構を明らかにすることを目指しています。今回の論文ではリン酸化の有無によりeIF2のeIF2Bとの結合様式が大きく変化することを見いだし、真核生物に広く保存されている翻訳開始制御機構を理解することができました。これからも翻訳を軸として、生命を制御する機構を立体構造の視点から解明していきたいと考えています。

Science 5月10日号 Research Article
Science 10 May 2019: Vol. 364, Issue 6440, pp. 552-557
DOI: 10.1126/science.aaw5188

M1およびM2ムスカリン性アセチルコリン受容体/Gタンパク質複合体の構造

Structures of the M1 and M2 muscarinic acetylcholine receptor/G-protein complexes



左から前田 将司、Brian K. Kobilka

前田 将司 *Shoji Maeda*
Basic Life Science Research Scientist, Kobilka lab,
Department of Molecular and Cellular Physiology, Stanford University School of Medicine

Brian K. Kobilka
Professor, Department of Molecular and Cellular Physiology,
Stanford University School of Medicine

Qianhui Qu[1,2] Michael J. Robertson[1,2] Georgios Skiniotis[1,2]

[1] Department of Molecular and Cellular Physiology, Stanford University School of Medicine
[2] Department of Structural Biology, Stanford University School of Medicine

Contact

前田 将司
E-mail：shojim@stanford.edu
所在地：157 Beckman Center 279 Campus Drive Stanford, CA 94305-5345, USA
Brian K. Kobilka
E-mail：kobilka@stanford.edu
U R L：http://kobilkalab.stanford.edu/

GPCRとGタンパク質共役におけるサブタイプ選択的メカニズムを解明

Gタンパク質共役型受容体（GPCR）は細胞外からの様々なシグナルを捉え、その刺激を細胞内のGタンパク質あるいはアレスチンといったシグナル伝達分子に伝える膜受容体ファミリーの総称である。ヒトでは約800個のGPCRが機能しているが、個別のGPCRは大きく分けて4つあるサブタイプのうちの特定のGタンパク質群と特異的に共役する。GPCRとGタンパク質のどの領域が特異性寄与に関与しているのか、変異体などを使った機能解析によって精力的な研究がこれまでなされてきた。本研究では、この特異性決定の分子基盤について明らかにするため、代表的なGPCRのひとつであるムスカリン性アセチルコリン受容体と2つの異なるGタンパク質サブタイプとの複合体構造解析をクライオ電子顕微鏡法により行った。詳細な構造解析の結果、膜貫通ヘリックス（TM）5と6の間での相互作用と、TM6のGタンパク質側に面するアミノ酸残基がGPCR共役時のGタンパク質のジオメトリーを決定していることが示された。受容体の細胞内C末端の塩基性残基群がGタンパク質表面の酸性領域とも相互作用していることも確認され、以前に示されたGPCRがGタンパク質をあらかじめ近傍にリクルートする構造基盤を示すこともできた。

Figure and Note

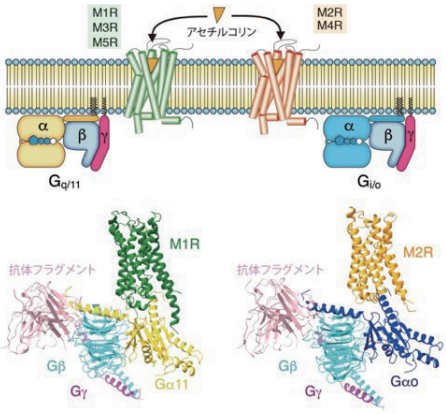


図1：M1R-G11とM2R-Go複合体の立体構造

5つのムスカリン性アセチルコリン受容体サブタイプ（M1R～M5R）はそれぞれ特定のGタンパク質と共役する。高い相同性を持つM1RとM2Rがどのように異なるGタンパク質と共役するのかを明らかにするため、高分解能構造解析を行った。

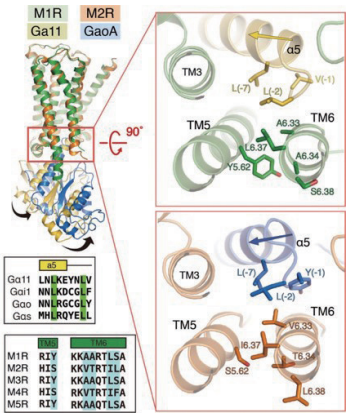


図2：M1RとM2RのGタンパク質C末端との相互作用様式

膜貫通ヘリックス（TM）5と6の間を構成するアミノ酸残基がM1RとM2Rとでは異なり、これに加えてTM6のGタンパク質に面する残基の違いによって、共役状態のGタンパク質のジオメトリーが2つの複合体で異なる。

より豊かな生活のための創薬基礎研究

私たちが日々お世話になる薬や医療は、そこに至るまでに培われた基礎から臨床といった様々な研究の賜物です。GPCRの多くが創薬のターゲットとしてより効果のある、副作用のない薬の開発のために盛んに研究されています。対象となる受容体を明らかにし、その挙動を知り、これを制御するためには基礎研究は欠かせません。私の基礎研究の成果がいつかそうした実社会でのquality of lifeの向上に寄与できればと思っています。

Science 5月10日号 Research Article
Science 10 May 2019: Vol. 364, Issue 6440, pp. 558-566
DOI: 10.1126/science.aav7062

PD-L1とCD80のシス結合による PD-1の機能制限が至適なT細胞応答を可能にする

Restriction of PD-1 function by *cis*-PD-L1/CD80 interactions is required for optimal T cell responses

上左から杉浦 大祐、丸橋 拓海、岡崎 一美、清水 謙次
下左から前田 武雄、竹本 龍也、岡崎 拓

Contact
岡崎 拓
E-mail：tokazaki@iam.u-tokyo.ac.jp
所在地：113-0032 東京都文京区弥生1-1-1
U R L：http://www.iam.u-tokyo.ac.jp/okazakilab
杉浦 大祐
E-mail：sugiura@iam.u-tokyo.ac.jp

岡崎 拓 *Taku Okazaki*
徳島大学 先端酵素学研究所 免疫制御学分野 教授
（現 東京大学 定量生命科学研究所 分子免疫学研究分野 教授）

杉浦 大祐 *Daisuke Sugiura*
徳島大学 先端酵素学研究所 免疫制御学分野 特任助教
（現 東京大学 定量生命科学研究所 分子免疫学研究分野 助教）

丸橋 拓海 *Takumi Maruhashi*
徳島大学 先端酵素学研究所 免疫制御学分野 特任助教
（現 東京大学 定量生命科学研究所 分子免疫学研究分野 助教）

岡崎 一美 *Il-mi Okazaki*
徳島大学 先端酵素学研究所 免疫制御学分野 准教授
（現 東京大学 定量生命科学研究所 分子免疫学研究分野 准教授）

清水 謙次 *Kenji Shimizu*
徳島大学 先端酵素学研究所 免疫制御学分野 特任研究員
（現 東京大学 定量生命科学研究所 分子免疫学研究分野 特任助教）

前田 武雄 *Takeo K. Maeda*
徳島大学 先端酵素学研究所 免疫制御学分野 特任研究員

竹本 龍也 *Tatsuya Takemoto*
徳島大学 先端酵素学研究所 発生生物学分野 教授

PD-1が有益な免疫応答を抑制しないメカニズムを解明

獲得免疫システムを担うT細胞は、抗原を認識して活性化するが、活性化の程度および活性化後の機能変化は、様々な免疫補助受容体によって厳密に制御されている。PD-1は活性化T細胞等に発現する抑制性免疫補助受容体であり、PD-1阻害抗体によるがん免疫療法の成功により、近年大きな注目を集めている。PD-1は自己組織やがん細胞に対するT細胞応答を強く抑制する一方で、通常の免疫応答を無力化することはないが、その理由は不明であった。本研究においてわれわれは、興奮性免疫補助受容体CD28のリガンドとして知られるCD80が、抗原提示細胞上でPD-1のリガンドであるPD-L1と隣り合わせに結合（シス結合）すること、CD80がPD-L1にシス結合するとPD-1による抑制が回避されること、シスPD-L1/CD80結合がおこらないマウスではT細胞応答が著しく障害されることなどを見出した。これにより、T細胞が抗原提示細胞と出会って活性化する段階では、CD80がCD28を活性化する一方で、PD-L1とシス結合してPD-1の機能を妨害してT細胞の活性化を増強するという巧妙なメカニズムが解明された。今後、シスPD-L1/CD80結合を標的とした、がん、自己免疫疾患、慢性炎症などに対する新たな治療法の開発につながると期待される。

Figure and Note

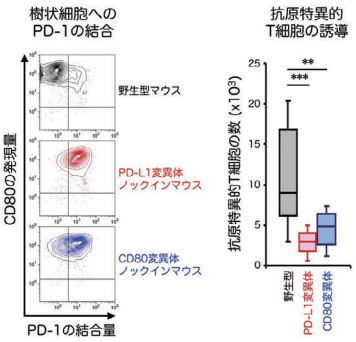


図1：シスPD-L1/CD80結合によるPD-1の機能制限

野生型マウスと比較して、シスPD-L1/CD80結合がおこらない変異体のノックインマウスでは、樹状細胞にPD-1が強く結合し（左）、抗原に特異的なT細胞応答が著しく障害される（右）。

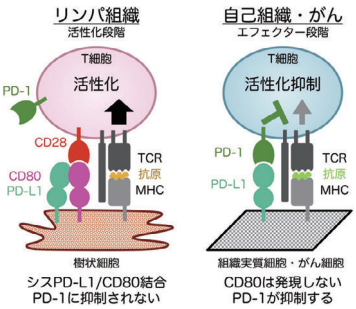


図2：PD-1機能制限機構の模式図

樹状細胞が提示する抗原を認識してT細胞が活性化する段階では、シスPD-L1/CD80結合によりPD-1の機能が制限されているため、T細胞はPD-1による抑制を回避して活性化することができる。

免疫研究の可能性

岡崎の恩師である本庶佑博士がPD-1阻害抗体によるがん免疫療法開発のご功績により2018年にノーベル生理学・医学賞を受賞されましたが、現在、より効果的ながん免疫療法の開発に向けた熾烈な競争が世界中で繰り広げられています。しかし、本研究で取り組んだ問題を含め、多くの根本的な問題が未解明のまま残されています。また、がんに加えて神経疾患など様々な疾患に免疫が深く関与していることが明らかにされ、免疫を利用して治療する試みも始まっています。われわれの研究室では、免疫制御機構の原理解明に基づいて、免疫応答を自在に操作して様々な疾患を治療する方法の開発を目指しております。興味のある方は是非ご連絡下さい。

Science 17 May 2019: Vol. 364, Issue 6441, pp. 674-677
DOI: 10.1126/science.aaw3053

立体配座が柔軟なグルコースモノマーが最小のシクロデキストリンの合成を可能にする

Conformationally supple glucose monomers enable synthesis of the smallest cyclodextrins

上左から若森 晋之介、
苫米地 祐輔、
下左から池内 和忠、山田 英俊

若森 晋之介 *Shinnosuke Wakamori*
関西学院大学 理工学部化学科 助教

苫米地 祐輔 *Yusuke Tomabechi*
関西学院大学 理工学部化学科 博士研究員
（現 東海大学 工学部応用化学科 助教）

池内 和忠 *Kazutada Ikeuchi*
関西学院大学 理工学部化学科 助教
（現 北海道大学 大学院理学研究院 化学部門 助教）

山田 英俊 *Hidetoshi Yamada*
関西学院大学 理工学部化学科 教授

生田 大喜　平田 恭章　嶋田 浩聡　川崎 友莉　萩森 資　松本 慎太郎
関西学院大学 理工学部化学科

Contact

若森 晋之介 **E-mail**：shinnosuke1010@kwansei.ac.jp
所在地：669-1337 兵庫県三田市学園2-1
U R L：https://sci-tech.ksc.kwansei.ac.jp/~yamadah/index.html

苫米地 祐輔 **E-mail**：y.tomabechi@tsu.u-tokai.ac.jp
池内 和忠 **E-mail**：ikeuchi@sci.hokudai.ac.jp

存在が疑われていた小さなシクロデキストリンの合成に成功

シクロデキストリン（CD）はα-1,4結合をもつ環状オリゴ糖で、α～γ-CDと呼ばれる6～8量体（CD6～CD8）が主に知られている。これらはグルコースだけで構成され毒性がなく、酵素法で大量合成され安価であることから、その包摂能を用いて広く活用されている。CD6より小さなものでは、CD5が中川淑郎先生らによって化学合成されている。一方CD4とCD3では、グルコース六員環構造の本来の安定な形状を保ちにくく、それらの存在そのものが疑問視されてきた。今回私たちは、六員環構造を柔軟化する方法を創出し、化学合成によってCD4とCD3の存在を実証した。すなわち、グルコースの3,6位酸素の間に特別に設計した架橋基を導入すると、六員環構造の形状が変化しやすくなった。また架橋基が六員環構造の片方の面（β面）を跨いで他の分子の接近を妨げ、CDに不可欠なα-1,4結合を純度よく構築できた。

グルコースの六員環構造の柔軟化という偶然の発見を契機に、不可能と思われていた化合物を合成できた。用途が非常に広いCDに小さな仲間が増え、予想を超えるような機能や物性が解明されることを期待している。

Figure and Note

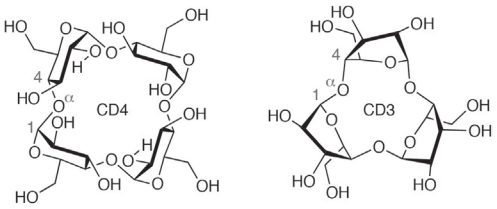


図1：小さなCDの化学構造式

CD4およびCD3はα-1,4結合を介した環状のオリゴ糖である。どちらも歪んだ形状のグルコース六員環構造をもつため、その存在が疑問視されていた。

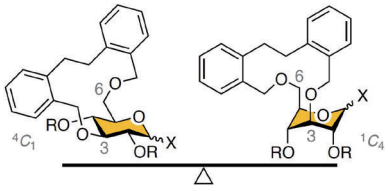


図2：架橋基によるグルコース六員環構造の柔軟化

グルコースは通常は$^4C_1$と呼ばれる形状で存在する一方、架橋基はその形状を$^1C_4$へ変形させる。3,6位酸素へ架橋基を導入すると両方の性質が拮抗し、グルコース（オレンジ色）が様々な形状で存在できるようになった。

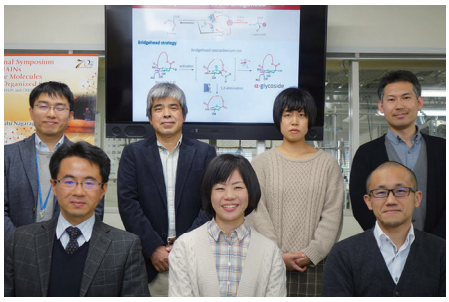
関西学院大学 理工学部化学科 山田英俊研究室

関西学院大学理工学部の学生とスタッフだけで、数年に渡るリレーをして小さなCDに到達しました。キラリと光る（と思った）斬新なアイデアを自分たちの手で試すことができる有機合成化学を楽しんでいます。今後、合成経路を短縮して合成できる小さなCDの量を増やし、新機能の発見につなげていきたいと活動中です。なお山田英俊教授は、2019年11月23日に逝去されました。心より御冥福をお祈り申し上げます。

Science 5月17日号 Report
Science 17 May 2019: Vol. 364, Issue 6441, pp. 677-680
DOI: 10.1126/science.aaw4866

構造を縛ったシアル酸供与体がα-グリコシドの選択的合成を可能にする

Constrained sialic acid donors enable selective synthesis of α-glycosides



前列左から安藤 弘宗、河村 奈緒子、宇田川 太郎
後列左から田中 秀則、石田 秀治、浅野 早知、
今村 彰宏

河村 奈緒子 *Naoko Komura*
岐阜大学 研究推進・社会連携機構 生命の鎖統合研究センター(G-CHAIN)特任助教

安藤 弘宗 *Hiromune Ando*
岐阜大学 研究推進・社会連携機構 生命の鎖統合研究センター(G-CHAIN)教授
岐阜大学大学院 連合農学研究科 教授
京都大学高等研究院物質ー細胞統合システム拠点(iCeMS)客員教授

加藤 慶一[1] 宇田川 太郎[2] 浅野 早知[1,3] 田中 秀則[3,4] 今村 彰宏[1,3]
石田 秀治[1,3,4] 木曽 真[1,5]

[1] 岐阜大学 応用生物科学部 応用生命科学課程
[2] 岐阜大学 工学部 化学・生命工学科
[3] 岐阜大学大学院 連合農学研究科
[4] 岐阜大学 研究推進・社会連携機構 生命の鎖統合研究センター(G-CHAIN)
[5] 京都大学高等研究院物質ー細胞統合システム拠点(iCeMS)

Contact
河村 奈緒子 **E-mail**：komura@gifu-u.ac.jp
所在地：501-1193岐阜県岐阜市柳戸1番1
U R L：http://www1.gifu-u.ac.jp/~kassei1/
安藤 弘宗 **E-mail**：hando@gifu-u.ac.jp

シアル酸の完全な立体選択的グリコシド化法を開発

シアル酸は細胞表面の糖鎖に存在し、細胞内外のコミュニケーションにおいて重要な役割を担う。また一方で、多くの細菌やウイルスはシアル酸を標的に感染するため、創薬研究の対象としての潜在能力が高い。一つの例外を除いて、天然に存在するシアル酸はαグリコシド結合により糖鎖に結合するが、化学合成においてはこれまで、α結合とβ結合の完全な作り分けが不可能であり、これが糖鎖合成化学における50年来の難題であった。われわれは、アノマー炭素を橋頭位とする二環性シアル酸を求電子種として用いることにより、α結合のみを与えるグリコシド化法を確立した。本反応で用いる二環性シアル酸は、β側が架橋部によって完全に遮蔽された橋頭位オキソカルベニウムイオンを与えるため、S_N1反応のグリコシド化において得られる生成物はα結合に限定される。本手法は、天然型の*O*-グリコシド結合のみならず、創薬開発の応用も期待できる*C*-グリコシド結合の構築も可能である。さらに、これまで、難易度の高い合成標的とされてきた糖脂質やシアル酸オリゴマーの化学合成も達成し、本手法の幅広い適用範囲が示された。シアル酸の立体制御は、糖鎖の自動合成における課題でもあったため、本反応の応用によるさらなる発展が期待される。

Figure and Note

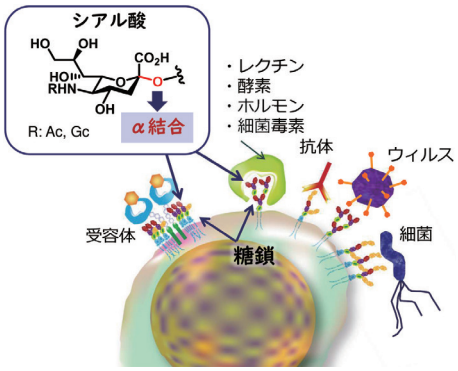


図1：細胞表面のシアル酸含有糖鎖

糖鎖は細胞表面に存在し、細胞のコミュニケーションを仲介する。シアル酸は糖鎖の末端にα結合し、タンパク質の結合部位として機能する。

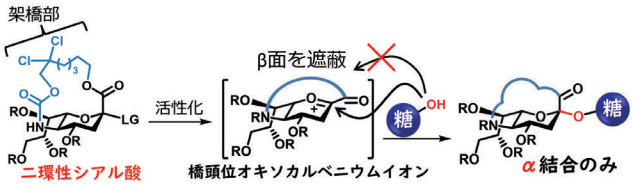


図2：本反応の原理

二環性シアル酸から生じる橋頭位オキソカルベニウムイオンは、β面を架橋部が遮蔽するため、結果としてα結合のシアル酸のみを与える。

岐阜大学 生命の鎖統合研究センター・糖鎖コアグループ

「糖鎖」は核酸、タンパク質に続く「第三の生命鎖」と呼ばれています。私たちの研究室では、有機合成化学に基づく独自の技術を駆使して、細胞表面で重要な機能を担う糖鎖(糖脂質、糖タンパク質)の研究を推進しています。特に、シアル酸含有糖鎖は、免疫・感染・がん化・老化に深く関与する重要な分子です。われわれのグループは、化学・物理学・生物学・数理解析の異分野融合研究によって、1分子レベル、細胞レベル、個体レベルの各階層での糖鎖の働きの理解を基に、糖鎖機能を統合的に明らかにすることを目指しています。

Science 31 May 2019: Vol. 364, Issue 6443, pp. 886-889
DOI: 10.1126/science.aau5656

くり返し生じた魚類の淡水進出と放散の鍵を担う代謝遺伝子

A key metabolic gene for recurrent freshwater colonization and radiation in fishes

左から石川 麻乃、北野 潤

石川 麻乃 *Asano Ishikawa*
国立遺伝学研究所 生態遺伝学研究室 助教
総合研究大学院大学 生命科学研究科 遺伝学専攻 助教

北野 潤 *Jun Kitano*
国立遺伝学研究所 生態遺伝学研究室 教授
総合研究大学院大学 生命科学研究科 遺伝学専攻 教授

全著者リスト：https://science.sciencemag.org/content/364/6443/886.full

Contact

北野 潤　**E-mail**：jkitano@nig.ac.jp
所在地：411-8540 静岡県三島市谷田1111
U R L：http://ecogen.sakura.ne.jp

石川 麻乃　**E-mail**：asishika@nig.ac.jp
所在地：411-8540 静岡県三島市谷田1111
U R L：https://sites.google.com/site/asanoishikawa/cv

魚の淡水ニッチ開拓に重要な鍵遺伝子*Fads2*の発見

生物の新規ニッチへの進出は、適応放散を誘導する。このニッチ進出の程度には生物間で違いがあり、新規ニッチに何度も進出する種がいる一方で、まったく進出しない種もいる。しかし、この違いを生む遺伝機構の多くは謎だった。この代表的な例が、魚の淡水進出である。魚は、海から淡水域へ繰り返し進出しているが、この進出能力は魚によって異なり、何度も淡水進出する魚がいる一方、まったく進出できない魚もいる。私たちは、進化生物学のモデル生物であるトゲウオを用いて、この淡水進出の鍵となった遺伝子として、必須脂肪酸ドコサヘキサエン酸（DHA）の合成酵素*Fads2*遺伝子を見出した。DHAは、海水域の餌に多く含まれる一方、淡水域の餌にはあまり含まれない。淡水進出したトゲウオ科イトヨでは、淡水進出できなかった姉妹種のニホンイトヨに比べ、*Fads2*遺伝子のコピー数が増えているため、DHAの少ない淡水の餌でも生きられることを発見した（図1）。さらに、この*Fads2*遺伝子は、他の幅広い種類の魚でも、海に生息する種に比べ、淡水域に進出した種で増えていたことから（図2）、トゲウオだけでなく魚全般において淡水進出の鍵となる遺伝子であることが明らかになった。

Figure and Note

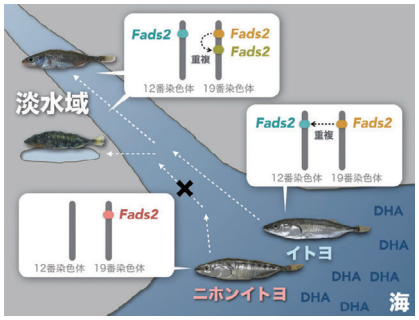


図1：イトヨの淡水域への進出とDHA合成酵素*Fads2*遺伝子の増加

淡水域に進出できなかったニホンイトヨは*Fads2*遺伝子を1つしか持たないのに対し、淡水域に進出したイトヨは2つ、淡水域に進出し、そこで一生を過ごすようになったイトヨではそれ以上のコピーを持つ。

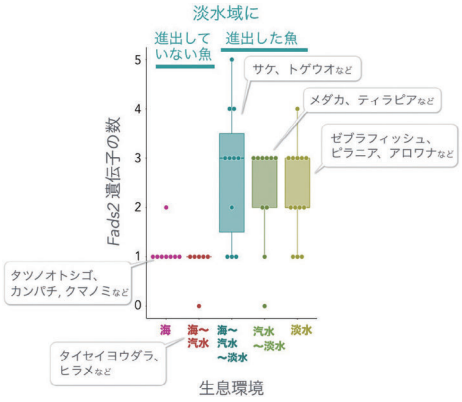


図2：様々な生息環境に棲む魚の*Fads2*遺伝子の数

トゲウオ以外の魚種でも、淡水域に進出していない魚種に比べて、淡水域に進出した魚種では*Fads2*遺伝子の数が多い。

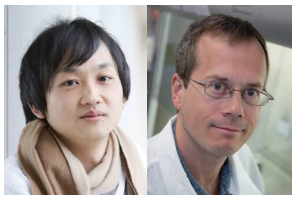
野外で見つけた生物の謎を解明する

私たちの研究室では、多様な生き物がどうやって進化してきたのかについて、野外調査から分子実験までを駆使して解明しようとしています。研究の原動力は、地道に生物を観察することから見えてくる疑問です。今回の論文でも、なぜニホンイトヨは淡水に進出できないのか、なぜラボでうまく飼育できないのか、という野外調査や飼育を通して抱いた素朴な疑問を突き詰めた結果、DHAや*Fads2*の重要性という、研究を開始した当初にはまったく予想していなかった発見に繋がりました。その過程で多くの共同研究者との一喜一憂がありました。私たちのモットーは、このように試行錯誤して得た成果を世界に発信することで世界中の研究者を刺激し、世界中で似た研究が続くような潮流を生み出すことです。

Science 07 Jun 2019: Vol. 364, Issue 6444, pp. 956-959
DOI: 10.1126/science.aaw7567

オルガノイドのデザイン体系

Organoids by design



左から武部 貴則、James M. Wells

武部 貴則 *Takanori Takebe*
Director of Commercial Innovation, Center for Stem Cell and Organoid Medicine（CuSTOM）,
Cincinnati Children's Hospital Medical Center
Assistant Professor, Division of Gastroenterology, Hepatology and Nutrition,
Cincinnati Children's Hospital Medical Center
Assistant Professor, Division of Developmental Biology, Cincinnati Children's Hospital Medical Center
東京医科歯科大学 統合研究機構 先端医歯工学創成研究部門 創生医学コンソーシアム 教授
横浜市立大学 特別教授

James M. Wells
Chief Scientific Officer, Center for Stem Cell and Organoid Medicine（CuSTOM）,
Cincinnati Children's Hospital Medical Center
Professor, UC Department of Pediatrics, Cincinnati Children's Hospital Medical Center
Professor, Division of Developmental Biology, Cincinnati Children's Hospital Medical Center
Director for Research, Division of Endocrinology, Cincinnati Children's Hospital Medical Center

Contact
武部 貴則 **E-mail**：takanori.takebe@cchmc.org
所在地：113-8510 東京都文京区湯島1-5-45
ＵＲＬ：takebelab.com

オルガノイド（ミニ臓器）のデザイン体系

オルガノイドとは、人為的に創出されたヒト器官に近い構造や機能を持ち合わせた三次元組織体と言え、さまざまな臓器において研究が活発化している。本稿では、オルガノイドのデザイン体系という観点から、生物学・工学の両者を駆使したハイブリッド型アプローチ「ナラティブ・エンジニアリング（Narrative Engineering）」を用いた新たな設計論理の提唱を試みた。今後、より複雑で機能的なオルガノイドの安定創出を実現するためには、生物学的な器官形成プロセスの精緻な模倣を目指すNarrative Engineeringにより、ロバスト性の高いオルガノイド形成技術の確立が急務である。さらに、ここ数年で急速に進展を遂げたゲノム編集、シングルセル解析、光・化学遺伝学、超解像/マクロ解像度イメージング、さらにin silicoツールなどとヒューマン・オルガノイドを組み合わせることで、ヒトにおけるさまざまな生命現象の理解が飛躍的に促進される可能性がある。将来的にオルガノイド技術は、疾患・創薬・移植研究等への応用を拓く革新技術となることが期待される。

Figure and Note

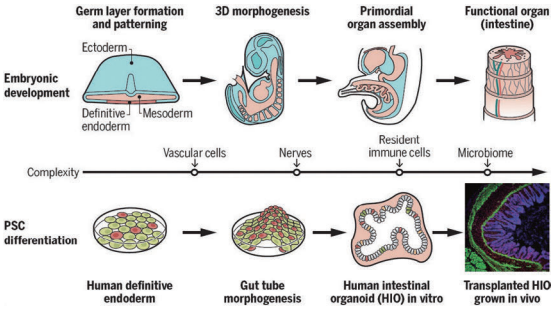


図1：器官形成とオルガノイド作成の対比
受精卵からの器官形成過程においては、運命決定の後に形態形成を伴いながら段階的に複雑性を獲得していく。

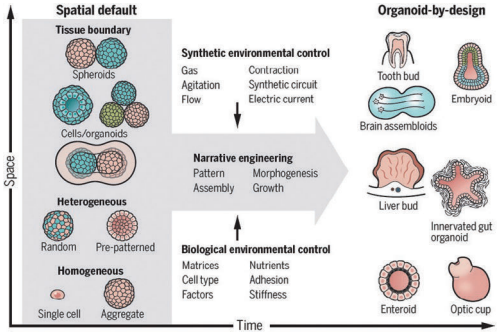


図2：ナラティブ・エンジニアリング（Narrative Engineering）の考え方
オルガノイドのデザインのためには、次の3要素を時空間的に考慮することが重要である。1. 初期空間配置、2. 生物学的刺激、3. 工学的刺激。

Leaders of Center for Stem Cell and Organoid Medicine（CuSTOM）

発生学研究に強みを持つシンシナティ小児病院では、2018年よりオルガノイド研究支援および、臨床応用の加速のためCuSTOMと呼ばれるユニークなセンターを設立しました。特に消化器系の強みを活かし、Aaron Zorn, James M. Wells, Michael Helmrathと著者を含む4名を中心に、20名以上のFacultyとともに、Organoid Medicine（オルガノイド医学）の具現化を試みています。興味のある方は、いつでも参画を歓迎します。

「セレンディピティ」と「ぶれ」と「ずれ」

Director of Commercial Innovation, Center for Stem Cell and Organoid Medicine(CuSTOM),
Cincinnati Children's Hospital Medical Center
Assistant Professor, Division of Gastroenterology,
Hepatology and Nutrition, Cincinnati Children's Hospital Medical Center
Assistant Professor, Division of Developmental Biology, Cincinnati Children's Hospital Medical Center
東京医科歯科大学 統合研究機構 先端医歯工学創成研究部門 創生医学コンソーシアム 教授
横浜市立大学 特別教授　**武部 貴則**

自問自答の末に…

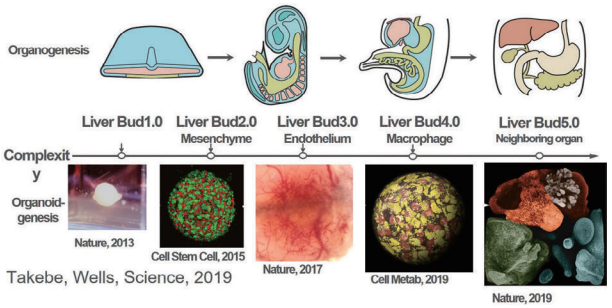
医学部在学中、憧れの職であった医師たちの講義を聞く中、さまざまな疾患に対しての理解が限定的であるという事実を何度も目の当たりにし、圧倒的な敗北感を感じました。そんなある日、故・日野原重明先生の講演で、社会を前進させるような大きな医学的発見は予期せぬ偶然(セレンディピティ)としてもたらされることが多い、と耳にしてから研究への興味が強まりました。しかし、今もなお病に苦しみ、対処ができない患者さんが山のようにいることを考えると、運や偶然に任せるわけにはいきません。たった一人の浅学な若者に何ができるのだろうか、と自問自答の日々を送ってきた今、現時点での結論として「ぶれ」と「ずれ」の概念の重要性を挙げたいと思います。

「ぶれ」の思考と「ずれ」のマネジメント

数年前、2013年のノーベル生理学・医学賞を受賞されたThomas Südhof先生の講演を拝聴しました。聴衆から発見の原動力は? と尋ねられ、放射状に、複層的に考える、ラディアル・シンキング(radial thinking)の重要性を話されていました。テキサス大時代に異なった専門家たちから全く違ったインプットをシャワーのように浴びせかけられたことが研究を飛躍させる原動力になったというのです。いわば、「ぶれ」の思考法です。

現在、私はノーベル生理学・医学賞を受賞された京都大学の山中伸弥先生らとともに、iPS細胞(万能細胞)から立体的なヒトの臓器を作製することで、失われた臓器の機能を回復する再生医療の実現を目指しています。論文発表するに至ったミニ臓器が作られる研究の原型となる現象(Takebe, T. et al., *Nature* 499, 481-484(2013))を2011年ごろ見出した際に役立ったのも、「ぶれ」を駆使した研究展開であったように思います。最初に現象を発見した際、何のバックグラウンドもない私にとっては、「ぶれ」が必然であり、あらゆる教科書や論文を読みあさる中、生物学、物理学、化学など様々な異分野の専門家に現象を見てもらったことが原理解明に極めて役立ちました。

一方、研究室主宰者になった今、「ずれ」の人的マネジメントの大切さを日々実感しています。おのおのの研究者には、向き不向き、得手不得手、専門不専門がありますが、これらは研究者間の掛け合わせをマネジメントすることによって、補い合うどころか、予測し得ない相互作用が生じることがあります。私が持つ複数の所属には、組織・文化的にすべて「ずれ」を持った研究仲間が沢山在籍しており、それらの「ずれ」が新たな創造的研究につながっています。



図：Takebe Labでの仕事の概要

セレンディピティを求めて

話が少し変わりますが、人生は何が起こるかわかりません。つくづくそう思います。高校時代は、音大を出て演奏家になることが夢でした。高校3年生の時、あることをきっかけに、医師、特に外科医を目指すことになりました。しかし、結果的には、大学卒業後、日本とアメリカの研究専門の医者としてチームを率いている現状です。

そんな私の学生時代を振り返ってみると、今しかできないことを、「ぶれ」と「ずれ」をもってやる、ということにつきるように思います。そして、迷ったらより困難な道へ、一歩踏み出してみる。そのような日々を過ごしていたように思います。今しかできないことをやる、というのは意外にも難しいのではないかと思います。なぜならば、「今」しかできないことは、「未来」と向き合うことで見えてくるものだと思うからです。あなたにとって、今しかできないことは何でしょうか。勉学、部活、研究活動、はたまた、起業してみることかもしれません。ぜひ考えてみてください。そして、自分なりのセレンディピティを求めて、一歩を踏み出してみてはいかがでしょうか?

Science 6月7日号 Report
Science 07 Jun 2019: Vol. 364, Issue 6444, pp. 976-980
DOI: 10.1126/science.aat1773

銅酸化物における渦糸の周囲での磁場誘起超伝導対密度波状態

Magnetic field-induced pair density wave state in the cuprate vortex halo

左から藤田 和博、永崎 洋、内田 慎一

藤田 和博 *Kazuhiro Fujita*
Staff Scientist, Condensed Matter Physics and Materials Science Department, Brookhaven National Laboratory
Visiting Scientist, Laboratory of Atomic and Solid State Physics, Department of Physics, Cornell University

永崎 洋 *Hiroshi Eisaki*
産業技術総合研究所 電子光技術研究部門 超伝導エレクトロニクスグループ 首席研究員

内田 慎一 *Shin-ichi Uchida*
東京大学大学院 理学系研究科 名誉教授

S. D. Edkins[1,2,3] A. Kostin[1] A. P. Mackenzie[3,4] Subir Sachdev[5] Michael J. Lawler[1,6] E.-A. Kim[1]
J. C. Séamus Davis[1,7,8,9] M. H. Hamidian[1,5]

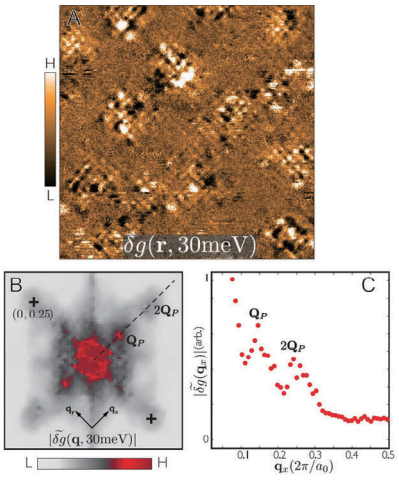
[1] Laboratory of Atomic and Solid State Physics, Department of Physics, Cornell University
[2] Department of Applied Physics, Stanford University
[3] School of Physics and Astronomy, University of St. Andrews
[4] Max-Planck Institute for Chemical Physics of Solids
[5] Department of Physics, Harvard University
[6] Department of Physics and Astronomy, Binghamton University
[7] Condensed Matter Physics Department, Brookhaven National Laboratory
[8] Department of Physics, University College Cork
[9] Clarendon Laboratory, Oxford University

Contact
藤田 和博 **E-mail**：kfujita@bnl.gov
所在地：98 Rochester St. Upton NY 11973 USA
永崎 洋 **E-mail**：h-eisaki@aist.go.jp
所在地：305-8568 茨城県つくば市梅園1-1-1
U R L：https://unit.aist.go.jp/esprit/super-ele/index.html

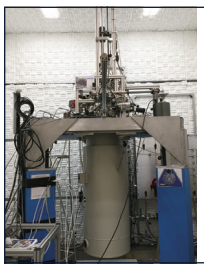
銅酸化物超伝導体の磁束に潜む電子対密度波の観測

第2種超伝導体に磁場を印加すると、その磁場は量子化された磁束として超伝導体内部に侵入する。磁束が侵入した付近では、超伝導は破壊され、常伝導状態が出現する。通常の超伝導体では、磁場によって超伝導が壊されると通常の金属状態が出現するが、銅酸化物高温超伝導体では、磁束の周辺でこれまで見られなかった非自明な電子状態が出現することが理論的・実験的に示唆されていた。今回われわれは、高感度の分光イメージング走査型トンネル顕微鏡法（Spectroscopic Imaging Scanning Tunneling Microscopy, SI-STM）の手法を用いて、Bi系銅酸化物超伝導体の磁束中心付近の電子状態の精査を行った。その結果、磁束の芯付近において、結晶格子の4倍と8倍周期の非自明な電子局所状態密度の変調構造が出現していることを観測した。この結果は、その正体が、理論的にその存在が予言されていた、2つの電子が対を作って整列する状態である「電子対密度波」であることの傍証であると考えられる。

Figure and Note



図：対密度波に起因した磁束中の電子変調構造
A：磁場によって誘起された電子の局所状態密度マップ。磁束中に変調構造が観測された。
B：Aのフーリエ変換。
C：Bの点線に沿ったラインプロファイル。格子の4倍と8倍周期に対応するピークが観測された。



米国ブルックヘブン国立研究所の次世代SI-STM

SI-STMはトンネル電流を検出する探針を原子レベル以下（～0.1nm以下）で制御する必要があります。そのため、空調設備、人の歩行や乗り物の走行など、外部からの振動が装置に伝わらないよう最大限除振する必要があります。写真は、米国ブルックヘブン国立研究所に新たに建設したSI-STMの設備で、分子線エピタキシーと角度分解光電子分光の装置と超高真空で接続されているので、同一のバルク・薄膜試料で実・運動量空間の両分光測定ができるのが特徴です。

Science 7月5日号 Research Article
Science 05 Jul 2019: Vol. 365, Issue 6448, eaaw5030
DOI: 10.1126/science.aaw5030

嗅覚神経回路の形成に必要な遺伝子発現パターンはニューロンのスパイク発火列によって規定される

Structured spike series specify gene expression patterns for olfactory circuit formation

上左から竹内 春樹、中嶋 藍
下左から伊原 尚樹、池谷 裕二

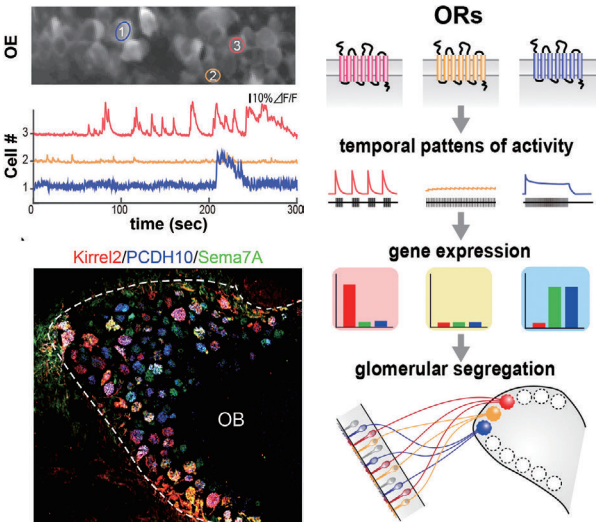
竹内 春樹 *Haruki Takeuchi*
東京大学大学院 薬学系研究科 薬品作用学教室 特任准教授
東京大学大学院 薬学系研究科 化学物質安全性評価システム構築社会連携講座 特任准教授
中嶋 藍 *Ai Nakashima*
東京大学大学院 薬学系研究科 薬品作用学教室 特任助教
伊原 尚樹 *Naoki Ihara*
東京大学大学院 薬学系研究科 薬品作用学教室 日本学術振興会特別研究員(DC1)
池谷 裕二 *Yuji Ikegaya*
東京大学大学院 薬学系研究科 薬品作用学教室 教授
全著者リスト：https://science.sciencemag.org/content/365/6448/eaaw5030

Contact
竹内 春樹 **E-mail**：haruki0330@gmail.com
haruki-t@mol.f.u-tokyo.ac.jp
所在地：113-0033 東京都文京区本郷7-3-1
中嶋 藍 **E-mail**：anaka@mol.f.u-tokyo.ac.jp
所在地：113-0033 東京都文京区本郷7-3-1

神経活動の時間パターンに基づく嗅覚神経回路構築

発達期における神経細胞の電気的活動は、神経回路の形成に重要な役割を果たす。この神経活動に依存した回路形成は、ヘブ則と呼ばれる細胞間の活動の同期性を前提としたモデルによってのみ説明されてきた。今回われわれは、発達期の嗅覚神経細胞をモデルとして神経活動依存的な回路形成メカニズムの解明を試みた。嗅覚系では、神経細胞で発現する嗅覚受容体遺伝子が細胞の個性を決定し、細胞接着分子の発現を介して適切な神経軸索の接続を制御する。まずわれわれは、多細胞の神経活動同時イメージングにより、接続先を同じくする同一の嗅覚受容体を発現する神経細胞集団は時間的に同期した活動を示さないものの、互いに類似した活動パターンを示すことを明らかにした。さらに光遺伝学的手法により神経活動を人為的に操作したところ、異なる神経活動パターンは異なる細胞接着分子の発現を制御することを突き止めた。これらの結果は、神経細胞の個性に対応した神経活動の時間パターンが分子の発現へと変換されることで、嗅覚神経回路の形成が制御されることを示している。今回の研究は、ヘブ則で提唱されてきた「活動の同期性」だけでなく、「活動の時間的なパターン」が可塑的な回路形成を指令するという新規のメカニズムを示唆している。

Figure and Note



図：神経活動依存的な嗅神経回路の構築モデル
(左上)嗅覚神経細胞は、それぞれ固有な神経活動パターンを示す。
(左下)軸索収斂に関わる分子(Kirrel2, PCDH10, Sema7A)の発現量は、異なる糸球体に投射する神経軸索ごとに異なっている。
(右)神経細胞の個性を決定する嗅覚受容体は、神経活動パターンを規定することで、軸索末端に受容体の種類に固有な細胞接着分子の発現パターンを誘導する。これにより、軸索の正確な糸球体への収斂が達成される。

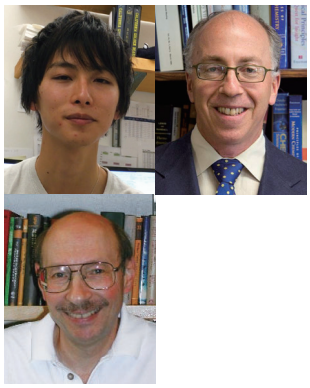
事を成すマインドセット

研究者として、未知の現象を発見することは無上の喜びです。しかしその発見に至るまでには、明確な目標設定、確固たる意思、そしてたゆまぬ努力が必要です。遥か遠くに見えるゴールを目指し、目の前の障害物に対して限られた能力とリソースを駆使して挑み続けるマインドは、意外にもフットボールから学んだことに通じるものがあります。新たなゴールを目指し、われわれは今日もフィールドに向かいます。

Science 7月5日号 Report
Science 05 Jul 2019: Vol. 365, Issue 6448, pp. 79-83
DOI: 10.1126/science.aax0076

アト秒過渡吸収分光法による IBr擬交差ダイナミクスの直接マッピング

Direct mapping of curve-crossing dynamics in IBr by attosecond transient absorption spectroscopy



上左から、小林 雄貴、Daniel M. Neumark、Stephen R. Leone

小林 雄貴 *Yuki Kobayashi*
Department of Chemistry, University of California, Berkeley

Daniel M. Neumark
Professor, Department of Chemistry, University of California, Berkeley
Division Investigator, Chemical Sciences Division, Lawrence Berkeley National Laboratory

Stephen R. Leone
Professor, Department of Chemistry, University of California, Berkeley
Division Investigator, Chemical Sciences Division, Lawrence Berkeley National Laboratory
Professor, Department of Physics, University of California, Berkeley

Kristina F. Chang[1] Tao Zeng[2,*]

[1] Department of Chemistry, University of California, Berkeley
[2] Department of Chemistry, Carleton University
* 現 Department of Chemistry, York University

Contact
小林 雄貴 **E-mail**：ykoba@berkeley.edu
所在地：D44 Hildebrand Hall, Department of Chemistry, University of California, Berkeley, California 94720, USA

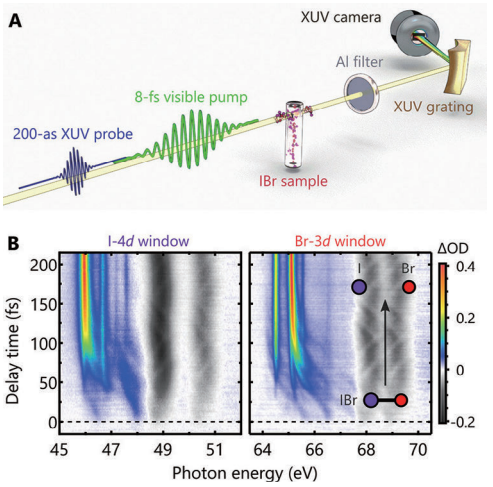
アト秒パルスで電子状態の切り替わりを見る

光により励起された分子は反応ポテンシャルに沿ってその構造を変化させる。励起分子は単一のポテンシャル上を動くこともあれば、複数のポテンシャルに跨りその電子状態を切り替えながら複雑に発展することもある。二原子分子におけるポテンシャルの交差点は擬交差（avoided crossing）と呼ばれ、擬交差における分子ダイナミクスを実験的に観測し、光化学反応におけるその役割を解き明かすことは、現代物理化学の大きな目標のひとつである。

本研究では私たちはアト秒過渡吸収分光法（8-fs可視光励起、200-as極端紫外検出）を用いて、ヨウ化臭素分子（IBr）の可視励起反応におけるB状態／Y状態の切り替わりの直接観測を行った。I-4*d*・Br-3*d*内殻電子からのアト秒吸収信号（光子エネルギー：45-70eV）が価電子構造の変化を実時間的にマッピングし、とりわけ擬交差における電子配置（electronic configuration）の切り替わりが吸収信号の離散的な変化として測定されることを発見した。

アト秒分光は原子物理学にて生まれた分野であり、今回の結果はその技術の光化学への応用の可能性を示すものである。アト秒パルスは人類史上最速の時間分解能をもつことに加え、分子軌道のエネルギー・占有状態を直接的に測定できる点が強みである。今後は生体分子や円錐交差（conical intersection）における光化学反応を電子状態の視点から解き明かすことが期待される。

Figure and Note



図：光励起IBr分子のアト秒過渡吸収スペクトル
（A）アト秒過渡吸収ビームラインの概略図。
（B）IBr分子のXUV過渡吸収スペクトル。I-Br結合の解離に伴って分子の電子状態が変化する様子を観察することができる。

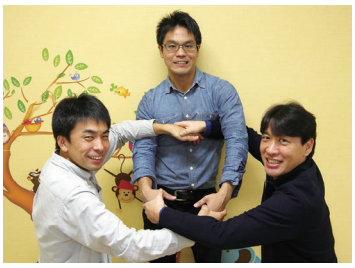
UC Berkeley, Leone group & Neumark group

本研究は筆者（小林）の大学院における主要プロジェクトの成果をまとめたものです。Leone研／Neumark研は化学のバックグラウンドを強みに、物理・光学の技術を組み合わせ、超高速分光の最先端を切り開いています。ここUC Berkeleyでは Californiaの青い空の下、活気あるキャンパスと切磋琢磨できる環境に身を置いて研究生活を送ることができます。親分（Steve、Dan）からの伝言です。「私たちは日本からの熱意ある学生・ポスドクのみなさんを幅広く受け入れ歓迎します。」

Science 19 Jul 2019: Vol. 365, Issue 6450, pp. 272-276
DOI: 10.1126/science.aav5021

トポロジカル分子ナノカーボン：オールベンゼンカテナンおよびトレフォイルノット

Topological molecular nanocarbons: All-benzene catenane and trefoil knot



左から瀬川 泰知、桑山 元伸、伊丹 健一郎

伊丹 健一郎 *Kenichiro Itami*
名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所 拠点長・教授
名古屋大学大学院 理学研究科 物質理学専攻化学系 教授
JST ERATO 伊丹分子ナノカーボンプロジェクト 研究総括

瀬川 泰知 *Yasutomo Segawa*
JST ERATO 伊丹分子ナノカーボンプロジェクト グループリーダー
名古屋大学大学院 理学研究科 特任准教授

桑山 元伸 *Motonobu Kuwayama*
JST ERATO 伊丹分子ナノカーボンプロジェクト 技術員
名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所 技術員

土方 優[1,2,3] 伏見 雅子[2,4] 西原 大志[2,4,5] Jenny Pirillo[1,2,3] 白崎 淳哉[4] 久保田 夏実[2]

[1] 名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所
[2] 名古屋大学大学院 理学研究科
[3] 北海道大学 化学反応創成研究拠点（WPI-ICReDD）
[4] JST ERATO 伊丹分子ナノカーボンプロジェクト
[5] 京都大学エネルギー理工学研究所

Contact
伊丹 健一郎 **E-mail**：itami@chem.nagoya-u.ac.jp
所在地：464-8602 愛知県名古屋市千種区不老町
U R L：http://synth.chem.nagoya-u.ac.jp
瀬川 泰知 **E-mail**：ysegawa@nagoya-u.jp
桑山 元伸 **E-mail**：kuwayama.motonobu@c.mbox.nagoya-u.ac.jp

ベンゼンだけでできた絡み目「カテナン」と結び目「トレフォイルノット」の合成

カテナンや分子ノットといったトポロジカル構造は分子マシンのユニットとして期待される一方で、合成には配位性・極性の置換基が必須であったため、分子設計に大きな制限があった。今回われわれは、ケイ素を用いた新たな合成戦略によって、パラ位でつながったベンゼン環のみからなるカテナンとトレフォイルノットの合成・構造決定・性質解明に成功した。これらの分子を単離したことで、カテナン構造を介した励起エネルギーの速やかな移動、左結び・右結びに由来するトポロジカルキラリティ、トーラス表面を這うようなノットの動的挙動といった興味深い性質を明らかにした。トレフォイルノットは最小のトーラスノットとしてトポロジーの観点からつながりの深い構造であり、今回合成したオールベンゼントレフォイルノットはカーボンナノトーラスの部分構造となることから、本研究は複雑なトポロジーをもつナノカーボンの精密合成に道を拓く成果である。

Figure and Note

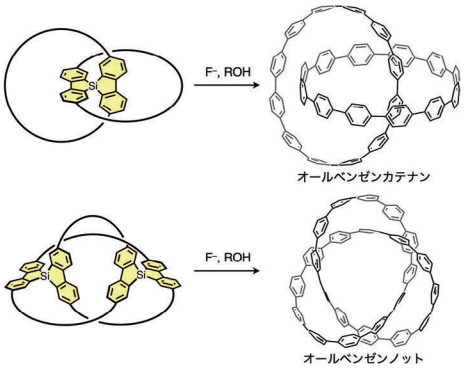


図1：トポロジカル分子ナノカーボンの合成戦略

ケイ素原子は、アルコール溶媒中でフッ化物イオンを作用させることで取り外すことができる。われわれは今回これを仮留め部位として用いるアイデアで、ベンゼンのみからなるカテナンやノットの合成に成功した。

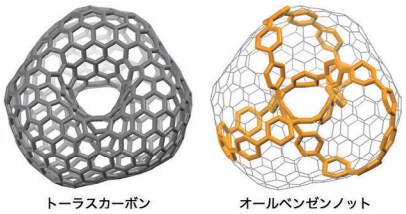
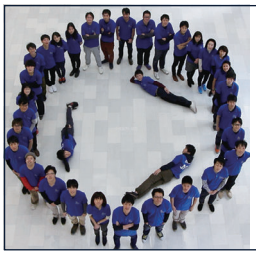


図2：トーラスカーボンとオールベンゼンノットの構造的関係性

今回合成したオールベンゼンノットは、トーラスカーボンの周囲を這わせることができるトポロジーをもつ。



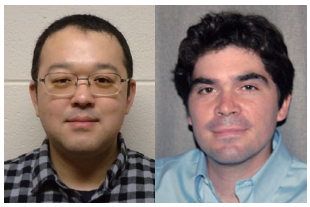
世界を変える分子をめざして

分子には科学・技術のあり方を変え、ひいては社会をも変容させる力があります。われわれの夢は、合成化学の力を結集させてトランスフォーマティブ分子を世に送り出すことです。この究極のゴールを念頭に、われわれ伊丹研究室は、触媒が拓く新合成化学を基軸としたものづくり研究を行っています。

Science 7月26日号 Report
Science 26 Jul 2019: Vol. 365, Issue 6451, pp. 377-381
DOI: 10.1126/science.aat0348

磁気ノーダル半金属の特異角度依存磁気抵抗

Singular angular magnetoresistance in a magnetic nodal semimetal



左から鈴木 健士、
Joseph G. Checkelsky

鈴木 健士 *Takehito Suzuki*
Research Scientist, Department of Physics, Massachusetts Institute of Technology

Joseph G. Checkelsky
Associate professor, Department of Physics, Massachusetts Institute of Technology

Lucile Savary[1,2,3] Jianpeng Liu[2,4] Jeffrey W. Lynn[5] Leon Balents[2]

[1] Department of Physics, Massachusetts Institute of Technology
[2] Kavli Institute for Theoretical Physics, University of California, Santa Barbara
[3] Université de Lyon, École Normale Supérieure de Lyon, Université Claude Bernard Lyon I, CNRS, Laboratoire de Physique
[4] Department of Physics, The Hong Kong University of Science and Technology
[5] NIST Center for Neutron Research, National Institute of Standards and Technology

Contact
鈴木 健士 **E-mail**：takehito@mit.edu
所在地：Department of Physics, Massachusetts Institute of Technology, 77 Massachusetts Avenue, Bldg. 13-2030, Cambridge, MA 02139, USA

磁場印加方向に対し鋭い応答を示す角度磁気抵抗効果の発見

「物質が示す電気の流れやすさは、磁石が作り出す磁場の影響を受けて変化する」。この基本的な性質は、磁気センサーやメモリーといった種々のスピントロニクスデバイスに応用されている。通常は、物質に対して磁場をかける方向を変えると、その変化に対して電気抵抗率も滑らかに変化するが、希土類セリウム、アルミニウム、ゲルマニウム、シリコンからなる化合物CeAl(Ge,Si)では、物質の特定の方向に磁場が向いた時のみ電気抵抗が増大することを本研究で明らかにした（図1）。この「特定の方向」は、物質の構成要素が微視的にどのように並んでいるか（対称性）によって決まっており、この方向に磁場を印加した場合だけ、図2に示すような磁気的なドメインが生成される。さらに、生成されたドメインの境界では、CeAl(Ge,Si)が持つ電子の性質に起因して巨大な電気抵抗を生じるため、図1で観測されたような磁場印加方向に対し鋭い感度を持つ電気抵抗が発現する。ここで明らかにした特異的な角度感度を持つ電気抵抗変化のメカニズムは一般の物質群にも適用可能であり、本研究に基づくさらなる材料開発は、新しいタイプの高感度磁気センサー開発をはじめとするスピントロニクス分野への応用に繋がると期待できる。

Figure and Note

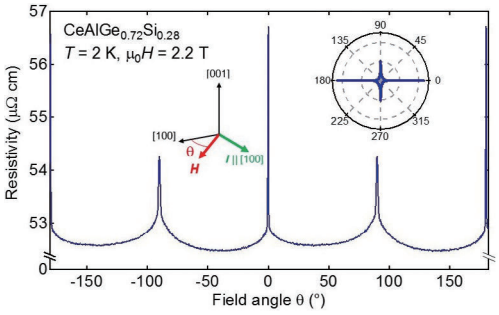


図1：$CeAlGe_{0.72}Si_{0.28}$における特異的角度磁気抵抗効果

磁場印加方向を変化させながら電気抵抗を測ると、結晶の高対称な方向に対応する角度（図中の-180、-90、0、90、180°）において電気抵抗率が半値全幅1°未満の急峻な増大を示す。

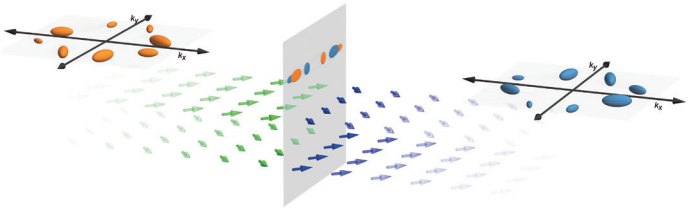
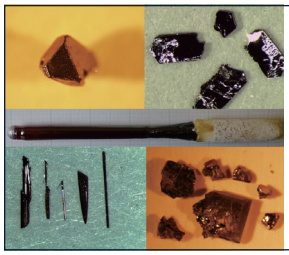


図2：特異的角度磁気抵抗効果の起因となる磁気ドメイン構造

結晶の高対称な方向に磁場を印加する際に現れる磁気ドメイン構造。ドメインの境界は電気を流しにくい性質を持つ。磁場印加方向が高対称な方向からずれると、一方のドメインが選択され、ドメイン境界が消失する。



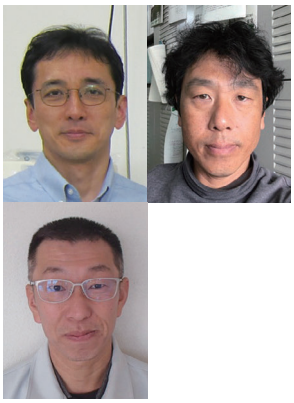
結晶育成と物性測定の協奏的研究

固体物理学・化学では、周期律表中の元素から構成される、無数の物質が研究の対象となり、そこには無限の可能性が広がっています。その中で、自分の面白いと思うアイディアを実現する物質を自らの手で創り出し、さらに、様々な手法を用いてアイディアを実証する「結晶育成と物性測定の協奏的研究」は、挑戦的ではありますが、それ以上に魅力的な研究です。

Science 7月26日号 Report
Science 26 Jul 2019: Vol. 365, Issue 6451, pp. 393-396
DOI: 10.1126/science.aax0379

β-トリケトン系除草剤に対して広範囲の耐性を与えるイネの遺伝子

A rice gene that confers broad-spectrum resistance to β-triketone herbicides



上左から戸澤 譲、前田 英郎、村田 和優

戸澤 譲 *Yuzuru Tozawa*
埼玉大学大学院 理工学研究科 戦略的研究部門 グリーン・環境領域 教授

前田 英郎 *Hideo Maeda*
農業・食品産業技術総合研究機構 次世代作物開発研究センター 稲育種ユニット長

村田 和優 *Kazumasa Murata*
富山県農林水産総合技術センター 副主幹研究員

佐久間 望[1] 武井 里美[1] 山崎 明彦[2] Md. Rezaul Karim[3,†] 川田 元滋[4] 廣瀬 咲子[4]
川岸 万紀子[4,‡] 谷口 洋二郎[4] 鈴木 悟[2] 関野 景介[2] 大島 正弘[4] 加藤 浩[3] 吉田 均[4]

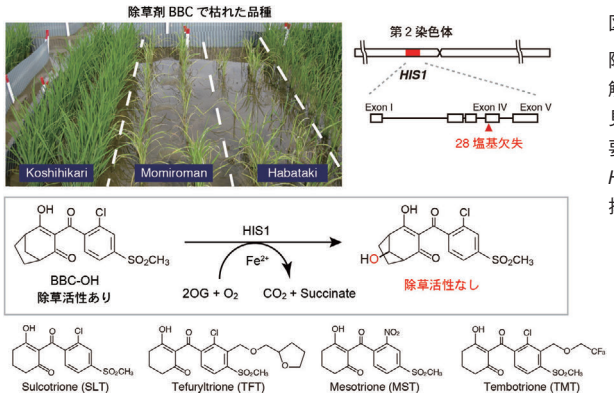
[1] 埼玉大学大学院 理工学研究科
[2] 株式会社エス・ディー・エスバイオテック つくば研究所
[3] 農業・食品産業技術総合研究機構 次世代作物開発研究センター
[4] 農業・食品産業技術総合研究機構 生物機能利用研究部門
[†] 現 Bangladesh Agricultural University
[‡] 現 農業・食品産業技術総合研究機構 野菜花き研究部門

Contact
戸澤 譲 **E-mail**：tozawa@mail.saitama-u.ac.jp
所在地：338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255
U R L：http://park.saitama-u.ac.jp/~tozawa/protein_sci_res_unit_home.html
前田 英郎 **E-mail**：maemae@affrc.go.jp
所在地：305-8518 茨城県つくば市観音台2-1-2
村田 和優 **E-mail**：kazumasa.murata@pref.toyama.lg.jp
所在地：939-8153 富山県富山市吉岡1124-1

日本型（ジャポニカ）イネ自体が持つ除草剤抵抗性遺伝子

水稲用の除草剤はイネを枯らさないはずが、東南アジア由来の特定品種と交配して作り出したいくつかの品種は除草剤に弱い性質を示した。この発見に基づいて始めた研究により、日本の在来品種には除草剤に抵抗性を与える遺伝子があることがわかり、われわれは、この遺伝子 *HIS1*（*4-HPPD INHIBITOR SENSITIVE 1*）を同定し、この *HIS1* ひとつで少なくとも5種類の除草剤への抵抗性を植物に与えることができることを明らかにした。さらに、HIS1タンパク質が鉄イオンを利用する酵素触媒機能で、この5種類の除草剤を水酸化修飾して無毒化することを明らかにした。*HIS1* 遺伝子はこれを持たないイネ品種には通常の交配育種で、その他の植物には形質転換で遺伝子を導入することが可能であり、除草剤抵抗性植物の育種開発に幅広く利用できる。

Figure and Note



図：日本型イネから発見された除草剤抵抗性遺伝子 *HIS1*

除草剤ベンゾビシクロン（BBC）で枯れてしまう品種の出現を契機として、遺伝子解析によりBBC抵抗性／感受性を決める *HIS1* 遺伝子がイネの第２染色体から見つかった。この遺伝子は２オキソグルタル酸（2OG）と二価鉄イオン（Fe^{2+}）を必要とする酸化酵素で、BBCを水酸化することで無毒化することが明らかとなった。*HIS1* 遺伝子を発現する植物は、BBCの他に、ここに示す４種類の除草剤にも抵抗性を獲得できることが明らかにされた。

作物が潜在的に持つ遺伝子資源の有用性を引き出す

この研究は、国と県の研究機関、大学、企業の共同研究により、行われてきました。力を結集した努力が実った時の喜びは格別です。今後も、イネなどの作物が持つ潜在的な力を引き出し、育種などを通じて基礎研究の成果を農業の生産現場に活用していきたいと考えています。

Science 09 Aug 2019: Vol. 365, Issue 6453, eaaw5202
DOI: 10.1126/science.aaw5202

知覚認知を惹起する大脳皮質の層特異的な神経ダイナミクス

Cortical layer–specific critical dynamics triggering perception

上左から加藤 英明、井上 昌俊、吉澤 晋

加藤 英明 *Hideaki E. Kato*
Postdoctoral fellow, Department of Molecular and Cellular Physiology, Stanford University
（現 東京大学大学院 総合文化研究科 先進科学研究機構 准教授）

井上 昌俊 *Masatoshi Inoue*
Postdoctoral research fellow, Department of Bioengineering, Stanford University

吉澤 晋 *Susumu Yoshizawa*
東京大学大学院 新領域創成科学研究科 自然環境学専攻 准教授

James H. Marshel[1] Yoon Seok Kim[2] Timothy A. Machado[1,2] Sean Quirin[1] Brandon Benson[3] Jonathan Kadmon[3] Cephra Raja[2] Adelaida Chibukhchyan[2] Charu Ramakrishnan[2] Janelle C. Shane[4] Douglas J. McKnight[4] Surya Ganguli[3] Karl Deisseroth[1,2,5,6]

[1] CNC Department, Stanford University
[2] Department of Bioengineering, Stanford University
[3] Department of Applied Physics, Stanford University
[4] Boulder Nonlinear Systems
[5] Department of Psychiatry and Behavioral Sciences, Stanford University
[6] Howard Hughes Medical Institute, Stanford University

Contact

加藤 英明 **E-mail**：hekato@bio.c.u-tokyo.ac.jp
所在地：153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1
U R L：http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/hekato_lab/index.html

井上 昌俊 **E-mail**：minoue2@stanford.edu
所在地：1291 Welch Road, Stanford, CA 94305, USA
U R L：https://researchmap.jp/m_inoue/

吉澤 晋 **E-mail**：yoshizawa@aori.u-tokyo.ac.jp
所在地：277-8564 千葉県柏市柏の葉5-1-5
U R L：https://sites.google.com/edu.k.u-tokyo.ac.jp/susumu-yoshizawa/home

新規チャネルロドプシンChRmineが可能にした全光型電気生理学

電極を用いて神経細胞を発火させ、神経活動を記録するのが従来の電気生理学だとすると、光で開閉する陽イオンチャネルロドプシンの発見は、光による神経細胞の活動制御という新しい領域を切り開いた。一方、神経活動に伴い細胞内Ca^{2+}濃度が上昇する性質を利用し、神経活動を蛍光強度の変化として捉える GCaMPなどのCa^{2+}センサーが開発された。この二つの技術を組み合わせることで、光によって神経細胞の興奮制御、活動記録の両方を可能としたのがall-optical electrophysiology（全光型電気生理学）である。本研究では、自然界に存在する海洋微生物から、この全光型電気生理学実験に適した新規のチャネルロドプシンChRmineを発見し、それをGCaMP6mやmulti-SLMを用いたホログラフィー技術と組み合わせることで、100個以上の神経細胞を1細胞単位で同時刺激、観察する手法を開発した。この技術を用い、マウスが縦縞模様や横縞模様を見たときに反応する神経細胞を記録し、「反応した神経細胞のうち20個程度の細胞を光によって興奮させることで、縞模様を見たときと同様の反応を惹起できること」などを見出した。

Figure and Note

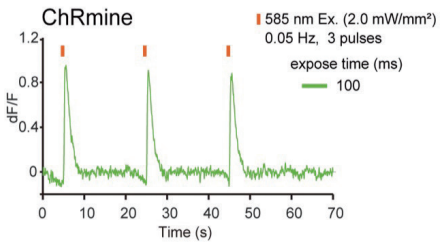


図1：ChRmine、GCaMP6mを用いた全光型電気生理学
初代培養神経細胞を用いた全光型電気生理学実験。585nmの光でChRmineを活性化し、488nmの光でGCaMP6mを記録し、神経細胞の興奮をGCaMP6mの蛍光強度変化で捉えている。

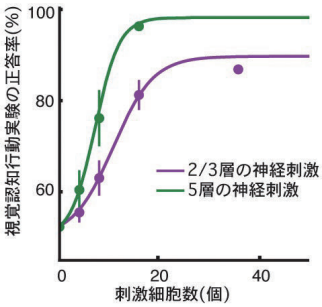
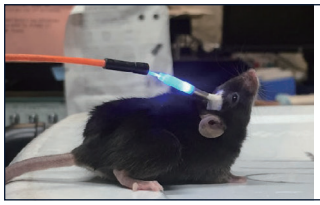


図2：視覚認知の惹起に必要な神経細胞数の解析
全光型電気生理学を用いてマウスの視覚認知反応を惹起するのに必要な大脳皮質の神経細胞数を皮質層別に解析した。第5層なら20個程度の細胞刺激でほぼ100%の反応を惹起可能ということがわかる。



光遺伝学のこれから

2005年より始まった光遺伝学ですが、ツールの中核であるチャネルロドプシン、光刺激に必要な光学系、神経活動計測に必要な測定系の発展により、われわれは神経細胞の活動を1細胞レベル、ミリ秒単位で制御、観測することが可能になりつつあります。しかし、一方で細胞内の微小構造レベルでの活動制御や、光による電位以外のパラメータ操作を可能にする技術開発などには依然として改良の余地が多く残されています。光遺伝学の発展はまだまだこれからです。

Science 16 Aug 2019: Vol. 365, Issue 6454, pp. 664-668
DOI: 10.1126/science.aav8137

天の川銀河の中心にある超大質量ブラックホールを周回する恒星S0-2の相対論的赤方偏移

Relativistic redshift of the star S0-2 orbiting the Galactic Center supermassive black hole

酒井 彰子 *Shoko Sakai*
Assistant Research Astronomer, Department of Physics and Astronomy, University of California, Los Angeles
Tuan Do[1] Aurelien Hees[1,2] Andrea Ghez[1] Gregory D. Martinez[1] Devin S. Chu[1] Siyao Jia[3] Jessica R. Lu[3] et al.
[1] Department of Physics and Astronomy, University of California, Los Angeles
[2] Sytèmes de Référence Temps Espace, Observatoire de Paris, Université Paris-Sciences-et-Lettres, Centre National de la Recherche Scientifique, Sorbonne Université, Laboratoire National de Métrologie et d'Essais
[3] Department of Astronomy, University of California, Berkeley
全著者リスト：https://science.sciencemag.org/content/365/6454/664.full
Contact **E-mail**：shoko@astro.ucla.edu **所在地**：475 Portola Plaza, Los Angeles, CA 90095, USA

Measuring the effects of gravity near a Supermassive Black Hole

The behavior of objects in space and time deviates from the Newtonian description, especially near extremely dense objects, such as supermassive black holes (SMBH). In 2018, a star S0-2 approached extremely close to the 4-million solar mass supermassive black hole at the center of our Milky Way Galaxy, allowing us to test the theory of General Relativity. Using the Keck 10m Telescopes on Mauna Kea, we have been measuring the highly eccentric 16-year orbit of the star S0-2 since 1995. At its closest approach, this star came within 120 AU of the SMBH, corresponding to about 1,000 times the black hole's event horizon, with a velocity reaching 2.7% of the speed of light. As S0-2 approached near the SMBH, the light it emitted had to propagate through the curved space-time to reach us; it needed to "climb out" of the gravitational potential well, losing energy, resulting in a gravitational redshift that is independent of the Doppler effect.

During the pericenter passage in 2018, the difference between S0-2's orbit described by Newtonian versus Einsteinian gravity was significantly larger than the measurement uncertainty, offering a key new test of Einstein's Theory of General Relativity. We detected the combination of special relativistic- and gravitational-redshift. Our result is consistent with General Relativity and excludes a Newtonian model.

Figure and Note

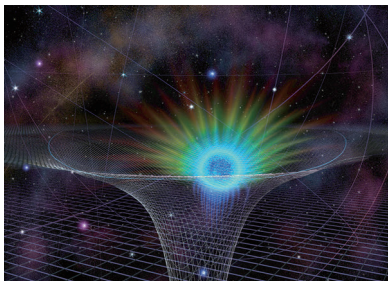


図1：Artist's rendering of S0-2

A star known as S0-2 (the blue and green object in this artist's rendering) made its closest approach to the supermassive black hole at the center of the Milky Way in 2018.

Credit：Nicolle Fuller/National Science Foundation.

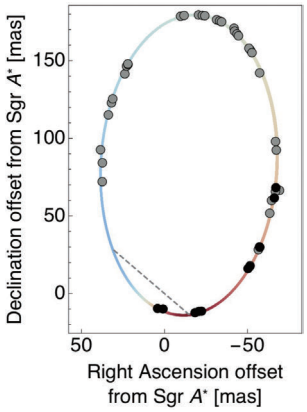


図2：Orbit of S0-2 around the supermassive black hole

Astrometric measurements of the short-period star S0-2 in orbit around the SMBH (Sgr A*) overlain with our best-fitting projected orbit in the plane of the sky. The origin of the coordinate system coincides with the fitted SMBH center of mass.

Black circles, new observations; dark gray circles, rederived measurements.

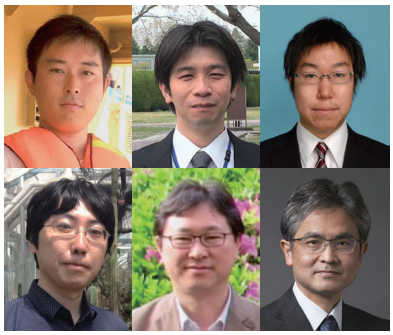
UCLA銀河系中心部研究グループ

われわれのグループは1994年にアンドレア・ゲズ教授によって立ち上げられました。主にW.M.ケック天文台の10m望遠鏡を使った観測により、銀河系中心部にあるブラックホールの研究をしています。この25年で数十人の大学院生、ポスドクがグループに所属しました。今回の一般相対性理論の研究には25年間にわたる観測データは不可欠な要素でしたが、すばる望遠鏡のデータも使われました。この先30m級望遠鏡も含め、さらに解像度の高い観測に期待しています。

Science 8月23日号 Report
Science 23 Aug 2019: Vol. 365, Issue 6455, pp. 808-813
DOI: 10.1126/science.aax5618

S-net海底観測網が明らかにした日本海溝のスロー地震分布

The slow earthquake spectrum in the Japan Trench illuminated by the S-net seafloor observatories



上左から西川 友章、松澤 孝紀、太田 和晃
下左から内田 直希、西村 卓也、井出 哲

西川 友章 *Tomoaki Nishikawa*
京都大学防災研究所附属地震予知研究センター 学振特別研究員

松澤 孝紀 *Takanori Matsuzawa*
防災科学技術研究所 地震津波火山ネットワークセンター 主任研究員

太田 和晃 *Kazuaki Ohta*
京都大学防災研究所附属地震予知研究センター 特任助教
（現 防災科学技術研究所 地震津波火山ネットワークセンター 特別研究員）

内田 直希 *Naoki Uchida*
東北大学大学院 理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター 准教授
東北大学 災害科学国際研究所 准教授

西村 卓也 *Takuya Nishimura*
京都大学防災研究所附属地震予知研究センター 准教授

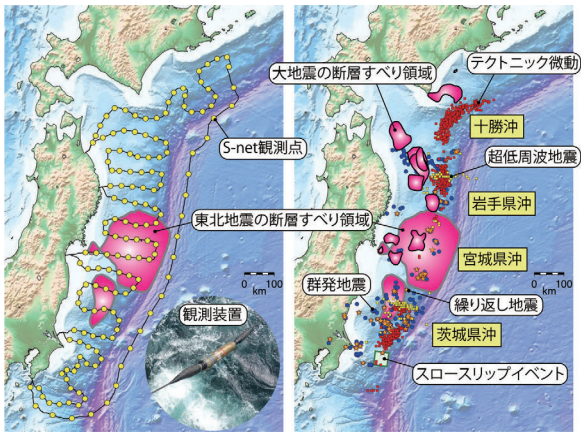
井出 哲 *Satoshi Ide*
東京大学大学院 理学系研究科 地球惑星科学専攻 教授

Contact
西川 友章 **E-mail**：nishikawa.tomoaki.68s@st.kyoto-u.ac.jp
所在地：611-0011 京都府宇治市五ケ庄
U R L：https://sites.google.com/site/tomoakinishikawahomepage/

日本海溝の詳細なスロー地震分布図を作成

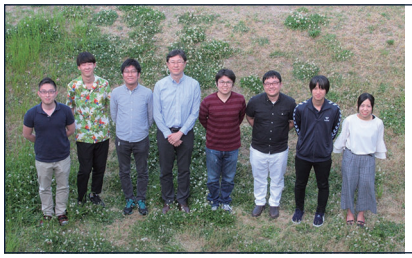
スロー地震は普通の地震と比べて極めてゆっくりと断層がすべる現象で、海溝型巨大地震発生領域の近くで発生する。そのためスロー地震と巨大地震の関係が盛んに研究されてきた。一方、2011年東北地方太平洋沖地震（以下、東北地震）が発生した日本海溝では、詳細なスロー地震分布や、スロー地震と東北地震の関係は明らかではなかった。本研究は、2016年に運用を開始した防災科学技術研究所の日本海溝海底地震津波観測網（S-net）や、陸域の多数の地震・測地観測網を駆使し、3種類のスロー地震（テクトニック微動、超低周波地震、スロースリップイベント）と、スロー地震発生の目印となる二種類の地震現象（繰り返し地震、群発地震）を検出した（図）。これにより、日本海溝の詳細なスロー地震分布図を初めて作成した。また、東北地震の断層すべりが大きかった宮城県沖ではスロー地震が少ない一方、すべりが小さかった岩手県・茨城県沖ではスロー地震が多発していることがわかった。これは、岩手県・茨城県沖のスロー地震多発領域が東北地震のすべりを妨げたことを示唆する。また、東北地震以外の日本海溝沿いの過去の大地震でもスロー地震多発領域はすべりが小さく、スロー地震多発領域が大地震のすべりを妨げる可能性がさらに支持された。

Figure and Note



図：日本海溝海底地震津波観測網（S-net）の観測点分布（左）と日本海溝のスロー地震分布（右）

赤紫色の領域は東北地震の断層すべり領域（Iinuma, T. et al., *J. Geophys. Res.* 117, B07409（2012）により推定）と、1930年以降の大地震の断層すべり領域（Yamanaka, Y. & Kikuchi, M., *Earth, Planets and Space* 55, e21-e24（2003）およびYamanaka, Y. & Kikuchi, M., *J. Geophys. Res.* 109, B07307（2004）により推定）。その他のシンボルは図中の説明を参照。S-netの観測装置の画像は防災科学技術研究所提供。



京都大学防災研究所 地震予知研究センター
海溝型地震研究領域（西村グループ）

当グループでは、GNSS（GPS）やSAR等の測地学的手法によって観測された地殻変動データを用いて、日本や世界の地下で生じる地震やスロースリップイベントなどの断層運動、プレート運動や内陸のひずみ集中帯などのテクトニクスの理解を深める研究をしています。また、測地観測データに加え、種々の地震観測データも用いることで、地殻変動と地震活動・スロー地震活動の関係の解明にも取り組んでいます。地殻変動を通して、地球内部で起こっている現象をあなたの手で解明してみませんか？ 一緒に研究できる学生の皆さんを募集しています。

スロー地震ってなんだ?

京都大学防災研究所附属地震予知研究センター 学振特別研究員　西川 友章

速い地震と遅い地震

地震とは地下の断層がすべる(ずれ動く)現象です。一口にすべるといってもすべり方は様々です。断層のすべり方にもとづき、地震には大きく分けて2種類あります。私たちのよく知る普通の地震(速い地震)とスロー地震(遅い地震)です。普通の地震は断層が1秒に1m程度の速さですべりますが、スロー地震はそれよりずっと遅い速さですべります。例えば、スロー地震の一種であるスロースリップイベントは1日に1cm程度の速さですべります。これは普通の地震のおよそ1,000万分の一の速さです。身近なもので例えると、カタツムリの動く速さ(1秒に1cm)のおよそ10万分の一の速さです。

スロー地震と巨大地震の複雑な関係

スロー地震はあまりに遅いため、人はその揺れを感じません。高感度の地震計や数mm単位の地殻変動観測でやっと見つけることができます。ではなぜ、そんな無害な地震を研究する必要があるのでしょうか? それは、スロー地震が巨大地震と関係しているからです。巨大地震が懸念される南海トラフ沿いのプレート境界断層では、巨大地震発生領域の浅い側と深い側でスロー地震が頻繁に発生しています(図)。このスロー地震は主に3つの仕方で巨大地震と関係すると私は考えています。1つ目は、スロー地震が巨大地震を誘発するというもの。巨大地震発生領域の近くでスロー地震がおこると巨大地震発生領域に余計な力が加わります。力が限界を超えると巨大地震が誘発されます。2つ目は、巨大地震の前兆現象としてスロー地震が発生するというもの。断層すべりの実験や理論の研究から、巨大地震前には巨大地震発生領域の断層がゆっくりとすべり始めると考えられています。この巨大地震前のゆっくりとした断層すべりがスロー地震として観測される可能性があります。3つ目は、スロー地震発生領域が巨大地震の断層すべり領域の拡大を妨げるというもの。スロー地震の物理メカニズムの研究には、スロー地震発生領域の断層は速いすべりを妨げ、遅いすべりを促す性質をもつという説があります。これが正しいなら、巨大地震の発生時、スロー地震発生領域は巨大地震の速いすべりを妨げ、断層すべり領域の大きさを制限します。

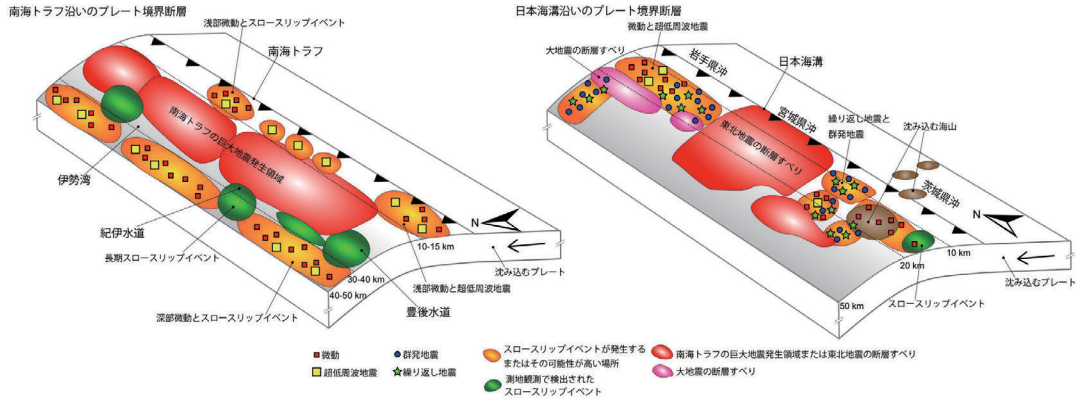


図:南海トラフ・日本海溝沿いのプレート境界断層の様子

それぞれのシンボルは図中の凡例を参照。微動、超低周波地震、スロースリップイベントはスロー地震の一種。
群発地震と繰り返し地震はスロー地震発生の目印となる地震。

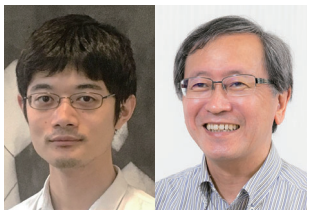
スロー地震活動を徹底的に解明する

スロー地震と巨大地震の関係はとても複雑で、地震学者の中にも論争や混乱が絶えません。この複雑な関係をさらに深く理解するにはどうすればいいでしょうか? 私は、世界のいつどこでスロー地震が起こったか徹底的に解明することが重要だと思っています。膨大な観測データがあって初めて、スロー地震と巨大地震の複雑な関係が整理できるでしょう。そのような深い理解の先に巨大地震の予測可能性が見えてくるかもしれません。私たちは、その手始めに日本海溝のスロー地震活動の全容を多数の地震・地殻変動観測網を駆使し明らかにしました(図)。スロー地震発生領域が日本海溝沿いの大地震の断層すべり領域の拡大を妨げている可能性も明らかになりました。スロー地震はまだまだ謎だらけです。このコラムを読んだ皆さんが将来のスロー地震ハンターとなり、多くの謎を解き明かすことを期待します。

Science 8月30日号 Report
Science 30 Aug 2019: Vol. 365, Issue 6456, pp. 914-918
DOI: 10.1126/ science.aau0968

フラストレートした三角格子磁性体における巨大なトポロジカルホール効果を示すスキルミオン格子

Skyrmion lattice with a giant topological Hall effect in a frustrated triangular-lattice magnet



左から車地 崇、十倉 好紀

車地 崇 *Takashi Kurumaji*
理化学研究所 創発物性科学研究センター 強相関物性研究グループ 客員研究員
(現 Postdoctoral Fellow, Department of Physics, Massachusetts Institute of Technology)

十倉 好紀 *Yoshinori Tokura*
理化学研究所 創発物性科学研究センター センター長 / 強相関物性研究グループ グループディレクター
東京大学大学院 工学系研究科 物理工学専攻 先端物質創成 卓越教授

中島 多朗[1] Max Hirschberger[1] 吉川 明子[1] 山崎 裕一[1,2,3] 佐賀山 基[4] 中尾 裕則[4]
田口 康二郎[1] 有馬 孝尚[1,5]

[1] 理化学研究所 創発物性科学研究センター
[2] 物質・材料研究機構 統合型材料開発・情報基盤部門 材料データ科学グループ
[3] 科学技術振興機構 さきがけ
[4] 高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 放射光科学第一研究系 / 構造物性研究センター
[5] 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 物質系専攻

Contact

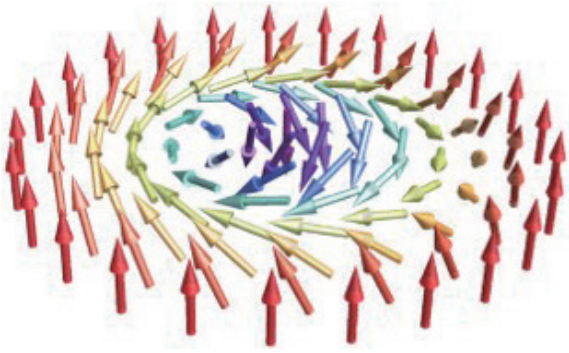
車地 崇 **E-mail**：kurumaji@mit.edu
所在地：77 Massachusetts Avenue, Cambridge, MA 02139, USA
U R L：http://checkelsky.mit.edu/contact/

十倉 好紀 **E-mail**：tokura@riken.jp
所在地：351-0198 埼玉県和光市広沢2-1
U R L：https://cems.riken.jp/jp/

磁気スキルミオンを新しいメカニズムによって生み出すことに成功

磁気スキルミオンとは磁石の中に現れる、スピン(ミクロな棒磁石)の渦状の配列状態(図)である。渦の中心から外縁に行くにしたがってスピンの向きが連続的に変化しており、位相幾何学(トポロジー)的に非自明な量子数で特徴づけられる。これにより磁気渦一つ一つを粒子のように扱うことが可能となり、磁気スキルミオンの有無を情報ビットとして符号化する磁気メモリやスピントロニクス素子としての応用が世界中から注目されている。これまでの研究では結晶の内部構造や表面・界面構造の特殊性により生じるわずかな効果を利用して磁気スキルミオンを安定化させるアプローチがなされてきた。今回われわれは、スピン同士の相互作用のもつれあい状態、磁気フラストレーションという全く新しいメカニズムを利用して従来よりも小さな磁気スキルミオンを発現する物質を発見した。またその物質では電子が磁気スキルミオンとの相互作用によって受ける量子効果(トポロジカルホール効果)もこれまでのスキルミオン物質より格段に大きいことも実証した。この新しい発現機構を利用することで高集積密度・検出感度のスピントロニクスデバイスの開発に発展していくことが期待できる。

Figure and Note



図：磁気スキルミオンのスピン構造

矢印はそれぞれ磁石の中のスピンの方向の分布を表している。これは中心付近のスピンの向きを不連続にひっくり返さないと壊せない(トポロジカルに安定な)スピン構造であり、一つの粒子とみなすことができる。

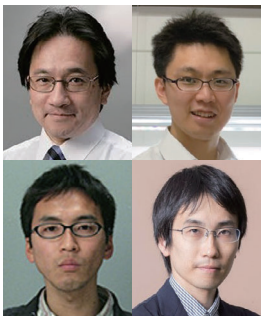
理化学研究所 創発物性科学研究センター 強相関物性研究グループ

理化学研究所 創発物性科学研究センター 強相関物性研究グループでは強相関電子系が示す驚くべき創発物性を開拓し、その機能発現の学理を構築することを目指しています。高温超伝導体、超巨大磁気抵抗物質、マルチフェロイクス、トポロジカル絶縁体、スキルミオン系物質を研究対象とし、それらに発現する非自明なスピン・軌道・電荷構造と電子の電気輸送特性、電気磁気特性、光学特性などとの相関を明らかにします。

Science 9月13日号 Research Article
Science 13 Sep 2019: Vol. 365, Issue 6458, pp. 1149-1155
DOI: 10.1126/science.aay3353

クライオEM構造によってとらえられたP4-ATPaseフリッパーゼの輸送サイクル

Cryo-EM structures capture the transport cycle of the P4-ATPase flippase



上左から濡木 理、平泉 将浩
下左から西澤 知宏、山下 恵太郎

濡木 理 *Osamu Nureki*
東京大学大学院 理学系研究科 生物科学専攻 生物化学講座 構造生命科学研究室 教授
平泉 将浩 *Masahiro Hiraizumi*
東京大学大学院 理学系研究科 生物科学専攻 生物化学講座 構造生命科学研究室
田辺三菱製薬 創薬本部 創薬基盤研究所 研究員
西澤 知宏 *Tomohiro Nishizawa*
東京大学大学院 理学系研究科 生物科学専攻 生物化学講座 構造生命科学研究室 助教
山下 恵太郎 *Keitaro Yamashita*
東京大学大学院 理学系研究科 生物科学専攻 生物化学講座 構造生命科学研究室 助教
理化学研究所 放射光科学研究センター 客員研究員

Contact
濡木 理 **E-mail**：nureki@biochem.s.u-tokyo.ac.jp
所在地：113-0033 東京都文京区本郷7-3-1 理学部1号館東棟5階583
U R L：http://www.nurekilab.net/

クライオ電子顕微鏡により明らかになったP4-ATPaseのリン脂質輸送機構

われわれの研究内容は、クライオ電子顕微鏡解析という微小な物質を見る手法によって、生命機能に重要なリン脂質という物質が運ばれる仕組みを明らかにしたというものである。もう少し詳しく述べると、図1に示すように細胞は2層のリン脂質の膜で覆われており、この2層の脂質の膜は外側と内側で成分が異なる。この違いがシグナル伝達などの生命機能に重要なこと、およびこの違いが、P4-ATPaseというタンパク質がホスファチジルセリン（PS）と呼ばれる特定のリン脂質を外側から内側へ運ぶことで維持されていることは知られていたが（図1）、P4-ATPaseがどのような仕組みで脂質を運ぶかは不明であった。今回の研究では、クライオ電子顕微鏡解析によってリン脂質を運ぶ過程の複数の状態を見ることで、P4-ATPaseが細胞外側から細胞質側へPSを運ぶ仕組みを明らかにした（図2）。P4-ATPaseに異常がありリン脂質が正常に運ばれないと代謝・神経疾患になることが知られており、今回の研究成果はこれら疾患の解明につながると期待される。

Figure and Note

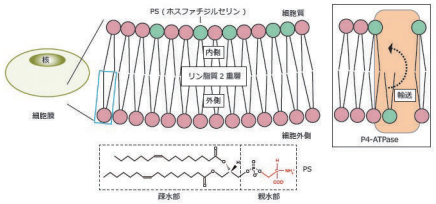


図1：細胞を覆う2層の脂質の膜とP4-ATPaseによる脂質輸送

生体膜はリン脂質2重層によって形成される。細胞外側と細胞質側は異なるリン脂質によって形成され、シグナル伝達に関与する。とくにホスファチジルセリン（PS）を細胞質側に輸送する仕組みが存在し、P4-ATPaseがその役割を担う。

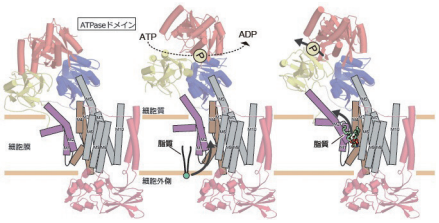
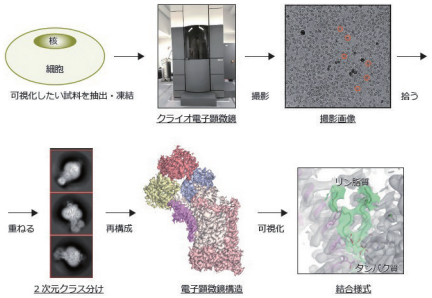


図2：P4-ATPaseによるリン脂質の輸送メカニズム

P4-ATPaseは、細胞質のATPaseドメイン内のATP加水分解に共役したリン酸化と脱リン酸化による構造変化が膜貫通ヘリックス（M1、M2）へ伝わることでリン脂質への親和性を変化させ、リン脂質の輸送を可能にする。



クライオ電子顕微鏡による創薬標的探索の強化

クライオ電子顕微鏡は、液体窒素温度でタンパク質などの生体分子に対して電子線を照射し、試料の観察を行うための装置です。近年検出器などにおいて目覚ましい技術革新を遂げており、X線結晶構造解析では難しかった巨大膜タンパク質や超複合体の立体構造を高分解能で決定する手法として用いられています。本手法を用いることで、これまで明らかにされていなかった病気に関連するタンパク質の構造を原子レベルで明らかにすることができ、創薬標的の探索がさらに加速することが期待されます。

Science 9月20日号 Report
Science 20 Sep 2019: Vol. 365, Issue 6459, pp. 1308-1313
DOI: 10.1126/science.aax9238

REM睡眠で活性化する視床下部のメラニン凝集ホルモン含有ニューロンは海馬を抑制して積極的に記憶を忘却させる

REM sleep-active MCH neurons are involved in forgetting hippocampus-dependent memories

左から伊澤 俊太郎、山中 章弘

山中 章弘 *Akihiro Yamanaka*
名古屋大学 環境医学研究所 神経系分野2 教授
名古屋大学大学院 医学系研究科 器官系機能調節学(協力) 神経性調節学 教授
科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業(CREST)研究代表者

伊澤 俊太郎 *Shuntaro Izawa*
名古屋大学 環境医学研究所 神経系分野2
名古屋大学大学院 医学系研究科 器官系機能調節学(協力) 神経性調節学
科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業(CREST)/日本学術振興会 特別研究員

Srikanta Chowdhury[1,2,3] 宮崎 杜夫[1,2,3,4] 向井 康敬[1,2,3,4] 小野 大輔[1,2,3] 井上 峻[1,2] 大村 優[5] 溝口 博之[6]
木村 和弘[7] 吉岡 充弘[5] 寺尾 晶[7,8] Thomas S. Kilduff[9]

[1] 名古屋大学 環境医学研究所 神経系分野2
[2] 名古屋大学大学院 医学系研究科 器官系機能調節学(協力) 神経性調節学
[3] 科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業(CREST)
[4] 日本学術振興会 特別研究員
[5] 北海道大学大学院 医学研究院 薬理学分野 神経薬理学教室
[6] 名古屋大学 環境医学研究所 次世代創薬研究センター
[7] 北海道大学 大学院獣医学研究院 生化学教室
[8] 東海大学 生物学部
[9] Center for Neuroscience, Biosciences Division, SRI International

Contact 山中 章弘 **E-mail**：yamank@riem.nagoya-u.ac.jp **所在地**：464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町

メラニン凝集ホルモン産生神経がレム睡眠中に記憶を消去することを同定

今回脳のメラニン凝集ホルモン産生神経(MCH神経)がレム睡眠中に記憶を消去していることを明らかにした。これまでの研究から、MCH神経が摂食行動や睡眠覚醒の調節に関わっていることはわかっていたが、記憶への影響は不明であった。そこで、特定神経活動を操作可能な光遺伝学や化学遺伝学を用いた神経活動操作と、光を用いた特定神経活動の記録法を用いて、MCH神経の生理的役割について明らかにすることを試みた。まず、超小型顕微鏡を用いた行動中マウスの脳内MCH神経活動の記録を適用して、MCH神経活動記録を行うと、MCH神経にはレム睡眠中に活動するもの、覚醒中に活動するもの、レム睡眠と覚醒中の両方で活動するものの3種類があることがわかった。さらに、光遺伝学や化学遺伝学を用いて、MCH神経活動が記憶に重要な海馬の神経活動を抑制すること、さらにレム睡眠中に活動するMCH神経が記憶を消去していることを明らかにした。

私たちの睡眠リズムは、ノンレム睡眠とレム睡眠を繰り返すのが一般的であるが、レム睡眠中に活動するMCH神経は、目覚める直前の夢の内容をすぐに忘れさせる一因として働いている可能性がある。この仕組みの応用によって、トラウマとして残っている恐怖心や怖い体験などの記憶を消去することで、心的外傷後ストレス障害(PTSD)を治療する臨床応用への貢献が期待される。

Figure and Note

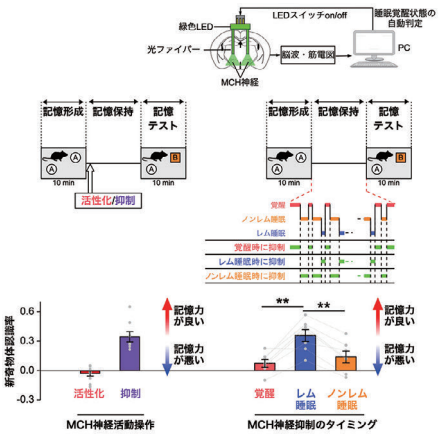


図1：MCH神経の活動操作が記憶に与える影響

MCH神経活動を活性化させると新奇物体認識の記憶が悪くなり、抑制すると記憶が良くなった。MCH神経に緑の光で神経活動を抑制する分子を発現させ、記憶の保持時に光遺伝学を用いて脳の状態依存的に抑制したところ、レム睡眠時に抑制した時だけ記憶が向上した。

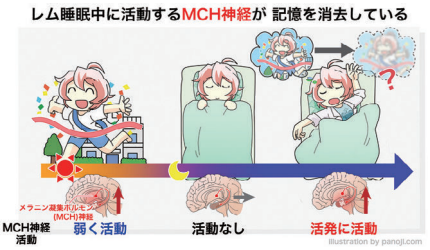


図2：レム睡眠時に活動するMCH神経が記憶を消去する

MCH神経は、覚醒時とレム睡眠時に活動するが、レム睡眠時に活動するタイプのMCH神経が記憶の消去に関わっている。

名古屋大学 環境医学研究所 神経系分野2 研究室メンバー

2012年に名古屋大学 環境医学研究所 神経系分野2に着任してから、7年が経ちました。研究室メンバーも当初の数名から20名を超えるまでに増えてきました。今回の論文では、光遺伝学や化学遺伝学を用いた特定神経活動操作だけでなく、意識下に自由行動している動物の脳内の特定神経活動を光を用いて記録することを行ったり、動物の記憶を評価したりするという、新たに取り入れた実験技術をすべて用いた研究となりました。7年間地道に積み上げた技術と知識の蓄積の結果だと思います。この場を借りて関わって頂いたすべての方に感謝申し上げます。今後は、これをさらに発展させた研究を展開し、睡眠覚醒の謎に迫っていきます。

Science 10月4日号 Report
Science 04 Oct 2019: Vol. 366, Issue 6461, pp. 97-100
DOI: 10.1126/science.aaw5949

原始銀河団中の活動銀河をとりまく宇宙網のガスフィラメント

Gas filaments of the cosmic web located around active galaxies in a protocluster

上左から梅畑 豪紀、松田 有一、田村 陽一

梅畑 豪紀 *Hideki Umehata*
理化学研究所 開拓研究本部 坂井星・惑星形成研究室 基礎科学特別研究員
東京大学大学院 理学系研究科附属天文学教育研究センター 客員共同研究員

松田 有一 *Yuichi Matsuda*
国立天文台 アルマプロジェクト 助教
総合研究大学院大学 天文科学専攻 助教

田村 陽一 *Yoichi Tamura*
名古屋大学大学院 理学研究科 素粒子宇宙物理学専攻 天体物理学研究室 准教授

Michele Fumagalli[1,2,3] Ian Smail[1] Mark Swinbank[1] Sebastiano Cantalupo[4]
Calvin Sykes[1,2] Rob J. Ivison[5,6] Chuck C. Steidel[7] Alice E. Shapley[8] Joel Vernet[5]
山田 亨[9] 久保 真理子[10] 中西 康一郎[10,11] 鍛冶澤 賢[12] 廿日出 文洋[13] 河野 孝太郎[13]

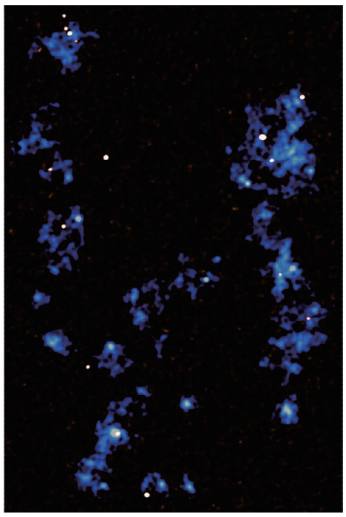
[1] Centre for Extragalactic Astronomy, Department of Physics, Durham University
[2] Institute for Computational Cosmology, Durham University
[3] Dipartimento di Fisica G. Occhialini, Università degli Studi di Milano Bicocca
[4] Department of Physics, ETH Zurich
[5] European Southern Observatory
[6] Institute for Astronomy, University of Edinburgh, Royal Observatory
[7] Cahill Center for Astronomy and Astrophysics, California Institute of Technology
[8] Department of Physics and Astronomy, University of California, Los Angeles
[9] JAXA宇宙科学研究所
[10] 国立天文台
[11] 総合研究大学院大学 天文科学専攻
[12] 愛媛大学 宇宙進化研究センター
[13] 東京大学大学院 理学系研究科附属天文学教育研究センター

Contact 梅畑 豪紀 **E-mail**：hideki.umehata@riken.jp **所在地**：351-0198埼玉県和光市広沢2-1 物質科学研究棟S407

銀河や超巨大ブラックホールを育てる「ガスの河」を初観測

地球から100億光年以上離れた太古の宇宙では銀河が活発に生まれ育つ時代があった。私たちの住む天の川銀河の数百倍から数千倍もの速さで星を生み出す銀河が存在し、一方、銀河の中心では太陽の約1億倍という大きな質量を持つ超巨大ブラックホールが急速な成長を遂げていた。このような銀河形成の成長期を実現したメカニズムの解明は大きな課題となっている。現在の銀河形成モデルによると、「宇宙網」と呼ばれるクモの巣状のガスネットワークに沿ってガスが凝集して、銀河や超巨大ブラックホールが形成・成長すると考えられてきた。しかしながら、宇宙網の観測的検証は困難を極めてきた。研究グループは、みずがめ座の方向、地球から115億光年離れたSSA22原始銀河団に注目し、X線、可視光、赤外線、ミリ波と様々な観測を駆使し、星形成の活発な銀河、超巨大ブラックホール、宇宙網を網羅した詳細な3次元地図を描き出すことに成功した。その結果、前例のない長大な宇宙網の検出に加え、銀河や超巨大ブラックホールが例外なく宇宙網に沿って分布していることが判明した。この結果は、理論・シミュレーションによる予測を観測的に裏付けるものであり、宇宙網が銀河や超巨大ブラックホールに材料（ガス）を注ぎ込む「河」のような役割を果たしていたことを示唆している。

Figure and Note



図：宇宙網と活発な星形成銀河の画像

青い網状の部分が水素ガスの分布、背景の画像がアルマ望遠鏡によって得られたミリ波の画像で、活発な星形成銀河が見えている。銀河が宇宙網に沿って分布している様子がわかる。

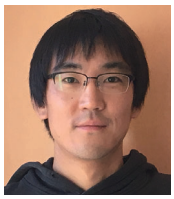
銀河形成研究の新しい扉

宇宙のバリオンの大部分は銀河ではなく、その周囲に淡いガスとして存在していると考えられています。初期宇宙における淡いガスからなる宇宙網の直接撮像は銀河形成史の解明に向けて新たな扉を開くものです。日本のすばる望遠鏡の広視野撮像分光能力も宇宙網の研究に非常に適したものであり、今後の活躍が期待されています。（画像提供：国立天文台）

Science 10月4日号 Report
Science 04 Oct 2019: Vol. 366, Issue 6461, pp. 109-115
DOI: 10.1126/science.aay0543

二量体型B-Raf:14-3-3複合体のクライオ電子顕微鏡構造解析によりB-Rafキナーゼの活性部位における非対称性が明らかとなった

Cryo-EM structure of a dimeric B-Raf:14-3-3 complex reveals asymmetry in the active sites of B-Raf kinases



近藤 泰史 *Yasushi Kondo*
Assistant Project Scientist, California Institute for Quantitative Biosciences, University of California, Berkeley
Department of Molecular and Cell Biology, University of California, Berkeley

Jana Ognjenović[1,†] Saikat Banerjee[2] Deepti Karandur[3,4,5] Alan Merk[1,†] Kayla Kulhanek[2]
Kathryn Wong[3,4,‡] Jeroen P. Roose[2] Sriram Subramaniam[6] John Kuriyan[3,4,5,7,8]

[1] Laboratory of Cell Biology, Center for Cancer Research, National Cancer Institute
[2] Department of Anatomy, University of California, San Francisco
[3] Department of Molecular and Cell Biology, University of California, Berkeley
[4] California Institute for Quantitative Biosciences, University of California, Berkeley
[5] Howard Hughes Medical Institute, University of California, Berkeley
[6] University of British Columbia
[7] Department of Chemistry, University of California, Berkeley
[8] Divisions of Molecular Biophysics and Integrated Bioimaging, Lawrence Berkeley National Laboratory
[†] 現 Frederick National Laboratory for Cancer Research
[‡] 現 Keck School of Medicine of USC

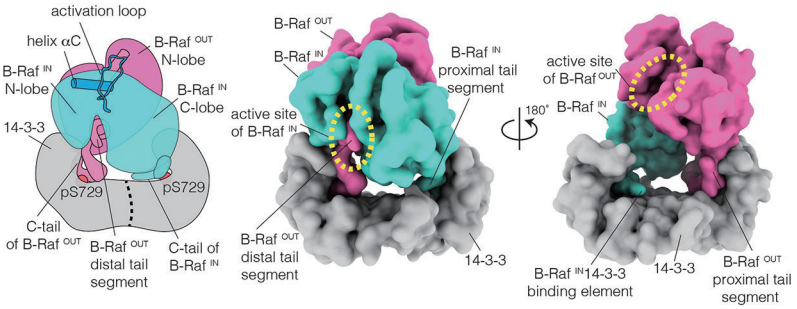
Contact
E-mail：ykondo@berkeley.edu
所在地：Department of Molecular and Cell Biology, University of California, Berkeley, CA 94720, USA

B-Raf キナーゼの活性構造

B-Rafキナーゼは細胞分裂を引き起こすMAPKシグナル伝達経路に属する。皮膚ガン患者の約5割においてその点変異が確認されたことから重要な研究対象とされてきた。B-Raf変異体に対してはすでに2種類の阻害剤がFDAに承認されているが、この阻害剤が正常な細胞（変異体を含まない細胞）においてMAPKシグナルを活性化させるという奇妙な報告がなされた。阻害剤による活性化という矛盾した現象はこの10年近く深く研究されてきた。この現象を誘引する複数の原因が提唱されているが、中でも阻害剤に結合したB-Rafキナーゼが二量体形成を通して阻害剤に結合していない分子を活性化させるというモデルは広く認められている。

本研究では2つのB-Raf分子と、それを支える2つの14-3-3の4分子からなる複合体を調製し、低温電子顕微鏡による構造解析を行った。その結果、B-Rafと14-3-3というそれぞれ対称な二量体が全体として非対称な四量体を形成するという全く予想されていなかった構造を明らかにした。この非対称性のためにB-Raf二量体のうち1つのB-Raf C末端部位がもう1つのB-Raf分子の活性中心に結合していた。この構造からわれわれは阻害剤がC末端部位の働きを乗っ取ることで正常な細胞でのMAPKシグナルを誘発することを提唱した。

Figure and Note



図：非対称なB-Raf複合体の構造
B-Rafと14-3-3はそれぞれ対称な二量体を形成している。ところが全体の構造としては対称性が失われている。結果としてB-Raf^{IN}（水色）の活性中心はB-Raf^{OUT}（ピンク）のC末端ペプチドによって塞がれている。

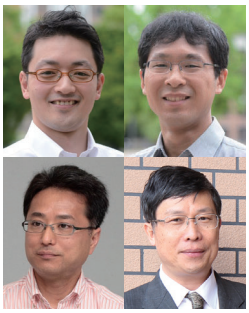
カリフォルニア大学バークレー校Kuriyan研究室

90年代からX線結晶構造解析で数々のタンパク質の働きを明らかにしてきたKuriyan先生のもとで新たな立体構造を発表することができてよかったです。予想もしていなかった構造を理解するのに先生と長い間構造を眺めて議論したのはとてもいい経験になりました。現在のKuriyan研究室では構造解析だけではなく細胞生物学やsaturation mutagenesisなどの様々な方法を用いて細胞シグナル伝達経路の研究を行っています。

Science 10月18日号 Research Article
Science 18 Oct 2019: Vol. 366, Issue 6463, pp. 334-338
DOI: 10.1126/science.aax6998

X線自由電子レーザーによって明らかになった光化学系IIにおける酸素-酸素結合形成のためのオキシル/オキソ機構

An oxyl/oxo mechanism for oxygen-oxygen coupling in PSII revealed by an x-ray free-electron laser



上左から菅 倫寛、秋田 総理
下左から吾郷 日出夫、沈 建仁

菅 倫寛 *Michihiro Suga*
岡山大学 異分野基礎科学研究所 准教授
科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 さきがけ研究者

秋田 総理 *Fusamichi Akita*
岡山大学 異分野基礎科学研究所 准教授
科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 さきがけ研究者

吾郷 日出夫 *Hideo Ago*
理化学研究所 放射光科学研究センター 生命系放射光利用システム開発チーム 専任研究員

沈 建仁 *Jian-Ren Shen*
岡山大学 異分野基礎科学研究所 教授

山下 恵太郎[1,‡] 中島 芳樹[2] 上野 剛[1] Hongjie Li[2,3] 山根 卓大[2] 平田 邦生[1] 梅名 泰史[2] 米倉 慎一郎[2] Long-Jiang Yu[2] 村上 博則[4] 野村 高志[1,3] 木村 哲就[5] 久保 稔[1,3] 馬場 清喜[4] 熊坂 崇[4] 登野 健介[1,4] 矢橋 牧名[1,4] 磯部 寛[2] 山口 兆[6,7] 山本 雅貴[1]

[1] 理化学研究所 放射光科学研究センター
[2] 岡山大学 異分野基礎科学研究所
[3] 兵庫県立大学大学院 生命理学研究科 ピコバイオロジー専攻
[4] 高輝度光科学研究センター
[5] 神戸大学大学院 理学研究科 化学専攻
[6] 大阪大学 産業科学研究所
[7] 大阪大学 ナノサイエンスデザイン教育研究センター
[‡] 現 東京大学大学院 理学系研究科 生物科学専攻

Contact
菅 倫寛 **E-mail**：michisuga@okayama-u.ac.jp
所在地：700-8530 岡山県岡山市北区津島中3-1-1
沈 建仁 **E-mail**：shen@cc.okayama-u.ac.jp
所在地：700-8530 岡山県岡山市北区津島中3-1-1

光合成でゆがんだイス型の触媒が酸素分子を形成する仕組みを解明

光合成は光エネルギーを利用して、光化学系IIと呼ばれるタンパク質複合体が水分子から電子と水素イオンを取り出し、酸素分子を形成する反応によって始まる。これまでの研究で、この反応が起こる触媒部分の立体構造や酸素形成の部位が明らかになっていたが、酸素分子が形成される仕組みはよくわかっていなかった。

本研究では、光化学系IIの微小結晶を用いて、可視光レーザー照射による励起とX線自由電子レーザー施設SACLAの発振する量子ビームを用いた構造解析法を利用して、水分解反応の3つの状態(S_1、S_2、S_3)の立体構造を2.15Åの高い分解能で解析した。その結果、酸素分子の形成に必要と考えられる2つの酸素原子を触媒中に発見し、その原子間距離に基づき、これまで不明であったこれらの2つの酸素原子の化学的な性質を明らかにした。さらに、反応に必要な水分子を取り込むための経路や反応で生じた水素イオンを排出するための経路を見いだした。

本研究で明らかになった水分解反応の仕組みは、光エネルギーを利用して水から電子と水素イオンを取り出して有用な化学物質を作り出す人工光合成の技術開発に重要な知見を与えると期待される。

Figure and Note

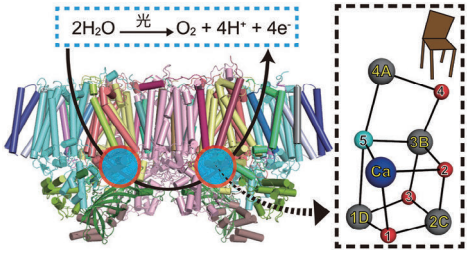


図1：光化学系IIの全体構造とゆがんだイス型のマンガンクラスター
全20個のタンパク質からなる複合体が2つ集合して1つの構造をとり、水分子から水素イオンと電子を取り出して酸素分子を形成する反応を触媒する。赤丸で囲んだ部分にあるゆがんだイス型のマンガンクラスター触媒を右側に拡大した。

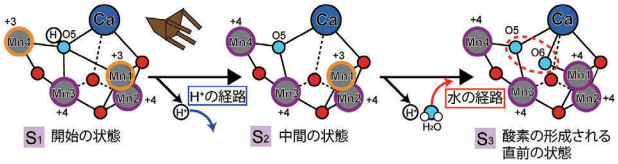


図2：酸素分子を形成する反応における触媒部分の立体構造の変化
反応の開始状態であるS_1ではO5と呼ばれる酸素原子に水素イオンが結合しているが、S_2ではO5は水素イオンを失う。S_3では新しい水分子がO6として取り込まれる。O5とO6は酸素分子を形成するのにちょうどよい位置関係にある。

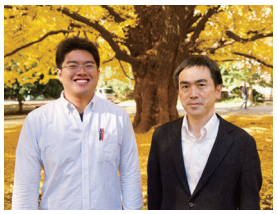
人工光合成に繋がる、光合成研究の新たな地平を切り拓く

岡山大学 異分野基礎科学研究所の沈建仁・菅倫寛グループでは、植物における光合成の水分解反応、光捕集やエネルギー伝達、生体膜を隔てた物質輸送などの分子機構を解明することを目指し、構造生物学や生化学の手法を駆使した研究を実施しています。岡山大学は今回の研究に使用したX線自由電子レーザー施設SACLAへのアクセスも容易であり、優れた研究環境が整備されています。

Science 18 Oct 2019: Vol. 366, Issue 6463, pp. 373-376
DOI: 10.1126/science.aay2645

時間領域多重2次元クラスター状態の生成

Generation of time-domain-multiplexed two-dimensional cluster state



左からWarit Asavanant、古澤 明

古澤 明 *Akira Furusawa*
東京大学大学院 工学系研究科 物理工学専攻 教授

Warit Asavanant
東京大学大学院 工学系研究科 物理工学専攻

塩沢 優[1] 横山 翔竜[2] Baramee Charoensombutamon[1] 江村 大樹[1] Rafael N. Alexander[3]
武田 俊太郎[1,4] 吉川 純一[1] Nicolas C. Menicucci[5] 米澤 英宏[2]

[1] 東京大学大学院 工学系研究科 物理工学専攻
[2] Centre for Quantum Computation and Communication Technology, School of Engineering and Information Technology, University of New South Wales, Canberra
[3] Center for Quantum Information and Control, University of New Mexico
[4] 東京大学大学院 工学系研究科 総合研究機構
[5] Centre for Quantum Computation and Communication Technology, School of Science, RMIT University

Contact
古澤 明 **E-mail**：akiraf@ap.t.u-tokyo.ac.jp
所在地：113-8656 東京都文京区本郷7-3-1
U R L：http://www.alice.t.u-tokyo.ac.jp/

光の量子もつれで織り成す大規模な量子計算機へ

量子計算機は現在の計算機では解くことが難しい、いくつかの問題を高速に解くことができることから、これまで盛んに研究されてきた。その結果、近い将来、中規模までの量子計算機実現が確実視されている。しかし、さらにこれを大規模化できるかは不透明と言わざるを得なかった。それに対し本研究では、光を用いて大規模量子計算を可能にする大規模「2次元クラスター状態」（図1、2を参照）の生成に世界で初めて成功した。2次元クラスター状態は一方向量子計算と呼ばれる量子計算方式の不可欠な要素であり、この方式では十分に大きい2次元クラスター状態と呼ばれる量子もつれさえ用意できれば、どのような量子計算も個々の量子ビットに対する適切な測定で実行できる。一方向量子計算は20年ほど前に提唱され、大規模量子計算機を実現する有力な方法のひとつと注目されてきたが、その鍵となる大規模2次元クラスター状態の生成は手つかずのままであった。われわれは独自開発した、少数の光学素子で大規模な量子もつれを生成できる「時間領域多重」の技術を使い、時間的に局在した光のパルスからなる2次元クラスター状態を生成した。これは大規模量子計算機実現へ向けた大きなステップとなった。

Figure and Note

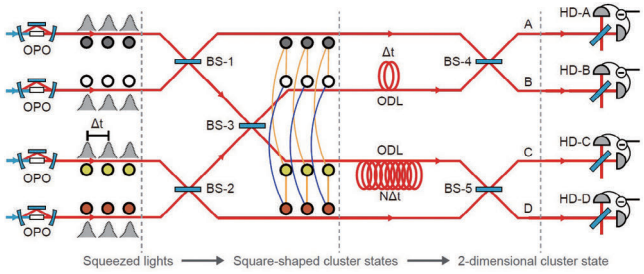


図1：今回の実験系

4つの量子的な光の光源（OPO）と5つの部分透過ミラー（BS-1からBS-5）と2つの光学遅延系（ODL）と4つの検出器（HD-AからHD-D）だけで大規模な2次元クラスター状態を生成し、検証することが可能。

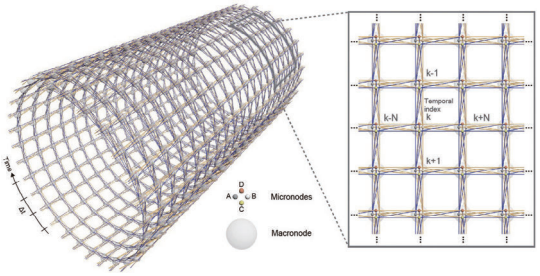


図2：2次元クラスター状態の量子もつれの構造

小さい丸は量子ビット（今回は光のパルス）に対応し、丸の間の線は量子もつれの構造を表している。

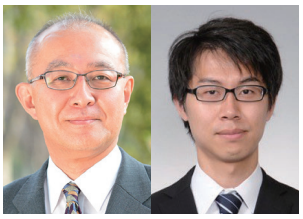
何事も楽しんで、ホームランを狙え

最先端の研究を行うというのは世界を相手に闘い、挑み続けることです。世界中の優秀な研究者と切磋琢磨し合い、時には競い合うのが研究の何よりの醍醐味で、最高のゲームでもあります。世界が舞台であるこの最高のゲームを楽しんで未知の領域を開拓していくのが古澤研究室の日常です。特に大きな目標、野球で例えるとホームラン、を狙うときは成功ばかりではなくうまくいかないときもありますが、そのことさえ楽しんでいれば新たな発見にも繋がるかもしれません。このように研究者たるものは、何事も楽しんでホームランを狙うべきだと思っています。

Science 10月18日号 Report
Science 18 Oct 2019: Vol. 366, Issue 6463, pp. 382-385
DOI: 10.1126/science.aau6103

乱流量子気体における人工的散逸とカスケードフラックス

Synthetic dissipation and cascade fluxes in a turbulent quantum gas



左から坪田 誠、藤本 和也

坪田 誠 *Makoto Tsubota*
大阪市立大学大学院 理学研究科 数物系専攻 教授

藤本 和也 *Kazuya Fujimoto*
東京大学 大学院理学系研究科 物理学専攻 日本学術振興会特別研究員
（現 名古屋大学 大学院工学研究科 応用物理学専攻 特任助教）

Nir Navon[1] Christoph Eigen[2] Jinyi Zhang[2] Raphael Lopes[2,†] Alexander L. Gaunt[2,3] Robert P. Smith[2,4] Zoran Hadzibabic[2]

[1] Department of Physics, Yale University
[2] Cavendish Laboratory, University of Cambridge
[3] Microsoft Research
[4] Clarendon Laboratory, University of Oxford
[†] 現 Laboratoire Kastler Brossel, Collège de France, CNRS, ENS-PSL University, UPMC-Sorbonne Université

Contact

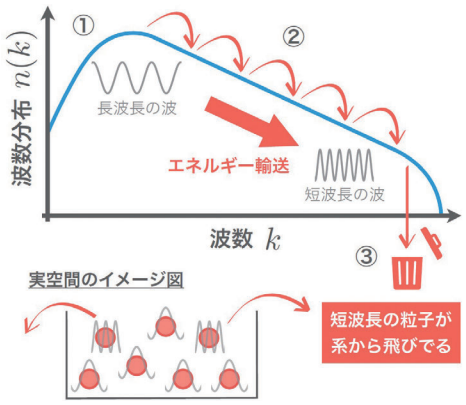
坪田 誠 **E-mail**：tsubota@sci.osaka-cu.ac.jp
所在地：558-8585 大阪府大阪市住吉区杉本3-3-138
ＵＲＬ：http://www.sci.osaka-cu.ac.jp/phys/eep/top-j.html

藤本 和也 **E-mail**：kazuya_fujimoto@rover.nuap.nagoya-u.ac.jp
所在地：464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町
名古屋大学工学部３号館

量子流体において乱流のエネルギー輸送の直接測定に初めて成功

世の中は河川の水、地球を取り巻く大気のような流体に溢れており、常日頃から私たちは様々な流体現象を目にしている。数ある流体現象のなかでも、乱流現象は重要な研究テーマであり、工学的な応用科学の視点のみならず、数学・物理学を含む基礎科学の視点からも膨大な数の研究が行われてきた。このような乱流現象の特徴のひとつは、速度場の揺らぎがスケールに依らない振る舞いを示すところにあり、運動エネルギーが大きなスケールから小さなスケールへと一様に輸送されることにより生まれる。この一様なエネルギー輸送の描像が現代の乱流研究の基盤を形成している。しかしながら、エネルギー輸送を直接測定することは非常に難しく、これまで未解決の問題であった。筆者らは極低温に冷却したルビジウム原子気体（ボース・アインシュタイン凝縮体）を用いて、乱流中のエネルギー輸送の直接測定に成功した。測定方法のアイデアは、原子気体を閉じ込めている箱型ポテンシャルの高さを操作することで特定の波数を持つ粒子を選択的に散逸させる技術である（図参照）。この研究により、乱流のより深い理解が進むとともに、極低温の冷却原子気体を舞台とした物理の開拓がさらに進展するだろう。

Figure and Note



図：乱流のエネルギー輸送とその直接測定の概念図

①ルビジウム原子気体を箱形ポテンシャルに閉じ込める。

②箱を揺さぶると乱流が発達し、低波数から高波数へエネルギーが輸送される。

③高波数の粒子は箱の外に飛び出す。その粒子数からエネルギー輸送を観測する。

量子流体力学への誘い

本研究は、量子流体力学と呼ばれる分野に属します。低温で超流動となった液体ヘリウムや、ボース・アインシュタイン凝縮を起こした原子気体では、秩序変数が形成され、渦が量子化されるという特徴が現れます。乱流が渦から成るということは、ダ・ヴィンチのスケッチにも描かれていますが、普通の流体の渦は不安定でその同定も容易ではありません。しかし、量子渦はその「量子化」のおかげで安定に存在し、普通の渦より扱いやすいと言えます。量子流体力学は低温物理学の一分野であり、流体力学、非線形・非平衡物理学、宇宙物理学などとも関係する、分野横断型の興味深いテーマで、世界中で活発な研究が行われています。

Science 11月1日号 Report
Science 01 Nov 2019: Vol. 366, Issue 6465, pp. 620-623
DOI: 10.1126/science.aax3442

ネオニコチノイド系殺虫剤による食物連鎖の撹乱がもたらした漁獲量の減少

Neonicotinoids disrupt aquatic food webs and decrease fishery yields

山室 真澄 *Masumi Yamamuro*
産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 特定フェロー
東京大学大学院 新領域創成科学研究科 自然環境学専攻 教授
小室 隆[1] 神谷 宏[2] 加藤 季晋[2] 長谷川 瞳[3] 亀田 豊[4]
[1] 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 自然環境学専攻
[2] 島根県保健環境科学研究所
[3] 名古屋市環境科学調査センター
[4] 千葉工業大学 創造工学部 都市環境工学科

Contact
E-mail：yamamuro@edu.k.u-tokyo.ac.jp
所在地：277-8561 千葉県柏市柏の葉5-1-5
U R L：http://webpark1489.sakura.ne.jp/docs/index2.html

殺虫剤が虫を含む節足動物などを減らすと、餌が減って魚も減る

ネオニコチノイド系殺虫剤（以下「ネオニコ」）は昆虫に対して選択的に毒性を発揮するとされ、世界的に使用量が増えている。島根県の宍道湖では集水域の水田でイミダクロプリドというネオニコが初めて使用された1993年5月に、動物プランクトンが激減した（図1）。また、大発生していたオオユスリカの幼虫（昆虫類・節足動物）も、1993年以降に生息しなくなった。1982年夏に行われた調査と同じ方法で2006年夏に他の底生動物についても調べたところ、特に節足動物が激減していた。

宍道湖ではウナギ・ワカサギ・シラウオが漁獲されていたが、動物プランクトンやユスリカ類を食べるワカサギと底生動物を餌とするウナギが1993年を境に漁獲量が激減していたのに対し、生活史初期に植物プランクトンを食べるシラウオの漁獲量には有意差がなかった（図2）。水中や堆積物中の有機物量や水中の酸素濃度、水温、塩分などは、1992年までと1993年以降で有意差はなかった。以上より、水田で使用された水溶性のネオニコチノイドが宍道湖に流入して昆虫を含む節足動物を殺したことで、節足動物を主な餌とするウナギやワカサギが激減し、植物プランクトンを餌とするシラウオは減らなかったと結論した。

Figure and Note

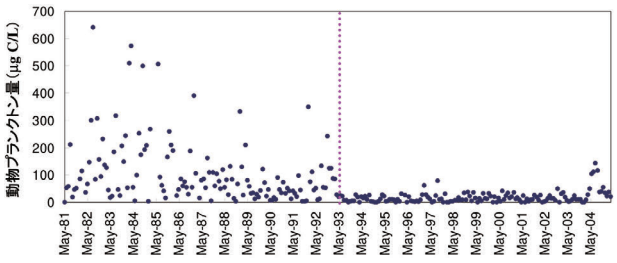


図1：宍道湖における動物プランクトン量の経時変化

宍道湖の塩分は海水の10分の1で、動物の種類が最も少なくなる。キスイヒゲナガミジンコ（甲殻類・節足動物）は宍道湖の動物プランクトンの9割以上を占めるが、ピンクの点線で示した1993年5月にその量が激減した。

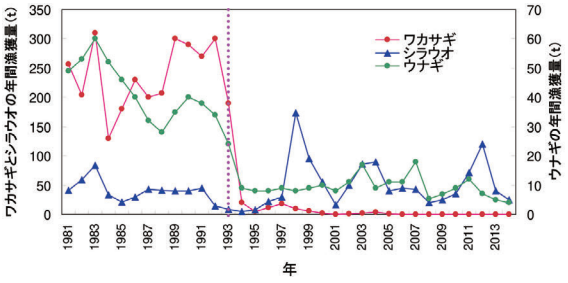


図2：宍道湖におけるワカサギ・ウナギ・シラウオの年間漁獲量

ウナギ減少の原因としてシラスウナギの減少が指摘されてきたが、1993年とその翌年にシラスウナギが激減したとの事実はなく、少なくとも宍道湖でのウナギ漁獲量激減は、餌不足が原因と考えられる。

水溶性のネオニコチノイドは降雨時に水田から川・湖に流出する

農地は主食が多くを占め、日本は先進国の中で唯一、米が主食です。小麦畑にまかれたネオニコは地下水を経て水界生態系に達しますが、日本では水田から直接、川や湖（＝表流水）に達します。地下水を経て川や湖での影響が明らかになったときには地下水での濃度を減らすことはできませんが、表流水での濃度はすぐに減らすことができます。昆虫皆殺し的な乱暴なものではなく、害虫にだけ効く農薬が日本で開発されれば、世界で歓迎されるでしょう。

Science 11月15日号 Report
Science 15 Nov 2019: Vol. 366, Issue 6467, pp. 886-890
DOI: 10.1126/science.aay2832

土壌機能と微生物多様性に対する複数の地球規模の変化要因の役割

The role of multiple global change factors in driving soil functions and microbial biodiversity

梁 政寛 *Masahiro Ryo*
Postdoctoral researcher, Institute of Biology, Freie Universität Berlin
Berlin-Brandenburg Institute of Advanced Biodiversity Research (BBIB)
Matthias C. Rillig[1,2] Anika Lehmann[1,2] Carlos A. Aguilar-Trigueros[1,2] Sabine Buchert[1,2]
Anja Wulf[1,2] 岩崎 藍子[1,2] Julien Roy[1,2] Gaowen Yang[1,2]
[1] Institute of Biology, Freie Universität Berlin
[2] Berlin-Brandenburg Institute of Advanced Biodiversity Research (BBIB)

Contact
E-mail：masahiroryo@gmail.com
所在地：Altensteinstr. 6, D-14195 Berlin, Germany
U R L：http://masahiroryo.jimdo.com/

僕らの生活が豊かになればなるほど、環境問題は多様化していく

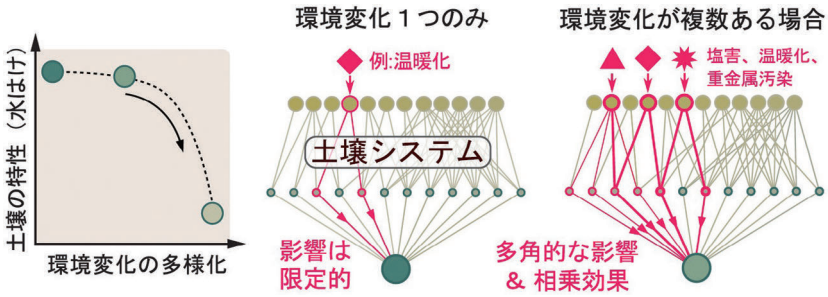
温暖化、干ばつ、土地利用の変化、PM2.5、重金属汚染、農薬残留、プラスチックごみ。僕らをとりまく環境は、たくさんの問題を抱えている。僕らは、地球規模での環境変化の「多様化」に焦点を当てた。

まず、土壌に環境変化が及ぼす影響を評価した4,000もの過去の研究文献をあさった。そのうち98%が変化要因1つか2つのみを評価していた。僕らは、環境変化要因の数が1→2→5→8→10と増えていくにつれて、土壌の機能と微生物多様性がどう変化していくのかを評価した。環境変化が多様化するにつれ、土はどうなる?

驚くべき結果が出た。例えば、土壌の水はけ。個々の環境変化を試したところで水はけの良さは変わらない。なのに、複数の環境変化を同時に試していくと… 土は水を吸わなくなった。個々の環境変化を別々に評価していたら、決して予想できなかった結果だ。また、微生物の多様性や活動も減少した。

そのメカニズムはまだ解明する手立てがない。ただ間違いなく言えることは、地球規模で環境変化が「多様化」していくにつれ、1足す1が2以上になるような、問題の相乗効果が起きる可能性があるということ。新たな環境問題提起だ。

Figure and Note



図：地球規模では多くの環境要因が変化している

地球規模での環境要因の変化が多様化・同時発生すると、それぞれの要因が土壌に及ぼす影響は異なる（例えば、温暖化と重金属汚染）。それらの相乗効果で予想外の悪影響を及ぼす可能性がある。

若手のみんな、海外に出よう!

海外に出て世界の最前線で戦う若手が増えていくことを望みます。日本の若手研究者の質は、決して海外の若手に見劣りしませんし、むしろ、基礎能力がしっかりあり、ポテンシャルは高いと思う。ですが、数ヵ月や1、2年など海外での滞在期間が短い人が大多数で、国際的なネットワークを作って帰る人が圧倒的に少ない。思い切ってもっと長く外に出て、ネットワークをしっかり作るのを目標にしてみてください。国際的な環境で研究できるのはとても刺激的ですよ!!

（写真は所属研究室。20ヵ国から集まる50名。とても国際的!）

Science 11月22日号 Report
Science 22 Nov 2019: Vol. 366, Issue 6468, pp. 1021-1023
DOI: 10.1126/science.aax2153

共通の遺伝子がミヤコグサにおける側根発達と根粒共生との双方の経路を駆動する

A shared gene drives lateral root development and root nodule symbiosis pathways in *Lotus*

上左から征矢野 敬、下田 宜司、
下左から川口 正代司、林 誠

征矢野 敬 *Takashi Soyano*
自然科学研究機構 基礎生物学研究所 共生システム研究部門 准教授
総合研究大学院大学 生命科学研究科 基礎生物学専攻 准教授
理化学研究所 環境資源科学研究センター 研究員

下田 宜司 *Yoshikazu Shimoda*
農業・食品産業技術総合研究機構 生物機能利用研究部門
植物・微生物機能利用研究領域 植物機能開発ユニット 主任研究員

川口 正代司 *Masayoshi Kawaguchi*
自然科学研究機構 基礎生物学研究所 共生システム研究部門 教授
総合研究大学院大学 生命科学研究科 基礎生物学専攻 教授

林 誠 *Makoto Hayashi*
理化学研究所 環境資源科学研究センター 植物共生研究チーム チームリーダー
農業・食品産業技術総合研究機構 農業生物資源研究所 植物共生機構研究ユニット ユニット長

Contact
征矢野 敬 **E-mail**：soyano@nibb.ac.jp
所在地：444-8585 愛知県岡崎市明大寺町字西郷中38
林 誠 **E-mail**：makoto.hayashi@riken.jp
所在地：230-0045 神奈川県横浜市鶴見区末広町1-7-22

マメ科植物は窒素固定細菌との共生に側根の制御因子を流用

一般的に植物は土壌から効率的に窒素栄養素を吸収するために根の側生器官である側根を発達させる。一方、マメ科植物は根粒に窒素固定細菌を宿すことで大気窒素から栄養素を獲得する仕組みを進化させた。われわれは、ミヤコグサを用いた解析から、根粒の発達制御には側根形成に関わる因子が流用されていることを明らかにした。この因子はASL18/LBD16a転写因子であり、シロイヌナズナやイネなどの非マメ科植物では側根や冠根の発達初期過程で作用する。ミヤコグサでは、側根の形成に加えて、根粒菌が根に感染するとASL18aが発現し、NF-Yという性質の異なる別の転写因子と協調的に作用することで根粒形成を制御する。根粒菌の感染によるASL18aの発現は共生のために進化したNIN転写因子に依存しており、NINは*ASL18a*遺伝子の特定の場所に結合する。この結合部位は、ダイズやインゲンなどのミヤコグサ以外のマメ科植物の*ASL18*遺伝子にも共通して見つかるが、非マメ科植物では見つからなかった。マメ科植物の*ASL18*遺伝子がこのNIN結合部位を獲得したことがこの遺伝子のマメに特有な機能に影響したことが示唆される。

Figure and Note

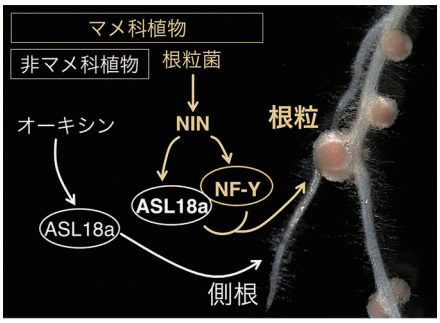


図1：根粒形成と側根形成は共通した転写因子ASL18aによって制御される
ASL18/LBD16はオーキシンの下流で側根形成の初期過程を制御する。マメ科植物ではASL18aが根粒菌の感染に応答して発現し、NF-Yと協調的に作用することで、根粒の形成も制御する。

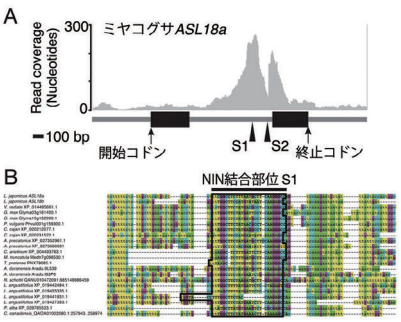


図2：マメ科植物の*ASL18*遺伝子にはNIN結合部位が保存されている
ChIP-seq解析のリード被覆度からNINは*ASL18a*遺伝子のイントロンに結合することがわかった(A)。マメ科植物の*ASL18*遺伝子にあるNIN結合DNA配列のアライメント(B)。

根粒共生の進化の謎に挑戦

マメ科植物がどのように窒素固定細菌と共生する能力を獲得したのか、またその機能の応用に興味を持って研究しています。われわれの研究成果は、マメ科植物が根粒共生を制御するために他の植物にも共通する因子や情報伝達経路を利用していることを示唆しています。根粒共生はマメとマメに近縁なごく一部の限られた植物に見られますが、基本的な分子機構はさほど特別なものではないのかもしれません。根粒共生の進化の道筋をさらに理解することで、非マメ科植物に根粒を付けさせるような挑戦的な研究に発展すると期待しています。

Science 11月29日号 Report
Science 29 Nov 2019: Vol. 366, Issue 6469, pp. 1099-1102
DOI: 10.1126/science.aaw8850

Bi2212の臨界ドーピングを鋭い境界とするインコヒーレントなストレンジメタル

Incoherent strange metal sharply bounded by a critical doping in Bi2212

橋本 信 *Makoto Hashimoto*
Staff Scientist, Stanford Synchrotron Radiation Lightsource, SLAC National Accelerator Laboratory
Su-Di Chen[1,2] Yu He[1,2,†] Dongjoon Song[3,‡] Ke-Jun Xu[1] Jun-Feng He[1,2,§]
Thomas P. Devereaux[2,4] 永崎 洋[3] Dong-Hui Lu[5] Jan Zaanen[1,6] Zhi-Xun Shen[1,2]

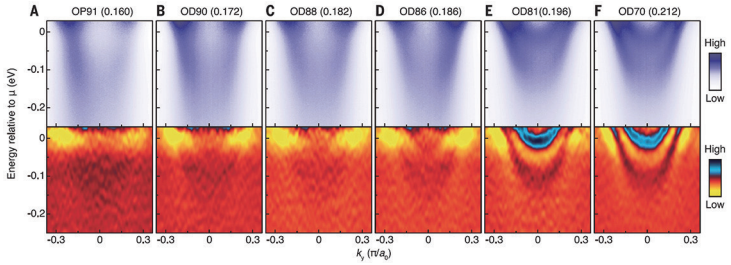
[1] Departments of Applied Physics and Physics, Stanford University
[2] Stanford Institute for Materials and Energy Sciences, SLAC National Accelerator Laboratory and Stanford University
[3] 産業技術総合研究所
[4] Department of Materials Science and Engineering, Stanford University
[5] Stanford Synchrotron Radiation Lightsource, SLAC National Accelerator Laboratory
[6] Institute Lorentz for Theoretical Physics, Leiden University
[†] 現 Department of Physics, University of California, Berkeley
[‡] 現 Center for Correlated Electron Systems, Institute for Basic Science
[§] 現 Department of Physics, University of Science and Technology of China

Contact **E-mail**：mhashi@slac.stanford.edu
所在地：2575 Sand Hill Road MS69 Menlo Park, CA 94025, USA

銅酸化物高温超伝導体の非超伝導状態における特異な電子構造の解明

従来型超伝導は通常の金属を冷却することによって発現する。一方、銅酸化物高温超伝導体の常伝導状態はストレンジメタル、擬ギャップといった通常金属とは違った奇異な性質を示す。モット絶縁体と呼ばれる絶縁体にキャリアを加えることにより発現する高温超伝導におけるこの常伝導状態の役割は、盛んに議論されてきた。今回、角度分解光電子分光を用い、室温付近の常伝導状態における電子構造のキャリア量依存を今までにない精度で測定した。その結果、今まで考えられていたようにキャリア量の増大により絶縁体的な電子構造が次第に金属的になっていくのではなく、あるキャリア量を境に突然電子構造が大きく変化することが明らかになった。これは、キャリア量が十分な時には電子状態が金属的であるのに対し、キャリア量が一定量以下の時には電子やその他の自由度（格子など）が複雑に絡み合った新たな相を形成しているということを示唆する。また、この境界は温度に依存しないこともわかった。これは擬ギャップの量子臨界点が高温超伝導に不可欠であるというシナリオとは相いれない。今回得られた知見は奇異な常伝導状態、そして高温超伝導の機構解明に役立つと期待される。

Figure and Note



図：常伝導状態におけるBi2212の電子構造のキャリア量依存

室温付近（250K）での電子構造が特定のキャリア量（0.19）を境に突然変化する。上段は角度分解光電子分光スペクトル、下段はその二階微分。超伝導ギャップ・擬ギャップが最大となる波数空間（アンチノード）で測定を行った。

Stanford大学Shen研究室とSLAC-SSRL

米国カリフォルニア州に位置するStanford大学とSLAC国立加速器研究所は隣接しています。私はSLACの放射光施設SSRLにある角度分解光電子分光ビームラインで、Stanford大学のShen研究室と日々共同研究を行っています。角度分解光電子分光を用いて電子構造を明らかにすることにより、高温超伝導体、強相関物質、トポロジカル物質といった量子物質の創発現象の微視的な理解を進めています。

写真：グループ旅行にて

Science 11月29日号 Report
Science 29 Nov 2019: Vol. 366, Issue 6469, pp. 1116-1121
DOI: 10.1126/science.aax7616

積層造形によって作製された耐疲労高性能熱弾性物質

Fatigue-resistant high-performance elastocaloric materials made by additive manufacturing

竹内 一郎 *Ichiro Takeuchi*
Professor, Department of Materials Science and Engineering, University of Maryland
Professor, Maryland Quantum Materials Center, University of Maryland

Huilong Hou[1,*] Emrah Simsek[2] Tao Ma[2] Nathan S. Johnson[3] Suxin Qian[4] Cheikh Cissé[3] Drew Stasak[1] Naila Al Hasan[1] Lin Zhou[2] Yunho Hwang[5] Reinhard Radermacher[5] Valery I. Levitas[2,6,7] Matthew J. Kramer[2,8] Mohsen Asle Zaeem[3] Aaron P. Stebner[3] Ryan T. Ott[2] Jun Cui[2,8]

[1] Department of Materials Science and Engineering, University of Maryland
[2] Division of Materials Science and Engineering, Ames Laboratory
[3] Department of Mechanical Engineering, Colorado School of Mines
[4] Department of Refrigeration and Cryogenic Engineering, Xi'an Jiaotong University
[5] Center for Environmental Energy Engineering, Department of Mechanical Engineering, University of Maryland
[6] Department of Aerospace Engineering, Iowa State University
[7] Department of Mechanical Engineering, Iowa State University
[8] Department of Materials Science and Engineering, Iowa State University
* 現 School of Aeronautic Science and Engineering, Beihang University

Contact

E-mail：takeuchi@umd.edu
所在地：Department of Materials Science and Engineering, 4418 Stadium Drive, University of Maryland, College Park, MD 20742, USA
U R L：https://mse.umd.edu/clark/faculty/722/Ichiro-Takeuchi

100万回以上のサイクルを繰り返しても疲労が起こらない固体冷却材料

地球温暖化対策に貢献する固体冷却技術のひとつとして注目を浴びている弾性熱量効果は、応力により物質が相転移する時に発生する潜熱の吸収を用いて周囲を冷却する。この相転移にはヒステリシスがあるため、材料の冷却効率および長時間駆動時の耐久性に影響する。今回、ニッケルとチタンの積層造形を用い、熱力学的に高効率の低ヒステリシスを示す熱弾性材料の作製に成功した。これは元素粉末の共晶混合と溶融環境を制御することにより、NiTi合金とNi過剰の金属間化合物がナノコンポジット状となっている微細構造を形成したからである。この微細構造が応力－ひずみ特性上、準線形な関係をもたらし、その結果非常に小さいヒステリシスが観測された。これは材料の冷却性能向上に直接関係しており、また弾性冷却効果は100万回以上のサイクルを繰り返しても、全く劣化しないことがわかった。弾性冷却は固体冷媒そのものが熱交換器となっているため、積層造形を使うことにより微細構造の制御および熱交換に有利な形状の実現が容易になり、早期の技術の商品化につながると考えられる。

Figure and Note

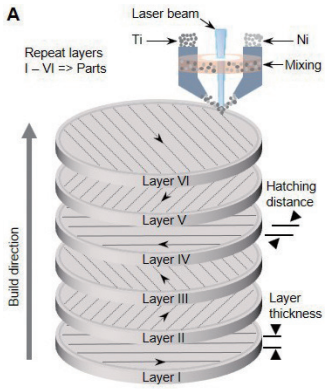


図1：レーザー積層造形の概略図
NiとTiのパウダーのフローは別々に制御され、ミックスされた後レーザービームにフィードされる。溶融を動かすことにより積層状に材料が形成されていく。

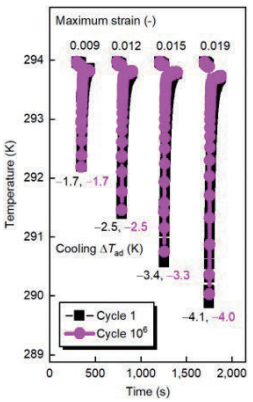


図2：Ni-Tiナノコンポジットの冷却性能の安定性
弾性冷却効果は固体に圧縮ひずみをかけたとき温度の変化として現れる。最初のサイクルと100万回目のサイクルを比べると温度変化が変わっていないのがわかる。100万サイクルは弾性冷却装置の約10年の使用に値する。

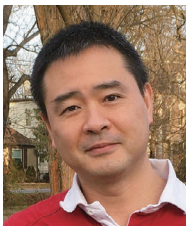
Designing and discovering materials for advanced technologies

メリーランド大学 材料工学科 竹内研究室では、コンビナトリアル材料科学を主な手法として、いろいろな分野のための材料探索およびそれらのデバイス応用に取り組んでいます。弾性冷却材料とそれを用いた冷却システムの開発はここ10年近く特に力を入れてきた研究テーマです。今回は積層造形を用いることにより、効率的でまたサイクルを繰り返しても冷却効果が劣化しない固体冷媒ができました。このような材料を使って未来のテクノロジーに貢献していきたいと思います。

Science 06 Dec 2019: Vol. 366, Issue 6470, pp. 1259-1263
DOI: 10.1126/science.aay2783

AMPA受容体とcornichon補助サブユニットによる複合体の構造

Structures of the AMPA receptor in complex with its auxiliary subunit cornichon



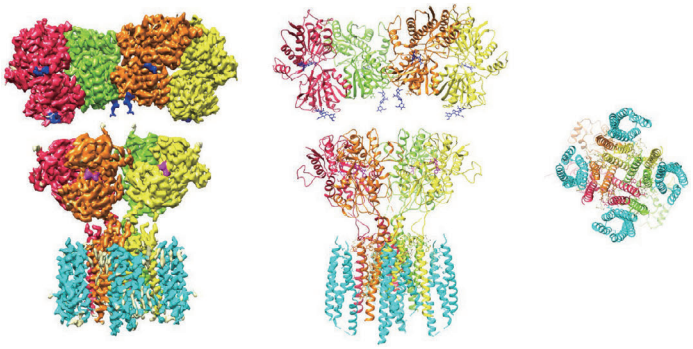
中川 輝良 *Terunaga Nakagawa*
Associate Professor, Department of Molecular Physiology and Biophysics, Center for Structural Biology, and Vanderbilt Brain Institute, Vanderbilt University School of Medicine

Contact
E-mail：terunaga.nakagawa@vanderbilt.edu
所在地：702 Light Hall (0615) Nashville, TN 37232-0615, USA
ＵＲＬ：https://lab.vanderbilt.edu/nakagawa-lab/

興奮性シナプスで重要なAMPA型グルタミン酸受容体複合体の分子構造を解明

脳の神経細胞同士のコミュニケーションはシナプス伝達を介して行われる。興奮性シナプス伝達では、神経伝達物質のグルタミン酸が軸索から放出された後、シナプス間隙に拡散し、樹状突起にあるグルタミン酸受容体複合体と呼ばれるイオンチャネルに結合する。その結果、イオンチャネルが開口し樹状突起側の神経細胞に脱分極を起こす。AMPA型グルタミン酸受容体複合体は脳の興奮性シナプス伝達の大部分を担い、その機能はシナプスの可塑性、記憶と学習、知能といった現象の基盤をなす。そのため、AMPA型グルタミン酸受容体複合体の原子構造と機能メカニズムを根本的に理解することは、脳機能の解明、および、記憶と学習に障害を起こす病気の治療方法を開発するために不可欠な一歩となる。本研究ではAMPA型グルタミン酸受容体とcornichonという補助サブユニットとの複合体の原子構造を、クライオ電顕を用いて決定した。この複合体は脳内に豊富に存在していることがわかっていながらその本体の構造に関するデータはこれまでなかった。驚くことに、cornichonは予測と異なり4回膜貫通型の蛋白質であることがわかった。また、複合体には多くの脂質分子が機能的に重要と思われる部位に特異的に結合しており、イオンチャネルの活性に伴う電気的興奮の波形を形作るのに重要な役割を果たすことが強く示唆される。今後、この構造を指標とし興奮性シナプス伝達とシナプスの可塑性、記憶と学習の分子レベルでの理解が深まり、精神神経疾患の治療に役立つ化合物の開発に発展すると期待される。

Figure and Note



図：AMPA型グルタミン酸受容体とcornichon補助サブユニット複合体の高解像度クライオ電顕構造

左：AMPA型グルタミン酸受容体とcornichon補助サブユニット複合体のクライオ電顕密度マップ。AMPA型グルタミン酸受容体：cornichon＝4：4の複合体である。AMPA型グルタミン酸受容体の4つのサブユニットはそれぞれ、赤、オレンジ、黄色、緑。4つのcornichonは水色。

中央：左の密度マップをもとにして得られた原子構造モデル。

右：原子構造モデルを下から見ると、4つのcornichonの配置が明確である。

研究室紹介

私は、ポスドクとして米国に渡り2019年で20年、独立した研究室を持って15年目です。少数精鋭の院生やポスドクもその間に在籍しましたが、常に実験を自分でやり続けてきました。やはり、研究の面白さは実際に自らの手で新しい発見をすることにあると思います。当研究室ではグルタミン酸を神経伝達物質とする興奮性シナプス伝達の機能メカニズムをイオンチャネルの原子構造から神経回路の制御に至るまで研究しています。2019年、当研究機関ではTitan Kriosを含むクライオ電顕センターを確立し、私が所長教授を兼任しています。

Science 12月20日号 Report
Science 20 Dec 2019: Vol. 366, Issue 6472, pp. 1492-1496
DOI: 10.1126/science.aax9167

塑性変形する多結晶材料における結晶粒内3次元応力テンソル場

Intragranular three-dimensional stress tensor fields in plastically deformed polycrystals

林 雄二郎 *Yujiro Hayashi*
株式会社 豊田中央研究所 分析部 研究員
瀬戸山 大吾　広瀬 美治　吉田 友幸　木村 英彦
株式会社 豊田中央研究所

Contact
林 雄二郎 **E-mail**：y-hayashi@mosk.tytlabs.co.jp
所在地：480-1192 愛知県長久手市横道41番地の1
U R L：https://www.tytlabs.co.jp/
木村 英彦 **E-mail**：hdkimura@mosk.tytlabs.co.jp

放射光による金属内部応力場の可視化

固体に力が加わると内部に応力が発生する。単結晶の内部に発生する応力場は外部荷重により容易に求まるが、多結晶内部の応力場はいったいどうなっているのか。シミュレーションによると局所的には平均の応力場と比べて驚くほど高い応力の発生が予想されることもある。私たちの身の回りにある金属材料のほとんどは多結晶であり、材料の損傷・破壊は局所的な弱点を起点として進行すると考えられている。多結晶内部の局所応力は、実は安心・安全な社会と深い関わりがある。本研究では大型放射光施設SPring-8の高エネルギー放射光を用いることで、金属内部の3次元応力場を非破壊で可視化できる3次元応力顕微鏡を構築し、身の回りに溢れる鉄鋼材料の内部に発生する応力場を観察した。その結果、塑性変形するような外部荷重を加えるとマクロな最大強度を上回る高い局所応力が発生していることを世界で初めて実測した。今回の3次元非破壊データを用いれば、金属内部に発生する局所応力を予想可能なモデルが構築できるようになり、より安心・安全なモノづくりに繋がることが期待される。

Figure and Note

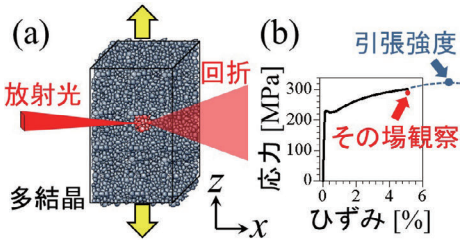


図1：(a)3次元応力顕微鏡の概念図と(b)低炭素鋼のマクロな応力・ひずみ曲線
低炭素鋼をz方向に引っ張り、マクロな最大強度（引張強度：330MPa）の手前の引張量でその場観察を行った。

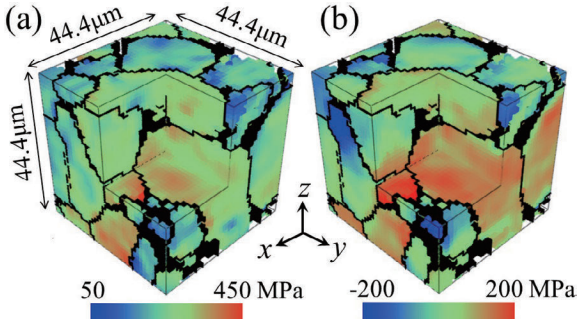


図2：引張塑性変形させた低炭素鋼内部における(a)z方向（引張方向）の垂直応力σ_zと(b)x方向の垂直応力σ_x
引張強度を上回るσ_zの局所応力が観測された。x方向には外部荷重を加えていないにもかかわらず、引張強度に匹敵するσ_xの局所応力が観測された。

SPring-8 豊田ビームライン

自動車産業においては、各種主要部品の小型・軽量・高機能化に伴い、部品の信頼性確保が益々重要になっています。部品の信頼性を向上させるには、部品内部に発生する応力を正確に知る必要があります。トヨタグループの株式会社豊田中央研究所では、大型放射光施設SPring-8に専用実験棟「豊田ビームライン」を建設し、各種オリジナル技術を開発しています。今回報告した3次元応力顕微鏡も豊田ビームラインが誇る世界に先駆けた技術のひとつになります。皆さんも企業研究所で世界トップレベルの研究開発にチャレンジしてみませんか。

Science 12月20日号 Report
Science 20 Dec 2019: Vol. 366, Issue 6472, pp. 1500-1504
DOI: 10.1126/science.aay8224

ボールミルと圧電材料を用いた有機小分子の酸化還元反応

Redox reactions of small organic molecules using ball milling and piezoelectric materials

左から久保田 浩司、伊藤 肇

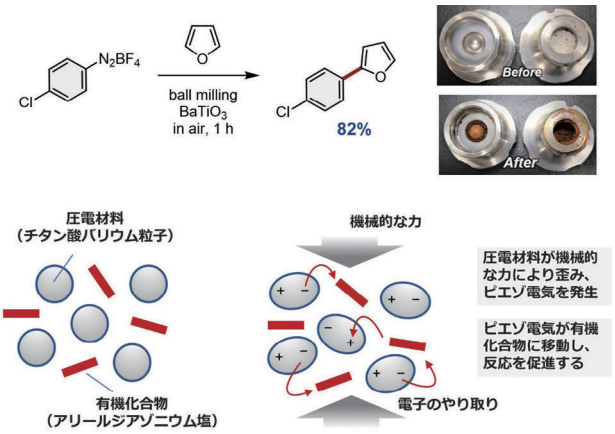
久保田 浩司 *Koji Kubota*
北海道大学 化学反応創成研究拠点（WPI-ICReDD）特任助教
伊藤 肇 *Hajime Ito*
北海道大学 大学院工学研究院 教授
北海道大学 化学反応創成研究拠点（WPI-ICReDD）副拠点長
Yadong Pang　三浦 章
北海道大学 大学院工学研究院

Contact
久保田 浩司 **E-mail**：kbt@eng.hokudai.ac.jp
所在地：060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学 フロンティア応用科学研究棟 4-08号室
U R L：http://labs.eng.hokudai.ac.jp/labo/organoelement/
伊藤 肇 **E-mail**：hajito@eng.hokudai.ac.jp

圧電材料を用いた新しい有機合成反応を開発

圧電材料は、機械的な圧力や衝撃を受けると、その表面にピエゾ電気が瞬間的に発生する。この現象はアクチュエータや通信機用フィルタなどに応用されてきたが、電気化学的な有機反応への応用は報告されていなかった。今回われわれは、ボールミルを用いたメカノケミカル反応に、圧電材料を共存させることで、ボールミルにより発生する機械的インパクトを駆動源とする新たなレドックス反応「メカノレドックス」の開発に世界で初めて成功した。この反応では、ジアゾニウム塩が圧電材料からのピエゾ電気により一電子還元され、対応する芳香族ラジカルが生じ、これがラジカルアクセプターと反応することで芳香族化合物のCHカップリングおよびホウ素化生成物が得られる。この方法は、有害な有機溶媒が不要で、空気中で実施可能である。したがって、従来の光を用いたフォトレドックス触媒系にない利点を備える新しい環境調和型レドックス反応として、化学製品、医薬品、機能性有機材料などの効率的な合成への展開が期待できる。

Figure and Note



図：ボールミルと圧電材料を用いたメカノレドックス反応の開発

圧電材料としてチタン酸バリウムを用い、アリールジアゾニウム塩とフランとの反応を検討したところ、目的のカップリング体が得られた。圧電効果によりジアゾニウム塩が還元され、反応が進行したものと考えられる。

物理的な「力」を利用する化学反応の実現を目指して

今回開発したメカノレドックス反応は、今まで化学者がほとんど利用してこなかった物理的な「力」を利用する、大変ユニークな分子変換反応です。また、有機化学者があまり注目してこなかった無機材料を触媒として使用している点もポイントのひとつです。われわれの研究室では有機合成の常識にとらわれない、斬新かつ有用な化学反応の開発を目指し、日々研究を行っています。

Science 投稿について

*Science*は、最先端の研究成果を報告する独創的な科学論文や、そうした研究の論評や分析を掲載する週刊の科学専門誌です。1880年の創刊以来、世界をリードする科学誌として、科学研究に大きなインパクトを与える論文やニュースを発信しています。

*Science*では科学に関するあらゆる分野からの投稿を受け付けています。

以下に日本の読者の皆様のために、*Science* Information for Authors（投稿規定）の簡易日本語版を掲載します。ただし、あくまでこの記事は抜粋版であり、すべての規定を網羅しているわけではないことをご了承ください。投稿前には、後述のウェブサイトで、最新の完全版を必ずご確認ください。

掲載される論文・記事の種類

査読論文

Research Articles：

画期的な研究成果を発表する原著論文。4,500語以内もしくは誌上5頁まで。構成はアブストラクト、Introduction、図表（6点以内）、本文（セクションごとに短い見出しを付ける）、参考文献（40件程度）。Materials and Methodsや必要な情報はSupplementary Materialsに含めること。

Reports：

重要性、速報性の高い研究報告。2,500語以内もしくは誌上3頁まで。構成はアブストラクト、Introduction、図表（4点以内）、参考文献（30件程度）。Materials and Methodsや必要な情報はSupplementary Materialsに含めること。

Reviews：

科学研究の新たな展開についての総説。6,000語以内、図表は4～6点、参考文献は100件以内。構成はアブストラクトと要点をまとめたIntroduction、簡潔な見出しと未解決の問題に関するアウトライン。主に編集者からの寄稿依頼によるが、自発的な投稿も受け付ける。

Commentary

科学に関連するトピックについての科学者や専門家による分析で以下の種類がある。Letters、eLetters、Technical Comments以外は主に編集者からの寄稿依頼によるが、自発的な投稿も受け付ける。

Perspectives：

最新の研究の進展について第三者の視点から分析する記事。1,000語以内、図1点。

Books or Media Reviews：

最新の書籍、マルチメディア、展示会、映画等の論評。800語以内。

Policy Forums：

科学政策に関連する記事。
1,000～2,000語、図1～2点、参考文献15件以内。

Letters：

過去3ヵ月以内に*Science*に掲載された論文または一般的な関心を集めるテーマについての意見。300語以内。査読を行う場合あり。誌面掲載不可の場合も、オンラインでeLettersとして掲載される可能性がある。

eLetters：

簡潔なオンラインのコメント。著者は規約に従う必要がある。

Technical Comments：

過去3ヵ月以内の研究論文の結果および方法論についての議論。1,000語以内、図表2点以内、参考文献15件以内。オンライン版で全文が公開され、print版のLettersに簡潔なアブストラクト（60語以内）が掲載される。

原稿の作成

*Science*では、オンラインのみで投稿を受け付けています。原稿のフォーマットを含む規程は、初回投稿（Initial Manuscript）と査読後の投稿（Revised Manuscript）とで異なります。詳細は以下のページを必ずご確認ください。

オンライン投稿システム：

https://cts.sciencemag.org/

Instructions for Preparing an Initial Manuscript

https://www.sciencemag.org/authors/instructions-preparing-initial-manuscript

Instructions for Preparing a Revised Manuscript：

https://www.sciencemag.org/authors/instructions-preparing-revised-manuscript

原稿の投稿

初めて*Science*に投稿される場合は、オンライン投稿システム（https://cts.sciencemag.org/）でアカウントを作成してください。

*Science*に論文を投稿する著者は、規約ならびにポリシーに合意する必要があります。詳細は下記のページを投稿前に必ずご確認ください。

Editorial policies：

https://www.sciencemag.org/authors/science-journals-editorial-policies
投稿時の画面では、タブを切り替えて順番に以下のフォームにご記入をお願いします。

1. 著者名：

すべての著者の氏名、電話番号、E-mailアドレスおよびORCID
Corresponding authorを1名選ぶ。

2. 原稿の情報：

- 原稿の種類
- 記事のタイトル
- ショートタイトル
- 研究分野コード
- カバーレター
- 希望する担当編集者
- 資金提供者

3. 査読者：

希望する査読者/希望しない査読者（各5名まで）の氏名、所属機関、E-mailアドレス

4. 原稿のアップロード：

- 初回投稿では、Microsoft Wordの1ファイルで（図表も含む）原稿全体を作成するのが望ましい。Supplementary MaterialsはWordまたはPDFの1ファイルで別途添付する。25MBを超えるサイズの原稿およびSupplementary Materialsは投稿不可。
- Supplementary Materialsに含めることのできない映像などのファイルは別途Auxiliary Supplementary Materials or Moviesとしてアップロードする。サイズ上限は25MBで10ファイル以内。
- 動画はmp4ファイルを推奨する。movファイルの場合は圧縮形式をh.264とすること。
  音声の場合ビットレートは160kb/s以上。

上記内容を十分に確認の上投稿してください（確認がなされていない原稿は受領できません）。投稿した原稿のステータスは、オンライン投稿システム上でご確認いただけます。

論文の審査

投稿された論文は、該当する分野の知識を有する編集者が審査を担当します。大半の論文は、審査担当の編集委員会が掲載するかどうかを評価します。編集者は同委員会の意見を考慮します。採用（accept）に至らなかった論文の著者には概ね2週間以内に電子メールで通知されます。米国科学振興協会（AAAS）の会員であるかどうかは論文の選考基準にはなりません。

*Science*に投稿された論文が掲載に至らなかった場合にも、*Science Signaling*、*Science Translational Medicine*、*Science Immunology*、*Science Robotics*または*Science Advances*での掲載をお薦めする場合があります。投稿先の変更に同意された場合、投稿フォーマットの変更は必要なく、添付資料等も引き継がれ速やかに審査が行われます。

大半の論文は、採用後4～8週間で掲載されます。一部の論文は採用後速やかに*First Release*にオンライン掲載されます。

問い合わせ先

Science Contact Information
Phone: (1)-202-326-6550 (USA)
(44)-1223-326500 (UK)
Fax: (1)-202-289-7562 (USA)
(44)-1223-326501 (UK)
E-mail: science_editors@aaas.org (USA)
science@science-int.co.uk (Europe)

抗体作製・ペプチド合成

コスモ・バイオの 受託サービス

エピトープデザイン
- コスモ・バイオにお任せデザイン
- コンサルティングデザイン

ポリクローナル抗体作製
- ファースト抗体
- ファースト抗体プラス
- カスタマイズ抗体
- 抗リン酸化ポリクローナル抗体
- 異種動物免疫プラン

モノクローナル抗体作製
- 成果保証制
- Step by Step
- Ecobody 技術　ウサギモノクローナル抗体
  短期間で高特異性モノクロ抗体をお届け！

ペプチド合成
修飾品・合成難易度の高いペプチド合成にも対応

AQUAグレードペプチド合成
タンパク質絶対定量用途の
安定同位体標識ペプチド合成

コスモ・バイオ札幌事業部のラボで製造しています

人と科学のステキな未来へ
コスモ・バイオ株式会社

TEL: (03)5632-9744
E-mail : peptide-ab@cosmobio.co.jp
URL : https://www.cosmobio.co.jp/

抗体ガーあっタイガー
ペプチドつくるどん!

抗体百科 Web版

■ 探しま章 ― Web 検索データベース

100 万品目以上の品ぞろえ、主要な約 12,000 ターゲットの抗体を国内に在庫。

■ 作りま章 ― 抗体作製受託サービス

お客様とのコミュニケーションを大切にし、高い技術力であらゆるニーズに対応。

「コウタイガー」「ペプチドン」は、
コスモ・バイオのオリジナルキャラクターです。

ファースト抗体
エピトープデザインからペプチド合成、
免疫までを安価にトライ

翻訳後修飾アミノ酸抗体作製
リン酸化を含む修飾アミノ酸に対する
ポリクローナル抗体を作製

カスタマイズ抗体
使用目的や実験条件に応じて
カスタマイズしたプランをご提案

モノクローナル抗体作製
成果保証の有無を選択可能、
成果品の権利はすべてお客様に帰属

コスモ・バイオの抗体百科に Go!　www.cosmobio.co.jp

人と科学のステキな未来へ
コスモ・バイオ株式会社

お問い合わせ　TEL: (03)5632-9610
URL : https://www.cosmobio.co.jp/

科学は生命がつむぐ
この惑星（ほし）の伝説

人と科学のステキな未来へ

人と科学のステキな未来へ
コスモ・バイオ株式会社

www.cosmobio.co.jp