
2024 Issue
Science
Japanese Scientists in Science 2023
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* 2023では、2023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、2024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
https://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 Office
〒541-0046 大阪市中央区平野町1-8-13 平野町八千代ビル
TEL：06-6202-6272　FAX：06-6202-6271
http://www.asca-co.com

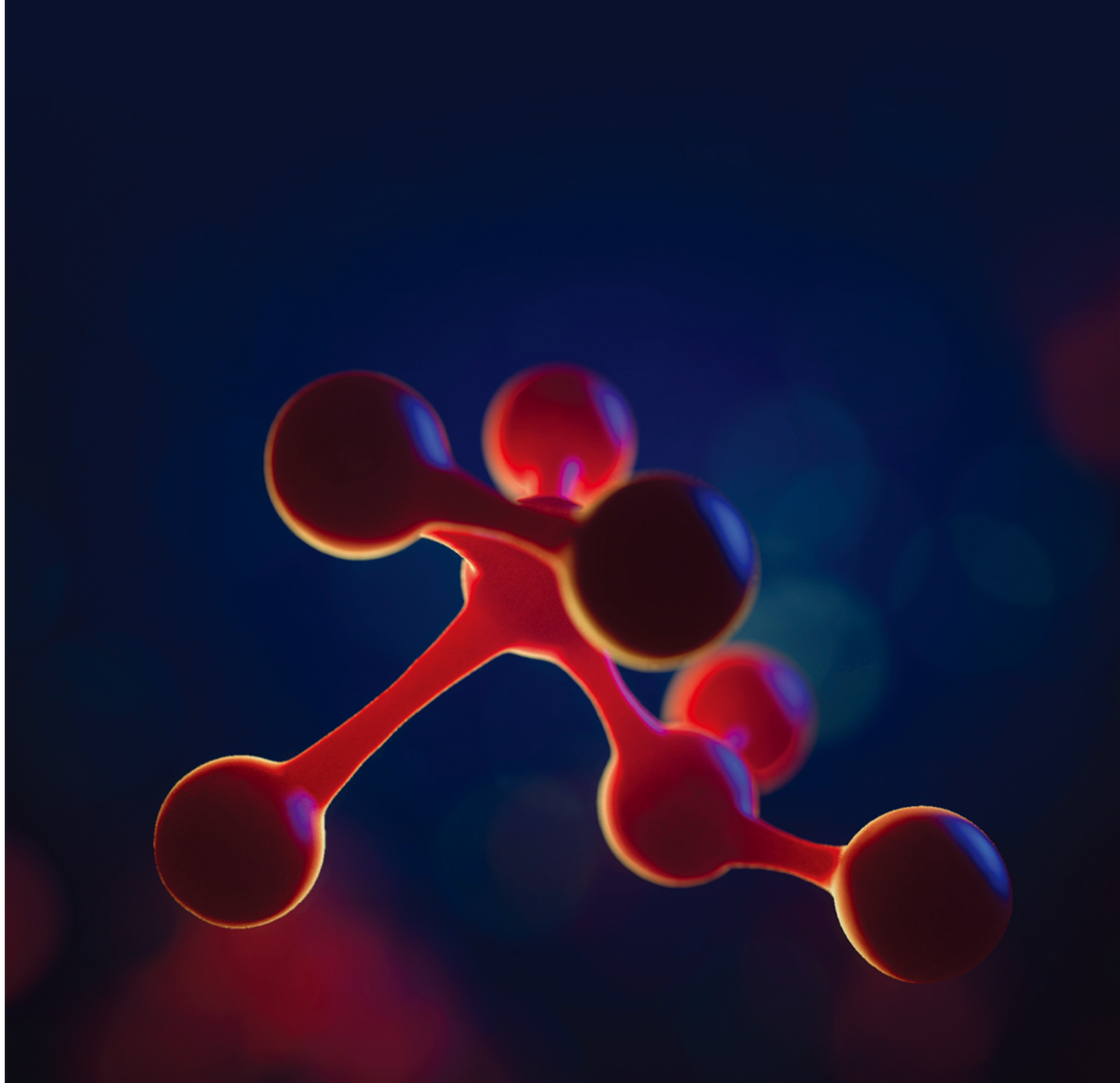
表紙デザイン

株式会社 大伸社コミュニケーションデザイン
〒150-0001 東京都渋谷区神宮前2-4-11 Daiwa神宮前ビル1F・2F
TEL：03-6863-3500　FAX：03-6682-4375
https://www.daishinsha-cd.jp/

発行日

2024年3月

©2024 American Association for the Advancement of Science. All rights reserved.
AAAS is a partner of HINARI, AGORA, OARE, CHORUS, CLOCKSS, CrossRef and COUNTER.



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 **Science.org/journals**

Science JOURNALS AAAS

Science

Japanese Scientists in *Science* 2023

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144年にわたりもっとも権威ある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。姉妹誌であるScience SignalingおよびScience Translational Medicine、Science Immunology、Science Robotics、また、オープンアクセス誌である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紹介しています。今号では、小惑星リュウグウに関する研究成果などのさまざまな新しい37件の研究を紹介し、Scienceが発表した2023年の最も顕著な10の科学的業績（Breakthrough of the Year）の日本語訳に加え、Scienceに掲載された著者によるコラムとして、「太陽系の起源と進化」「微生物がつくるコミュニティ」「超巨大ブラックホール成長」についての興味深い3つの記事も掲載しています。

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ことが目的です。この冊子を読んで、科学の未来に挑戦したいと思う方が増えることを願ってやみません。

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。

2024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2023に寄せて

100年とも言われる人の一生の間に触れ合うことが出来る家族や友人はかぎられます。その人々もいずれは亡くなり、やがて家族や友人の記憶からさえも遠のくことでしょう。絶え間なく続く災いも、諍いも、いつか歴史の教科書の中の一章に過ぎなくなり、ポリオやコロナのような感染症や後遺症も医学の教科書に残るだけかもしれません。苦しみながら生きた人、命を奪われた人、一人ひとりが生きた光のような時間の記憶は、時を共にした人との間にしか残りません。だからこそ、私たちには人が生きる時間を思いやる知恵が必要です。

人の社会は、身勝手な利益や保身のためのような狭い動機で動いてはならないのに、それが現実のようです。思想信条、宗教などの社会集団や、性別、身体的特徴など、自分との違いを理由に、他を傷つけ否定することでしか自分を肯定できない愚かしさは、たとえ国同士でも、たとえネットの中でも、ちからずくで奪うことを厭わないこととどれほど違うでしょう。今という時間を共に生きる人として、自分と自分以外の存在を認め、異なることを大切にするという当たり前のことも知恵です。

ヒトの病も諍いもお構いなしに地球環境は変貌を続けています。宇宙の成立ちや、地球の過去と今とを知ることも、また、地表に貼りついて命を宿した有機物であるヒト社会の秩序を正すことも、命の仕組みを知る基礎研究から治療や予防につなぐことも、この惑星とヒトの未来を失わせないための知恵で、ヒトは知恵を重ねて豊かにならなければなりません。科学に携わる人々が、地球視野での課題と解決の本質を説き示し、知恵を活かす時は来ています。ヒトが生きる今を大切にできなければ、100年先に、ヒトはこの惑星に存在しないかもしれないのです。

知恵を持つヒトは謎を解き、様々な角度から「真実」を探ります。必ずしも唯ひとつではないかもしれない「真実」に迫るのが基礎研究です。基礎研究の地味な検証の成果が、科学技術の進歩に欠かせない知恵の礎となって、ヒトが生きる時間を支え、より豊かな未来を創造することにつながります。人々が広い視野で知恵を活かして、200年先のヒトも豊かに生きる時間を繋ぐことができると良いですね。

私たちは、米国科学振興協会（AAAS）との共同事業として、様々な分野の最新の学術情報を提供する科学誌Scienceから、「サイエンス誌に載った日本人研究者」の研究と背景をご紹介することで、次の世代を担う子供たちや研究者を志す若い仲間がひとりでも多く生まれることを期待して、この冊子の制作に協賛しています。明日は今日より、ぜったいに楽しいと信じて、これからも生命科学の基礎研究をお手伝いします。

コスモ・バイオ株式会社
代表取締役社長 **櫻井 治久**

人と科学のステキな未来へ
コスモ・バイオ株式会社



STEPHAN SCHMITZ/FOLIOART

肥満の好敵手、現る　Obesity meets its match

ブロックバスター減量薬が幅広いベネフィットを示す

Blockbuster weight loss drugs show promise for a wider range of health benefits

JENNIFER COUZIN-FRANKEL

肥満は、個人的な苦痛であるとともに公衆衛生上の危機でもある。米国では成人の約70%が過体重であり、欧州では半数以上が過体重である。脂肪に対しては非難が爆発しており、そのリスクは生命に関わる。体格指数(BMI)30以上として定義される肥満は、2型糖尿病、心疾患、関節炎、脂肪性肝疾患、ならびにある種のがんの原因と考えられている。

しかし、肥満の治療薬には残念な歴史があり、それにはしばしば、体重を減らすべきであるという社会的圧力や、過体重は意志の弱さの現れであるという広く信じられている考えがまとわり付いてきた。1940年代に女性向けに市販されていたアンフェタミンと利尿薬を配合した「レインボーダイエットピル」から、1990年代に心臓と肺に重大な疾患を引き起こすとして盛衰をたどったフェン・フェンに至るまで、その歴史は、安全で効果的な減量薬を発見する試みの失敗の連続である。

しかし今や、新しいクラスの肥満治療薬が歴史の壁を打ち破りつつあり、肥満や、肥満と相互関係にある慢性疾患を激減させるという大きな期待が寄せられている。これらの治療薬は、グルカゴン様ペプチド-1(GLP-1)と呼ばれる腸内ホルモンの働きを模倣するもので、人びとを驚かせるとともに戸惑わせるような仕方で、医療や大衆文化、さらには世界の株式市場さえも変えつつある。最初は糖尿病治療用に開発されたこれらGLP-1受容体アゴニストは、大きな減量効果を発揮し、副作用のほとんどは治療可能である。今年、複数の臨床試験において、同薬が心不全の症状ならびに心臓発作および脳卒中のリスクを軽減することが示された。これは、同薬には減量にとどまらない大きなベネフィットがあることを示す、これまでで最も説得力のあるエビデンスである。こうした理由から、ScienceはGLP-1受容体アゴニストを今年のBreakthrough of the Yearに選出した。

われわれは、この治療薬を称揚するとともに、これがもたらす大きなプラスの変化に伴う不確実さ、さらには不安についても認識している。われわれはまた、肥満の問題には医学的・社会的に複雑な問題が伴っていること、また他の人びとから過体重と見なされている多くの人が健康であり、減量しようという欲求や必要性がほとんどないことも認識している。

GLP-1をめぐる物語には何十年にもわたる歴史があり、最初は肥満治療の研究には関わっていなかった。1980年代初期に、科学者たちは糖尿病と血糖調節について研究する中でGLP-1を発見した。辛抱強い、時には気力をくじかれるような研究が何年も続いたが、次第に発見が積み重なり、体と脳に広範な影響を及ぼすあるホルモンの存在が明らかになってきた。科学者たちはGLP-1がヒトの血糖値を下げることを知り、製薬会社はこれを糖尿病治療薬として研究し始めた。1990年代に、GLP-1をラットの脳内に注入すると食餌量が減ることがわかった。20人の健康若年男性を対象とした研究から、大量の朝食を摂った後に、GLP-1静注を受けた被験者ではプラセボ投与を受けた被験者と比べて、ビュッフェ形式の昼食時に摂る食事量が少ないことがわかった。

最初のGLP-1薬はエキセナチド(商品名バイエッタ)で、2005年に2型糖尿病治療薬として承認された。同薬の構造は、ヒトホルモンに基づくものではなく、信じられないことだが、大型のトカゲであるアメリカドクトカゲの毒素の含有物に類似したペプチドであった。その約5年後、Novo Nordisk社はヒトGLP-1の構造に基づいたリラグルチド(商品名ビクトーザ)を発売した。これも糖尿病治療であったが、2014年末に米国食品医薬品局(FDA)は肥満治療薬として承認した(商品名Saxenda)。これらの治療薬が実際に注目を浴びることになったのは、Novo Nordisk社の第二弾となるセマグルチドが米国で減量薬として最終的に承認された2年前のことであった(セマグルチドは、糖尿病治療にはオゼンピック、肥満治療にはウゴービの商品名で販売されている)。セマグルチドは先行薬とは異なり、1日1回または2回の注射ではなく、週1回のみの注射ですむ。そして大規模試験において、同薬を投与された被験者は16ヵ月で体重の15%という前代未聞の減量を達成した。同薬を投与された多くの被験者は、「フードノイズ」が弱まり、食べ続けたいという絶え間なく苦しめられる欲求が減少したことも報告した。

それ以来、熱狂は高まるばかりである。電子カルテのデータによれば今年、米国人の1.7%がウゴービまたはオゼンピックの処方を受けた(GLP-1薬は欧州でも減量薬として承認されているが、利用状況は様々である)。Novo Nordisk社の市場価値は今や、同社が拠点を置くデンマークの国内総生産を上回っている。「この部屋を見渡すと、ついこう思ってしまうよね。オゼンピックは自分には合っているのか、とね」と、司会役のコメディアンJimmy Kimmelが3月のアカデミー賞受賞式で、映画スターたちがオゼンピックを使っているという憶測を茶化してジョークをとばした。

しかし、こうしたジョークや売り上げ急上昇の裏には、極めて重要な疑問が潜んでいる。GLP-1薬は、実際に肥満の人たちの健康を守ることができるのか？ 今年、その疑問に対する答えが出た。答えは「イエス」であった。

8月に、肥満と心不全を有する529人の被験者を対象とした試験で、セマグルチド群の被験者は1年後、標準化された心不全質問票で評価したところ、プラセボ群の被験者と比べて心不全スコアの改善が約2倍となり、6分間歩行距離が20メートル延長した。その同じ月に、Novo Nordisk社は、過体重と心血管疾患を有する17,000人を対象としたはるかに大規模な試験において、セマグルチド群の被験者ではプラセボ群の被験者と比べて、致死的または非致死的心臓発作および脳卒中のリスクが20%低かったと公表した。この研究が発表されたのは11月のThe New England Journal of Medicine誌であった。これらの試験は、大人数の被験者においてGLP-1薬が減量以外にも意味のある健康上のベネフィットをもたらすことを示した最初の試験であった。その間、セマグルチドが糖尿病患者において腎臓病の進行を遅らせるかを検討した試験において、同様の肯定的な転帰が示されたが、この試験は早期に終了した。

GLP-1薬の利用は今や、開発した科学者たちも想像できないような仕方で拡大しつつある。肥満および糖尿病の被験者が、同薬の治療によりワインやタバコに対する欲求が少なくなったと報告している一方で、薬物中毒について調べる目的で複数の試験が実施されている。科学者たちは、GLP-1薬の作用機序として、食物だけでなく他の快楽に対する欲求にも関与する脳内の受容体と結合するという理論を立てている。GLP-1薬が脳内の炎症を標的とするというエビデンスもあることから、アルツハイマー病やパーキンソン病の治療についてもGLP-1薬の試験が実施されている。

しかし、医学におけるブレイクスルーは通常、容易に達成されるものではなく、GLP-1アゴニストをめぐる熱狂には不確実性と、さらにはいくぶんかの不安が伴っている。事実上すべての薬剤と同様、これらのブロックバスター薬には副作用が伴うことはわかっているが、それ以外は未知の領域である。嘔気などの消化管に関する問題を含む副作用のため、一部には治療をやめる人もいる。9月、米国の規制当局はオゼンピックの添付文書を改訂して腸閉塞のリスクの可能性があることを記載するようにし、また10月にはカナダの研究者らが膵炎に加えて腸閉塞の可能性が高まると報告した。

医師たちは、過体重や肥満でない人たちが体重を減らすために減量薬を使うことについて懸念を持っている。2022年の研究では、肥満を有するティーンエイジャーでは期待通りに体重の16%の減量が達成されたと報告されたが、同時に「GLP-1アゴニストは、減量を維持するために無期限に使用を続けなければならない『永遠の』治療

薬なのか?」という悩ましい疑問が持ち上がったことから、心配の種にもなった。

現時点でその可能性はあるようだが、結論はまだ出ていない。研究者らの報告によれば、患者が治療をやめた1年後、その3分の2では減量した体重がリバウンドしていた。肥満が慢性疾患であるとの考えを強めている研究者たちにとっては、治療継続の必要があることは驚くことではない。しかし、減量薬の費用は極めて高くなる可能性があり、製薬会社の希望小売価格では1ヵ月あたり1,000ドルを上回り、生涯使用を続けなければならないことを考えて多くの人が頭を悩ませている。

このような背景に対して、次のチャプターはすでに始まっている。すなわち、複数のホルモンの作用を模倣した、より減量効果が高いと思われる治療薬の開発である。その1つが、Eli Lilly & Co.のチルゼパチドで、昨年に糖尿病治療薬として承認されていたが、今年11月に米国で減量薬として承認された。1件の大規模臨床試験では、チルゼパチドを投与された被験者は最大で体重の21%の減量を達成したと報告された。

GLP-1薬の物語は続いているが、1つ明らかなことがある。それは、これらの治療薬は、肥満に対する治療法を変えるだけでなく、肥満についての理解をも変えつつあるということである。それは、肥満は生物学的な原因を有する慢性疾患なのであって、単なる意志の弱さによるものではない、ということだ。そして、この変化が、どんな治療薬よりも大きな影響を及ぼすことになるだろう。

RUNNERS-UP

Scienceは2023年のトップニュースに加え、注目すべき**RUNNERS-UP**を選出しました。誌面の都合上、簡単に紹介しますので、詳しい内容は後述のURLまたはQRコードから全文をご覧ください。

ついにアルツハイマー病の新薬開発がわずかに前進 At last, modest headway against Alzheimer's

アルツハイマー病に対する新規抗体治療薬レカネマブとドナネマブ(未承認)が認知機能低下の遅延効果を示した。アルツハイマー病患者の脳内に蓄積するアミロイドβを標的とするこれら新規治療薬は、重篤な副作用のリスクはあるものの、患者と家族に希望を与える。

天然水素の探索がヒートアップ Hunt for natural hydrogen heats up

地球内部で発生した天然水素の発見が、新たなエネルギーラッシュを引き起こしている。地球内部には1兆トンの水素が存在するとされており、南極大陸を除くすべての大陸で水素鉱床の徴候が認められる中、ベンチャーキャピタルも天然水素の採掘に投資している。

若手科学者たちが立ち上がる Early-career scientists rise up

労働条件の悪さに対する長年にわたる大学院生やポスドクたちの不満が、米国をはじめカナダやドイツでこれまでにない集団行動として広がり注目を集めた。多くの大学は、若手研究者を雇用する教授たちへの支援も含めて、労働条件の改善に取り組んでいる。

アメリカ大陸への最初の移住年代が承認に一歩近づく Early peopling of the Americas steps closer to acceptance

ニューメキシコ州の古代湖で発見された足跡の新たな年代測定から、アメリカ大陸への人の移住年代が見直された。最初の移住者の到達は、これまでの通説よりも5,000年も遡り、約23,000～21,000年前であった可能性が示唆された。

地球の炭素ポンプが減速している Earth's carbon pump is slowing

南極海の深層循環に変化がみられ、人類起源の二酸化炭素の3分の1を吸収する炭素ポンプが危機に直面している。温暖化による南極氷床の融解により、南極大陸周辺の海水の淡水化が進むことで、炭素ポンプの鍵を握る地球規模の海洋循環がさらに減速するだろう。

巨大ブラックホール群の合体から発せられる騒音 The din of giant black hole mergers overheard

数百万個の超大質量ブラックホール群の存在を示すと思われる、光年単位の長い波長を持つ重力波が検出された。これは同時に、重力波を検出するために、パルサーの定期的なモニタリングを利用した新たな方法を実証するものでもある。

AI気象予報士の登場 The AI weather forecaster arrives

コンピュータによる天気予報がAIに取って代わられつつある。40年分の気象データで訓練された深層学習モデルが、従来の数値天気予報よりもはるかに高速度かつ同等以上の精度で10日先までの天気を予測している。やがて気候モデルの予測もAIが担うようになるだろう。



ALEX GERST/NASA

40年分の気象データとモデルで訓練された人工知能は、いまや恐ろしいほどの精度でハリケーンの進路を予測できる。

マラリア撃退の新たな希望 New hope against malaria

世界初のマラリアワクチンMosquirixは、乳幼児の重症化と死亡を大幅に減らすことを示した。続く第二のワクチンR21/MatrixMは、先行薬と比べてより安価で大量生産が可能なため、年間何万人もの子どもの死亡を防ぐ可能性がある。

エクサスケールコンピューティングの時代の幕開け The dawn of exascale computing

初のエクサスケールコンピュータであるオークリッジ国立研究所のフロンティアは、エクサスケール科学の時代の到来を告げた。フロンティアの利用により、60万個の電子挙動の予測や地球気候モデルの分解能向上など、これまでにないスケールの科学への扉が開かれる。

BREAKDOWNS

Scienceは、2023年のトップニュースを含めた画期的な科学の業績だけでなく、科学における**BREAKDOWN**も選出しました。誌面の都合上、簡単に紹介しますので、詳しい内容は後述のURLまたはQRコードから全文をご覧ください。

米国南極プログラムのメルトダウン U.S. Antarctic meltdown

米国南極プログラム(USAP)はセクシャル・ハラスメント問題で揺れる一方、パンデミックの影響もありプロジェクトの半分以上がキャンセルまたは縮小された。これは、気候変動に対する監視機能低下や将来の研究者流出につながりかねない。

COVID-19の余波 COVID-19 aftershocks

COVID-19パンデミックの起源が中国の武漢研究所からのウイルス流出にあるとの疑惑が消えず、科学者や政策立案者の間で不和と不信が高まった。武漢市場の環境サンプル由来の遺伝子配列の解釈や、武漢研究所への米国の関与をめぐる議論が続いている。

超伝導体の主張が抵抗にあう Superconductor claims hit resistance

革命的な室温超伝導を報告してNatureに掲載された論文が、複数の共著者の要請によって撤回された。室温での超電導は送電に大革命をもたらし、温室効果ガスの削減にも貢献すると期待されるが、その実現はまだ途上にある。

ツイッター上で研究が水の泡となる Research on Twitter goes down the drain

Elon MuskによりXと改名された旧ツイッターでは、投稿監視の規模縮小や、APIの無料アクセスの終了により、利用してきた研究者たちが相次いで同サイトに背を向けた。これにより、オンラン上の多くの科学コミュニティが打撃を受けた。

2023 BREAKTHROUGH OF THE YEAR、RUNNERS-UPおよびBREAKDOWNS全文は、
英語原文および日本語版のURLまたはQRコードからご覧いただけます。

英語原文：https://www.science.org/content/article/breakthrough-of-the-year-2023

日本語版：https://www.science.org/content/page/japanese-translation-breakthrough-year

Japanese Scientists in *Science* 2023

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2023に寄せて …… 3

2023 BREAKTHROUGH OF THE YEAR …… 4

1月6日号 RESEARCH ARTICLE

過去の肥満はエピジェネティック変化として自然免疫細胞に記憶され、後年に神経炎症の増悪を引き起こす …… 16

Past history of obesity triggers persistent epigenetic changes in innate immunity and exacerbates neuroinflammation

Postdoctoral fellow, Department of Ophthalmology, Maisonneuve-Rosemont Hospital Research Centre, University of Montreal
Postdoctoral fellow, Department of Biochemistry and Molecular Medicine, Maisonneuve-Rosemont Hospital Research Centre, University of Montreal
（現 京都大学医学部附属病院 眼科 特定講師） 畑 匡侑

Professor, Department of Ophthalmology, University of Montreal Przemyslaw (Mike) Sapieha

1月6日号 RESEARCH ARTICLE

不動繊毛はノード流の流れの向きを機械的に感知して左右軸を決定する …… 17

Immotile cilia mechanically sense the direction of fluid flow for left-right determination

理化学研究所 生命機能科学研究センター 個体パターニング研究チーム 基礎科学特別研究員
（現 東京大学大学院 医学系研究科 細胞生物学教室 助教／東京大学 卓越研究員） 加藤 孝信

2月3日号 RESEARCH ARTICLE

N-複素環式カルベンからα,β-不飽和アミドへの単一炭素原子の移動 …… 18

Single–carbon atom transfer to α,β-unsaturated amides from N-heterocyclic carbenes

大阪大学大学院 工学研究科 応用化学専攻 教授 鳶巣 守
大阪大学大学院 工学研究科 応用化学専攻 博士前期課程（現 ダイキン工業株式会社） 神谷 美晴
大阪大学大学院 工学研究科 応用化学専攻 博士前期課程（現 東レ株式会社） 仲保 文太
大阪大学大学院 工学研究科 応用化学専攻 助教 藤本 隼斗
大阪大学大学院 工学研究科 応用化学専攻 博士後期課程
（現 大阪大学大学院 工学研究科 応用化学専攻 助教） 安井 孝介
大阪大学大学院 工学研究科 応用化学専攻 助教 兒玉 拓也

2月10日号 RESEARCH ARTICLE

細胞内のRNAメチルトランスフェラーゼの阻害はインフルエンザウイルスのキャップ構造の付加を妨げ複製を抑制する …… 19

Inhibition of cellular RNA methyltransferase abrogates influenza virus capping and replication

Postdoctoral fellow, Institute of Cardiovascular Immunology, Medical Faculty, University Hospital Bonn, University of Bonn 塚本 雄太
北海道大学 人獣共通感染症国際共同研究所 准教授 五十嵐 学
Professor, Institute of Cardiovascular Immunology, Medical Faculty, University Hospital Bonn, University of Bonn 加藤 博己

2月24日号 RESEARCH ARTICLE

小惑星リュウグウから持ち帰られたサンプル、イヴナ型炭素質隕石に類似 …… 20

Samples returned from the asteroid Ryugu are similar to Ivuna-type carbonaceous meteorites

北海道大学 大学院理学院 自然史科学専攻 教授
北海道大学 創成研究機構 IIL 教授 圦本 尚義
東京工業大学 理学院 地球惑星科学系 教授 横山 哲也
Specialist, Manager of W.M. Keck Cosmochemistry Laboratory, Hawai'i Institute of Geophysics and Planetology, University of Hawai'i at Mānoa 永島 一秀

COLUMN 太陽系の起源と進化を研究するということ …… 21

2月24日号 RESEARCH ARTICLE

炭素質小惑星リュウグウの形成と進化：リターンサンプルから得た証拠 …… 22

Formation and evolution of carbonaceous asteroid Ryugu: Direct evidence from returned samples

東北大学大学院 理学研究科 地学専攻 初期太陽系進化学研究室 教授 中村 智樹
東北大学大学院 理学研究科 地学専攻 初期太陽系進化学研究室 助教 松本 恵
東北大学大学院 理学研究科 地学専攻 初期太陽系進化学研究室 博士課程
（現 フランス国立自然史博物館 博士研究員） 天野 香菜

2月24日号 RESEARCH ARTICLE

小惑星リュウグウのサンプル中の希ガスと窒素成分は、その揮発成分の供給源と最近の表層の進化を伝える …… 23

Noble gases and nitrogen in samples of asteroid Ryugu record its volatile sources and recent surface evolution

九州大学 大学院理学研究院 地球惑星科学部門 准教授 岡崎 隆司

2月24日号 RESEARCH ARTICLE
炭素質小惑星リュウグウ(162173)の試料中の可溶性有機分子 …… 24
Soluble organic molecules in samples of the carbonaceous asteroid (162173) Ryugu
九州大学 大学院理学研究院 地球惑星科学部門 教授 奈良岡 浩

2月24日号 RESEARCH ARTICLE
小惑星リュウグウ(162173)サンプル中の固体有機物 …… 25
Macromolecular organic matter in samples of the asteroid (162173) Ryugu
広島大学大学院 先進理工系科学研究科 地球惑星システム学プログラム 教授
広島大学 持続可能性に寄与するキラルノット超物質拠点 副拠点長(兼任) 薮田 ひかる
横浜国立大学大学院 工学研究院 准教授(現 東京工業大学理学院 地球惑星科学系 准教授) 癸生川 陽子
名古屋大学大学院 環境学研究科 地球環境科学専攻 助教 橋口 未奈子
埼玉県立大学 保健医療福祉学部 准教授 小松 睦美
東京大学大学院 理学系研究科 地球惑星科学専攻 助教 奥村 大河
高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 助教 山下 翔平
東京大学大学院 理学系研究科 地球惑星科学専攻 教授 高橋 嘉夫

3月3日号 RESEARCH ARTICLE
異常金属における臨界電荷モードの観測 …… 26
Observation of a critical charge mode in a strange metal
兵庫県立大学大学院 理学研究科 量子物性学分野 教授 小林 寿夫
東京大学 物性研究所 特任教授
東京大学 大学院理学系研究科 物理学専攻 教授
トランススケール量子科学国際連携研究機構 機構長 中辻 知
Professor, Department of Physics and Astronomy, Rutgers University Piers Coleman

3月10日号 RESEARCH ARTICLE
MINFLUXを用いて生細胞における
モータータンパクの歩行ステップを直接観察する …… 27
Direct observation of motor protein stepping in living cells using MINFLUX
Postdoctoral Researcher, Cell Biology and Biophysics Unit,
European Molecular Biology Laboratory 出口 隆宏
Group leader, Cell Biology and Biophysics Unit, European Molecular Biology Laboratory
(現 Professor, Max Perutz Labs, Vienna Biocenter Campus(VBC)) Jonas Ries

4月7日号 RESEARCH ARTICLE
波形制御電解を用いてコルベ反応の限界を克服する …… 28
Overcoming the limitations of Kolbe coupling with waveform-controlled electrosynthesis
Scientific Collaborator, Department of Chemistry, Scripps Research
(現 三菱ケミカル株式会社 スペシャリティマテリアルズビジネスグループ R&D本部
インフォメーション&エレクトロニクステクノロジーセンター 主任研究員) 日置 優太
Institute Investigator, Department of Chemistry, Scripps Research 川又 優

4月14日号 RESEARCH ARTICLE
均一な複合材料における力学的な非相反性 …… 29
Mechanical nonreciprocity in a uniform composite material
理化学研究所 創発物性科学研究センター 創発生体関連ソフトマター研究チーム 研究員 王 翔
理化学研究所 創発物性科学研究センター 創発生体関連ソフトマター研究チーム チームリーダ 石田 康博

4月14日号 RESEARCH ARTICLE
位置天文学を利用した直接撮像法による
太陽系外の巨大ガス惑星の発見 …… 30
Direct imaging and astrometric detection of a gas giant planet orbiting an accelerating star
東京大学大学院 理学系研究科 教授
自然科学研究機構 アストロバイオロジーセンター センター長
自然科学研究機構 国立天文台 特命教授 田村 元秀

5月19日号 RESEARCH ARTICLE
高性能マルチモード弾性熱量冷却システム …… 31
High-performance multimode elastocaloric cooling system
Professor, Department of Materials Science and Engineering, University of Maryland
Maryland Quantum Materials Center, Department of Physics, University of Maryland 竹内 一郎

5月26日号 RESEARCH ARTICLE
免疫シナプスにおけるT細胞受容体シグナル伝達は
エクトサイトーシスを介して自己限定化される …… 32
Ectocytosis renders T cell receptor signaling self-limiting at the immune synapse
Research Associate, Cambridge Institute for Medical Research, University of Cambridge
浅野 由香子
Principal Research Associate, Cambridge Institute for Medical Research, University of Cambridge
Jane C. Stinchcombe
Professor of Cell Biology and Immunology, Cambridge Institute for Medical Research, University of Cambridge
Gillian M. Griffiths

6月16日号 RESEARCH ARTICLE
オントンジャワ海台は従来の推定年代より若く、
より長期間活動していた …… 33
A younger and protracted emplacement of the Ontong Java Plateau
国立科学博物館 地学研究部 鉱物科学研究グループ グループ長 佐野 貴司
海洋研究開発機構 海域地震火山部門 火山・地球内部研究センター
地球内部物質循環研究グループ グループリーダー 羽生 毅

6月23日号 RESEARCH ARTICLE
温度に依存した分数磁束量子を持つ超伝導渦糸 …… 34
Superconducting vortices carrying a temperature-dependent fraction of the flux quantum
Senior Research Scientist, Geballe Laboratory for Advanced Materials, Stanford University 井口 雄介

7月7日号 RESEARCH ARTICLE
電極厚みがミリメートルオーダーの蓄電池用途の超リチウムイオン導体…… 35
A lithium superionic conductor for millimeter-thick battery electrode
東京工業大学 科学技術創成研究院 全固体電池研究センター 特任准教授 堀 智
東京工業大学 科学技術創成研究院 全固体電池研究センター 特命教授 菅野 了次

8月18日号 RESEARCH ARTICLE
アルカニボラックス・ボルクメンシスのバイオフィルムは界面の管状化によって油の分解を促進する …… 36
Alcanivorax borkumensis biofilms enhance oil degradation by interfacial tubulation
筑波大学 医学医療系 助教
トランスボーダー医学研究センター
筑波大学 微生物サステイナビリティ研究センター(MiCS) 尾花 望
筑波大学 生命環境系 教授
筑波大学 微生物サステイナビリティ研究センター(MiCS) センター長 野村 暢彦
筑波大学 生命環境系 准教授
筑波大学 微生物サステイナビリティ研究センター(MiCS) Andrew S. Utada

COLUMN 微生物がつくるコミュニティ …… 37

9月1日号 RESEARCH ARTICLE
重力感知に関連した細胞極性は平衡石から細胞膜へのLZYタンパク質の移行によって創出される …… 38
Cell polarity linked to gravity sensing is generated by LZY translocation from statoliths to the plasma membrane
自然科学研究機構 基礎生物学研究所 植物環境応答研究部門 助教
総合研究大学院大学 助教 西村 岳志
自然科学研究機構 基礎生物学研究所 植物環境応答研究部門 技術職員 森 祥伍
自然科学研究機構 基礎生物学研究所 植物環境応答研究部門 助教
総合研究大学院大学 助教 四方 明格
自然科学研究機構 基礎生物学研究所 植物環境応答研究部門 教授
総合研究大学院大学 教授 森田(寺尾) 美代

9月1日号 RESEARCH ARTICLE
環状オリゴマーを生成しない環状オリゴシロキサンの開環重合 …… 39
Ring-opening polymerization of cyclic oligosiloxanes without producing cyclic oligomers
Group leader of ECOIH Team (DR1 of CNRS), Laboratoire Hétérochimie Fondamentale et Appliquée (UMR 5069), Université de Toulouse 加藤 剛

9月8日号 RESEARCH ARTICLE
グリーン・ナッジによる使い捨て食器の削減:中国における食事デリバリー業界からのエビデンス …… 40
Reducing single-use cutlery with green nudges: Evidence from China's food-delivery industry
東京大学大学院 経済学研究科 教授
アジア開発銀行(ADBI) 客員研究員 澤田 康幸

9月15日号 RESEARCH ARTICLE
アンジェルマン症候群の責任因子Ube3aはBMPを介したシグナル伝達を抑制することによりシナプス除去を促進する …… 41
Presynaptic Ube3a E3 ligase promotes synapse elimination through down-regulation of BMP signaling
東京大学大学院 理学系研究科 生物科学専攻 脳機能学分野 特任助教 古澤 孝太郎
東京大学大学院 理学系研究科 生物科学専攻 脳機能学分野 教授
東京大学国際高等研究所 ニューロインテリジェンス国際研究機構 副機構長/主任研究者 榎本 和生

9月22日号 RESEARCH ARTICLE
in silicoでのタンパク質相互作用スクリーニングによりDONSONの複製開始における役割が明らかに …… 42
In silico protein interaction screening uncovers DONSON's role in replication initiation
国立遺伝学研究所 分子細胞工学研究室 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 鐘巻 将人
国立遺伝学研究所 分子細胞工学研究室 技術職員 坂本(村松)佐知子
Professor, MRC Human Genetics Unit, Institute of Genetics and Cancer, University of Edinburgh Andrew P. Jackson
Professor, Department of Biological Chemistry and Molecular Pharmacology, Harvard Medical School, Blavatnik Institute
Howard Hughes Medical Institute Johannes C. Walter

9月29日号 RESEARCH ARTICLE
ナイトレンのイプソ位選択的窒素原子挿入反応によるベンゼンからピリジンへの変換反応 …… 43
Aromatic nitrogen scanning by *ipso*-selective nitrene internalization
Visiting Student, Department of Chemistry, University of Chicago
(現 大阪大学大学院 工学研究科 応用化学専攻 博士課程) 島住 竜馬
Associate Professor, Department of Chemistry, University of Chicago Mark D. Levin

10月6日号 RESEARCH ARTICLE
ダイヤモンドにおける転位の遷音速伝播 …… 44
Transonic dislocation propagation in diamond
大阪大学大学院 工学研究科 電気電子情報工学専攻 先進電磁エネルギー工学講座 博士課程
(現 Physical Science Research Scientist,
Department of Materials Science & Engineering, Stanford University) 片桐 健登
大阪大学大学院 工学研究科 電気電子情報工学専攻 先進電磁エネルギー工学講座 准教授 尾崎 典雅
大阪大学レーザー科学研究所 所長
大阪大学大学院 工学研究科 電気電子情報工学専攻 先進電磁エネルギー工学講座 教授 兒玉 了祐

10月20日号 RESEARCH ARTICLE
ニューラル推論におけるエネルギー、空間、時間の最前線 …… 45
Neural inference at the frontier of energy, space, and time
Staff Research Scientist, IBM Research 上田 高徳
Staff Research Scientist, IBM Research 伊藤 愛
Staff Research Scientist, IBM Research 中村 裕
Senior Research Scientist, IBM Research 澤田 潤

10月27日号 RESEARCH ARTICLE
クエンチした2次元ボーズ気体における動的BKT転移の普遍スケーリング …… 46
Universal scaling of the dynamic BKT transition in quenched 2D Bose gases
Junior Research Fellow, Clarendon Laboratory, University of Oxford 角南 槙一

10月27日号 RESEARCH ARTICLE
Sr_2RuO_4におけるリフシッツ転移での巨大な格子のソフト化 …… 47
Giant lattice softening at a Lifshitz transition in Sr_2RuO_4
Post-doctoral research scientist, Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids Hilary M. L. Noad
Post-doctoral research scientist, Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids
(現 東北大学 金属材料研究所 助教) 石田 浩祐
Professor, Institut für Theorie der Kondensierten Materie, Karlsruher Institut für Technologie
Professor, Institut für QuantenMaterialien und Technologien, Karlsruher Institut für Technologie
Jörg Schmalian
Director, Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids
Professor, Scottish Universities Physics Alliance, School of Physics and Astronomy, University of St Andrews
Andrew P. Mackenzie
Reader, School of Physics and Astronomy, University of Birmingham
Group leader, Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids Clifford W. Hicks

11月3日号 RESEARCH ARTICLE
1パーセク以下の構造で観察された
超大質量ブラックホールの質量供給およびフィードバック …… 48
Supermassive black hole feeding and feedback observed on subparsec scales
国立天文台 アルマプロジェクト 准教授 泉 拓磨

COLUMN 目指せ、超巨大ブラックホール成長の完全解明! …… 49

11月3日号 RESEARCH ARTICLE
ブレイン・マシン・インターフェース技術を用いてマウスの脳の海馬において
遠隔地にある事物の記憶表象を自在に活性化することができる …… 50
Volitional activation of remote place representations with a hippocampal brain–machine interface
Postdoc (Research Specialist II), Janelia Research Campus, Howard Hughes Medical Institute
(現 Postdoc (Research Specialist II), Howard Hughes Medical Institute and Department of Neurology,
Beth Israel Deaconess Medical Center) Chongxi Lai
Postdoc (Research Specialist II), Janelia Research Campus, Howard Hughes Medical Institute
(現 Postdoc (Research Specialist II), Howard Hughes Medical Institute and Department of Neurology,
Beth Israel Deaconess Medical Center) 田中 進介
Senior Fellow, Janelia Research Campus, Howard Hughes Medical Institute Timothy D. Harris
Group leader, Janelia Research Campus, Howard Hughes Medical Institute
(現 Principal Investigator, Howard Hughes Medical Institute and Department of Neurology,
Beth Israel Deaconess Medical Center) Albert K. Lee

11月24日号 RESEARCH ARTICLE
地表検出器アレイで検出した極めて高いエネルギーの宇宙線 …… 51
An extremely energetic cosmic ray observed by a surface detector array
大阪公立大学大学院 理学研究科 物理学専攻 准教授
大阪公立大学 南部陽一郎物理学研究所 兼任研究員 藤井 俊博

11月24日号 RESEARCH ARTICLE
溶解によって常温付近のドロマイト結晶の成長が可能になる …… 52
Dissolution enables dolomite crystal growth near ambient conditions
北海道大学 低温科学研究所 教授 木村 勇気
北海道大学 低温科学研究所 特任助教 山﨑 智也

12月1日号 RESEARCH ARTICLE
原子分解能で捉えたフォトリアーゼによるDNA修復過程の可視化 …… 53
Visualizing the DNA repair process by a photolyase at atomic resolution
台湾中央研究院 生物化學研究所 客座教授
理化学研究所 SPring-8センター 客員研究員 別所 義隆
大阪大学 大学院基礎工学研究科 物質創成専攻 准教授 山元 淳平

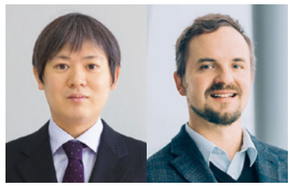
12月8日号 RESEARCH ARTICLE
大気中のCO_2の新生代史に向けて …… 54
Toward a Cenozoic history of atmospheric CO_2
北海道大学 低温科学研究所 水・物質循環部門 准教授 関 宰

12月22日号 RESEARCH ARTICLE
グリア細胞はショウジョウバエの回避学習において
負の情報の伝達に関与している …… 55
Glia transmit negative valence information during aversive learning in *Drosophila*
東京都医学総合研究所 脳・神経科学研究分野 学習記憶プロジェクト 主席研究員 宮下 知之
東京都医学総合研究所 脳・神経科学研究分野 学習記憶プロジェクト 参事研究員 プロジェクトリーダー 齊藤 実

Science 1月6日号
RESEARCH ARTICLE
M. Hata *et al.*, *SCIENCE* 5 Jan 2023: Vol 379, Issue 6627 pp. 45-62
DOI: 10.1126/science.abj8894
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.abj8894

過去の肥満はエピジェネティック変化として自然免疫細胞に記憶され、後年に神経炎症の増悪を引き起こす

Past history of obesity triggers persistent epigenetic changes in innate immunity and exacerbates neuroinflammation



左から畑 匡侑、Przemyslaw Sapieha

畑 匡侑 Masayuki Hata
Postdoctoral fellow, Department of Ophthalmology, Maisonneuve-Rosemont Hospital Research Centre, University of Montreal
Postdoctoral fellow, Department of Biochemistry and Molecular Medicine, Maisonneuve-Rosemont Hospital Research Centre, University of Montreal
（現 京都大学医学部附属病院 眼科 特定講師）

Przemyslaw (Mike) Sapieha
Professor, Department of Ophthalmology, University of Montreal

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact
畑 匡侑
E-mail：trj74h6@kuhp.kyoto-u.ac.jp
所在地：606-8507 京都府京都市左京区聖護院川原町54
ＵＲＬ：https://www.ophthalmol.kuhp.kyoto-u.ac.jp/

Przemyslaw (Mike) Sapieha
E-mail：mike.sapieha@umontreal.ca
所在地：Maisonneuve-Rosemont Hospital Research Center 5415 boul. De l'Assomption, Montreal QC, H1T 2M4, CANADA
ＵＲＬ：https://sapiehalab.com/

過去の肥満は痩せた後も記憶されている

加齢黄斑変性（AMD）は、最も頻度の高い神経炎症性疾患の一つであり、世界の失明原因疾患の上位を占める。AMDの発症メカニズムはいまだ不明な点が多いが、免疫関連遺伝子変異などの遺伝的要因に加えて、喫煙や肥満などの炎症を惹起するような環境的要因の蓄積によって引き起こされると考えられている。中でも、肥満は喫煙に次ぐAMD発症の重要な環境危険因子であり、肥満が引き起こす慢性的な全身性炎症がAMD発症に関与していると考えられている。一方で、一度太った肥満を改善させることで、慢性炎症ひいてはAMD発症を抑える効果があるかは、よくわかっていなかった。

われわれは、高脂肪食により肥満となったマウスに対して、食餌を通常食へと切り替えることで体重を正常化させた肥満既往マウスを作成し、過去の肥満が痩せた後もAMD発症に影響を与えることを明らかにした。さらに、肥満時に増加した脂質によって腹腔内脂肪組織マクロファージのエピジェネティック記憶が形成され、肥満改善後も炎症性サイトカインや血管新生因子を分泌しやすい状態で保持されていることを突き止めた。本研究は、網膜疾患や神経炎症性疾患の発症に、自然免疫系に刻まれた「過去の記憶」が影響を与えうることを明らかにした。今後は、免疫記憶に対する治療介入が、これら難治性疾患の新たな治療戦略となりうると考えられる。

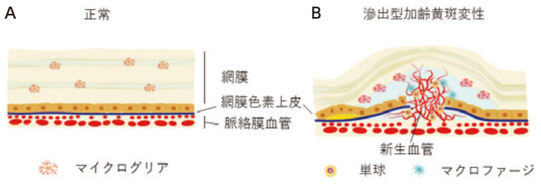


図1：網膜の正常構造と滲出型加齢黄斑変性（AMD）による脈絡膜新生血管
(A) 正常網膜（断層像）では、神経細胞とグリア細胞が層構造をなし、外側に網膜色素上皮細胞、脈絡膜血管が存在。
(B) 滲出型AMDでは、脂質沈着と自然免疫活性化による慢性炎症が生じ、脈絡膜新生血管が発生。

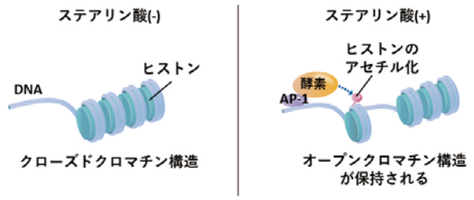


図2：ステアリン酸によるクロマチンリモデリング
肥満マウスでは血中ステアリン酸が増加し、マクロファージ内の転写因子AP-1の発現が上昇し、AP-1がDNAに結合することでヒストン蛋白のアセチル化が誘導され、炎症性サイトカインなどの遺伝子発現上昇が保持される。



難治性網膜疾患の病態解明と新規治療法開発をめざして

現在わたしたちは、本研究で得られた知見をもとに、自然免疫記憶の臨床応用に向けた準備をしています。また、「なぜ老化によって加齢性眼疾患は発症するのか?」「食事や睡眠、喫煙などの日常生活習慣が眼疾患に与える影響は?」などの根源的質問に答えるべく、基礎研究と疫学研究・臨床研究などの手法を用いて検討を重ね、現在の疾患概念や治療コンセプトを大きく変えるような発見を目指しております。ご興味のある方はぜひご連絡ください。

写真は、留学先で開催された私の送別会での一コマです。左から私、ボスのMike、ポスドク同期のSergio（現 モントリオール大学assistant professor）です。

Science 1月6日号
RESEARCH ARTICLE
T. A. Katoh *et al.*, *SCIENCE* 5 Jan 2023: Vol 379, Issue 6627 pp. 66-71
DOI: 10.1126/science.abq8148
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.abq8148

不動繊毛はノード流の流れの向きを機械的に感知して左右軸を決定する

Immotile cilia mechanically sense the direction of fluid flow for left-right determination



加藤 孝信 Takanobu A. Katoh
理化学研究所 生命機能科学研究センター 個体パターニング研究チーム 基礎科学特別研究員
（現 東京大学大学院 医学系研究科 細胞生物学教室 助教／東京大学 卓越研究員）

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact
E-mail：takanobu.a.katoh@gmail.com
所在地：113-0033 東京都文京区本郷7-3-1
ＵＲＬ：https://sites.google.com/view/katoh

なぜ心臓は左にあるのだろう? 繊毛を介した力学情報がカギを握る

哺乳類の発生過程において頭尾・前後・左右の3軸の情報を用いて内臓の配置が決定される。とくに受精後7.5日目（マウスの場合；ヒトは妊娠第3週）に初めて左側特異的な遺伝子発現が生じて左右の対称性が破られる。そのメカニズムとして、前後軸の情報を利用して生み出される左向き流れ（ノード流）が、流れの下流（左）側のみで、細胞の「アンテナ」である一次繊毛（ノード不動繊毛）を活性化することが知られる。しかし、どのように繊毛が活性化されるか（化学刺激or機械刺激）、そして左右両側にある繊毛のうちなぜ下流側のみが活性化するかは未解明であった。

本研究では、高解像度のイメージング・光操作・画像解析を組み合わせることにより、ノード流によって繊毛に機械的な力が及ぼされていることを明らかにした。さらに光ピンセットという非接触顕微操作技術を用いて、実際に人為的な力を繊毛に与えると活性化することを示した（図1）。詳細な解析から、繊毛は曲げられる「向き」を感知できる新たなタイプのメカノセンサーであることがわかり、左側の繊毛だけが活性化される理由を説明した（図2）。本研究により左右軸決定における繊毛の機能の詳細が明らかになったことで、内臓逆位をはじめとする繊毛病のさらなる理解が期待される。

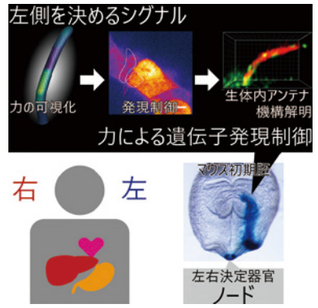


図1：左側を決めるシグナルが活性化されるメカニズム
細胞のアンテナである「繊毛」にはたらく力によって、左側を決めるシグナルが活性化されることがわかった。

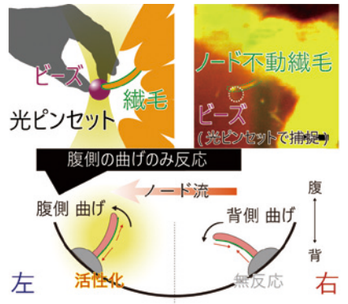


図2：ノード不動繊毛は曲げられる向きを感知できる
光ピンセットを用いて実際に繊毛を「つかむ」ことで、繊毛が腹側の曲がりのみに応答できることを発見し、ノード流によって左側の繊毛のみが活性化する理由を説明。



分野横断的な共同研究から生み出されたブレイクスルー

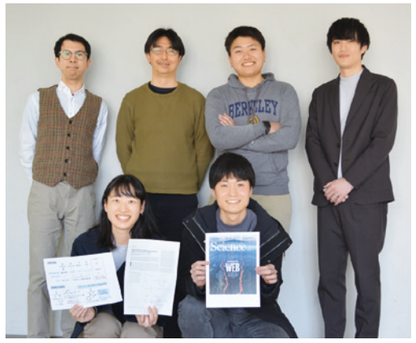
研究当時の所属研究室である濱田博司先生（現 インドNational Centre for Biological Sciences）のラボは、*Lefty*遺伝子の発見など、左右軸研究において世界的に有名です。一方、私は一分子測定技術をバックグラウンドとして、特定性能に特化した光学顕微鏡を開発することで力学情報の研究を行っています。こうした顕微鏡技術を濱田研究室の豊富なリソースに適応させ、さらに石川先生・大森先生（東北大学）による定量解析と組み合わせることで、左右軸決定における力学情報の可視化と人為操作に成功することができました。共同研究者への感謝とともに、分野横断的な共同研究の威力を感じました。

私自身はこれからも独自の光学顕微鏡技術を駆使して、繊毛を介する力学情報による生体機能制御の研究を行っていきますので、興味がありましたらぜひご連絡ください。

Science 2月3日号
RESEARCH ARTICLE
M. Kamitani *et al.*, *SCIENCE* 2 Feb 2023: Vol 379, Issue 6631 pp. 484-488
DOI: 10.1126/science.ade5110
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.ade5110

N-複素環式カルベンからα,β-不飽和アミドへの単一炭素原子の移動

Single–carbon atom transfer to α,β-unsaturated amides from N-heterocyclic carbenes



後列左から兒玉 拓也、鳶巣 守、安井 孝介、藤本 隼斗
前列左から神谷 美晴、仲保 文太

鳶巣 守 Mamoru Tobisu
大阪大学大学院 工学研究科 応用化学専攻 教授

神谷 美晴 Miharu Kamitani
大阪大学大学院 工学研究科 応用化学専攻 博士前期課程（現 ダイキン工業株式会社）

仲保 文太 Bunta Nakayasu
大阪大学大学院 工学研究科 応用化学専攻 博士前期課程（現 東レ株式会社）

藤本 隼斗 Hayato Fujimoto
大阪大学大学院 工学研究科 応用化学専攻 助教

安井 孝介 Kosuke Yasui
大阪大学大学院 工学研究科 応用化学専攻 博士後期課程
（現 大阪大学大学院 工学研究科 応用化学専攻 助教）

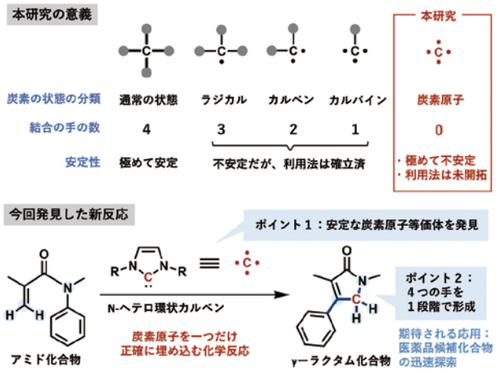
兒玉 拓也 Takuya Kodama
大阪大学大学院 工学研究科 応用化学専攻 助教

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact 鳶巣 守 E-mail：tobisu@chem.eng.osaka-u.ac.jp 所在地：565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1
U R L：https://www-chem.eng.osaka-u.ac.jp/~tobisu-lab/

安定な有機化合物を炭素原子等価体とする新合成技術

炭素原子は通常、結合の手を４本持つ状態で存在する。一方、結合の手を３本しか持たないラジカル、２本しか持たないカルベン、１本しか持たないカルバインという化学種も知られている。これらの化学種は、手の数が少ないほど、より不安定となり制御して扱うことが困難だが、化学反応を通じて新たに形成できる結合の数は多くなり、特徴的な反応へと応用されてきた。これに対して、結合の手が０本である炭素原子は、わずか４つの価電子しか持たない極めて不安定な化学種であり、それゆえ、化学反応での利用は実用的な観点からは達成されていなかった。本論文では、アミド化合物にN-ヘテロ環状カルベンを反応させることで、炭素原子１つだけが正確に埋め込まれてγ-ラクタム化合物が得られるという反応を報告した。導入される炭素中心に対して新たに４つの共有結合を一度に形成できる前例のない反応である。本手法により、簡便に入手可能なアミド化合物から、一段階で複雑な構造を持つ多様なγ-ラクタム化合物を合成できるため、医薬品候補化合物の迅速探索など多岐にわたる応用が期待される。



図：炭素原子１つだけを正確に埋め込む有機化学反応

手の数が４本未満の炭素種は化学反応で利用されてきたが、手の数が０本の炭素原子を利用する実用的な反応は知られていなかった。N-ヘテロ環状カルベンを炭素原子等価体として用いる炭素原子挿入反応を発見した。



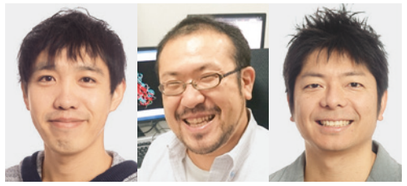
有機化学反応でサプライズを！

1828年にドイツのヴェーラーらによって尿素がフラスコ内で化学合成されて以来、200年近い年月が経った今でも、有機化学の世界では多くの驚きの発見が日々なされています。斬新なアイディア、たくさんの試行錯誤、ほんの少しの運など、発見に必要な要素はいろいろありますが、一番大事なのは頼れる共同研究者かもしれません。これからも、仲間と一緒にサプライズに富んだ有機化学の研究を推進していきたいです。

Science 2月10日号
RESEARCH ARTICLE
Y. Tsukamoto *et al.*, *SCIENCE* 9 Feb 2023: Vol 379, Issue 6632 pp. 586-591
DOI: 10.1126/science.add0875
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.add0875

細胞内のRNAメチルトランスフェラーゼの阻害はインフルエンザウイルスのキャップ構造の付加を妨げ複製を抑制する

Inhibition of cellular RNA methyltransferase abrogates influenza virus capping and replication



左から塚本 雄太、五十嵐 学、加藤 博己

塚本 雄太 Yuta Tsukamoto
Postdoctoral fellow, Institute of Cardiovascular Immunology, Medical Faculty, University Hospital Bonn, University of Bonn

五十嵐 学 Manabu Igarashi
北海道大学 人獣共通感染症国際共同研究所 准教授

加藤 博己 Hiroki Kato
Professor, Institute of Cardiovascular Immunology, Medical Faculty, University Hospital Bonn, University of Bonn

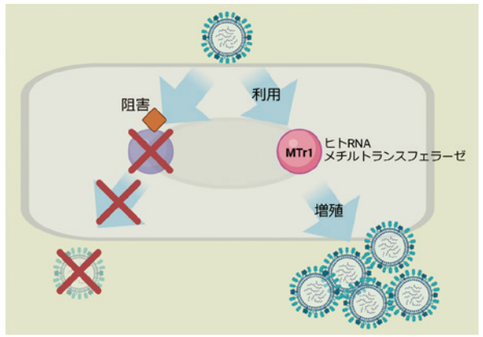
すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact 塚本 雄太 E-mail：Yuta.Tsukamoto@ukbonn.de
所在地：Venusberg-Campus 1, 53127 Bonn, Germany
加藤 博己 E-mail：hkato@uni-bonn.de
所在地：Venusberg-Campus 1, 53127 Bonn, Germany
U R L：https://www.ukbonn.de/iki/

五十嵐 学 E-mail：igarashi@czc.hokudai.ac.jp
所在地：001-0020 北海道札幌市北区北20条西10丁目
U R L：https://www.czc.hokudai.ac.jp/epidemiol/

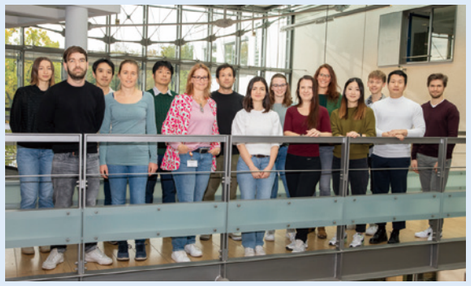
ウイルスではなく宿主因子を標的とした新しい抗インフルエンザ薬

インフルエンザウイルスは、宿主mRNAからキャップ構造を盗み取ってウイルスRNAを合成する「キャップスナッチング」という機構によって複製する。本研究では、宿主mRNAのキャップ構造の成熟に重要なメチルトランスフェラーゼであるMTr1を欠損させた細胞において、インフルエンザウイルスがキャップスナッチングを開始できずに、複製ができなくなることを明らかにした。
この結果から、宿主因子のMTr1が、新規抗ウイルス薬を開発するための標的になりうると考えた。MTr1に対する阻害剤は報告されていなかったことから、抗ウイルス創薬を目的にMTr1阻害剤を探索した結果、候補薬剤を得ることができた。
既存の抗インフルエンザ薬はウイルスのタンパク質を標的にしており、ウイルスの遺伝子変異により、薬が効きにくいウイルス株が出現する問題がある。MTr1のようなウイルス以外の因子を標的とした抗ウイルス薬開発のアプローチによって、薬剤耐性ウイルスの出現を抑えられる可能性に期待している。



図：宿主側因子を標的としたインフルエンザウイルスの複製阻害

インフルエンザウイルスは、宿主メチルトランスフェラーゼの一つであるMTr1を利用して複製する。このMTr1はウイルス複製に必須であることから、阻害することによってウイルス複製の抑制につながる。



ドイツと日本のチームで手を取り合って

2018年１月から、西ドイツ時代の元首都であるボンにて「加藤研究室」が始まりました。ドイツ語もままならない中、少人数でスタートしたラボですが、徐々に人数も増えていき、今では日本人とドイツ人だけにとどまらない多国籍なグループになりました（写真参照）。北海道大学の迫田先生、日尾野先生、松野先生をはじめとして、日本やドイツの様々なグループと共同研究を進めた結果、本研究を発表させて頂くことができました。ご協力頂いた皆様に感謝するばかりです。
加藤研では、本研究のような病原体ウイルスの研究に加え、過剰な抗ウイルス応答が引き起こす自己免疫疾患の病態解明を含む免疫学研究も行っています。仕事の後のドイツビールを活力に、これからも面白い研究をしていく所存です。

Science 2月24日号
RESEARCH ARTICLE

T. Yokoyama *et al.*, *SCIENCE* 9 Jun 2022: Vol 379, Issue 6634
DOI: 10.1126/science.abn7850

オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.abn7850

小惑星リュウグウから持ち帰られたサンプル、イヴナ型炭素質隕石に類似

Samples returned from the asteroid Ryugu are similar to Ivuna-type carbonaceous meteorites



写真は臼本 尚義

臼本 尚義 Hisayoshi Yurimoto
北海道大学 大学院理学院 自然史科学専攻 教授
北海道大学 創成研究機構 IIL 教授

横山 哲也 Tetsuya Yokoyama
東京工業大学 理学院 地球惑星科学系 教授

永島 一秀 Kazuhide Nagashima
Specialist, Manager of W.M. Keck Cosmochemistry Laboratory,
Hawai'i Institute of Geophysics and Planetology,
University of Hawai'i at Mānoa

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact

臼本 尚義 E-mail：yuri@ep.sci.hokudai.ac.jp 所在地：060-0810 北海道札幌市北区北10条西8丁目
U R L：http://vigarano.ep.sci.hokudai.ac.jp
横山 哲也 E-mail：tetsuya.yoko@eps.sci.titech.ac.jp 所在地：152-8551 東京都目黒区大岡山2-12-1
U R L：http://www.geo.titech.ac.jp/lab/yokoyama/
永島 一秀 E-mail：kazu@higp.hawaii.edu 所在地：1680 East-West Road, POST Building, Office 602, Honolulu, HI 96822, USA
U R L：https://www.higp.hawaii.edu/index.php/people/kazuhide-nagashima/

C型小惑星の正体を実験室の化学分析が突き止めた

炭素質隕石はC型小惑星の破片と考えられていた。日本の小惑星探査機はやぶさ2は、小惑星リュウグウからC型小惑星の試料を初めて地球の実験室に届けた。われわれは、最も一般的で代表的な試料を選び出し、化学組成と同位体組成を分析した。その結果、リュウグウ試料はイヴナ型と称される炭素質コンドライト隕石と非常によく似ていた。リュウグウ試料の構成物質は、リュウグウの母天体上で温かい地下水（温泉水）により変質された粘土鉱物等からなる二次鉱物であった。この変質を起こした温泉水の温度は約40℃で、その時期は太陽系誕生から約500万年後のことであった。その後現在まで、小惑星リュウグウは100℃以上に加熱されていない。変質のときの温泉水は、宇宙空間に蒸発してしまっており、名残りを粘土中の結晶水として留めている。一方、リュウグウ試料の分析より、イヴナ型隕石は、地球に落下後現在までの間に、大気との間で化学反応が進んでおり、大気汚染を被っていることが判明した。リュウグウ試料は、現在人類が入手している天然試料の中で最も太陽系の平均組成を代表しているものである。

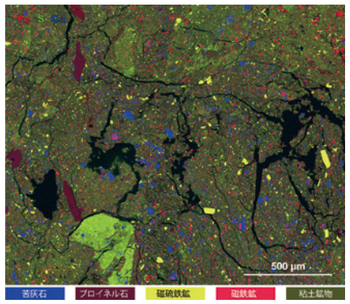


図1：リュウグウ試料の構成鉱物を示す電子顕微鏡写真
リュウグウ試料は微細な鉱物粒子から構成されていることがわかる。この画像の解像度では、温泉水から沈澱析出した鉱物しか視認できない。

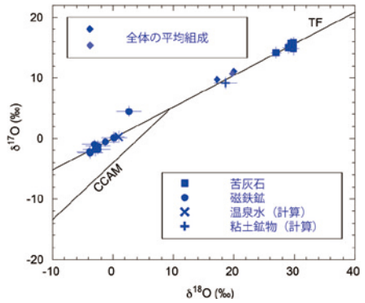


図2：リュウグウ試料の酸素同位体組成
全体組成の値は、リュウグウがイヴナ型隕石と似ていることを示す。苦灰石と磁鉄鉱の値の差から温泉水の温度がわかる。粘土鉱物の計算値と全体組成が似ていることは、リュウグウがほとんど粘土鉱物からできていること（図1）に整合している。



太陽系 お散歩時代の 幕ひらけ

21世紀も四半世紀を過ぎようとして、ようやく太陽系をお散歩できる時代になってきました。これまで人類が宇宙をお散歩して「お宝」を拾ってきたのは、月・彗星（ヴィルト第2）・太陽風・S型小惑星（イトカワ）・C型小惑星（リュウグウ）・B型小惑星（ベンヌ）の5天体にのぼります。これらの「お宝」を分析することにより、隕石（現在7万個以上ある）のいくつかについて、どこからやってきたかがやっとわかってきました。火星からやってきたと言われている隕石もありますが、日本の火星衛星探査計画MMXにより、本当に火星起源かどうかがわかる日も近いでしょう。こうした知識の蓄積は、今まで想像という仮定の上で考えられてきた太陽系の起源と進化の科学が、少しずつですが、仮定をしなくてもできるようになってきたというすごいことです。これからどんどん、わからなかったことがわかり始め、わかったつもりになっていたことが間違っていたことに気づく楽しい時代の始まりです。もうすぐ、人類が今まで見たことのなかった「お宝」を拾える散歩ができますように。

太陽系の起源と進化を研究するということ

北海道大学 大学院理学院 自然史科学専攻 教授 **臼本 尚義**

いつも今の太陽系になるとは限らない？

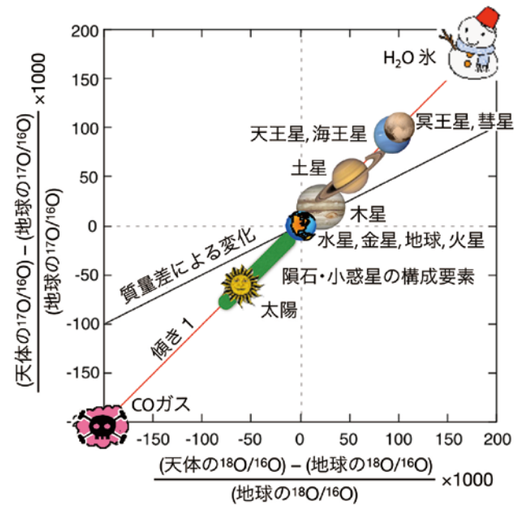
私たちは地球に住んでいます。だから、太陽系や地球が存在していなければなりません。太陽系の起源と進化を研究するということは、結果が当然なことを不思議だと思うことから始まります。では、皆が当然だと思っている「りんごが木から落ちる」ということとどう違うのでしょうか？ りんごの例の方は、重力場という真理がありそうです。一方、地球の例の方は、決まった道筋で進化してきたに違いないのですけれども、同じ出発点から始まっても地球ができないという道筋も考えられます。私は、太陽系に残されている時代時代の化石物質を観察することにより、歴史の通りではない道筋がある可能性について評価したいと思い研究を続けてきました。

太陽系は2つの原料が起源

酸素は、水素・ヘリウムに次ぎ宇宙で3番目に多い元素です。太陽系は、簡単にいうと、太陽と惑星から成り立っています。惑星は、宇宙に漂う岩石成分と氷成分が集まり、その後、気体成分が取り巻いてできました。酸素より多い水素とヘリウムは太陽を作ります。酸素は、惑星の岩石成分と氷成分を作る元素の大半を占めています。酸素には3つの同位体があります。同位体は化学的性質がよく似ていますが、化学反応が起きるとその前後で同位体比が少し変わり、質量差による変化の線上を動きます（図）。しかし、太陽系の種々の天体の酸素同位体比は、質量差による変化の線上に乗らず、傾き1の線上に乗ります。この変動は、太陽系の天体が2種類の原料が混ざってできたことを示しています。ここからは、図を参照しながら文章を読んでください。

酸素同位体から見た太陽系の起源と進化

私たちは、太陽系が生まれた分子雲中で光化学反応が起こり、ガス成分と氷成分の酸素同位体比がそれぞれ図の左下と右上の値になり、これらが太陽系の原料となったという説を2004年のScience (2004;305:1763-6.) に発表しました。この分子雲が収縮すると、原始太陽とその周りの原始惑星系円盤を作ります。円盤の太陽に近い側は暖かいので、氷が水蒸気になります。水蒸気は元々のガスに混ざってしまいます。混合したガスの酸素同位体比は、傾き1の線上のどこかに変化します。この様々な混ざり具合の結果が隕石の構成要素に痕跡として残されており、図上では傾き1の線上に広がる領域となっていることを見つけました。そして、この説は、地球等の岩石惑星がこの領域の右上端に位置し、逆に、太陽が左下端に位置することを予測します。この予測は、地球の酸素同位体比の実測値を説明します。近年の小惑星探査により、隕石と小惑星が近い親戚関係にあることもわかってきました。太陽の酸素同位体比は、この説の発表当時には未知でしたが、後に、NASAの太陽風探査により予測通りであることが証明されました。実は、水星、金星、木星、土星、天王星、海王星、冥王星、彗星の酸素同位体比は、いまだに未知であり、予測値です。図中の予測が本当かどうかは証明が必要です。もうすぐ太陽系を自由にお散歩できる時代が到来しそうなので、早くこれらの天体に惑星探査に行って測ってみたいものだと思っています。このように不思議を解析し、証明していくことは楽しいことです。一方、誰にも知られていない新しい不思議を発見できると、もっとワクワクするでしょう。



図：太陽系の天体の酸素同位体比
横軸に$^{18}O/^{16}O$、縦軸に$^{17}O/^{16}O$をとったグラフ。古典力学にしたがう化学反応（化学の教科書に載っているような反応）が起きると、酸素同位体比は「質量差による変化」で示される線上を変化する。例えば、海水の酸素同位体もこの線上で変化し、化石を分析すれば過去の時代の海水温がわかる。太陽系の天体の酸素同位体比は、この線上に乗らず、傾き1の線上に乗っている。

Science 2月24日号
RESEARCH ARTICLE
T. Nakamura *et al.*, *SCIENCE* 22 Sep 2022: Vol 379, Issue 6634
DOI: 10.1126/science.abn8671
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.abn8671

炭素質小惑星リュウグウの形成と進化：リターンサンプルから得た証拠

Formation and evolution of carbonaceous asteroid Ryugu: Direct evidence from returned samples



左から中村 智樹、松本 恵、天野 香菜

中村 智樹 Tomoki Nakamura
東北大学大学院 理学研究科 地学専攻 初期太陽系進化学研究室 教授

松本 恵 Megumi Matsumoto
東北大学大学院 理学研究科 地学専攻 初期太陽系進化学研究室 助教

天野 香菜 Kana Amano
東北大学大学院 理学研究科 地学専攻 初期太陽系進化学研究室 博士課程
（現 フランス国立自然史博物館 博士研究員）

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact
中村 智樹 E-mail：tomoki.nakamura.a8@tohoku.ac.jp
所在地：980-8578 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-3
ＵＲＬ：http://www.esse.epms.es.tohoku.ac.jp/index.html

サンプルの物的証拠からリュウグウ母天体の形成プロセスを解明

小惑星リュウグウから回収されたサンプルを解析した結果、かつてリュウグウには液体の水が豊富に存在し（0.2＜水／岩石の質量比＜0.9）、水溶液と岩石が反応してできた含水鉱物と水溶液から沈殿した炭酸塩や酸化鉄がサンプルの大部分を占めていることがわかった。水溶液中では、テーブルサンゴのような形をした銅と硫黄からなる結晶が成長していた（図1）。リュウグウに存在した液体の水が結晶中にトラップされていることを発見し、液体の成分から、リュウグウに含まれていた液体の水は炭酸水で様々な有機物を含んでいたことがわかった。炭酸水の存在は、原始太陽系星雲で小惑星リュウグウが形成された領域が、太陽から遠く離れた−200℃以下の極低温の領域で、そこには岩石粒子とともに水の氷とドライアイスが浮遊していたことを示唆する。また、浮遊していた岩石粒子の中には、星雲中心の太陽の近くの高温領域（＞1,200℃）で形成され、その後遠く星雲外側に移動し、極低温のリュウグウ形成領域まで到達した岩石微粒子（図2：Ca、Alに富む包有物）が存在していたことも判明した。これらの観察事実を積み重ね、小惑星リュウグウの形成・進化のプロセスをサンプルからの物的証拠をもとに推定した。

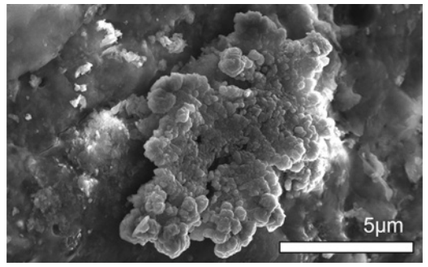


図1：リュウグウサンプル表面に発見されたサンゴの形をした結晶
リュウグウサンプルにはスムースな岩石表面を持つものがあり、このような表面はかつて天体内で水溶液との界面であったと考えられる。その界面でサンゴのような形をした結晶が成長していた。

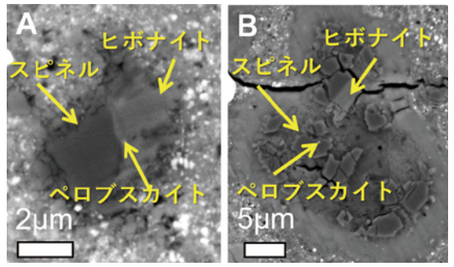


図2：リュウグウサンプルに含まれていた高温下で形成された微粒子
太陽系形成期に太陽の近くでCa、Alに富む粒子が形成されていたことが知られている。今回、この種の粒子がリュウグウサンプルに発見された。写真の粒子は、太陽近くから移動し、遠く離れた極低温領域まで飛来したと考えられる。



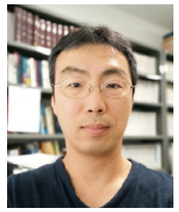
東北大学理学部 地球惑星物質科学科 初期太陽系進化学研究室

この研究室では、太陽系の起源やその初期進化過程の解明を目的とし、小惑星から回収された試料や隕石などの鉱物学的・宇宙化学的分析に取り組んでいます。研究室には学部学生から、大学院生、スタッフまで合わせて20名ほどが所属しています。小惑星リュウグウの回収試料の初期記載的な分析を行ったのは2021年6月からの1年間ですが、この研究室ではその3年以上前から、教員・学生が一体となってリュウグウ試料の分析計画を立て、装置の準備や分析のリハーサルを進めてきました。実際のリュウグウ試料の分析では、国内はもちろん、米国、フランス、ドイツをはじめとする世界中の研究機関と協力して研究を行いました。小惑星リュウグウの進化過程についての研究成果をScienceにて発表し終えた現在も、さらなる太陽系の謎の解明に向け、研究室では継続的にリュウグウ試料や隕石の分析に注力しています。

Science 2月24日号
RESEARCH ARTICLE
R. Okazaki *et al.*, *SCIENCE* 20 Oct 2022: Vol 379, Issue 6634
DOI: 10.1126/science.abo0431
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.abo0431

小惑星リュウグウのサンプル中の希ガスと窒素成分は、その揮発成分の供給源と最近の表層の進化を伝える

Noble gases and nitrogen in samples of asteroid Ryugu record its volatile sources and recent surface evolution



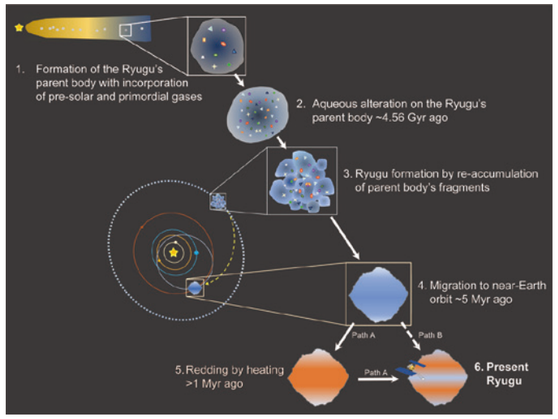
岡崎 隆司 Ryuji Okazaki
九州大学 大学院理学研究院 地球惑星科学部門 准教授

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact
E-mail：okazaki.ryuji.703@m.kyushu-u.ac.jp
所在地：819-0395 福岡県福岡市西区元岡744
ＵＲＬ：http://jupiter.geo.kyushu-u.ac.jp/

揮発性物質に富む小惑星は地球大気の材料供給源

地球外物質の揮発性元素の同位体組成は、地球の大気や海の起源を探るための重要な情報源である。われわれは、小惑星リュウグウから回収された岩石試料に含まれる希ガスと窒素の同位体組成を調査した。その結果、リュウグウの材料物質には太陽系誕生時に存在した始原的希ガスが含まれており、その量はこれまで報告されているどの隕石よりも多いことがわかった。窒素同位体組成からは複数の異なる窒素含有物質の存在が明らかになり、地球の値と一致するものも発見された。また、太陽風起源の希ガスや銀河宇宙線の照射によって生成された希ガスも検出された。これらの希ガス含有量から、リュウグウ試料は約500万年前に地球軌道に移動してきたこと、太陽近傍での加熱・赤化は約100万年以上前に起こった可能性があることがわかった。これらの結果は、リュウグウのような小惑星が地球形成初期における揮発性物質の供給源だった可能性を示唆する。



図：リュウグウの進化図
1. リュウグウ母天体の形成と始原的揮発性物質の獲得。
2. リュウグウ母天体での水質変質。
3. 母天体破片の集積によるリュウグウ形成。
4. 近地球軌道への移動。
5. 加熱による赤化。
6. 現在のリュウグウ。



研究の価値とそれを支えるもの

世界各国の研究者の協力の下、リュウグウ試料の揮発性物質分析は行われました。九州大学にある私の実験室でも、20年以上前に導入された装置を使って希ガス同位体分析を行いました。分析装置の共同利用が近年主流となってきましたが、時代の流れに逆らいながら、この装置を私たちの研究室専用の装置として使用しています。長年にわたり、多くの学生や共同研究者とともに様々な工夫・改良を施し、リュウグウ回収試料のような貴重な地球外物質の分析が可能になりました。この装置を使った分析の大部分は手作業であり、1つのデータ点を取得するのに数時間、数分おきに作業を続けなければならない重労働です。私たちの研究はマイナーで地味ですが、その価値を今回の研究成果を通じて多くの方々に認識されることを願います。次世代にこの研究分野が受け継がれ、継続していくために。

Science 2月24日号
RESEARCH ARTICLE
H. Naraoka *et al.*, *SCIENCE* 24 Feb 2023: Vol 379, Issue 6634
DOI:10.1126/science.abn9033
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.abn9033

炭素質小惑星リュウグウ（162173）の試料中の可溶性有機分子

Soluble organic molecules in samples of the carbonaceous asteroid (162173) Ryugu



奈良岡 浩 Hiroshi Naraoka
九州大学 大学院理学研究院 地球惑星科学部門 教授

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact
E-mail：naraoka@geo.kyushu-u.ac.jp
所在地：819-0395 福岡県福岡市西区元岡744
ＵＲＬ：http://orge.geo.kyushu-u.ac.jp/home.html

炭素質小惑星リュウグウの表面には多くの有機分子が存在する

「はやぶさ2」探査機は、C型炭素質小惑星リュウグウの表面物質を採取して地球に帰還した。C型小惑星は光を反射しない黒い表面を持ち、有機物や粘土鉱物を比較的多く含む炭素質隕石の「ふるさと」と考えられてきた。今回初めて、炭素質小惑星物質を水や有機溶媒で抽出し、高感度・高分解能のクロマトグラフィーや質量分析を用いて、含まれている有機分子を分析した。その結果、炭素や水素、窒素、酸素、イオウなどの元素組成からなる約2万の分子組成を検出した。低分子のアミンやカルボン酸、アミノ酸、多環芳香族炭化水素、含窒素環状化合物などが含まれ、左右構造を持つアミノ酸はほぼ1：1のラセミ体で存在した。隕石は地球突入時にその表面物質が剥がれ落ちた内部物質であるのに対して、小惑星表面は宇宙空間の超高真空下で太陽紫外線や高エネルギー宇宙線に長期間晒されている。そのような環境下でも有機分子が分解しないことは、塩や鉱物に守られていることを示唆する。また、これら前生命分子は小惑星表面から飛び出して太陽系内に運ばれることを示している。

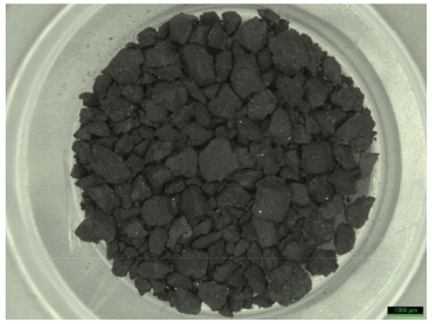


図1：分析に用いた小惑星リュウグウの試料
第1回のタッチダウンサンプリングで得られた大きさ1mm以下の粒子の集合体試料A0106。

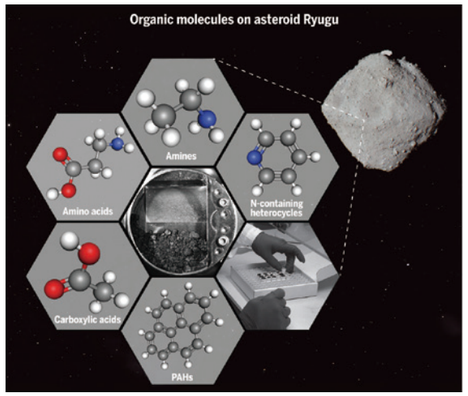


図2：リュウグウ試料に検出された代表的な有機分子の化学構造
分子モデルで灰色は炭素、白色は水素、赤色は酸素、青色は窒素。

CREDIT: JAXA, University of Tokyo, Kochi University, Rikkyo University, Nagoya University, Chiba Institute of Technology, Meiji University, University of Aizu, AIST, NASA, Dan Gallagher.



宇宙で起こる有機分子の化学進化の普遍性を知りたい！

星が誕生する分子雲には化学反応の原料となる簡単な分子が多く存在します。また現在、多くの系外惑星が発見され、液体の水を有するハビタブルな惑星の存在数も増えていくでしょう。宇宙での化学進化の規則性がわかれば、系外惑星での生命誕生の可能性についても議論できます。宇宙-地球-生命の誕生と進化に関わる物質サイエンスには多くの面白い謎があります。例えば、地球生命は左手アミノ酸を用いており、なぜ左なのか未解決です。それに対して、左手アミノ酸の過剰は宇宙からもたらされたとの仮説もあります。宇宙での化学進化を解明することは、われわれの歴史を紐解くことにもなります。また、人類は将来、地球を飛び出して惑星空間を渡り歩くことになります。小惑星の表面物質は資源として使用できるかもしれません。おもしろいサイエンスに情熱を持ってチャレンジする若い人を大切にする社会になることを願っています。

Science 2月24日号
RESEARCH ARTICLE
H. Yabuta *et al.*, *SCIENCE* 24 Feb 2023: Vol 379, Issue 6634
DOI: 10.1126/science.abn9057
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.abn9057

小惑星リュウグウ（162173）サンプル中の固体有機物

Macromolecular organic matter in samples of the asteroid (162173) Ryugu



上段左から薮田 ひかる、癸生川 陽子、橋口 未奈子、小松 睦美
下段左から奥村 大河、山下 翔平、高橋 嘉夫

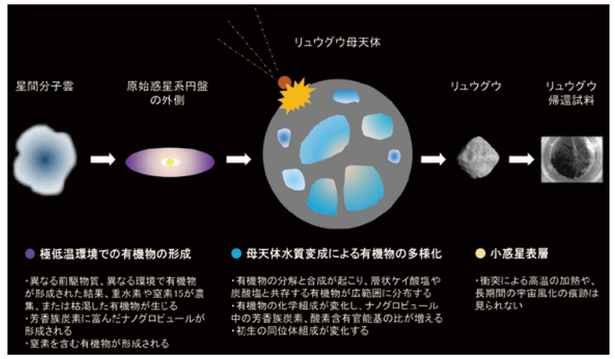
薮田 ひかる Hikaru Yabuta
広島大学大学院 先進理工系科学研究科 地球惑星システム学プログラム 教授
広島大学 持続可能性に寄与するキラルノット超物質拠点 副拠点長（兼任）
癸生川 陽子 Yoko Kebukawa
横浜国立大学大学院 工学研究院 准教授（現 東京工業大学理学院 地球惑星科学系 准教授）
橋口 未奈子 Minako Hashiguchi
名古屋大学大学院 環境学研究科 地球環境科学専攻 助教
小松 睦美 Mutsumi Komatsu
埼玉県立大学 保健医療福祉学部 准教授
奥村 大河 Taiga Okumura
東京大学大学院 理学系研究科 地球惑星科学専攻 助教
山下 翔平 Shohei Yamashita
高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 助教
高橋 嘉夫 Yoshio Takahashi
東京大学大学院 理学系研究科 地球惑星科学専攻 教授

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

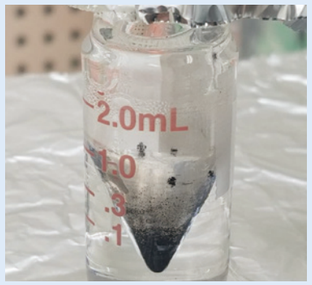
Contact 薮田 ひかる E-mail：hyabuta@hiroshima-u.ac.jp 所在地：739-8526 広島県東広島市鏡山1-3-1
ＵＲＬ：https://depss.hiroshima-u.ac.jp/geochem/index.html

小惑星リュウグウ中の黒色の固体有機物の形成過程を解明

小惑星探査機「はやぶさ2」によって地球に持ち帰られた小惑星リュウグウ試料の初期分析において、その一端を担った固体有機物サブチームは、さまざまな顕微分析を複合的に用い、リュウグウ試料中の固体有機物（分子構造の複雑な、酸不溶性の巨大分子）の元素組成・同位体組成・官能基組成・構造・形態を分析した。その結果、小惑星リュウグウ試料に含まれる有機物の大部分は黒色の固体状で存在し、主に芳香族炭素、脂肪族炭素、ケトン基、カルボキシル基などから構成されることが明らかとなった。リュウグウ有機物の分光学的特徴は化学的に始原的な（高温の加熱を経験していない）炭素質隕石の有機物に類似し、小惑星帯で主要なC型小惑星の有機物と隕石有機物との直接的な関係を実証した。ナノメートルサイズの球状・粒子状有機物や不定形有機物が層状珪酸塩や炭酸塩と混合、隣接した分布状態は、小惑星母天体に取り込まれる前から存在した有機物の前駆物質が、母天体で水と反応して変化し、リュウグウ有機物を形成した証拠を示している。また、重水素または/および窒素15に富む、または欠乏する有機物が検出され、星間分子雲や原始惑星系円盤の外側といった極低温環境に由来するリュウグウ有機物の前駆物質が局所的に保存されていることが見出された。



図：リュウグウの進化に伴う、固体有機物の形成と進化
本研究結果は、星間分子雲や原始惑星系円盤外側で生じた前駆的な有機物が、小惑星リュウグウの母天体に取り込まれた後、液体の水との反応によって多様に変化してリュウグウの固体有機物を形成した歴史を、紐解いた。



はやぶさ２初期分析固体有機物チーム

本研究は、広島大学（薮田 ひかる）、横浜国立大学（癸生川 陽子准教授）、名古屋大学（橋口 未奈子助教）、埼玉県立大学（小松 睦美准教授）、東京大学（奥村 大河助教、高橋 嘉夫教授）、高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所（山下 翔平助教、若林 大佑助教）、大阪大学（武市 泰男助教）、グルノーブル大学（Lydie Bonal、Eric Quirico）、米国海軍調査研究所（Rhonda Stroud、Bradley De Gregorio）、米国カーネギー研究所（Larry Nittler、George Cody、Jens Barosch）、ローレンスバークレー国立研究所 Advanced Light Source（David Kilcoyne）、フランス国立自然史博物館（Laurent Remusat、Jean Duprat、Maximilien Verdier-Paoletti）、パリサクレー大学（Cécile Engrand、Emmanuel Dartois、Jérémie Mathurin、Ariane Deniset-Besseau、Alexandre Dazzi）の研究グループの共同研究により達成した成果です。（薮田）

写真：リュウグウ試料の塩酸/フッ化水素酸処理によって分離精製した固体有機物

Science 3月3日号
RESEARCH ARTICLE
H. Kobayashi *et al.*, *SCIENCE* 2 Mar 2023: Vol 379, Issue 6635 pp. 908-912
DOI: 10.1126/science.abc4787
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.abc4787

異常金属における臨界電荷モードの観測

Observation of a critical charge mode in a strange metal



写真は小林 寿夫

小林 寿夫 Hisao Kobayashi
兵庫県立大学大学院 理学研究科 量子物性学分野 教授

中辻 知 Satoru Nakatsuji
東京大学 物性研究所 特任教授
東京大学 大学院理学系研究科 物理学専攻 教授
トランススケール量子科学国際連携研究機構 機構長

Piers Coleman
Professor, Department of Physics and Astronomy, Rutgers University

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact
小林 寿夫 E-mail：kobayash@sci.u-hyogo.ac.jp
所在地：678-1297 兵庫県赤穂郡上郡町光都3-2-1
ＵＲＬ：https://www.sci.u-hyogo.ac.jp/material/quantum_magn/index-j.html

超低速臨界電子電荷揺らぎの観測が異常金属状態の謎に迫る手掛り

異常金属状態は、量子物質の局在化の近傍で発達する普遍的な物質の状態であり、その状態図では量子臨界点を中心に扇形領域として現れる。また、量子臨界点近傍では超伝導状態が安定化することも報告されている。異常金属状態は、比熱、抵抗率、および磁気輸送に特徴的な温度依存性を示し、これらの特性は通常金属のフェルミ液体論とは異なることが謎とされている。
異常金属状態で観測されるこれらの特異な現象を理解するためには、基盤となる電子電荷の揺らぎ(ダイナミクス)を詳細に調査する必要がある。本研究では、電子と原子核の相互作用を測定するメスバウアー分光法を用いて、温度と圧力変化に伴う、β-$YbAlB_4$の異常金属相における電荷揺らぎを調べた。フェルミ液体状態では単一の吸収ピークが観測されるが、異常金属状態において２つのピークに分裂することがわかった。このスペクトルの変化は、ポーラロンの形成により長い時間スケールで揺らぐ電子電荷の影響で、単一原子核遷移が変調された結果として解釈できる。この超低速臨界的電子電荷揺らぎの観測は、異常金属状態と超伝導発現の起源に新たな知見を提供する。

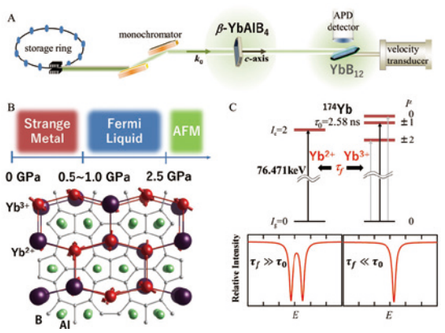


図１：放射光メスバウアー分光法と量子物質超伝導体β-$YbAlB_4$
(A)放射光メスバウアー分光測定ビームラインの構成。(B)β-$YbAlB_4$の相図と結晶構造図。(C)Ybイオンの価数状態と^{174}Yb核エネルギー準位と価数揺動時間(τ_f)によるスペクトル変化の模式図。

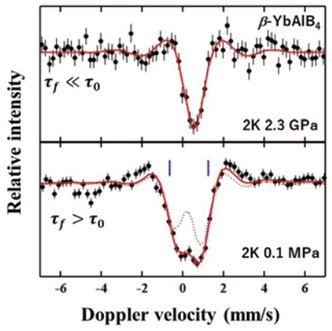
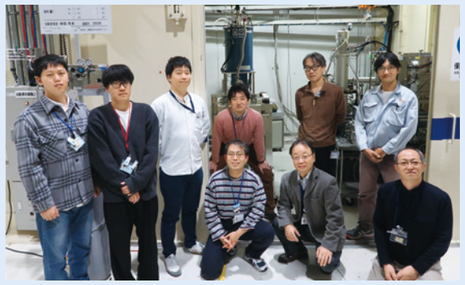


図２：量子物質超伝導体β-$YbAlB_4$の放射光^{174}Ybメスバウアー吸収スペクトル
フェルミ液体状態では幅の狭い単一吸収ピークが観測された(上)。異常金属状態では吸収ピークが２つに分裂し(下)、価数揺動時間(τ_f)が^{174}Yb核励起状態寿命(τ_0)より長いことを表している。



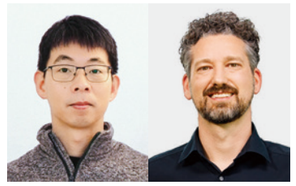
量子物質解明への放射光実験での挑戦

私たちの研究室では、放射光Ｘ線の特性を活かした散乱・分光法と多重極限環境を構築し、量子物質の本質を実験的に解明することを目指しています。今回の研究では、放射光のパルス性と偏光特性を活用することで、通常のエネルギー分解能を超えた条件下での測定に成功しました。この革新的な手法により、私たちは初めて超低速臨界電子電荷揺らぎが観測できました。左の写真は、今回の研究で使用した放射光^{174}Ybメスバウアー分光測定を行ったSPring-8のビームラインでの共同研究者とのものです。本論文の共著者も映っています。この挑戦が詰まった放射光実験のように、多くの専門家とともに、自身の専門知識とスキルを活かして研究に取り組むことは、非常に楽しい経験となります。興味を持った若い皆さん、ぜひ私たちと一緒に未知の領域に挑戦しましょう。

Science 3月10日号
RESEARCH ARTICLE
T. Deguchi *et al.*, *SCIENCE* 9 Mar 2023: Vol 379, Issue 6636 pp. 1010-1015
DOI: 10.1126/science.ade2676
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.ade2676

MINFLUXを用いて生細胞における モータータンパクの歩行ステップを直接観察する

Direct observation of motor protein stepping in living cells using MINFLUX



左から出口 隆宏、Jonas Ries

出口 隆宏 Takahiro Deguchi
Postdoctoral Researcher, Cell Biology and Biophysics Unit, European Molecular Biology Laboratory

Jonas Ries
Group leader, Cell Biology and Biophysics Unit, European Molecular Biology Laboratory
(現 Professor, Max Perutz Labs, Vienna Biocenter Campus(VBC))

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact
出口 隆宏
E-mail：takahiro.deguchi@embl.de
所在地：Meyerhofstrasse 1, D-69117 Heidelberg, Germany
ＵＲＬ：https://www.embl.org/people/person/takahiro-deguchi/

Jonas Ries
E-mail：jonas.ries@embl.de
所在地：Meyerhofstrasse 1, D-69117 Heidelberg, Germany
ＵＲＬ：https://rieslab.de/

分子モーターの立体構造変化を生細胞内で可視化することに成功

蛍光顕微鏡は非侵襲的な観察が可能であり、生細胞内での分子動態観察に適している。しかし、一般的な蛍光顕微鏡の解像度が200nm程度であることから、タンパク質の立体構造変化を直接観察するには時空間分解能が不十分であり、これまでは非細胞系あるいは間接的手法でのみ調べられてきた。近年確立されたMinimal photon flux(MINFLUX)顕微鏡は、時空間解像度の飛躍的な向上に成功し、蛍光標識分子の位置を１ミリ秒毎に2nmの精度で特定可能である。本研究ではMINFLUX顕微鏡を用いて、細胞内輸送に必須のモータータンパク質であるキネシンが、微小管上を動く際の挙動を詳細に観察した。その結果、キネシン歩行ステップ中の立体構造変化を初めて生細胞内で捉えることに成功した。本研究により、キネシンの歩行メカニズムへのさらなる理解が進むとともに、生細胞内におけるタンパク質の立体構造変化を直接観察するという新たな分野を開拓することで、生体分子機能のさらなる解明につながると期待される。

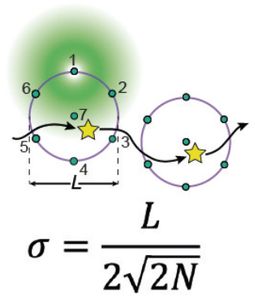


図１：MINFLUXによる蛍光標識の位置推定の仕組み
ドーナツ型の励起光を使用し、標識の周辺７箇所での蛍光強度から、標識位置を高精度で推定。新たな推定位置で同様の走査を行い、標識を追跡する。推定精度は、検出光子数(N)および走査パターンのサイズ(L)で決まる。

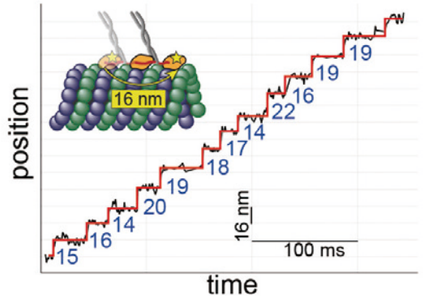


図２：MINFLUXによる生細胞内でのキネシンの挙動
モータードメインに蛍光標識されたキネシンを、MINFLUXを用いて生細胞内で追跡。キネシンがステップを踏みながら進む様子が観察された。



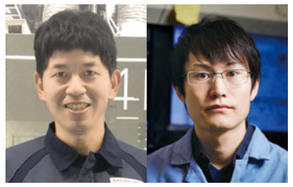
超解像顕微鏡の最先端研究に携わる

私の働く欧州分子生物学研究所(EMBL)は、国際的かつ学際的な研究機関で、私の所属するRies研究室は超解像蛍光顕微鏡の開発と応用をテーマとしています。超解像顕微鏡は、物理的な限界解像度を100倍程度まで向上させ、蛍光色素の空間分布をナノメートルレベルで非侵襲的に観察できる画期的な技術です。
研究所は、旧市街の美しいドイツの小都市ハイデルベルクにあり、自然に囲まれた環境で、ワークライフバランスの取れた研究生活が浸透しています。研究所内では様々な学会やイベントがあり、将来各分野の第一人者となる研究者とネットワークが作れるなど、恵まれた環境で最先端の顕微鏡技術に携わる研究をさせて頂いています。

Science 4月7日号
RESEARCH ARTICLE
Y. Hioki *et al.*, *SCIENCE* 6 Apr 2023: Vol 380, Issue 6640 pp. 81-87
DOI: 10.1126/science.adf4762
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.adf4762

波形制御電解を用いてコルベ反応の限界を克服する

Overcoming the limitations of Kolbe coupling with waveform-controlled electrosynthesis



左から日置 優太、川又 優

日置 優太 Yuta Hioki
Scientific Collaborator, Department of Chemistry, Scripps Research
（現 三菱ケミカル株式会社 スペシャリティマテリアルズビジネスグループ R&D本部
インフォメーション&エレクトロニクステクノロジーセンター 主任研究員）

川又 優 Yu Kawamata
Institute Investigator, Department of Chemistry, Scripps Research

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact
日置 優太
E-mail：yuta.hioki.ma@mcgc.com
所在地：227-8502 神奈川県横浜市青葉区鴨志田町1000
U R L：www.m-chemical.co.jp

川又 優
E-mail：yukawama@scripps.edu
所在地：10550 North Torrey Pines Road, La Jolla, CA 92037, USA
U R L：https://baranlab.org/

電流の波形制御で実用的なコルベ反応を開発

コルベ反応は1849年に発見された電解反応（電気で起こす化学反応）であり、世界最古の炭素-炭素結合生成反応の一つといえる。反応の特徴としては、安定なカルボン酸を原料基質として使用し、安価な塩基と電気のみを反応剤とする高い効率性と低いコストにあり、古典的な反応でありながら、最新の有機合成や化学工業の観点からも魅力的な反応形式である。しかしながら、従来の手法では高価な白金電極が必須であること、厳しい電解条件によって他の官能基が共存できないことが重大な課題で、有機合成の手法として使われることはほとんどなかった。

われわれは+極と−極が高速で入れ替わる波形制御電流（rAP電流）を活用することにより、安価な炭素電極の使用、ならびに様々な官能基を含む化合物への適用を実現し、コルベ反応を実用的な有機合成手法へと進化させた。活用例として、従来のコルベ反応では困難であった天然由来のカルボン酸（脂肪酸、アミノ酸など）を使用することが可能で、植物由来プラスチックや医薬品原料の低コストかつサステイナブルな合成法として応用できることを示した。本研究の実用的なコルベ電解反応が化学品や医薬品の工業プロセスに適用されることを期待している。

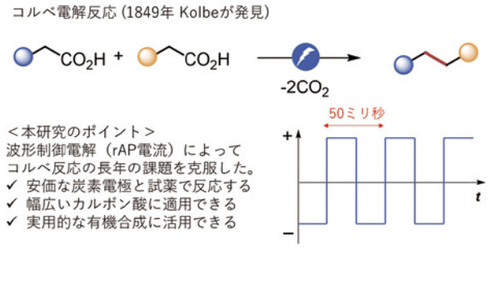


図1：波形制御電解によるコルベ電解反応

波形制御電解では、数十ミリ秒の周期で+極と−極が入れ替わる電流（rAP電流）を流す。コルベ反応では、一般的な直流や交流の電流とはまったく異なる効果が得られた。

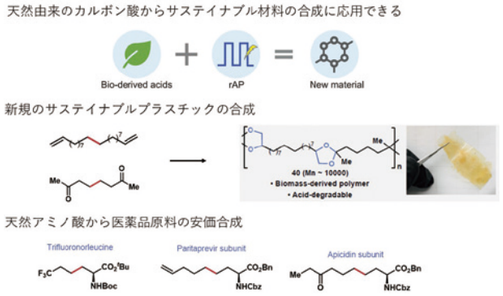


図2：サステイナブル材料の合成への応用

コルベ反応を活用して、天然由来の多様なカルボン酸から、サステイナブルプラスチックや医薬品原料を安価に合成できた。



本研究のメンバー
マテオ、日置、川又



Baran研究室でのランチ写真

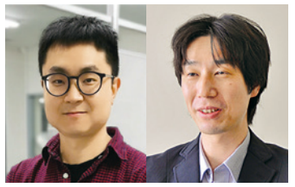
アメリカでの多様な研究者の出会い

本研究はアメリカのスクリプス研究所Baran研究室で川又と日置と多国籍な研究者が出会い、150年以上も昔のコルベ反応に関する研究を行った成果です。研究の背景として、川又は研究室で波形制御電解の特性にいち早く着目し、新規合成反応の探索を行っていました。日置は三菱ケミカル（株）の研究者として、サステイナブルな製品や製造プロセスの開発経験があり、会社の制度で研究室に留学しました。こうして多様なバックグラウンドを持つ研究者がアメリカで一つのチームになった偶然から、「古典的な反応」と「大学の最新技術」と「企業の製品開発」がつながったユニークな研究になりました。現在、高校や大学で学ばれている皆様も、アカデミア・企業を問わずに多様な人との出会いを活かして、活躍されることを願っております。

Science 4月14日号
RESEARCH ARTICLE
X. Wang *et al.*, *SCIENCE* 13 Apr 2023: Vol 380, Issue 6641 pp. 192-198
DOI: 10.1126/science.adf1206
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.adf1206

均一な複合材料における力学的な非相反性

Mechanical nonreciprocity in a uniform composite material



左から王 翔、石田 康博

王 翔 Xiang Wang
理化学研究所 創発物性科学研究センター 創発生体関連ソフトマター研究チーム 研究員

石田 康博 Yasuhiro Ishida
理化学研究所 創発物性科学研究センター 創発生体関連ソフトマター研究チーム チームリーダ

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact
石田 康博 E-mail：y-ishida@riken.jp
所在地：351-0198 埼玉県和光市広沢2-1
U R L：https://soft-matter-riken.jp/

「力」に対し非相反性を示す初の材料が開発された

外部からの刺激に対し非対称に応答する、すなわち非相反性を示す物質やシステムが近年、様々な方面からの注目を集めている。電気・磁気・光の刺激に対して非対称応答する材料は、長年にわたり研究されてきた一方、「力」に対して非対称応答する均一材料は、その存在すら想定されてこなかった。その初の例として、今回われわれは、斜めに配向させた酸化グラフェンのナノシートを三次元ポリマー網目の中に埋め込んだ複合ゲルを開発した。このゲルに横方向の剪断を加えた際、左向きの剪断ではナノシートが座屈し、ゲルは容易に変形する一方、右向きの剪断ではナノシートは座屈せず、ゲルは強固に抵抗する。この左右の剪断における硬さには67倍もの差があり、ゲルはあたかも「一方向にしか通り抜けられない扉」のように振る舞う。その結果、このゲルは、対称／乱雑な振動のもとで物体を一方向に輸送する、衝突物を非対称に反発する、線虫の集団を一方向に走行させるなど、エントロピー増大に逆らう機能を様々な場面で発揮する。

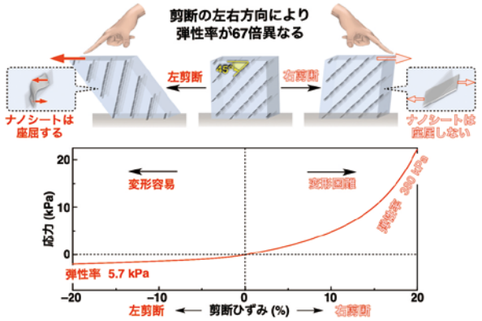


図1：加える力の左右方向により、硬さが67倍も異なる材料

斜めに配向したナノシートを内包するゲルの下面を床に固定し、上面に左右の剪断力を加える。左剪断時にはナノシートが座屈してゲルの容易な変形を許す一方、右剪断時にはナノシートは座屈せずにゲルを補強し続ける。

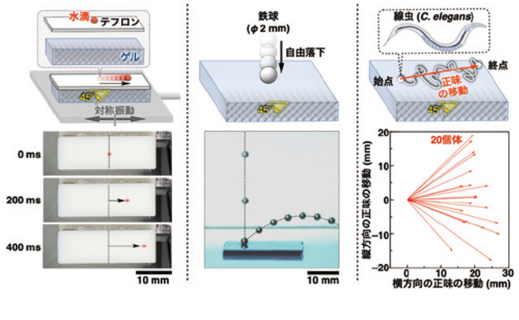


図2：力学的に非対称な今回のゲルが示す、エントロピー増大に逆らう諸機能

力学的に非対称な今回のゲルは、対称／乱雑な振動の元で物体を一方向に輸送する（左）、衝突物を非対称に反発する（中央）、線虫の集団を一方向に走行させる（右）など、エントロピー増大に逆らう諸機能を発揮する。



生体により一層近づいた人工のソフトマテリアルを、ガチで目指します！

軽く柔軟で生体に似たソフトマテリアルが近年、様々な分野で注目されています。ですが、今日の人工ソフトマテリアルは、本当に生体に似ているでしょうか？ 改めて見比べると、従来の人工ソフトマテリアルは等方的である一方、生体組織は巨視的に異方的です。私たちは、ナノ構造体を強力な磁場で配向した後、重合固定する手法により、異方性ソフトマテリアルの開発で世界を先導してきました。得られる材料の内部では、構成ユニット間の相互干渉が最大化されるため、われわれの常識を超える様々な機能を発現します（*Nature* **2015**, *517*, 68、*Nature Materials* **2015**, *14*, 1002など）。ソフトマテリアル研究の面白さは何といっても、実験の結果を自分の五感で感じられる点にあります。自ら開発した材料に触ったときの「あれっ？… いつもと違う！」という感覚は、この分野の研究の醍醐味です。この感動を一緒に体験したい方はぜひ、理化学研究所 石田研の門を叩いてみてください。

Science 4月14日号
RESEARCH ARTICLE
T. Currie *et al*., *SCIENCE* 13 Apr 2023: Vol 380, Issue 6641 pp. 198-203
DOI: 10.1126/science.abo6192
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.abo6192

位置天文学を利用した直接撮像法による太陽系外の巨大ガス惑星の発見

Direct imaging and astrometric detection of a gas giant planet orbiting an accelerating star



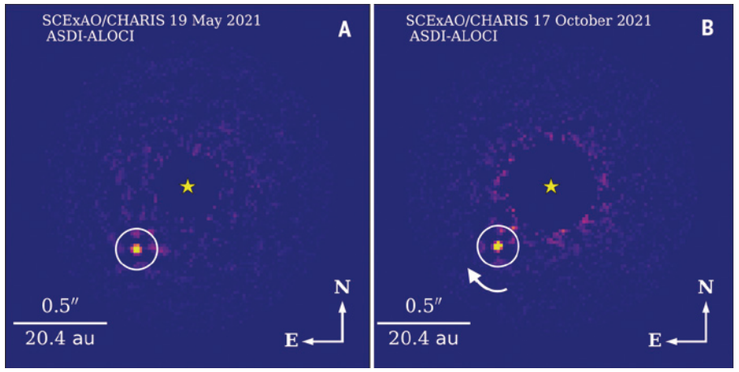
田村 元秀 Motohide Tamura
東京大学大学院 理学系研究科 教授
自然科学研究機構 アストロバイオロジーセンター センター長
自然科学研究機構 国立天文台 特命教授

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact
E-mail：motohide.tamura@nao.ac.jp
所在地：181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1
ＵＲＬ：https://www.abc-nins.jp/

地球の大気の揺らぎを極限まで補正して太陽系外惑星を直接に撮像

これまで5,500個を超える惑星が発見されているが、そのほとんどは間接的な観測による。系外惑星からの光を写真のように直接に画像としてとらえる「直接観測」は数少ない。その理由は、系外惑星は地球から遠く、明るい恒星のすぐ近くを周回する暗い惑星は見えにくいからである。今回、われわれの国際研究チームは、すばる望遠鏡の強力な地球大気揺らぎ補正装置（超補償光学系）と恒星の位置のふらつきの精密測定（アストロメトリ、位置天文学）とを組み合わせる新手法に基づき、太陽系外の新たな惑星HIP 99770 bの発見に成功した。この手法で発見された最初の惑星である。この惑星は、太陽より重い恒星HIP 99770 Aを太陽-地球間の距離の17倍離れて周回している、木星の約15倍の重さの巨大惑星である。HIP 99770 bは、主星からの角距離が近く、主星との明るさの差（コントラスト）も大きいため、将来の望遠鏡の高コントラスト性能を検証する上で最適な天体となる。本研究の手法で、新たな系外惑星の直接撮像による発見が続くだろう。さらに、次世代の望遠鏡では「第二の地球」を画像に写すこともできると期待される。



図：すばる望遠鏡で発見された新しい系外惑星

すばる望遠鏡の超補償光学系で撮像されたHIP 99770 bの画像（○印内）。画像AからBにかけて白い矢印の向きに惑星の公転運動が見られる。★印の位置にある明るい恒星の光はコロナグラフで抑制されている。



アストロバイオロジーセンターが運用する装置群

アストロバイオロジーセンター、および、東京大学大学院理学系研究科天文学専攻

自然科学研究機構では、宇宙における生命を研究する「アストロバイオロジーセンター（ABC）」を2015年度より運営しています。アストロバイオロジーは広範な学術分野にまたがる学際領域で、とりわけABCでは太陽系外の「第二の地球」を探査し、そこに生命の兆候を捉えることを目指しています。系外惑星は地球から遠く離れた小さくて暗い天体のため、望遠鏡だけでなく専用観測装置の開発が重要です。ABCでは、系外惑星探査プロジェクト室、宇宙生命探査プロジェクト室、アストロバイオロジー装置開発室の3室を設け、第一線の外国人研究者を含め現在22名の研究者が在籍します。東京大学などと連携しつつ、大学共同利用機関として、生命存在の場となる系外惑星探査、世界最先端のアストロバイオロジー観測装置（図参照）の開発・運用、系外惑星と生物学との連携研究（生命存在証拠としての光合成研究など）、アストロバイオロジー公募研究、若手育成などを推進しています。

Science 5月19日号
RESEARCH ARTICLE
S. Qian *et al*., *SCIENCE* 18 May 2023: Vol 380, Issue 6646 pp. 722-727
DOI: 10.1126/science.adg7043
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.adg7043

高性能マルチモード弾性熱量冷却システム

High-performance multimode elastocaloric cooling system



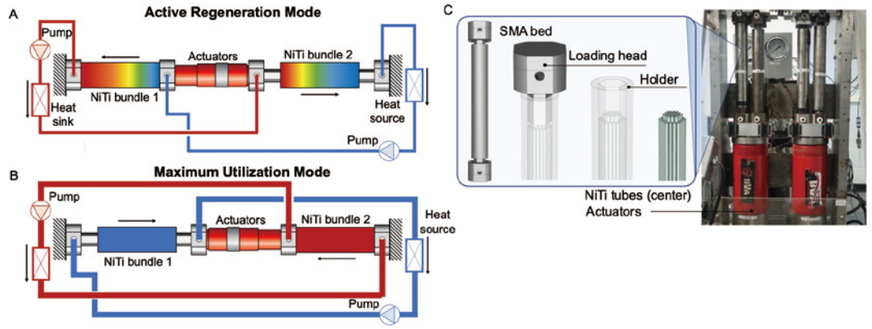
竹内 一郎 Ichiro Takeuchi
Professor, Department of Materials Science and Engineering, University of Maryland
Maryland Quantum Materials Center, Department of Physics, University of Maryland

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact
E-mail：takeuchi@umd.edu
所在地：College Park, MD 20742, USA
ＵＲＬ：https://mse.umd.edu/clark/faculty/722/Ichiro-Takeuchi

商品化に一歩近づく高性能を示す弾性熱量冷却装置の実現

熱量効果は、地球温暖化対策に貢献する固体冷却技術として注目を浴びている。これは、固体物質が相転移するときに発生する潜熱の吸収を用いて周囲を冷却する効果である。一般に高効率であるため、現在様々な熱量効果を用いた冷却デバイスあるいは装置の工作が試みられている。これらを実用化につなげるには各種デバイスのスケールアップが必要だが、これには様々なチャレンジがある。われわれは、応力をかけることにより相転移が起きる、弾性熱量効果を示す金属を用いる冷却技術の開発を進めている。今回は、最高出力260ワット、また最高温度スパン22.5Kを示す弾性熱量冷却システムの作動に成功した。この性能は、今まで報告されている熱量冷却装置の中で最大の値に匹敵する。この弾性熱量冷却装置は、耐久性のあるNiTi合金のチューブを束ねたものを熱弾性材料、また熱交換器として用いている。システムの駆動方法として、最高温度スパンモードおよび最高出力モードがある。こうした弾性熱量冷却装置の多様性が、早期の技術の商品化を促すと考えられる。



図：マルチモード弾性熱量冷却システムの概略図と作動原理

(A) 最高温度スパンモード（アクティブ・リジェネレーションモード）ーサイクル中この時点ではNiTi bundle 1が圧縮されており、熱交換水がその中の低温側から高温側に流されている。またそれと同時に、NiTi bundle 2では圧力がリリースされており、その中の高温側から低温側に熱交換水は流されている。

(B) 最高出力モード（最高ユーテリゼーションモード）ーここではNiTi bundle 2が圧縮されており、ヒートシンク熱交換水回路につながれている。それと同時に、NiTi bundle 1では圧力がリリースされており、ヒートソース熱交換水回路につながれている。

(C) NiTi bundle（SMA bed）はホルダーに包まれており、アクチュエータを用いてローディングヘッドにより圧縮される。



Designing and discovering new 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化学と機械学習を主な手法として、様々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。弾性冷却材料とこれを用いた冷却システムの開発は、ここ13年近く特に力を入れてきた研究テーマです。今回は、高性能弾性熱量冷却装置の作動に成功しました。これから、この装置の様々な応用を考えていきたいと思います。また、他のテーマでも新しい材料を用いて未来のテクノロジーに貢献する事を続けたいと思います。

Science 5月26日号
RESEARCH ARTICLE
J. C. Stinchcombe *et al.*, *SCIENCE* 25 May 2023: Vol 380, Issue 6647 pp. 818-823
DOI: 10.1126/science.abp8933
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.abp8933

免疫シナプスにおけるT細胞受容体シグナル伝達はエクトサイトーシスを介して自己限定化される

Ectocytosis renders T cell receptor signaling self-limiting at the immune synapse



左から浅野 由香子、Jane C. Stinchcombe、Gillian M. Griffiths

浅野 由香子 Yukako Asano
Research Associate, Cambridge Institute for Medical Research, University of Cambridge

Jane C. Stinchcombe
Principal Research Associate, Cambridge Institute for Medical Research, University of Cambridge

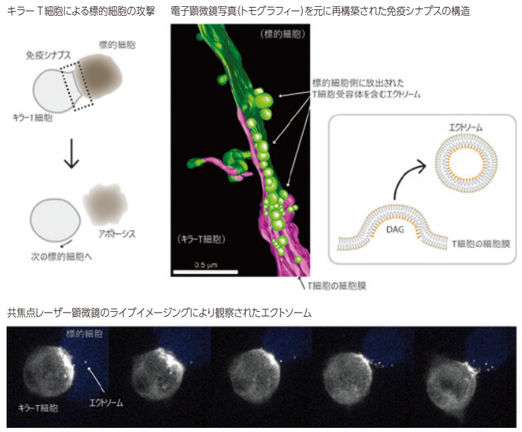
Gillian M. Griffiths
Professor of Cell Biology and Immunology, Cambridge Institute for Medical Research, University of Cambridge

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact
浅野 由香子 E-mail：ya245@cam.ac.uk 所在地：CIMR, The Keith Peters Building, Hills Road, Cambridge, CB2 0XY, UK
U R L：https://www.griffiths-lab.com/
Gillian M. Griffiths E-mail：gg305@cam.ac.uk 所在地：CIMR, The Keith Peters Building, Hills Road, Cambridge, CB2 0XY, UK
U R L：https://www.griffiths-lab.com/

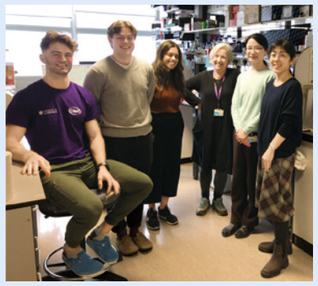
活性化T細胞受容体はエクトソームとして細胞外に放出される

キラーT細胞（$CD8^+$ T細胞）は、病原菌感染細胞やがん細胞などの標的細胞と遭遇すると、T細胞受容体が活性化して細胞内にシグナルが伝達され、標的細胞を攻撃してアポトーシスを誘導する。このT細胞と標的細胞の接触部分は「免疫シナプス」と呼ばれる、シグナル伝達と攻撃に重要な役割を担う一過性の構造である。免疫シナプスに集積したT細胞受容体を電子顕微鏡により観察したところ、標的細胞との間に小胞が蓄積する様子を捕えた。これは、細胞膜が細胞の外側に向けて出芽して小胞（エクトソーム）を作るエクトサイトーシスという現象で、T細胞受容体が活性化されるとジアシルグリセロール（DAG）は免疫シナプスに局在するが、DAGが細胞膜の内側の層に分布して曲面を形成することによりエクトソームが生成すると考えられた。このエクトソームは、T細胞受容体の他に細胞膜上のタンパク質複合体やシグナル分子を含んでおり、標的細胞に取り込まれることが示唆された。活性化した受容体などが標的細胞側に放出されて免疫シナプスから除かれることで、シグナルの終息と細胞同士の離脱に至ると考えられた。免疫シナプスの解消によりキラーT細胞は標的細胞から離れ、次の標的細胞に向かうことができるようになる。



図：キラーT細胞の標的細胞攻撃と免疫シナプスにおけるエクトソームの形成

免疫シナプスに形成されたエクトソームを示す。T細胞の細胞膜はピンク色、T細胞受容体は緑色の部分である。また、脂質のDAGの分布をライブイメージングで観察して、エクトソームの放出を捕えた。



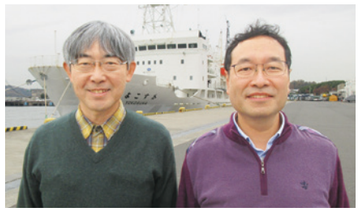
がん細胞などの標的細胞を攻撃するキラーT細胞の研究

私たちの研究室では、細胞性免疫における細胞間の相互作用を研究対象として、キラーT細胞（$CD8^+$ T細胞）の分化や、がん細胞などの標的細胞を攻撃する機能制御を研究しています。そして、キラーT細胞の機能不全に由来した免疫疾患の症例も重要な研究対象です。
キラーT細胞は俊敏に動き回り、標的細胞に遭遇すると細胞殺傷性の小胞を放出して標的細胞にアポトーシスを誘導します。その間に、細胞骨格や中心体などの細胞内オルガネラの配置に見られるダイナミックな細胞極性の変化を伴い、その攻撃機能を調節していると考えられます。近年、T細胞研究は特にがん治療の現場で注目されて重要性が増し、さらなる発展が期待されています。顕微鏡技術の進展に伴い、生細胞の可視化も含め、興味深い知見が得られるようになりました。

Science 6月16日号
RESEARCH ARTICLE
P. C. Davidson *et al.*, *SCIENCE* 15 Jun 2023: Vol 380, Issue 6650 pp. 1185-1188
DOI: 10.1126/science.ade8666
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.ade8666

オントンジャワ海台は従来の推定年代より若く、より長期間活動していた

A younger and protracted emplacement of the Ontong Java Plateau



左から佐野 貴司、羽生 毅

佐野 貴司 Takashi Sano
国立科学博物館 地学研究部 鉱物科学研究グループ グループ長

羽生 毅 Takeshi Hanyu
海洋研究開発機構 海域地震火山部門 火山・地球内部研究センター
地球内部物質循環研究グループ グループリーダー

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact
佐野 貴司 E-mail：sano@kahaku.go.jp 所在地：305-0005 茨城県つくば市天久保4-1-1
U R L：http://www.kahaku.go.jp/research/researcher/researcher.php?d=sano
羽生 毅 E-mail：hanyut@jamstec.go.jp 所在地：237-0061 神奈川県横須賀市夏島町2-15
U R L：https://www.jamstec.go.jp/j/

白亜紀に噴火した世界最大火山の新たな年代値を決定

地球における最大の火山体は太平洋の赤道直下の海底に存在し、「オントンジャワ海台」と呼ばれている（図1）。これは広さが186万平方キロメートル（日本の国土の約5倍）もある火山体である。さらに、現在は数千キロメートル離れたところに独立して存在するマニヒキ海台およびヒクランギ海台とともに、一つの超巨大火山体を形成していた可能性もある。2017年に海洋研究開発機構の調査船「白鳳丸」を用いてソロモン諸島のマライタ島沖で火山体をつくる玄武岩を海底から採取し、最新の年代測定法（$^{40}Ar/^{39}Ar$年代）により噴火年代を推定した。また、過去に採取されたオントンジャワ海台とマニヒキ海台の玄武岩についても再度年代測定を行った。その結果、過去の推定年代よりも約1,000万年も若いことがわかった。さらに、噴火活動は最大で858万年もの間続いていたことも判明した（図2）。これまで、この噴火活動の多くは約1億2,300万年前～1億2,000万年前の短期間（100～300万年間）で起こり、海洋無酸素事変（OAE1a）の年代と一致することから、海洋生物の大絶滅を引き起こしたと考えられていたが、これらの説を見直す必要性が生じた。

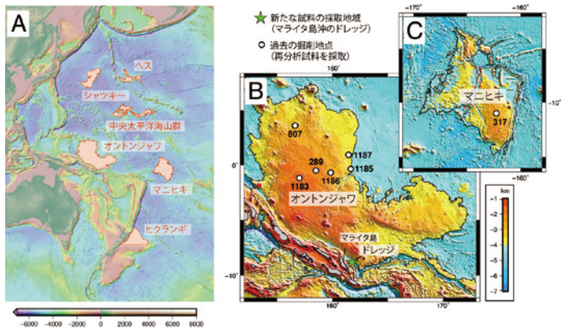


図1：A：太平洋に分布する巨大海台（薄い赤色の領域）、B：オントンジャワ海台、C：マニヒキ海台

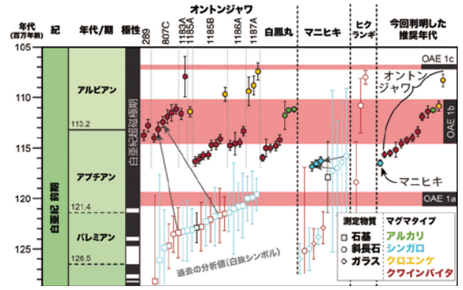


図2：オントンジャワ、マニヒキ、ヒクランギ海台の噴火年代

過去に報告された年代値を白抜き、今回新たに得られた年代値を色付きで示した。4種類の異なるマグマが確認されており、これを色の違いで示している。



地球の宝を守れ：日本の研究機関が管理する標本の現実

著者の一人である佐野が所属する国立科学博物館は、約150年にわたり、自然史標本を収集し、研究や展示に使用してきました。もう一人の著者である羽生が所属する海洋研究開発機構も海から採取された様々な標本を保持しています。標本・資料を適切に保管するためには広大な収蔵庫が必要であり（左写真）、空調設備や標本整理など、多くの資金を要します。また、一つの収蔵庫が一杯になると、次の収蔵庫を新設する必要性も生じます。ところが、日本では資金不足により標本の管理が危機的状況になっているのが現実です。
今回の研究においても、過去に採取された玄武岩を対象とした再測定ができたことが大きな意味を持ちます。同じ試料を最新の技術を用いて測定した結果が、過去の分析結果と異なることがわかったからです。これらの玄武岩は、アメリカ合衆国の研究機関で管理されていたものです。日本もアメリカに負けないように標本を管理していくべきです。

Science 6月23日号
RESEARCH ARTICLE
Y. Iguchi *et al.*, *SCIENCE* 1 Jun 2023: Vol 380, Issue 6651 pp. 1244-1247
DOI: 10.1126/science.abp9979
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.abp9979

温度に依存した分数磁束量子を持つ超伝導渦糸

Superconducting vortices carrying a temperature-dependent fraction of the flux quantum



井口 雄介 Yusuke Iguchi
Senior Research Scientist, Geballe Laboratory for Advanced Materials, Stanford University

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact
E-mail：yiguchi@stanford.edu
所在地：476 Lomita Mall, McCullough Room 137, Stanford, CA 94305, USA
ＵＲＬ：https://yusuke-iguchi-personal-page.webnode.jp

高精度な磁気イメージングにより、非量子化渦糸を直接観測

コーヒーカップの中など、古典的な流体ではスプーンで大きな渦や小さな渦を作ることができるが、量子の世界はこれとは非常に異なる。電気抵抗がゼロになる超伝導体と呼ばれる物質内での電流の渦巻きは、磁力が細い糸のように結晶内を通過する渦糸として知られている。これら渦糸が捕える磁力の大きさは、磁束量子と呼ばれる定数の整数倍として実験的に明らかにされている。これは電流の位相の量子化に起因する現象で、量子力学の基本的な示現とされている。マルチバンド超伝導体では、一部の軌道の電子のみで位相の量子化が起こることで、結果として渦糸が磁束量子の非整数倍の磁束を持つことが理論的に予測されていたが、これまで実験的な証拠はなかった。本研究では、走査型超伝導量子干渉計顕微鏡を使用し、マルチバンド超伝導体$K_xBa_{1-x}Fe_2As_2$において、渦糸が磁束量子の整数倍ではなく、非量子化された分数を運びうることを明らかにした。この現象は、数ミリメートルスケールで同一温度範囲内において普遍的に観測され、磁束の大きさが温度に依存するなど、従来とは異なる新しいタイプの渦糸を示している。この成果は、超伝導体の理解を深め、新しい技術革新に向けた一歩を示している。

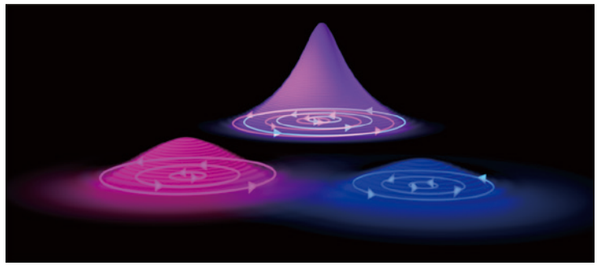


図1：マルチバンド超伝導において期待される非量子化渦糸の概念図
（上）2つの軌道の同じ位置での渦が1つの完全な磁束量子を形成する概念図、および（下）各軌道における分離した渦が、非量子化された磁束量子の分数を作り出す概念図。
(CREDIT: GREG STEWART, SLAC NATIONAL ACCELERATOR LABORATORY)

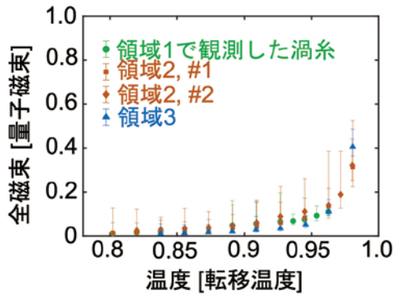


図2：温度依存した非量子化磁束の観測結果
同じ試料における3つの異なる領域で観測された4つの非量子化渦糸が運ぶ全磁束は、同様の温度依存性を持つことを示した。





磁気イメージングで解き明かすモノの中の物理

電流の周りには磁力が発生するため、この磁力を観測して電流の情報を得ることで、物質中の電子の基本法則が議論できます。特に、不純物周りなどの物質の状態が壊れた領域では、その物質特有の応答を見ることができます。その一つが超伝導渦糸です。私が所属するMoler研究室（写真：右から共著者のMoler教授とShi博士）では、実空間磁気イメージング手法の開発を長年行っています。本研究で使用した走査型超伝導量子干渉計顕微鏡（左図）は、微細加工技術で作成されたマイクロメートル程度の微小な超伝導コイルを通る磁束を、磁束量子の単位で絶対値観測することができ、このコイルを試料に近づけて試料表面の磁力をマッピングします。これにより本研究では、渦糸が運ぶ磁束の直接的な評価ができ、非量子化渦糸の観測に成功しました。これまでに、本研究室では半整数渦糸やエッジカレントに関する研究を行っています。

Science 7月7日号
RESEARCH ARTICLE
Y. Li *et al.*, *SCIENCE* 6 Jul 2023: Vol 381, Issue 6653 pp. 50-53
DOI: 10.1126/science.add7138
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.add7138

電極厚みがミリメートルオーダーの蓄電池用途の超リチウムイオン導体

A lithium superionic conductor for millimeter-thick battery electrode



左から堀 智、菅野 了次

堀 智 Satoshi Hori
東京工業大学 科学技術創成研究院 全固体電池研究センター 特任准教授
菅野 了次 Ryoji Kanno
東京工業大学 科学技術創成研究院 全固体電池研究センター 特命教授

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact
堀 智 E-mail：hori.s.ad@m.titech.ac.jp
所在地：226-8501 神奈川県横浜市緑区長津田町4259
ＵＲＬ：http://www.assb.iir.titech.ac.jp
菅野 了次 E-mail：kanno.r.ab@m.titech.ac.jp
所在地：226-8501 神奈川県横浜市緑区長津田町4259
ＵＲＬ：http://www.assb.iir.titech.ac.jp

最高の伝導度のLiイオン伝導体の開発で電池の理想型へ一歩前進

厚膜型の全固体リチウム（Li）イオン電池は、エネルギー密度、出力（パワー）特性および安全性などの複数の開発目標を同時に達成しうる電池形態であるが、実現には有機電解液を超える極めて高いLiイオン伝導率を持つ固体電解質が必要である。われわれは、興味深い物性を示す無機材料開発手法として注目される組成のハイエントロピー化（複雑化）を取り入れて、イオン伝導体を開発した。データベースと機械学習の技術も活用し、超Liイオン伝導体として知られる$Li_{10}GeP_2S_{12}$をベースに結晶構造を壊さずに、組成をできる限り複雑にする条件を絞り込み、新物質$Li_{9.54}[Si_{0.6}Ge_{0.4}]_{1.74}P_{1.44}S_{11.1}Br_{0.3}O_{0.6}$を探し出した。新物質のLiイオン伝導率はベース材料の約3倍の32mS/cm（25℃）であり、既報材料における最高値であった。この新規固体電解質と活物質（$LiCoO_2$）から成る厚み0.8mmの正極合剤と、重量あたりの容量が最大のLi金属負極とを組み合わせた電池セルを作製したところ、10mA/cm^{2}を超える電流密度で20mAh/cm^{2}を超える放電容量を、60℃において取り出すことができた。これらの厚みと性能の値は過去に報告されたセルの性能を上回り、「厚膜型の全固体Li金属電池」が電池の次の方向性として示された。

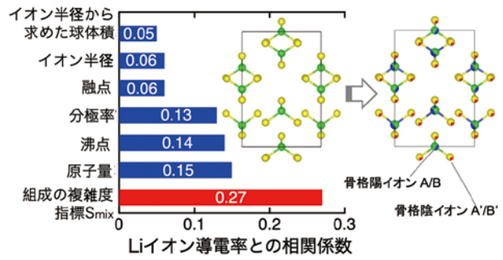


図1：ハイエントロピー化の超Liイオン伝導体への適用（右手挿入図）と伝導率との相関
論文から250件の固体電解質のデータを集めて機械学習で解析したところ、構成元素の固有値から定まる原子量などの要素のうち、伝導度と最も高い相関を示したのは、組成の複雑度を示す指標であった。

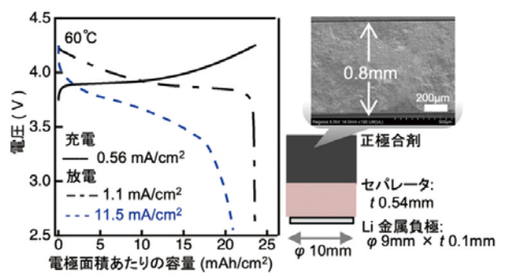
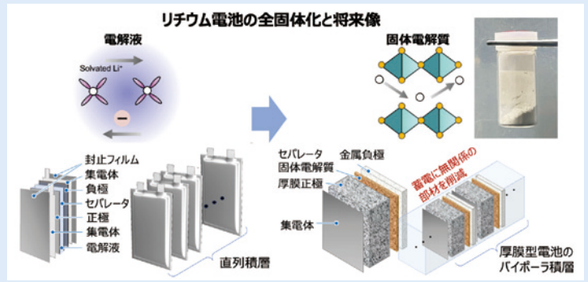


図2：新材料を用いた「厚膜型の全固体Li金属電池」の特性
正極側の固体電解質の伝導度が低いと、正極の厚みを増して容量を増やすことは困難であった。新材料を用いることで、Li金属負極の高容量を活かして対になりうる正極合剤が作製された。



次世代エネルギーデバイスの研究開発を牽引する全固体電池研究センター

化石燃料に依らない電力源である、太陽光発電と風力発電の間欠性を補い、普及させるために必須となるのが電気を蓄えるための電池です。全固体電池研究センターでは、「厚膜型の全固体Li金属電池」をはじめとする、次世代の電池開発に挑戦しています。教員8名、学生12名、スタッフ46名（2024年1月現在）の体制で、国内外の多くの企業や研究機関と連携して、固体物理化学、計算化学、最新のAIや機械学習などの手法を駆使してイオンや電子が高速で拡散する新しい材料の探索と解析に取り組んでいます。

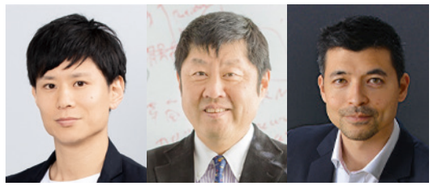
Science 8月18日号
RESEARCH ARTICLE

M. Prasad *et al.*, *SCIENCE* 17 Aug 2023: Vol 381, Issue 6659 pp. 748-753
DOI: 10.1126/science.adf3345

オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.adf3345

アルカニボラックス・ボルクメンシスのバイオフィルムは界面の管状化によって油の分解を促進する

Alcanivorax borkumensis biofilms enhance oil degradation by interfacial tubulation



左から尾花 望、野村 暢彦、Andrew S. Utada

尾花 望 Nozomu Obana
筑波大学 医学医療系 助教
トランスボーダー医学研究センター
筑波大学 微生物サステイナビリティ研究センター（MiCS）

野村 暢彦 Nobuhiko Nomura
筑波大学 生命環境系 教授
筑波大学 微生物サステイナビリティ研究センター（MiCS） センター長

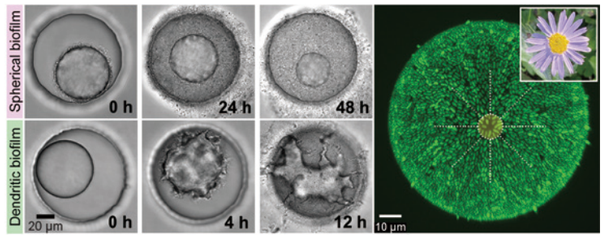
Andrew S. Utada
筑波大学 生命環境系 准教授
筑波大学 微生物サステイナビリティ研究センター（MiCS）

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact
尾花 望 E-mail：obana.nozomu.gb@u.tsukuba.ac.jp
所在地：305-8575 茨城県つくば市天王台1-1-1
ＵＲＬ：https://trios.tsukuba.ac.jp/researcher/0000003736
野村 暢彦 E-mail：nomura.nobuhiko.ge@u.tsukuba.ac.jp
所在地：305-8575 茨城県つくば市天王台1-1-1
ＵＲＬ：https://www.u.tsukuba.ac.jp/~nomura.nobuhiko.ge/
Andrew S. Utada E-mail：utada.andrew.gm@u.tsukuba.ac.jp
所在地：305-8575 茨城県つくば市天王台1-1-1
ＵＲＬ：https://andrew-utada.com/

海洋細菌の集団は界面の表面積を広げて石油を素早く分解する

多くの細菌は「バイオフィルム」と呼ばれる集団を形成して生存している。海洋への石油流出事故の際には、ある種の海洋細菌が油と水の界面にバイオフィルムを形成し、油を栄養源とし、生分解する。本研究では、マイクロ流体デバイスを用いた観察系を構築し、大きさが0.1mm以下の微小な油滴の上に形成されたバイオフィルムの高解像度の時空間データを取得し、細菌が油を素早く分解するメカニズムを解明した。観察結果より、海洋細菌*Alcanivorax borkumensis*が、油と水の界面に2つの異なるタイプのバイオフィルムを形成することを発見した。この2つのタイプを、球状バイオフィルム（spherical biofilm：SB）と樹状バイオフィルム（dendritic biofilm：DB）と名付けた。通常、油滴は水中では球状の構造を保っており、界面にSBが形成されてもその形は変化しない。一方で、界面にDBが形成されると、細菌の生育に伴って油滴の形状は樹状に変形した。これによって界面の面積が指数関数的に拡大し、より多くの細菌が油と接触することが可能となり、効率よく油を分解できることが明らかになった。本研究の成果は、細菌を用いた環境浄化技術（バイオレメディエーション）の効率化に貢献することが期待される。



図：球状バイオフィルム（SB）と樹状バイオフィルム（DB）の画像
SBは油滴が球状を保っているが、DBでは油滴が樹状突起のような形状に変化し、油がチューブ状に伸びている。油滴の形状変化が起こる直前、細菌は油滴上に野菊の花びらのように並ぶ（右）。



筑波大学 微生物サステイナビリティ研究センター

微生物は地球上のあらゆるところに生育しており、私たち人間の生活（環境・食・健康）に深く関わっています。また、人間を含む生物の腸管には多くの微生物が存在し、宿主の健康や疾患と関連しています。微生物サステイナビリティ研究センター（Microbiology Research Center for Sustainability：MiCS）は、地球環境と地球上の全生命に関わる微生物を対象として、基礎・応用分野をまたぐ研究を行っています。MiCSには生物学、農学、工学、医学および情報科学分野の研究者が所属しており、学際的な研究を展開することで、地球規模の様々な課題の解決と持続可能な社会の構築を目指しています。今回の研究成果も、微生物学と工学および物理学が融合することによって生まれました。驚くべき多様性と機能をもつ微生物の研究に興味を持たれた方はご連絡ください。

微生物がつくるコミュニティ

筑波大学 医学医療系 助教
トランスボーダー医学研究センター
筑波大学 微生物サステイナビリティ研究センター（MiCS）
尾花 望

微生物も集団を形成してコミュニケーションする

微生物は“目に見えない小さな生き物”の総称で、細菌、菌類、原生生物などが含まれます。微生物は単細胞ですが、実際の環境中では複数の細胞が寄り集まって集団として生息しています。

微生物の集団のことをバイオフィルムと呼びます。バイオフィルムは凹凸のある様々な立体的な構造を形成しています（図1）。バイオフィルムの形状は周囲の環境に応じて変化し、細菌の機能や活性と関係しています（例えば、今回の研究では油分解性細菌のバイオフィルムの形状は油の分解速度に関連することが明らかになりました）。バイオフィルム中で細菌は低分子化合物を放出し、細胞間でコミュニケーションすることでバイオフィルムの形状を制御しています。さらに、バイオフィルム内部では様々な役割をもつ細胞が出現し、あたかも多細胞生物のようにふるまうことがわかってきました。微生物はバイオフィルム中でコミュニケーションして役割分担することで、様々な環境に高度に適応して生存しています（図2）。

細菌がバイオフィルムを形成すると、物理的に除去しづらくなり、さらに薬剤に対する耐性が向上することから、感染症の難治化を引き起こします。また、水道管のつまりや金属の腐食といった様々な問題にバイオフィルムは関係しています。一方で、発酵食品の製造や排水処理（水の浄化）、バイオレメディエーションなど、私たちの生活に有益な微生物のバイオフィルムもあります。このように、バイオフィルムは医学、生命科学のみならず、工学や食品学および環境学といった様々な分野で注目されており、研究が進められています。

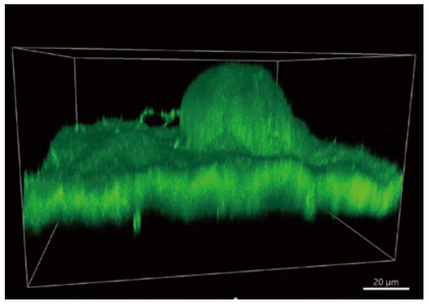


図1：バイオフィルム
緑膿菌が形成するバイオフィルムの顕微鏡像。微生物の細胞が寄り集まって立体的な構造を形成する。

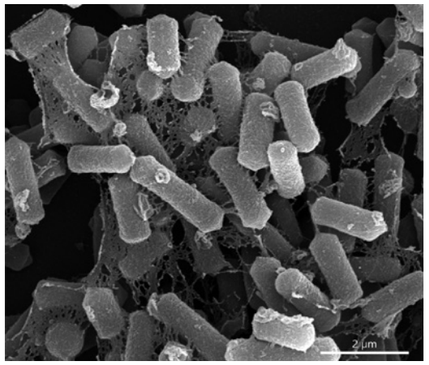


図2：バイオフィルムの内部の細胞
ウェルシュ菌のバイオフィルム内部の細胞の電子顕微鏡写真。微生物の細胞は自身で産生する物質（細胞外マトリクス）に覆われている。

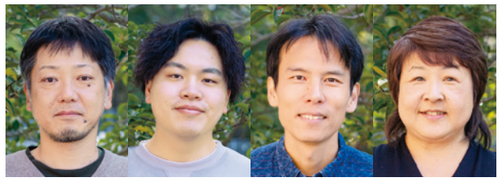
色々な生物と共生する微生物

地球上で生息する微生物の中には、私たちヒトと共生して生息しているものもいます。ヒトの身体には、皮膚や口腔内および腸管内におびただしい数の微生物がバイオフィルムを形成して共生しており、私たち宿主の細胞と相互作用しています。例えば、腸管に共生する細菌はおよそ3.8×10^{13}個であり、ヒトの細胞数（3.0×10^{13}個）に匹敵します。つまり、私たちの身体はヒトの細胞だけではなく、微生物の細胞も合わさって構成されていると考えることができます。この考え方を、ノーベル賞受賞学者であるジョシュア・レーダーバーグ博士は「超生命体（superorganism）」という概念として提唱しました。腸内細菌は、消化管系疾患のみならず、免疫や肥満、アレルギー、精神・神経疾患にも関与することが明らかとなってきています。また、微生物はヒトや動物だけでなく、昆虫の腸内や植物の根圏にも共生して、宿主の健康や発達、そして病気と深く関係しています。

Science 9月1日号
RESEARCH ARTICLE
T. Nishimura *et al.*, *SCIENCE* 10 Aug 2023: Vol 381, Issue 6661 pp. 1006-1010
DOI: 10.1126/science.adh9978
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.adh9978

重力感知に関連した細胞極性は平衡石から細胞膜へのLZYタンパク質の移行によって創出される

Cell polarity linked to gravity sensing is generated by LZY translocation from statoliths to the plasma membrane



左から西村 岳志、森 祥伍、四方 明格、森田(寺尾) 美代

西村 岳志 Takeshi Nishimura
自然科学研究機構 基礎生物学研究所 植物環境応答研究部門 助教
総合研究大学院大学 助教

森 祥伍 Shogo Mori
自然科学研究機構 基礎生物学研究所 植物環境応答研究部門 技術職員

四方 明格 Hiromasa Shikata
自然科学研究機構 基礎生物学研究所 植物環境応答研究部門 助教
総合研究大学院大学 助教

森田(寺尾) 美代 Miyo Terao Morita
自然科学研究機構 基礎生物学研究所 植物環境応答研究部門 教授
総合研究大学院大学 教授

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact
森田(寺尾) 美代
E-mail：mimorita@nibb.ac.jp
所在地：444-8585 愛知県岡崎市明大寺町字西郷中38
ＵＲＬ：https://sites.google.com/nibb.ac.jp/nibb-morita-lab/home

平衡石から細胞膜へのタンパク質移行により重力方向を感知する

植物の根は地下へ、茎は上方へと成長する重力屈性を示す。動物も植物も重力方向の感知には、常に重力方向に沈降しようとする高密度の粒子(平衡石)を利用する。植物では、アミロプラストと呼ばれるデンプンを高度に蓄積した細胞小器官であるプラスチドが平衡石として働く。その情報が屈曲する器官内に植物ホルモンであるオーキシンの非対称分布を生じさせることは何十年も前から知られていたが、その間をつなぐ信号伝達機構は未解明であった。本研究では、重力方向を保ちつつ観察できるよう独自に構築した特殊な顕微鏡や、光ピンセットを含むライブセルイメージング技術を駆使し、重力感受細胞におけるLZYタンパク質の挙動を解析した。その結果、LZYタンパク質がアミロプラストとその近傍(すなわち重力方向)の細胞膜に存在し、アミロプラストの位置に依存して細胞膜上の集積部位が速やかに変化すること、アミロプラストから細胞膜上に移動することなどを明らかにした。さらにLZYタンパク質は、オーキシン輸送を制御する因子を細胞膜に呼び込むことで重力方向へのオーキシン輸送を促す情報分子として働くことを示した。本研究は、長年の謎である重力感知機構の解明を大きく前進させた。

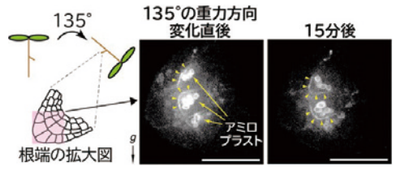


図1：重力方向変化に応答した根の重力感受細胞におけるLZYタンパク質動態の可視化
根の先端に位置する重力感受細胞では、LZYタンパク質は重力方向に沈降する性質をもつアミロプラスト(矢印で図示)と、それに近接する細胞膜上(矢じりで図示)に分布することを見出した。

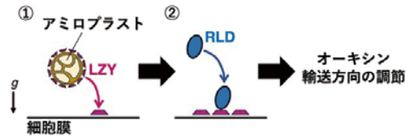
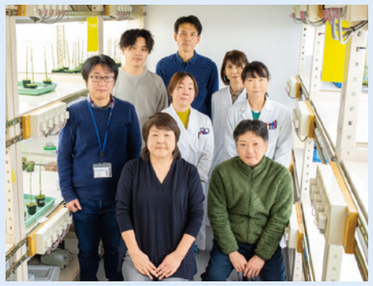


図2：LZYタンパク質を介した重力情報伝達
①LZYタンパク質は、アミロプラストから近接する細胞膜上へと移行する。
②LZYタンパク質は、オーキシン輸送制御に関わるRLDタンパク質を細胞膜上に呼び込むことで、オーキシンの輸送方向を調節する。



地道な基礎研究で長年の謎を解く

長い間残されている研究課題に挑むには、これまでの研究をとことん調べ、大きな課題を実験的な検討が可能なパーツに分けて捉え直し、新たな技術や解析手法で再挑戦する必要があります。それには、私たちとは得意分野を異にする多くの研究者の力を借ります。今回は埼玉大学、熊本大学、大阪大学の研究者にご協力いただき、研究を完遂することができました。今回の研究では、LZYタンパク質の生細胞イメージングに成功したとき、すぐに重力情報伝達モデルを頭の中に描くことができましたが、自分たちのモデルを批判的に検証しつつ、他人を説得できる証拠を積み重ねるのに5年ほどかかりました。地道に研究を日々積み重ねる毎日ですが、やはり新しいことを発見する喜びは格別なものです。

Science 9月1日号
RESEARCH ARTICLE
L. Shi *et al.*, *SCIENCE* 31 Aug 2023: Vol 381, Issue 6661 pp. 1011-1014
DOI: 10.1126/science.adi1342
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.adi1342

環状オリゴマーを生成しない環状オリゴシロキサンの開環重合

Ring-opening polymerization of cyclic oligosiloxanes without producing cyclic oligomers



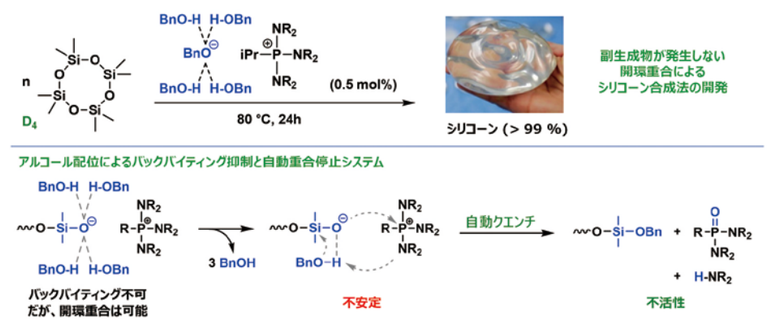
加藤 剛 Tsuyoshi Kato
Group leader of ECOIH Team (DR1 of CNRS),
Laboratoire Hétérochimie Fondamentale et Appliquée (UMR 5069),
Université de Toulouse

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact
E-mail：tsuyoshi.kato@univ-tlse3.fr
所在地：118, route de Narbonne, 31062 Toulouse Cedex 9, France
ＵＲＬ：https://lhfa.cnrs.fr/index.php/en/teams/ecoih-en

開環重合による定量的な(クリーンな)シリコーン合成を達成

シリコーンとして知られるポリシロキサンは、1901年にF.キッピングにより発見され、1943年にダウコーニング社によりその生産が初めて工業化された。以来、その特殊な化学的・物理的特性のため、様々な用途が見出され、広い分野で応用・使用されている。しかしながら、このシリコーンの合成には長年解決されず残された問題がある。それは、回避困難な副生成物(環状オリゴシロキサン混合物：10～15％)の生成である。これらの副生成物は、ポリマー末端で起こるバックバイティング反応により生成するが、このプロセスは、開環重合反応と競合し平衡状態にあるため、避けることのできない熱力学的現象(問題)であると考えられていた。われわれは、アルコールをポリマー末端へ配位させることにより、このプロセスを抑制することができること、また、特定のホスホニウムカチオンが自動重合停止剤として働き、アルコール配位子が失われると即座に(バックバイティングが始まる前に)反応を停止させることができることを見出した。この2つの効果を組み合わせることにより、環状オリゴシロキサン副生成物を生成しない、八員環シロキサン(D_4)の開環重合を達成した。



図：副生成物を発生させないD_4開環重合によるシリコーン合成法
適切な[$R_4P^+BnO^-$]・アルコール錯体を重合開始剤に用いることにより、副生成物なしのシリコーン合成が可能になる。
アルコールはバックバイティング抑制剤、ホスホニウムは自動重合停止剤として働く。



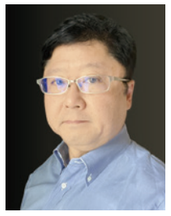
単純に楽しい化学を目指して

有用性は化学の研究にとって大切なことですが、まずは何に使えるかわからなくても、とにかく新しい現象や化合物を見出すことに重点を置いて研究を行っています。研究においてまったく新しい現象や化合物を見つけることは純粋に楽しく、まさに醍醐味であり、難しい研究を行ううえでの強い推進力になると思っています。そのようにして得られた発見、知識および理解力が、長年解決不可能とされてきた問題を解く鍵になることさえある、と考えています。

Science 9月8日号
RESEARCH ARTICLE
G. He *et al.*, *SCIENCE* 8 Sep 2023: Vol 381, Issue 6662
DOI: 10.1126/science.add9884
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.add9884

グリーン・ナッジによる使い捨て食器の削減：中国における食事デリバリー業界からのエビデンス

Reducing single-use cutlery with green nudges: Evidence from China's food-delivery industry



澤田 康幸 Yasuyuki Sawada
東京大学大学院 経済学研究科 教授
アジア開発銀行（ADBI） 客員研究員

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact
E-mail：sawada@e.u-tokyo.ac.jp
所在地：113-0033 東京都文京区本郷7-3-1
ＵＲＬ：https://sites.google.com/site/yasuyukisawadapage/main

アプリ上の「グリーン・ナッジ」導入で廃棄ごみ削減と森林保全へ

オンラインの食事宅配サービスに対する消費者の需要の高まりは、同時に使い捨てのフォーク・スプーン・箸など「カトラリー」の消費を増加させており、世界的なプラスチック汚染につながっている。本研究は、中国を代表するプラットフォーム企業、アリババの食事宅配サービスの業務ビッグデータを用いた研究である。具体的には、上海市・北京市・天津市における、使い捨てカトラリー消費に対するアプリ上の表示変更修正と、金銭的価値はないものの十分に貯めれば自分の名前で中国の砂漠に植樹されるという「グリーンポイント」の付与による、二つの「グリーン・ナッジ」の効果を厳密に計測した。結果、「グリーン・ナッジ」によって、カトラリーなし注文のシェアが6倍以上増加したことがわかった。仮にこのグリーン・ナッジが中国全土に適用された場合、年間でプラスチック廃棄物を326万トン削減することができ、544万本もの樹木が伐採を免れると推計された。したがって、中国のみならず世界的な環境への大きなメリットが期待される。

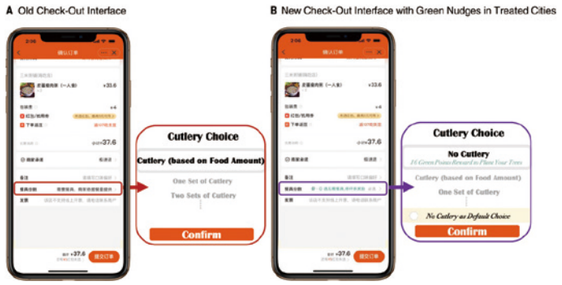


図1：左（A）は変更前のアプリ画面、右（B）は変更後のアプリ画面
宅配注文を行う際のアプリのデフォルト画面を「カトラリーあり」から「カトラリーなし」に変更した。また、金銭的価値はないものの十分に貯めれば自分の名前で中国の砂漠に植樹されるグリーンポイントを付与した。

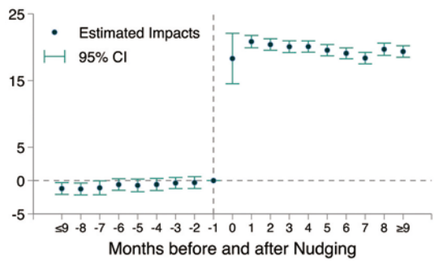


図2：アプリ変更による、「使い捨て食器無し注文」の増加（％ポイント）
アプリ上の表示変更と、グリーンポイント付与による二つの「グリーン・ナッジ」によって、カトラリーなし注文のシェアは、変更前の約3.1％から平均して約20.1％ポイント増加し、6倍以上に増えた。



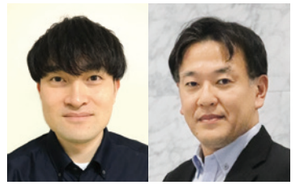
100周年を迎え、世界をリードする経済学研究・教育の中心

2019年に100周年を迎えた東京大学経済学部は、多くの卓越した教授陣が世界をリードする最高水準の研究・教育成果を生み出してきました。現在、経済学部の三学科（経済学科、経営学科、金融学科）、経済専攻とマネジメント専攻からなる大学院経済学研究科が、経済学と経営学のみならず、統計学、地域研究、経済史、数量ファイナンス分野で最先端の研究成果を生み出し続けています。また、経済学の社会実装にも深く関わるべく、日本経済国際共同研究センター（CIRJE）、金融教育研究センター（CARF）、経営教育研究センター（MERC）、政策評価研究教育センター（CREPE）、不動産イノベーション研究センター（CREI）、東京大学マーケットデザインセンター（UTMD）という6つの附属センターが、多様な研究成果の社会還元を行っています。

Science 9月15日号
RESEARCH ARTICLE
K. Furusawa *et al.*, *SCIENCE* 14 Sep 2023: Vol 381, Issue 6663 pp. 1197-1205
DOI: 10.1126/science.ade8978
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.ade8978

アンジェルマン症候群の責任因子Ube3aはBMPを介したシグナル伝達を抑制することによりシナプス除去を促進する

Presynaptic Ube3a E3 ligase promotes synapse elimination through down-regulation of BMP signaling



左から古澤 孝太郎、榎本 和生

古澤 孝太郎 Kotaro Furusawa
東京大学大学院 理学系研究科 生物科学専攻 脳機能学分野 特任助教
榎本 和生 Kazuo Emoto
東京大学大学院 理学系研究科 生物科学専攻 脳機能学分野 教授
東京大学国際高等研究所 ニューロインテリジェンス国際研究機構 副機構長／主任研究者

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact
古澤 孝太郎 E-mail：kfurusawa@g.ecc.u-tokyo.ac.jp 所在地：113-0033 東京都文京区本郷7-3-1
榎本 和生 E-mail：emoto@bs.s.u-tokyo.ac.jp 所在地：113-0033 東京都文京区本郷7-3-1
ＵＲＬ：https://www.bs.s.u-tokyo.ac.jp/~brain/

神経細胞コンパートメントの選択的除去機構の解明

発達期の神経回路は、余分な神経突起やシナプスの除去を通じて機能的な情報処理回路へと成熟する。これまで、神経回路除去の機構は、軸索・樹状突起・シナプスなどの異なる神経コンパートメントごとに研究されてきたが、単一ニューロン内の神経コンパートメントが選択的に除去される時空間制御機構は理解されていなかった。この問題に取り組むためには、単一ニューロンにおいて、それぞれの神経コンパートメント除去を同時に観察できる実験モデルが必要である。ショウジョウバエのクラスIV感覚ニューロン（C4daニューロン）は、幼虫期に形成した樹状突起およびシナプスを蛹形成後24時間以内に完全に除去する（図1A、B）。そこで筆者らは、C4daニューロンを実験モデルとして用いることにより、神経コンパートメント選択的除去機構を検証した。その結果、樹状突起除去とシナプス除去には、異なるE3ユビキチンリガーゼが機能するという、神経コンパートメント選択的除去機構が明らかになった（図2A）。さらに、シナプス除去機構を探求することにより、Ube3a E3ユビキチンリガーゼによるシナプス除去の時空間制御機構を明らかにした。（図2B）。

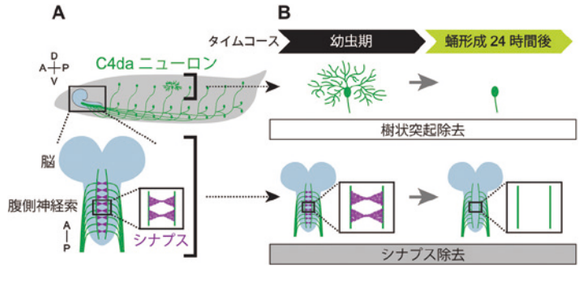


図1：ショウジョウバエのクラスIV感覚ニューロン（C4daニューロン）は変態期においてシナプスおよび樹状突起を除去する
（A）C4daニューロンは、樹状突起を体表に張り巡らせ、軸索を腹側神経索へ投射してシナプスを形成する。（B）C4daニューロンは、蛹形成後24時間以内にシナプスおよび樹状突起を除去する。

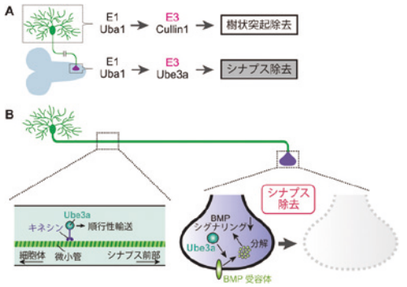


図2：E3ユビキチンリガーゼによる神経コンパートメント選択的除去機構
（A）Ube3aはシナプス除去、Cullin1は樹状突起除去を誘導する。（B）Ube3aはキネシンモータータンパク質依存的にシナプス前部へ輸送され、BMP受容体の分解を介してシナプス刈り込みを誘導する。



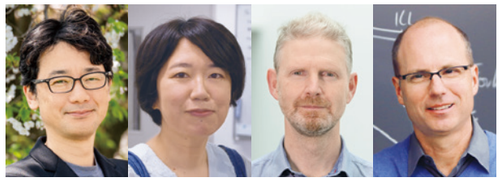
心と個性を生み出す脳神経回路の構築原理と作動原理

東京大学榎本研究室では、①遺伝要因と環境要因の組み合わせにより脳がカスタマイズされる仕組みを知ることにより、ヒトの個性や精神疾患のメカニズムを解明すること、②脳が行動の柔軟性や適応性を生み出す神経メカニズムを明らかにすること、を目指して研究を行っています。

Science 9月22日号
RESEARCH ARTICLE
Y. Lim *et al.*, *SCIENCE* 17 Aug 2023: Vol 381, Issue 6664
DOI: 10.1126/science.adi3448
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.adi3448

in silicoでのタンパク質相互作用スクリーニングによりDONSONの複製開始における役割が明らかに

In silico protein interaction screening uncovers DONSON's role in replication initiation



左から鐘巻 将人、坂本(村松) 佐知子、Andrew Jackson、Johannes Walter

鐘巻 将人 Masato T. Kanemaki
国立遺伝学研究所 分子細胞工学研究室 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

坂本(村松)佐知子 Sachiko Muramatsu
国立遺伝学研究所 分子細胞工学研究室 技術職員

Andrew P. Jackson
Professor, MRC Human Genetics Unit, Institute of Genetics and Cancer, University of Edinburgh

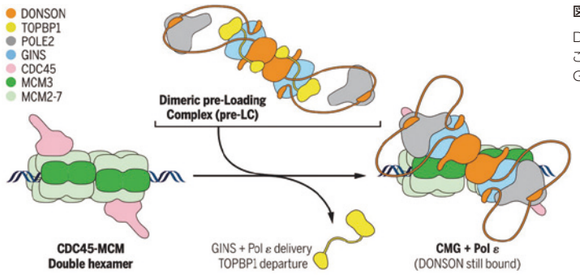
Johannes C. Walter
Professor, Department of Biological Chemistry and Molecular Pharmacology, Harvard Medical School, Blavatnik Institute
Howard Hughes Medical Institute

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact 鐘巻 将人 E-mail：mkanemak@nig.ac.jp
所在地：411-8540 静岡県三島市谷田1111
ＵＲＬ：http://kanemaki-lab.sakura.ne.jp/jpn/index.html

脊椎動物細胞のDNA複製開始機構において欠けている部分がついに明らかに

分子生物学の黎明期から、DNA複製は細胞機能の根源に関わる重要なテーマである。これまで真核細胞モデルとして出芽酵母を材料に、DNA複製開始に必要なタンパク質の同定と機能解析が行われてきた。一連の研究から、DNA複製開始の鍵は、DNA結合した一対のMCM2–7六量体が、CDC45とGINSを含むCMG(CDC45–MCM–GINS)ヘリカーゼに変換されて、DNAを巻き戻すことにあることがわかっている。CMGヘリカーゼ形成は、出芽酵母から脊椎動物細胞まで類似反応を経由して形成されると考えられるが、後者においてどのようにGINSがCDC45–MCMに呼び込まれるのかはわかっていなかった。本研究では、マイヤー・ゴーリン症候群原因遺伝子がコードするDONSONがGINSに結合し、CMGヘリカーゼ形成に機能していることを明らかにした。カエル卵抽出液を用いた試験管内DNA複製系、AlphaFold2 multimerによるタンパク質結合予測、改良オーキシンデグロン(AID2)法を用いたヒト細胞におけるDONSON分解除去、マイヤー・ゴーリン症候群患者にみられる変異をDONSON遺伝子に導入したモデルマウスの結果から結論を導いた。本研究により、CMGヘリカーゼ形成に必要な複製開始因子は、大部分が同定されたと予想され、将来の試験管内再構成DNA複製系の確立に大きく前進した。



図：DONSONの複製開始における機能

DONSONは二量体を形成しており、GINSおよびTOPBP1と結合する。この複合体は、DNAに結合したMCM2–7六量体と相互作用することで、GINSを呼び込み、CMGヘリカーゼ形成を促進する役割を担っている。



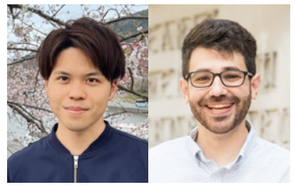
独自の遺伝学技術を駆使してヒト細胞DNA複製の謎に迫る

DNA複製は古くから分子生物学の花形テーマなので、多くの方々は、良く理解の進んだ研究分野という印象を持っているかもしれません。しかし、真核細胞のDNA複製研究は出芽酵母を中心に進展したため、実はヒト細胞では、どこから複製が始まり、どのような因子が関与するかなど、多くの基本的事項がいまだに明らかになっていません。この原因は、出芽酵母が縮小進化により多少異なった複製様式を獲得したこと、ならびにヒト細胞を解析するには技術的制約が大きかったためと考えられます。そこで私たちは、迅速に標的タンパク質を分解して機能解析を可能にするオーキシンデグロン法およびその改良法AID2など、独自の遺伝学技術を開発し、改変細胞とゲノミクス的手法とを組み合わせて、ヒト細胞DNA複製の謎を追っています。本研究成果は、2022年夏にコールドスプリングハーバーで行われたシンポジウムでの出会いがきっかけとなり、共同研究へと発展しました。

Science 9月29日号
RESEARCH ARTICLE
T. J. Pearson *et al.*, *SCIENCE* 28 Sep 2023: Vol 381, Issue 6665 pp. 1474-1479
DOI: 10.1126/science.adj5331
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.adj5331

ナイトレンのイプソ位選択的窒素原子挿入反応によるベンゼンからピリジンへの変換反応

Aromatic nitrogen scanning by *ipso*-selective nitrene internalization



左から 島住 竜馬、Mark D. Levin

島住 竜馬 Ryoma Shimazumi
Visiting Student, Department of Chemistry, University of Chicago
(現 大阪大学大学院 工学研究科 応用化学専攻 博士課程)

Mark D. Levin
Associate Professor, Department of Chemistry, University of Chicago

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact 島住 竜馬 E-mail：r_shimazumi@chem.eng.osaka-u.ac.jp 所在地：565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1
ＵＲＬ：https://www-chem.eng.osaka-u.ac.jp/~tobisu-lab/

ベンゼン環の狙った炭素を選択的に窒素へ直接変換する手法を開発

有機化合物内のある1つの原子を別の原子で置き換えることは、医薬品開発において非常に有用な変換反応である。たとえば、ベンゼン環の炭素原子を窒素原子で置換し、ピリジン誘導体へ直接変換することができれば、様々な新規医薬品候補の合成が可能となる。特に、この窒素原子の最適な導入位置を見出すことは、医薬品開発において「nitrogen scan」と呼ばれ、重要視されている。しかし、このような変換手法は、理論上は単純であっても、合成化学的には非常に困難である。

そのような状況のもと、われわれは芳香族化合物に含まれる炭素原子を、位置選択的に直接窒素原子へ変換する反応の開発に成功した。まず芳香族アジド(図1A)と2-アミノアルコール(図1B)を青色LED照射下で反応させ、2-アミノアゼピン(図1C)に変換した。次に、アゼピン誘導体はジアザビシクロウンデセン(DBU)を塩基とし、*N*-ブロモカプロラクタム(NBC)を酸化剤として、80℃で反応させることで、炭素原子がカルベン(図1D)として脱離し、ピリジン誘導体(図1E)が得られた。今回開発した反応は、様々な官能基を持つベンゼンから容易に調整可能である芳香族アジドを原料として用い、かつ位置選択的な炭素原子の置換が可能なため、創薬分野における「nitrogen scan」への利用が期待できる。

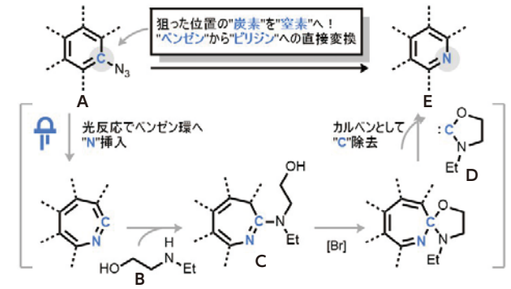


図1：芳香族アジドのイプソ位の炭素原子を選択的に窒素原子へ：ベンゼンをピリジンへ直接変換!

芳香族アジドの光反応で、窒素原子を含む7員環化合物(アゼピン)が生成する。ここにアミノエタノールを添加して酸化剤と反応させることで、炭素原子がカルベンとして脱離してピリジン環が得られる。

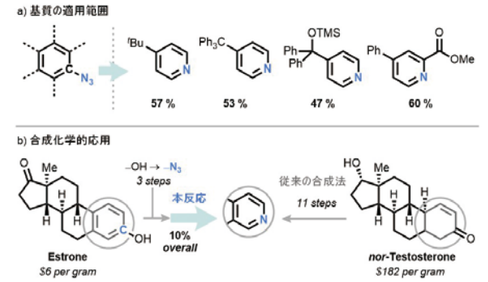


図2：基質の適用範囲と合成化学的応用への展開

a：様々な官能基を持つベンゼン環の狙った位置に窒素を導入できる。
b：本手法により、従来法より安価な原料を用いて収率よくピリジン環を導入できる。



「骨格編集反応」に魅せられて、シカゴ大学・Levin groupへ留学

修士課程1年の時、「骨格編集反応」と名付けられた第二級アミンから窒素原子を消去する反応の論文を読んだことがLevin教授との出会いでした。当時所属研究室(阪大院工、鳶巣研究室)で同形式の反応開発を行っていた筆者は大きな衝撃を受けたことを覚えています。この出会いをきっかけに、Levin教授のもとで「骨格編集反応」の開発に携わりたいと考え、博士課程2年時に留学しました。

シカゴでの生活は刺激的な毎日であり、創造性あふれるLevin groupのメンバーとの研究活動は今後の筆者の研究生活に大きく影響を与える日々でした。特に、今回Scienceに発表した変換反応は、実験ノートにその化学反応式を書くたびにワクワクする、非常に魅力的な研究でした。収率がなかなか上がらず苦労した時期もありましたが、適した酸化剤を見出した時に大幅に収率が向上した喜びは忘れられません。

Levin教授のもとでの研究に興味のある方は、その橋渡し役になれればと思いますのでぜひご連絡ください。

Science 10月6日号
RESEARCH ARTICLE
K. Katagiri *et al.*, *SCIENCE* 5 Oct 2023: Vol 382, Issue 6666 pp. 69-72
DOI: 10.1126/science.adh5563
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.adh5563

ダイヤモンドにおける転位の遷音速伝播

Transonic dislocation propagation in diamond



左から片桐 健登、尾崎 典雅、兒玉 了祐

片桐 健登 Kento Katagiri
大阪大学大学院 工学研究科 電気電子情報工学専攻 先進電磁エネルギー工学講座 博士課程
(現 Physical Science Research Scientist, Department of Materials Science & Engineering, Stanford University)

尾崎 典雅 Norimasa Ozaki
大阪大学大学院 工学研究科 電気電子情報工学専攻 先進電磁エネルギー工学講座 准教授

兒玉 了祐 Ryosuke Kodama
大阪大学レーザー科学研究所 所長
大阪大学大学院 工学研究科 電気電子情報工学専攻 先進電磁エネルギー工学講座 教授

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact
片桐 健登 E-mail：kentok@stanford.edu
所在地：476 Lomita Mall, Stanford, CA 94305, USA
尾崎 典雅 E-mail：norimasa.ozaki@eie.eng.osaka-u.ac.jp
所在地：565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1
兒玉 了祐 E-mail：kodama@eei.eng.osaka-u.ac.jp
所在地：565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1
U R L：http://www.eie.eng.osaka-u.ac.jp/ef/index.html

結晶中の欠陥が音速の壁を越えて伝播

結晶格子内で規則正しく並んでいる原子の配置の不連続性やずれを欠陥と呼ぶ。その中でも線状の欠陥は転位と呼ばれ、転位の伝播は結晶が応力下で塑性変形する際に重要な役割を果たす。そのため、極端に高速な変形を受けた結晶中に生じる高速な転位伝播を考える際に、その最高速度が何に制限されるかを理解することは、高精度な変形と破壊の予測を行ううえで欠かせない。理化学研究所SACLAにおいて行われた本研究では、高エネルギーレーザーをダイヤモンド試料に照射することでナノ(10^{-9})秒スケールの高速な変形を誘起し、そのダイナミクスをフェムト(10^{-15})秒パルスのX線自由電子レーザーを用いたX線ラジオグラフィにより可視化した。この高速X線イメージングは、高エネルギーレーザー照射によりダイヤモンド結晶中に発生した積層欠陥の高速な伸展を捉えた。ここで、積層欠陥の端は部分転位であることから、積層欠陥が伸展する速度は部分転位が伝播する速度に等しい。計測された部分転位の伝播速度が、ダイヤモンドの横波の音速を超えて遷音速の領域に到達していることが明らかになった。この結果は、横波の音速が転位伝播の最高速度を限定しないことを実験的に示した初めての成果である。

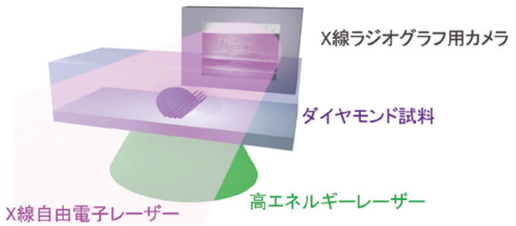


図1：X線自由電子レーザーによるフェムト秒X線ラジオグラフィ
高エネルギーレーザーとX線自由電子レーザーを同期させることで実現した、超高速変形ダイナミクスの時間分解計測システム。

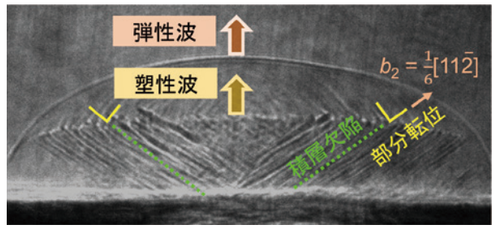


図2：高エネルギーレーザーにより誘起された積層欠陥の可視化
高速X線ラジオグラフィにより可視化された衝撃変形ダイナミクス。レーザー誘起の2つの衝撃波、および高速な積層欠陥の発生と伸展が可視化された。



写真：大阪大学レーザー科学研究所

巨大レーザーで切り拓く極限の世界

レーザーといえば、レーザーポインターから金属3Dプリンター、車のセンシングまで幅広く利用されており、すでに私たちの生活に欠かせない存在になりました。これら産業利用されるレーザーの著しい小型化が進む一方で、最も大きくて高出力のレーザーを用いることでしかできない研究があります。
国内の高出力レーザーには、国内最大エネルギーのガラスレーザーである激光XII号(写真)および世界最大エネルギーのペタワットレーザーであるLFEX(いずれも大阪大学レーザー科学研究所)、そして本研究を行った理化学研究所SACLAに展開された動的超高圧力研究プラットフォームなどがあげられます。私たちのグループでは、これらの高出力レーザーを用いることでのみ到達可能な、超高温かつ超高圧の極限環境における物性を調べることで、材料科学や宇宙物理学、レーザー核融合などに関する研究を進めています。

Science 10月20日号
RESEARCH ARTICLE
D. S. Modha *et al.*, *SCIENCE* 19 Oct 2023: Vol 382, Issue 6668 pp. 329-335
DOI: 10.1126/science.adh1174
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.adh1174

ニューラル推論における エネルギー、空間、時間の最前線

Neural inference at the frontier of energy, space, and time



左から上田 高徳、伊藤 愛、中村 裕、澤田 潤

上田 高徳 Takanori Ueda
Staff Research Scientist, IBM Research

伊藤 愛 Megumi Ito
Staff Research Scientist, IBM Research

中村 裕 Yutaka Nakamura
Staff Research Scientist, IBM Research

澤田 潤 Jun Sawada
Senior Research Scientist, IBM Research

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact
上田 高徳 E-mail：tkueda@jp.ibm.com
所在地：103-8510 東京都中央区日本橋箱崎町19-21
U R L：https://www.ueda.info/
中村 裕 E-mail：Yutaka.Nakamura@ibm.com
所在地：257 Fuller Road, Albany, NY 12203-3654, USA
伊藤 愛 E-mail：megumii@jp.ibm.com
所在地：103-8510 東京都中央区日本橋箱崎町19-21
U R L：https://research.ibm.com/people/megumi-ito
澤田 潤 E-mail：sawada@us.ibm.com
所在地：11501 Burnet Rd, Austin, TX 78758-3400, USA

NorthPole：GPUよりも25倍電力効率が良いAI推論用チップ

NorthPoleは脳の構造にヒントを得て開発されたAI推論用デジタルチップであり、同じ12nm半導体プロセスで製造されたGPUに対して25倍の電力効率を達成した。現在の電子計算機はノイマン型と呼ばれ、演算を行うCPUとデータを保持するメモリが別々の電子部品になっている。一方で、動物の脳はシナプスの接続、つまりニューラルネットワークそのものが記憶素子であり演算器である。NorthPoleは、チップ内のメモリとNoC(Network on Chip)を用い、あたかも脳のようにニューラルネットワークをチップ内で自己完結的に計算し、入力される推論対象データをチップ単独で処理する。チップ外にメモリを持たないことで、メモリアクセスに伴う性能・電力ボトルネック、いわゆるフォン・ノイマン・ボトルネックを解消し、非常に高い電力効率を実現した。
また、ハードウェアとソフトウェアを協調してデザインしたことも成果につながった。同時開発したソフトウェア開発環境では、NorthPoleアーキテクチャに合わせたネットワーク量子化と事前スケジューリングを行って実行バイナリを生成できる。これにより、推論精度を担保しながら演算器の使用率を向上させることができ、高い電力効率を実現できた。AI時代における計算機のあり方に、ハードウェアとソフトウェアの両面から一石を投じた研究であり、さらなる展開を目指している。

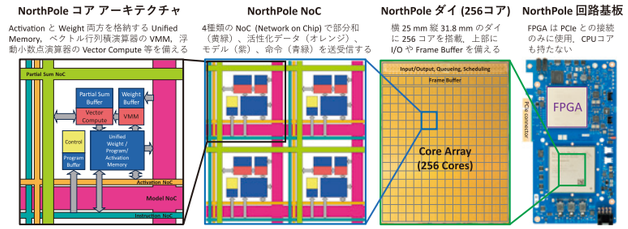


図1：NorthPoleアーキテクチャ
各コアは2、4、8bitでの 演算を 行うベクトル 行列積演算器や 浮動小数点演算器を 備える。4種類のNoCを備え、チップには16×16の計256コアが実装されている。NorthPoleはノイマン型計算機のような階層型メモリシステムを持たず、回路基板上にチップ外メモリがない。

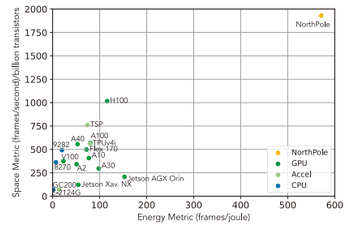


図2：既存CPU/GPU/Acceleratorとの性能比較(ResNet50)
横軸は1ジュールで何枚の画像を処理できるかを表し、値が大きいほど電力効率が高い。縦軸は10億トランジスタあたりの処理スループットを表し、値が大きいほど空間効率が良い。NorthPoleは双方の指標で既存のCPU/GPU/Acceleratorを圧倒する効率を実現した。

IBM Researchならではの フルスタック開発と人材の多様性



こちらはNorthPoleチームでの記念写真です。写真に写っていない方も含めると、合計で100人近くのメンバーがNorthPoleの開発に携わりました。ハードウェアとソフトウェアのフルスタック開発は、大人数が必要になるチャレンジングな仕事であり、本論文はチーム一丸となって5年以上にわたり取り組んだ成果です。
日本人4名のうち、伊藤および本原稿を主に担当している上田は、初めて半導体チップデザインに取り組みました。チップデザインのベテランである澤田と中村から多くの知識を学び、自分たちでコーディングや物理設計をし、デザインしたチップが製造され、動作に成功するというかけがえのない経験をすることができました。新たに獲得した半導体分野のスキルとともに、二人はまた新たなチャレンジを始めています。IBM Researchには幅広い人材がそろっており、新しい分野にチャレンジする際にも強力なサポートを得られます。日米どちらにお住まいでも、一緒に研究されたい方はぜひご連絡ください。

Science 10月27日号
RESEARCH ARTICLE
S. Sunami *et al.*, *SCIENCE* 26 Oct 2023: Vol 382, Issue 6669 pp. 443-447
DOI: 10.1126/science.abq6753
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.abq6753

クエンチした2次元ボーズ気体における動的BKT転移の普遍スケーリング

Universal scaling of the dynamic BKT transition in quenched 2D Bose gases



角南 槙一 Shinichi Sunami
Junior Research Fellow, Clarendon Laboratory, University of Oxford

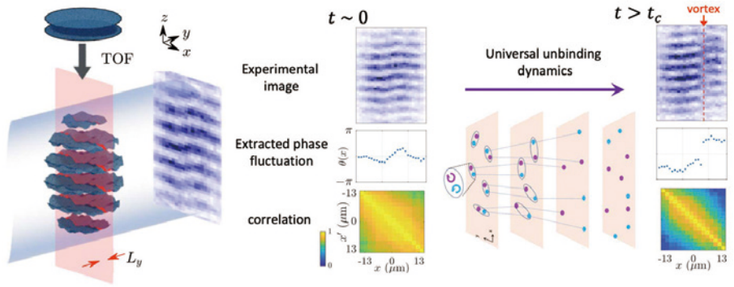
すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact
E-mail：shinichi.sunami@physics.ox.ac.uk
所在地：Clarendon Laboratory, Parks Road, Oxford, OX1 3PU, UK
U R L：https://www.physics.ox.ac.uk/our-people/sunami

スケーリングによって動的なBKT転移を理解する

真空中でレーザー冷却等を用いて中性原子を10～100nK(nano Kelvin)オーダーの低温まで冷やすことで、原子集団が単一の超流動体として振る舞うことが知られている(ボーズ・アインシュタイン凝縮)。このような「量子気体」系においては、光や磁場による原子のトラップを変化させることで系の次元性も変えることができ、量子的・熱的な揺らぎに支配された複雑な低次元系のダイナミクスが盛んに調べられている。さらに、極低温における原子集団の波としての性質を用いて物質波干渉系を構成することにより、複数の部分系の間の相関やエンタングルメントを干渉系により精密にアクセスするなど、他の実験手法では観測が難しいような特性を調べることができる。

本研究では、2次元系におけるBerezinskii-Kosterlitz-Thouless(BKT)転移点近傍における超流動相から非超流動相への精密なクエンチ(システムの時間スケールより速いパラメータの変化)を実現し、非平衡ダイナミクスを量子気体による物質波干渉手法を用いて調べた。特に、干渉によって得られた位相相関関数とvortex-antivortex unbindingの観測を通じて時空間におけるスケール不変性を初めて確認し、観測されたスケーリングを時間依存繰り込み群の手法を用いて理解することができた。多体系ダイナミクスのスケーリングによる理解は、初期宇宙や乱流など多様な物理を理解する礎となりうるものである。



図：物質波干渉による多体系ダイナミクスの解明
(左)物質波干渉による揺らぎの観測。Time-of-Flight(TOF)により2つの2次元冷却原子を干渉させ、位相揺らぎを干渉縞の揺らぎとして観測する。(右)同じ条件におけるランダムな位相揺らぎを多数観測し統計処理をすることで、相関関数を得ることができる。これらを異なる時間・初期状態で比べることで、スケール不変ダイナミクスを確認した。



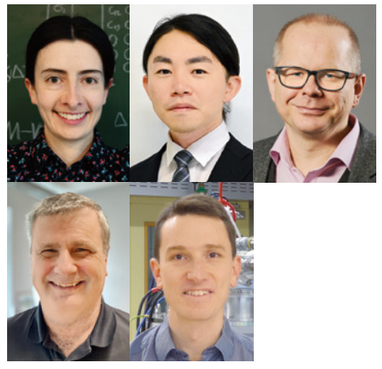
冷却原子実験で量子多体系におけるemergentな現象を発見・理解する

オックスフォード大学のUltracold Quantum Matter研究室(PI：Prof. Chris Foot)では、世界で唯一のMultiple-RF dressingという手法を用いて、2次元量子系の非平衡ダイナミクスを研究しています。同じ実験装置を使いながらも、BKT転移のみでなく局在系、乱流、量子場の理論関連のトピックもテーマとしており、幅広い物理現象を研究することができます。RF-dressingの技術自体にも応用の幅が広く、他の大学で“atom chip”というチップ型の小型原子干渉計としての研究が進められ、NASAにおいて宇宙ステーションでの冷却原子実験に使われるなど、量子センシング技術としての側面も追求することができます。
研究室では他にも、英国の7大学による物質波干渉を用いた重力波・ダークマター探索プロジェクトにも参画しており、ミクロな世界から宇宙スケールまで多彩な研究を行っています。研究室では、博士課程の学生さんやポスドクを随時募集しています。

Science 10月27日号
RESEARCH ARTICLE
H. M. L. Noad *et al.*, *SCIENCE* 26 Oct 2023: Vol 382, Issue 6669 pp. 447-450
DOI: 10.1126/science.adf3348
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.adf3348

Sr_2RuO_4におけるリフシッツ転移での巨大な格子のソフト化

Giant lattice softening at a Lifshitz transition in Sr_2RuO_4



上段左からHilary M. L. Noad、石田 浩祐、
Jörg Schmalian、
下段左からAndrew P. Mackenzie、Clifford W. Hicks

Hilary M. L. Noad
Post-doctoral research scientist, Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids

石田 浩祐 Kousuke Ishida
Post-doctoral research scientist, Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids
(現 東北大学 金属材料研究所 助教)

Jörg Schmalian
Professor, Institut für Theorie der Kondensierten Materie,
Karlsruher Institut für Technologie
Professor, Institut für QuantenMaterialien und Technologien,
Karlsruher Institut für Technologie

Andrew P. Mackenzie
Director, Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids
Professor, Scottish Universities Physics Alliance, School of Physics and Astronomy,
University of St Andrews

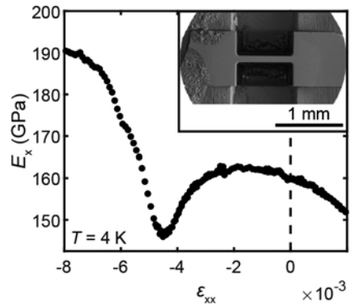
Clifford W. Hicks
Reader, School of Physics and Astronomy, University of Birmingham
Group leader, Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact
石田 浩祐 E-mail：kousuke.ishida.a2@tohoku.ac.jp
所在地：980-8577 宮城県仙台市青葉区片平2-1-1
U R L：https://researchmap.jp/Kousuke-Ishida

固体中の伝導電子がもたらす、巨大な非線形弾性応答

一般的に、物質の硬さは原子間の化学結合の強さによって決まる。ダイヤモンドは非常に硬いことで有名だが、これは炭素原子間に働く強い共有結合に起因している。同様に、昨今盛んに研究されている多くの量子物質においては、原子たちは強く化学結合して「結晶格子」を作り、その中で「伝導電子」と呼ばれる少数の電子集団が動きまわることによって電流が流れる。結晶格子と伝導電子はお互いに影響しあっているが、結晶格子が伝導電子よりも圧倒的に多数を占めるため、支配的であることが多い。そのため、結晶格子に何かしらの変化が生じて伝導電子の動き方、すなわち電流の流れ方が大きく変わることは多いが、電流の流れ方が変わった結果生じる結晶格子の変化は多くの場合微小である。本研究では、ルテニウム酸化物Sr_2RuO_4において、リフシッツ転移という現象により伝導電子の状態が変化すると、結晶が非常に柔らかくなることが明らかとなった。これは少数の伝導電子が主役となって結晶格子に影響を及ぼし、固体全体の物性を大きく変化させるという、従来の直観的な考えとは異なる驚くべき物理現象であると言える。



図：ルテニウム酸化物Sr_2RuO_4におけるヤング率の歪み依存性
歪みεが−0.0045付近では試料の硬さの指標であるヤング率が非常に小さくなっている。ちょうどこの歪みが加わると、リフシッツ転移という現象により伝導電子の状態が変化する。挿入図は、測定のためにくびれ状に加工されたSr_2RuO_4の単結晶写真。



固体中の電子集団が引き起こす、非自明な物理現象を解き明かす

本研究は、筆者(石田)がドイツ・Max Planck固体化学物理学研究所のPhysics of Quantum Materials departmentに在籍中に行われたものです。ここでは、固体中の強く相関した電子たちがもたらす未知の物理現象の発見、およびその解明に向けて、様々な実験技術をもった化学・物理学のスペシャリストが研究に取り組んでいます。グループには優秀な研究者が世界中から集まっており、非常に国際色豊かな雰囲気です。固体中の無数の電子たちが引き起こす物理現象は、高温超伝導に代表されるように難しい問題が多く、皆が納得するような画期的な成果を上げるのはそう簡単ではありません。このような分野を牽引するような研究を行うには、様々なバックグラウンドを持った研究者が集まった、開かれた研究環境が大事なのかもしれないと思いました。

Science 11月3日号
RESEARCH ARTICLE

T. Izumi *et al.*, *SCIENCE* 2 Nov 2023: Vol 382, Issue 6670 pp. 554-559
DOI: 10.1126/science.adf0569

オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.adf0569

1パーセク以下の構造で観察された超大質量ブラックホールの質量供給およびフィードバック

Supermassive black hole feeding and feedback observed on subparsec scales



泉 拓磨 Takuma Izumi
国立天文台 アルマプロジェクト 准教授

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact
E-mail：takuma.izumi@nao.ac.jp　所在地：181-0015 東京都三鷹市大沢2-21-1
ＵＲＬ：https://www.nao.ac.jp/about-naoj/（国立天文台）
https://www.nao.ac.jp/research/project/alma.html（アルマプロジェクト）

電波の影絵で捉えたブラックホール降着流

多くの大質量銀河の中心には太陽の百万倍以上もの質量を持つ超巨大ブラックホールが存在するが、その成長機構は、銀河中心百光年以内では空間スケールが小さく観測困難なため未解明であった。本研究では、世界最高性能の電波干渉計・ALMA望遠鏡を用いて、分子・原子・プラズマの多相星間物質が出す電波放射を、活動銀河核（質量降着を伴うブラックホール）の周囲数光年という非常に小さいスケールで描き出すことに初めて成功した。その結果、高密度分子が銀河中心十光年以内で円盤を形成し（図1）、活動銀河核の放射を覆い隠すことで吸収スペクトルを作っていることがわかった（図2）。この吸収スペクトルは、銀河の後退速度より赤方偏移した高速度側に伸びている。これは、ブラックホールめがけて運動する降着流を捉えたことに相当する。また、詳しい力学解析から、この高密度分子円盤はガス圧で自重を支えられずに分裂・崩壊する重力不安定状態にあることもわかった。この不安定性で生じたガス雲は、互いに衝突して角運動量を失いつつ中心ブラックホールへ落ちていく。こうして、本研究ではブラックホールへの質量降着機構（成長機構）を解明することにも成功した。



図1：活動銀河核周辺の多相星間物質の分布
観測対象であるコンパス座銀河に対するALMA望遠鏡の 高解像度観測画像。高密度分子は 銀河中心十光年以内に集中。中心部は、背景光源である活動銀河核の光を吸収して影絵のようである。
1 pc（パーセク）は約3光年に相当。

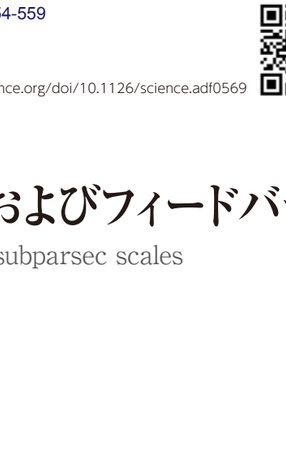


図2：ブラックホール降着流の直接検出
高密度分子ガストレーサー（シアン化水素HCN J=3→2）のスペクトル。背景光源に対する吸収が、図中縦線（銀河の後退速度）より高速度側に偏っている。吸収体は必ずブラックホールとわれわれの間に位置するため、これは、この吸収体がブラックホールへ落下していることを意味する。



誰も見たことのないブラックホールの世界を!

私たちの研究グループでは、ALMA望遠鏡をはじめとする最新の大型天文観測装置を駆使して、宇宙の古今（遠く・近く）に存在する超巨大ブラックホールの観測的研究を推進しています。高解像度でブラックホール周辺物質を描き出す研究はまだまだ始まったばかりのフロンティアで、観測結果を見る度に新たな発見に遭遇して好奇心が刺激されます。十分な議論を重ねて予測していた現象を観測的に実証するのも楽しいですし、まったく予想していなかった現象を新発見するのも天文学の醍醐味です。常にうまく事が運ぶとは限らないので（むしろ大体はうまくいかない）、研究は非常に忍耐の必要な道ですが、それでもやっぱり面白い。世界の様々な不思議に興味を持って、驚きと喜びにあふれる研究の世界に挑戦する若者が増えることを期待しています!

目指せ、超巨大ブラックホール成長の完全解明!

国立天文台 アルマプロジェクト 准教授　**泉 拓磨**

成長するブラックホール?

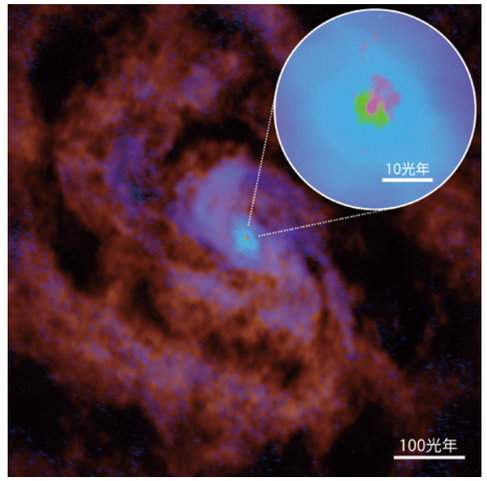
これまでの観測から、多くの大質量銀河の中心には、質量が太陽の100万倍以上に達する超巨大ブラックホールが存在することがわかっています。ところで、ブラックホールは、元々は大質量星が超新星爆発した後にできる天体なので、その質量はせいぜい恒星程度であり、太陽の100万倍や1億倍にはならないはずです。したがって、恒星質量ブラックホールを超巨大ブラックホールにまで太らせるメカニズムが必要です。さらに近年は、超巨大ブラックホールの質量とそれを宿す銀河の質量がよく相関することもわかっています。ブラックホールの成長と銀河の成長がリンクしている可能性もあり、銀河進化の理解のためにも、ブラックホールの成長メカニズムの解明が重要視されているのです。そうしたメカニズムの筆頭候補が、銀河内のガスがブラックホールに吸い込まれる「ガス降着」です。

ガスを降着させるとは?

超巨大ブラックホールは銀河中心、つまり銀河の重力の一番強い場所にあるため、放っておいてもガスが勝手にブラックホールに吸い込まれ落ちていくと思うかもしれません。しかし、この世界には角運動量という厄介なものがあります。これは回転の勢いを表す量ですが、世の中の物質はみな、多かれ少なかれ角運動量を持って回転しています（たとえば地球は太陽の周りを公転しています）。こうした回転体には遠心力が働くため、超巨大ブラックホールに吸い込まれて落下するガスも、どこかの地点では重力と遠心力が釣り合ってそれ以上は落ちなくなります。したがって、ガスを降着させるとは、いかに角運動量を消し去るか、いかに回転運動を妨げるかという話に等しいと言えます。

ALMA望遠鏡を駆使した最新観測へ

ガス降着のメカニズムとして、巨大で観測しやすい銀河スケールでは様々なものが提案・検証されてきましたが、銀河中心の数十光年以内については領域が小さすぎるため、その詳細は謎に包まれていました。また、超巨大ブラックホール付近のガスは高速で運動しており、激しい摩擦によって数百万度まで高温化します（活動銀河核と呼ばれる天体現象）。銀河内は一般に低温で、特に銀河中心のような高密度領域ではガス質量の大半は分子で占められていますが、活動銀河核があると、その強力なエネルギーによってガスの性質が大きく変わるはずです。したがって、分子だけでなく、原子やプラズマを含めた多相ガスを超高解像度で観測することが、銀河中心部のガス降着や関連するプロセスの理解に必須だと考えて、この5年ほど研究を進めてきました。本誌で紹介しているScience論文はその集大成で、「超高解像度多相ガス観測」の世界初の成功例です。銀河中心の十光年以内という極小領域で、高密度分子ガス円盤中でのガス降着、分子の一部が破壊されてできた原子ガス、吹き飛ばされるプラズマガス、といったダイナミックな現象を数多く観測し描き出すことで、降着メカニズムの解明にも至りました。これらの結果は、超巨大ブラックホール研究における大きな一歩だと自負しています。今後は、ALMA望遠鏡や次世代の電波干渉計を駆使して、宇宙史におけるブラックホール成長について徹底的に解明したいと考えています。



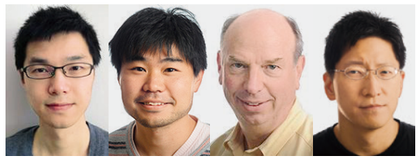
ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), T. Izumi et al.

図：ALMA望遠鏡で観測したCircinus銀河（中心に超巨大ブラックホール）
多相ガス、すなわちCO分子（中密度分子）、C原子（低密度原子）、HCN分子（高密度分子）、水素プラズマを、それぞれ赤色、青色、緑色、ピンク色で表示しています。異なる種類のガスが異なる分布・運動をすることで、ブラックホールの成長に寄与しているのです。

Science 11月3日号
RESEARCH ARTICLE
C. Lai *et al.*, *SCIENCE* 2 Nov 2023: Vol 382, Issue 6670 pp. 566-573
DOI: 10.1126/science.adh5206
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.adh5206

ブレイン・マシン・インターフェース技術を用いてマウスの脳の海馬において遠隔地にある事物の記憶表象を自在に活性化することができる

Volitional activation of remote place representations with a hippocampal brain–machine interface



左からChongxi Lai、田中 進介、Timothy D. Harris、Albert K. Lee

Chongxi Lai
Postdoc (Research Specialist II), Janelia Research Campus, Howard Hughes Medical Institute (現 Postdoc (Research Specialist II), Howard Hughes Medical Institute and Department of Neurology, Beth Israel Deaconess Medical Center)

田中 進介 Shinsuke Tanaka
Postdoc (Research Specialist II), Janelia Research Campus, Howard Hughes Medical Institute (現 Postdoc (Research Specialist II), Howard Hughes Medical Institute and Department of Neurology, Beth Israel Deaconess Medical Center)

Timothy D. Harris
Senior Fellow, Janelia Research Campus, Howard Hughes Medical Institute

Albert K. Lee
Group leader, Janelia Research Campus, Howard Hughes Medical Institute (現 Principal Investigator, Howard Hughes Medical Institute and Department of Neurology, Beth Israel Deaconess Medical Center)

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact
田中 進介
E-mail：tanakas@janelia.hhmi.org
所在地：330 Brookline Avenue, Boston, MA 02215, USA
ＵＲＬ：https://www.albertleeneuro.org/

脳は海馬の認知地図に随意的にアクセスすることができる

脳領域の一つである海馬は体験の想起・想像に重要であることが知られており、このことは、対象となる人、事柄、場所といった、海馬に表現された記憶を意識的に呼び起こすことに起因していると考えられている。特に、海馬は既知の環境を地図状に表現しており、脳活動から環境上の地点を解読する手法が開発されている。しかし、脳機能がこの海馬の「認知地図表現」に意識的にアクセスできるかは不明であった。そこで、海馬の活動を柔軟、目標指向的かつモデルベースで制御できるかをテストするため、ブレイン・マシン・インターフェースを開発した。これにより、ラットが海馬で適切な位置の活動表現を活性化・維持することで、仮想現実内を自らもしくは対象物を効率的に標的位置へ移動させられることを示した。また、ラットはこの課題を行うために、新しい課題をさせた時の様な強度な訓練は必要としなかった。このことは、エピソード記憶の喚起、思考実験や計画もしくは想像活動の機構についての洞察を与え、海馬の活動を用いた高レベルのブレイン・マシン・インターフェース技術の可能性を開くものである。

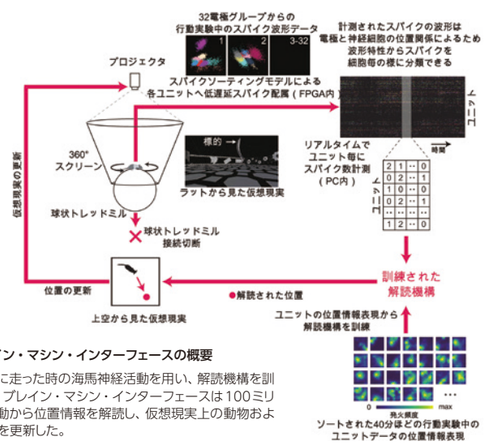


図1：海馬ブレイン・マシン・インターフェースの概要
仮想現実を実際に走った時の海馬神経活動を用い、解読機構を訓練した。その後、ブレイン・マシン・インターフェースは100ミリ秒ごとの神経活動から位置情報を解読し、仮想現実上の動物および制御物の位置を更新した。

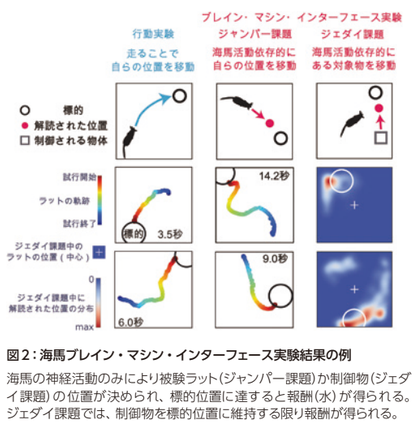
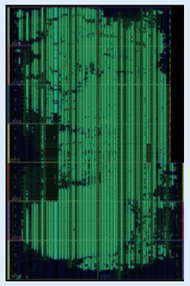


図2：海馬ブレイン・マシン・インターフェース実験結果の例
海馬の神経活動のみにより被験ラット（ジャンパー課題）か制御物（ジェダイ課題）の位置が決められ、標的位置に達すると報酬（水）が得られる。ジェダイ課題では、制御物を標的位置に維持する限り報酬が得られる。



如何に想像するのか

想像する、意識するということは、直感することはできますが、直接行動に現れるわけではないので、言語で意思疎通の図れるヒトをモデルとした研究が主流でした。しかし、倫理的・物理的にヒトの脳に適応できる測定操作方法は限られています。本研究のようにブレイン・マシン・インターフェースを用いて、言語および運動行動を介さず脳活動を表現させることは、より多様なモデル生物において精神的活動の詳細な測定と操作の可能性を開きました。この実験系を用いて、私たちの脳が「どのように想像するのか」を明らかにできたらと思います。図は、本研究のブレイン・マシン・インターフェースを可能としたFPGAの回路図です。緑の点は使用されている論理ブロックで、電線（図緑線）で物理的に接続されています。

Science 11月24日号
RESEARCH ARTICLE
Telescope Array Collaboration, *SCIENCE* 23 Nov 2023: Vol 382, Issue 6673 pp. 903–907
DOI: 10.1126/science.abo5095
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.abo5095

地表検出器アレイで検出した極めて高いエネルギーの宇宙線

An extremely energetic cosmic ray observed by a surface detector array



藤井 俊博 Toshihiro Fujii
大阪公立大学大学院 理学研究科 物理学専攻 准教授
大阪公立大学 南部陽一郎物理学研究所 兼任研究員

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact
E-mail：toshi@omu.ac.jp
所在地：558-8585 大阪府大阪市住吉区杉本3-3-138
ＵＲＬ：https://www.omu.ac.jp/sci/uhelab/

史上最強級のエネルギーをもった宇宙線「アマテラス粒子」を検出

宇宙から降り注ぐ高エネルギーの粒子「宇宙線」の中には、非常に高いエネルギーの宇宙線がごくまれに存在しており、宇宙におけるもっとも激烈な物理現象や、標準理論を超えた新物理を起源に持つと考えられている。宇宙線は荷電粒子であるため宇宙磁場で曲げられるが、極めて高いエネルギーの宇宙線は宇宙磁場で曲げられにくく、到来方向が発生源を指し示す「次世代の天文学」となることが期待されている。世界8ヵ国、140名からなる最高エネルギー宇宙線の国際共同観測実験「テレスコープアレイ実験」は、2021年5月27日に極めて高いエネルギー（2.44×10^{20}電子ボルト＝244エクサ電子ボルト）の宇宙線の検出に成功した。今回検出された宇宙線は史上最強級のエネルギーを持ち、現地時間の明け方に検出されたこと、また今後の宇宙線起源解明の道標となることを期待して「アマテラス粒子」と命名された。さらに興味深いことに、アマテラス粒子が到来した方向には候補となる有力な天体が見つからず、未知の天体現象や、標準理論を超えた新物理起源の可能性も示唆されており、今後の研究が注目されている。

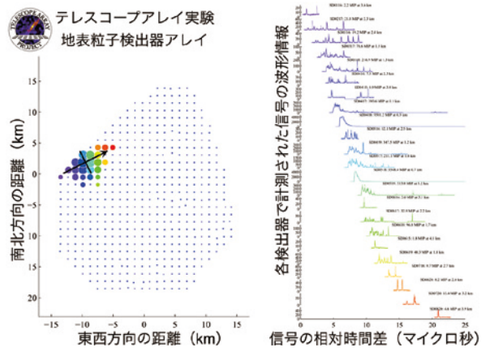


図1：テレスコープアレイ実験で検出された史上最強級のエネルギーを持った宇宙線「アマテラス粒子」
2021年5月27日現地時間明け方にテレスコープアレイ実験で検出された極めて高いエネルギー宇宙線の信号。1.2キロ間隔で設置された23台の地表粒子検出器が、マイクロ秒の時間差でほぼ同時に連続的に信号を検出している。

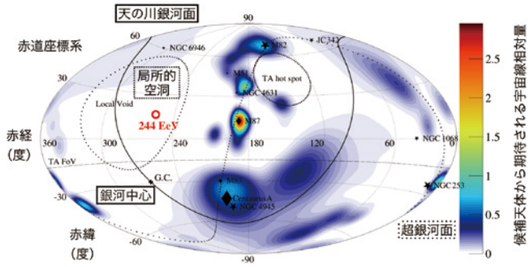


図2：赤道座標で示したアマテラス粒子の到来方向
アマテラス粒子の到来方向と、極めて高いエネルギーの宇宙線の起源候補天体となる活動銀河核（◆）や星形成が活発な銀河（★）を示し、宇宙磁場を考慮した候補天体から期待される宇宙線量を示している。アマテラス粒子は、候補天体方向とは異なる局所的空洞の方向から到来している。



「あまてらす まだ観ぬ宇宙の みちしるべ」

大阪公立大学大学院理学研究科の「宇宙線物理学研究室」では、宇宙線の起源・加速機構の解明を目指した観測的研究を進めています。本研究室では大学院生が主戦力となって、現代宇宙物理学の最大の謎の一つである宇宙線の発生源の解明に挑戦しています。標題に掲げた川柳には、明け方に到来したアマテラス粒子が、まだ観測できていない宇宙の未知を知るための「道標（みちしるべ）」となる期待を込めました。宇宙線の研究は人生をかけて挑戦する価値があります。誰も知らない宇宙の謎を一緒に研究しませんか?

写真：大阪公立大学（Osaka Metropolitan University）の略称であるOMUを研究室のメンバーで共創しました。

Science 11月24日号
RESEARCH ARTICLE
J. Kim *et al*., *SCIENCE* 23 Nov 2023: Vol 382, Issue 6673 pp. 915-920
DOI: 10.1126/science.adi3690
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.adi3690

溶解によって常温付近のドロマイト結晶の成長が可能になる

Dissolution enables dolomite crystal growth near ambient conditions



左から木村 勇気、山﨑 智也

木村 勇気 Yuki Kimura
北海道大学 低温科学研究所 教授
山﨑 智也 Tomoya Yamazaki
北海道大学 低温科学研究所 特任助教

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact
木村 勇気 E-mail：ykimura@lowtem.hokudai.ac.jp 所在地：060-0819 北海道札幌市北区北19条西8丁目
U R L：http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/astro/ykimura/index.html
山﨑 智也 E-mail：yamazaki@lowtem.hokudai.ac.jp 所在地：060-0819 北海道札幌市北区北19条西8丁目

パルス電子線による成長条件の周期的な変動で結晶成長を加速

ドロマイト($CaMg(CO_3)_2$)は、天然に豊富に存在している炭酸塩鉱物である。しかし、常温常圧付近で実験的にドロマイトを成長させられず、天然のドロマイトの堆積も理解できていなかった。これは、「ドロマイト問題」として知られる長年の謎であった。

従来の鉱物形成の議論は、一定の成長条件で得られた実験データやシミュレーションをもとに行われてきた。これに対しわれわれは、ドロマイトが溶解と成長を繰り返すように、その成長条件を周期的に変化させた計算機シミュレーションを行った。その結果、成長条件が周期的に変化する環境では、ドロマイトの成長速度は最大7桁促進することが示唆された。これを実験で再現するため、液中透過電子顕微鏡を用いて、電子線のパルス照射で成長条件を周期的に変化させ、ドロマイトの成長をその場観察した。その結果、ドロマイトの成長速度を数桁大きくすることに成功した。このような成長条件の周期的な変化は、降雨と晴天や昼夜の温度差などで自然界では普遍的に起こっているため、他の鉱物の形成メカニズムの議論にも新たな指針を与えると期待される。また、結晶材料の合成において成長条件を周期的に変化させることで、材料合成の迅速化や高効率化に繋がるであろう。

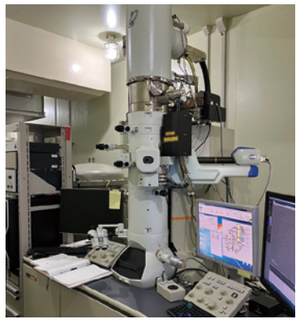


図1：液中観察を主目的として構築してきた透過型電子顕微鏡

中心の円筒状の筒が本体の鏡筒部分。本研究では、この装置に組み込んだ、電子線をパルス化できる電子線照射変調スマートシステムと液体セル試料ホルダーを用いた。本来電子顕微鏡の内部は、鏡筒部分を含め高真空状態に保たれている。そのため、水溶液試料をそのまま観察することはできない。そこで、電子が透過できるほど薄い膜の間に水溶液を挟み込むことで試料を水溶液ごと観察している。

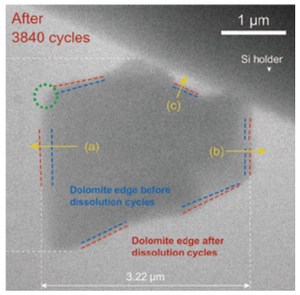
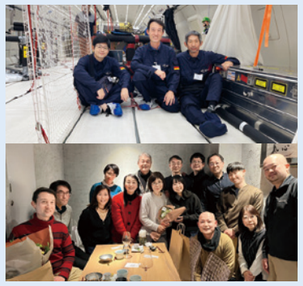


図2：成長後のドロマイト結晶の透過型電子顕微鏡像

パルス電子線照射を利用した周期的な過飽和度変動を3,840回(約2時間)経ることで、ドロマイト結晶は60-170nm成長した。成長前後の結晶をそれぞれ青と赤の破線で示す。電子線を照射しない状態では、ドロマイト結晶は成長も溶解もしなかった。通常の電子線照射ではドロマイト結晶は溶解した。ドロマイト結晶の成長は、パルス電子線照射をしたときにのみ見られた。



世界一楽しい研究をしよう!

原子や分子が集まって結晶になる核生成プロセスや、宇宙に多量に存在するナノ粒子(ダストと呼ばれる)の成因、タンパク質の結晶化過程から、雲核の形成、アイスクリームに至るまで、われわれは、世の中の様々な現象を理解する鍵はナノ領域特有の物性にあると考えています。ナノスケールの現象に迫るために、独自の実験装置群を立ち上げ、最新の電子顕微鏡法を駆使して、時には航空機(写真の1枚は機内の様子)やロケットを使った微小重力実験まで行って、学際的研究を展開しています。皆さんとワクワクする共同研究ができることを楽しみにしています。

Science 12月1日号
RESEARCH ARTICLE
M. Maestre-Reyna *et al*., *SCIENCE* 1 Dec 2023: Vol 382, Issue 6674
DOI: 10.1126/science.add7795
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.add7795

原子分解能で捉えたフォトリアーゼによるDNA修復過程の可視化

Visualizing the DNA repair process by a photolyase at atomic resolution



左から別所 義隆、山元 淳平

別所 義隆 Yoshitaka Bessho
台湾中央研究院 生物化學研究所 客座教授
理化学研究所 SPring-8センター 客員研究員
山元 淳平 Junpei Yamamoto
大阪大学 大学院基礎工学研究科 物質創成専攻 准教授

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact
別所 義隆 E-mail：bessho@spring8.or.jp
所在地：679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1
U R L：http://www.spring8.or.jp
山元 淳平 E-mail：yamamoto.junpei.es@osaka-u.ac.jp
所在地：560-8531 大阪府豊中市待兼山町1-3
U R L：http://www.chem.es.osaka-u.ac.jp

XFEL時分割構造解析法により光回復酵素のDNA修復メカニズムを解明

光回復酵素(フォトリアーゼ)は、紫外線曝露により生じるDNAピリミジン二量体の損傷を修復する酵素である。われわれは、X線自由電子レーザー(XFEL)施設SACLAとSwissFELを用いて、時分割結晶構造解析によりDNA修復の動的構造を解明した。還元状態の光回復酵素と損傷DNAを暗所嫌気下で混ぜて、反応直前の酵素-DNA複合体の結晶を成長させた。この結晶に反応のトリガーとなる青色光を当て、ピコ秒からサブミリ秒の時間差でXFELを照射することで回折光を検出した。回折光から得られる数万のイメージデータから、酵素と修復中DNAの立体構造をスナップショットで決定した。損傷DNAが修復される際の反応中間体構造が時分割で明らかになり、「ピリミジン二量体の共有結合の開裂」や「修復ピリミジン塩基が酵素から離脱しDNA二重らせん構造が回復する様相」など、すべての反応メカニズムが構造ベースで解明された。DNA損傷は、DNA複製や転写の妨げとなり、細胞死や突然変異、がん化など、細胞にさまざまな弊害がもたらされる。本研究により、疾患の原因にもなるDNA損傷の修復過程に関する理解が深まり、立体構造に基づく合理的な人工酵素や薬剤の設計が加速すると期待される。



図1：光回復酵素と損傷DNA複合体の立体構造

光回復酵素はピリミジン二量体を含むDNAに会合することで、DNA二重らせん構造を折り曲げる(キンク)。これにより、二量体の損傷塩基をDNA二重らせんの外側へ反転させ、酵素の活性中心に取り込む。

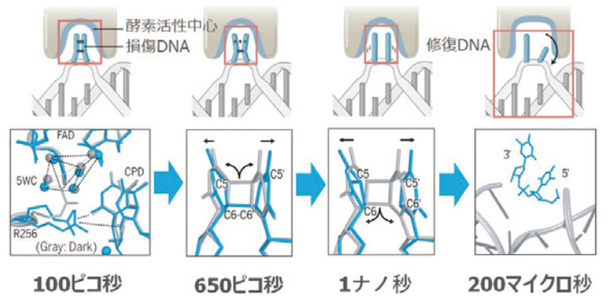


図2：光回復酵素によって損傷DNAが修復される様子

シクロブタン型ピリミジン二量体(CPD)は、塩基のC5およびC6炭素が、隣接する塩基のC5'およびC6'炭素に共有結合している。光回復酵素によるCPD修復は、青色光を照射して100ピコ秒後から観察された。酵素に内包されるフラビン補酵素(FAD)からCPDへ電子が移動し、反応開始650ピコ秒後にC5-C5'結合が開裂、1ナノ秒後にC6-C6'が開裂した。修復された2つのピリミジン塩基が順番に回転して酵素活性中心から離れ、DNAの二重らせん構造が回復した。これには反応開始後200マイクロ秒と比較的長い時間を要し、連続した酵素反応の律速になっていることが見いだされた。



日台独X線自由電子レーザー国際共同研究

この研究は、2013年から始まった台湾と日本の大型放射光施設の国際協力研究を起点としています。2016年にはドイツグループを迎えて本格的に実験が始まりました。日本のX線自由電子レーザーSACLAが研究の中心的な役割を果たし、最終的に台湾、日本、ヨーロッパ、米国の70人近くが力を合わせ成果となりました。XFELを利用した生物研究は、まだ難易度が高く時間もかかりますが、新たなステージを切り拓くべく研究メンバーたちが切磋琢磨しております。

Science 12月8日号
RESEARCH ARTICLE
The CenCO$_2$PIP Consortium, *SCIENCE* 8 Dec 2023: Vol 382, Issue 6675
DOI: 10.1126/science.adi5177
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.adi5177

大気中のCO_2の新生代史に向けて

Toward a Cenozoic history of atmospheric CO_2



関 宰 Osamu Seki
北海道大学 低温科学研究所 水・物質循環部門 准教授

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact
E-mail：seki@lowtem.hokudai.ac.jp
所在地：060-0819 北海道札幌市北区北19条西8丁目
U R L：http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/taikikankyo/seki/new%20homepage/index_JP.html

新生代（過去6,500万年間）の大気中CO_2変動記録を更新

CO_2は温室効果ガスであり、現在進行中の地球温暖化の主因とされている。過去の温暖な時代における大気CO_2濃度と気候の関係を知ることは、将来どの程度温暖化しうるのかを予測するうえで重要な知見を与える。特に新生代は大部分の期間において現在よりも温暖であり、未来の温暖地球の類型とみなすことができる。世界各国の研究者からなる「新生代CO_2プロキシ統合プロジェクト（CenCO_2PIP）」コンソーシアムは、これまでに報告されている新生代（過去6,500万年間）の気候と大気二酸化炭素（CO_2）濃度の復元記録を、最新の知見に基づきあらゆる角度から再検証し、これまでより信頼性の高い気候と大気CO_2濃度の変動史を描き出した。現在の大気CO_2濃度（約420ppm）を過去の時代に照らし合わせた結果、大気CO_2濃度が現在のレベルに達したのは、現在よりも数 ℃以上温暖であったとされる1,400万年前であり、従来の考えよりもはるかに昔の時代であったことが示された。さらに、長期的な気候変動は温室効果ガスに非常に敏感であり、その影響は何千年にもわたって連鎖的に進行する可能性があることが明らかとなった。

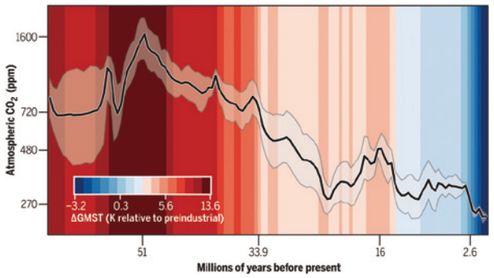


図1：更新された新生代の大気中CO_2濃度の復元記録
過去6,500万年間の長期的なCO_2濃度変動は気候進化と密接に関係しており、地球に氷がほとんど無く、非常に温暖な前期新生代では非常に高かったが、全球的な寒冷化と同調するように徐々に低下していった。

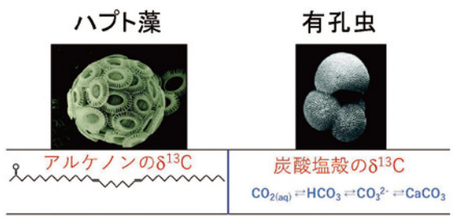
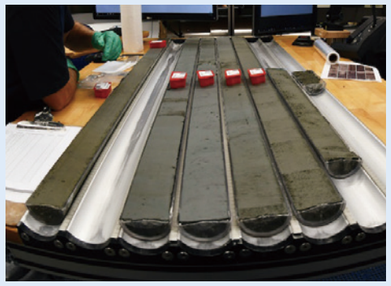


図2：過去の大気中CO_2濃度の復元手法
海底堆積物中に保存されているハプト藻由来の有機化合物アルケノンと有孔虫の炭酸塩殻の安定炭素同位体比を分析することで、過去の大気中CO_2濃度が推定できる。他にも様々な復元手法が提案されている。



将来予測のさらなる高精度化に向けて

今後地球の気温がどの程度変化するのかは、今後の大気CO_2濃度の推移に大きく左右されます。将来の気温の変化を予測するうえで重要なのが、気候感度と呼ばれる指標です。気候感度とは大気CO_2濃度が倍増したときの気温の変化量のことです。最近、気候感度は気候変化に伴い変わりうるものであることがわかってきました。気候感度は気候予測の鍵を握る指標であるため、その値を可能な限り制約することが予測精度の向上において決定的に重要です。気候感度を制約・検証するうえでは、実際に過去に起こった大きな気候変動における大気CO_2濃度の変化量を調べることが有益です。将来、研究がさらに進展することで地質記録の大気CO_2濃度の校正が行われていけば、大気CO_2濃度と気候の関係について、さらに信頼性の高い知見を得ることが期待されます。

写真：深海底から掘削された堆積物コア。大気中CO_2濃度などの過去の環境変動が記録されている。

Science 12月22日号
RESEARCH ARTICLE
T. Miyashita *et al.*, *SCIENCE* 15 Dec 2023: Vol 382, Issue 6677
DOI: 10.1126/science.adf7429
オンライン版URL：https://www.science.org/doi/10.1126/science.adf7429

グリア細胞はショウジョウバエの回避学習において負の情報の伝達に関与している

Glia transmit negative valence information during aversive learning in *Drosophila*



左から宮下 知之、齊藤 実

宮下 知之 Tomoyuki Miyashita
東京都医学総合研究所 脳・神経科学研究分野 学習記憶プロジェクト
主席研究員

齊藤 実 Minoru Saitoe
東京都医学総合研究所 脳・神経科学研究分野 学習記憶プロジェクト
参事研究員 プロジェクトリーダー

すべての論文著者についての情報は、右上URL/QRコードから原文でご確認ください。

Contact
宮下 知之 E-mail：miyashita-tm@igakuken.or.jp 所在地：156-8506 東京都世田谷区上北沢2-1-6
U R L：https://www.igakuken.or.jp/memory/index.html
齊藤 実 E-mail：saito-mn@igakuken.or.jp 所在地：156-8506 東京都世田谷区上北沢2-1-6
U R L：https://www.igakuken.or.jp/memory/index.html

グリア細胞による嫌悪情報の伝達から提唱される新たな学習モデル

匂いと電気ショックなどの嫌悪刺激を組み合わせたショウジョウバエ嫌悪性匂い条件付けでは、匂い情報と嫌悪情報がキノコ体という脳の記憶中枢に入力・連合して匂い記憶が形成される。これまで嫌悪情報はキノコ体に投射するドーパミン（DA）神経細胞が伝達すると考えられてきたが、われわれは嫌悪情報がDA神経細胞でなく、キノコ体を取り囲むグリア細胞（Ensheathing glia：EG）から放出されるグルタミン酸（Glu）により、キノコ体のNMDA受容体に伝達されることを発見した。さらにNMDA受容体のMg^{2+}ブロックの働きにより、嫌悪情報はすべてのキノコ体神経細胞に入力せず、匂い刺激に応答した神経細胞に対して選択的に入力することもわかった。現在の学習モデルでは、DA神経細胞が嫌悪情報を伝達することで学習を強化すると考えているが、われわれの研究から嫌悪情報の伝達と学習強化は異なる神経機構であること、また嫌悪刺激によるDAの放出も、実はグリア細胞から放出されたGluがDA神経細胞のカイニン酸受容体を活性化することにより起こることがわかった。さらに、カイニン酸受容体の活性化により放出されたDAは、従来考えられていた学習の強化でなく、不必要な学習の成立を抑制するために必要なことも示唆された。

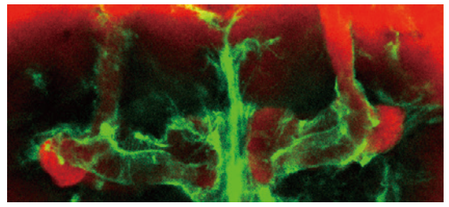


図1：キノコ体を取り囲むEG
EG（緑色）はキノコ体（赤色）を取り囲み、キノコ体領域の区画分けもしている。

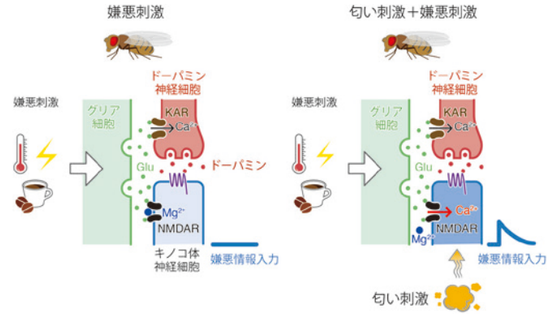
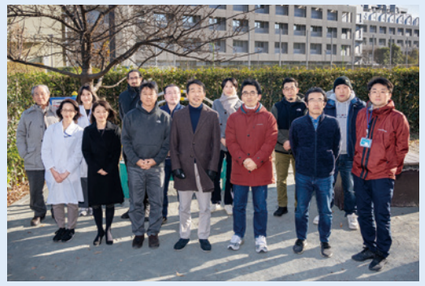


図2：EGによる嫌悪情報伝達と連合学習
EGから放出されたグルタミン酸（Glu）は、ドーパミン神経細胞のカイニン酸受容体とキノコ体神経細胞のNMDA受容体に結合するが、NMDA受容体を介したCa^{2+}流入は、匂い刺激で興奮した右側のキノコ体神経細胞でしか起こらない。



東京都の研究所から世界へ

私たちが研究を行っている東京都医学総合研究所は、10数年前にできた、東京都の外郭団体として運営されている公益財団法人です。研究成果の医療・福祉への還元を目指して、出口に直結した研究から、われわれのような出口に遠い基礎の研究まで、幅広い研究が行われています。本論文はこれまでの単離脳機能イメージング解析の結果とNMDA受容体の免疫染色の結果から、キノコ体への嫌悪情報入力がドーパミンでなくグルタミン酸作動性であることが示唆されたことに始まります。最初のデータとして新規の小胞グルタミン酸輸送体がクローニングされ、論文として出版されるまで、5年以上の地道な研究が続きました。これが可能であったのも、性急な成果で妥協せずに研究が継続できる研究所だったからだと思います。われわれは先端的・革新的な研究成果を上げることで、医療福祉のみならず、学術・文化都市として東京都の世界に向けてのプレゼンス向上にも貢献することを目指しています。

Scienceおよび姉妹誌の投稿規定

https://www.science.org/content/page/contributing-science-family-journals

サイエンス誌(Science)および姉妹誌に投稿する前には必ず各誌のInformation for Authors(投稿規定)をご確認ください。投稿された著者は、われわれの使命の核となっている一連の編集/出版の方針に同意したものと見なされます。

Scienceの投稿規定は、ライセンス、利益相反、オーサーシップ、出版前の機密保持、データと資料の可用性、研究の完全性などのトピックをカバーしています。投稿規定のほとんどは全ジャーナルに共通のものですが、ジャーナルごとに独自の追加規定を設けている場合があります。

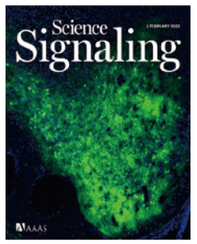
各誌に独自の方針と使命/範囲、ならびに投稿時の原稿の準備と提出および/またはレビューの指示に関する具体的な情報については、以下に掲げる各誌のQRコードでご確認ください。













AAASのオープンアクセス

米国科学振興協会(AAAS)とAAASが刊行するScience各誌は、著者に選択の権利を認めるべきだと考えています。科学界から情報(論文)を受け取り、公開する科学論文を正確に記録することに貢献し、その論文の全体的な公正性を保護するといったオープンアクセス(OA)に関する選択肢を提供すること(OAオプション)を、私たちは支持しています。

詳細は以下のURLまたはQRコードで確認ください。

https://www.science.org/content/page/open-access-aaas

Science.org/journal/scirobotics

DOESN'T YOUR RESEARCH DESERVE THE BEST READERS?

Submit your research:
cts.ScienceMag.org

Science Robotics
AAAS

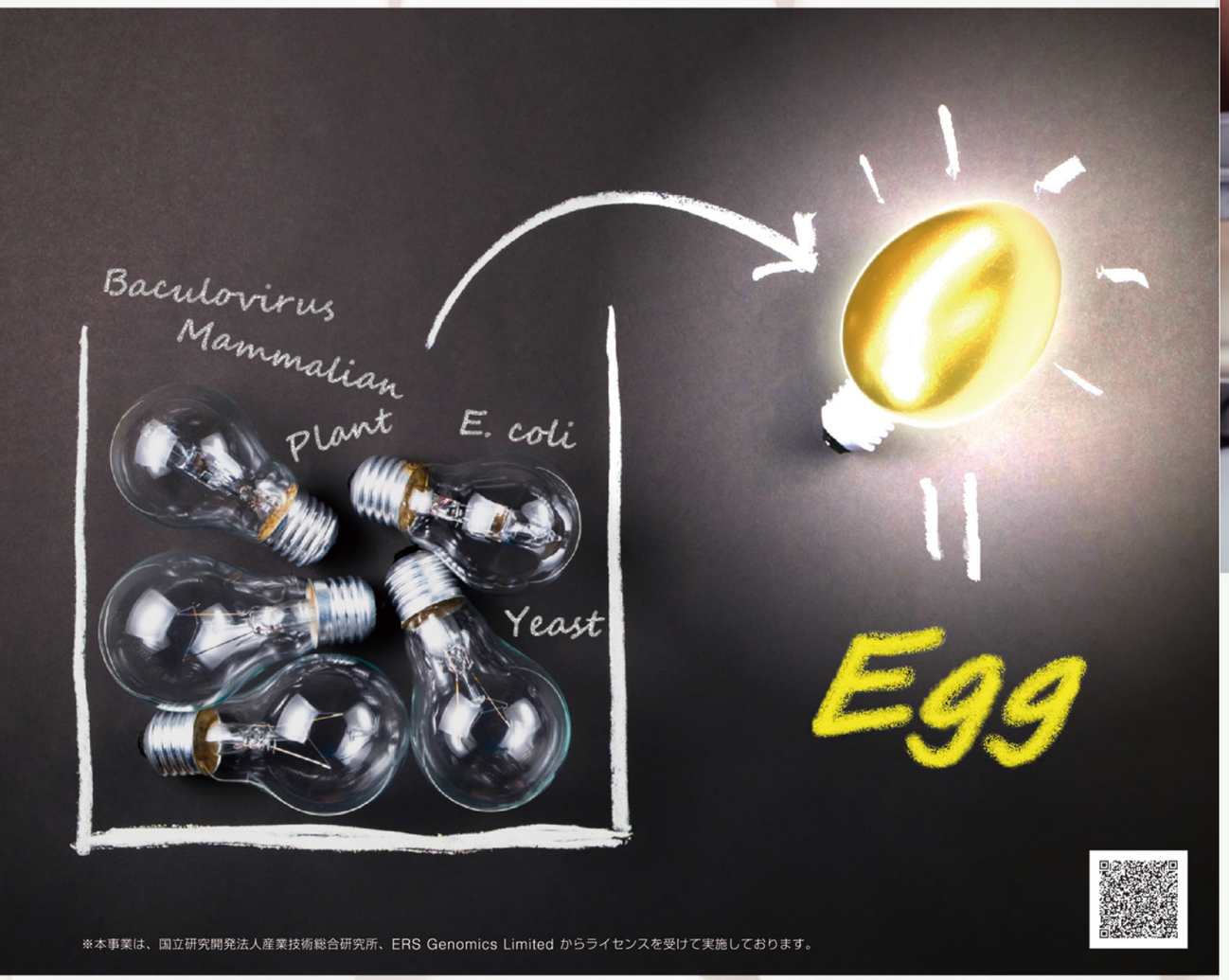
Twitter: @SciRobotics
Facebook: @ScienceRobotics

MEMO

MEMO

Kg（キログラム）スケールでも対応が可能です。

鶏卵バイオリアクターを用いた
組換えタンパク質大量生産受託サービス



※本事業は、国立研究開発法人産業技術総合研究所、ERS Genomics Limited からライセンスを受けて実施しております。

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
事業開発部　E-mail: tamago@cosmobio.co.jp
URL : https://www.cosmobio.co.jp/



コスモ・バイオは、「ライフサイエンスの進歩・発展に貢献する」ことを第一の会社理念に掲げ、人々に信頼される企業づくりを目指しています。

Tools for school 公開講座応援団
生物ロボットコンテスト（iGEM）応援団

の活動を通して、次の世代を担う " 明日の科学者 " に、ライフサイエンスの面白さと楽しさを伝えるお手伝いをしてまいります。

コスモ・バイオ　応援団

人と科学のステキな未来へ
コスモ・バイオ株式会社



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